



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO MONITOREADO CON**

**HMI, EN TANQUES DE MELAZA, AZUNOSA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**Luis Córdoba      21211086**

**ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNÁNDEZ**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**ENERO DE 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias primeramente a Dios por darme la capacidad de superar todos los retos en esta jornada, por su justicia y gran misericordia,

A mi familia, por todo el apoyo que me brindaron. Especialmente a mi tía querida quien ha cuidado de mi todo este tiempo,

A mi Papá por confiar en mí, y ayudarme a elevarme alto como las águilas cuando emprenden su vuelo,

A mis amigos, por hacer que mi vida universitaria estuviera llena de alegría y diversión sana.

A los Ingenieros que me asesoraron en los diferentes retos que se presentaron.

A UNITEC por dejarme ser parte de la familia de alumnos becados, y poder culminar mis estudios en educación superior.

A mis nuevos amigos en el Ingenio Azucarero, por recibirme con respeto y mostrarme como crecer como Ingeniero y como persona a pesar de cualquier circunstancia.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO MONITOREADO CON HMI, EN TANQUES DE MELAZA, AZUNOSA**

#### **AUTOR**

Luis David Córdoba Pineda

#### **RESUMEN**

El presente informe de tesis fundamenta la creación de un lazo cerrado de control automático por medio de un PLC y monitoreado con una HMI, para el almacenamiento seguro y eficiente de melaza en la empresa Azucarera del Norte S.A., AZUNOSA. Mediante el mismo se definieron los dispositivos de control, comunicación e instrumentación moderna utilizados en el proceso de diseño y construcción del sistema. Los resultados obtenidos están basados en simulaciones simples de los transmisores utilizados, esto gracias a los simuladores de baja tensión que existen hoy en día. En el desarrollo del proyecto se evaluaron futuras posibilidades de mejora, sin embargo, cumple con las expectativas esperadas hasta el momento.

Palabras clave (simulación, PLC, lazo cerrado, melaza)

# **EXECUTIVE SUMMARY**

## **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC CONTROL MONITORED WITH HMI, IN MOLASSES**

### **TANKS, AZUNOSA**

#### **AUTHOR**

Luis David Córdoba Pineda

#### **SUMMARY**

This thesis report bases the creation of a closed loop automatic control by means of a PLC and monitored with an HMI, for the safe and efficient storage of molasses in the company Azucarera del Norte S.A., AZUNOSA. By means of the same one the devices of control, communication and modern instrumentation used in the process of design and construction of the system were defined. The results obtained are based on simple simulations of the transmitters used, thanks to the low voltage simulators that exist today. In the development of the project, future improvement possibilities were evaluated, however, it meets the expectations expected so far.

Keywords (simulation, PLC, closed loop, molasses)

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1. Diagrama de flujo típico de un ingenio azucarero.</b> .....	6
<b>Ilustración 2. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado</b> .....	8
<b>Ilustración 3. Pirámide de la automatización.</b> .....	9
<b>Ilustración 4. Esquema funcional de un sistema automatizado</b> .....	10
<b>Ilustración 5. Módulo de expansión especial para PT-100 marca UNITRONCS</b> .....	11
<b>Ilustración 6. Estructuración de la Instrumentación Electrónica</b> .....	13
<b>Ilustración 7. Diferentes unidades de medida de la variable presión.</b> .....	15
<b>Ilustración 8. Relación entre la presión absoluta y la presión manométrica.</b> .....	16
<b>Ilustración 9. Relación entre presión y altura.</b> .....	17
<b>Ilustración 10. Curvas eléctricas resistencia-temperatura para tres elementos.</b> .....	19
<b>Ilustración 11. Tipos de terminales de conexión de un RTD</b> .....	21
<b>Ilustración 12. Configuraciones según el número de hilos y sus colores estándar.</b> .....	21
<b>Ilustración 13. Elementos sensores embobinados en cerámica y vidrio.</b> .....	22
<b>Ilustración 14. OPLC V570, HMI y PLC marca Unitronics</b> .....	28
<b>Ilustración 15. Transmisor de presión Endress+Hauser.</b> .....	31
<b>Ilustración 16. Generador de señal Fluke 715</b> .....	32
<b>Ilustración 17. Cotización de cable EX-CAB100</b> .....	33
<b>Ilustración 22. Modelo de tanque #1</b> .....	38
<b>Ilustración 23. Modelo de la altura del tanque #2</b> .....	39
<b>Ilustración 26. Diseño de pantalla secundaria para el monitoreo de control en HMI.</b> .....	43
<b>Ilustración 27. Programacion en Ladder</b> .....	43

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> .....	14
<b>Ecuación 2</b> .....	14
<b>Ecuación 3</b> .....	17
<b>Ecuación 4. Resistencia de un material al cambiar su temperatura</b> .....	18
<b>Ecuación 5. Proporcionalidad fundamental entre dos variables.</b> .....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Productos que se generan por cada 100 toneladas de caña de azúcar.</b> .....	7
<b>Tabla 2. Comparación de los tipos de transductores de temperatura más utilizados.</b> .....	20
<b>Tabla 4. Mediciones de control de temperatura</b> .....	36
<b>Tabla 5. Mediciones de referencia de temperatura</b> .....	36
<b>Tabla 6. Diferentes unidades utilizadas en el análisis.</b> .....	41

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	2
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
<b>1.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
II. MARCO TEÓRICO.....	6
<b>2.1 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 CAÑA DE AZÚCAR .....	6
2.1.2 PROCESO PRODUCTIVO .....	6
2.1.3 SUBPRODUCTOS.....	7
<b>2.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL .....	8
2.2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	9
<b>2.3 INSTRUMENTACIÓN MODERNA.....</b>	<b>12</b>
2.3.1 INTRODUCCIÓN.....	12
2.3.2 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA .....	12
2.3.3 MEDIDAS DE PRESIÓN .....	15
2.3.4 UNIDADES Y CLASES DE PRESIÓN .....	15
2.3.5 PRESIÓN Y NIVEL .....	17
2.3.6 MEDIDAS DE TEMPERATURA .....	18
2.3.7 ESCALAS DE TEMPERATURA.....	18
2.3.8 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS CONDUCTORES.....	18
2.3.9 RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR) .....	19
2.3.10 ESTRUCTURA DE UN RTD .....	20
2.3.11 PRUEBA Y CALIBRACIÓN .....	22
<b>2.4 REDES INDUSTRIALES .....</b>	<b>23</b>
2.4.1 MEDIOS DE TRANSPORTE DE LA SEÑAL .....	24
2.4.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN .....	24
2.4.3 ETHERNET INDUSTRIAL .....	25

2.4.4	ETHERNET/IP .....	26
2.4.5	UNIDADES DIGITALES .....	26
<b>2.5</b>	<b>SISTEMA DE MONITOREO .....</b>	<b>27</b>
2.5.1	INTERFACE HUMANO-MAQUINA .....	27
III.	METODOLOGÍA .....	29
<b>3.1</b>	<b>INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>VARIABLES .....</b>	<b>30</b>
3.3.1	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	30
3.3.2	VARIABLES DEPENDIENTES .....	30
<b>3.4</b>	<b>METODOLOGÍA CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA .....</b>	<b>31</b>
3.4.1	ENTREVISTAS.....	31
3.4.2	DOCUMENTACIÓN.....	31
3.4.3	RECURSOS .....	32
3.4.4	CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS .....	33
IV.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	35
<b>4.1</b>	<b>ANÁLISIS .....</b>	<b>35</b>
4.1.1	MEDICIONES DE TEMPERATURA.....	36
4.1.2	LINEALIZACIÓN DE TRANSMISORES DE PRESIÓN.....	38
<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
V.	CONCLUSIONES.....	44
VI.	RECOMENDACIONES.....	45
<b>6.1</b>	<b>A LA EMPRESA: .....</b>	<b>45</b>
<b>6.2</b>	<b>A LA UNIVERSIDAD: .....</b>	<b>45</b>
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	46
VIII.	ANEXOS.....	50
<b>8.1</b>	<b>ANEXO 1. TUBERÍA DONDE VA COLOCADO EL TRANSMISOR DE NIVEL .....</b>	<b>50</b>
<b>8.2</b>	<b>ANEXO 2. TANQUES DE MELAZA EN AZUNOSA.....</b>	<b>50</b>
<b>8.3</b>	<b>ANEXO 3. SISTEMA DE ENFRIADORES CON VÁLVULAS MANUALES. ....</b>	<b>51</b>
<b>8.4</b>	<b>ANEXO 4. PANEL ELÉCTRICO DE CONTROL Y MONITOREO DEL PROYECTO. ....</b>	<b>51</b>

## GLOSARIO

1. Acido: es una sustancia que en disolución acuosa incrementa la concentración de iones de hidrógeno. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7.
2. Bagacillo: partículas de bagazo, ya quemado, que se esparcen por el aire durante la molienda.
3. Báscula: Instrumento para medir pesos, generalmente grandes, que consiste en una plataforma donde se coloca lo que se quiere pesar.
4. Conexa: cosa que está vinculada o relacionada con otra.
5. Decantación: Procedimiento para separar dos sustancias mezcladas, una líquida de otra que no lo es o dos líquidos inmiscibles (agua y aceite) mediante el vertido de la más densa.
6. Diluir: Hacer que disminuya la concentración de un líquido, generalmente añadiéndole disolvente u otra sustancia.
7. Edulcorante: Sustancia química que se añade a un alimento o medicamento para darle sabor dulce.
8. Evaporar: la transformación de un líquido en vapor.
9. Floculante: Un floculante es una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
10. Homogéneo: Que está formado por elementos con características comunes referidas a su clase o naturaleza, lo que permite establecer entre ellos una relación de semejanza y uniformidad.
11. Imbibición: En la fabricación de azúcar, el proceso que se utiliza en el último molino para extraerle más cantidad de jugo al bagazo.
12. Polimerización: Proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes, reaccionan entre sí por adición o condensación y forman otras moléculas de peso doble, triple, etc.
13. Sacarosa: Azúcar que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña dulce y de la remolacha; se emplea en alimentación como edulcorante nutritivo y sus ésteres como aditivos.
14. Subproducto: Producto secundario que se obtiene además del principal en un proceso industrial de elaboración, fabricación o extracción.
15. Viscosidad: La Viscosidad es la resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse y esta oposición es debida a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de un líquido o fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.
16. RTD: Sensor de temperatura por efecto de cambio en la resistencia de un material conductor.

