

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO  
PARA EL EMPAQUE DE CHOCOLATE MEDIANTE  
LABVIEW”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

JOHNNY FRANK ORMIN AIRE VALENCIA

JUAN CARLOS CORNEJO CASTRO

CALLAO-PERU  
2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO  
PARA EL EMPAQUE DE CHOCOLATE MEDIANTE  
LABVIEW”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

JOHNNY FRANK ORMIN AIRE VALENCIA

JUAN CARLOS CORNEJO CASTRO

ASESOR:

MS. ING. JULIO CESAR BORJAS CASTAÑEDA

CALLAO-PERU  
2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL  
EMPAQUE DE CHOCOLATE MEDIANTE LABVIEW”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO

JOHNNY FRANK ORMIN AIRE VALENCIA  
JUAN CARLOS CORNEJO CASTRO

ASESOR:

MS. ING. JULIO CESAR BORJAS CASTAÑEDA

CALIFICACIÓN: 14 (CATORCE)

---

PRESIDENTE DEL JURADO  
MG. ING. JORGE E. MOSCOSO SÁNCHEZ

---

SECRETARIO  
M. SC. ING. RUSSELL CÓRDOVA RUIZ

---

VOCAL  
M. SC. ING. LUIS E. CRUZADO MONTAÑEZ

CALLAO - PERU  
2019

# INDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I.....	11
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1. Identificación del Problema.....	11
2. Formulación del Problema.....	11
2.1. Problema General.....	11
2.2. Problemas Específicos.....	12
3. Objetivos de la Investigación.....	12
3.1. Objetivo General.....	12
3.2. Objetivos Específicos.....	12
4. Justificación.....	12
a. Legal.....	12
b. Teórica.....	12
c. Tecnológica.....	13
d. Económica.....	13
e. Social.....	13
f. Práctica.....	13
5. Importancia.....	13
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO.....	14
1. Antecedentes del estudio.....	14
2. Fundamento Ontológico.....	15
3. Fundamento Metodológico.....	15
4. Fundamento Epistemológico.....	15
5. Definiciones de términos básicos.....	16
CAPÍTULO III.....	19
VARIABLES E HIPÓTESIS.....	19
1. Variables de la Investigación.....	19
2. Operacionalización de Variables.....	19
3. Hipótesis generales e hipótesis específicas.....	20

3.1. Hipótesis General.....	20
3.2. Hipótesis Específicas.....	20
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>21</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>21</b>
1. Tipo de Investigación.....	21
2. Diseño de la Investigación.....	21
2.1. Fundamentos Teóricos.....	21
2.2. Diseño .....	81
3. Población y Muestra.....	95
4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	95
5. Procedimientos de recolección de datos.....	95
6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	96
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>97</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>97</b>
1. Introducción.....	97
2. Simulaciones.....	97
3. Pruebas realizadas.....	97
3.1. Sensor Ultrasónico.....	97
3.2. Sensor LM35.....	103
3.3. Sensor de flujo (YF-S201B).....	106
4. Presupuesto.....	109
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>110</b>
<b>DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>110</b>
1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	110
2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	110
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>111</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO IX .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>

## Lista de Figuras

Figura N° 1: Máquina separadora de impurezas	22
Figura N° 2: Izquierda grano antes del descascarillado. Derecha grano después del descascarillado	22
Figura N° 3: Diagrama de Corte	26
Figura N° 4: Curva de Flujo (1) Newtoniano; (2) Bingham; (3) Pseudoplástico (chocolate)	27
Figura N° 5: Estructura de cristal de las Principales formas Polimórficas	31
Figura N° 6: Estructura Doble (a) - Triple (b) cadena tipo POP	32
Figura N° 7: Estructura tipo POP (1,3-dipalmitoil, 2-oleoglilceroil)	32
Figura N° 8: Estructuras del ácido graso. (a) ácido graso saturado ácido esteárico; (b) ácido graso cis-monoin saturado ácido oleico; (c) ácido graso poliinsaturado ácido linoleico; (d) ácido graso trans-monoin saturado ácido eláidico	33
Figura N° 9: Desarrollo del Principio ToF	38
Figura N° 10: Ubicación del sensor en un tanque.	38
Figura N° 11: Tipos de antenas de los sensores de radar	40
Figura N° 12: La Onda antes del contacto con el fluido	41
Figura N° 13: La Onda después del contacto con el fluido	42
Figura N° 14: La onda antes de tener contacto con el fluido	42
Figura N° 15: La Onda luego de tener contacto con el fluido	43
Figura N° 16: Principio Capacitivo representado en Bloques	43
Figura N° 17: Izquierda capacitancia en nivel bajo. Derecha capacitancia en nivel alto.	44
Figura N° 18: Diagrama de un sensor Conductivo	44
Figura N° 19: Sistema utilizando un sensor conductivo	45
Figura N° 20: Esquema básico de una termocupla	46
Figura N° 21: Representación de la linealización de una termocupla	47
Figura N° 22: Esquema de un modelo compensación a Cero	47
Figura N° 23: Termopozo de PT100	49

Figura N° 24: Diagrama básico de una medición por placa de orificio	50
Figura N° 25: Esquema de funcionamiento de un Caudalímetro electromagnético	52
Figura N° 26: Diagrama básico de una medición por principio ultrasónico	53
Figura N° 27: Estructura interna de las capas del tanque	54
Figura N° 28: Dimensionamiento de tanque para chocolate	55
Figura N° 29: Agitador tipo ancla	56
Figura N° 30: Agitador tipo turbina	56
Figura N° 31: Gráfica referencial de un sistema	59
Figura N° 32: Modelado 3D de una bomba de engranaje	62
Figura N° 33: Funcionamiento de una bomba de engranajes	63
Figura N° 34: Estructura de una bomba de paletas rotativas	63
Figura N° 35: Funcionamiento de una bomba de paletas rotativas	64
Figura N° 36: Funcionamiento de una bomba de lóbulos	64
Figura N° 37: Estructura interna (1) Tapón del lóbulo, (2) Cuerpo, (3) Lóbulo, (4) Sello mecánico, (5) Soporte	65
Figura N° 38: Estructura de una bomba de tornillo doble	65
Figura N° 39: Estructura de una bomba de cavidad progresiva	66
Figura N° 40: Funcionamiento de una bomba de pistón	66
Figura N° 41: Característica de proceso estático	67
Figura N° 42: Respuestas en escalón en lazo abierto	68
Figura N° 43: Esquema en bloques de un Sistema en lazo cerrado	69
Figura N° 44: Esquema en bloques del Control tipo P	70
Figura N° 45: Respuesta a escalón unitario de un Control Tipo P	70
Figura N° 46: Respuesta a escalón unitario de un Control Tipo I	71
Figura N° 47: Diagrama de Bloques de un Control PID	73
Figura N° 48: Curva respuesta en forma de S	74
Figura N° 49: Oscilación periódica con periodo $P_{cr}$ (seg).	75
Figura N° 50: Logo Compañía dueña de LabVIEW	76
Figura N° 51: Ventanas de trabajo - LabVIEW	77

Figura N° 52: Pines del Arduino UNO	78
Figura N° 53: Pines del Arduino LEONARDO	79
Figura N° 54: Pines del Arduino MEGA	80
Figura N° 55: Modelado del proceso de temperado	81
Figura N° 56: Tanque con entrada y salida del chocolate	82
Figura N° 57: Tanque con soporte de mezclador	82
Figura N° 58: Electroválvula Tipo K	84
Figura N° 59: Sensor ultrasónico	84
Figura N° 60: Sensor Pt100	85
Figura N° 61: Sistema de Calefacción	86
Figura N° 62: Ciclo de refrigeración	87
Figura N° 63: Sensor Infrarrojo	88
Figura N° 64: Máquina de enfriamiento y desmoldado	88
Figura N° 65: Etapa de Empaquetado	89
Figura N° 66: Actuador eléctrico	89
Figura N° 67: Señal de Parada de Emergencia	91
Figura N° 68: Bloque de elementos de la Pantalla del Operador	91
Figura N° 69: Segmento de Programa	92
Figura N° 70: Botón de Inicio del Proceso	92
Figura N° 71: Programa para el llenado del tanque	93
Figura N° 72: Programa para el control del motor	93
Figura N° 73: Programa templado del chocolate	94
Figura N° 74: Programa para el moldeado del chocolate	94
Figura N° 75: Programa para la etapa de empaquetado	95
Figura N° 76: Circuito de prueba para el sensor ultrasónico	97
Figura N° 77: Resultados a 1cm - Arduino	98
Figura N° 78: Resultados a 5cm - Arduino	99
Figura N° 79: Resultados a 10cm - Arduino	99



Figura N° 80: Resultados a 15cm - Arduino	100
Figura N° 81: Resultados a 20cm – Arduino	100
Figura N° 82: Gráfica - Varianza del sensor	101
Figura N° 83: Ventana visual - LabVIEW	102
Figura N° 84: Programa interno - LabVIEW	102
Figura N° 85: Lectura de 2 a 20 cm	103
Figura N° 86: Circuito de prueba para el LM35	103
Figura N° 87: Variación de la temperatura con LM35 - Arduino	104
Figura N° 88: Ventana visual - LabVIEW	105
Figura N° 89: Ventana programa - LabVIEW	105
Figura N° 90: Resultado gráfico de la variación de temperatura con LM35 – LabVIEW	106
Figura N° 91: Circuito de prueba para el YF-S201B	106
Figura N° 92: Variación del flujo YF-S201B – Arduino	108
Figura N° 93: Ventana programa – LabVIEW	108
Figura N° 94: Resultado gráfico de pulsos de YF-S201B - LabVIEW	108
Figura N° 95: Programa LabVIEW	118
Figura N° 96: Programa LabVIEW - 2	119
Figura N° 97: Programa LabVIEW - 3	120

## Lista de Tablas

Tabla N° 1: Operacionalización de Variables Independientes	19
Tabla N° 2: Operacionalización de Variables Dependientes	19
Tabla N° 3: Valores de viscosidad para diversos materiales.	28
Tabla N° 4: Porcentaje de ácidos grasos en la manteca de cacao	30
Tabla N° 5: Composición química de la manteca de cacao	31
Tabla N° 6: Polimorfismo de la Manteca de Cacao	34
Tabla N° 7: Polimorfismo de Manteca de Cacao en la actualidad	35
Tabla N° 8: Cuadro comparativo del pro y contra del sensor ultrasónico	40
Tabla N° 9: Cuadro comparativo entre ultrasonidos y ondas guiadas	41
Tabla N° 10: Cuadro de valores por cada tipo de material empleado en las RTD	49
Tabla N° 11: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón	77
Tabla N° 12: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica $K_{cr}$	79
Tabla N° 13: Características ARDUINO UNO	81
Tabla N° 14: Características ARDUINO LEONARDO	82
Tabla N° 15: Características ARDUINO MEGA	83
Tabla N° 16: Procedimiento Estadístico	103
Tabla N° 17: Tabla de tiempos teóricos	108
Tabla N° 18: Tabla comparativa	108
Tabla N° 19: Presupuesto	116

## RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño y simulación de una planta piloto aplicado al empaquetado de barras de chocolate, donde se utilizan diversos equipos de instrumentación para la medición de las variables físicas como la temperatura, flujo y nivel que interactúan entre sí en los 3 subprocesos que comprende.

Actualmente los equipos utilizados para este tipo de aplicaciones son típicamente de alto costo, tanto en el software como en el hardware que utilizan, además de manejar protocolos propios de la marca, lo cual impide la utilización de otro tipo de equipos y/o repuestos por temas de compatibilidad, es por ello que en nuestro trabajo se plantean soluciones de bajo costo y fácil acceso para los desarrolladores lo cual le da un potencial de mejoramiento continuo al trabajo en cuestión.

En nuestro trabajo se plantea el uso de Arduino debido a que es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar, como esta no cuenta con una interfaz gráfica para aplicaciones industriales se utilizara LabVIEW el cual es compatible con Arduino y debido a su lenguaje de programación de alto nivel es mucho más fácil de programar.

A fin de asegurar el correcto funcionamiento del proceso, en las 3 sub etapas que comprende al momento de realizar el proyecto a escala industrial en la planta piloto se buscan seleccionar los instrumentos de medición más adecuados para la aplicación, lo cual es complejo debido a la cantidad de variables que intervienen es por ello que se busca realizar de manera experimental el proceso a pequeña escala.

## ABSTRACT

The present work describes the design and simulation of a pilot plant applied to the packaging of chocolate bars, where various instrumentation equipment is used for the measurement of physical variables such as temperature, flow and level that interact between them in the 3 sub processes that it comprises.

Currently, equipment used for this type of application is very expensive, both in the software and in the hardware that is used, as well as for the management of the property rights of the brand, which refers to the use of another type of equipment or spare parts for compatibility issues, that is why in our work low-cost solutions and easy access for users are proposed, which gives a potential for continuous improvement in the work in question.

In our work we explain the use of Arduino as an open source electronic prototype platform (open source) based on flexible and easy to use hardware and software, as it doesn't have a graphical interface for industrial applications, LabVIEW is used, which is compatible with Arduino and because of its high-level programming language it is much easier to program.

In order to ensure the correct operation of the process, in the 3 sub-stages that are understood at the moment of carrying out the project on an industrial scale in the pilot plant to select the instruments that best adapt to the application, which is complex due to the quantity of variables that intervene is for what is ought to carry out the small-scale process experimentally.

## INTRODUCCIÓN

La elaboración de chocolate, desde que ingresa al proceso en estado de materia prima hasta su culminación como una materia elaborada ya envasada, sigue un cierto proceso del cual se requiere que se desarrolle con extremo cuidado.

En cada uno de estos procesos, se pueden observar diversos instrumentos, materiales, herramientas y software, los cuales son necesarios para poder observar y calificar la calidad del chocolate durante todo el proceso hasta su culminación, ya sea en una barra de chocolate o como cubierta de algún dulce. Además, la mano de obra en la industria misma es algo importante que no se puede dejar de lado durante cada proceso, ya que, además de encargarse del mantenimiento continuo de cada etapa de desarrollo, se mantienen en continua observación de no sólo el producto desarrollado, sino también de las maquinarias y otros, los cuales, si bien son monitoreados por software de monitoreo, pueden sufrir desperfectos durante su trabajo que no son detectados.

En este proyecto de investigación se busca implementar una planta piloto que se encargue de la etapa de empaquetado del chocolate utilizando tecnología actual que pueda disminuir los altos costos de los equipos utilizados comúnmente y uniformizar la configuración para monitoreo mediante aplicaciones que lo permitan, utilizando interfaces de bajo costo que logren otorgar los mismos resultados.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1. Identificación del Problema

En todo proyecto antes de ser desarrollado a escala completa, es necesario implementar una planta piloto en la cual se plasme todos los requerimientos necesarios para su funcionamiento, además de realizar pruebas, mediciones y cálculos para obtener los valores más indicados requeridos por el proceso.

Agregando también la necesidad de obtención de datos mediante una interfaz, dado que en la gran mayoría de industrias optan por usar interfaces que son altamente costosas en comparación.

Como, por ejemplo, los Sistemas SCADA que inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, hoy en día ha surgido una serie de productos de hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, y se realiza mediante una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión. (Pérez-López, 2015)

Al entender todo lo novedoso y necesario para entablar una conexión con los Sistemas SCADAS, que son buenos y eficientes, proponemos la utilización del software LabVIEW como una solución en costos y utilidad, en donde se puedan visualizar y modificar variables para todas las fases que comprende el proceso de empaquetado de chocolate.

Otro punto que se busca solucionar en este trabajo es el de incrementar la automatización del sistema debido a que partes del proceso se realizan de manera manual, lo cual genera varios tipos de problemas como errores por parte de los operarios y también que estén expuestos a peligros como cortes golpes y moretones al momento de manipular las herramientas requeridas.

### 2. Formulación del Problema.

#### 2.1. Problema General

¿Es posible elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW?

## **2.2. Problemas Específicos**

P.E.1 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque?

P.E.2 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate?

P.E.3 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate?

## **3. Objetivos de la Investigación.**

### **3.1. Objetivo General.**

Elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW.

### **3.2. Objetivos Específicos.**

O.E.1 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque.

O.E.2 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate.

O.E.3 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate.

## **4. Justificación.**

### **a. Legal**

El presente trabajo de investigación no infringe las normas legales dadas por el Ministerio de Ambiente, en concordancia con el Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los RAEE (Residuos de Aparatos eléctricos y Electrónicos).

### **b. Teórica**

Contribuirá al área de diseño, configuración y desarrollo de procesos automáticos correspondientes al empaquetado de insumos.

### **c. Tecnológica**

Contribuirá con el conocimiento y aprendizaje de nuevas técnicas para el diseño y desarrollo de procesos mediante diversos softwares.

### **d. Económica**

El uso de software especializado para el desarrollo trae consigo la disminución de los costos respecto al diseño y monitoreo.

### **e. Social**

El software utilizado mejorará el desempeño del usuario y del proyecto dado que facilitará el modo de uso y configuración.

### **f. Práctica**

Este trabajo de investigación se justifica porque presentará contribuciones al diseño y desarrollo de plantas piloto las cuales representarán plantas industriales reales, evaluando las mismas circunstancias bajo valores representativos reales, además de la utilizar software de fácil acceso, el cual se puede aplicar para diversos usos.

## **5. Importancia.**

Este trabajo de investigación tiene una gran importancia en la etapa de desarrollo y diseño de un proyecto a escala industrial, en donde las modificaciones que se pueden realizar son mínimas debido a que alteran muchas otras variables relacionadas además de generar un alto costo, la finalidad a alcanzar es la de mostrar de manera tangible que un modelo es capaz de demostrar en pequeños rasgos lo ideal y real que se puede encontrar en una planta a gran escala, ya que permite el fácil manejo de data y variación de las variables para una configuración mucho más óptima que se realizaría en la etapa de diseño antes de su implementación a escala industrial además permite encontrar las variaciones e imperfecciones que ocurren durante cada etapa del propio diseño en sí.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 1. Antecedentes del estudio.

- En la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, existe una tesis titulada "Mejora en el Proceso de Temperado del Chocolate en una Industria Chocolatera Ecuatoriana", presentada por Gisella Alexandra Pérez Lara, la cual expone una mejora para la fabricación del chocolate en la etapa de temperado, puesto que encontró por medio índice de encuestas de una empresa chocolatera que los clientes encontraban el producto mal elaborado y con ciertos descontentos que terminaban en reclamos. Propone mejorar el proceso de temperado, puesto que en esta etapa es donde considera se encuentra la raíz del problema además de mejorar el producto final para su finalidad.
- En la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, existe una tesis titulada "Diseño de un Sistema de Control de Temperatura y Vaciado Semiautomático de chocolate", presentada por Santiago Pulgarin Agudelo, Andrés Felipe Gómez Martínez y Omar Felipe Rojas Marín, los cuales proponen el diseño de una máquina de fundición de chocolate, el cual busca cambiar el proceso artesanal, normalmente ubicado en la etapa de vaciado de chocolate en moldes, por un proceso semiautomático, donde considera no solo el desperdicio de materia prima, sino también los tiempos de esta etapa, la temperatura que debe poseer el chocolate en todo momento, mejorar la calidad en la preparación del chocolate, la mejora de la eficiencia de producción y como punto extra, el no solo ser utilizado para las empresas chocolateras, sino en la panaderas.
- En la Universidad Simón Bolívar, Venezuela, existe una tesis titulada "Diseño y Fabricación de una Máquina Moldeadora de Botones de Chocolate", presentada por Daniel Josué Morgado Fernández, quien propone el diseño, desarrollo y fabricación de una máquina moldeadora de botones y esferas de chocolate, para solucionar el problema de adquisición de una máquina del mismo fin en la fábrica de chocolate.
- En la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, existe una tesis titulada "Reingeniería del Proceso Productivo de Chocolate en Barra en una Industrial Alimentaria", presentada por Edwin Arnoldo Ramírez Toledo, el cual expone el análisis de la ingeniería utilizada en los procesos correspondientes en la elaboración del chocolate en la industria, y en los puntos de desarrollo del chocolate, como en los puntos fisicoquímicos del chocolate.

- En la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, existe una tesis titulada "Estudio del Proceso de Mezclado en la Elaboración del Chocolate en Tabletas en la Fábrica Carolina de la Ciudad de Ambato y sus Beneficios en la Optimización de la Producción", presentada por Juan Manuel Guerrero Guerrero, quien expone el medio por el cual se logre optimizar la producción en la elaboración del chocolate en tabletas, desde la etapa de mezclado, utilizando maquinarias, las cuales realizan una mejor homogeneización del chocolate, optimización del tiempo de proceso y mejorando la calidad del chocolate.
- En la Universidad de Guayaquil, Ecuador, existe una tesis titulada "Aumento de la Eficiencia en la Línea Moldeadora de Chocolates en la Empresa Nestlé S.A. Guayaquil", presentada por Rubén Octavio Cárdenas Pincay, quien presenta la solución para mejorar el rendimiento de la empresa de chocolate Nestlé, los cuales son: paro no programado técnico, paradas improductivas repetidas eléctricas y mecánicas por lo que no se está cumpliendo en plan de mantenimiento.

## **2. Fundamento Ontológico.**

El fundamento ontológico del marco teórico se describe como sigue:

La planta piloto de envasado de chocolates que se busca realizar consiste en 3 tipos de sub procesos cada uno con sus distintas características, métodos de medición y control. El objetivo del proyecto es el de realizar el proceso de naturaleza compleja de la manera más sencilla posible abaratando los costos de las soluciones ya existentes y generando un proceso más automático.

## **3. Fundamento Metodológico.**

Se determinó el procedimiento realizando una investigación de tipo analítico experimental, definiendo las partes más generales del proyecto mediante la ingeniería básica del mismo, hasta la técnica más particular, teniendo como estrategia el desarrollo de soluciones de software y hardware más eficientes para el desarrollo del sistema, para finalmente realizar pruebas que nos permitieron obtener una base de datos empírica, y poder realizar así el correcto comisionamiento de los instrumentos a utilizar en una planta industrial.

## **4. Fundamento Epistemológico.**

Se desarrolló la planta piloto para el empaquetado de chocolate mediante LabVIEW en conjunto con Arduino porque nos brinda las facilidades necesarias para poder realizar el emulado de una planta piloto, simplificándonos a gran medida los inconvenientes encontrados durante su realización, tanto en la parte de software como hardware.

Además de la comunicación que es relativamente sencilla de lograr con la interface amigable que contiene el LabVIEW.

Este estudio también se realizó con la intención de generar una base para la creación de una planta a nivel industrial, debido a que nos entrega ciertos parámetros de manera experimental que son muy complicados de obtener mediante un cálculo teórico por la intervención de múltiples variables que maneja el sistema, además de ciertos factores que no se tienen en consideración al momento de realizar los cálculos teóricos los cuales pueden afectar en gran medida al momento de realizar la planta de manera industrial.

## **5. Definiciones de términos básicos.**

### **• Planta Modelo**

Es un equipo diseñado para uso práctico y modelado de un proyecto final real, con un equipamiento que permite simular las condiciones que se deben de obtener en un proceso a gran escala; el modelo permite al desarrollador analizar cada uno de los procesos que tiene el sistema a desarrollar para su posterior aplicación en plantas industriales.

### **• Sistema de control**

Un sistema de control es un conjunto de componentes con una configuración que permita proporcionar una respuesta deseada.

En un sistema de control la señal de salida responde a las modificaciones que tengamos en la señal de entrada (sistemas de lazo abierto y lazo cerrado).

Cabe resaltar que los sistemas de control se encuentran en todos los sectores industriales, como las líneas de ensamblaje.

### **• Sensor**

Los sensores son elementos de medición de variables del proceso, siendo usados para lectura e indicación.

El funcionamiento de un sensor es mediante la transformación de la variable medida en una señal eléctrica, los sensores más comunes son los sensores de nivel, de presión, de temperatura, de flujo, de proximidad. Posteriormente la señal es enviada a un controlador donde es comparada con el valor de referencia o set-point, donde se determina el error y la acción a ser realizada por el actuador.

- **Controlador**

El controlador es un instrumento que compara las variaciones entre el valor medido por un sensor y el valor establecido o set point (el cual es programado por un operador, el cual emite una señal de corrección hacia el actuador).

Los controladores pueden ser del tipo: manual, neumático o digitales; así como las computadoras con tarjetas de adquisición de datos y los PLC (Controladores Lógicos Programables).

- **Actuador**

Los actuadores tienen por función alterar el valor de la variable medida con el fin de corregir o limitar la desviación del valor controlado respecto al valor deseado.

Los actuadores, más comunes utilizados en la industria son: motores, válvulas, relés y elementos calefactores.

- **Algoritmo de control**

Es el conjunto de instrucciones definidas, ordenadas que permite realizar una actividad de control mediante pasos sucesivos. Si contamos con un estado inicial y una entrada, utilizando el algoritmo de control predefinido se llega al estado final deseado.

- **Interfaz de usuario**

La interfaz de usuario está constituida por una serie de dispositivos, que permiten al hombre interactuar de una manera precisa y concreta, normalmente se utilizan pantallas táctiles e imágenes para la mejor comprensión del usuario.

- **Software**

Existen software para diversas aplicaciones y el control no es una excepción. El software permite al usuario la visualización gráfica de las variables involucradas en el control de un proceso y permite la modificación de los parámetros de control establecidos.

- **Subcelda ortorrómbica**

Uno de los siete sistemas cristalinos existentes, posee la forma geométrica con los tres ángulos rectos, donde las tres aristas de dicha celda unidad tienen todas longitudes diferentes.

- **Prueba Tukey**

Método utilizado para evaluar las hipótesis por medio de comparativas de las medias del proceso.

- **Countline**

Conteo de línea de los productos acabados.

- **Flow-wrap**

Lina de la máquina empaquetadora.

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 1. Variables de la Investigación.

La planta piloto que queremos implementar buscará reducir los costos en el proceso de fabricación del chocolate y automatizará el proceso de modo que reducirá la exposición de los operarios de la planta a los riesgos propios del trabajo y aumentará la productividad de esta.

#### 2. Operacionalización de Variables.

**Tabla 1: Operacionalización de Variables Independientes**

VARIABLES INDEPENDIENTES (VARIABLES DE ENTRADA)	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
Temperatura de la mezcla	°C	Se ingresa la temperatura deseada	Señal de control del horno
Velocidad de la mezcladora	RPM	Se ingresa la velocidad deseada	Señal de control del motor de la mezcladora
Flujo de la bomba	L/s	Se ingresa el flujo deseado	Señal de control de la bomba
Temperatura de la enfriadora	°C	Se ingresa la temperatura deseada	Señal de control del enfriador

**Tabla 2: Operacionalización de Variables Dependientes**

VARIABLES DEPENDIENTES (VARIABLES DE SALIDA)	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
Producción de barras de chocolate	Unidades	Número de chocolates empaquetados	Registro de producción
Coste de producción	S/.	Gastos por producción	Registros contables
Cantidad de accidentes de trabajo	Unidades	Número de accidentes en el trabajo	Registros de accidentes

### **3. Hipótesis generales e hipótesis específicas.**

#### **3.1. Hipótesis General.**

Se logrará elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW.

#### **3.2. Hipótesis Específicas.**

H.E.1 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque.

H.E.2 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate.

H.E.3 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **1. Tipo de Investigación.**

Es de tipo aplicada ya que se busca encontrar los medios para desarrollar procesos de control y su enlace entre sí mediante esquemas de monitoreo.

Es analítico ya que utilizará la estadística y los cálculos probabilísticos para validar la hipótesis.

#### **2. Diseño de la Investigación.**

##### **2.1. Fundamentos Teóricos**

##### **2.1.1. Proceso del chocolate**

###### **a. Limpieza:**

En esta etapa, se desarrolla la separación de impurezas que se puedan encontrar junto a los granos de cacao, que utilizaremos para elaborar el producto final deseado, como arena, piedras, hierro, material vegetal, etc. Estos deben de eliminarse por las siguientes razones.

En primer lugar, muchas de estas impurezas son muy duras y dañarían la maquinaria que se utiliza para moler los granos.

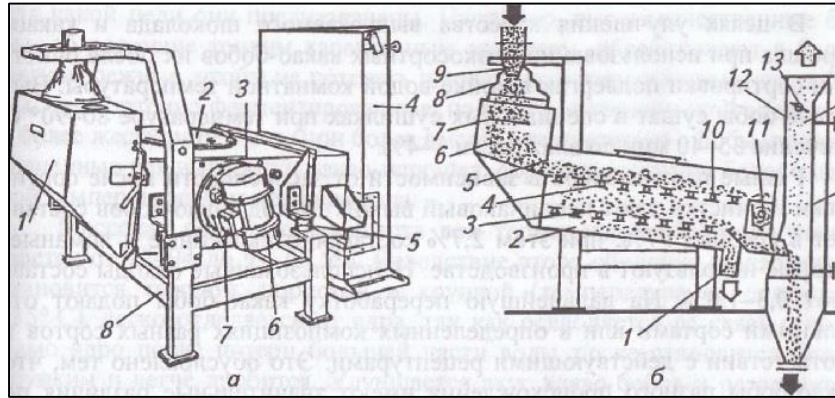
En segundo lugar, los contaminantes orgánicos se quemarán durante el proceso de tostado, produciendo así gases que puedan estropear el sabor final del cacao. (Beckett S. T., 2008)

Este primer proceso de eliminación se puede desarrollar de diversas maneras, dependiente del tipo de impureza que se vaya a eliminar, por ejemplo:

- Hierro: Puede ser extraído mediante la utilización de imanes.
- Polvo: Extracción mediante succión.
- Piedras: Dado que estos pueden de tener una forma y tamaño similar a la de los granos utilizados, se utiliza la diferencia de su densidad. Se separan haciéndolos vibrar juntos en una cuadrícula, que se establece en un ángulo con respecto a la horizontal. El aire pasa a través de la rejilla y sopla los granos, colocando más alto los de cacao que las piedras. A medida que se acercan a la rejilla vibrante, las piedras se mueven hacia la parte superior, donde caen en una bolsa recolectora. El aire transporta los granos hacia la parte inferior de la red, desde donde pasan a la siguiente etapa de procesamiento.



**Figura N° 1: Máquina separadora de impurezas**



*Fuente: Zanizdra, Vladimir. (2010). Producción de chocolate - Limpieza y clasificación de los granos de cacao. 2018, de Baker Group Sitio web: <https://es.baker-group.net/technology-and-recipes/565-2015-09-29-20-08-53.html>*

### **b. Tostado:**

En esta etapa, el grano de cacao (con cáscara), es tostado para lograr una buena tonalidad, conseguir el sabor y aroma ideal, disminuir la humedad, y por último facilitar la extracción de la cáscara. Para realizar esto, existen dos tipos de métodos:

- Tostado Convencional: Donde, los granos de cacao son sometidos a una temperatura de entre 100 y 140 °C durante un tiempo de 45 a 90 minutos. (Quiroz, 2010)
- Tratamiento Térmico: El cacao se hace pasar a través de la máquina de tratamiento térmico, el cual suelta gases de aire caliente para evitar contacto con el mencionado.

### **c. Descascarillado**

En esta etapa, se realiza el retiro de la cáscara de los granos. En primer lugar, se hace presión sobre ellos, luego se hace vibrar la base de malla para filtrar las partículas más grandes de las pequeñas, haciendo así, que las cáscaras y el cacao sean separados en diferentes contenedores.

**Figura N° 2: Izquierda grano antes del descascarillado. Derecha grano después del descascarillado**



*Fuente: Cortés, Eduardo. (2016). PRESENTACIÓN DE TODO CHOCOLATE. 2018, de DOCPLAYER Sitio web: <https://docplayer.es/10899885-Presentacion-de-todo-chocolate-presentado-por-eduardo-cortes.html>*

#### **d. Molienda**

Durante esta etapa, las muestras de cacao se muelen para producir el licor de cacao; posteriormente estas partículas son suspendidas en manteca de cacao fundida. La temperatura y la intensidad a la que son entregadas fluctúan según el tipo de semilla empleada y de las especificaciones del diseño exigidos para el producto final.

