



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA DE COCCIÓN EN INDUSTRIA AZUCARERA,**

**INGENIO SANTA MATILDE**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21341156      MARÍA JOSÉ CANALES AGUILAR**

**ASESORA:**

**ING. MARTA REYES**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**MAYO, 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios:** Por permitirme culminar mis estudios de la mejor manera y haberme guiado en este camino en todo momento, por darme la fortaleza e inteligencia para lograr mi objetivo.

**A Mama:** Gracias por todo el amor y el apoyo brindado, siempre tuviste fe en mí, se lo que ha costado, pero lo estoy logrando mama, por ti y por mí, este logro es más tuyo que mío. Eres la mejor mama del mundo, gracias por todos tus consejos, por enseñarme a nunca rendirme, por mostrarme que, aunque el camino sea difícil puedo lograrlo.

**A mi hermano:** Por el apoyo incondicional, los consejos, el amor, y toda la ayuda brindada desde siempre, siempre que quise detenerme, que quise renunciar pensaba en que no podía, porque quería que estuvieras orgulloso de mí, ¡y lo logre! Te amo.

**A Papa:** Por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera, los consejos y su amor.

**A mis tíos y abuela:** Por estar siempre para mí aconsejándome y apoyándome en mis decisiones.

**A mis primos:** Allison, Lohany y Eduardo por el apoyo incondicional y apoyarme en mi carrera académica, por hacerme sentir que puedo lograrlo todo, ya tienen su ingeniero.

**A mis Amigas:** Gabriela y Nerea fueron muchas cosas que pasamos juntas, gracias por el apoyo, el camino ha sido largo, pero lo logramos.

**A mis docentes de UNITEC:** Por sus enseñanzas y experiencias compartidas, brindando los conocimientos adecuados para mi formación académica.

**A CAHSA:** Por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo y confiar en mis capacidades, en especial al ingeniero Ramiro Hernández por brindarme sus conocimientos y apoyo.

## GLOSARIO

1. **Tacho:** Son equipos que se utilizan en la industria azucarera para la cocción de la meladura y las mieles provenientes de las centrifugas para obtener los granos de azúcar.
2. **Brix:** Son una unidad de cantidad °Bx y sirven para determinar el coeficiente total de material seco disuelto en líquido.
3. **Automatización:** Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.
4. **Malaxador:** Es una maquina utilizada en la industria para mezclar partículas sólidas de diferentes tamaños, con cierta porción de compuestos líquidos de poca o mucha viscosidad.
5. **Condensador:** Componente eléctrico para aumentar la capacidad eléctrica y la carga sin aumentar el potencial, que consiste en dos conductores separados por un dieléctrico o medio aislante.
6. **Empresa azucarera:** son instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener azúcar, ron, alcohol y otros productos.
7. **Industria azucarera:** es un sector económico dedicado a la siembra, cosecha y procesado de la caña de azúcar.
8. **Transmisor:** es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador.
9. **Variador de frecuencia:** es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.
10. **Centrifuga:** es una máquina que pone en rotación una muestra para acelerar la decantación o la sedimentación de sus componentes o fases según su densidad.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el trabajo se abordó el tema de la automatización del tacho número 3 que contiene masa B del ingenio santa Matilde, logrando con este nuevo proyecto aumentar el tonelaje de caña molida y ayudar de esta manera hacer el proceso de concentración de masa en el menor tiempo posible. La empresa cuenta con 10 tachos automatizados logrado una mejora notable en el proceso, la propuesta surge de la necesidad de aumentar tonelaje por las exigencias del mercado, logrando obtener la inversión de manera rápida.

La estructura se levantó desde cero, en general, se hicieron las conexiones correspondientes al esclavo del PLC maestro que es controlado desde la oficina de instrumentación donde se trabajó desde el inicio la programación de dicho tacho en el programa Freelance de la marca ABB, el tacho consta de 2 motores, dos sensores de presión, uno de nivel, uno de densidad y uno de temperatura, consta de 8 válvulas de las cuales 4 son on/off que permiten el paso de las mieles. Se realizó inventario y cotización de cada uno de los 15 elementos que componen el proyecto.