## INTRODUCCIÓN

Debido a los crecientes avances tecnológicos a nivel mundial y la inclusión de nuestro país en los distintos procesos agroindustriales, se hace necesario implementar estrategias que aumenten la productividad y mejoren la calidad de nuestros productos. Es por eso que las innovaciones y el desarrollo de software se están implementando en los distintos niveles de los procesos automatizados, con el fin de hacerlos más eficientes y seguros. En la siguiente investigación se pone en detalle la implementación de un proyecto de mejora en la Azucarera del Norte S.A, Azunosa. La empresa se caracteriza por la calidad del producto, la innovación en sus procesos y el compromiso con el medio ambiente al ser pionero en autogenerar energía limpia. En la actualidad, muchos de sus procesos están automatizados y otros semiautomatizados. Sin embargo, aún siguen automatizando otras partes del proceso en la extracción de los subproductos de la caña de azúcar. El azúcar de mesa o refinado es el subproducto principal, pero también se produce melaza en gran volumen. La melaza se acumula en dos tanques que pueden contener aproximadamente hasta 400,000 galones de melaza, por lo que es importante tener una medición eficiente del nivel de la misma. Por otra parte, una medición bien controlada de la temperatura es indispensable, ya que influye directamente en las propiedades químicas y físicas de la misma, que, si no se atiende, afecta la calidad del producto y la seguridad en la operación. El proyecto consiste en controlar de forma automática el enfriamiento y el nivel de la melaza en los tanques por medio de un controlador lógico programable (PLC), instrumentación electrónica de control, válvulas automáticas y una interface de control visual HMI,

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 ANTECEDENTES

Azunosa es un Ingenio Azucarero muy complejo. Actualmente, en sus instalaciones existen cinco procesos principales en la extracción de azúcar de mesa de la caña de azúcar. Estos procesos son: Molienda, Clarificación, Evaporación, Cristalización y Secado. Sin embargo, la empresa aprovecha al máximo cualquier subproducto sobrante de la mayoría de estos procesos. Uno de estos subproductos es la "melaza".

Azunosa tiene en sus instalaciones dos tanques de melaza, con la capacidad de almacenar aproximadamente hasta 400,000 galones de melaza. Esta es bombeada hacia los tanques ubicados por un tramo de aproximadamente 500 metros hasta los tanques. La tubería enfría la melaza por medio de transferencia de calor de 70 grados centígrados a una temperatura entre 60 y 40 grados centígrados. Mas, sin embargo, la temperatura ideal según las medidas de seguridad y calidad debe ser de 40 grados centígrados. Antes de ingresar a los tanques hay dos enfriadores que se habilitan de forma manual para mantener constante la temperatura a unos 40 grados centígrados. Una vez que los termómetros en la salida de los enfriadores indican una temperatura menor o igual a 40 grados, entonces se abren las respectivas válvulas manuales de cada enfriador que regresan el fluido a la tubería principal.

El sistema de llenado consiste en una válvula principal que alimenta los tanques. En la parte superior del tanque número uno hay un sistema de dos válvulas manuales que funcionan de tal manera que cuando el tanque uno está lleno, se cierra dicha válvula y se abre la válvula que permite el flujo de melaza hacia el tanque número dos. Todo esto de forma manual y poco eficiente en la operación.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Debido a la gran cantidad de volumen de melaza que se almacena en los tanques en ocasiones los tanques sobrepasan el límite y se derrama la melaza. Los transmisores de nivel muestran el nivel de los tanques, pero el control de las válvulas depende del compromiso de los operarios de vigilar dichos transmisores. Añadido a esto, si la temperatura de la melaza aumenta de 40 grados, sus propiedades químicas y físicas como ser: fermentación, viscosidad y densidad respectivamente. Esto provoca inestabilidad en el fluido y riesgos de seguridad en la operación. También, a medida que la melaza va aumentando en volumen o nivel, se forma una columna de espuma que hace que la medición del nivel tenga un margen de error bastante significativo en la lectura de los transmisores

## **1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Luego de coordinar bien con los encargados del laboratorio y supervisores de fabricación, quienes monitorean de cerca el control de nivel y temperatura de los tanques, se obtuvo más información sobre el historial de antiguos modelos de control, todos manuales cabe aclarar. Esto nos llevó a hacer las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuántas mediciones de temperatura serán necesarias ser instaladas para mantener la melaza a una temperatura de más o menos 40 grados centígrados?
2. ¿Cuál será el margen de seguridad que se debe tener para no alcanzar el límite máximo de los tanques de melaza?
3. ¿Cómo detectar y prevenir errores en los instrumentos de medición, es decir las RTD y los transmisores de nivel?

## **1.4 OBJETIVOS**

Según (Domínguez, Sánchez, & Sánchez, 2009) en su libro Guía para elaborar una tesis, los objetivos son: "...las metas que el estudiante quiere lograr o las propuestas que desea concretar a través de su investigación." Por lo que deben ser claros y alcanzables.

### **1.4.1 Objetivo general**

- Diseñar un control automático para la correcta medición de temperatura y un control más seguro del nivel de tanques de melaza, controlado por medio de un PLC monitoreado con una HMI.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar donde y cuantos sensores de temperatura se colocarán para tener una medición uniforme y un control eficiente del sistema de enfriamiento.
- Evaluar qué nivel de melaza se debe manejar como margen de seguridad, para no alcanzar el límite de los tanques.
- Determinar que procedimiento debe seguirse en caso de que alguna válvula o instrumento de medición falle. Mediante una alarma o advertencia.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

En vista de que el procedimiento manual no ha sido eficiente, se ve necesario un control automático del proceso. El control es mucho más eficiente, y estará monitoreado por medio de una HMI, que puede irse modernizando aún más. Este lazo de control, evita que se produzcan pérdidas en materia prima de la empresa, lo cual se traduce a costos monetarios.



### 2.1.3 SUBPRODUCTOS

Bagazo: es el remanente del proceso de molienda de la caña de azúcar. Está formado por un conjunto de partículas de diferentes tamaños cuyo promedio oscila alrededor de 2 a 2.5mm, el resto consta de sólidos solubles e insolubles. Es utilizado normalmente como combustible en las calderas que les suministran energía a los ingenios. (Leeson & Summers, 2000)

Mieles: La miel o también llamada "melaza", es un líquido denso y viscoso de color oscuro, es producto final de la fabricación o refinación de la sacarosa procedente de la caña de azúcar. La miel final o melaza representa un alto porcentaje de consumo según la tabla 1. Este subproducto se usa para alimentos concentrados para animales y como suplemento alimenticio para el hombre. (Leeson & Summers, 2000)

Cachaza: Residuo que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña durante la fabricación del azúcar. Es un material rico en fósforo, calcio, nitrógeno y materia orgánica, pero pobre en potasio. Se usa principalmente como abono, ya que mejora algunas propiedades físicas del suelo, aunque también se emplea en alimentación de ganado vacuno y en la obtención de ceras y aceites. (Leeson & Summers, 2000)

**Tabla 1. Productos que se generan por cada 100 toneladas de caña de azúcar.**

DESCRIPCIÓN	CONSUMO
Azúcar (96%)	11 T
Bagazo (50% humedad)	27.5 T
Miel final (85% sólidos)	3.5 T
Cachaza (75 % humedad)	2.5 T
Residuos agrícolas	20.0 T

Fuente: CAHSA

## 2.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

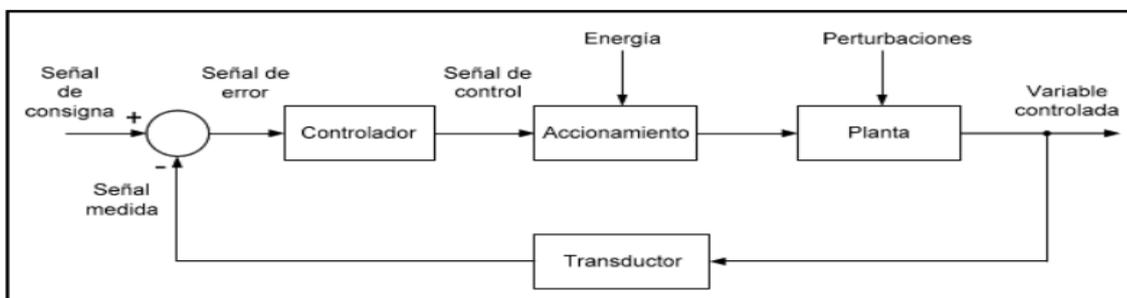
### 2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL

Las diferentes áreas de la industria (alimenticia, manufacturera, textil, agroindustria, etc.) existe producción a gran escala, en donde las actividades son repetitivas, y, además, se deben controlar con precisión y seguridad magnitudes como la temperatura, la presión o la velocidad. El desarrollo de las nuevas tecnologías, electromecánicas y electrónicas, en el sector industrial permite automatizar procesos que son repetitivos y en algún punto inseguros. Esto optimiza los tiempos y niveles de producción, convirtiéndose en un sistema de control automático.

(Daneri, 2008) afirma: Un sistema de control es un arreglo de componentes cuyo objetivo es comandar o regular la respuesta de una parte del proceso, conocida como planta, sin que el operador intervenga en forma directa sobre sus elementos de salida.

Cuando en un sistema de control, la respuesta de control es independiente de las señales de salida a este se le conoce como sistema de lazo abierto. En este, no se recibe ningún tipo de retroalimentación del proceso controlado.

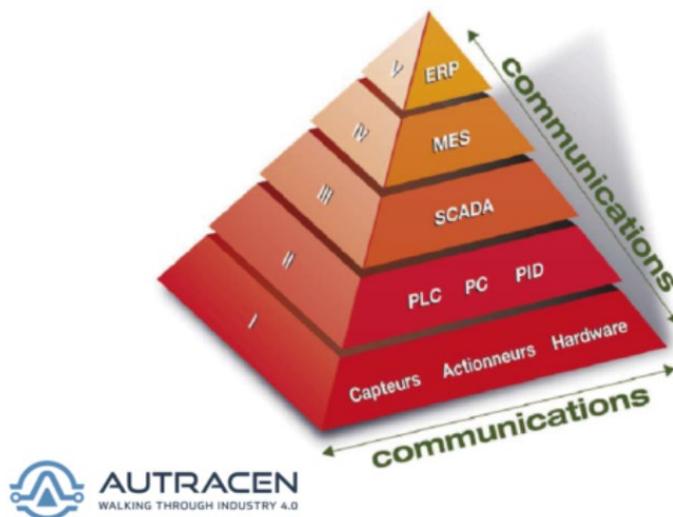
En cambio, cuando la respuesta de control depende de una retroalimentación de que viene de las señales de salida, se le conoce como sistema de lazo cerrado como se muestra en el diagrama de la ilustración 2.



**Ilustración 2. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado**

Fuente: Daneri (2008)

Existen diferentes alternativas y niveles para obtener un sistema de control automático como se muestra en la pirámide de la ilustración 3. Desde el uso de relés o sistemas digitales, hasta el uso de PLC's (Programmable Logic Controller). Estos dispositivos han venido a revolucionar la industria en cualquiera de sus formas.



**Ilustración 3. Pirámide de la automatización.**

Fuente: [www.autracen.com](http://www.autracen.com) - Página web Oficial de "AUTRACEN WALKING THROUGH INDUSTRY 4.0"

### **2.2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)**

Desde los de gama baja (más sencillos) hasta los de gama alta (más complejos) el PLC es definido como, un dispositivo electrónico programable por el usuario en un lenguaje no informático.

El PLC está compuesto por hardware con la capacidad de conexionado directo con señales de entrada y salida. Estas señales pueden ser digitales o análogas de acuerdo a la aplicación que se requiera.



**Ilustración 4. Esquema funcional de un sistema automatizado**

Fuente: Barrientos. A. & Gambao, 2014

Como muestra la Ilustración 4 un PLC está compuesto por 5 partes principales:

- Módulos de entrada: donde se conectan las señales de entrada que vienen de sensores, transductores o captadores.
- Fuente de alimentación: ésta suministra energía por medio de corriente directa (DC) al PLC y dependiendo de la aplicación, debe ser capaz de inducir tensión a otros módulos en el sistema.