El cacao tostado y limpio se muele mediante rodillos de acero, que son usados en su producción industrial. Es necesario de separar los gérmenes que contiene la muestra ya obtenida de cacao, dado que estos presentan sabor amargo que afectan al producto final. El método utilizado es realizado a través de dispositivos especializados. La masa o licor de cacao pasan a continuación por prensas que se encargan de separar la grasa de la masa o licor hasta un porcentaje deseado, y el residuo que se forma durante este proceso es lo que constituye la torta de cacao. Para producir la torta con diversas proporciones de grasa, el fabricante controla la cantidad de manteca que se extrae del licor. La torta se pulveriza con la finalidad de preparar el polvo de cacao, el cual tiene un uso de muy amplio en la industria alimentaria.

Usualmente, el polvo de cacao es saborizado con vainilla, canela, cassia y otras especias en polvo o resinas oleosas. Estos saborizantes se agregan en forma de polvo; sin embargo, el tamaño de sus partículas debe ser mucho menor a las partículas que constituyen el polvo de cacao. (Liendo, 2005)

#### **e. Mezcla**

Luego de la etapa de molienda y obtenida la pasta de chocolate, este es llevada a un contenedor en el cual se le agrega azúcar, leche en polvo, licor de cacao y Ethil Vainilla. Todos estos son mezclados por alrededor de 5 minutos, entre 45 – 50 °C, de manera que quede una masa homogénea.

#### **f. Refinado**

Como muchos de los autores y desarrolladores de maquinaria necesaria para la elaboración del chocolate comentan, durante esta etapa, luego de que la mezcla de cacao, azúcar y otros se encuentre correctamente homogénea y a la temperatura deseada, se pasa por una maquinaria de 2-5 rodillos, dependiente del tipo de refinado que se desee hacer, los cuales se encargan de quitar los grumos que puedan existir en la mezcla además de reducir de tamaño las partículas de la mezcla que para el momento en que ingrese es de alrededor de 100 a 150 micras hasta un mínimo de 15 a 35 micras.

Sin embargo, este no es el único fin de esta etapa, dado que mientras las partículas son rotas por los rodillos, estas son cubiertas por la misma grasa que desprenden, absorbiendo activamente estas mismas, por lo que se tiene entendido que al finalizar la etapa de refinado el sabor que posee no es el mismo con el cual ingresan.

## **g. Templado**

La importancia de este proceso consiste en mejorar la cristalización de la pasta de cacao obtenida por tratamiento térmico. Este proceso se desarrolla enfriando el insumo para realizar la rotura de los cristales y posteriormente aumentando la temperatura para romper nuevamente los cristales obtenidos, sin embargo, en este caso solo son quebrados los cristales más débiles mientras que los más fuertes se mantienen. En algunos casos estos procesos se realizan una vez, mientras que en otros casos se realizan 3 veces, esto depende del tipo de cacao utilizado o mejor dicho la mezcla que se haya desarrollado para su finalidad en sí.

Al finalizar, lo que se obtiene son cristales de manteca de cacao correctamente estables y homogéneamente dispersos, agregando así su aumento de resistencia al calor, el brillo nuevo que obtiene, ajuste del rendimiento y viscosidad del cacao, que permiten un mejor sabor y despliegue fácil del molde en la etapa de moldeado o recubrimiento sea el caso.

El proceso por lo general, se desarrolla de la siguiente manera:

- El chocolate ingresa con una temperatura promedio de 45°C, se enfría hasta un promedio de 27 – 29°C, bajando la temperatura gradualmente para una rotura homogénea.
- Luego de haber disminuido la temperatura gradualmente, pasa a la etapa de aumento de calor, el cual es de un alrededor de 2°C mayor a su actual temperatura.

Cabe resaltar que, ya culminado esta etapa, el producto final puede ser almacenado conservando sus propiedades en un lugar fresco y seco.

Para poder comprender y caracterizar las relaciones existentes entre el proceso, estructura y propiedades, se tienen en consideración los siguientes puntos (Beckett S. T., 2009):

Los principales aspectos de procesamiento que se deben considerar son:

1. La masa de grasa de chocolate durante el pre-calentamiento.
2. El flujo térmico y mecánico de la pasta de chocolate durante el templado.
3. El post-tratamiento de la masa de chocolate templado en bombas, dispositivos de moldeo, recubrimiento, etc.
4. El proceso de enfriamiento y solidificación.
5. Temperatura posterior al tratamiento y de condiciones de almacenamiento.
6. Condiciones ambientales de la fábrica.

Los aspectos estructurales relacionados al templado son:

1. El fraccionamiento de los cristales grasos del chocolate.
2. La distribución respecto al tamaño de los cristales formados.
3. la distribución de polimorfos de cristales grasos (la cantidad relativa de cada tipo de cristal presente).
4. La densidad de la red de cristales grasos (cantidad total de cristal) y su homogeneidad.
5. La cinética de cristalización (qué tan rápido se establece la grasa).

6. La cinética de la transformación del polimorfo (qué tan rápido cambia de un tipo de cristal a otro).
7. La migración cinética de los componentes líquidos a través de los cristales grasos/partículas de la red (qué tan rápido los componentes de la grasa líquida se mueven a través de la red sólida formada por los cristales grasos y otros componentes sólidos).

#### **h. Moldeo y enfriamiento**

Durante esta etapa, por lo general, primero se establece la cantidad o tipo de moldeo que se realizará, sea bombones, barras, etc. sin embargo el proceso en sí terminaría siendo el mismo, donde: el chocolate ya temperado es extraído por una válvula, que es activada por un sensor que detecta la presencia del molde, al ser completamente llenado, pasa por la faja transportadora hacia la etapa de enfriamiento y vibración, donde los moldes llenos de chocolate, vibran constantemente para eliminar los grumos y burbujas que se hayan podido formar durante el transporte y/o llenado, a su vez son sometidos nuevamente al enfriamiento para que puedan solidificarse correctamente y puedan pasar a la siguiente etapa de desmoldado, donde se retirara la barra de chocolate del molde, y empaquetado.

#### **i. Empaquetado**

En esta etapa, luego de que el molde del chocolate haya sido retirado y manteniéndolo a una temperatura ideal menor a 25°C por la facilidad de derretirse el chocolate por temperaturas superiores a los 30°C durante su circulación en el proceso, pasa a través de una máquina empaquetadora que se encarga de cubrir la barra o elemento de chocolate con papel especial, haciendo a su vez el sellado y cortado de estos para que procedan a ser almacenados, estas máquinas hoy en día son realizadas por accionamiento neumático o mecánico según la necesidad y prioridad del desarrollador, además de que permiten trabajar a altas velocidades, lo cual permite una mayor cantidad de barras trabajadas que en antaño, donde se realizaba manualmente.

Además, se debe tener en cuenta con el recubrimiento de papel al chocolate, deben cumplir estándares necesarios para su utilización (Tecnologías Limpias):

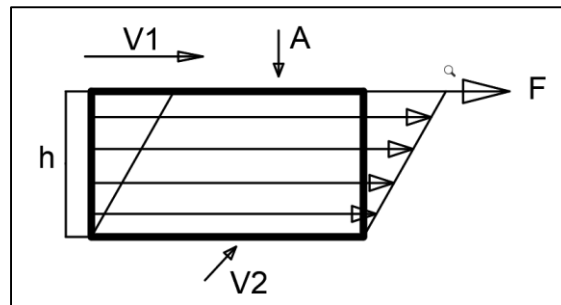
- Proteger a las barras de posibles olores que se pueden adquirir del medio ambiente, además impedir que la grasa que pueda soltar el chocolate traspase a la superficie de la envoltura y sea visible al consumidor.
- El segundo objetivo es la presentación del producto y como protección a los agentes externos que pueden modificar el estado del chocolate. En el empaque va impreso la marca del chocolate, el nombre de la fábrica que lo produce, sus ingredientes, peso etc.

## 2.1.2. Características del chocolate:

### a. Viscosidad:

La viscosidad puede ser considerada como una fricción interna durante el movimiento, cuando el movimiento es fácil (hay poca fricción), pero para materiales “gruesos” la fricción es alta. Para esto es útil reconsiderar la idea de corte (ver Figura N°3). Si el líquido tiene dos superficies planas, cada una de área  $A$  y una distancia  $h$  que se mueve a las velocidades  $V1$  y  $V2$ , entonces, a partir de la definición anterior, tenemos una tasa de corte (ver ecuación 1).

**Figura N° 3: Diagrama de Corte**



$$D = \frac{V1+V2}{h} (s^{-1})$$

**Ecuación 1: Tasa de Corte**

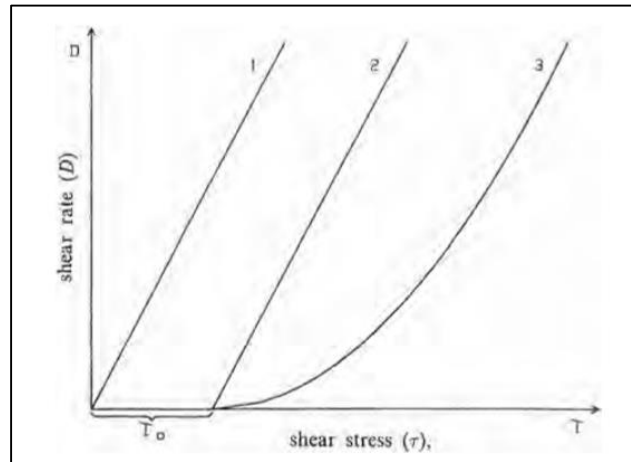
La fuerza requerida para mover el plano superior en relación con el inferior se denomina tensión de corte ( $\tau$ ).

$$\tau_{med} = \frac{F}{A} (Pa)$$

**Ecuación 2: Tensión Cortante Promedio**

Si trazamos la velocidad de corte contra el esfuerzo de corte, en otras palabras, qué tan rápido se mueve el líquido a medida que las diferentes fuerzas lo empujan, se obtienen diferentes curvas, según el tipo de material que se esté midiendo (ver Figura N°4).

Figura N° 4: Curva de Flujo (1) Newtoniano; (2) Bingham; (3) Pseudoplástico (chocolate)



La viscosidad ( $\eta$ ) se define como la relación entre la Tensión de Corte y la Tasa de Corte, es decir,

$$\eta = \frac{\tau}{D} (\text{Pa}\cdot\text{s})$$

**Ecuación 3: Viscosidad**

La caracterización de viscosidad se representa en la Figura N°4, donde la viscosidad es el gradiente de la línea, además, el líquido para la curva 1 es el mismo para todas las velocidades de corte. Se entiende entonces, si la fuerza aplicada sobre el líquido se duplica, este se moverá dos veces más rápido, esta característica se le denomina como líquido newtoniano.

Existen sustancias relacionadas con el jarabe que son “*newtonianos*”, sin embargo, existe una gran diferencia con la mayoría de otros alimentos, que resultan ser “*no newtonianos*”, los cuales muestran curvas distintas a la primera, en la curva 2 se muestra una sustancia que no se mueve cuando se le aplica fuerzas pequeñas, como, por ejemplo, la pintura.

En una fábrica, para encontrar la curva de viscosidad del chocolate en cuestión, se utiliza instrumentos, el viscosímetro, además de la **ecuación de Casson**, que se encargará de ajustar los valores tomados por el instrumento al valor real y entregar dos parámetros de flujo: el valor de rendimiento y la viscosidad plástica.

El **valor de rendimiento**, se encuentra directamente relacionado a la energía requerida para *iniciar* el movimiento del chocolate.

La **viscosidad plástica**, se relaciona con la energía requerida para mantener el chocolate en movimiento una vez que ha comenzado a fluir.

Se muestra un cuadro, donde se puede observar la viscosidad para diferentes materiales.

**Tabla 3: Valores de viscosidad para diversos materiales.**

Líquido	Viscosidad aproximada (Pa.s <sup>-1</sup> )
Vidrio fundido (500°C)	10 <sup>12</sup>
Bitumen	10 <sup>8</sup>
Polímeros fundidos	10 <sup>3</sup>
Jarabes	10 <sup>2</sup>
Miel Líquida	10 <sup>1</sup>
Glicerol	10 <sup>-1</sup>
Aceite de Oliva	10 <sup>-2</sup>
Agua	10 <sup>-3</sup>
Aire	10 <sup>-5</sup>

Fuente: Quesada, Juan Carlos García. (2008). *Fluidos Viscosos*. Alicante: Universidad de Alicante.

**b. Ácido graso:**

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos mono carboxílicos, compuesto por carbono, oxígeno e hidrógeno en su mayoría.

Además, se encuentra clasificado de la siguiente manera:

- **Ácido graso saturado:**

Son los que se encuentran conformados por enlaces sencillos de carbono, que dependiente de la cantidad de átomos de carbono este compuesto, puede encontrarse en estado sólido o líquido. Ejemplos de estos son: el ácido láurico, butírico y el palmítico.

- **Ácido graso insaturado:**

Se encuentran conformados por uno o varios enlaces dobles entre los carbonos que conforman la cadena. Estos, a su vez, se encuentran clasificados en ácidos grasos mono insaturados y ácidos grasos poliinsaturados.

- Ácidos grasos mono insaturados, que contienen un solo enlace doble.
- Ácidos grasos poliinsaturados, que contienen varios enlaces dobles.

Además, se debe de conocer un valor importante a considerar en los ácidos grasos, el cual es el **“Índice de Ácido Graso”**.

Estos índices ayudan en la simplificación de comparaciones entre unos y otros de ácidos grasos teniendo en consideración su sensibilidad a la oxidación y enranciamiento, la relación insaturados - saturados o la relación mono insaturados - poliinsaturados.

Además, la obtención de estos datos se realiza mediante varias prácticas, tomando pruebas y analizándolas, obteniendo así resultados promedios que se consideran en la toma final de decisiones. Para ayudarnos, se utilizan formulismos tales como los siguientes:

$$\text{Grado de acidez (\% de ácido oléico)} = \frac{V_{\text{KOH}} \cdot M \cdot N}{10 \cdot P}$$

**Ecuación 4: Grado de acidez**

*Fuente: DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Y EDAFOLOGÍA. (2013-2014). PRÁCTICA 4. MEDIDAS DE LA ACIDEZ DE ACEITE, LECHE Y VINAGRE. 2018, de Universidad de Córdoba Sitio web: <http://www.uco.es/~qe1marim/Practica4.pdf>*

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{56,1 \cdot V_{\text{KOH}} \cdot N}{P}$$

**Ecuación 5: Índice de acidez**

*Fuente: DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Y EDAFOLOGÍA. (2013-2014). PRÁCTICA 4. MEDIDAS DE LA ACIDEZ DE ACEITE, LECHE Y VINAGRE. 2018, de Universidad de Córdoba Sitio web: <http://www.uco.es/~qe1marim/Practica4.pdf>*

Donde:

V = volumen en mL de la disolución de KOH utilizada.

N = normalidad exacta de la solución de KOH utilizada

M = masa molecular del ácido graso en que se expresa la acidez

Mm ác. oleico = 282 g/mol; Mm ác. palmítico = 256g/mol; Mm ác. láurico= 200g/mol

P = peso en gramos.

La relación de ácidos grasos del chocolate, comprende que este contiene un promedio de entre el 50% y el 60% de grasa. Los cuales se encuentran formados por los siguientes tipos ácidos que se pueden observar en la Tabla 4.



**Tabla 4: Porcentaje de ácidos grasos en la manteca de cacao**

Manteca de Cacao		
Ácidos Grasos		%
C 16:0	palmítico	25.2%
C 18:0	esteárico	35.5%
C18:1 n-9	oleico	35.2%
C 18:2 n-6	linoleico	0.1%
C 20:0	araquídico	1.0%

Fuente: Chacón, Oscar. (2006). LA GRASA DEL CACAO. 2018, de Grasas y Ciencia Sitio web: <http://grasasciencia.blogspot.com/2006/10/la-grasa-del-cacao.html>

Además, en el 2016, un grupo de ingenieros realizaron un análisis de la composición de grasa de la manteca de cacao en 4 países diferentes, de los cuales obtuvieron los siguientes diferentes resultados:

**Tabla 5: Composición química de la manteca de cacao**

		Origen			
		Colombia	Ecuador	Peru	Venezuela
Grasa Total (%)		55,92±1,56a	49,89±2,02c	53,76±0,70b	53,56±2,10b
Ácidos Grasos (%)	C16:0	28,56±1,17b	27,17±1,03c	30,23±1,48a	26,32±0,35d
	C18:0	30,59±1,90b	33,58±0,76a	32,78±1,04a	32,88±2,16a
	C18:1	32,97±2,39ab	33,22±0,92ab	32,16±1,81b	33,94±1,37a
	C18:2	4,64±1,14a	2,95±0,79c	1,51±1,23d	3,84±1,13b
	S/U*	1,59±0,18b	1,68±0,09b	1,88±0,15a	1,58±0,17b
TGAs (%)	POP	20,27±0,94a	18,10±1,62b	21,71±2,02a	20,37±0,41a
	POS	40,99±1,36b	41,11±0,55b	42,21±1,90ab	42,44±0,53a
	SOS	22,88±1,30c	25,75±1,74a	20,89±1,10d	23,96±0,78b
	POO	2,77±1,22a	2,46±0,57a	1,92±1,70a	2,18±0,54a
	SOO	3,56±1,32a	3,35±0,75a	3,30±2,54ab	2,63±0,54b

Valores con letra diferentes, son estadísticamente diferente según la prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \* S/U: relación de ácidos grasos Saturado/insaturados.

Fuente: RIAÑO H. NM, CHICA M. MJ, ECHEVERRI G. LF, AGUIRRE M. JL, ORTIZ. A, Rocío Del Pilar PINEDA S.R, OLARTE N.HH. (2016). CONTENIDO DE GRASA TOTAL, PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y TRIGLICÉRIDOS PROVENIENTE DE CACAOS FINOS DE AROMA: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ, VENEZUELA. Colombia: CASA LUKER.

### c. Estructura cristalina y polimorfismo de las grasas

Se debe conocer que existen tres principales formas en la que las grasas se cristalizan, las cuales se denominan formas polimórficas.

El polimorfismo es la capacidad de una sustancia para cristalizarse en más de un tipo de estructura cristalina. Teniendo esto en cuenta, todas las grasas son polimórficas. Algunos, sin embargo, alcanzan su forma de cristal estable de manera rápida y fácil considerándolos, "*no polimórficos*". Otros, como la manteca de cacao, que tienen gran cantidad de formas polimórficas, deben de procesarse de maneras muy específicas para que alcancen la cristalización de forma estable. Las tres formas polimórficas principales son, en orden de estabilidad creciente:

- alpha ( $\alpha$ )
- beta-prima ( $\beta'$ )
- beta ( $\beta$ )

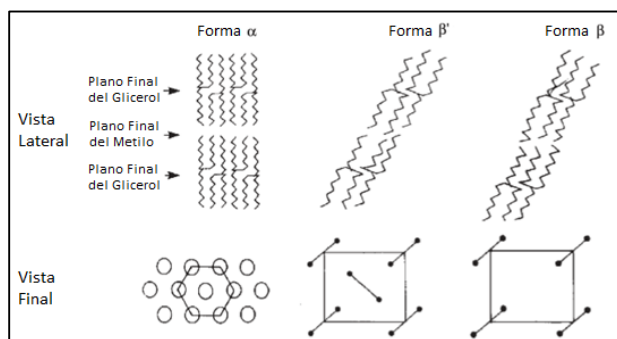
Muchas de las grasas son estables en la forma  $\beta'$  y no alcanzan la forma  $\beta$ ; mientras que otros (como la manteca de cacao) necesitan cristalizarse en la forma  $\beta$  para una estabilidad total.

La forma  $\alpha$  tiene sus cadenas de ácidos grasos perpendiculares a la vista final, pero cuando se ve en el extremo, tiene una conformación hexagonal en la que cada molécula está ubicada en cada punto del hexágono.

La forma  $\beta'$  las cadenas de ácidos grasos están ahora en un ángulo con respecto al plano final, mientras que, si es visto en la forma final, se observa una figura conocida como sub-celda ortorrómbica, donde se observa que las cadenas de ácidos grasos adyacentes se encuentran mutuamente perpendiculares. Esto da la forma  $\beta'$  una agrupación más estable y sólido que en la forma  $\alpha$ .

La forma  $\beta$ , es el tipo de agrupación más cerrado de los tres, el ángulo de las cadenas de ácidos grasos se inclina ligeramente más lejos de la perpendicular y donde las cadenas finales se encuentran agrupadas en una sub-célula triclinica. En esta sub-célula, todas las cadenas de ácidos grasos se encuentran paralelas entre sí.

**Figura N° 5: Estructura de cristal de las Principales formas Polimórficas**

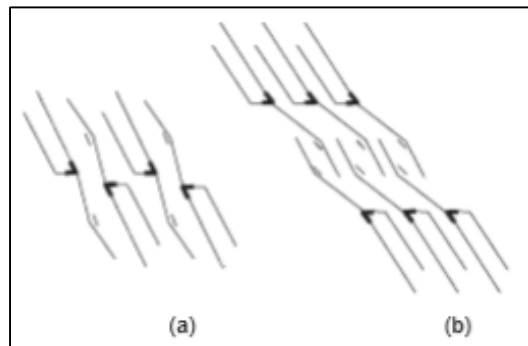


Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. York, UK: Blackwell Publishing.

Los triglicéridos normalmente se agrupan en dos tipos de estructuras: “silla” o “diapasón”. Donde, además se forman dos tipos de agrupaciones de las cadenas de ácidos grasos:

- Empaquetamiento de doble cadena: en la cual la longitud de la sub-célula es de dos cadenas de ácidos grasos, muchas de las grasas se cristalizan de esta manera. Figura N°6.a
- Empaquetamiento de triple cadena: donde, la sub-célula es formada por tres cadenas de ácidos grasos, esta se encuentra en menor cantidad que el de doble cadena. Figura N°6.b

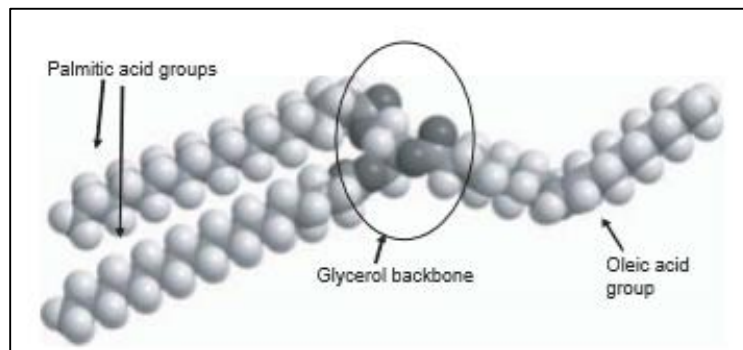
**Figura N° 6: Estructura Doble (a) - Triple (b) cadena tipo POP**



*Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. York, UK: Blackwell Publishing.*

El empaquetamiento de triple cadena es el caso para los triglicéridos simétricos, en los cuales los ácidos grasos saturados están en las posiciones 1 y 3 y el ácido oleico en la posición 2. Los más importantes de estos son POP (Figura N°7), POSt y StOSt, los principales triglicéridos en la manteca de cacao.

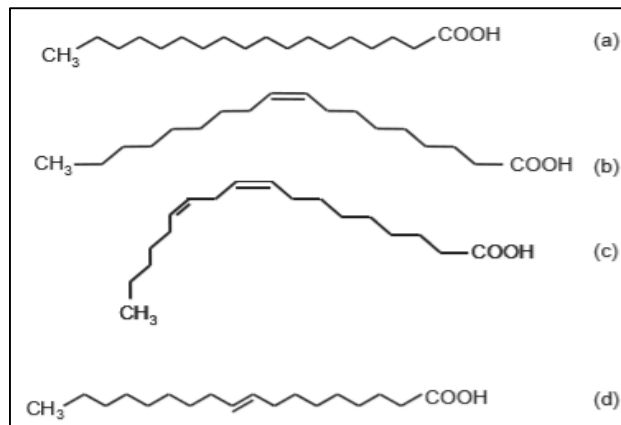
**Figura N° 7: Estructura tipo POP (1,3-dipalmitoil, 2-oleoglilceroil)**



*Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. York, UK: Blackwell Publishing.*

Como se observa en la Figura N°8, se tienen 4 estructuras de ácido graso, en donde al pasar por una serie de eventos y secuencias, culmina (para el caso de la manteca de cacao) en la forma a. Donde, al encontrarse en una configuración de cadena triple, los grupos de ácido oleico en las moléculas adyacentes están uno junto al otro, lo que permite un ajuste mucho más cercano en el cristal y un sistema mucho más estable como en la Figura N°6. b.

**Figura N° 8: Estructuras del ácido graso. (a) ácido graso saturado ácido esteárico; (b) ácido graso cis-monoin saturado ácido oleico; (c) ácido graso poliinsaturado ácido linoleico; (d) ácido graso trans-monoin saturado ácido eláidico**



*Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. York, UK: Blackwell Publishing.*

Como se mencionó anteriormente, el chocolate posee alto grado de polimorfismo, donde anteriormente fueron considerados seis formas polimórficas distintas según Wille y Lutton (1966) y Larsson (1966).

- Larsson definió seis variantes y subconjuntos de las tres formas polimórficas principales.
- Wille y Lutton describió seis formas teniendo en consideración la estabilidad de forma creciente.

**Tabla 6: Polimorfismo de la Manteca de Cacao**

Wille y Lutton	Larsson*	Punto de Fusión (°C)	Cadena de empaquetado
Forma I	sub- $\alpha$	16-18	Doble
Forma II	$\alpha$	21-22	Doble
Forma III	$\beta'_2$	25.5	Doble
Forma IV	$\beta'_1$	27-29	Doble
Forma V	$\beta_2$	34-35	Triple
Forma VI	$\beta_1$	36	Triple

\* Los subíndices indican que "1" posee mayor estabilidad que "2"

Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. York, UK: Blackwell Publishing.

Sin embargo, en la actualidad se considera se la siguiente manera:

**Tabla 7: Polimorfismo de Manteca de Cacao en la actualidad**

Wille y Lutton	Polimorfismo Básico	Punto de Fusión (°C)	Estabilidad
Forma I	sub- $\alpha$	0	Menos Estable
Forma II	$\alpha$	17	Meta estable
Forma III - IV	$\beta'$	21-28	Meta estable
Forma V	$\beta_v$	31.5	Estable
Forma VI	$\beta_{vi}$	33.5	Más Estable

Fuente: Beckett, Stephen T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. York, UK: Blackwell Publishing.

Concluyendo que las formas ideales para considerar la forma estable de la manteca de cacao y alcanzar la cristalización ideal, son las Formas V y VI según Wille y Lutton, o lo que hoy en día se considera  $\beta_v$  y  $\beta_{vi}$ .

### 2.1.3. Máquinas de Temperado

En la industria actualmente se utilizan equipos autónomos que realizan todo el proceso, de cuales se tienen:

- **Hosokawa Kreuter:**

Esta modelo consta de un tanque de chocolate en el cual el chocolate es pre-enfriado y luego súper-enfriado, una bomba recircula el chocolate realizando una mezcla desde el fondo hacia

la parte superior del tanque y adicionalmente un mezclador realiza un ligero batido para generar un buen intercambio de calor en las paredes del tanque.

Luego la temperatura se eleva de manera gradual por un periodo de tiempo este periodo induce el crecimiento de cristales maduros una vez llegado a este punto la temperatura se eleva un poco para evitar la solidificación del fluido.

Esta máquina presenta ventajas y desventajas de las cuales, las más resaltantes son:

***Ventajas:***

- 1) Es posible con un periodo de tiempo diseñado el crear un óptimo chocolate maduro.
- 2) Como la temperatura del chocolate es alta es posible removerla del recipiente debido a la baja viscosidad.
- 3) Es posible utilizar este método en todos los tipos de chocolate.
- 4) El Chocolate temperado por medio de este método está listo para su uso inmediato.

***Desventajas:***

- 5) Se requieren tanques de grandes dimensiones para que funcione el sistema si los tanques son pequeños existirán problemas de espacio al momento de realizar el batido del chocolate.
- 6) El proceso toma demasiado tiempo en realizarse lo cual genera costos adicionales.

- **Aasted**

Esta máquina de temperado es una unidad vertical que consiste en una pila de placas que intercambian calor mientras giran, estas placas tienen una cabina la cual es llamada también *zona de retención*, en esta cabina el chocolate intercambia la temperatura y el mismo tiempo es mezclado realizando intercambio continuamente para proporcionar un enfriamiento y mezcla eficientes del fluido.

Luego los discos aumentan la temperatura mientras continúan girando de esta manera logran temperar completamente todo el chocolate.

Este dispositivo de temperado es bastante utilizado en plantas de moldeado además de que ocupa un espacio mucho menos a comparación con otro tipo de máquinas.

- **Sollich**

Sollich es una compañía, que creo un método muy ingenioso al momento de realizar el temperado, estos incluyen: de una sola corriente, doble corriente y múltiples corrientes, por “corrientes” se puede entender que son mezclas previas o también pueden representar una nueva mezcla no temperada.

Sollich ha creado temperadores combinados los cuales incluyen modelos como Solltemper MST-V y el MSV turbo.

Con el Solltemper MST-V, Sollich ha desarrollado un intercambiador de calor de placas para temperar el chocolate el cual pretende tener más tiempo de residencia, “crecimiento de microcristales” y acondicionadores de temperatura cíclicos, el uso de scrapers especiales crea que esta máquina tenga un tiempo de residencia de 5 minutos. Este templador a probado que combinar bien las máquinas de mezcla produce un buen templado sin embargo la calidad de temperado no es la misma de la que se puede conseguir con tanques de largo tiempo de residencia.

- **APV Baker**

Los primeros diseños de estas máquinas tuvieron problemas asociados con el bajo tiempo de residencia, sin embargo, fueron solucionado usando una mezcladora variable con tiempo de retención entre 15 y 60 min, logro crear una eficiente agitación para crear la más estable máquina de cobertura de chocolate.

El principio de esta máquina fue aplicado al templado en lugar de tener solo un tanque o un cobertor se creó la máquina de templado Baker Perkins 105 TU ACS con una zona real de retención localizada aproximadamente en la mitad del templador las ventajas de este modelo son:

- 1) Alta presión de chocolate al ser bombeado.
- 2) Mejoras en la seguridad de la puesta en marcha.
- 3) Mayor cantidad de cortes en los discos enfriadores de Arquímedes.
- 4) Transición en la maduración de zona de mezclado dándole una mejora a la dureza de los cristales.

#### **2.1.4. Máquina de Empaquetado**

- **FWL280 Envolvedora Flow Pack (BAFU, 2018)**

Adecuado para el embalaje de los productos sólidos con forma regular, como galletas, chocolate.

Esta máquina contiene un sistema de control automático con detección por sensores fotoeléctricos y de seguimiento bidireccional a fin de eliminar el error de embalaje y reducir el desperdicio de película de embalaje y las materias primas, además cuenta con un sistema de control de temperatura y una pantalla de operación intuitiva

Actualmente las especificaciones estándar de este modelo son las siguientes:

1. Velocidad: hasta 280 paquetes / min
2. Embalaje de longitud: 70-350 mm
3. Altura del producto: hasta 25 mm
4. Voltaje: 220V, 50 Hz
5. Potencia total: 2,5 KW

6. Dimensiones (mm): 3060 (L) x 2420 (W) x 1450 (H)
7. Peso: 600 Kg
8. El material de envoltura: CPP / PET CPP / BOPP

- **Empacadora automática tipo almohadilla** (DELANI, 2018)

Esta empacadora es ideal para barras de chocolate o bombones. La carga se coloca de manera continua y el equipo forma y sella el empaque de manera automática. Posee un controlador táctil con parámetros legibles y su accionar es de gran velocidad. Utiliza tecnología de fotoceldas y sensores de posición para el correcto cortado y sellado del film, respetando las figuras impresas en el empaque. Su pantalla táctil provee diagnóstico de desperfectos e indicador de alertas. Trabaja con distintos anchos de film mediante el ajuste del formador regulable. La longitud del empaque puede ajustarse mediante el cambio de parámetros en la pantalla táctil en un solo paso. Ahorrando tiempo y film.