Dentro del tacho para comenzar el proceso se genera vacío, se carga miel y al 15% enciende el circulador, al llegar al 30% de nivel del tanque comienza la etapa de concentración, a continuación, el semillamiento, luego dos etapas de cocimiento y por último la descarga del mismo.

Generando esto una mejor eficiencia en el proceso y obteniendo un producto terminado en el menor tiempo posible, obteniendo la empresa la inversión de una manera más rápida con un producto de alta calidad.

## EXCECUTIVE SUMMARY

In the last topic we talk about the automatization of the tacho number 3 that's contains Mass B of the sugar engineer Santa Matilde.

Achieving with this new project to increase the tonnage of ground cane and help in this way to make the process of mass concentration in the shortest time possible. The company has 10 automated bins achieved a remarkable improvement in the process, the proposal arises from the need to increase tonnage by the demands of the market, getting the investment quickly.

The structure was raised from scratch, in general, the corresponding connections were made to the slave of the master PLC that is controlled from the instrumentation office where the programming of said bin was worked from the beginning in the Freelance program of the ABB brand, the tacho consists of two engines, two pressure sensors, one level, one density and one temperature, consists of eight valves of which four are on / off that allow the passage of honey.

Inventory and quotation of each one of the 15 elements that compose the project was carried out.

Inside the tank to start the process, vacuum is generated, honey is charged and when is at 15% of the tank level it turns on the circulator, when reaching 30% of the level the tank begins the concentration stage, then the seed, then two stages of cooking and finally the download of it. Generating this a better efficiency in the process and obtaining a finished product in the shortest possible time, obtaining the company the investment in a faster way with a high quality product.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
	<b>2.1 ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
	<b>2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
	<b>2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>4</b>
	<b>2.4 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
	2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
	2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
	<b>2.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
	<b>3.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA</b> .....	<b>6</b>
	<b>3.2 ORGANIGRAMA</b> .....	<b>6</b>
	<b>3.3 PROCESO DEL AZÚCAR</b> .....	<b>7</b>
	<b>3.4 INCORPORACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO</b> .....	<b>11</b>
	<b>3.5 DESCRIPCIÓN DEL TACHO</b> .....	<b>11</b>
	<b>3.6 FUNCIONAMIENTO DE UN TACHO</b> .....	<b>12</b>
	<b>3.7 PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN DEL GRANO DE AZÚCAR</b> .....	<b>12</b>
	3.7.1 BRIX.....	14
	<b>3.8 EQUIPO DEL TACHO</b> .....	<b>14</b>
	<b>3.9 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)</b> .....	<b>15</b>
	<b>3.10 SISTEMA SCADA</b> .....	<b>16</b>
	3.10.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA SCADA .....	17
	<b>3.11 RED PROFIBUS</b> .....	<b>18</b>
	<b>3.12 PROFIBUS DP</b> .....	<b>19</b>
	<b>3.13 SISTEMA DE CONTROL</b> .....	<b>19</b>
	<b>3.14 SISTEMA PID</b> .....	<b>20</b>