“La mayor parte de la energía eléctrica utilizada se genera como corriente alterna. Esto no implica que la corriente alterna (CA) sea superior a la corriente continua (CC) en las aplicaciones industriales o residenciales. De hecho, en muchos casos la corriente continua es necesaria para fines industriales” (Kubala, 2011)

- Unidad central de procesamiento: es la encargada de comandar las instrucciones programadas y previamente descargadas al PLC. Cuenta con un espacio de memoria no volátil capaz de procesar distintas funciones lógicas y guardar datos digitales que se usaran en el proceso.

- Dispositivo de programación: Se refiere a una PC con el software necesario para que el programador o integrador pueda cargarle programación al PLC. Existen distintas marcas de PLC, así que hay distintos softwares para cada uno.
- Módulos de salida: donde se conectan las señales de salida que controlan actuadores, relés, contactores, etc.

Existen también, módulos especiales que amplían el número de entradas y salidas (E/S) de un PLC. Como por ejemplo los de marca Unitronics como se muestra en la ilustración 5.

Atendiendo los requerimientos de facilidad de ampliación y sencillez de mantenimiento, los autómatas programables poseen una arquitectura de tipo modular. Los módulos se colocan en un rack y pueden ser ampliados o sustituidos de forma sencilla. (Barrientos. A. & Gamba, 2014)



**Ilustración 5. Módulo de expansión especial para PT-100 marca UNITRONICS**

Fuente: Web oficial de UNITRONICS. [www.unitronics.com](http://www.unitronics.com)

## **2.3 INSTRUMENTACIÓN MODERNA**

### **2.3.1 INTRODUCCIÓN**

(García Gutiérrez, 2014) afirma: "Instrumentación es la ciencia de la medida y el control. Las aplicaciones de esta ciencia abundan en la industria, la investigación, y la vida diaria. Para medir la magnitud en la que estamos interesados es evidente que necesitamos un dispositivo de medida que detecte esa magnitud y genere una señal que la represente y la transmita a un dispositivo de indicación o control, donde tiene lugar una acción humana o automatizada" (pág. 10).

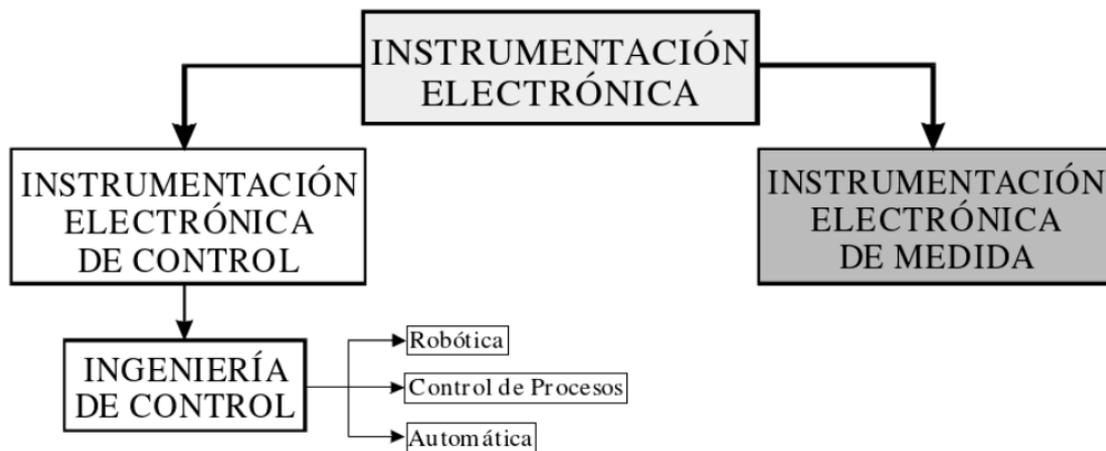
En el control de procesos, es indispensable controlar y mantener constantes ciertas magnitudes como la presión, el nivel, la temperatura, el caudal, la velocidad, etc. Al iniciarse la era industrial se comenzó a medir estas magnitudes por medio de instrumentos simples como manómetros, termómetros, etc. Con los avances en la electrónica la Instrumentación convencional en los procesos industriales se ha ido transformando para funcionar en conjunto con los autómatas programables.

### **2.3.2 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

Este término unifica la medición de las magnitudes antes mencionadas y la electrónica. Dando como resultado la interpretación de los dispositivos electrónicos de dichas magnitudes físicas. Dichas mediciones, convenientemente analizadas, ayudan a actuar sobre el proceso donde estas mismas están incidiendo, lo que nos permite controlar el proceso.

"Por ello, se habla muchas veces de Instrumentación Electrónica de Medida y de Instrumentación Electrónica de Control, como se muestra en la Ilustración 6, aunque la frontera entre ambas no siempre es evidente. Actualmente, sin embargo, la Instrumentación de Control tiende cada vez más a constituir

una entidad propia, la Ingeniería de Control, que engloba la Robótica, el Control de Procesos, la Automática, etc.” (Granda Miguel & Mediavilla Bolado, 2015, pag 1)



**Ilustración 6. Estructuración de la Instrumentación Electrónica**

Fuente: Granda Miguel & Mediavilla Bolado (2015)

Los instrumentos de control utilizados en las industrias de proceso tienen cierta terminología en común. Estos términos conceptualizan las características de cada instrumento permitiendo su selección más rápida y dinámica. Los fabricantes y diferentes proveedores se ajustan para emplear dicha terminología. Las definiciones de estos términos son las siguientes:

- Intervalo de medida (range): es el conjunto de valores que están entre los límites superior e inferior de la variable de medida. Por ejemplo, un manómetro de intervalo de medida de 0-10 bar.
- Alcance (span): Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. Por ejemplo, en un instrumento de temperatura de 100-300 °C, el span es de 200 °C.
- Error: es la desviación que se da en las medidas prácticas en la variable de un proceso con respecto a una medida teórica o ideal. Esto ocurre por las imperfecciones de los aparatos y las perturbaciones externas del ambiente de trabajo. Para calcular estos

errores tenemos las ecuaciones del error absoluto (ecuación 1) y del error relativo (ecuación 2).

$$\text{Error absoluto} = \text{Valor leído} - \text{Valor verdadero}$$

#### **Ecuación 1**

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{valor verdadero}}$$

#### **Ecuación 2**

Fuente: Granda Miguel & Mediavilla Bolado (2015)

- Exactitud (accuracy): es la cualidad del instrumento de medida por la que de lectura próximas a un valor teórico verdadero de la magnitud referente. Por ejemplo, un manómetro de 0 a 30 bar puede tener una exactitud de  $\pm 1\%$  bares.
- Precisión; la precisión se refiere que tan cercanas da sus lecturas entre si un instrumento en distintas condiciones.
- Zona muerta (dead zone): es hasta donde el instrumento no puede dar una respuesta a la medición, o mejor dicho indicar una medición o señal de salida.

Existen una gran variedad de instrumentos electrónicos de medición, sin embargo, se los puede encontrar por el tipo de instrumento o por la variable de proceso que de requiera medir.

(Maurício, 2005) define un sensor como un dispositivo que, al estar en contacto con una fuerza o magnitud física, este cambia su comportamiento. Y convierte esta señal física en una señal eléctrica para que pueda ser interpretada por un dispositivo electrónico. Sin embargo, cuando este no cambia la forma de energía con la cual está en contacto, se le conoce como transductor.

### 2.3.3 MEDIDAS DE PRESIÓN

	Psi	Pulgada c. de agua	Pulgada c. de Hg	Atmósfera	kg/cm <sup>2</sup>	cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
Psi	1	27,68	2,036	0,0680	0,0703	70,31	51,72	0,0689	6894,7
Pulgada c. de a.	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,540	1,868	0,0024	249
Pulgada c. de Hg	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0338	3386,39
Atmósfera	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0132	1,0133 x 10 <sup>5</sup>
kg/cm <sup>2</sup>	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98066
cm c. de a	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,0010	1	0,7355	0,0009	98,06
mm c. de Hg	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	1,359	0,7355	0,00133	133,322
Bar	14,5	401	29,53	0,987	1,02	1020	1,750	1	10 <sup>5</sup>
Pa	0,00014	0,0040	0,00029	0,987 x 10 <sup>-5</sup>	0,102 x 10 <sup>-4</sup>	0,01	0,0075	10 <sup>-5</sup>	1

#### **Ilustración 7. Diferentes unidades de medida de la variable presión.**

Fuente: Rojano Ramos (2012), pág. 91.

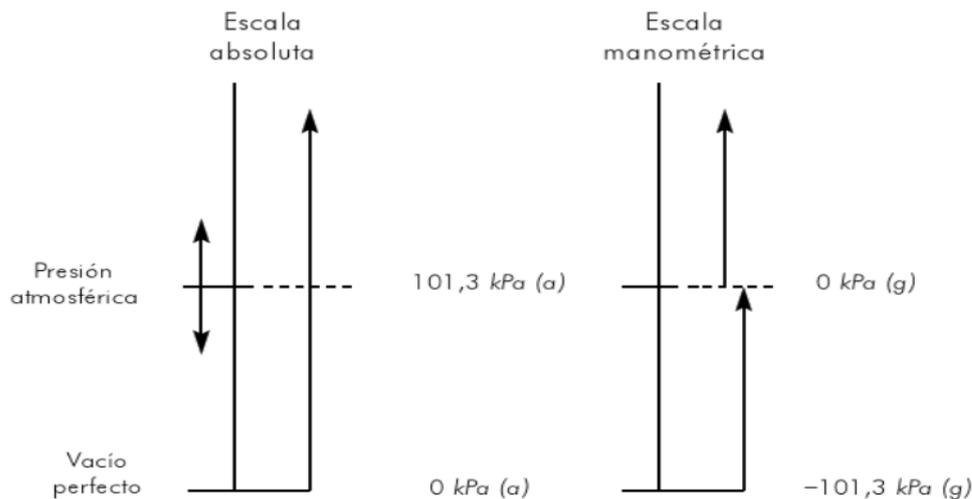
### 2.3.4 UNIDADES Y CLASES DE PRESIÓN

(Creus Solé, 2005) define la presión como una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tal como pascal, bar, atmosferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (pound square inch o libra por pulgada cuadrada) como se muestra en la ilustración 7.

Para medir la presión hay que tener presente que la presión varía dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar, los cambios meteorológicos de presión y otras condiciones. Así que la medida de la presión es relativa, y se establecen medidas de presión manométrica o presión absoluta.

La presión manométrica esta referenciada con la presión atmosférica, es decir, un dispositivo que mide presión manométrica indicara "presión cero" cuando se purgue de aire hasta alcanzar la presión atmosférica.

En cambio, la presión absoluta mostrara presión atmosférica cuando se depura por completo a la atmosfera o sea que la escala no indicara cero, véase la ilustración 8.



**Ilustración 8. Relación entre la presión absoluta y la presión manométrica.**

Fuente: García Gutiérrez (2014), pág. 14.