Dentro de sus especificaciones tenemos:

1. Modelo chocopack
2. Ancho del empaque: 30-110 mm
3. Largo del empaque: 36-190 a 120-280 mm
4. Altura del producto: máx. 45 mm
5. Material del film: opp/cpp, opp/pe
6. Velocidad de empaqueo: 40-230 unid/min
7. Peso: 350 Kg
8. Dimensiones: 3770x670x1450 mm

### **2.1.5. Instrumentos de medición de nivel**

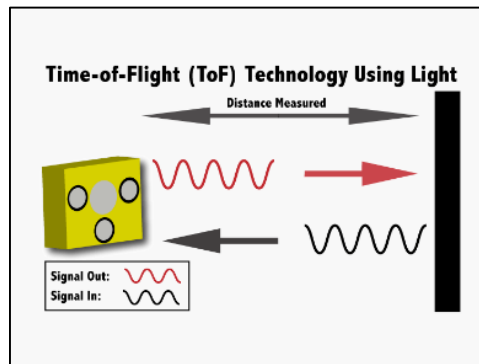
#### **a. Sensor Ultrasónico** (Wiki de Robótica, -):

##### ***Principio ToF:***

Este principio se basa en la emisión de una onda (mecánica o electromagnética), esta onda se propaga a una velocidad  $c$  una vez liberada esta sigue un recorrido hasta llegar a una superficie en la cual se refleja y esta onda reflejada regresa al emisor una vez ocurrido esto el dispositivo mide el tiempo transcurrido desde la emisión de la onda hasta que esta regresa a el dispositivo emisor una vez obtenido estos datos el dispositivo calcula la distancia en base a los datos obtenidos, donde su principal componente es el elemento piezoeléctrico (cerámico o de cristal) que además puede presentar deformaciones aplicándole un voltaje y la polaridad en la que se encuentre.



**Figura N° 9: Desarrollo del Principio ToF**



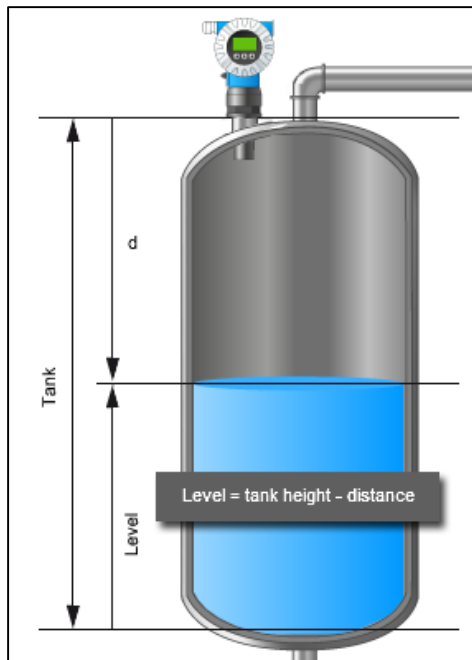
Fuente: Terabee. (2018). *Time of Flight Principle*. 2018, de Terabee Sitio web: <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>

Puesto que este instrumento tiene la necesidad de enviar y recolectar señal enviada por sí mismo, es imprescindible colocarlo en un punto elevado (para el caso de tanques con material en el interior) y así mismo se obtiene la siguiente ecuación la cual se encuentra en relación distancia-tiempo:

$$d = v \cdot \frac{t}{2}$$

*Ecuación 6: Ecuación de la distancia para un Sensor Ultrasónico*

**Figura N° 10: Ubicación del sensor en un tanque.**



Fuente: Endress + Hauser. (2018). *Sensor Ultrasónico Nivel Caudal*. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/sensor-ultrasonico-nivel-caudal>

**Tabla 8: Cuadro comparativo de los pro y contra del sensor ultrasónico**

<b>Ventajas</b>	<b>Límites</b>	<b>Restricciones</b>	<b>Despreciable</b>
Auto-limpieza: por efecto mechanical deflection	Formación de espumas: La espuma absorbe la señal.	Condensación: genera errores en la señal	Humedad.
Independiente de constante dieléctrica	Capas de gas: Los gases cambian la composición del aire y por lo tanto la velocidad del sonido.	Alta formación de polvos: absorbe la señal	Cambios de presión del aire:
Método sin contacto	Vacío: En el vacío no hay propagación de señales mecánicas	Viento: desvía la señal mecánica	
Tecnología probada y comprobada	Temperatura: La temperatura afecta la señal pero es compensada con el sensor interno	Ruido (cortinas de llenado): Produce interferencias	

**b. Radar:**

Este método de reflexión se basa en el tiempo de retorno de un pulso de microondas emitido por un sensor. Las microondas u ondas de radar se reflejan por la diferencia de impedancia entre el aire y el producto y el mismo sensor vuelve a detectarla. El tiempo de retorno de la señal es una medida de la altura de la sección vacía del tanque. Si a esta distancia se le resta la altura total del tanque se obtiene el nivel del producto. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica.

Este método presenta ventajas con respecto al ultrasonido debido a que las ondas se reflejan cuando detectan un cambio de la constante dieléctrica lo cual lo hace inmune a varias propiedades del proceso como, por ejemplo: polvo, presión, viscosidad, vacío, espuma y humedad.

**Figura N° 11: Tipos de antenas de los sensores de radar**



Fuente: QuimiNet. (2018). *Por qué preferir la tecnología radar para la medición de nivel*. 2018, de QuimiNet  
 Sitio web: <https://www.quiminet.com/articulos/por-que-preferir-la-tecnologia-radar-para-la-medicion-de-nivel-31062.htm>

Un método utilizado con los radares es el **Radar de onda guiada** (GWR) (Hernandez, 2011).

Es un método de medición de nivel en contacto que utiliza una sonda para guiar a alta frecuencia ondas electromagnéticas de un transmisor a los medios de comunicación que se está midiendo.

GWR se basa en el principio de reflectometría de dominio temporal (TDR). Con el TDR, un pulso de baja energía electromagnética es guiado a lo largo de una sonda. Cuando el pulso llega a la superficie del medio que se está midiendo, la energía del pulso se refleja hasta la punta de prueba al circuito que calcula el nivel de líquido sobre la base de la diferencia de tiempo entre el pulso se envían y reciben el pulso reflejado. El sensor puede dar salida a nivel de análisis como una lectura de medición continua a través de una salida analógica, o puede convertir los valores en las señales de salida de conmutación libremente posicionable.

A diferencia de las tecnologías más antiguas, GWR ofrece lecturas de medición que son independientes de la industria química o propiedades físicas de los medios de proceso con el que está en contacto. Además, GWR realiza igualmente bien en líquidos y sólidos.

**Tabla 9: Cuadro comparativo entre ultrasonidos y ondas guiadas**

<b>Transmisores por ultrasonidos</b>	<b>Radar de onda guiada</b>
Principio de Medición	
Las ondas de sonido	Alta frecuencia de impulsos de radar
Tipo de contacto	
De medición sin contacto	Tiene contacto
Límites de funcionamiento	
Limitado para presiones y temperaturas altas	Altas presiones y temperaturas no afectan el rendimiento

Montaje	
Montaje superior	Montaje superior
Condiciones ambientales y de aplicación	
Condiciones afectan la medición	No se ve afectado por condiciones ambientales
Resultados globales	
Aceptable El rendimiento se basa en la fuerza de la onda de sonido reflejado o eco	Excepcionales Se desempeña bien independientemente de las condiciones del proceso

**c. Horquilla vibratoria (ENDRESS + HAUSER, 2018)**

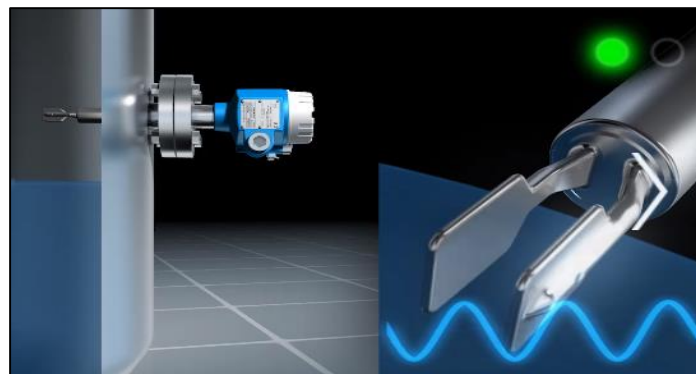
Para la detección de nivel en *líquidos*, se excita un sensor con forma de diapasón a su frecuencia de resonancia. El dispositivo mecánico funciona de forma piezoeléctrica. La frecuencia de oscilación cambia cuando la horquilla se introduce en el producto. El cambio se analiza y traduce en una señal de conmutación.

En *sólidos* un sensor de varilla única se excita a su frecuencia de resonancia. El dispositivo mecánico funciona de forma piezoeléctrica. La frecuencia de oscilación cambia cuando la horquilla se introduce en el producto. El cambio se analiza y traduce también en una señal de conmutación.

**En líquidos:**

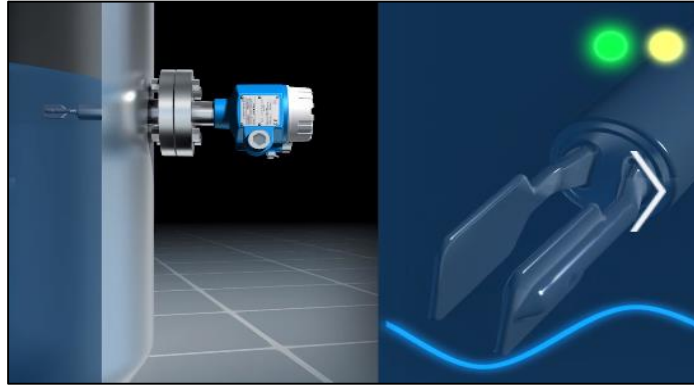
En la comparación de la Figura N°12 y 13, se observa que existe un cambio en la frecuencia de oscilación cuando el líquido cubre al sensor, esto es aprovechado por el dispositivo para reconocer que el nivel del tanque ha llegado hasta un punto.

**Figura N° 12: La Onda antes del contacto con el fluido**



*Fuente: Endress + Hauser. (2018). Detector nivel vibratorio. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-vibratorio>*

**Figura N° 13: La Onda después del contacto con el fluido**

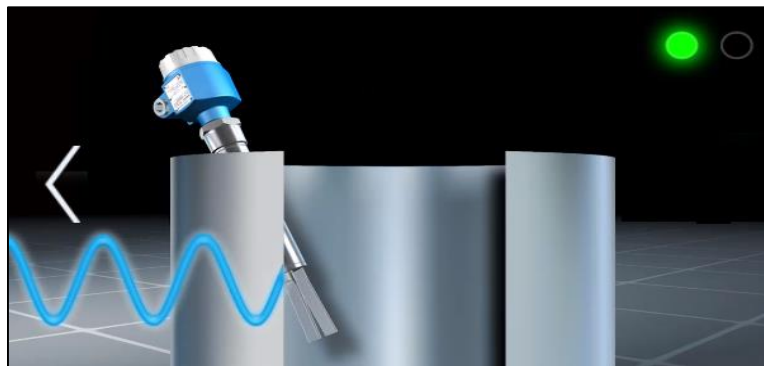


*Fuente: Endress + Hauser. (2018). Detector nivel vibratorio. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-vibratorio>*

**En sólidos:**

En este caso el parámetro que se modifica es la amplitud de la señal con la cual trabaja el dispositivo, la electrónica realiza la comparación entre la amplitud inicial y la amplitud luego de que el sólido se encuentra en contacto con el sensor y ahí se produce una señal que indica que el nivel llegó hasta cierto punto.

**Figura N° 14: La onda antes de tener contacto con el fluido**



*Fuente: Endress + Hauser. (2018). Detector nivel vibratorio. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-vibratorio>*

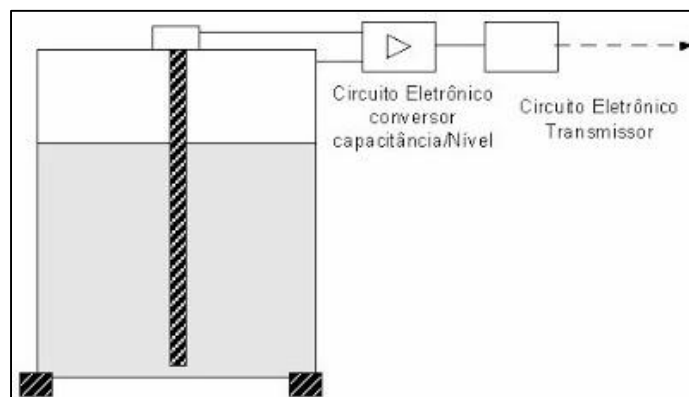
**Figura N° 15: La Onda luego de tener contacto con el fluido**



*Fuente: Endress + Hauser. (2018). Detector nivel vibratorio. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-vibratorio>*

#### **d. Medición por principio capacitivo (Antech, 2018)**

**Figura N° 16: Principio Capacitivo representado en Bloques**



*Fuente: Antech. (2018). Medidor de nivel capacitivo. 2018, de Antech Sitio web: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/2008/12/medidor-de-nivel-capacitivo.html>*

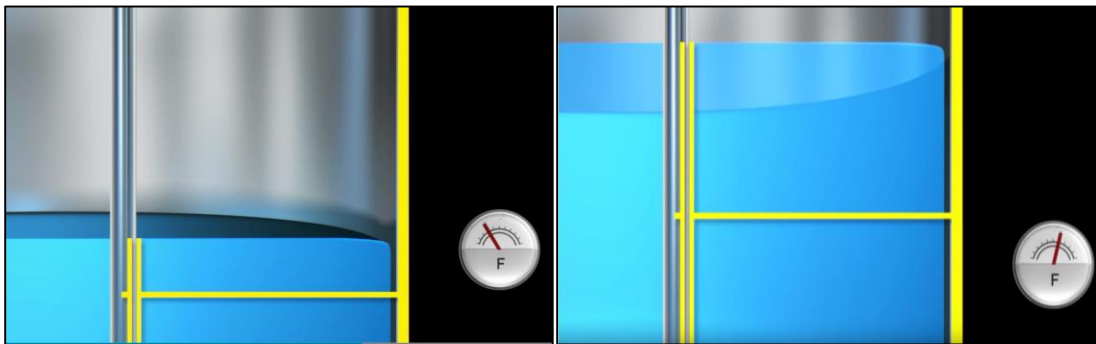
Medidor de nivel capacitivo; mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del estanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

La precisión de los transductores de capacidad es de  $\pm 1\%$ .

Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado. Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura.

**Figura N° 17: Izquierda capacitancia en nivel bajo. Derecha capacitancia en nivel alto.**

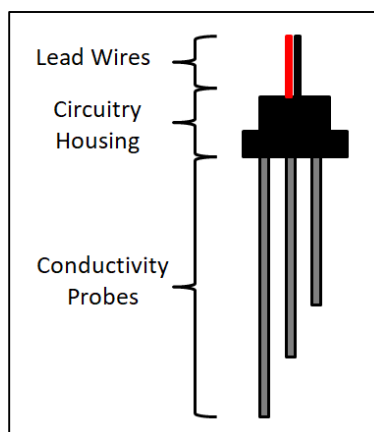


*Fuente: Endress + Hauser. (2018). Medición detección nivel capacitiva. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-deteccion-nivel-capacitiva>*

#### **e. Medición por sensor conductivo (Interempresas, 2018)**

En conmutadores de nivel conductivo, una señal de salida está conectada a un electrodo aislado. Cuando el medio entra en contacto con el electrodo, una corriente mínima fluye por el medio a la caja. Un amplificador de voltaje eléctrico recoge esta corriente y la envía como una señal.

**Figura N° 18: Diagrama de un sensor Conductivo**

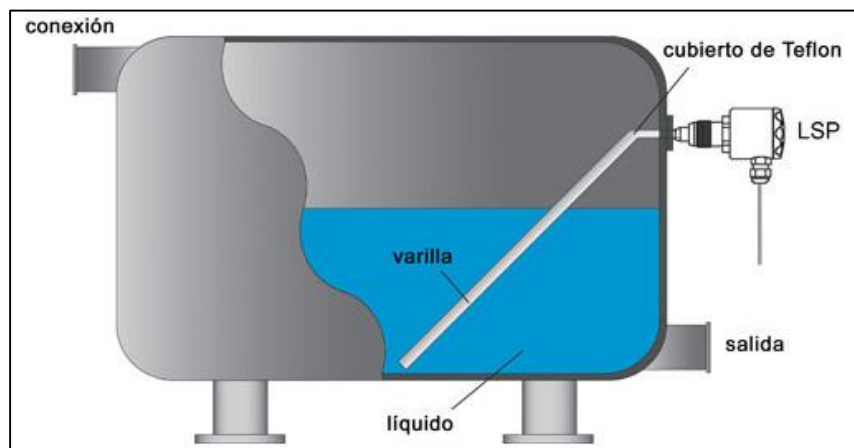


*Fuente: SMD fluid controls. (2018). Liquid level control utilizing conductivity sensors. 2018, de SMD Sitio <http://www.fluidswitch.com/blog/liquid-level-control-utilizing-conductivity-sensors/>*

El hecho de que no esté afectada por la presión, la densidad, la temperatura o la constante dieléctrica abren una amplia variedad de aplicaciones para esta tecnología.

**Para medición continua.** El método de medición se basa en una varilla de medición resistiva que se introduce en un líquido conductivo. Un oscilador genera una corriente alterna, que es alimentada a toda la varilla de medición. Dependiendo del nivel respectivo, un flujo de corriente proporcional es capturado entre la varilla y la pared metálica del tanque o un electrodo de referencia y luego dirigido a un amplificador. La resistencia del líquido disminuye proporcionalmente a la parte sumergida de la varilla. Si el líquido es homogéneo, se proporciona una medición lineal del nivel lleno y, por tanto, una salida de señal lineal de 4 a 20 mA. Este dispositivo de medición de nivel es ideal para usar con sustancias resistentes o incluso pastosas como la miel o la pasta de dientes. Si la formación de espuma impide la medición, una capa de PTFE de la parte de no medición de la varilla asegura que no haya falsas señales.

**Figura N° 19: Sistema utilizando un sensor conductivo**



*Fuente: SMD fluid controls. (2018). Liquid level control utilizing conductivity sensors. 2018, de SMD Sitio <http://www.fluidswitch.com/blog/liquid-level-control-utilizing-conductivity-sensors/>*

### **2.1.6. Instrumentos de medición de temperatura**

Existen varios métodos para la medición de temperatura por diferentes principios físicos entre los cuales los más importantes son:

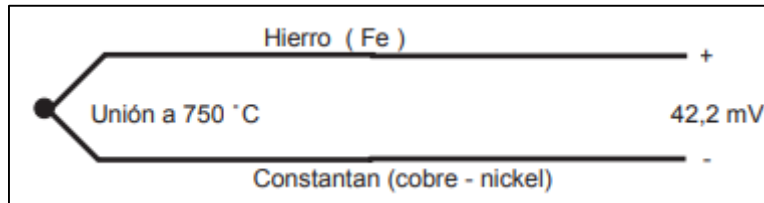
#### **a. Las termocuplas**

Los cuales son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla en su forma más básica se crea con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al variar la temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño por efecto termoeléctrico, este voltaje tiene una unidad de



mili volts el cual aumenta con la temperatura. Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de una aleación de aleación de cobre y níquel, Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 mili volts. (Arian Control & Instrumentation, 2018)

**Figura N° 20: Esquema básico de una termocupla**



*Fuente: Arian Control & Instrumentation. (2018). ¿Que son y cómo funcionan las termocuplas? 2018, de Arian Sitio <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>*

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio.

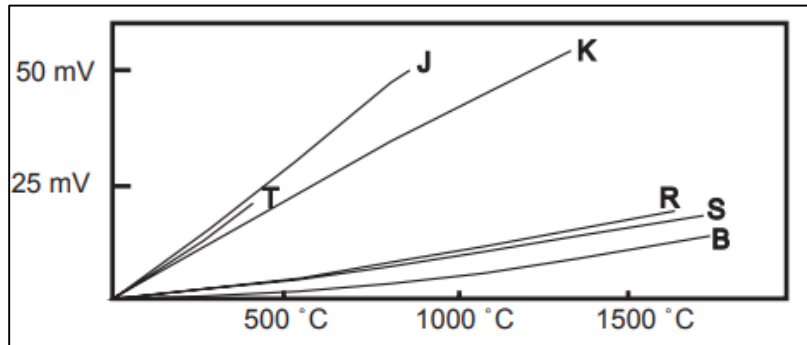
### **Usos típicos en la industria**

- Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).
- La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo, fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.
- Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).
- Las termocuplas tipos T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100.

### **Linealización**

Los valores entregados del voltaje entregado por la termocupla y la temperatura son lineales, por tanto, es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura y efectuar la linealización, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde este voltaje.

**Figura N° 21: Representación de la linealización de una termocupla**

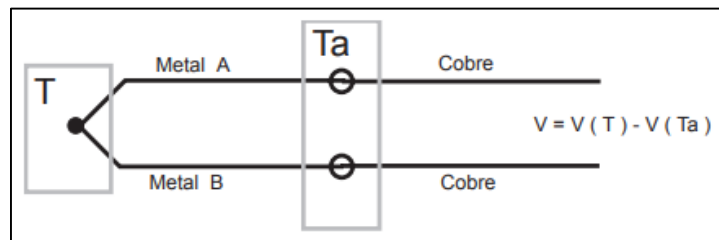


Fuente: Arian Control & Instrumentation. (2018). *¿Que son y cómo funcionan las termocuplas?* 2018, de Arian Sitio <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

### "Compensación de cero"

El principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de "compensación de cero". Esto se debe a que, en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre. En ese punto se producirán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente ( $T_a$ ) en el punto del empalme.

**Figura N° 22: Esquema de un modelo compensación a Cero**



Fuente: Arian Control & Instrumentation. (2018). *¿Que son y cómo funcionan las termocuplas?* 2018, de Arian Sitio <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltajes ( $T_a = 0$  y luego  $V(T_a) = 0$ ) para evitar que afecten la medición. Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en ese punto mediante sensores de temperatura adicionales y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real. El punto de empalme (llamado "unión o juntura de referencia") es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable de la termocupla hasta el mismo instrumento.

**b. Termo resistencias (RTD) (Universidad De Buenos Aires, 2018)**

La termo resistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia varia proporcionalmente, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Para su uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados.

El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubo metálico cerrado en un extremo que se llena con un polvo aislante y se sella con cemento para impedir que absorba humedad

La relación fundamental para el funcionamiento es:

$$R_t = R_o(1 + \alpha \cdot t)$$

***Ecuación 7: Ecuación de la RTD***

Donde:

$R_o$ : resistencia en ohmios a 0 grados Celsius

$R_t$ : resistencia en ohmios a t grados Celsius

$\alpha$ : coeficiente de temperatura de la resistencia. Los materiales utilizados para los arrollamientos de termo resistencias son fundamentalmente platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno.

El platino encuentra aplicación dentro de un amplio rango de temperaturas y es el material más estable y exacto. En efecto, la relación resistencia-temperatura correspondiente al alambre de platino es tan reproducible que la termo resistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde -260°C hasta 630°C.

**Tabla 10: Cuadro de valores por cada tipo de material empleado en las RTD**

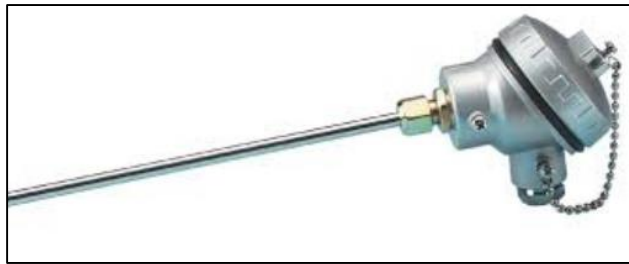
	Rango de Operación (°C)	Precisión (Grados)
Platino	-200 a 950	0.01
Níquel	-150 a 300	0.50
Cobre	-200 a 120	0.10

En general el sensor viene introducido dentro de un tubo protector metálico de acero inoxidable o construido de aceros especiales o aleaciones, como el Inconel, Incoloy y Hastelloy.

Su construcción puede hacerse con 2, 3 o 4 cables, según la necesidad del proceso.

La interconexión entre termo resistencias e instrumentos se realiza con cable común de cobre. En cambio, en el caso de las termocuplas deben emplearse cables especiales de compensación, de costo superior.

**Figura N° 23: Termopozo de PT100**



*Fuente: Shriji Instruments. (2018). RTD Pt100 SENSORS. 2018, de Shriji Instruments Sitio [http://shrijiinstruments.com/?page\\_id=107](http://shrijiinstruments.com/?page_id=107)*

### **2.1.7. Instrumentos de medición de flujo**

La medición de flujo es importante en nuestro proceso, tiene dos funciones principales en nuestro proceso la primera es para indicar al operario con cuanta materia prima se encuentra trabajando y también en modo de protección principalmente para las bombas que utilizaremos, debido a que si las bombas están encendidas y no tienen un flujo mínimo esto resulta en daños a las bombas las cuales tienen un costo significativo en comparación con los demás instrumentos.

#### **a. Medición de flujo por placa orificio (Rubio, 2018)**

Este principio de medición de flujo se basa en una reducción de la presión provocada por una restricción en el interior de la tubería, cuando el fluido que pasa por esta restricción aumenta su velocidad y simultáneamente reduce su presión. Se mide esta diferencia de presión para así calcular la velocidad del fluido basándonos en el teorema de Bernoulli.

#### **¿Qué son placas de orificio?**

La placa de orificio es un disco con un orificio concéntrico, excéntrico o segmentado y se coloca perpendicular a la tubería. El diámetro exterior es igual al espacio interno que existe entre los tornillos de las bridas del montaje.

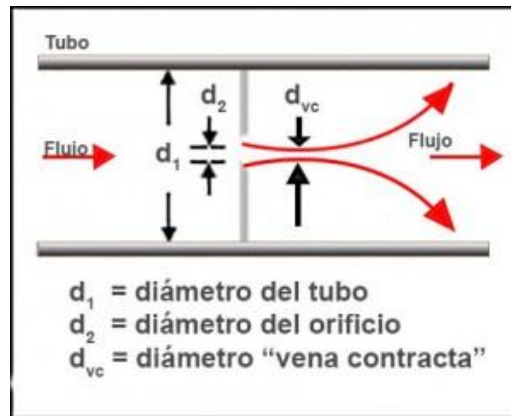
El diámetro exterior es igual al espacio interno que existe entre los tornillos de las bridas del montaje. El espesor del disco depende del tamaño de la tubería y la temperatura de operación. Este método es el más utilizados en la industria ya que ofrece una solución económica y robusta para aplicaciones con un turn down hasta 4:1 y no requiere calibración periódica. Para instalar una placa de orificio, se utilizan bridas de medición en lugar de las

bridas convencionales, donde los puntos de toma de presión se mecanizan por parejas en la brida, lo que elimina la necesidad de soportes en la placa o conexiones en la pared del tubo.

### ¿Cómo funcionan las placas de orificio?

Cuando el fluido pasa a través de la placa de orificio, disminuye su presión hasta que alcanza su mínimo en un área denominada “vena contracta”. En este punto se obtiene el valor mínimo de presión y la máxima velocidad. Luego la presión vuelve a incrementarse, pero ya no recupera su valor anterior debido a pérdidas causadas por turbulencias y fricciones. La diferencia de presión que ocasiona la placa de orificio permite calcular el flujo.

**Figura N° 24: Diagrama básico de una medición por placa de orificio**



Fuente: Rubio, Laura. (2018). Elementos primarios de caudal placas de orificio. 2018, de Kiwia Instruments  
Sitio <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/caudal/elementos-primarios-de-caudal-placas-de-orificio/>

Las placas de orificio son óptimas para aplicaciones en estas condiciones:

1. Temperatura máxima de servicio hasta 800 °C.
2. Presión máxima de trabajo hasta 400 bar
3. Aptos para medición de líquidos, gases y vapor de agua.
4. Precisión  $\pm 0,5$  % del caudal efectivo o máximo.
5. Repetitividad de la medición 0,1.

#### **b. Fluxómetro electromagnético (ECURED, 2018)**

Es un dispositivo electrónico de uso universal, de muy baja mantención y alta precisión

Se basa en la Ley de Faraday la cual expresa que, al pasar un fluido conductivo a través de un campo magnético, se produce una fuerza electromagnética (F.E.M.), directamente proporcional a la velocidad del mismo, de donde se puede deducir también el flujo.

Está formado por un tubo, revestido interiormente con material aislante (Liner). En dos puntos diametralmente opuestos de la superficie interna se colocan dos electrodos metálicos, entre los cuales se genera la señal eléctrica de medida.

La diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de mili voltios, por lo que dicha señal tiene que ser amplificada mediante un dispositivo secundario denominado convertidor, que proporciona una señal de salida en miliamperios, en voltios o en impulsos según requiera el caso.

Puesto que los electrodos tienen que hacer un contacto con el fluido, su material tiene que tener compatibilidad química con el fluido que circula de no ser el caso el equipo se deteriora rápidamente. Entre los materiales más utilizados se pueden citar los siguientes: acero inoxidable no magnético, platino/iridio, monel, hasteloy, titanio, y circonio para líquidos particularmente agresivos.

En la parte externa se colocan los dispositivos para generar el campo magnético, y todo se recubre de una protección externa, con diversos grados de seguridad.

Los fluxómetros electromagnéticos son usados para medir flujo volumétrico en líquidos conductivos. Son equipos de uso universal, de muy baja mantención y alta precisión, los cuales encuentran aplicación en procesos industriales, industria de alimentos y plantas de tratamiento de aguas.

#### **Ventajas:**

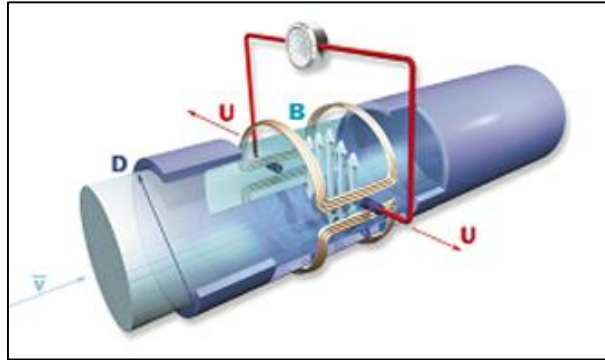
- No presentan obstrucciones al flujo, por lo que son adecuados para la medida de todo tipo de suspensiones, barros, melazas, etc.
- No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.
- Se fabrican en una gama de tamaños superior a la de cualquier otro tipo de medidor.
- No son prácticamente afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión temperatura y dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.
- No son seriamente afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del medidor.
- La señal de salida es, habitualmente, lineal.
- Pueden utilizarse para la medida del caudal en cualquiera de las dos direcciones.

#### **Desventajas:**

- El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica.

Para fines industriales el límite práctico es del orden de 10 mho cm. Esto significa que los líquidos acuosos pueden manejarse adecuadamente, lo que no ocurre con líquidos orgánicos. La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.

**Figura N° 25: Esquema de funcionamiento de un Caudalímetro electromagnético**



Fuente: Contaflow. (2018). Caudalímetro electromagnético. 2018, de Contaflow Sitio <https://caudalimetrosyautomatizacion.com/caudalimetros/electromagneticos/>

### c. Funcionamiento de un Fluxómetro ultrasónico (ECURED, 2018)

Fundamentalmente existen dos tipos de medidores ultrasónicos uno conocido como de tiempo de tránsito o de propagación que utiliza la transmisión por impulsos, el otro tipo se basa en el Efecto Doppler que usa la transmisión continua de ondas.