“En muchos casos, la presión es la variable principal para un amplio campo de medidas de proceso. Realmente muchos tipos de medidas industriales se deducen a partir de la presión, tales como: el caudal (midiendo la caída de presión a través de una restricción), el nivel de líquido (midiendo la presión creada por una columna vertical de líquido, la densidad del líquido (midiendo la diferencia de presión a través de una columna de líquido a altura fija), e incluso la temperatura (el caso de una cámara llena de fluido, donde la presión del fluido y su temperatura se hallan directamente relacionadas), pueden deducirse de medidas de presión.” (García Gutiérrez, 2014, pág. 15)

### 2.3.5 PRESIÓN Y NIVEL

Si el líquido de un tanque permanece en reposo, la presión en cualquier punto bajo la superficie depende de tres factores:

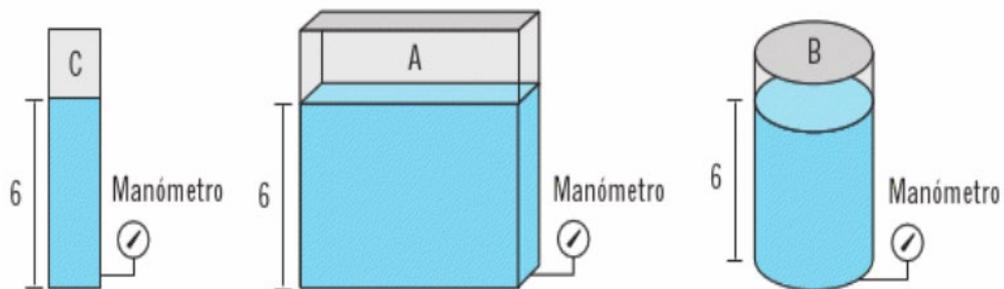
- Densidad ( $\delta$ )
- Presión de la superficie ( $P$ )
- Profundidad ( $h$ )

La ecuación que relaciona estos valores es la ecuación de Presión de la superficie de un recipiente (ecuación 3):

$$P = \delta \times g \times h$$

#### Ecuación 3

La presión en el fondo del recipiente solo depende de la altura del líquido



**Ilustración 9. Relación entre presión y altura.**

Fuente: Rojano Ramos (2012), pág. 96

“En general, cualquier instrumento que pueda medir la presión de forma directa se le conoce con el nombre de manómetro y mide la presión mediante el sistema de columna de líquido o mediante balance con líquidos de referencia. Un ejemplo se muestra en la ilustración 9.

Aquellos instrumentos que miden la presión de forma indirecta suelen utilizar el efecto que producen los cambios de presión sobre la forma o el aspecto de un material; es decir, miden la deformación elástica que se produce en un material.” (Rojano Ramos, 2012, pág. 93).

### 2.3.6 MEDIDAS DE TEMPERATURA

La temperatura es una variable de gran importancia en la industria, esta es empleada para detectar los cambios de estado físico (fases), que tienen las sustancias que intervienen en un proceso. Este cambio se logra mediante la aplicación o pérdida de calor y se mide, registra y principalmente se controla para obtener un óptimo resultado en los productos de un proceso. (Villalobos Ordaz, Rico Romero, & Ortiz Hernández, 2010)

### 2.3.7 ESCALAS DE TEMPERATURA

Las escalas de temperatura se basan en puntos de referencia como el punto de ebullición y congelación del agua. En la actualidad hay cuatro escalas de temperatura usadas en los distintos campos de la ciencia: la escala Celsius (centígrados), la Fahrenheit, la Kelvin y la Rankin.

### 2.3.8 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS CONDUCTORES

Si un conductor está siendo influido directamente por la temperatura, la corriente que está fluyendo por dicho conductor cambia de acuerdo a la variación de la temperatura.

Traducido a términos físico matemáticos se obtiene la ecuación de la resistencia de un material al cambiar su temperatura (ecuación 4):

$$R_{t_2} = R_{t_1}(1 + \alpha(t_2 - t_1))$$

#### **Ecuación 4. Resistencia de un material al cambiar su temperatura**

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de temperatura del material,

$t_1$  es la temperatura baja en grados Celsius,

$t_2$  es la temperatura alta en grados Celsius,

$R_{t_1}$  es la resistencia del material a la temperatura  $t_1$

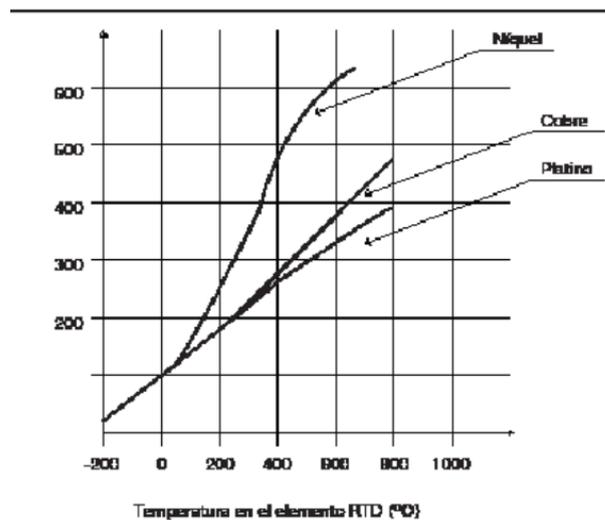
$R_{t_2}$  es la resistencia del material a la temperatura  $t_2$

El cambio de resistencia debido a la variación de temperatura se denomina como "coeficiente de temperatura", y sus unidades se expresan como el porcentaje por grado de temperatura en  $(\Omega / \Omega) \times ^\circ\text{C}$ . Por ejemplo, el coeficiente de temperatura del cobre de 0.004 lo cual significa que su resistencia cambia 0.004 ohm por ohm por  $1^\circ\text{C}$ .

Al escoger el instrumento, ya sea un sensor o transductor, se debe tomar en cuenta este coeficiente de temperatura. En algunos PLC's la configuración es más fácil al conocer este parámetro.

### 2.3.9 RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR)

Los termómetros por resistencia utilizan la propiedad de ciertos metales, en los cuales su resistencia varía de acuerdo a los cambios de temperatura. Por ejemplo, el grafico que muestra en la ilustración 10.



**Ilustración 10. Curvas eléctricas resistencia-temperatura para tres elementos.**

Fuente: Villalobos Ordaz, Rico Romero, & Ortiz Hernández (2010)

Este tipo de sensores son muy utilizados en la industria moderna. Por su fácil conexión y desconexión. Su rápido montaje y mantenimiento.

“Normalmente los termistores son preferidos cuando el rango de temperatura esperado es pequeño, mientras que los RTD son preferibles cuando el rango de temperatura esperado es amplio. Cada transductor es el mejor en una situación de medida determinada, por lo que tenemos que saber cuándo debe utilizarse cada uno de ellos” (Rodríguez Hernández, 2012).

**Tabla 2. Comparación de los tipos de transductores de temperatura más utilizados.**

	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor de IC</b>	<b>Termopar</b>
<b>Ventajas</b>	Más estable Más preciso Algo lineal	Alto rendimiento. Rápida medida de dos hilos.	El más lineal. El de más alto rendimiento. Económico.	Autoalimentado. Robusto. Económico. Amplia variedad de formas. Amplia gama de temperaturas.
<b>Desventajas</b>	Caro. Lento. Precisa alimentación. Cambia su resistencia. Medida de 4 hilos. Autocalentable.	No lineal. Rango de temperatura limitado. Frágil. Precisa fuente de alimentación. Autocalentable.	Limitado a <250 °C. Precisa alimentación. Lento. Autocalentable. Configuraciones limitadas.	No lineal. Baja tensión. Precisa referencia. El menos estable. El menos sensible.

Fuente Rodríguez Hernández, 2012

### 2.3.10 ESTRUCTURA DE UN RTD

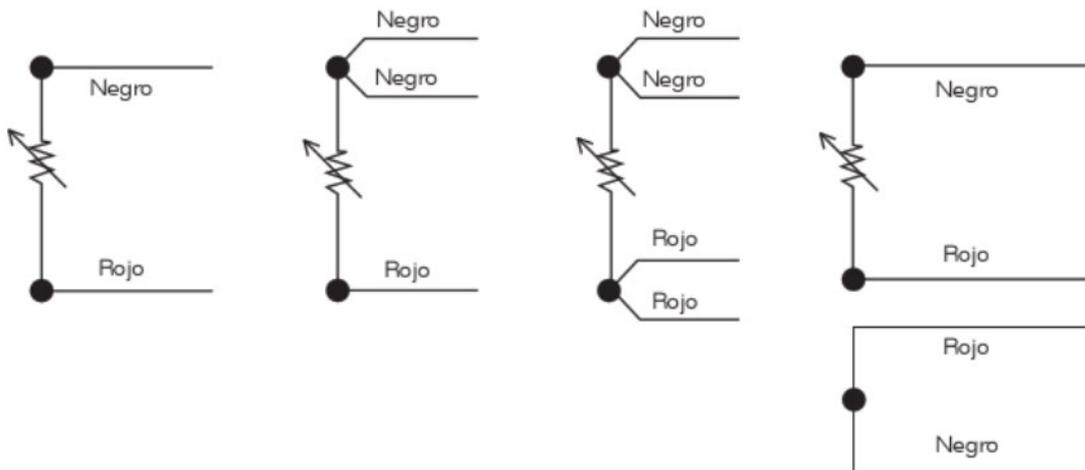
- Terminales de conexión: Las hay de varios tipos como se puede observar en la ilustración 11, ya sea de conexión o desconexión rápida. Dependerá del lugar donde se va instalar y el mantenimiento que se le dé.



**Ilustración 11. Tipos de terminales de conexión de un RTD**

Fuente: Villalobos Ordaz, Rico Romero, & Ortiz Hernández (2010)

- Tipos de conexión: las hay de tres tipos: dos, tres y cuatro hilos, véase la ilustración 12. Esto de acuerdo a la especificación del fabricante, y la compatibilidad del equipo con el que se estén enlazando las señales.

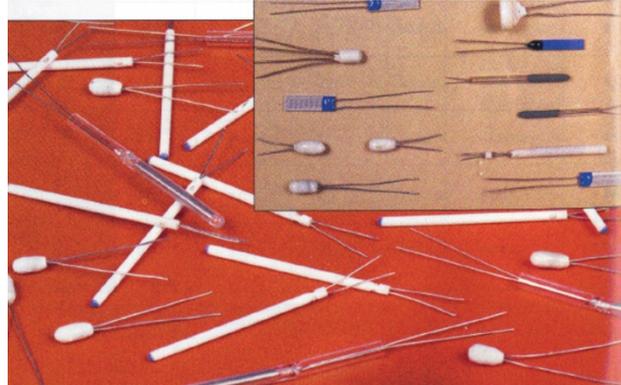


**Ilustración 12. Configuraciones según el número de hilos y sus colores estándar.**

Fuente: Villalobos Ordaz, Rico Romero, & Ortiz Hernández (2010)

- Fundas y cabezas protectoras: estas protegen la electrónica del sensor de la humedad y el medio ambiente. Dependiendo de la aplicación la funda puede estar fabricada de acero inoxidable, aluminio y otras aleaciones.

- El elemento sensorial: Consiste en finos alambres que pueden ser embobinado en cerámica o vidrio como los de la ilustración 13.



**Ilustración 13. Elementos sensores embobinados en cerámica y vidrio.**

Fuente: Villalobos Ordaz, Rico Romero, & Ortiz Hernández (2010)

- Termopozos: es una protección adicional para los RTD que evita que el sensor este directamente en contacto con el líquido o gas a medir en un proceso, esto amplía la vida útil del sensor y lo protege de posibles daños.

Según (Germán Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014): “el RTD de mayor uso es el que se fabrica con platino (Pt), de película delgada TFD (Thin Film Detector), con un valor de  $\alpha$  0.385%/°C, y esta especificado por **“DIN-EN 60751”**. Gracias a su estabilidad, exactitud y amplio rango de temperatura, que va desde -260°C hasta 630°C, se utiliza como estándar internacional”.

### **2.3.11 PRUEBA Y CALIBRACIÓN**

Los instrumentos se han ido haciendo más inteligentes con el tiempo, siempre adaptados a las normativas de comunicación de referencia. Pero no todos los ambientes de procesos son ideales o iguales, por lo que es necesario hacer pruebas y tener mediciones de referencia para que el instrumento, ya sea un sensor o transductor, nos muestre un valor preciso y confiable.

“En el caso de líneas neumáticas, antes de conectar los instrumentos, se purgan con aire limpio y seco y se hacen pruebas de presión para asegurarse de que no hay fugas. En la

tubería de procesos, antes de conectar instrumentos, se purga y prueba por completo. Si se trata de los cables de instrumentos, en todos se debe verificar la continuidad y la resistencia de aislamiento, antes conectar instrumentos” (Bolton, 2002)

## **2.4 REDES INDUSTRIALES**

La aparición de los autómatas programables PLC, ha permitido reducir a gran escala el material necesario para poder controlar una máquina. Con los conocimientos necesarios, solo se programan los procesos en un lenguaje compatible y se adaptan los distintos cambios físicos, lo cual no requiere mucho tiempo.

“Las señales entre periferia y control, inicialmente de tipo analógico y de punto a punto, gracias al desarrollo de la electrónica digital y el auge de los microprocesadores, se convierten en un conjunto de señales en un conjunto de señales capaces de transportar esa información mediante un único medio de transmisión (Bus de campo) gracias a un Protocolo de comunicación que permite que esa señal (por ejemplo, sensor activado) pueda hacerse llegar hasta donde interese” (Rodríguez Penin, 2008)

(Oliva, Castro Gil, & Díaz Orueta, 2013) nos afirman:

“...según IEC 61158 Un bus de campo es un bus de datos digital, serie, multipunto, para la comunicación con dispositivos de instrumentación y control industrial como, pero no limitado a, transductores, actuadores y controladores locales.

Una definición más elaborada es la dada por Fieldbus Foundation, que lo define como: Un bus de campo es un enlace de comunicaciones digital, bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes de control y medida. Actúa como una red de área local para control de proceso avanzado, entrada/salida remota y aplicaciones de automatización de alta velocidad.”

### 2.4.1 MEDIOS DE TRANSPORTE DE LA SEÑAL

Existen varios medios que hacen posible el intercambio de información requerida en el control de procesos. Hasta el momento conocemos los siguientes medios de transmisión:

- Cable eléctrico: el más común de todos, siendo este un hilo metálico aislado que podemos dividir en dos tipos:
  - Par trenzado
  - Coaxial
- Fibra Óptica: consiste en núcleo de material transparente, cristalino o inclusive plástico, que es capaz de guiar señales de luz por su interior. Su uso es muy concreto, ya que el coste de la fibra es elevado.
- Enlace Óptico: funciona mediante rayos infrarrojos. La señal necesita de dos elementos, emisor y receptor, directamente conectados visualmente, por lo cual no es apropiado su uso en largas distancias.
- Radiofrecuencia: basado en las señales de radio generadas a partir de un conductor eléctrico cuando supera cierta frecuencia en la señal transportada.
- Microondas: son señales de radio con frecuencias mayores al Giga Hercio. Se necesitan equipos de transmisión y recepción, como antenas parabólicas.

### 2.4.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

El objetivo de cualquier protocolo de comunicación es poder conectar y mantener el diálogo entre dos Equipos Terminales de Datos (DTE), permitiendo que la información pueda fluir entre ambos con seguridad (sin fallos). Es decir, todas las reglas y especificaciones del lenguaje a utilizar por los equipos (Rodríguez Penin, 2008, pág. 14).

Estandarizar estos protocolos de comunicación ha sido un punto de conflicto para los técnicos y proveedores, porque cada fabricante tiene su propio protocolo basado en las necesidades que se quieren cubrir.

Pero algunos de los protocolos más conocidos son:

- AS-I
- CANbus
- CC-Link
- HART
- Modbus
- PROFIBUS
- PROFINET (Ethernet)

### **2.4.3** ETHERNET INDUSTRIAL

La comunicación por medio de Ethernet se está volviendo muy común en el control de procesos industriales. Esto se debe principalmente a las ventajas que ofrece como; facilidad de ser instalado en una industria, la interconectividad que tiene con distintos dispositivos y la viabilidad que tiene de poder verificar su funcionamiento.

Otra importante razón de su uso es que la mayoría de usuarios referentes a la automatización tienen un conocimiento elevado de cómo funcionan las redes ethernet comparado con otras soluciones de comunicación industrial.

#### **2.4.4 ETHERNET/IP**

Es conocido también como EIP (Ethernet Industrial Protocol). Este protocolo está en la categoría de alto nivel. Funciona bajo las distintas capas del protocolo TCP/IP, permitiendo así la configuración fácil con el hardware y software que tradicionalmente se conoce.

“En la arquitectura TCP/IP realmente no existe un modelo de red dividido en niveles, fundamentalmente porque su diseño se enfocó a implementar protocolos que solucionasen los requisitos de interconexión que se plantearon en su desarrollo inicial, y para ello no se partió de un modelo concreto.” (Santos González, 2014)

#### **2.4.5 UNIDADES DIGITALES**

Es un hecho que las computadoras internamente solo reconocen dos símbolos: el 0 y el 1. Sin embargo, existen sistemas de codificación que transforman estos ceros y unos en un lenguaje más representativo para el hombre, como cifras decimales, gráficos, tablas, etc.

Mediante programas informáticos específicos para interactuar y programar los distintos equipos electrónicos como los PLC's, se obtiene una representación interna de los datos que se reciben de los dispositivos de campo como los sensores. Esta representación se ha estandarizado en unidades de almacenamiento de datos digitales en base al sistema numérico binario.

“El sistema binario o en base 2 es el utilizado internamente por el computador. Cada dígito se denomina bit y sus valores posibles son 0 y 1... Un byte es el número de bits necesarios para almacenar un carácter y, como generalmente los códigos más usuales utilizan 8 bits para representar cada carácter, siempre que no se indique lo contrario, se considera que un byte es equivalente a 8 bits” (Raya Cabrera & González, 2014)

A nivel de integrador es importante saber con cuanta memoria en datos digitales se cuenta, para manipular dicha información digital en la programación e integración de las señales análogas o digitales que entran y salen de un PLC.

En muchas ocasiones las señales de los sensores o transmisores de señal, no siguen un patrón específico, o varían mucho con respecto al tiempo y el ambiente de trabajo. Y esto también hace que los datos digitales también varíen sin seguir un modelo específico. Para simplificar esto, se linealiza la señal por medio de herramientas MATEMÁTICAS COMO LA ECUACIÓN DE LA PENDIENTE DE UNA RECTA O USANDO RAZONES Y proporciones como la conocida regla de 3.

Según (Ortiz Campos, 2014) "la propiedad fundamental de las proporciones establece que: en toda proporción el producto de los extremos es igual al producto de los medios." Es decir:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \text{ si y solo si } ad = bc$$

### **Ecuación 5. Proporcionalidad fundamental entre dos variables.**

## **2.5 SISTEMA DE MONITOREO**

(Rodríguez Penin, 2008) afirma: Los esfuerzos de los diseñadores se han centrado hasta ahora hasta ahora únicamente en el problema de mostrar toda la información disponible, sin tener en cuenta si esta información aparecía de manera coherente y comprensible para sus destinatarios o si era realmente útil como ayuda en la toma de decisiones.

### **2.5.1 INTERFACE HUMANO-MAQUINA**

La percepción visual es el principal medio de recepción de información del mundo que nos rodea. No solamente distinguimos formas y tamaños, sino también el color. (Cruz & Garnica, 2010). Bajo esta premisa sabemos que los dispositivos visuales para el control de procesos,

deben ser ergonómicamente visuales para el operador. Los colores y formas deben ser agradables y al mismo tiempo realzar la información que se desea monitorear. Si el operador no entiende lo que está controlando, esto significara un problema en el control del proceso. La HMI de la ilustración 14 también es PLC, ambos vienen en el mismo CPU.

El proceso de diseño de pantallas (HMI) también se ha vuelto parte del trabajo de un Ingeniero. El conocimiento de diagramas y formas específicas de los distintos elementos, ya se de instrumentación (sensores y transductores) o de actuadores (válvulas eléctricas o neumáticas), es de gran utilidad a la hora de diseñar.

También se toma en cuenta que todo sea ergonómicamente visible para el operador. Ya que el operador es quien pasa más tiempo en el monitoreo de los controles y demás. Es recomendado por expertos primero integrar la programación en el lenguaje de programación para PLC que se esté usando para luego conectar los tag's al diseño de la pantalla.



**Ilustración 14. OPLC V570, HMI y PLC marca Unitronics**

Fuente: Web oficial de UNITRONICS. [www.unitronics.com](http://www.unitronics.com)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

Según (Cruz del Castillo, Olivares Orozco, & González García, 2014) "Investigar es una actividad con prestigio y reconocida por mucha gente. La ciencia y la tecnología se han encargado de fomentarla y generar un estatus de validez; esto puede obedecer más a sus aplicaciones que a otras causas. En un mundo pragmático se valora lo que es útil".

Escoger bien el tema de investigación es muy importante debido a que las estrategias para obtener información, deben ser de fuentes primarias o secundarias que claramente ofrezcan guía y conocimiento sobre el tema.

Naturalmente la investigación se centra en encontrar una explicación de alguna realidad o fenómeno de la realidad, sin embargo, la investigación tecnológica se preocupa más por transformar la realidad por medio de la innovación, invención o desarrollo de nuevas tecnologías.

#### **3.2 HIPÓTESIS**

Un sistema de control automático del nivel y la temperatura de estos tanques, hará más eficiente el proceso de almacenamiento de la melaza. Eficiente en el aspecto que mantendrá la melaza a su temperatura idónea para conservar sus propiedades químicas y físicas (como la fermentación y su viscosidad).

Dicho sistema también evitará que se derramen cantidades considerables del subproducto.

### **3.3 VARIABLES**

(Centty Villafuerte, 2006) nos dice que "las variables son características, atributos que permiten distinguir un hecho o fenómeno de otro (Persona, Objeto, Población, en general de un Objeto de Investigación o Análisis), con la finalidad de poder ser analizados y cuantificados, las variables son un Recurso Metodológico, que el investigador utiliza para separar o aislar partes del todo y tener la comodidad para poder manejarlas e implementarlas de manera adecuada".

Aunque en la investigación tecnológica las variables cambian a medida que el proceso a desarrollar o diseñar va evolucionando, en la presente investigación se hará uso de la relación causa y efecto de ciertas variables que están involucradas directa e indirectamente en el proceso.

#### **3.3.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Las variables independientes son la temperatura y la presión. Ya que estos indicadores son los que se controlaran principalmente con la instrumentación de control.

#### **3.3.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

Las variables que cambian de acuerdo al control que se les da a las variables dependientes serán la densidad y el nivel.

La densidad, porque la melaza que viene del proceso de fabricación viene a distinta temperatura, pH, viscosidad, brix, etc. Y el nivel depende directamente de la presión ya que el transmisor que se usara para controlar el nivel es un transmisor de presión diferencial.