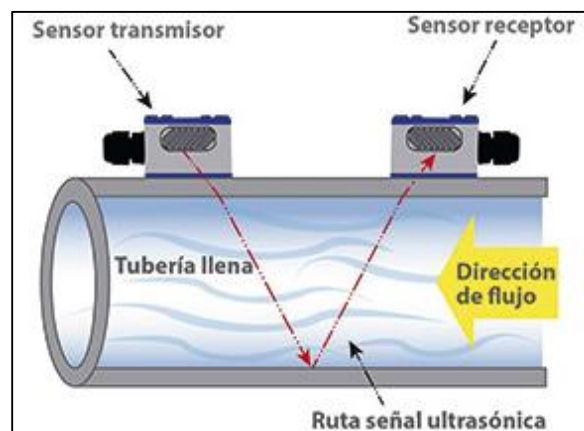
- Los de **tiempo de tránsito**, tienen dos transductores colocados a ambos lados del flujo, utilizando ondas de sonido que viajan entre los dispositivos con una inclinación de 45 grados una respecto a la dirección de flujo del líquido, la otra en contra del fluido más el conocimiento sobre la geometría de la cañería y la velocidad del sonido en el medio nos ayudan a calcular la velocidad del fluido o el caudal. Un ejemplo que explica su funcionamiento es el de dos canoas atravesando un río sobre una misma línea diagonal, una en el sentido del flujo y la otra en contra del flujo, la canoa que se desplaza en el sentido del flujo necesitará menos tiempo en alcanzar su objetivo.

- Los de **transmisión continua** de ondas (Efecto Doppler), miden los cambios de frecuencia causados por el flujo del líquido. Se colocan dos sensores cada uno a un lado del flujo a medir y se envía una señal de frecuencia conocida a través del líquido, los sólidos, burbujas y discontinuidades en el líquido harán que el pulso enviado se refleje, pero como el líquido que causa la reflexión se está moviendo la frecuencia del pulso que retorna también cambia y ese cambio de frecuencia será proporcional a la velocidad del líquido.

## Características

- No presentan obstrucciones al flujo.
- No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.
- Los transductores son incorporados en el cuerpo del medidor, sin necesidad de juntas en contacto con el fluido.
- No se necesita tubería en derivación ni válvulas de aislamiento, ya que todos los elementos activos pueden reemplazarse sin contacto alguno con el líquido.
- Para tuberías de diámetros superiores a 400 mm ofrecen una solución competitiva.
- Su fácil instalación reduce los costes de mantenimiento, y además la medición, sin apenas pérdida de carga, reduce los costes energéticos.
- Ofrecen una alta fiabilidad y eficiencia.
- No hay riesgos de corrosión en un medio agresivo.
- Presión máxima de conexión 25 bar.
- Operan en un gran rango de temperaturas (-10° a 70°) (-30° 180°) dependiendo del sensor y se ofrece la posibilidad de comprar sensores con características especiales para aplicaciones concretas.

**Figura N° 26: Diagrama básico de una medición por principio ultrasónico**



Fuente: Electro Industria. (2018). Medición de flujo por ultrasonido. 2018, de Electro Industria Sitio <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3217&xit=medicion-de-flujo-por-ultrasonido>

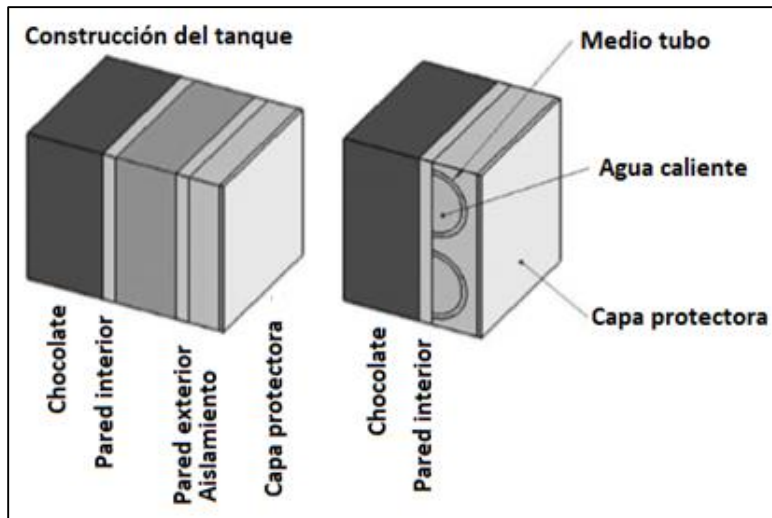
### 2.1.8. Tanque de almacenamiento del chocolate

Las características que deben de poseer los tanques que almacenarán el chocolate, durante la mayor cantidad de tiempo antes y durante el proceso, deben de ser similares a las tuberías y maquinaria que se utilice en planta, es decir, deben de poseer cualidades para mantener una temperatura constante de alrededor 40 - 45°C, y una humedad relativa a esta temperatura debe ser aproximadamente del 30%, donde se requiere que se mantenga en constante movimiento (agitación) para evitar la separación de las grasas de las partículas sólidas.



Como conclusión, la estructura física del tanque en sí constaría de láminas de acero suave e inoxidable, que formen 2 placas como cubierta con espacio entre ellas, donde este vacío o cubierto con medio tubo. El tanque debe de encontrarse aislado para conservar energía y eliminar el ingreso de puntos fríos. La Figura N°27 muestra estas características.

**Figura N° 27: Estructura interna de las capas del tanque**



Para la elaboración del tanque, el cual deberá cumplir la función de almacenaje y calentamiento del chocolate, se deben de considerar las siguientes afirmaciones:

**a. Dimensionamiento del tanque:**

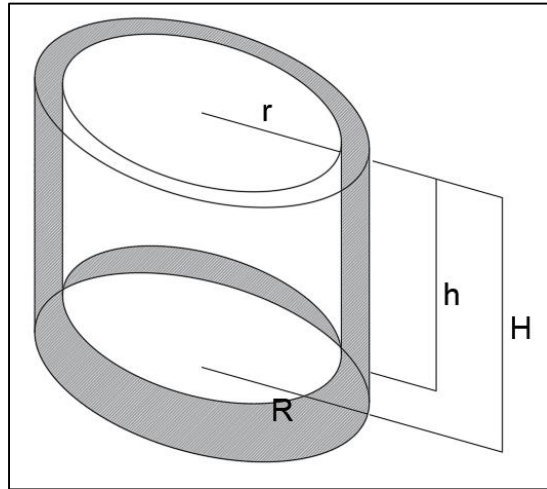
Este dimensionamiento constará de dos placas cobertores, las cuales de dimensionarán de la siguiente manera:

Capa Interna y Externa:

Donde las medidas:

- r, representa el radio de la capa interna.
- h, representa la altura de la capa interna.
- R, representa el radio de la capa externa.
- H, representa la altura de la capa externa.

**Figura N° 28: Dimensionamiento de tanque para chocolate**



**b. Volumen de capacidad del tanque:**

Para encontrar el volumen que se podrá trabajar durante el proceso, se realiza lo siguiente:

$$\text{Volumen capa interna} = \text{Volumen chocolate}$$

$$\pi r^2 h = \text{Volumen chocolate}$$

***Ecuación 8: Volumen chocolate***

Mientras que la diferencia de volúmenes de ambas capas señalaría el volumen del agua que se encargaría del temperado del chocolate.

$$\text{Volumen capa externa} - \text{Volumen capa interna} = \text{Volumen agua temperado}$$

$$\pi R^2 H - \pi r^2 h = \text{Volumen agua}$$

$$\pi(R^2 H - r^2 h) = \text{Volumen agua}$$

***Ecuación 9: Volumen agua temperado***

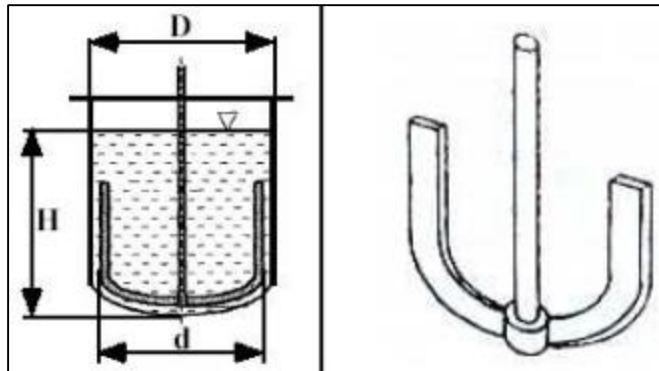
**2.1.9. Mezclador del chocolate**

Durante la elaboración de masa de cacao, es necesario generar una agitación constante de la mezcla, donde se considera la temperatura y viscosidad de la misma. Se debe entender por estos hechos, que también se debe considerar la velocidad en la que el agitador trabaje, como las dimensiones que este ocupe, entre los agitadores considerados tenemos:

**a. Agitador tipo ancla:**

Es el cual se encarga de evitar que el chocolate se pegue a la capa interior del tanque, asistiendo a su vez en la transferencia de calor.

**Figura N° 29: Agitador tipo ancla**

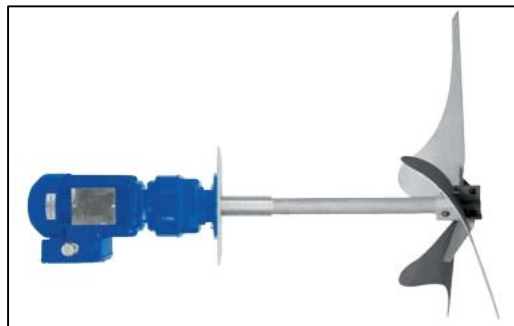


*Fuente: Uribe, Vladimir Castillo. (2013). DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS. Concepción: Universidad del Bio-Bio.*

**b. Agitador tipo turbina:**

El cual es de los más comunes por su utilidad y simpleza.

**Figura N° 30: Agitador tipo turbina**



*Fuente: Flow Control and Handling S.A.. (s.f.). Catalogo Flow Control Agitadores Industriales. 2018, de Indostrá Sitio [http://indostrá.com/docs/Catalogo\\_Flow\\_Control\\_Agitadores\\_Industriales.pdf](http://indostrá.com/docs/Catalogo_Flow_Control_Agitadores_Industriales.pdf)*

Donde, además de conocer el tipo de agitador a utilizar, se debe tener en cuenta la potencia y velocidad del motor mismo, como en las bombas de extracción. Se deben tomar en consideración los siguientes:

**c. Potencia del agitador:**

$$SHP = \frac{Np \cdot N^3 \cdot D^5 \cdot \rho B}{Gc}$$

*Ecuación 10: Potencia del agitador*

Del cuál:

SHP: Potencia necesaria para mover el agitador. [ft-lbs/s]

Np: Número de Potencia.

N: Velocidad rotacional del agitador.

D: Diámetro del agitador.

$\rho B$  : Densidad del fluido.

Gc: Factor de conversión gravitacional. 32.22 [lbf-ft/lbm-s<sup>2</sup>]

Con esta información obtenida tras una serie de cálculos y el conocimiento del efecto causado por la viscosidad y el número de Reynolds se logra obtener la eficacia del mezclador.

**2.1.10. Bombas para chocolate:**

Para poder elegir correctamente la bomba que se encargará del transporte del chocolate existen variables que se deben tomar en consideración.

**a. Potencia**

Para poder satisfacer la necesidad de potencia, y elegir correctamente la necesaria, se debe de tomar en consideración las diferentes ineficiencias que puedan ocurrir en el interior de la maquinaria, mejor dicho, los problemas por solidificación del chocolate, los cuales afectarían directamente en, por ejemplo: caja de engranajes, las correas de transmisión, sello mecánico de la bomba, etc.

Se debe considerar, además, que no tomar como base a elección la viscosidad del chocolate medida en consideraciones estándar, dado que no se estaría tomando en consideración los días de fines de semana o incluso días feriados, donde, al no existir una continua puesta en marcha genera la solidificación, antes mencionada, que afecta en el aumento de la presión del sistema o bloqueo de la bomba en sí.

## **b. Velocidad**

Para la fabricación del chocolate, la velocidad de trabajo debe encontrarse en rangos bajos de RPM con poca vibración y movimiento de la bomba misma, puesto que, cabe la posibilidad de que el chocolate al ser transportado modifique su estado viscoso, causando la caramelización de este, causando problemas a su vez la misma bomba por estar transportando productos sólidos.

Parámetros a tomar en consideración según (Arribasplata, 2005):

### **a. Presión:**

Definido por fuerza por unidad de área.

$$P = F \cdot A$$

***Ecuación 11: Presión***

Donde:

F: Fuerza (N)

A: Área (m<sup>2</sup>)

### **b. Altura de carga:**

Es la columna de fluido que ejerce sobre su base una presión.

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

***Ecuación 12: Fórmula de la altura de carga***

Donde:

P: Presión (Pa)

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

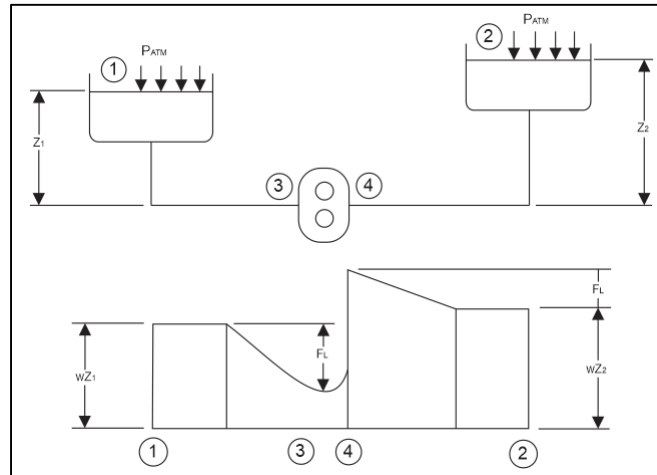
g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

H: Altura de carga (m)

**c. Altura de bombeo (Altura manométrica):**

Es la energía neta transmitida al fluido por unidad de peso a su paso por la bomba centrífuga.

**Figura N° 31: Gráfica referencial de un sistema**



Si en la ecuación de Bernoulli se tienen en cuenta el aporte de energía que suministra la bomba para impulsar el fluido, desde el punto 1 hasta el punto 2 se puede llegar a la siguiente expresión:

$$H_{Bombeo} = P_2 - P_1 + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_{pt}$$

**Ecuación 13: Altura de Bombeo**

Donde intervienen los siguientes factores:

- Diferencia de presiones absolutas que actúan sobre el fluido en el depósito de succión y en el depósito de descarga.  $(P_2 - P_1)$
- Diferencia de energía cinética entre el punto de succión y descarga.  $(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g})$
- Desniveles existentes entre la superficie desde donde se succiona el fluido y la superficie a donde se elevará.  $(Z_2 - Z_1)$ .
- Pérdida de presión por fricciones del fluido con las paredes internas de la tubería y por accesorios en la succión y en la descarga.  $(h_{pt})$

En la mayoría de los casos, el cambio de energía cinética es casi cero; así, la ecuación de la altura de la bomba quedaría:

$$H_{Bombeo} = P_2 - P_1 + Z_2 - Z_1 + h_{pt}$$

**Ecuación 14: Ec. Final de Altura de bombeo**

#### ***d. Potencia de bomba***

Se requieren dos tipos de potencias a tomar en consideración:

- Potencia requerida por las condiciones externas del sistema WHP algunas veces llamado potencia del fluido, potencia hidráulica o potencia de agua.
- Potencia requerida por las condiciones internas de la bomba VHP la cual incluye pérdida de potencia por viscosidad y fricción mecánica.

En donde las fórmulas resultantes serían:

$$HP = WHP + VHP$$

***Ecuación 13: Potencia Total en el eje de la bomba***

$$EFF = WHP / BHP$$

***Ecuación 14: Eficiencia***

Lo que da lugar a:

$$HP = \frac{Q \times P}{1714 \times EFF}$$

***Ecuación 15: Potencia Total en factor de EFF***

Donde:

Q: Caudal (gpm)

P: Presión de la bomba (psi)

#### ***e. Torque***

Se define el torque como el momento de la fuerza requerida para iniciar el movimiento. En motores rotativos, HP puede ser expresado en términos de torque y RPM

$$\text{Torque} = \frac{HP \times 5250}{N} (\text{Pies} - \text{lbs})$$

***Ecuación 16: Fórmula del Torque***

Donde:

HP: Potencia (hp)

N: Velocidad de Rotación (RPM)

**f. Cavitación:**

“La cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto o zona de la corriente de un líquido desciende por debajo de la presión de saturación del líquido bombeado.”

Se puede afirmar que producida la cavitación el líquido se evapora originándose cavidades de vapor o burbujas que son arrastradas por la corriente a zonas de mayor presión, produciéndose una condensación violenta del vapor. Esta condensación produce una elevación local de la presión que puede sobrepasar las 1000 atmósferas, lo cual produce vibraciones y daños considerables en cualquier tipo de bomba, en la carcasa, sellos y cojinetes.

Para evitar que se produzca cavitación en bombas, se debe tener especial cuidado en determinar la Altura Neta de Succión Positiva Disponible (NPSHD) en la instalación, de forma que al ingreso del impulsor no se llegue a la presión de saturación del líquido.

Los fabricantes de bombas indican en sus curvas características la Altura Neta de Succión Positiva Requerida (NPSHR), debiendo cumplirse siempre la siguiente relación al dimensionar una bomba:

$$NPSHD = P_o - P_v \pm H_s - H_{pts}$$

***Ecuación 17: Altura neta de Succión Positiva Disponible (NPSRD debe ser mayor al NPSHR)***

Donde:

P<sub>o</sub>: Presión absoluta en el nivel de succión.

P<sub>v</sub>: Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo

H<sub>s</sub>: Altura estática de succión

(+) Cuando la bomba está debajo del nivel de succión.

(-) Cuando la bomba está por encima del nivel de succión.

H<sub>pts</sub>: Pérdidas por fricción y accesorios totales en la succión

**Criterios generales para elegir una bomba.**

Para elegir correctamente la bomba a utilizar para el transporte del chocolate, se debe de considerar lo siguiente, según Becket:

- La cantidad de chocolate que la bomba debe entregar.
- La presión que la bomba deberá superar (caída de presión en la tubería).



- La precisión con la que la bomba necesitará operar, por ejemplo, medir la masa de cacao.
- El tipo de disposición del sello.
- El control del funcionamiento y acción de corte de la bomba.
- La cantidad de tiempo que se requerirá para que la bomba funcione sin parar.
- Si se incluyen inclusiones en el chocolate, se requerirá que la bomba se adapte a esto.
- El material en contacto con el chocolate.

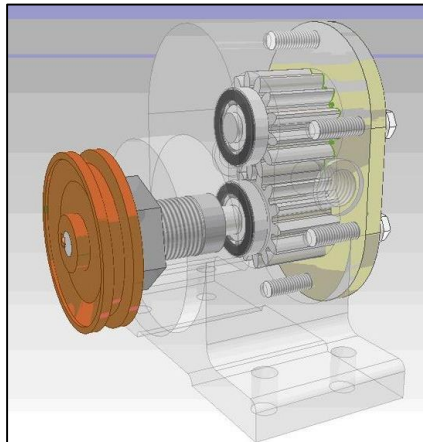
## Tipos de bombas

Entre ellos, se tienen las siguientes categorías de bombas utilizadas en el ámbito:

### a. Bombas de engranajes:

Estos tipos de bombas son las adecuadas para trabajar con chocolate con alto nivel de viscosidad, agregando que proveen flujo sin pulsaciones y son autocebantes. Estas bombas poseen solo dos partes móviles, lo que permite fácil mantenimiento y operatividad, permite la acción de bombeo en ambas direcciones, lo que es favorable en la etapa del templado de chocolate. Sus aplicaciones por lo general se enfocan en fluidos de baja, media y alta viscosidad en la industria química, alimenticia, automatización, etc.

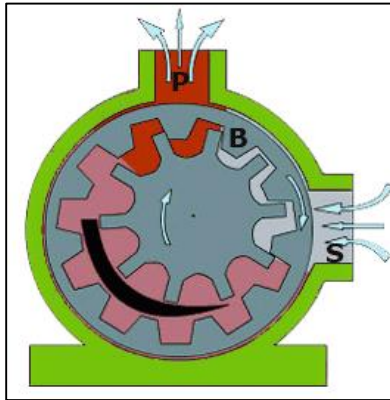
**Figura N° 32: Modelado 3D de una bomba de engranaje**



Fuente: SPQRes2 (2017). Bomba de engranajes. 2018, de Wikipedia Sitio [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba\\_de\\_engranajes1.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba_de_engranajes1.JPG)

El funcionamiento de estos modelos consta de dos engranajes rectos no concéntricos que giran en direcciones opuestas, teniendo un espacio pequeño entre ellos y el cuerpo de la bomba. El chocolate es absorbido por el espacio del engranaje dispuesto y se transporta alrededor de la bomba por estos engranes, mientras van avanzando, los dientes de los engranes se van cerrando haciendo que el chocolate almacenado sea expulsado hacia afuera, este proceso ocurre en continuamente extrayendo chocolate y arrojándolo.

**Figura N° 33: Funcionamiento de una bomba de engranajes**



*Fuente: QuimiNet. (2008). Funcionamiento detallado de las bombas de engranajes. 2018, de QuimiNet Sitio web: <https://www.quiminet.com/articulos/funcionamiento-detallado-de-las-bombas-de-engranajes-30487.htm>*

***b. Bombas de paletas deslizantes:***

Estas bombas poseen un rotor excéntrico que incorpora juegos de paletas deslizantes, que se encargan de desplazar mecánicamente el fluido, donde sus características principales se rigen de la facilidad del mantenimiento, nivel de viscosidad alto para los productos que se transportarán, poder de aspiración alto, una vida útil larga y el volumen de absorción que posee.

**Figura N° 34: Estructura de una bomba de paletas rotativas**

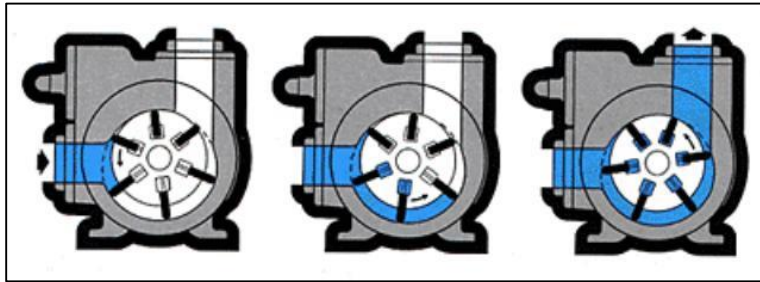


*Fuente: Dover, Blackmer PSG. (2014). Bombas de paletas deslizantes. 2018, de Reportero Industrial Sitio web: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Bombas-de-paletas-deslizantes,-XL+10096653>*

Su funcionamiento consiste en el movimiento continuo del rotor, mientras este se encuentra en movimiento, las paletas son arrojadas por la fuerza centrífuga creada, haciendo que cree un espacio interno de vacío entre el rotor y el cilindro, que es donde la masa de chocolate es succionada para así luego ser arrojada hacia la salida.

Tiene aplicaciones diversas en los rubros alimenticios, industriales, ambientales e impresión.

**Figura N° 35: Funcionamiento de una bomba de paletas rotativas**

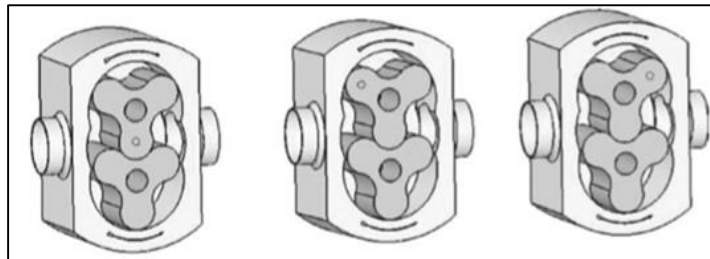


*Fuente: Drotec CIyF SRL. (s.f.). Bombas rotativas a paletas deslizantes Blackmer. 2018, de Nueva Feria Argentina Sitio web: <http://www.nuevaferia.com.ar/p.asp?i=7163&n=Bombas-rotativas-a-paletas-deslizantes-Blackmer>*

**c. Bombas de lóbulos y pistones rotativos.**

Estas bombas de lóbulos tienen un funcionamiento similar a la de engranajes externos, sin embargo, los lóbulos no hacen contacto entre sí como en el anterior modelo, esto es gracias a los engranajes de sincronización ubicados en la caja externa.

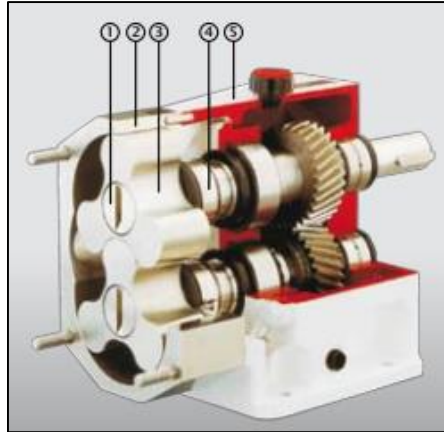
**Figura N° 36: Funcionamiento de una bomba de lóbulos**



*Fuente: Beckett, Stephen T.. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. York, UK: Blackwell Publishing.*

Estas bombas fueron diseñadas para manejar un volumen mayor de chocolate, además para protección y su propio mantenimiento que se realiza con el propio chocolate que transporta, eso ocurre cuando el chocolate entra entre los lóbulos llena el espacio vacío entre ellos haciendo que se sellen y cebándose a su vez. Sin embargo, al poseer todas estas cualidades también es una bomba de alto costo.

**Figura N° 37: Estructura interna (1) Tapón del lóbulos, (2) Cuerpo, (3) Lóbulo, (4) Sello mecánico, (5) Soporte**



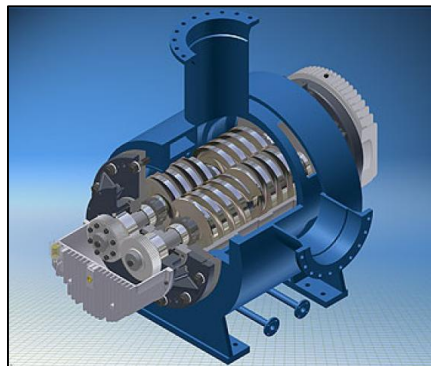
*Fuente: SIMES. (s.f.). Bombas de lóbulos inoxidables sanitarias. 2018, de SIMES Sitio web: [https://www.simes-sa.com.ar/espanol/descargas/bombas\\_de\\_lObulos\\_inoxidables\\_sanitarias.pdf](https://www.simes-sa.com.ar/espanol/descargas/bombas_de_lObulos_inoxidables_sanitarias.pdf)*

#### **d. Bombas de tornillo doble**

Dentro de sus características se tiene que poseen doble tornillo las cuales son accionados por un conjunto de engranajes, no hay contacto entre los tornillos. Además, pueden funcionar correctamente en reversa mientras que cuando trabaja baja velocidad ofrecen una acción de bombeo suave, junto con un flujo uniforme con poca pulsación o turbulencia.

Está diseñado con tres rotores, donde el central se encuentra conectado al motor de accionamiento el cual impulsa a los otros dos. El chocolate ingresa a una cámara sellada donde es transportada por los tornillos que generan un flujo uniforme para evitar problemas durante el proceso.

**Figura N° 38: Estructura de una bomba de tornillo doble**



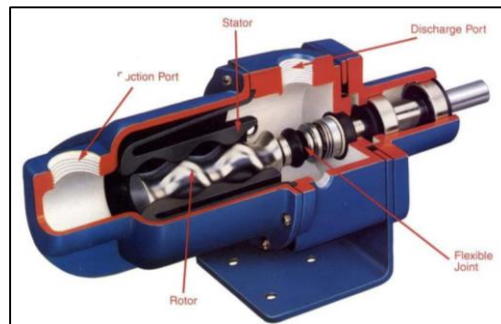
*Fuente: Bornemann Pumps. (s.f.). Soluciones de bombeo probadas en muchos ámbitos para casi todo tipo de fluidos. 2018, de Bornemann Pumps Sitio web: <http://www.bornemann-ar.com/soluciones-de-bombeo-probadas-en-muchos-mbitos-para-casi-todo-tipo-de-fluidos/>*

### e. *Mono bombas de cavidad progresiva*

Estas bombas poseen un solo rotor helicoidal que gira de manera excéntrica, lo cual permite un flujo libre de pulsaciones que puedan contener partículas. Sin embargo, esta clase de bomba es ineficaz en la aplicación de una planta a gran escala, por lo que se aplica plantas de bajo nivel como también en las plantas piloto de desarrollo.

Su funcionamiento se rige en el transporte del chocolate a través de la cavidad de la hélice, que se desplaza al movimiento del rotor generando una transporte constante y gran volumen utilizado.

**Figura N° 39: Estructura de una bomba de cavidad progresiva**



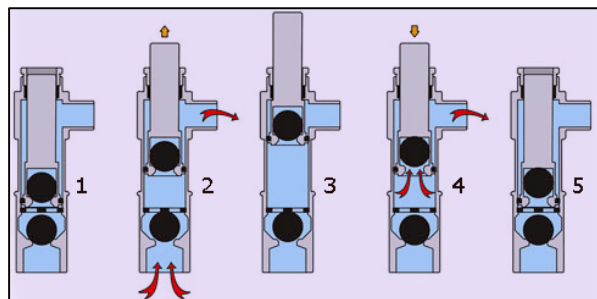
Fuente: El equipo de marketing. (2018). Características de una bomba de cavidad progresiva. 2018, de Prodetecs Sitio web: <http://prodetecs.com/caracteristicas-de-una-bomba-de-cavidad-progresiva/>

### f. *Bombas de pistón.*

Las bombas de pistón son lo general llamadas bombas volumétricas, esto se debe a que su estructura está realizada para transportan una gran cantidad de material a través de él, agregando que se emplea por lo general para fluidos de alta viscosidad o densidad.

Su función inicia desde que el pistón retrocede, la válvula inferior se levanta y el líquido se introduce en el espacio creado. Durante el retorno, la válvula inferior se cierra y la válvula superior se abre, liberando el producto en la tubería.

**Figura N° 40: Funcionamiento de una bomba de pistón**



Fuente: QuimiNet. (2007). Las bombas de pistón sus características y aplicaciones. 2018, de QuimiNet Sitio web: <https://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-de-piston-sus-caracteristicas-y-aplicaciones-23519.htm>

### 2.1.11. Control PID para el desarrollo del diseño:

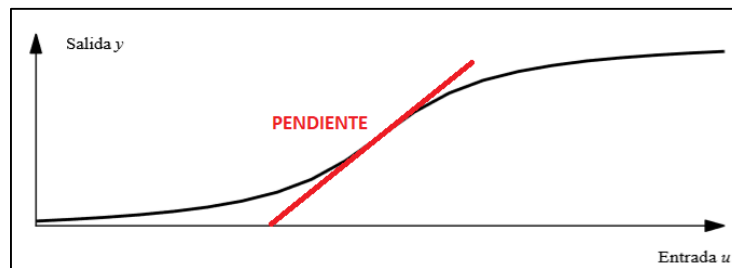
Para entender lo que es un control, primero se debe conocer los distintos modelos que se pueden establecer para así realizar un diseño y simulación del control, además estos son normalmente desarrollados utilizando modelos matemáticos. De los cuales se tienen los siguientes:

#### a. Modelos Estáticos:

Este modelo, se realiza con el proceso a nivel “sin acción” (estático) dado que se puede utilizar para determinar el rango de señales requeridas en la entrada para obtener un rango específico deseado en la salida, para así poder dimensionar los actuadores y encontrar la resolución de los demás complementos.

La curva que se muestra en este modelo, Figura N°41, muestra la idealidad de un proceso estacionario, donde al tener una entrada “u” nos genera una salida “y”, donde el valor que será modificable es la entrada y así obtener diversos valores para y, como se explicó antes. Además, la pendiente que genera esta curva es lo que se denomina, la ganancia estática del proceso, la cual debe tener una variación pequeña para poder tener un control más estable.