### 3.4 METODOLOGÍA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

#### 3.4.1 ENTREVISTAS

Para la iniciar la investigación del proyecto, se entrevistó a los encargados del laboratorio, puesto que ellos son los que llevan un control de la temperatura y nivel de los tanques. Para llevar un control de la temperatura se han instalado termómetros industriales en puntos estratégicos de la tubería, tanto antes de los enfriadores como después de los mismos, así se controla la temperatura a la que normalmente la melaza llega de por la tubería desde fábrica. La temperatura ronda entre los 40 y 60 °C, y el valor óptimo para su almacenamiento debe ser menor a 40 °C.

Para medir el nivel, los encargados han medido la altura del tanque en pulgadas, y por medio de una varilla con medidas de referencia, ellos sumergen la varilla y así pueden saber a qué altura está el nivel de melaza en los tanques. Anteriormente se han instalado unos transmisores de presión, pero la medición varía por mucho con la medición que ellos toman por medio de la varilla. Uno de los principales desafíos es que a medida que el nivel va aumentando, se forma una columna de espuma en la superficie que hace que la medición sea menos precisa.

#### 3.4.2 DOCUMENTACIÓN



**Ilustración 15. Transmisor de presión Endress+Hauser.**

Fuente: Propia

Se reunió toda la información con la toma de apuntes y todas las observaciones en su momento hechas. La información técnica para la parametrización de los instrumentos se obtuvo de los manuales dados por el fabricante o distribuidor. Uno de estos transmisores se muestra en la Ilustración 15 para el que se tuvo que comunicar vía telefónica con el proveedor para preguntar sobre algunos datos técnicos.

### 3.4.3 RECURSOS

El personal del área de instrumentación fue el principal apoyo, ya que, con su experiencia en esta área, se han seleccionado los instrumentos medición y control.

Los aparatos de medición como multímetros y simuladores de baja tensión como el de la Ilustración 16 fueron proporcionados por el área eléctrica e instrumentación respectivamente.

Estos aparatos son realmente útiles para simular la medición antes de instalar el panel de control y monitoreo.



**Ilustración 16. Generador de señal Fluke 715**

Fuente: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

El software utilizado para programar el PLC se descargar gratis desde la página Oficial. Los dispositivos eléctricos y electrónicos fueron proporcionados por la empresa ya que se tenía estimado un proyecto en esa área desde hace tiempo atrás.

**3.4.4 CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS**

Para establecer comunicación entre el PLC y los módulos fue necesario fabricar un cable especial. Se hizo una cotización previa como se muestra en la Ilustración 17, pero por motivos de tiempo para procesar un pedido, se optó por fabricar el cable por cuenta propia. Esto era necesario para poder analizar los datos que recibe el PLC de la instrumentación utilizada, y así, poder hacer los respectivos análisis y ajustes al control.

**COTIZACION / QUOTE**

Fecha Doc / Doc Date: 16/10/2018  
 Numero Doc / Doc Number: 28794  
 Vendedor / Sales Person: Oscar Reyes  
 Fecha Vencimiento / Due Date: 16/11/2018  
 Num. Referencia / Reference Num.  
 Condiciones de Pago / Payment Terms



Ramon & Dania Industrial S.R.L. de C.V.  
 11 avenida 14 y 15 calle Bo. Paz Barahona.  
 San Pedro Sula, HONDURAS  
 Tel. (504) 2558 - 9314 , (504) 2558 - 9313  
 oreyes@rydindustrial.com

---

**Ciente / Contacto / Direccion Factura**  
 Customer / Contact / Invoice Address  
 ➔ LUIS CORDOBA  
 ,HONDURAS

**Ciente / Contacto / Direccion de Entrega**  
 Customer / Contact / Delivery Address  
 ➔ LUIS CORDOBA  
 ,HONDURAS

#	Artículo / Descripción	Cantidad	U.M.	Precio Unit	Total (LPS)
Item	Description	Quantity	UOM	Unit Price	Total (LPS)
1	➔ EXL-CAB100 EX-A2X Or XL Expansion cable (1m)	1.00	UNIDAD	LPS 651.0400	651.04

Factor Cambiario del documento L. 1.00  
 Precio Sujeto a Cambio de Dolar Americano  
 Precios Sujetos a Cambios sin Previo Aviso

	<b>Sub-total</b>	LPS	651.04
	<b>I.S.V. / Tax</b>	LPS	97.66
	<b>Total</b>	LPS	748.70

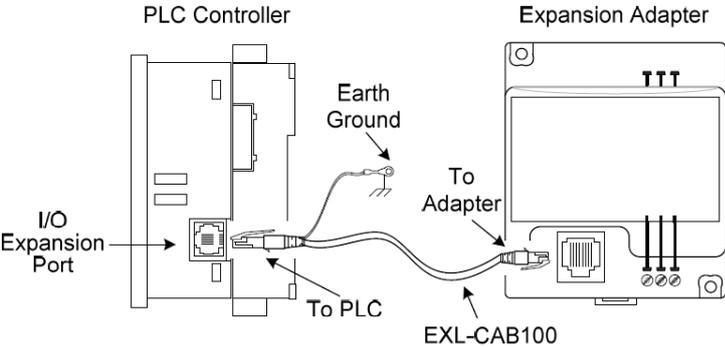
**Contacto :** Oscar Reyes  
**E-Mail :** oreyes@rydindustrial.com  
**Celular:** 33713082

**Ilustración 17. Cotización de cable EX-CAB100**

Fuente: Propia

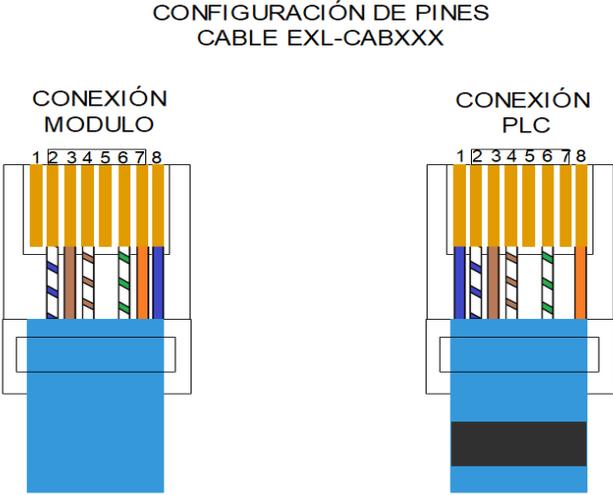
El cable es especial para la comunicación con los módulos de expansión IO's para los PLC's marca Unitronix. Se supo que era un cable especial tomando como referencia la ilustración 18.

Se hizo la respectiva investigación de como fabricar el cable, ya que a siempre vista parece como un cable ethernet común, sin embargo, la combinación de colores es distinta. Se utilizaron las herramientas del taller de electrónica para fabricar el cable, como ser un multímetro, tenazas para desaislar cable, terminales RJ-45 y una ponchadora para apretar terminales. Una vez determinados los pines con la combinación de colores que muestra la ilustración 19, se procedió a fabricar el cable.



**Ilustración 18. Diagrama de conexión entre PLC y adaptador de módulos de expansión marca Unitronix**

Fuente: Manual técnico de Expansion Adapter, Unitronix.



**Ilustración 19. Configuración de colores de cable EXL-CABxxx**

Fuente: Propia

## IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS

Los análisis realizados para el proyecto fueron simulados, ya que en el periodo en que fue diseñado y construido, el ingenio estaba en reparación y los tanques no estaban almacenando melaza. Por ende, se dispuso a hacer pruebas simuladas de acuerdo a los datos proporcionados por el laboratorio de la fábrica. La simulación se realizó por medio de un simulador de señales de 4 – 20 mA para los transmisores de presión-nivel, como el de la ilustración 16 que mostro más arriba, Y para simular temperatura se utilizo un pozo seco.

Mari Mutt (2004), afirma que existen tres principios básicos que deben cumplirse en la redacción científica o tecnológica. Estos principios son: Precisión, Claridad y Brevedad... se deben usar palabras que comuniquen exactamente lo que se quiere decir y solo se debe incluir la información pertinente al contenido... (Citado en León González, Socorro Castro, & Espinoza Cordero, 2017)

Se fundamento el análisis en los siguientes datos principales:

- La altura en pulgadas de los tanques de melaza es de:
  - Tanque número uno, 354.50 pulgadas.
  - Tanque número dos, 349.25 pulgadas.
- La temperatura a la que normalmente la melaza llega al tanque número uno es de aproximadamente 60 °C.
- La temperatura a la que debe estar almacenada la melaza debe estar por debajo de 40 °C.
- La densidad de la melaza cuando la temperatura es menor a 40 °C es aproximadamente de  $1826.4 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

#### 4.1.1 MEDICIONES DE TEMPERATURA

Partiendo de los parámetros de temperatura se probaron primero las RTD's para comprobar el correcto funcionamiento de las mismas. Se utilizaron módulos especiales para RTD's Pt100 o pt1000 que hacen fácil la integración de estas para la interpretación digital. Se comprobó la medición por medio de un horno seco (Fluke 9100S). Para el proyecto se decidió tener dos mediciones de control en las tuberías de entrada al tanque número uno. Y seis mediciones de referencia en los tanques, o sea tres por cada tanque. Para cada RTD se hicieron cinco mediciones para asegurarse de su correcto funcionamiento como aparece en la tabla 4 y la tabla 5 a continuación:

**Tabla 3. Mediciones de control de temperatura**

#	Setpoint Horno Seco (°C)	RTD válvula principal de bypass (°C)	RTD salida de enfriadores (°C)
1	20	20.2	20.1
2	30	30	30.1
3	40	40.1	39.8
4	50	50.1	50.2
5	60	60.1	60

Fuente: Propia

**Tabla 4. Mediciones de referencia de temperatura**

#	Setpoint Horno Seco (°C)	Tanque #1			Tanque #2		
		RTD Nivel1	RTD Nivel 2	RTD Nivel 3	RTD Nivel 1	RTD Nivel 2	RTD Nivel 3
1	20	20.1	20	20	19.9	20.2	20
2	30	29.9	30.2	30	29.8	30	30
3	40	40.1	40	39.8	39.8	39.9	40.1
4	50	50	49.8	50	50.1	50	50.2
5	60	60.1	60.3	60	60	59.8	60.1

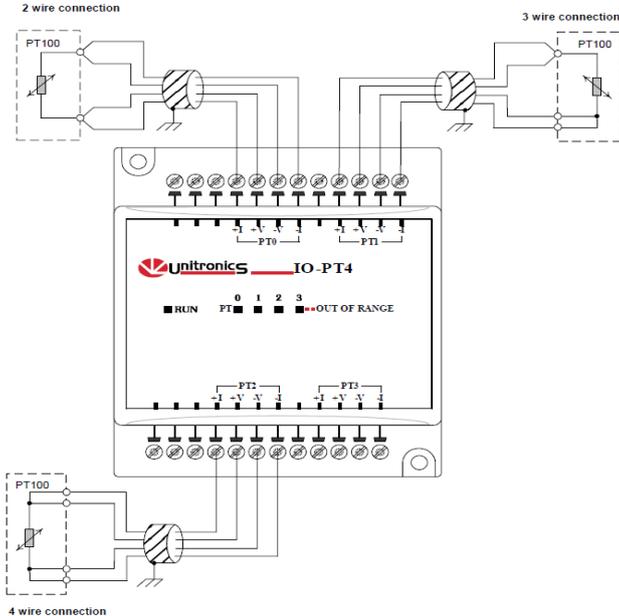
Fuente: Propia

Se puede observar que el margen de error de la medición es muy pequeño. Es decir, de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Los módulos estaban en perfecto estado como se puede observar en la ilustración 20 y la medición se comunicó perfectamente hacia el PLC. Se utilizó una conexión de tres hilos desde las RTD a los módulos siguiendo los diagramas sugeridos por el fabricante, véase la ilustración 21.