**Figura N° 41: Característica de proceso estático**

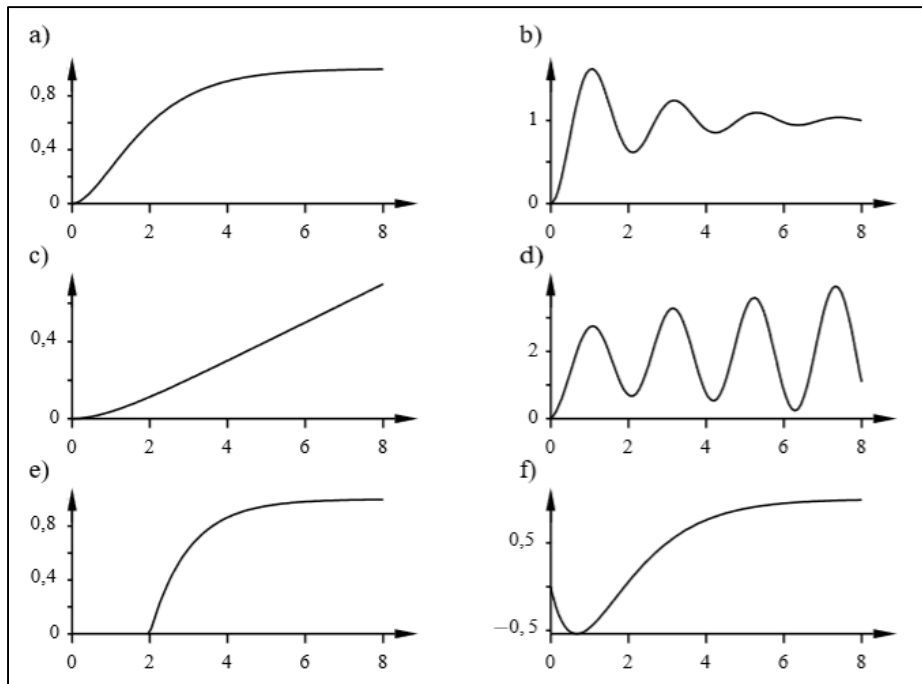


#### b. Modelos Dinámicos:

Un modelo dinámico nos va permitir obtener la relación entrada – salida durante el proceso.

Para encontrar el modelamiento en este caso, se hace un cambio de escalón en la variable manipulada (entrada en nuestro caso), lo se denomina, respuesta en escalón del sistema o la curva de reacción del proceso, obteniendo diferentes resultados dependiendo de las propiedades del sistema.

**Figura N° 42 Respuestas en escalón en lazo abierto**



Fuente: Karl J. Åström, Tore Hägglund. (2009). *Control PID avanzado*. Ribera del Loira: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Donde:

- En la Figura 12.a:

Representa la salida cambiada a un valor estacionario, siendo este el tipo más común entre todos los presentados.

- En la Figura 12.b:

Representa la salida del proceso posee una oscilación hasta alcanzar el valor final estacionario. Estos casos no comunes se encuentran por lo general en el control de la concentración de fluidos, diseños mecánicos.

- En la Figura 12.c:

Es la representación gráfica del cambio en un proceso integrador. Se puede encontrar en el control de nivel, presión, temperatura, etc.

- En la Figura 12.e:

La gráfica representa el delay que posee el proceso, lo cual se observa que la gráfica inicie en  $t \neq 0$ . Esto por lo general ocurre cuando el proceso posee partes donde se transporta el material.

- En la Figura 12.f:

Representa a un sistema de fase no mínima. Se encuentra en los cambios que se modifica el caudal de alimentación, respondiendo así el nivel de agua.

Teniendo esos conocimientos ya, se puede establecer con mayor facilidad los tipos de modelamientos del controlador PID, el cual es el algoritmo de control más común, donde la mayoría de los lazos de realimentación se controlan mediante este algoritmo u otro con pequeñas variaciones.

Epistemológicamente, la relación entre las señales de entrada y salida, es decir, entre las variables dependientes y las independientes son determinadas por medio de un modelo matemático para cada una de las variables a controlar:

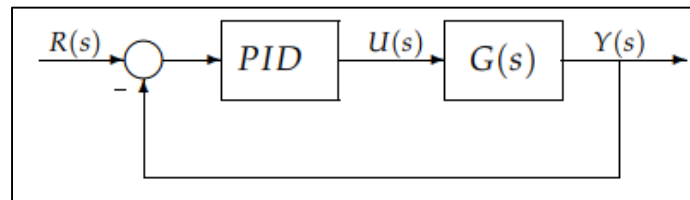
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

**Ecuación 20: Fórmula general de un control PID**

La ecuación 6, es la fórmula general de control PID, con ella se pueden realizar varios tipos de combinaciones para lograr un control optimo dependiendo del proceso al cual se apliquen tal y como se indica en el libro electrónico. (Mazzone, 2002)

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida (SISO) de un grado de libertad:

**Figura N° 43: Esquema en bloques de un Sistema en lazo cerrado**



Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

**a. P (acción de control proporcional):**

Da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir:

$$u(t) = K_p e(t)$$

**Ecuación 21: Fórmula del Control Proporcional**



que descrita desde su función de transferencia queda:

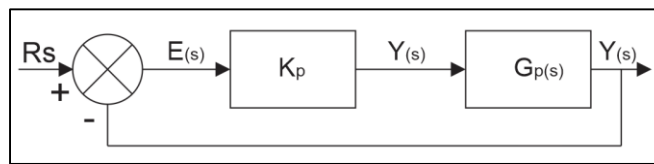
$$C_p(s) = K_p$$

**Ecuación 22: Función de Transferencia**

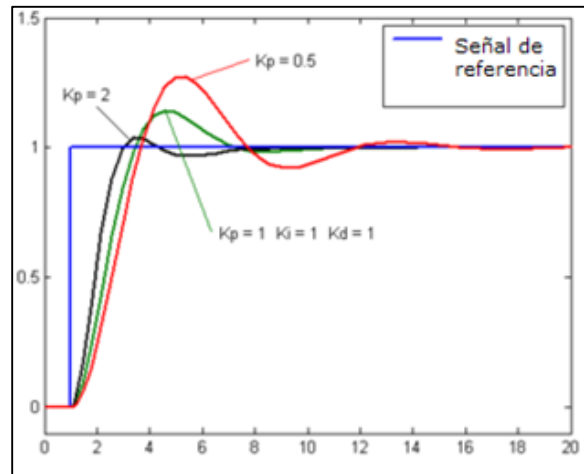
Donde  $K_p$  es la ganancia proporcional ajustable.

Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

**Figura N° 44: Esquema en bloques del Control tipo P**



**Figura N° 45: Respuesta a escalón unitario de un Control Tipo P**



Fuente: EbRaInTe (2008). *Controlador PID Integral*. 2018, de English Wikipedia Sitio [https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_PID#Integral](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID#Integral)

**b. I (acción de control integral):**

Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

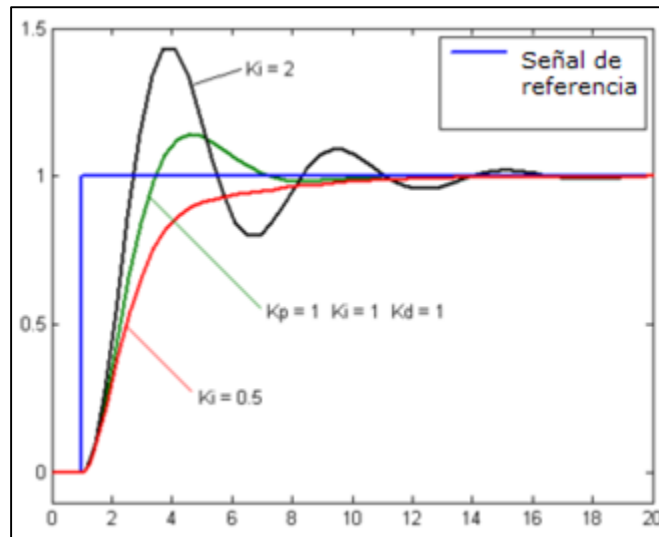
**Ecuación 23: Fórmula del Control Integral**

$$C_i(s) = \frac{K_p}{T_i \cdot s}$$

**Ecuación 18: Función de Transferencia**

La señal de control  $u(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero. Por lo que se concluye que, dada una referencia constante o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

**Figura N° 46: Respuesta a escalón unitario de un Control Tipo I**



Fuente: EbRaInTe (2008). Controlador PID Integral. 2018, de English Wikipedia Sitio [https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_PID#Integral](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID#Integral)

**c. PI (acción de control proporcional-integral):**

Se define mediante:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

**Ecuación 19: Fórmula del Control PI**

Donde  $T_i$  se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

**Ecuación 20: Función de Transferencia**

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero. Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón. (Karl J. Åström, 2009 )

#### **d. PD (acción de control proporcional-derivativa):**

Se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dy}$$

#### ***Ecuación 21: Fórmula de Control PD***

Donde  $T_d$  es una constante denominada tiempo derivativo.

Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios. La función de transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + s \cdot K_p \cdot T_d$$

#### ***Ecuación 22: Función de Transferencia***

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error de estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia  $K$ , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

#### **e. PID (acción de control proporcional-integral-derivativa):**

Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

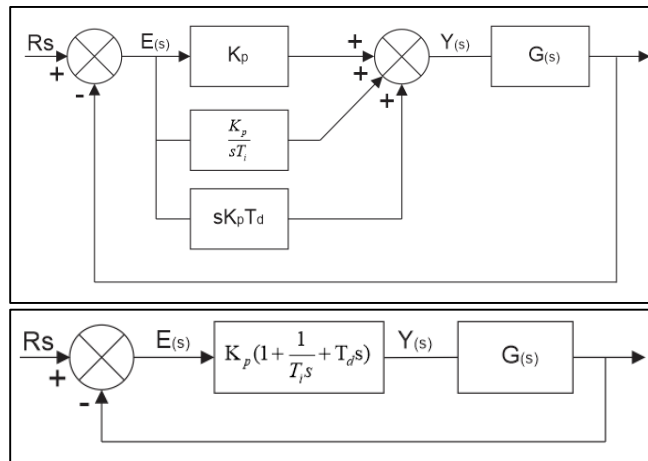
**Ecuación 23: Fórmula del Control PID**

Y su función de transferencia resulta:

$$C_{PID}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

**Ecuación 24: Función de Transferencia**

**Figura N° 47: Diagrama de Bloques de un Control PID**



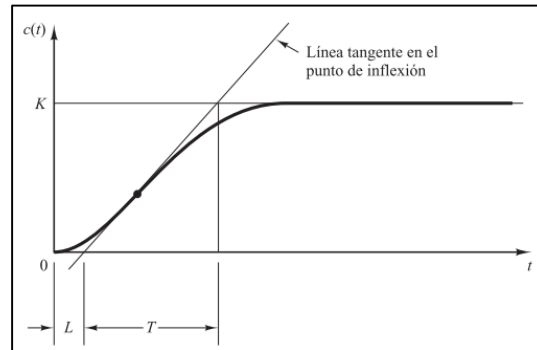
### Métodos de ajuste de Ziegler-Nichols

En base a las investigaciones hechas por Ziegler y Nichols, proponen dos diferentes métodos para encontrar los valores necesarios para alcanzar la estabilidad de los controladores PID, los cuales sugieren dar valores a \$K\_p\$, \$T\_i\$ y \$T\_d\$, lo cual facilita al desarrollador dado que es conveniente cuando los modelos matemáticos no son conocidos. Los métodos son los siguientes:

#### a. Primer método: Método de Respuesta al Escalón

Este método propone generar una respuesta en base a una entrada de escalón unitario, y obtener de manera experimental una gráfica, teniendo esta, se evalúa la forma que posee y si esta posee una forma de S como en la Figura N°48, significa que no posee un solo integrador o polos dominantes complejos conjugados y puede ser trabajo por este método.

**Figura N° 48: Curva respuesta en forma de S**



Fuente: Ogata, Katsuhiko. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

De la curva ya obtenida, se tienen 2 parámetros que se pueden conseguir trazando una recta tangente del punto de inflexión a la línea determinada por  $c(t)=K$ , los cuales son: el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$ . De la cual se obtiene la función de transferencia de primer orden:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

**Ecuación 251: Función de Transferencia**

Conociendo la Función de Transferencia del controlador PID, puede ser reconfigurada con el establecimiento de los valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  dependiente de  $L$  y  $T$  utilizando la siguiente tabla establecida por Ziegler y Nichols.

**Tabla 11: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón**

Tipo de Controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Ogata, Katsuhiko. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Reemplazando en la FT del controlador PID:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$

$$G_c(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right)$$

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left( s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}$$

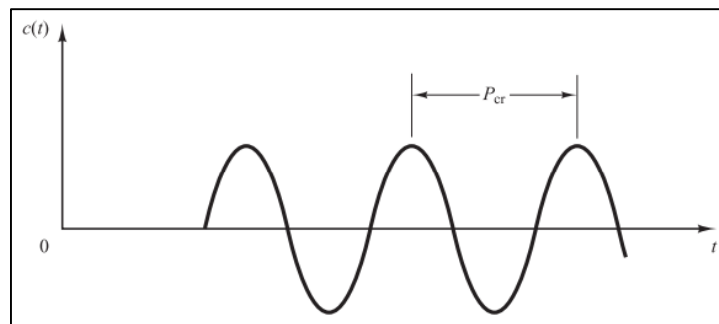
**Ecuación 26: Función de Transferencia en base a L y T**

Del que resulta: polos: 0 y cero dobles:  $s = -1/L$ .

### b. Segundo método: Método de Respuesta en Frecuencia

En el segundo método, primero se fija  $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ , luego se hace un incremento de  $K_p$  desde el valor de 0 hasta el valor de un  $K_{CR}$ , Usando sólo la acción de control proporcional, se incrementa  $K_p$  desde 0 hasta un valor crítico  $K_{cr}$ , donde si no presenta oscilaciones periódicas para cualquier valor de  $K_p$  se entiende que este método no es posible de realizarse, la gráfica que se obtiene de forma experimental es la siguiente:

**Figura N° 49: Oscilación periódica con periodo  $P_{cr}$  (seg).**



Fuente: Ogata, Katsuhiko. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

A partir de esta demostración, Ziegler-Nichols concluye en los siguientes valores para  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ :

**Tabla 12: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica  $K_{cr}$**

Tipo de Controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_{CR}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{CR}$	$\frac{1}{1.2}P_{CR}$	0
PID	$0.6K_{CR}$	$0.5P_{CR}$	$0.125P_{CR}$

Fuente: Ogata, Katsuhiko. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Con este método, la Función resultante de un controlador PID sería:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$

$$G_c(s) = 0.6K_{CR} \left( 1 + \frac{1}{0.5P_{CR}s} + 0.125P_{CR}s \right)$$

$$G_c(s) = 0.075K_{CR}P_{CR} \frac{\left( s + \frac{4}{P_{CR}} \right)^2}{s}$$

**Ecuación 27: Función de Transferencia en relación a  $K_{cr}$  y  $P_{cr}$**

Del cual se obtiene: polos: 0 y cero dobles:  $s = -4/P_{CR}$ .

### 2.1.12. Software LabVIEW

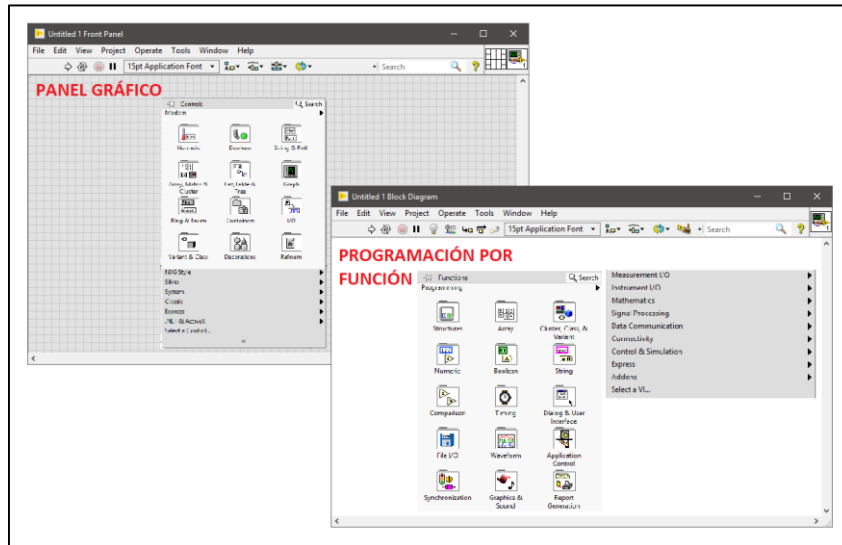
LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) es un software de ingeniería diseñado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a información de datos y hardware, además que nos ofrece un enfoque de programación gráfica que le ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas. (INSTRUMENTS, s.f.)

**Figura N° 50: Logo Compañía dueña de LabVIEW**



Sin embargo, para realizar toda clases de operaciones es necesario utilizar sus completos de hardware, los cuales se conoce muy bien lo costoso que son. Pero para esto, se piensa utilizar el hardware ARDUINO, que se hizo conocido porque brindaba la facilidad necesaria a los usuarios para realizar programaciones de lógica no tan compleja, el cual, gracias al mismo NI, que le ha creado complementos a su programa LabVIEW para su perfecta comunicación.

**Figura N° 51: Ventanas de trabajo - LabVIEW**



Este software está destinado para lo siguiente.

- Diseñar Máquinas Inteligentes o Equipo Industrial
- Enseñar a Estudiantes de Ingeniería

### 2.1.13. Software Arduino

El arduino es una herramienta desarrollada para mejorar en las técnicas de enseñanzas acerca de lógica, habilidades de construcción, solución de problemas, etc. Aplicada a campos de Ingenierías, IOT, robótica entre otros.

Además, sirve como base de desarrollo ya que, a medida que se va avanzando, la complejidad también, y esto dio lugar a que muchos de los softwares que no lograban ser compatibles entre sí, se permiten una conexión simple y fácil con él, para un intercambio de datos para que puedan ser procesados.

Entre los principales tipos de arduinos que existen en el mercado, tenemos:



Figura N° 52: Pines del Arduino UNO

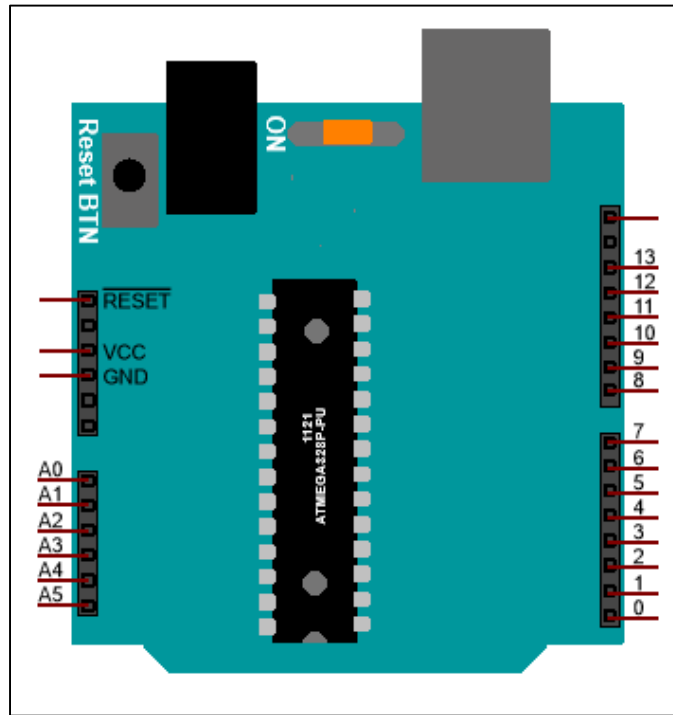
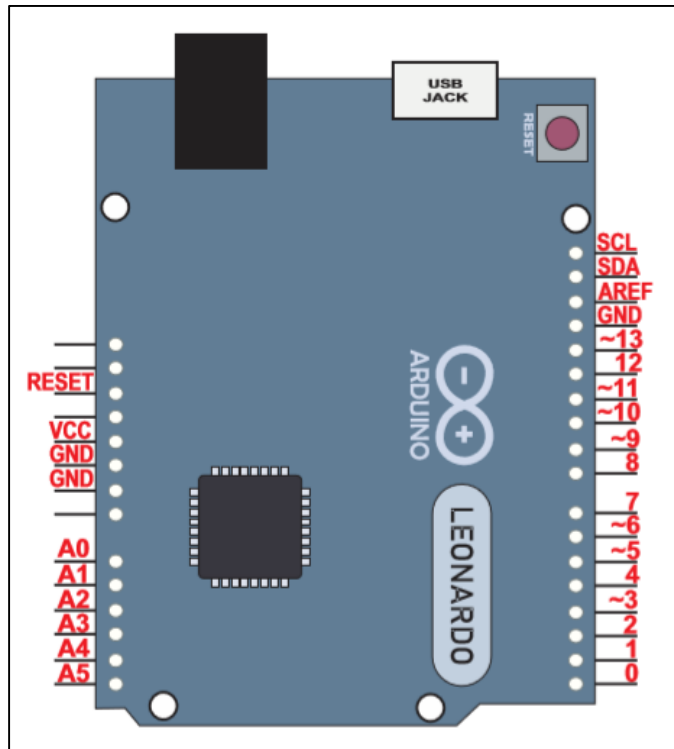


Tabla 13:Características ARDUINO UNO

Características Técnicas			
	ATmega328	Designación	Pin
Microcontrolador	ATmega328		
Voltaje de Funcionamiento	5 VDC	Entradas Análogas	A0 - A5
I/O Digitales	14 (6 PWM)	I/O Digitales	0 - 13
Entradas Análogas	6	PWM	3,5,6,9,10,11
Corriente DC - I/O	40 mA	TX	1
Memoria Flash	32 KB	RX	0
SRAM	2 KB		
EEPROM	1 KB		
Frecuencia	16 MHZ		

- **Arduino Leonardo**

**Figura N° 53: Pines del Arduino LEONARDO**

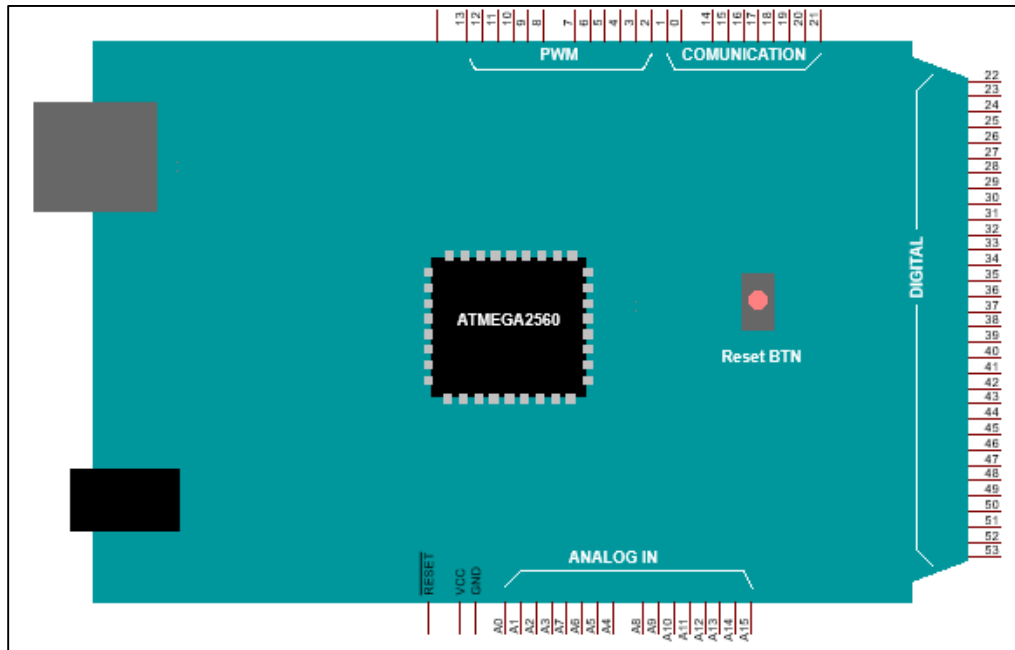


**Tabla 14: Características ARDUINO LEONARDO**

Características Técnicas			
	ATmega32u4	Designación	Pin
Microcontrolador	ATmega32u4		
Voltaje de Funcionamiento	5 VDC	Entradas Análogas	A0 - A5 y 4,6,8,9,10,12 A0 - A3 , 0 - 13 y SDA,
I/O Digitales	20 (7 PWM)	I/O Digitales	SCL
Entradas Análogas	12	PWM	3,5,6,9,10,11,13
Corriente DC - I/O	40 mA	TX	1
Memoria Flash	32 KB	RX	0
SRAM	2.5 KB		
EEPROM	1 KB		
Frecuencia	16 MHZ		

- **Arduino Mega**

**Figura N° 54: Pines del Arduino MEGA**



**Tabla 15: Características ARDUINO MEGA**

Características Técnicas			
	ATmega2560	Designación	Pin
Microcontrolador	ATmega2560		
Voltaje de Funcionamiento	5 VDC	Entradas Análogas	A0 - A15
I/O Digitales	54 (15 PWM)	I/O Digitales	0 - 53
Entradas Análogas	16	PWM	0 - 13
Corriente DC - I/O	20 mA	TX	1, 18, 16, 14
Memoria Flash	256 KB	RX	0, 19, 17, 15
SRAM	8 KB		
EEPROM	4 KB		
Frecuencia	16 MHZ		

## 2.2. Diseño

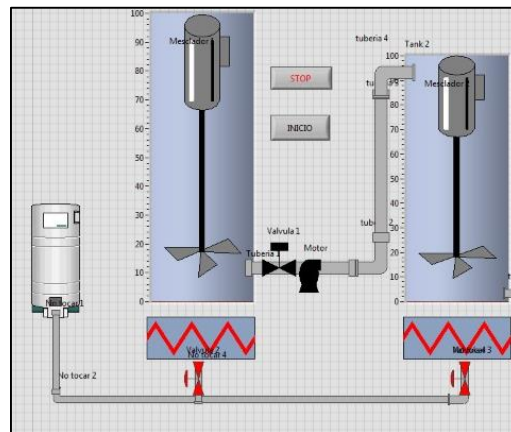
Para el desarrollo del diseño, se dividirá en dos etapas: física y software, donde se explicará detalladamente las máquinas e instrumentos que usaremos para la elaboración de la planta piloto.

### 2.2.1. Diseño Físico

- **Etapa de Temperado**

La etapa de temperado consta de una estructura principal, la cual es el tanque, el cual posee dos capas, la interna, que es donde le chocolate es almacenado y la externa, por donde circula el líquido para refrigerar el contenido. Además, cuenta con un mezclador el cual es soportado por una estructura del tanque mismo, electroválvulas, las cuales serán accionadas por el control, una resistencia encargada de calentar el chocolate y un PT100, el cual irá midiendo constantemente el valor de la temperatura del chocolate al interior del tanque.

**Figura N° 55: Modelado del proceso de temperado**



### *Tanque de chocolate:*

Como se mencionó párrafos antes, en el subíndice 2.1.8 la estructura constará de dos capas.

La interna, donde se encontrará el chocolate, el mezclador y la resistencia encargada de aumentar la temperatura del chocolate.

La externa, donde se encontrará básicamente un tubo rodeando el tanque, el cual contendrá un líquido frigorizante.

Al ser una planta piloto, la escala a realizarse será pequeña, por lo que las medidas deben ser acorde a estas, teniendo en cuenta estas líneas, y tomando las ecuaciones volumétricas del subíndice mencionado, las medidas serán:

d: 40 cm.                      h: 50 cm.

D: 45 cm.                      H: 55 cm.

Utilizando la ecuación 8: ( $\pi r^2 h = \text{Volumen chocolate}$ )

$$\text{Volumen chocolate} = \pi r^2 h$$

$$\text{Volumen chocolate} = \pi \left(\frac{40}{2}\right)^2 50$$

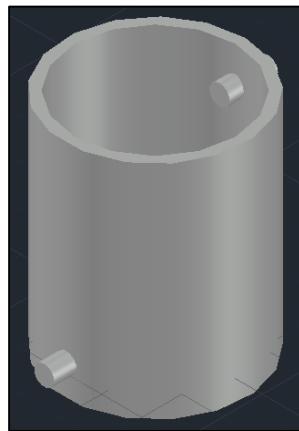
$$\text{Volumen chocolate} = 20000\pi \text{cm}^3$$

$$\text{Volumen chocolate} = 62831.85 \text{cm}^3$$

$$\text{Volumen chocolate} = 62.8 \text{l}$$

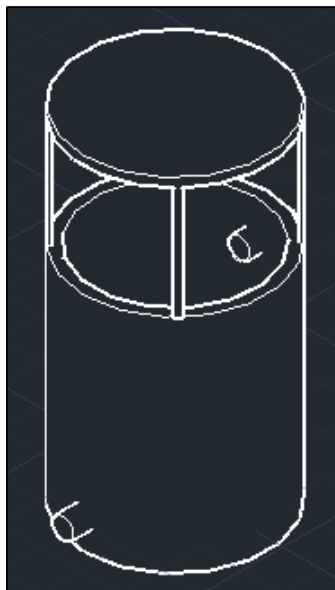
Y para la capa externa, el área volumétrica que contendrá al tubo frigorífico.

**Figura N° 56: Tanque con entrada y salida del chocolate**



Acabo final, con el soporte para el mezclador:

**Figura N° 57: Tanque con soporte de mezclador**



### ***Mezclador para el chocolate:***

Se tomará a consideración por la simpleza de uso para nuestro caso y por la facilidad de uso, el mezclador tipo *turbina*, el cual se regulará su SHP (Potencia del agitador) a partir de los datos recolectados durante el proceso, dado que son necesario ciertos valores variables como la densidad del fluido, en nuestro caso, el chocolate, el cual varía dependiendo de su temperatura y la mezcla que posea.

Por convención se utilizará un mezclador con un motor de ½ HP para el caso de una planta piloto.

Además, al considerar el tamaño del tanque de un diámetro interno de 40 cm, la medida del mezclador ideal marcada de alerón a alerón sería aproximadamente de 30 - 35 cm, dando espacio así para que pueda intensificar y redirigir la temperatura a todo el chocolate de forma uniforme.

### ***Bomba extractora para chocolate:***

Al igual que como el mezclador, para este trabajo se ha escogido un modelo de simple desempeño y de acceso rápido para que se pueda realizar el mantenimiento respectivo fácilmente, es el caso de la bomba de cavidad progresiva.

La cual, al presentar una forma tubular extendida, y poseer el aislamiento interno necesario para la conservación de la temperatura y tiempo en marcha continua que promete.

De igual manera esta bomba trabajará con tubería de entrada y salida de ½" por uso genérico en la planta piloto, además de poseer un manómetro fijo para chequeo de paso visual.

### ***Electroválvulas:***

Se utilizará una electroválvula común de 12 VDC de ½", las cuales cumplirán la función de abrir el paso del chocolate a la entrada del tanque hasta que alcance la altura predeterminada por el control y vuelva a ser cerrada de forma automática.

Además, la de resguardar el recorrido del tanque hacia la bomba de agua, cumpliendo la función de un cierre de emergencia en caso la bomba de chocolate falle y tenga que realizarse un cambio o mantenimiento del mismo.

Para estas electroválvulas, se les conoce por trabajar con solenoides, los cuales se tiene en cuenta debe de trabajarse con una fuente externa a la placa de interfaz que se utilizará, y al tener en cuenta la diferencia de voltajes entre ellos, se elaborará una interfaz de protección utilizando opto acopladores.

**Figura N° 58: Electroválvula Tipo K**



*Fuente: Planeta Huerto (s.f.). Venta electroválvula k hembra caudal regulable. 2018, de Planeta Huerto Sitio [https://www.planetahuerto.es/venta-electrovalvula-k-hembra-caudal-regulable\\_06817](https://www.planetahuerto.es/venta-electrovalvula-k-hembra-caudal-regulable_06817)*

### **Sensor ultrasónico:**

Para mantener constante la cantidad de chocolate que será vertido al tanque y cumplirá la función de enviar la señal de apertura y cierre a la electroválvula, será un sensor ultrasónico, el cual es de uso común junto al arduino, modelo HC-SR04.

Como se sabe este modelo de sensor ultrasónico, a pesar de no ser un elemento especializado, se ha tomado en consideración sus defectos ante otros, como la velocidad de medida y la longitud máxima y mínima de medida en un ambiente oscuro para poder desarrollar el control, además de que se presta adecuadamente para el prospecto de trabajo en sí.

Funcionará de la siguiente forma:

1. El control elaborado en LabVIEW enviará la señal, para que inicie la medida el sensor, al arduino y este a su vez al sensor propiamente dicho.
2. El sensor enviará una onda ultrasónica y esperará el rebote de esta.
3. La información recibida la recibirá el arduino, y este enviará la información convertida en una medida métrica.

Esta acción será repetitiva de forma que tengamos la información del interior de tanque respecto a la medida alcanzada actualizada.

**Figura N° 59: Sensor ultrasónico**



*Fuente: Nomada-e (s.f.). Sensor ultrasónico de proximidad. 2018, de Nomada-e Sitio <https://nomada-e.com/store/sensores/4-sensor-ultrasonico-de-proximidad.html>*

### ***Sensor de temperatura Pt100:***

Como opción de recolección de datos respecto a la temperatura, se utilizará un sensor térmico pt100, el cual nos provee una utilización simple, además que, al ser un modelo conocido y usado para pruebas, nos permite utilizarlo en conjunto con la interfaz arduino.

Respecto a la altura en la que se colocará el sensor, no debería de existir una varianza entre los diferentes puntos de altura, dado que al interior del tanque se busca tener el chocolate a una temperatura constante y uniforme, en busca de lo ideal, se acordó en colocarlo a una altura media donde el chocolate se encontraría entre la temperatura más baja (parte alta del tanque) y la más alta (parte baja donde estará la resistencia térmica).

Su función constará de enviar información, como los instrumentos anteriores, directamente al arduino el cual lo reenviará al LabVIEW para mostrar la data de forma numérica.

**Figura N° 60: Sensor Pt100**



### ***Sistema de calefacción:***

Esta es la opción a utilizar para generar el calor necesario para aumentar la temperatura del chocolate, el cual también corresponde a una potencia promedio de 500 Watts.

A través del control elaborado, su activación y desactivación dependerá de la temperatura promedio en la que se encuentre el chocolate dentro del tanque, a su vez de mantenerlo alejado del mezclador que se encontrará en constante movimiento.

Al ser un elemento que trabaje directamente con una línea alterna de 220 V, y que necesite un activador secundario, una electroválvula que permitirá el paso del gas, para que intensifique la llama del mechero que permanecerá encendido.



**Figura N° 61: Sistema de Calefacción**



*Fuente: BrotoTermic (s.f.). Catalogo resistencias calefactoras. 2018, de BrotoTermic Sitio <http://www.brototermic.com/docs/catalogo-resistencias-calefactoras.pdf>*

### ***Refrigeración:***

Dado que, en la elaboración del chocolate, su preparación en la etapa del templado, es necesario subir y bajar temperaturas, para mantenerlo así siempre a un valor constante, es necesario la utilización de una máquina de refrigeración para el chocolate.

Al ser un modelo piloto, se utilizará un método convencional que se encuentra fácilmente en las refrigeradoras que se usan comúnmente, puesto que, al no poder ingresar un tubo con el refrigerante al interior del tanque de chocolate, para evitar alguna clase de contaminación durante la preparación, debe ser colocado alrededor de este, y al encontrarse completamente sellado el tanque, logra asimilarse a lo que es una refrigeradora convencional.

El proceso de refrigeración consta de 4 etapas, en donde intervienen, un compresor, un condensador, una válvula de expansión y el evaporador.

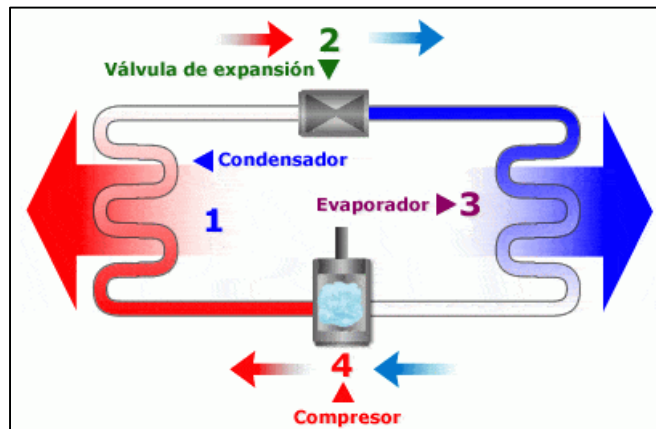
Donde, el compresor se encarga de aspirar el vapor del evaporador y hacer que ingrese fácilmente al condensador.

El condensador, el cual absorbe el calor que posee el refrigerante.

La válvula de expansión, el cual proporciona la diferencia de expansión que pueda existir entre los lados de presiones altas y bajas.

Y el evaporador, el cual es un intercambiador de calor que absorbe el calor del medio en el que se encuentra para enfriar.

**Figura N° 62: Ciclo de refrigeración**



*Fuente: Aire Acondicionado (s.f.). El ciclo de refrigeración como funciona. 2018, de tuaireacondicionado Sitio <https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>*

El proceso, como se muestra en la Figura N°62, inicia en el condensador, donde el refrigerante se encuentra aún en estado líquido, luego es transportado hacia el evaporador por medio de la válvula de expansión la cual le produce al refrigerante una pérdida de presión durante la transición. Una vez se encuentra en la etapa 3 y se esté desarrollando, el líquido refrigerante comienza a hervir por el cambio de presión que presentó, convirtiéndose al estado gaseoso. Así mismo al llegar al compresor, y durante su recorrido hacia el condensador, el gas de refrigerante se comprime para así formar nuevamente al estado líquido y pueda reiniciar el proceso nuevamente.

- **Etapa de Moldeado**

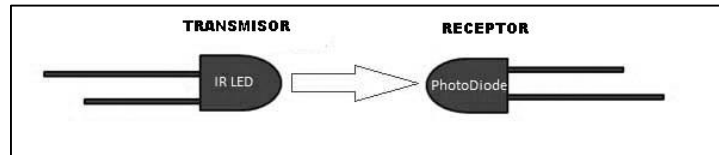
Esta etapa se ha elaborado de manera simple, con la cual el diseño presente lo esencial para el proceso, se encontrará delimitado por un sensor de movimiento, el cual, al detectar el molde para chocolate, activará la electroválvula para ceder el paso del chocolate y llenar el molde, posteriormente ese molde será desplazado por una faja hasta un equipo de enfriamiento y desmoldado, para tener el chocolate en un estado sólido y pueda pasar a la etapa de empaquetado.

***Sensor de movimiento:***

Para el reconocimiento del molde, se considera el uso del sensor infrarrojo como opción del proyecto piloto, funciona directamente con el corte de la señal pasante entre el led emisor y el receptor.

El sensor consta de dos partes: un emisor y un receptor, los cuales forman un circuito cerrado cuando estén uno frente al otro. La cual básicamente al cortar el pase de los rayos infrarrojos del emisor, se generará una acción para activar la electroválvula.

**Figura N° 63: Sensor Infrarrojo**



***Electroválvula:***

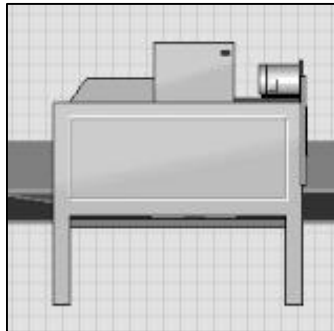
Al igual que en la etapa anterior de templado, se usará el mismo modelo de electroválvula para el proceso.

***Máquina enfriadora y desmoldado:***

Esta máquina se encargará de solidificar el chocolate, utilizando método de refrigeración por ventiladores, para el caso del proyecto, y pequeñas vibraciones generadas por un motor.

Además, para el desmoldado, la máquina posee un proceso interno el cual se encarga de quitar el molde fácilmente, evitando así que el chocolate se desmorone o quiebre.

**Figura N° 64: Máquina de enfriamiento y desmoldado**



***Faja transportadora:***

Para el transporte del chocolate, se utilizará una faja transportadora a una velocidad no alta, para evitar que la mezcla de chocolate sea derramada, durante el llenado y el enfriado, para así pasar a la etapa final de empaquetado.

- **Etapa de Empaquetado**

Esta es la etapa en donde el chocolate ya solidificado, pasará a ser envasado y distribuido en cajas para entregar a los consumidores.

Constará de una faja transportadora con topes, los cuales permitirán que cada una de las barras de chocolate lleguen de una única posición al empaquetador.

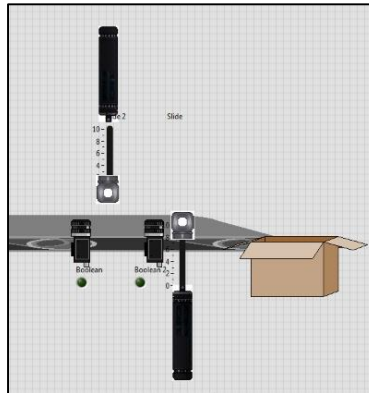
Posteriormente, esta barra será sensada para así activar el rodillo con el plástico que se usará para embolsar el chocolate, y los actuadores siguientes.

Como se mencionó, el plástico envolvente solo se aplicaría en la parte frontal de la barra, pero al utilizar unos topes que se encuentran distanciados uno del otro del tamaño de la parte más corta de la barra de chocolate, harán que el plástico forma una U, rodeando la barra. Luego de avanzar un poco distancia los sobrantes de plástico que se encuentran debajo de la barra, serán sellados una punta con la otra, evitando dejar un espacio de vacío en él.

Al terminar el primer sellado, pasará a la última etapa de sellado y corte, un sensor idéntico al utilizado anteriormente, se encargará de su activación consecutiva. Al detectar la barra, activará el sellador y cizalla para que cierre completamente la barra de chocolate por ambos lados, dejando así un espacio de vacío mínimo.

Cabe resaltar que el sellado y corte, son realizados por actuadores cilíndricos de alta velocidad y el cuidado que debe poseer es grande.

**Figura N° 65: Etapa de Empaquetado**



### **Actuador eléctrico:**

Para el desarrollo de sellado y corte, es necesario un equipamiento mecánico, y para que pueda realizarse a una velocidad alta, se utilizará actuadores activados de forma eléctrica.

Estos actuadores constan de motores internos los cuales generan la potencia necesaria para elongar el sellador y cizalla.

**Figura N° 66: Actuador eléctrico**



Fuente: DirectIndustry (s.f.). ACTUADOR LINEAL / ELÉCTRICO / DE TORNILLO. 2018, de DirectIndustry  
Sitio <http://www.directindustry.es/prod/linearmech-srl/product-69871-737841.html>

### ***Sellador:***

Para poder sellar el empaque plástico se utilizará una máquina selladora que genere la temperatura necesaria para cerrar completamente la bolsa de forma rápida y evitar así que el chocolate interno sufra alguna deformación por exponerse por largo tiempo.

Se utilizarán dos selladores, uno para sellar en la parte baja de la barra y otro para los extremos.

### ***Cizalla:***

La cizalla trabajará en conjunto con el sellador, esta hoja debe de encontrarse siempre en buen estado para evitar una mal corte o demora del proceso.

En comparación con el sellador que se utilizan dos, esta cizalla será utilizada únicamente en el corte de los laterales del chocolate puesto que es la principal ideal de su uso.

### ***Faja transportadora:***

Al igual que en el proceso anterior, se utilizará una faja transportadora, sin embargo, esta se desarrollará a una velocidad más alta dado que la barra ya se encuentra solidificada, teniendo en cuenta además que poseerá topes plásticos para que la barra obtenga la posición necesaria para ingresar al embolsado.

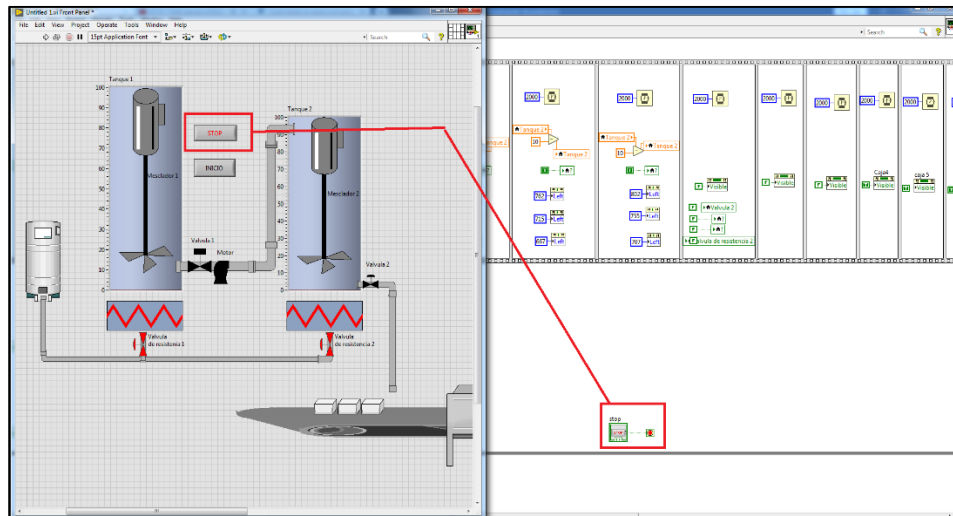
## **2.2.2. Diseño Software**

La programación en LabVIEW se encuentra en el ANEXO 2 (esquema general).

Debido al principio de que a la hora de programar es necesario que los códigos sean legibles, se requiere que siempre ocupen un lugar determinado en un área visible en la pantalla para poder observar adecuadamente el ritmo del programa por lo tanto en LabVIEW no se implementó un zoom como tal porque rompe esta regla.

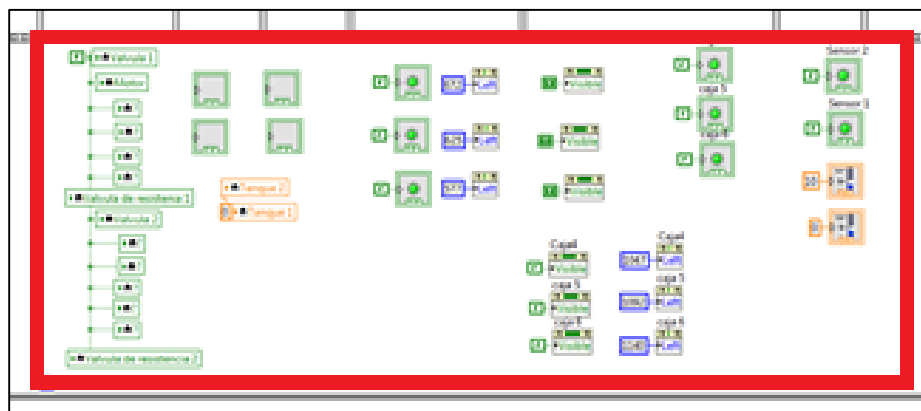
En primer lugar, podemos ver un cuadro que rodea a todos los elementos o bloques que utilizaremos, este cuadro significa todo lo que este dentro se ejecutara en bucle hasta que se cumpla una condición la cual es que se ejecute la parada de emergencia (stop) como se muestra en la figura siguiente la cual en lenguaje de programación es similar a la función while.

**Figura N° 67: Señal de Parada de Emergencia**



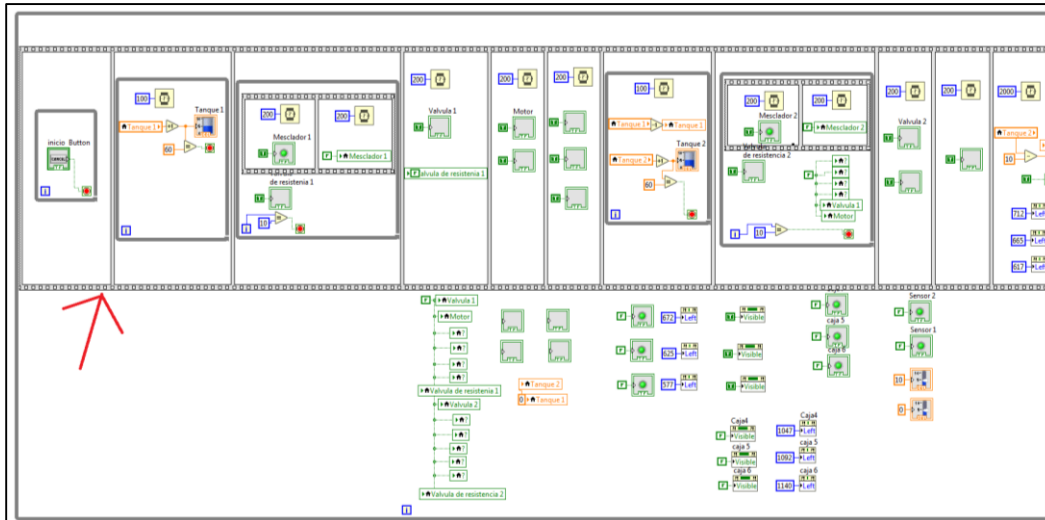
En la parte sombreada de rojo se pueden observar los bloques de todos los elementos usando en la pantalla de operador con su respectiva configuración que tomaran al ejecutar el programa (condiciones iniciales).

**Figura N° 68: Bloque de elementos de la Pantalla del Operador**



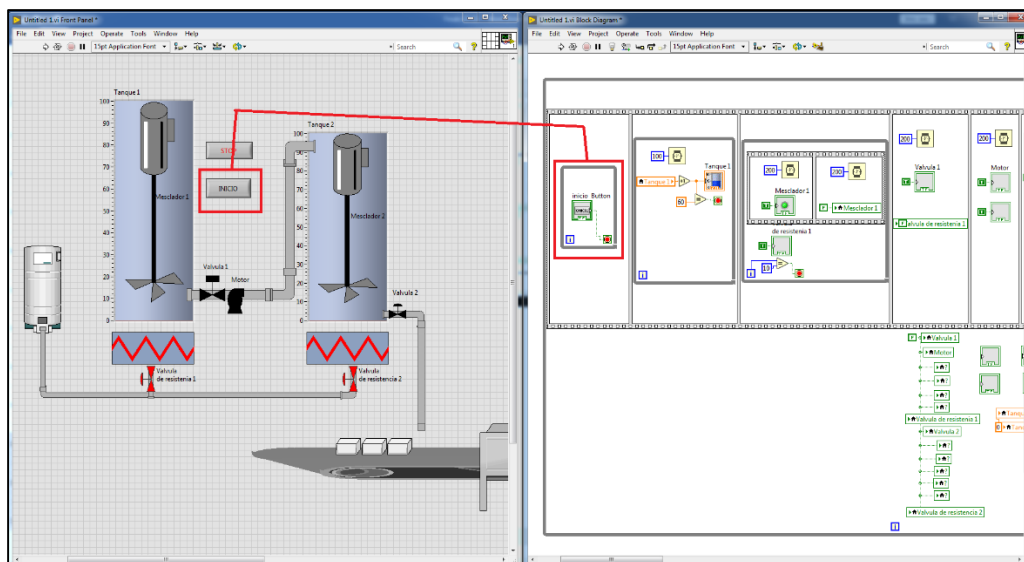
Luego podemos observar una estructura parecida a un cuadro de una historieta los cuales cumplen gráficamente con la misma función que es dar un orden pre establecido a los procesos que se realizaran en el programa.

**Figura N° 69: Segmento de Programa**



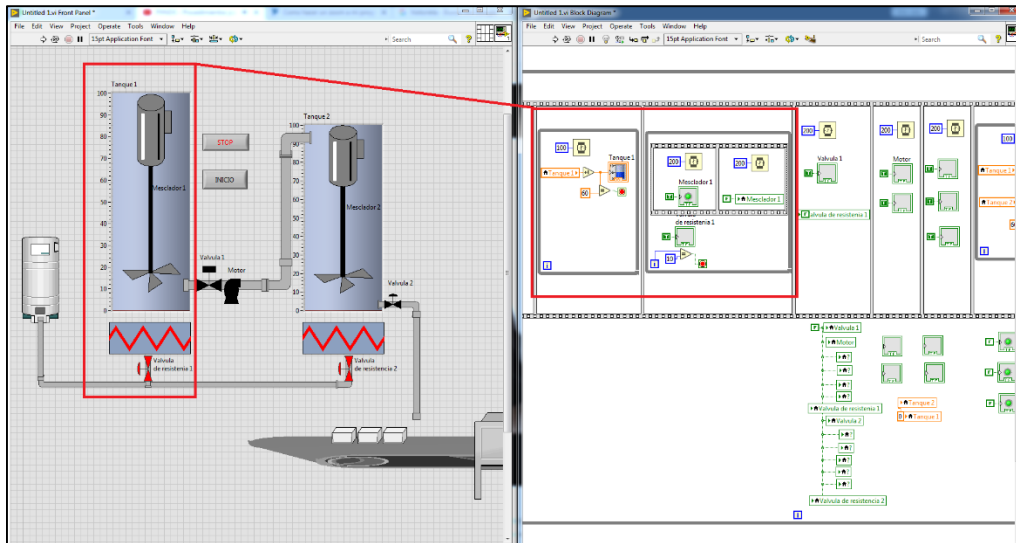
El primer paso para que se ejecute el proceso luego de las verificaciones a todos los instrumentos, como que tengan una correcta alimentación, no exista ningún peligro u objeto que pueda generar algún problema al momento de realizarse el proceso se procede a iniciar la secuencia pre programada por medio de un botón de inicio el cual se muestra el botón en el panel de operador y su respectivo en la programación.

**Figura N° 70: Botón de Inicio del Proceso**



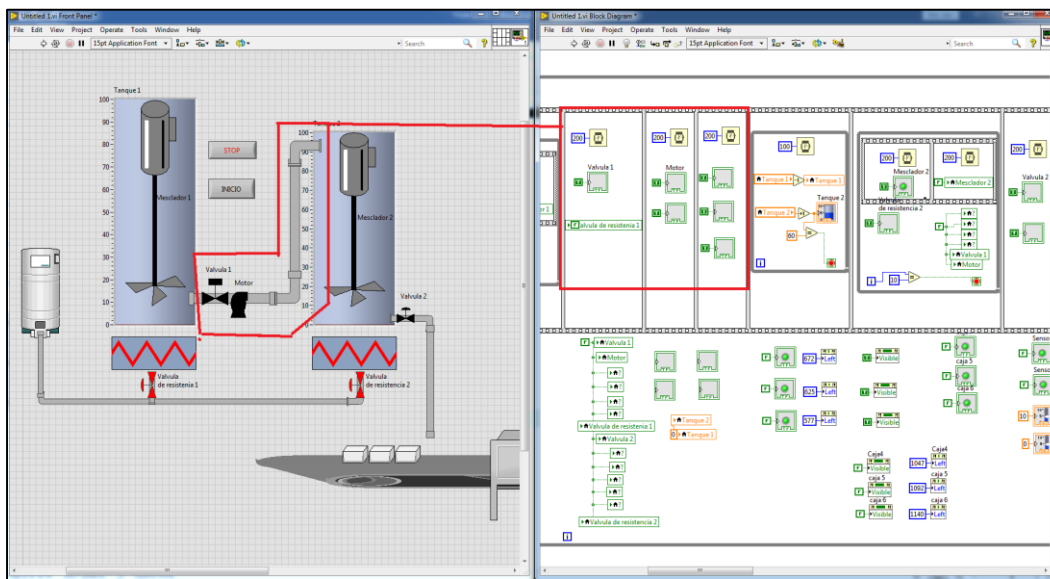
Esta parte de la programación está dedicada al llenado del tanque, activación del mezclador, activado de la resistencia que aumentará la temperatura de la mezcla y se mantendrá un control mediante un pt100 y un controlador dedicado.

**Figura N° 71: Programa para el llenado del tanque**



Esta parte se encarga del control del motor y válvula que serán activados luego de un tiempo determinado en el cual el chocolate estará listo para entrar al otro tanque donde ocurre la fase de enfriamiento.

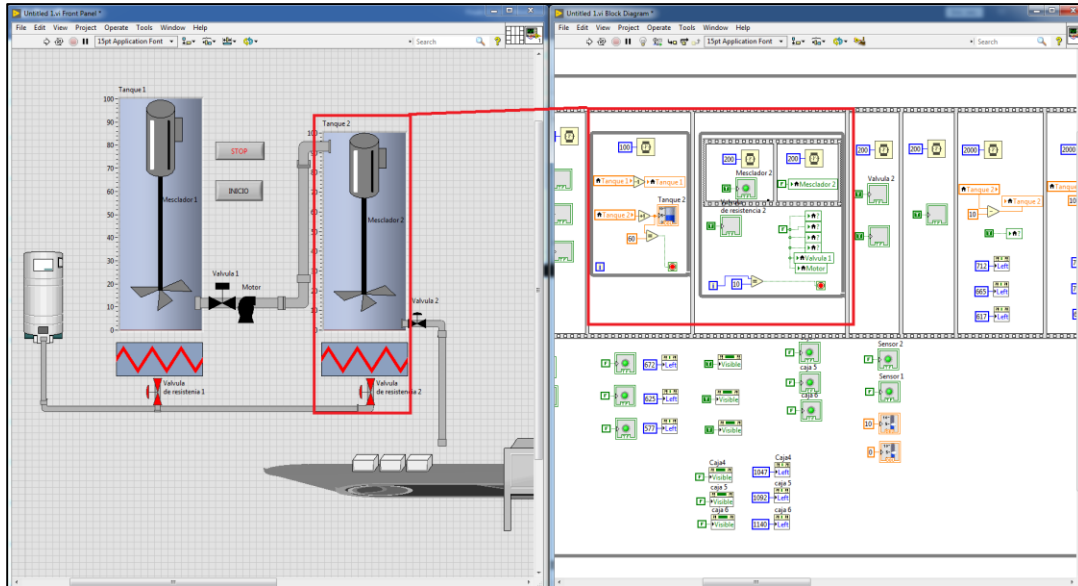
**Figura N° 72: Programa para el control del motor**





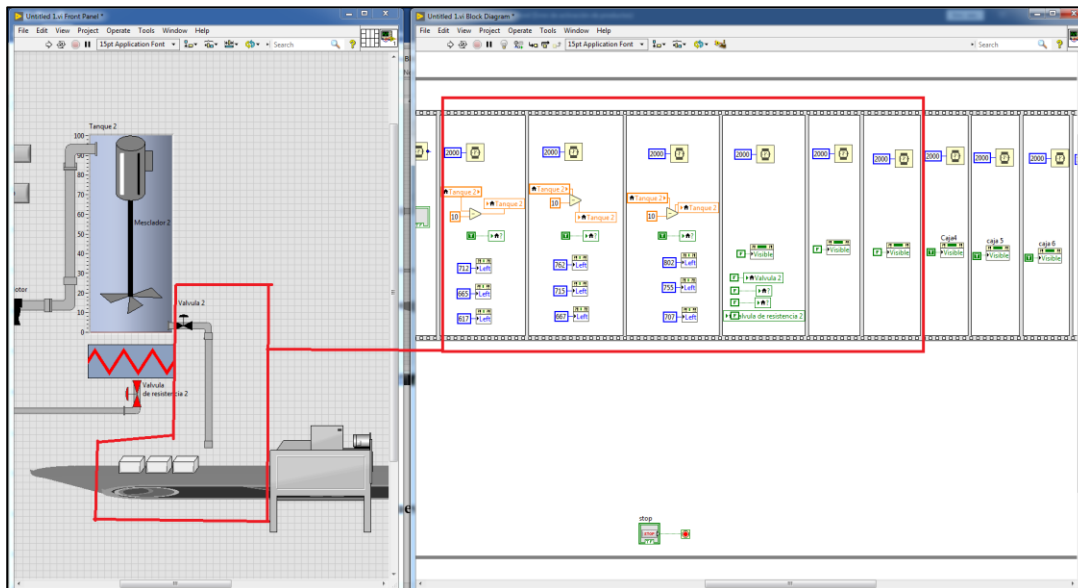
En esta parte del programa es donde se encuentra el llenado del segundo tanque adicionalmente la activación del agitador perteneciente al tanque y su control de temperatura para lograr el templado del chocolate.

**Figura N° 73: Programa templado del chocolate**



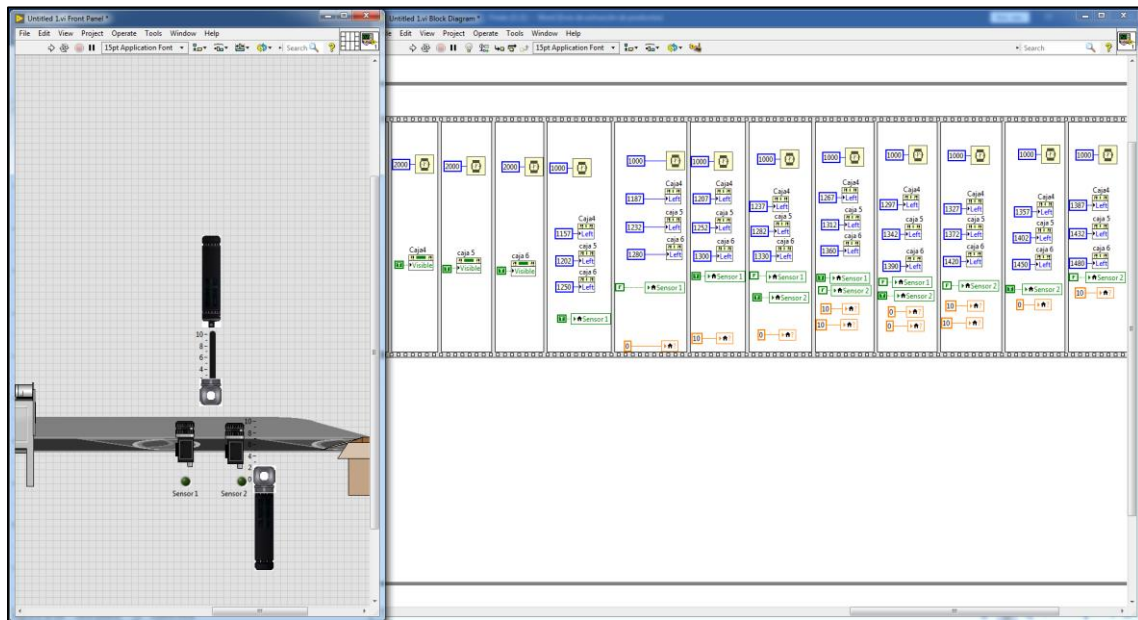
En la siguiente etapa se muestra la fase de moldeado del chocolate que ya se encuentra templado, en esta fase se separa la mezcla en pequeños moldes por medio de un control a una válvula que actúa como un sistema de dosificación hasta que llega a él enfriador el cual reducirá la temperatura de los moldes a 15°C.

**Figura N° 74: Programa para el moldeado del chocolate**



En esta fase final se muestra la programación que se realizó para el empaquetado del chocolate.

**Figura N° 75: Programa para la etapa de empaquetado**



### 3. Población y Muestra.

Se tomará como población a las plantas modelos y plantas reales de las cuales se analizarán datos verídicos que facilitarán a la comparativa con los datos obtenidos y variables de la planta modelo realizada por nosotros.

### 4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Se realizarán pruebas con el modelado, calculando tiempos de desarrollo, tiempos de respuesta entre la planta piloto y el software de monitoreo.

### 5. Procedimientos de recolección de datos.

Los datos se tomarán cinco por cada proceso necesario, en donde se variarán los valores de las variables para captar diferentes resultados, buscado encontrar los tiempos más adecuados para obtener mayores ganancias con respecto a la cantidad obtenida.

## 6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.

**Tabla 16: Procedimiento estadístico**

No	ACTIVIDAD	Semanas																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Desarrollo de la parte exploratoria	■	■															
2	Planteamiento del problema y objetivos		■	■														
3	Justificación y análisis de viabilidad			■	■													
4	Elaboración del marco teórico				■	■	■											
5	Revisar la literatura y visitar páginas web					■	■	■										
6	Definir el tipo de investigación y las hipótesis respectivas						■	■										
7	Operacionalizar las variables							■	■									
8	Definir el diseño de la investigación								■	■								
9	Determinar la población y seleccionar los datos									■	■							
10	Programar el método de recolección de datos, recolección y codificación										■	■	■	■				
11	Analizar los datos											■	■	■	■	■		
12	Elaborar y presentar el reporte final de la investigación																■	■

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

#### 1. Introducción.

Para tener presente el correcto funcionamiento del prototipo para el empaquetado de chocolate mediante LabVIEW, se realizó simulaciones y pruebas de las etapas consultadas, esto permite corroborar el funcionamiento correcto de las etapas.