**Ilustración 20. Módulos IO's para RTD pt100**

Fuente: Propia



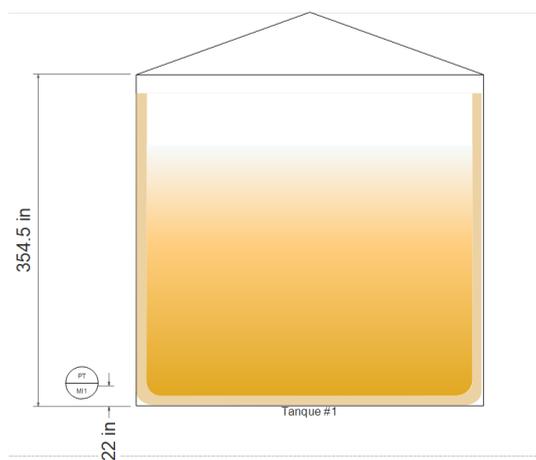
**Ilustración 21. Conexión rápida de Pt100 a modulo IO-PT4**

Fuente: Manual técnico de Modulo IO-PT4

#### 4.1.2 LINEALIZACIÓN DE TRANSMISORES DE PRESIÓN

Por otra parte, para linealizar las señales de los transmisores de presión de 4-20 mA, primero se hizo un cálculo de la presión máxima teórica por medio de la ecuación 3. La medición de referencia que utilizan en el laboratorio la toman por medio de una varilla normalizada para en pulgadas. Con ella se sabe que la altura del tanque número uno es de 354.50 pulg. (Véase la ilustración 22) Al conocer la densidad en  $Kg/m^3$  fue necesario convertirla a metros con su respectivo factor de conversión.

#### Cálculos



**Ilustración 18. Modelo de tanque #1**

Fuente: Propia

1 m = 39.3701 pulg.

$354.50 \text{ pulg} \times 0.02534 = 9.0043 \text{ m}$

$$P = 1826.4 \text{ Kg}/m^3 \times 9.81 \text{ m}/s^2 \times 9.0043 \text{ m}$$

$$P = 161329.90 \text{ Pa}$$

Luego convertimos esto a psi por medio del factor de conversión.

1 psi = 6894.76 entonces;

$161329.90 \times 1.4504 \times 10^{-4} = 23.40 \text{ psi} \sim 23 \text{ psi}$

Sin embargo el transmisor esta colocado a 22 pulg de altura de la parte inferior del tanque, por lo que la medicion efectiva del mismo es desde esa distancia hacia arriba. Por lo que el ajuste del 0 del transmisor se hizo a esa distancia. Para ello se tomo en cuenta esta distancia y se resto de la altura maxima.

$$354.5 \text{ pulg} - 22 \text{ pulg} = 332.5 \text{ pulg.}$$

$$332.5 \text{ pulg} = 8.4455 \text{ metros}$$

$$P = 1826.4 \text{ Kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 8.4455 \text{ m}$$

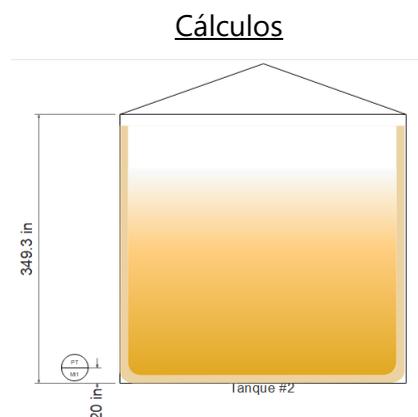
$$P = 151317.89 \text{ Pa}$$

$$151317.89 \text{ Pa} \times 1.4504 \times 10^{-4} = 21.94 \text{ psi} \sim 22 \text{ psi}$$

Se observa que la diferencia es aproximadamente de 1 psi, por lo que el margen de error seria de  $\pm 1$  psi, lo cual es considerable.

De igual forma con el tanque numero dos, solo que la altura maxima de este es de 349.3, y de una vez le restamos la distancia a la que esta colocado el transmisor. Véase la ilustración 23.

$$349.3 \text{ pul.} - 20 \text{ pulg.} = 329.3 \text{p pulg.}$$



**Ilustración 19. Modelo de la altura del tanque #2**

Fuente: Propia

329.3 pulg = 8.3642 metros

$$P = 1826.4 \text{ Kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 8.3642 \text{ m}$$

$$P = 149861.24 \text{ Pa}$$

$$149861.24 \text{ Pa} \times 1.4504 \times 10^{-4} = 21.74 \text{ psi} \sim 22 \text{ psi}$$

Se concluye en que los tanques estan en el mismo rango de medición. El laboratorio pidió tener como unidades de referencia el porcentaje del nivel de los tanques (vease la tabla 6) y su equivalente en psi. Por medio Ecuacion proporcionalidad entre dos variables. Obteniendo lo siguiente:

#### Cálculos

Para 5.5 psi:

$$\frac{332.5 \text{ pulg}}{22 \text{ psi}} = \frac{c}{5.5 \text{ psi}} \text{ si y solo si } ad = bc$$

$$c = \frac{332.5 * 5.5}{22}$$

$$c = 83.125 \text{ pulg}$$

Para 11 psi:

$$\frac{332.5 \text{ pulg}}{22 \text{ psi}} = \frac{c}{11 \text{ psi}}$$

$$c = \frac{332.5 * 11}{22}$$

$$c = 166.25 \text{ pulg}$$

Para 16.5 psi:

$$\frac{332.5 \text{ pulg}}{22 \text{ psi}} = \frac{c}{16.5 \text{ psi}}$$

$$c = \frac{332.5 * 16.5}{22}$$

$$c = 249.375 \text{ pulg}$$

Para 22 psi:

$$\frac{332.5 \text{ pulg}}{22 \text{ psi}} = \frac{c}{22 \text{ psi}}$$

$$c = \frac{332.5 * 22}{22}$$

$$c = 332.5 \text{ pulg}$$

**Tabla 5. Diferentes unidades utilizadas en el análisis.**

<b>mA</b>	<b>%</b>	<b>psi</b>	<b>pulgadas</b>	<b>Unidades digitales</b>
4	0	0	0	3272
8	25	5.5	83.125	6542
12	50	11	166.25	9813
16	75	16.5	249.375	13087
20	100	22	332.5	16368

Fuente: Propia

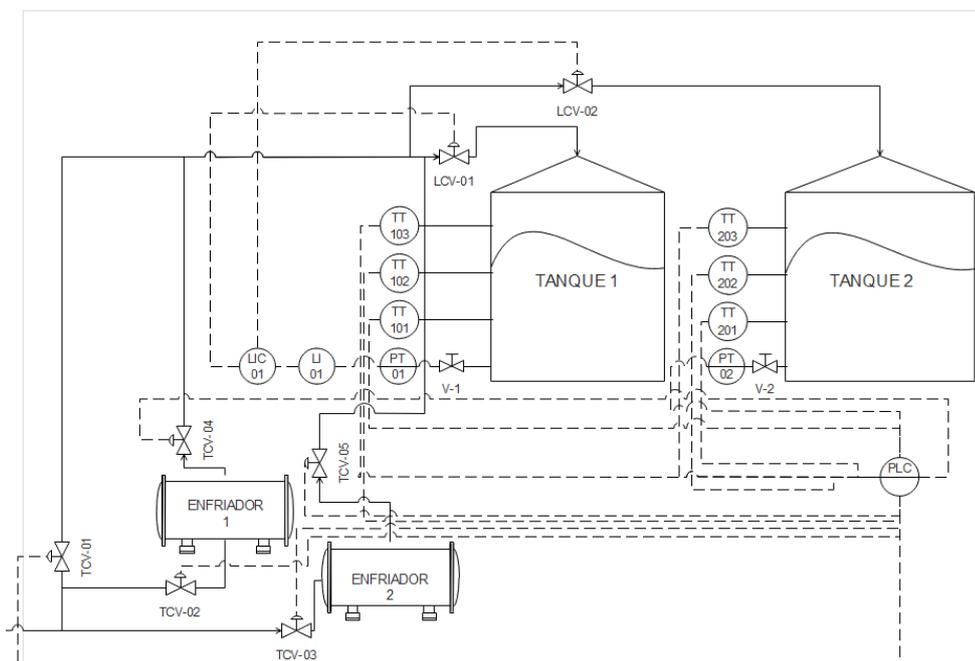
## **4.2 RESULTADOS**

Como se mencionó anteriormente el proyecto obtuvo resultados de diseño mas no de implementación, ya que los tanques de melaza aun no estaban en uso. Sin embargo, se diseñó y programó en base a los parámetros calculados. La lógica de control se hizo en base a los parámetros establecidos junto con el supervisor y técnicos del área de instrumentación.

Para tener una mejor orientación del diseño y control se optó por realizar un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID).

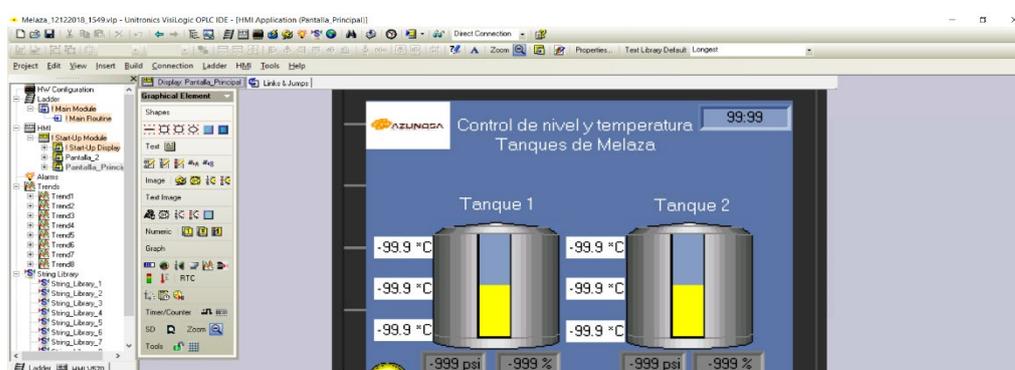
“Existe un comité internacional de normas IEC-65C que recibe la colaboración de comités ISASP50, ISASP72 y EUROBOTde EUREKA, y que trabajan también en el campo de normalización de las comunicaciones digitales entre los instrumentos de campo y los sistemas de control en la llamada tecnología del "fieldbus" o bus de campo. (Creus Solé, 2005)

A partir del diagrama de la ilustración 24 se diseñaron las pantallas con las que interactúa el operario. Para observar cómo se distribuye el espacio de la HMI, y así poder manejar bien el contenido visual, véase la ilustración 25.



**Ilustración 24. Diagrama P&ID del control del proceso**

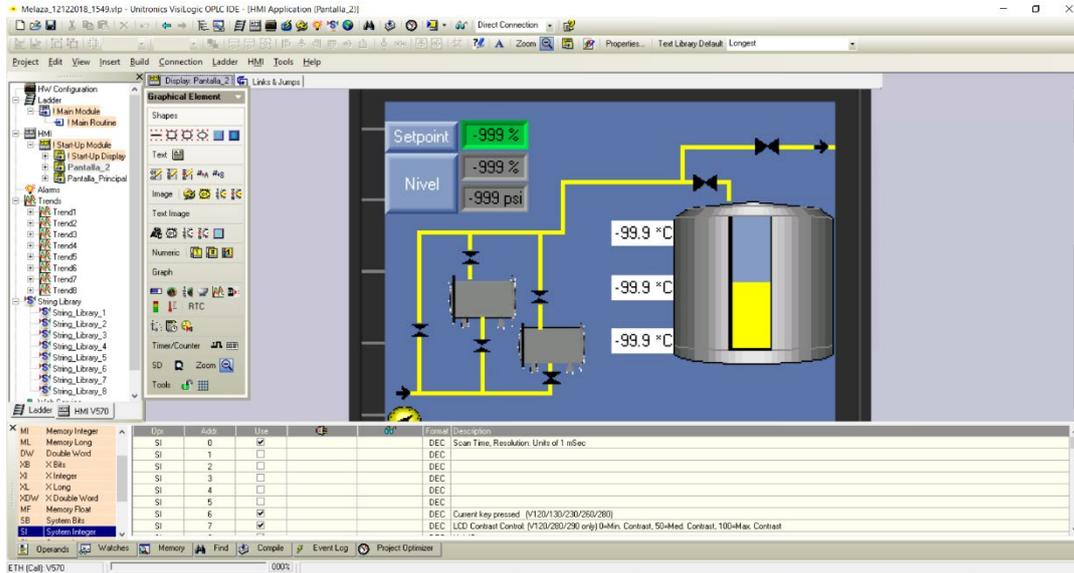
Fuente: Propia



**Ilustración 25. Diseño de pantalla principal con el software Visiologic**

Fuente: Propia

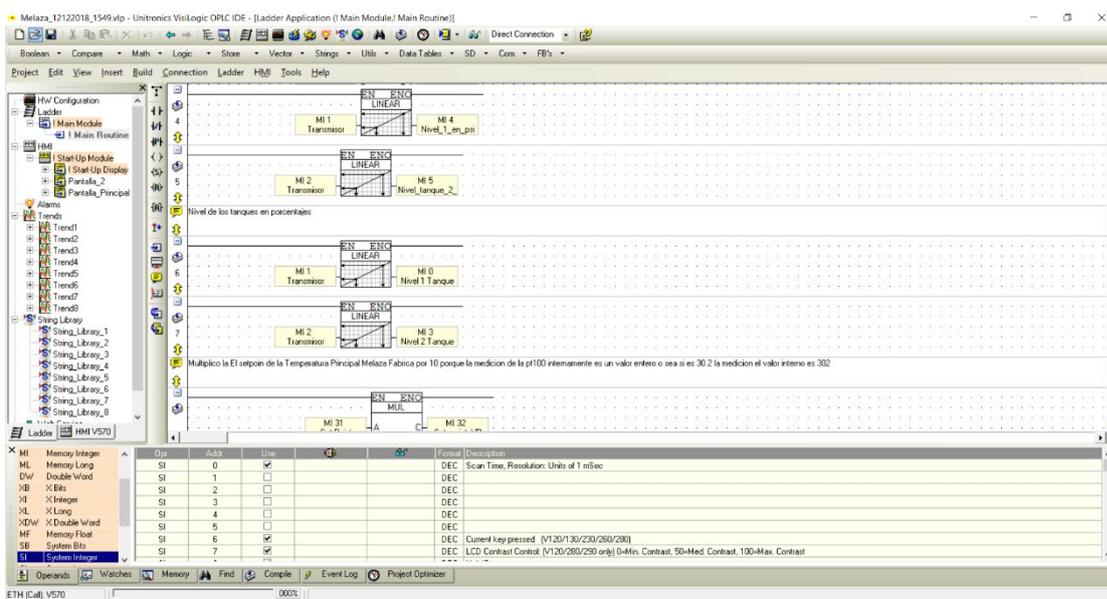
Para contemplar mejor el monitoreo de control de las válvulas se diseñó una segunda pantalla (véase la ilustración 26) en la que se observa un diagrama sencillo del proceso con simbología conocida por el operario.



**Ilustración 20. Diseño de pantalla secundaria para el monitoreo de control en HMI.**

Fuente: Propia

La lógica de programación se hizo mediante el lenguaje tipo Ladder (véase la ilustración 27), en el mismo software de VisiLogic.



**Ilustración 21. Programación en Ladder**

Fuente: Propia

## V. CONCLUSIONES

(Dussaillant Christie, 2006) nos recuerda que "cualquiera sea el caso, debemos considerar que la última decisión debiera ser la más adecuada al tema que estamos trabajando y a los objetivos que nos propusimos. Hay que evitar que, por una mala decisión, nos veamos en la obligación de repetir una y otra vez las mismas ideas, o que no logremos dar con un orden de acuerdo con nuestros objetivos, de modo que el lector tenga que sacar sus propias conclusiones."

- Se colocaron los sensores de temperatura en los puntos estratégicos estipulados mediante inspecciones y cálculos teóricos, tres en cada tanque a distintas alturas, y dos en la salida de los enfriadores para determinar que están funcionando correctamente.
- Se concluye que, en vez de dejar fijo del nivel de melaza, se integre un campo numérico editable en la pantalla de la HMI, para que el operador pueda establecer el Setpoint para controlar el nivel del tanque número uno y poder accionar el bypass hacia el tanque número dos.
- Debido a la naturaleza no tan compleja en el control del proceso se opta por usar señales de confirmación del accionamiento de las válvulas para asegurar que estén en línea. Sino estuvieran se muestran alertas en la pantalla HMI. Y si alguna RTD fallara, el panel está diseñado para cambiar rápidamente las señales sin tocar nada de la parte de control, y solamente integrar las señales en borneras de conexión rápida. Se dio una capacitación al personal de instrumentación sobre como parametrizar las señales en el PLC a nivel de programación en caso que fuera necesario.

## **VI. RECOMENDACIONES**

### **6.1 A LA EMPRESA:**

- Se debe tomar en cuenta que durante los periodos de practica se personalicen las actividades del practicante para cada área en específico, de tal manera que se apliquen los conocimientos aprendidos en el alcance de los proyectos o propuestas de proyecto.
- Como una observación, la atención del área de bodega debería de ser mejor. Se podrían hacer planes para reestructurar o digitalizar el inventario para que se disponga a atender más rápido.
- Se debe tomar en cuenta la normalización en el uso de una sola marca de PLC's, para que los proyectos de automatización futuros puedan integrarse entre sí de manera más rápida.

### **6.2 A LA UNIVERSIDAD:**

- En la industria es importante conocer las normativas de seguridad para evitar accidentes y muerte. Y aunque no es algo difícil de aprender, se podría agregar en el contenido de alguna clase en el transcurso de la carrera.
- Los lenguajes de programación en PLC básicos son útiles y ayudan a desarrollar la lógica. Es recomendado que se enseñen otros lenguajes de programación usados en PLC también, para tener una base de eso también.
- Aunque en el alcance del proyecto no se estipuló un SCADA, es importante aprender cómo funciona y si es posible potenciar el uso de software SCADA para poder diseñar e implementar estos sistemas de adquisición y supervisión de datos, aunque sea a un nivel no tan complejo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Barrientos, A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de producción automatizados*. Madrid, SPAIN: Dextra Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3229680>
- Bolton, W. (2002). *Mecatrónica Sistemas de control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (Segunda). Mexico: S.A. MARCOMBO.
- Centty Villafuerte, D. B. (2006). Manual metodológico para el investigador científico. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3200576>
- Creus Solé, A. (2005). *Instrumentación industrial (7a. ed.)*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3175373>
- Cruz, A., & Garnica, A. (2010). *Ergonomía aplicada (4a. ed.)*. Bogotá, COLOMBIA: Ecoe Ediciones. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3193893>
- Cruz del Castillo, C., Olivares Orozco, S., & González García, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F., MEXICO: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3227245>
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3183744>

- De la Cruz, C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *enero-junio 2016, 1*(Revista Ingenium). Recuperado de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/article/view/392>
- Domínguez, S., Sánchez, E., & Sánchez, G. (2009). *Guía para elaborar una tesis* (Primera). Mexico, D.F.: McGraw Hill.
- Dussillant Christie, J. (2006). *Consejos al investigador: guía práctica para hacer una tesis*. Santiago de Chile, CHILE: RIL editores. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224127>
- García Gutiérrez, L. (2014). *Instrumentación básica de medida y control*. Madrid, SPAIN: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3223486>
- Germán Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Distrito Federal, UNKNOWN: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4569609>
- Granda Miguel, M., & Mediavilla Bolado, E. (2015). *Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal*. Madrid, SPAIN: Editorial de la Universidad de Cantabria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3428884>
- Kubala, T. (2011). *Electricidad 2 Dispositivos, circuitos y materiales* (9a ed.). Cengage Learning Editores.
- Leeson, S., & Summers, J. (2000). *Nutrición Aviar Comercial*. Bogotá, Colombia: Le'Print Club Express Ltda.

- León González, J. L., Socorro Castro, A. R., & Espinoza Cordero, C. X. (2017). *Uso de la información científica y tecnológica en la investigación y la innovación*. Cienfuegos, CUBA: Editorial Universo Sur. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=5214298>
- Maurício, J. (2005). *Princípios de mecatrônica*.
- Oliva, N., Castro Gil, M. A., & Díaz Orueta, G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3216642>
- Ortiz Campos, F. J. (2014). *Matemáticas 1 (3a. ed.)*. Ciudad de México, MEXICO: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=5213584>
- Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA (Segunda)*. MARCOMBO, EDICIONES TECNICAS 2007, MARCOMBO, S.A.
- Raya Cabrera, J. L., & González, L. R. (2014). *Operaciones auxiliares con tecnologías de la información y la comunicación*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3228504>
- Rodríguez Hernández, A. (2012). *Montaje y reparación de automatismos eléctricos: montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de baja tensión (UF0889)*. Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3212397>
- Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones industriales*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3175914>

- Rojano Ramos, S. (2012). *Instrumentación y control en instalaciones de procesos, energía y servicios auxiliares (MF0047\_2)*. Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3211232>
- Santos González, M. (2014). *Diseño de redes telemáticas*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229018>
- Villalobos Ordaz, G., Rico Romero, R., & Ortiz Hernández, F. E. (2010). *Medición y control de procesos industriales*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3187215>

## VIII. ANEXOS

### 8.1 ANEXO 1. TUBERÍA DONDE VA COLOCADO EL TRANSMISOR DE NIVEL



Fuente: Propia

### 8.2 ANEXO 2. TANQUES DE MELAZA EN AZUNOSA



Fuente: Propia

**8.3 ANEXO 3. SISTEMA DE ENFRIADORES CON VÁLVULAS MANUALES.**



Fuente: Propia

**8.4 ANEXO 4. PANEL ELÉCTRICO DE CONTROL Y MONITOREO DEL PROYECTO.**



Fuente: Propia