#### 2. Simulaciones.

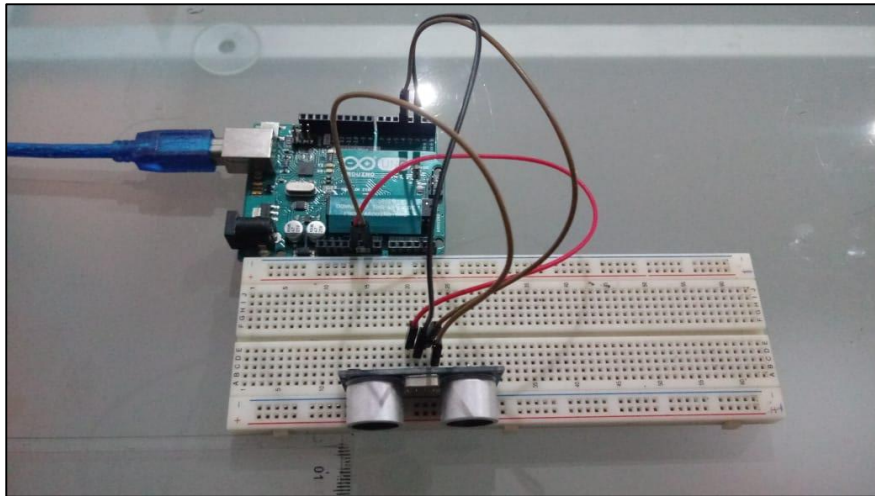
Para las simulaciones se utilizó el programa LabVIEW y Arduino, estos programas permiten la elaboración del programa completo y parcial para cada uno de los instrumentos a utilizar, además de servir como comparación entre los resultados obtenidos directamente del arduino y directamente de LabVIEW para compararlos entre sí y directamente con los calculado teóricamente, y así tener una escala medible de los tiempos utilizados.

#### 3. Pruebas realizadas.

##### 3.1. Sensor Ultrasónico

La elaboración de un circuito simple para la obtención de datos de prueba.

**Figura N° 76: Circuito de prueba para el sensor ultrasónico**



Se realizó pruebas en Arduino, cargando el siguiente programa para pruebas:

```
// Configuración de pines
const int Trigger = 4; //Se establece Pin digital 4 para el Trigger del sensor
const int Echo = 2; //Se establece Pin digital 2 para el Echo del sensor
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);           //Se inicializa la comunicación
  pinMode(Triquer, OUTPUT);    //Configuración pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT);       //Configuración pin como entrada
  digitalWrite(Triquer, LOW); //Inicialización de pines en baja
}

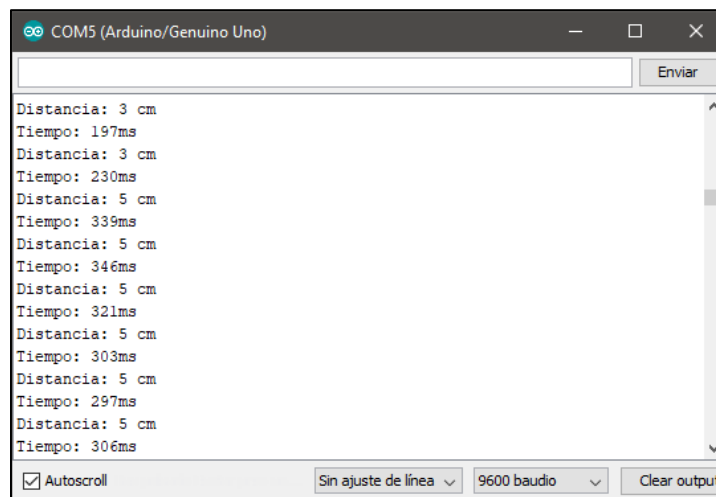
void loop()
{
  // Configuración de variables tiempo - distancia
  long t;
  long d;
  // Envío de señal
  digitalWrite(Triquer, HIGH);
  delayMicroseconds(10);      //Delay de 10us de pulso enviado
  digitalWrite(Triquer, LOW);
  // Calculo de tiempo y distancia
  t = pulseIn(Echo, HIGH);    //Obtenemos el ancho del pulso
  d = t/59;                   //Escalamos el tiempo a una distancia en cm
  //Muestreo serial de los valores obtenidos
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(d);
  Serial.print(" cm");
  Serial.println();
  Serial.print("Tiempo: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print("ms");
  Serial.println();
  delay(500);
}

```

Donde se obtiene los resultados:

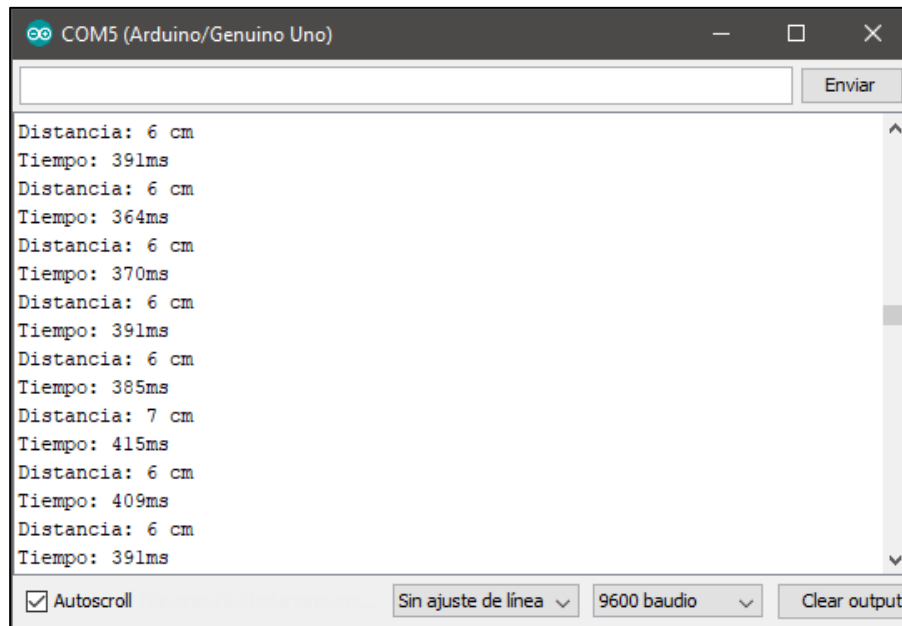
- **A 1 cm de distancia**

**Figura N° 77: Resultados a 1cm - Arduino**



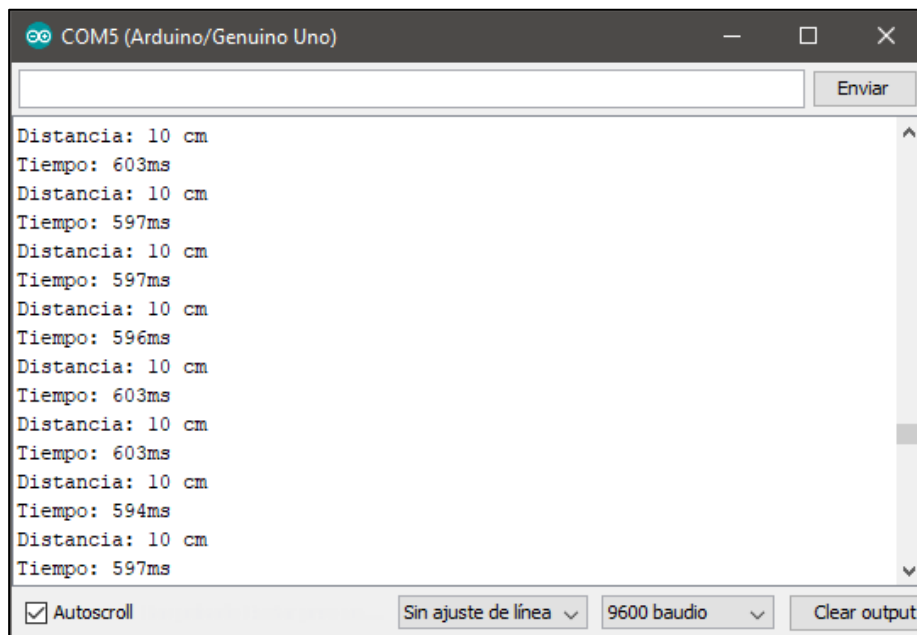
- **A 5 cm de distancia**

**Figura N° 78: Resultados a 5cm - Arduino**



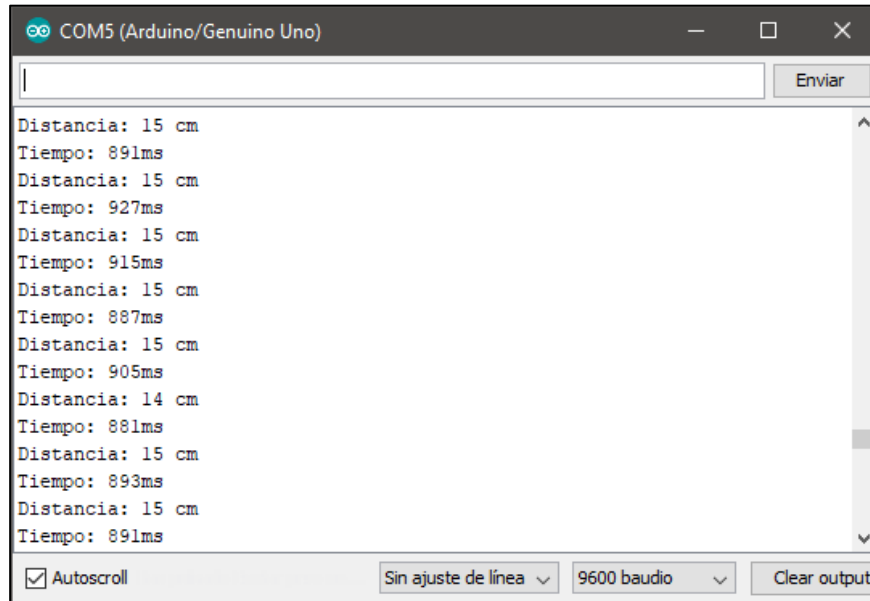
- **A 10 cm de distancia**

**Figura N° 79: Resultados a 10cm - Arduino**



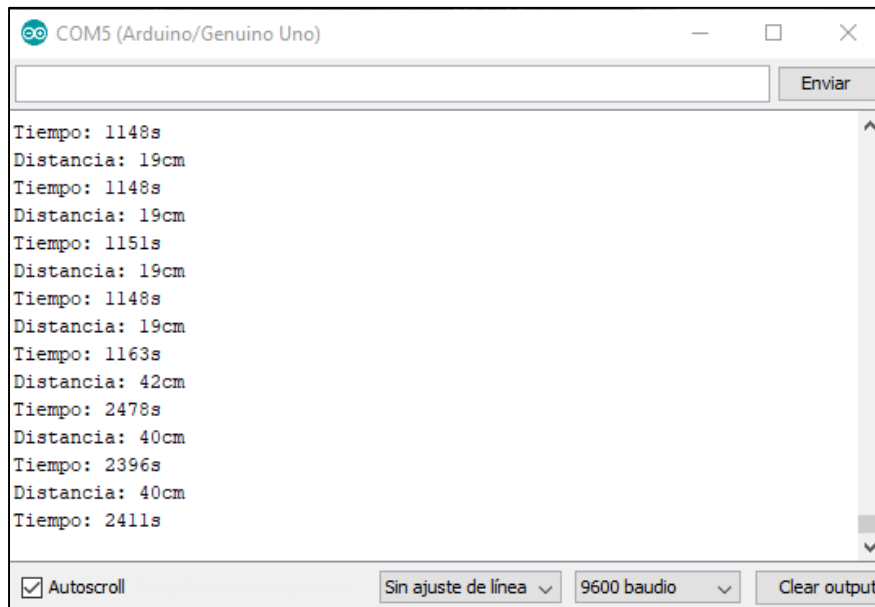
- A 15 cm de distancia

**Figura N° 80: Resultados a 15cm - Arduino**



- A 20 cm de distancia

**Figura N° 81: Resultados a 20cm - Arduino**



De los datos recopilados, se obtiene la Figura N°82, en dónde solo se colocó los valores de 5, 10, 15 y 20 cm, del cual se puede visualizar que incremente linealmente y que no existe mucha variación cuando queda marcado en una distancia específica.

**Figura N° 82: Gráfica - Varianza del sensor**



Además, acorde a la ecuación básica de  $d=v*t$ , y considerando la velocidad del sonido como la proyección del eco, los tiempos teóricos para cada distancia testada, serían:

**Tabla 17: Tabla de tiempos teóricos**

distancia (cm)	distancia (m)	velocidad	tiempo
1	0.02	343.2	58
5	0.1	343.2	291
10	0.2	343.2	583
15	0.3	343.2	874
20	0.4	343.2	1166

De acuerdo a estos valores, y comparándolos con los resultados obtenidos tenemos:

**Tabla 18: Tabla comparativa**

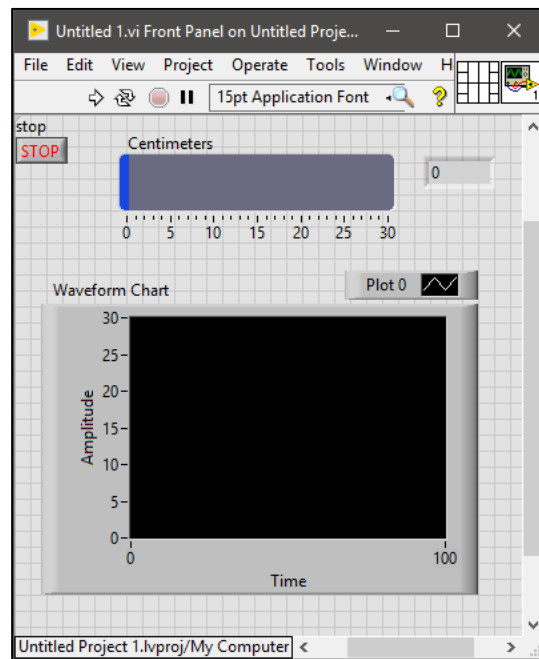
Distancia exacta	Distancia marcada	tiempo teórico	tiempo marcado
1	4.5	58	292.375
5	6.1	291	389.5
10	10	583	598.75
15	14.8	874	898.75
20	19	1166	1151.6



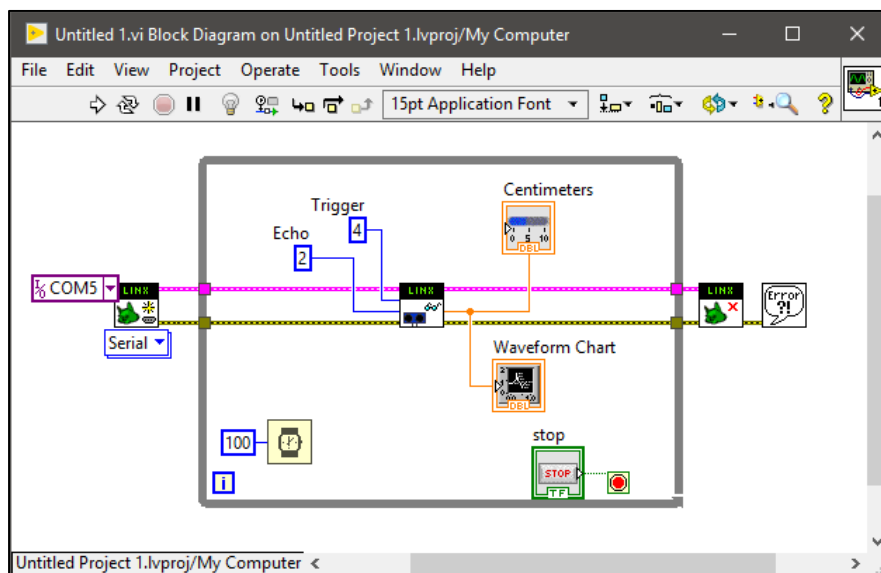
Como se puede observar, las distancias entre la medida y la marcada, no existe gran variación a partir de los 5cm, mientras que, para el tiempo, a partir de los 10cm es más cercano al valor teórico.

A continuación, se realiza la misma prueba con el software de LabVIEW, que se utilizará con el proyecto terminado, y se observará las diferencias e igualdades entre uno y el otro.

**Figura N° 83: Ventana visual - LabVIEW**

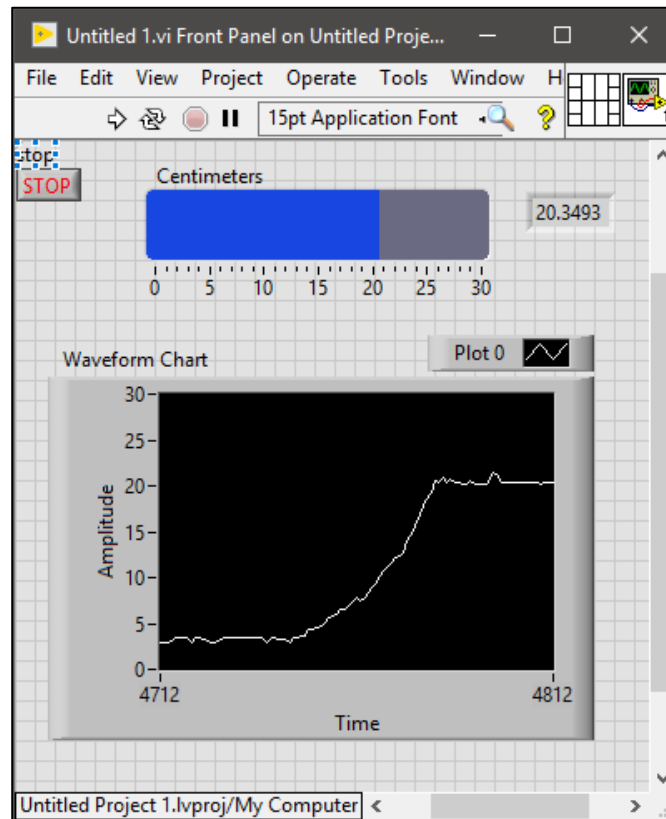


**Figura N° 84: Programa interno - LabVIEW**



Los resultados simulados fueron:

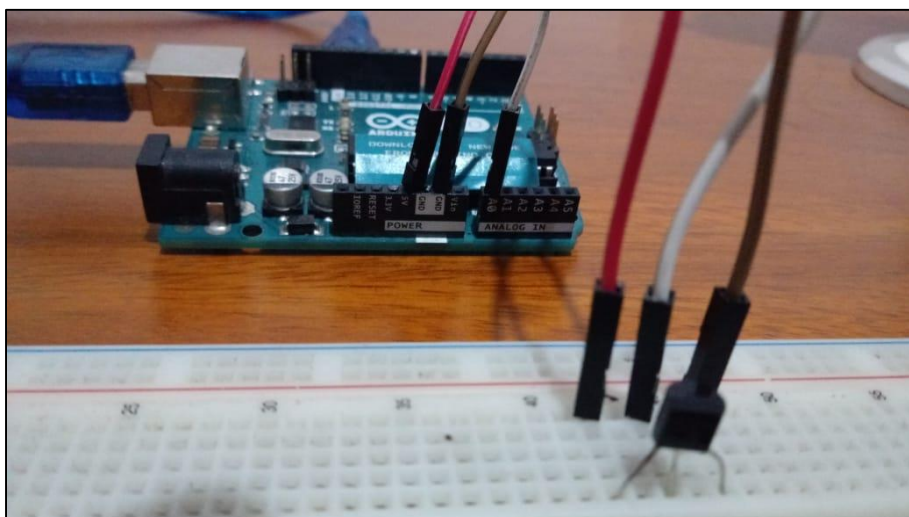
**Figura N° 85: Lectura de 2 a 20 cm**



### 3.2. Sensor LM35

La elaboración de un circuito simple para la obtención de datos de prueba.

**Figura N° 86: Circuito de prueba para el LM35**



Programa hecho en Arduino para la simulación de recopilación de datos.

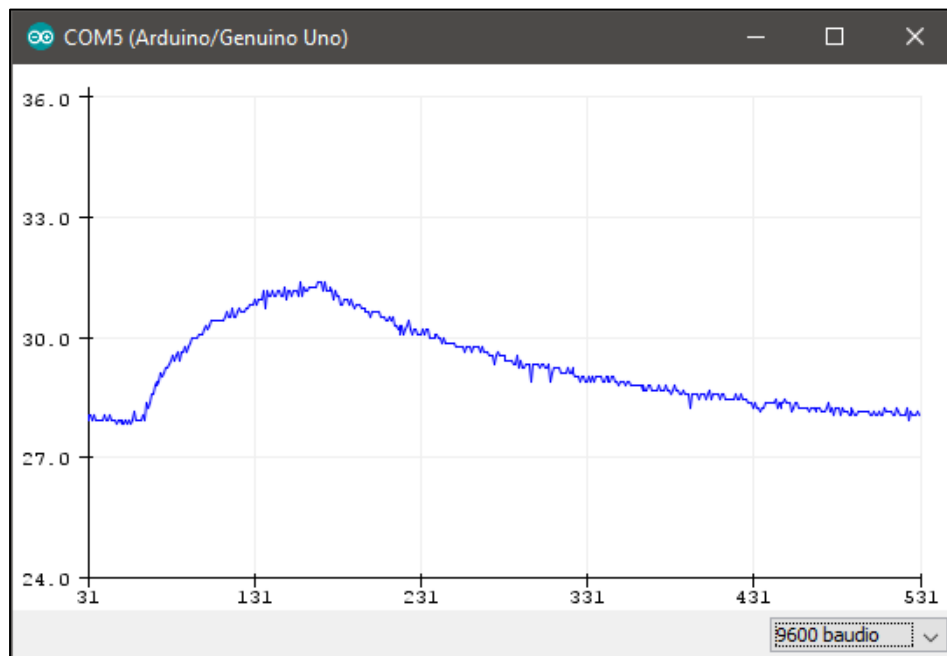
```
// Declaracion de variables
float TempS;           // Variable para almacenar el valor obtenido del sensor (0 a 1023)
int pinLM35 = 0;      // Configuración pin para el sensor

void setup() {
  analogReference(INTERNAL);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Con analogRead leemos el sensor, recuerda que es un valor de 0 a 1023
  TempS = analogRead(pinLM35);
  // Calculamos la temperatura con la fórmula
  TempS = (1.1 * TempS * 100.0)/1024.0;
  // Envía el dato al puerto serial
  Serial.print(TempS);
  Serial.print("\n");
  delay(100);
}
```

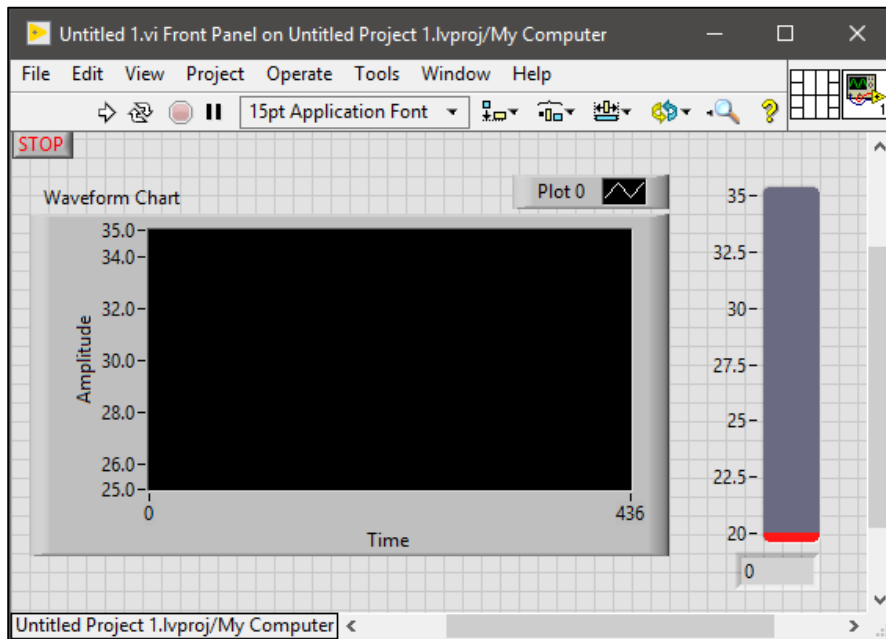
Donde, como se puede observar en la Figura N°87, extraída del software propio de Arduino, el elemento detecta la temperatura del ambiente y lo transforma a datos digitales, como se representa en el plotter, a medida que la temperatura incrementa, la gráfica sube, y en caso contrario, baja.

**Figura N° 87: Variación de la temperatura con LM35 - Arduino**

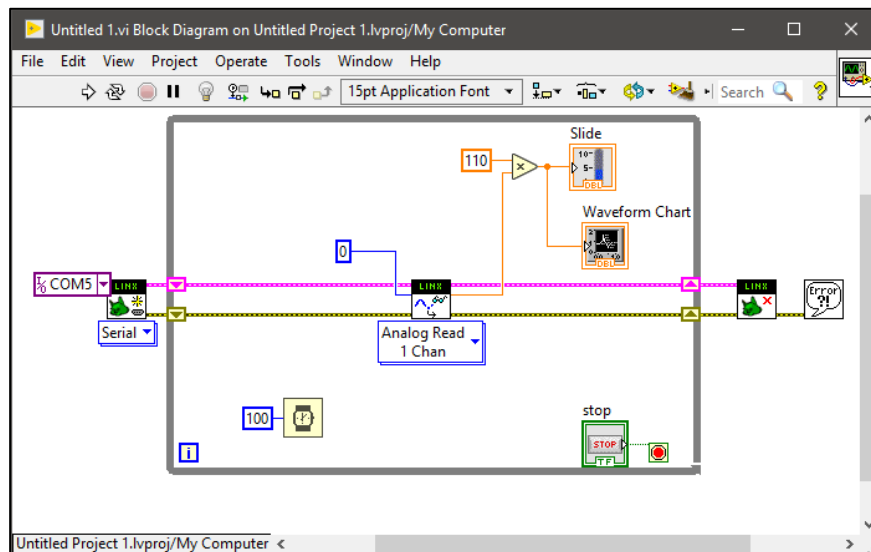


Se realizó la misma prueba en el software principal – LabVIEW de la siguiente manera:

**Figura N° 88: Ventana visual - LabVIEW**

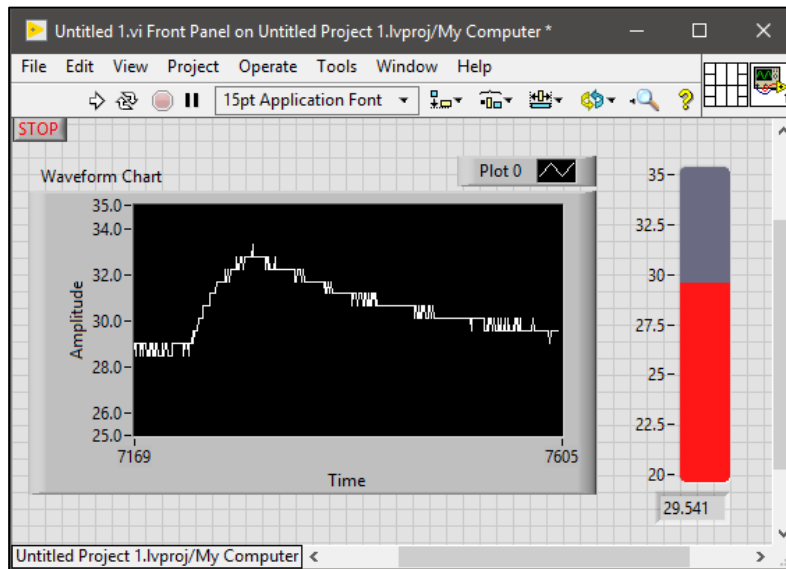


**Figura N° 89: Ventana programa - LabVIEW**



La Figura 90, muestra la linealidad y datos recopilados por el sensor LM35, el cual, si se compara con la Figura 87, se observa una similitud entre ellas. Por lo tanto, no existe mucha afectación entre el uso de un software u otro.

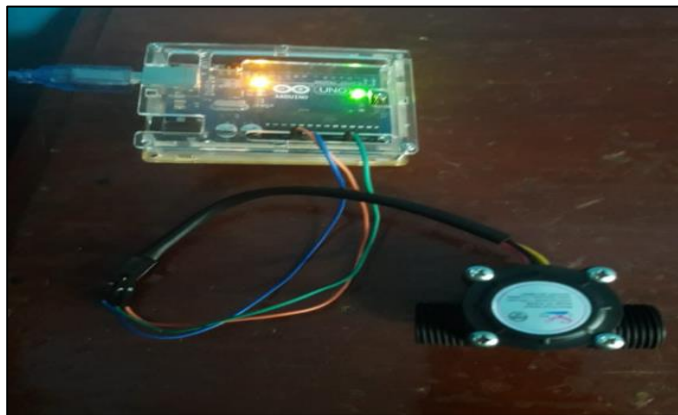
**Figura N° 90: Resultado gráfico de la variación de temperatura con LM35 - LabVIEW**



### 3.3. Sensor de flujo (YF-S201B)

Elaboramos un circuito simple y un programa en arduino, para obtener datos de prueba del instrumento

**Figura N° 91: Circuito de prueba para el YF-S201B**



Programa hecho en Arduino para la simulación de recopilación de datos.

```
volatile int NumPulsos;           // Variable para pulsos
int PinSensor = 2;                // Pin 2 de entrada para el sensor
float factor_conversion=7.5;      // Constante de conversión de frecuencia a caudal

// Función que se ejecuta en interrupción
void ContarPulsos ()
{ NumPulsos++;                    // Incremento en 1 de la variable de pulsos      }
```

```

// Función para obtener frecuencia de los pulsos
int ObtenerFrecuencia()
{int frec;
  NumPulsos = 0;           // Reinicia el número de pulsos
  interrupts();           // Habilita las interrupciones
  delay(1000);            // Retraso de 1 segundo
  noInterrupts();         // Deshabilita las interrupciones
  frec=NumPulsos;         // Cuenta de pulsos por segundo
  return frec;            }

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(0, ContarPulsos,RISING); // Interrupción 0 ( Pin2), funcion,Flanco de subida
}

void loop ()
{
  float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); // Cálculo de la Frecuencia
  float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; // Cálculo del caudal en L/m
  float caudal_L_h=caudal_L_m*60; // Cálculo del caudal en L/h

  // Enviamos por el puerto serie
  Serial.print ("FrecuenciaPulsos: ");
  Serial.print (frecuencia,0);
  Serial.print ("Hz\tCaudal: ");
  Serial.print (caudal_L_m,3);
  Serial.print (" L/m\t");
  Serial.print (caudal_L_h,3);
  Serial.println ("L/h");
}

```

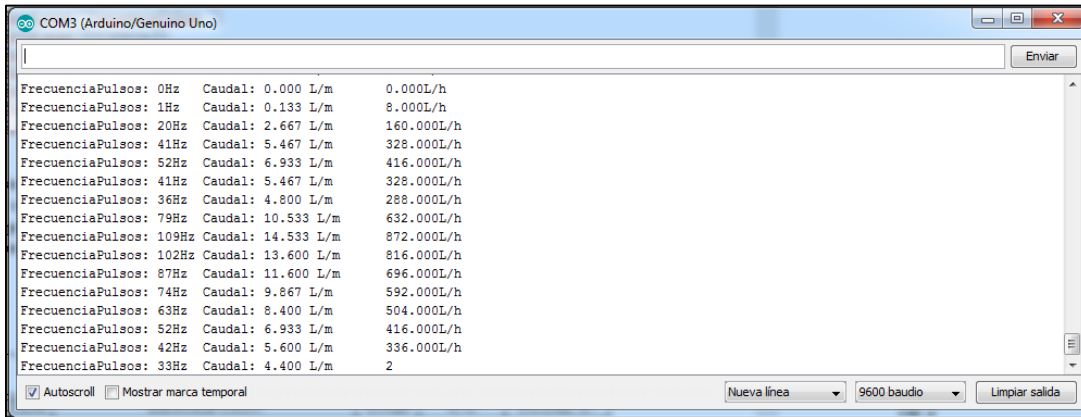
Donde, como se puede observar en la Figura 92, extraída del software propio de Arduino, el sensor al percibir un flujo por sus aspas, las transforma en un tren de pulsos el cual es interpretado en términos de frecuencia por el controlador del Arduino y luego por medio de una formula se logra obtener el flujo que pasa por el sensor.

$$f (Hz) = 7.5 \times Q (L / min)$$

#### **Ecuación 28: Ecuación de conversion Pulso - Caudal**

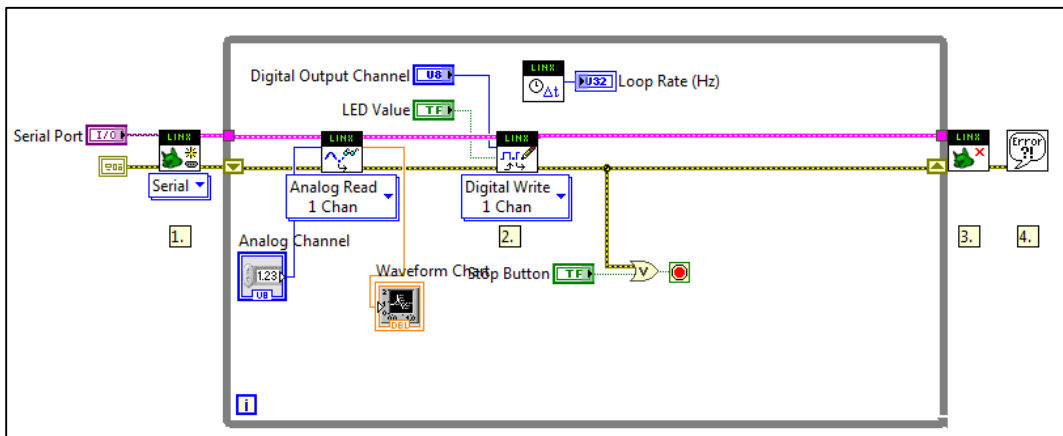
Nota: El 7.5 es un factor de conversión K propio para este fluxómetro el cual es proporcionado por el fabricante.

**Figura N° 92: Variación del flujo YF-S201B - Arduino**

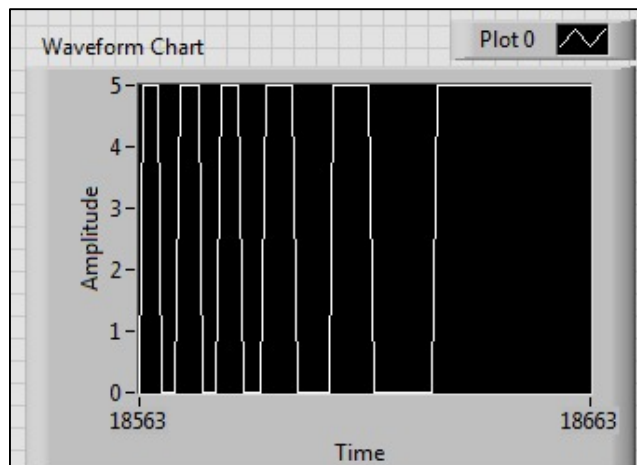


Se realizó la misma prueba en el software principal – LabVIEW de la siguiente manera:

**Figura N° 93: Ventana programa - LabVIEW**



**Figura N° 94: Resultado gráfico de pulsos de YF-S201B - LabVIEW**



Como podemos observar en la Figura 94, en el LabVIEW también se obtiene la señal de pulsos, de igual forma que en el Arduino, esta señal se aplica la misma fórmula con el factor de conversión k y se obtiene el flujo que pasa por el instrumento.

#### 4. Presupuesto.

**Tabla 19: Presupuesto**

TITULO: "PLANTA PILOTO PARA EL EMPAQUETADO DE CHOCOLATE MEDIANTE LABVIEW"				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	C/U	TOTAL S/.
01	Movilidad	20	10.00	200.00
02	Refrigerio	100	20.00	2000.00
03	Copias	10	20.00	200.00
03	Anillado	10	10.00	100.00
04	Laptop	01	5000.00	5000.00
05	Impresora	01	1000.00	1000.00
06	Tinta para impresora	05	100.00	500.00
07	Papel de copia A4	04	15.00	60.00
08	Libros	10	100.00	1000.00
05	Internet	05	100.00	500.00
TOTAL S/.				11060.00



## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 1. Contrastación de hipótesis con los resultados.

La tesis de investigación llamado “Planta Piloto para el Empaquetado de chocolate mediante LabVIEW”, se ha diseñado bajo la utilización de instrumentos de fácil acceso, de bajo costo y que presentan resultados y datos en la escala trabajada, lo cual permite representar dinámicamente una planta industrial real en escala.

Se corroboró que la utilización del sensor de temperatura LM35 es un instrumento que cumple con las necesidades prácticas necesarias para ser utilizado en el proyecto, puesto que se mantiene estable en la temperatura en sí utilizada durante el proceso de temperado, y con las pruebas realizadas tanto a nivel directo, como el software por excelencia utilizado, las cuales nos envían la información recolectada con una velocidad de transmisión buena para su labor y con una nivel de exactitud muy grande, mucho más de lo esperado en un principio.

Además, se verificó la estabilidad y exactitud del sensor ultrasónico, el cual nos presentó buenos resultados, salvo a distancias muy cortas, lo cual es resultado de la trayectoria de sus rayos ultrasónicos el cual sin embargo trabaja perfectamente en la etapa de empaquetado donde la distancia no es ni muy grande para evitar el desperdicio del insumo, ni muy corta, para evitar los problemas de error de medida. Estos resultados contrastados directamente y con LabVIEW, fueron recogidos a buena velocidad y con un margen de error mínimo bajo los pulsos recolectados y datos mostrados, los cuales se presentan en varios de los tipos de sensor que pueden cumplir la misma función.

Se comprueba el uso de un fluxómetro de bajo costo cumple la función correcta de a la hora de recoger los pulsos de frecuencia tras recibir el flujo del líquido medido, y la conversión de la misma en el valor numeral mostrado en el visualizador para así mantener el vaciado del chocolate al molde sin problemas. Se concluye en que el instrumento logra de manera satisfactoria, para el proyecto, su escala a un instrumento de alta calidad utilizado en una planta industrial real.

#### 2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

Se verificó los resultados de las tesis de diferentes países expuestas en los antecedentes, las cuales fueron nuestros puntos de referencia en las distintas etapas del sistema de procesamiento del chocolate para el desarrollo final de nuestro trabajo de investigación y encontrando así los instrumentos y softwares necesarios para diseño final.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- Se concluye que la medición de nivel por ultrasonido es la opción más viable en el proyecto debido a que el principio de medición se adapta muy bien y es el más rentable.
- Se concluye que el sensor de temperatura más adecuado es el rtd debido a su gran variedad de aplicaciones, fácil manejo de señal y de fácil mantenimiento.
- Para la medición de flujo se concluye que es factible el uso de un flujómetro a propela, sin embargo, el más recomendable es un flujómetro por principio electromagnético debido a que no tiene contacto con el fluido por lo tanto el mantenimiento requerido es menos frecuente lo cual resulta más económico considerando el tiempo de operación.

## **CAPÍTULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que al momento de montar el sensor ultrasónico se tenga a consideración el Angulo del haz y la distancia de bloqueo del instrumento debido a que si el dispositivo no está bien instalado genera errores en la medición y falsos ecos que alteran la lectura.
- A fin de reducir los costes en el mantenimiento para la medición de temperatura se recomienda siempre instalar el rtd junto con un termopozo el cual permite desmontar el equipo sin la necesidad de parar el proceso.
- Se recomienda para la programación del transmisor de flujo revisar las hojas técnicas debido a que estos dispositivos manejan un factor k el cual se utiliza para hacer la conversión de frecuencia de pulsos a flujo el cual varía entre las distintas marcas.

## CAPÍTULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### BIBLIOGRAFIA

- [1]. Aire Acondicionado (s.f.). El ciclo de refrigeración como funciona. 2018, de tuaireacondicionado Sitio <https://tuaireacondicionado.net/el-ciclo-de-refrigeracion-como-funciona/>
- [2]. Antech. (2018). Medidor de nivel capacitivo. 2018, de Antech Sitio web: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/2008/12/medidor-de-nivel-capacitivo.html>
- [3]. Arian Control & Instrumentation. (2018). ¿Que son y cómo funcionan las termocuplas? 2018, de Arian Sitio <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- [4]. Arribasplata, Wily Esquerre. (2005). Transvase del chocolate en fase fluida viscosa no newtoniana. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS - FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS - EAP. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS.
- [5]. BAFU. (2018). FWL280 Envolvedora Flow Pack. 2018, de BAFU Sitio web: [http://www.bafupackaging.com/Espa\\_proshow.aspx?id=15](http://www.bafupackaging.com/Espa_proshow.aspx?id=15)
- [6]. Beckett, Stephen T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. York, UK: Blackwell Publishing.
- [7]. Bornemann Pumps. (s.f.). Soluciones de bombeo probadas en muchos ámbitos para casi todo tipo de fluidos. 2018, de Bornemann Pumps Sitio web: <http://www.bornemann-ar.com/soluciones-de-bombeo-probadas-en-muchos-mbitos-para-casi-todo-tipo-de-fluidos/>
- [8]. BrotoTermic (s.f.). Catalogo resistencias calefactoras. 2018, de BrotoTermic Sitio <http://www.brototermic.com/docs/catalogo-resistencias-calefactoras.pdf>
- [9]. Chacón, Oscar. (2006). LA GRASA DEL CACAO. 2018, de Grasas y Ciencia Sitio web: <http://grasasciencia.blogspot.com/2006/10/la-grasa-del-cacao.html>
- [10]. Contaflow. (2018). Caudalímetro electromagnético. 2018, de Contaflow Sitio <https://caudalimetrosyautomatizacion.com/caudalimetros/electromagneticos/>
- [11]. Cortés, Eduardo. (2016). PRESENTACIÓN DE TODO CHOCOLATE. 2018, de DOCPLAYER Sitio web: <https://docplayer.es/10899885-Presentacion-de-todo-chocolate-presentado-por-eduardo-cortes.html>
- [12]. DELANI. (2018). Empacadora automática tipo almohadilla. 2018, de DELANI Sitio web: [http://delani.biz/producto\\_detalle.php?categoria=5&grupo=43&producto=98495](http://delani.biz/producto_detalle.php?categoria=5&grupo=43&producto=98495)

- [13]. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Y EDAFOLOGÍA. (2013-2014). PRÁCTICA 4. MEDIDAS DE LA ACIDEZ DE ACEITE, LECHE Y VINAGRE.. 2018, de Universidad de Córdoba Sitio web: <http://www.uco.es/~qe1marim/Practica4.pdf>
- [14]. Diosdado, Raúl (s.f.). Sensor pir para la detección de presencia. 2018, de Zona Maker Sitio <https://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/sensor-pir-para-la-deteccion-de-presencia>
- [15]. DirectIndustry (s.f.). ACTUADOR LINEAL / ELÉCTRICO / DE TORNILLO. 2018, de DirectIndustry Sitio <http://www.directindustry.es/prod/linearmech-srl/product-69871-737841.html>
- [16]. Dover, Blackmer PSG. (2014). Bombas de paletas deslizantes. 2018, de Reportero Industrial Sitio web: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Bombas-de-paletas-deslizantes,-XL+10096653>
- [17]. Drotec CIyF SRL. (s.f.). Bombas rotativas a paletas deslizantes Blackmer. 2018, de Nueva Feria Argentina Sitio web: <http://www.nuevaferia.com.ar/p.asp?i=7163&n=Bombas-rotativas-a-paletas-deslizantes-Blackmer>
- [18]. EbRaInTe (2008). Controlador PID Integral. 2018, de English Wikipedia Sitio [https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_PID#Integral](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID#Integral)
- [19]. ECURED. (2018). Fluxómetro electromagnético. 2018, de ECURED Sitio [https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro\\_electromagn%C3%A9tico](https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro_electromagn%C3%A9tico)
- [20]. ECURED. (2018). Fluxómetro ultrasónico. 2018, de ECURED Sitio [https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro\\_ultras%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Fluj%C3%B3metro_ultras%C3%B3nico)
- [21]. El equipo de marketing. (2018). Características de una bomba de cavidad progresiva. 2018, de Prodetecs Sitio web: <http://prodetecs.com/caracteristicas-de-una-bomba-de-cavidad-progresiva/>
- [22]. Electro Industria. (2018). Medición de flujo por ultrasonido. 2018, de Electro Industria Sitio <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3217&xit=medicion-de-flujo-por-ultrasonido>
- [23]. Endress + Hauser. (2018). Detector nivel vibratorio. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/detector-nivel-vibratorio>
- [24]. Endress + Hauser. (2018). Medición detección nivel capacitiva. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-deteccion-nivel-capacitiva>
- [25]. Endress + Hauser. (2018). Sensor Ultrasónico Nivel Caudal. 2018, de Endress Sitio web: <https://www.cl.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/sensor-ultrasonico-nivel-caudal>

- [26]. Flow Control and Handling S.A. (s.f.). Catalogo Flow Control Agitadores Industriales. 2018, de Indostr Site [http://indostr.com/docs/Catalogo\\_Flow\\_Control\\_Agitadores\\_Industriales.pdf](http://indostr.com/docs/Catalogo_Flow_Control_Agitadores_Industriales.pdf)
- [27]. Interempresas. (2018). Métodos de medida a nivel. 2018, de Interempresas Site web: <http://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/41365-Metodos-de-medida-a-nivel.html>
- [28]. José Hernández. (2011). Los transmisores de radar ultrasónico vs guiadas para la medición de nivel. 2018, de - Site web: <http://smdelectronicayalgomas.blogspot.com/2011/04/los-transmisores-de-radar-ultrasonico.html#.W9umVtVKiUI>
- [29]. Karl J. Åström, Tore Hägglund. (2009). Control PID avanzado. Ribera del Loira: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [30]. Liendo, Rigel J. (2005). Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus productos. INIA Divulga, 6, 2-4.
- [31]. Nomada-e (s.f.). Sensor ultrasónico de proximidad. 2018, de Nomada-e Site <https://nomada-e.com/store/sensores/4-sensor-ultrasonico-de-proximidad.html>
- [32]. Ogata, Katsuhiko. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [33]. Pérez-López, Esteban. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Costa Rica: Tecnología en Marcha.
- [34]. Planeta Huerto (s.f.). Venta electroválvula k hembra caudal regulable. 2018, de Planeta Huerto Site [https://www.planetahuerto.es/venta-electrovalvula-k-hembra-caudal-regulable\\_06817](https://www.planetahuerto.es/venta-electrovalvula-k-hembra-caudal-regulable_06817)
- [35]. Quesada, Juan Carlos García. (2008). Fluidos Viscosos. Alicante: Universidad de Alicante.
- [36]. QuimiNet. (2007). Las bombas de pistón sus características y aplicaciones. 2018, de QuimiNet Site web: <https://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-de-piston-sus-caracteristicas-y-aplicaciones-23519.htm>
- [37]. QuimiNet. (2008). Funcionamiento detallado de las bombas de engranajes. 2018, de QuimiNet Site web: <https://www.quiminet.com/articulos/funcionamiento-detallado-de-las-bombas-de-engranajes-30487.htm>
- [38]. QuimiNet. (2018). Por qué preferir la tecnología radar para la medición de nivel. 2018, de QuimiNet Site web: <https://www.quiminet.com/articulos/por-que-preferir-la-tecnologia-radar-para-la-medicion-de-nivel-31062.htm>
- [39]. Riaño H.NM, Chica M.MJ, Echeverri G.LF, Aguirre M.JL, Ortiz. A, Rocío Del Pilar Pineda S.R, Olarte N.HH. (2016). Contenido de Grasa Total, Perfil DE Ácidos Grasos y

Triglicéridos Proveniente de Cacaos Finos de Aroma: Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela. Colombia: CASA LUKER.

[40]. Rubio, Laura. (2018). Elementos primarios de caudal placas de orificio. 2018, de Kiwia Instruments Sitio <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/caudal/elementos-primarios-de-caudal-placas-de-orificio/>

[41]. Shriji Instruments. (2018). RTD Pt100 SENSORS. 2018, de Shriji Instruments Sitio [http://shrijiinstruments.com/?page\\_id=107](http://shrijiinstruments.com/?page_id=107)

[42]. SIMES. (s.f.). Bombas de lóbulos inoxidables sanitarias. 2018, de SIMES Sitio web: [https://www.simes-sa.com.ar/espanol/descargas/bombas\\_de\\_lObulos\\_inoxidables\\_sanitarias.pdf](https://www.simes-sa.com.ar/espanol/descargas/bombas_de_lObulos_inoxidables_sanitarias.pdf)

[43]. SMD fluid controls. (2018). Liquid level control utilizing conductivity sensors. 2018, de SMD Sitio <http://www.fluidswitch.com/blog/liquid-level-control-utilizing-conductivity-sensors/>

[44]. SPQRes2 (2017). Bomba de engranajes. 2018, de Wikipedia Sitio [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba\\_de\\_engranajes1.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba_de_engranajes1.JPG)

[45]. Tecnologías Limpias. (s.f.). Etapas y Equipos del Proceso. 2018, de CENSALUD Sitio web: [https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/Tecnologias\\_limpias.pdf](https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/Tecnologias_limpias.pdf)

[46]. Terabee. (2018). Time of Flight Principle. 2018, de Terabee Sitio web: <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>

[47]. Universidad de Buenos Aires. (2018). Medición Temperatura 2. 2018, de FI UBA Sitio <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0307MedicionTemperatura2.pdf>

[48]. Uribe, Vladimir Castillo. (2013). DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS. Concepción: Universidad del Bio-Bio.

[49]. Wikipedia (s.f.). Sensor de ultrasonidos. 2018, de Wikipedia Sitio web: <http://wiki.robotica.webs.upv.es/wiki-de-robotica/sensores/sensores-proximidad/sensor-de-ultrasonidos/>

[50]. Zanizdra, Vladimir. (2010). Producción de chocolate - Limpieza y clasificación de los granos de cacao. 2018, de Baker Group Sitio web: <https://es.baker-group.net/technology-and-recipes/565-2015-09-29-20-08-53.html>

## ANEXOS

### 1. Matriz de Consistencia

PLANTA PILOTO PARA EL EMPAQUETADO DE CHOCOLATE MEDIANTE LabVIEW				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p><b>P. PRINCIPAL</b></p> <p>¿Es posible elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW?</p> <p><b>P. SECUNDARIOS</b></p> <p>P.E.1 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque?</p> <p>P.E.2 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate?</p> <p>P.E.3 ¿Es posible encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate?</p>	<p><b>O. PRINCIPAL</b></p> <p>Elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW.</p> <p><b>O. SECUNDARIO 1.</b></p> <p>O.E.1 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque.</p> <p>O.E.2 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate.</p> <p>O.E.3 Encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate.</p>	<p>Se logrará elaborar la Automatización de una Planta Piloto para el empaque de chocolate mediante LabVIEW.</p> <p>H.E.1 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir el nivel de chocolate en el tanque.</p> <p>H.E.2 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir la temperatura del chocolate.</p> <p>H.E.3 Se logrará encontrar un instrumento de bajo costo para medir el flujo del chocolate.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <p>X<sub>0</sub>: Temperatura de la mezcla.  X<sub>1</sub>: Velocidad de la mezcladora.  X<sub>3</sub>: Flujo de la bomba.  X<sub>4</sub>: Temperatura de la enfriadora.</p> <p><b>DEPENDIENTE</b></p> <p>Y<sub>0</sub>: Producción de barras de chocolate.  Y<sub>1</sub>: Coste de producción  Y<sub>2</sub>: Cantidad de accidentes en el trabajo.</p>	<p>X<sub>0</sub>: Se ingresa la temperatura deseada.  X<sub>1</sub>: Se ingresa la velocidad deseada.  X<sub>3</sub>: Se ingresa el flujo deseado.  X<sub>4</sub>: Se ingresa la temperatura deseada.</p> <p>Y<sub>0</sub>: Número de chocolates empaquetados.  Y<sub>1</sub>: Gastos por producción.  Y<sub>2</sub>: Número de accidentes en el trabajo.</p>



## 2. SOFTWARE

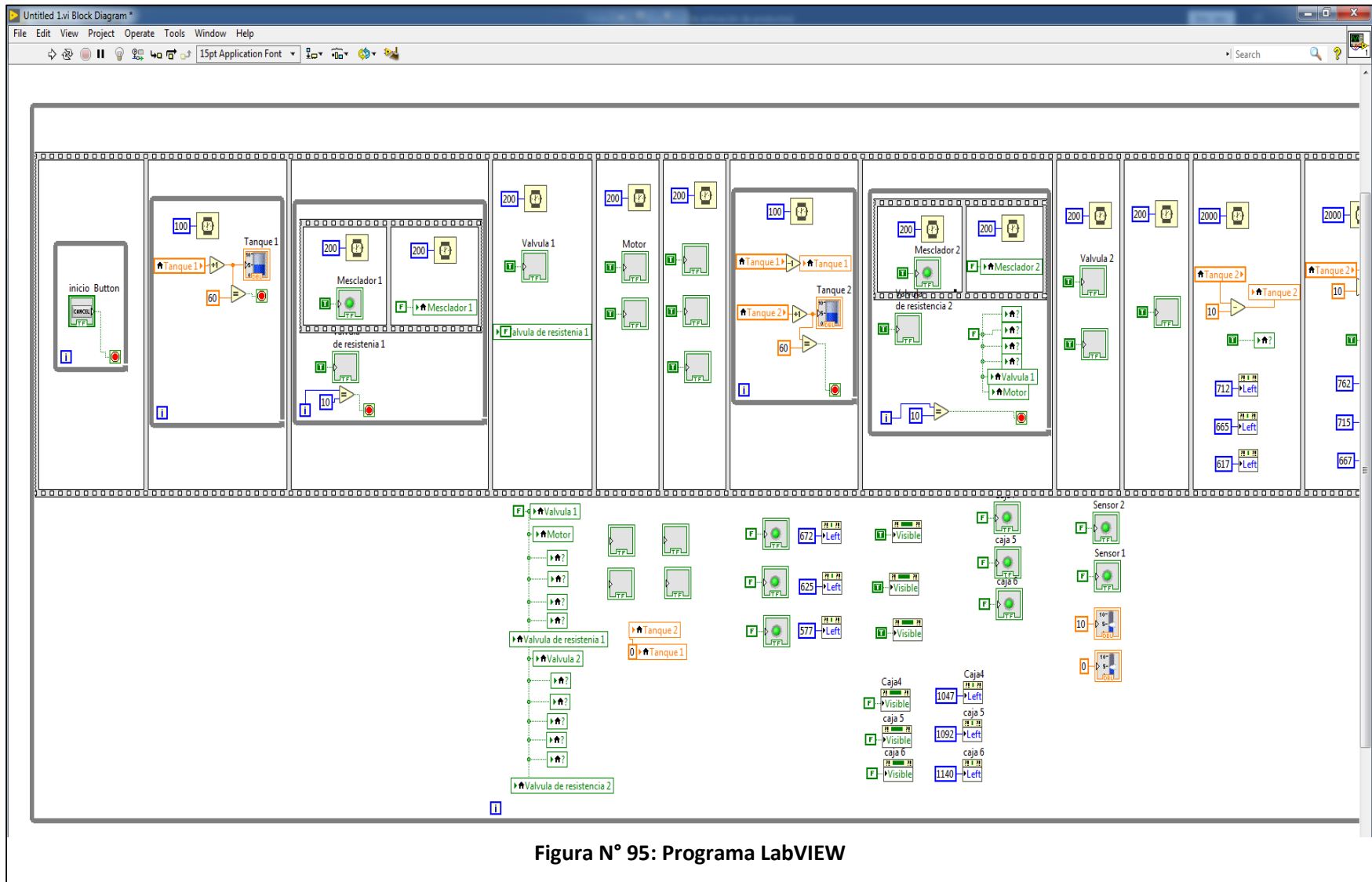


Figura N° 95: Programa LabVIEW

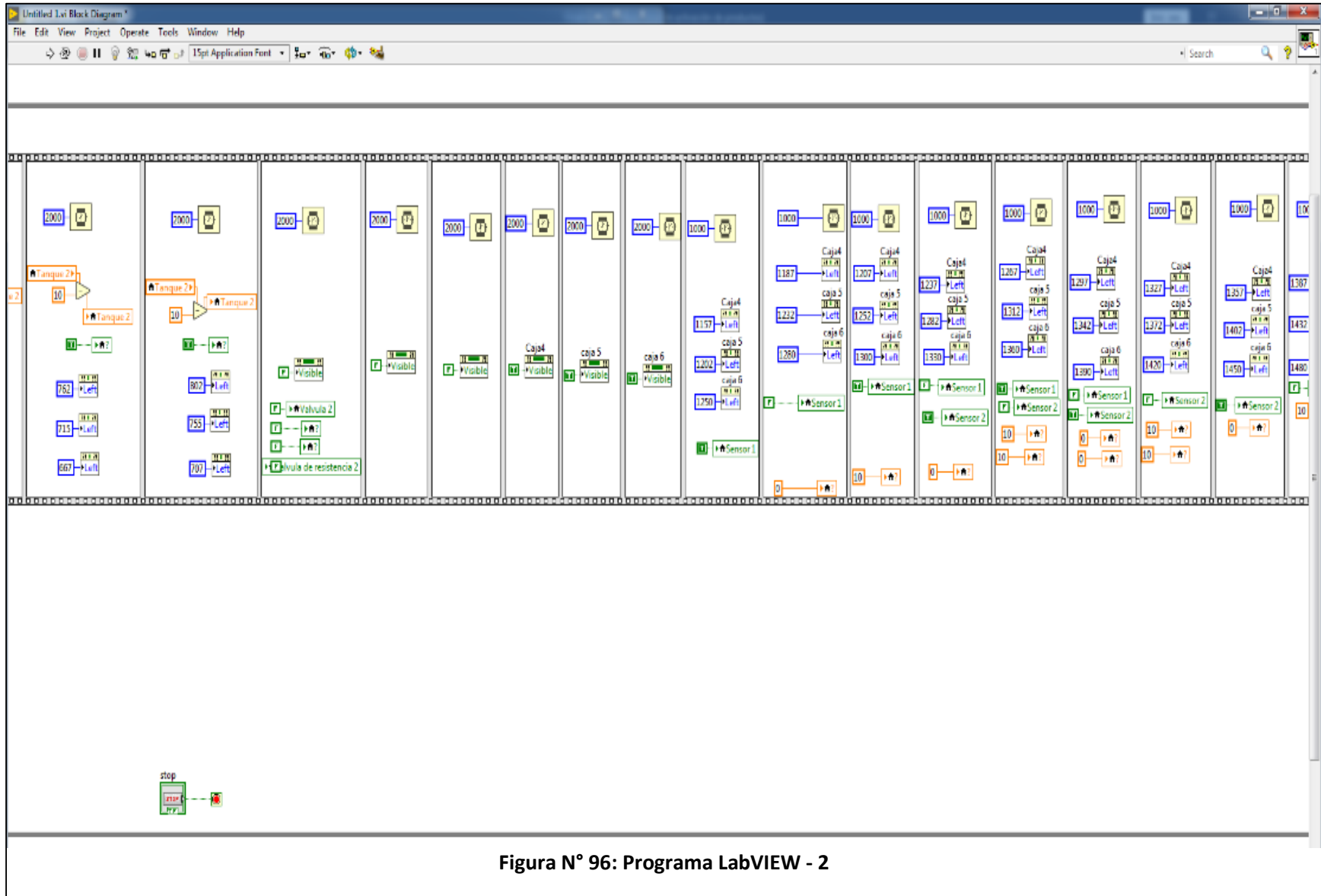


Figura N° 96: Programa LabVIEW - 2

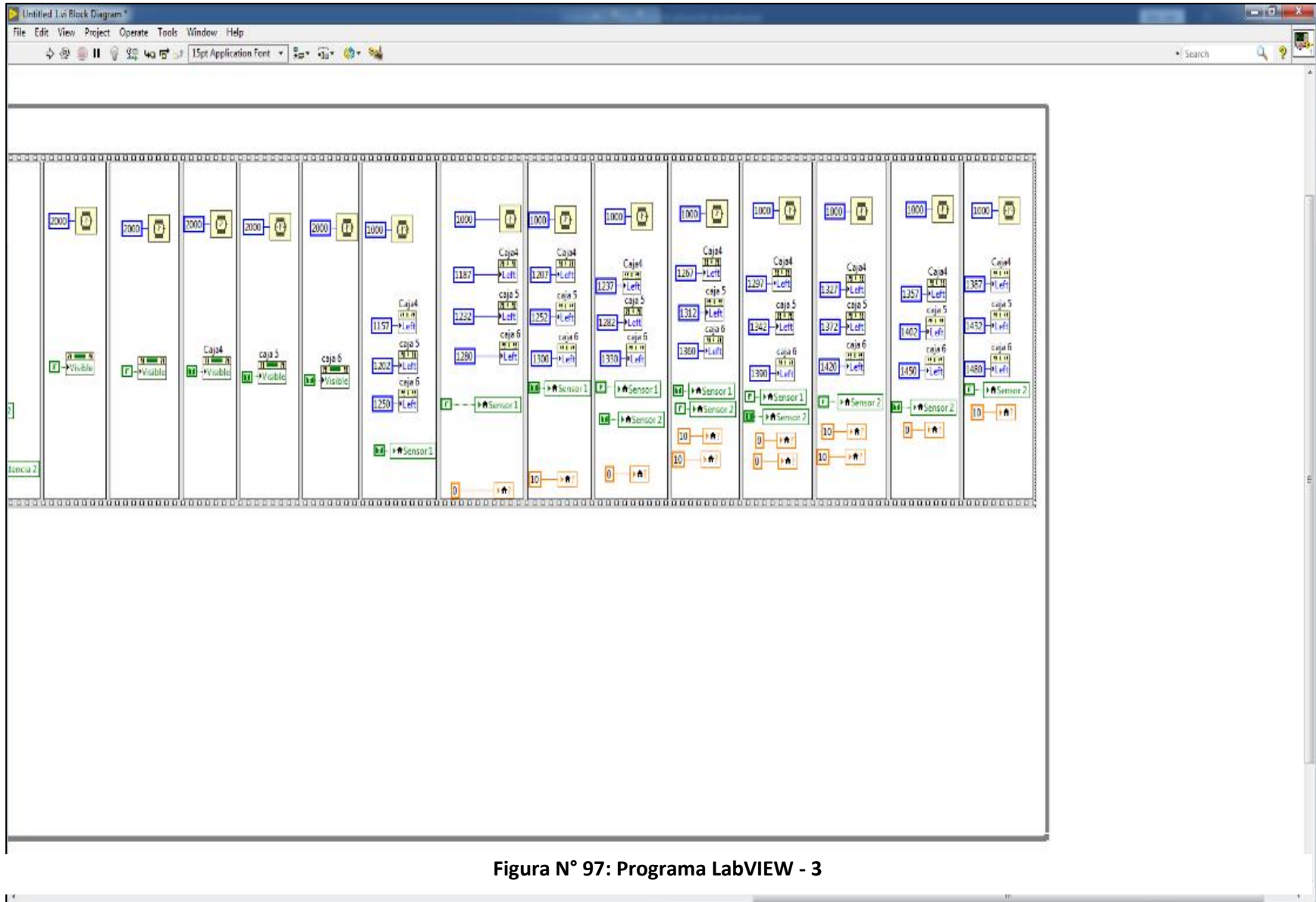


Figura N° 97: Programa LabVIEW - 3