<b>3.15 TRANSMISORES .....</b>	<b>21</b>
3.15.1   SENSORES DE NIVEL .....	22
3.15.2   TRANSMISOR DE NIVEL .....	23
3.15.3   TIPOS:.....	23
<b>3.16 CONTROL 4 A 20 MA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.17 CONTROL DE VÁLVULA ON/OFF.....</b>	<b>24</b>
<b>3.18 ACTUADORES .....</b>	<b>25</b>
3.18.1   ACTUADORES NEUMATICOS .....	26
<b>3.19 POSICIONADORES ELECTRO NEUMÁTICOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.20 SOLENOIDE .....</b>	<b>27</b>
<b>3.21 PARTE ELÉCTRICA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.21.1   BOMBAS DE VACÍO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.21.2   AGITADOR.....</b>	<b>30</b>
<b>3.22 PROGRAMA FREELANCE.....</b>	<b>33</b>
3.22.1   PROGRAMACIÓN .....	34
3.22.2   COMPUERTA LÓGICA AND .....	37
3.22.3   COMPUERTA LÓGICA OR .....	37
<b>3.23 CONEXIONES FÍSICAS .....</b>	<b>38</b>
<b>3.24 MATERIALES DE RUTA DE CONEXIÓN DEL TACHO .....</b>	<b>41</b>
<b>IV.   METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1   HIPÓTESIS.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2   VARIABLES .....</b>	<b>44</b>
4.2.1    VARIABLES DEPENDIENTES.....	44
4.2.2    VARIABLES INDEPENDIENTES .....	44
<b>4.3   MÉTODO Y ENFOQUE.....</b>	<b>44</b>
4.3.1    ENFOQUE CUANTITATIVO .....	45
<b>4.4   FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.4.1    FUENTES PRIMARIAS .....	46

4.4.2	FUENTES SECUNDARIAS .....	46
<b>4.5</b>	<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>46</b>
<b>4.6</b>	<b>CRONOGRAMA .....</b>	<b>47</b>
<b>V.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>ANÁLISIS .....</b>	<b>48</b>
5.1.1	DIMENSIONES .....	48
5.1.2	ECUACIONES .....	49
5.1.2.1	Semillamiento.....	49
5.1.2.2	Flujo de vapor.....	50
5.1.2.3	Eficiencia de cocimiento.....	50
5.1.2.4	Comparación manómetro - transmisor .....	50
5.1.3	COTIZACIONES .....	51
<b>5.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
5.2.1	DESARROLLO DEL SISTEMA.....	52
5.2.1.1	Pantalla principal del proceso .....	52
5.2.1.2	Pantalla de visualización del sistema de cocción .....	53
5.2.1.3	Parámetros.....	56
5.2.1.4	Lazo de control PID .....	56
5.2.1.5	Elenco .....	59
5.3	PARTE FÍSICA.....	60
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>A LA EMPRESA .....</b>	<b>63</b>
<b>7.2</b>	<b>A LA UNIVERSIDAD.....</b>	<b>63</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1 .Organigrama.....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 2.Proceso Productivo .....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 3. Moléculas de sacarosa.....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 4. Esquema funcional de un tacho cristalizador.....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 5. Sistema del tacho .....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 6. Arquitectura de un PLC.....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 7. Ciclo de un PLC.....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 8. Símbolos eléctricos e instrucción al PLC.....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 9. Red profibus .....</b>	<b>19</b>
<b>Ilustración 10. Diagrama de bloques de un PID .....</b>	<b>20</b>
<b>Ilustración 11. Salida de control de un PID .....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 12. Sistema control de nivel .....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 13. Implementación de sistema de control nivel del tanque .....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 14.Transmisor de nivel.....</b>	<b>23</b>
<b>Ilustración 15. Grafica sistema de control 4 a 20 mA .....</b>	<b>24</b>
<b>Ilustración 16.Grafica de control.....</b>	<b>25</b>
<b>Ilustración 17.Actuador de válvula.....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 18.Actuador neumático .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 19.Actuador y posicionador .....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 20. Funcionamiento de solenoide.....</b>	<b>28</b>
<b>Ilustración 21. Rasgos de la bomba de vacío.....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 22. Diagrama eléctrico, arranque motor agitador y bomba de vacío .....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 23. Diagrama de conexión de luces Piloto.....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 24. Ejemplo de interface FreeLance.....</b>	<b>33</b>
<b>Ilustración 25. Compuertas Lógicas .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 26. Grafica Lógica de programación .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 27. Representación de un circuito AND .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 28. Circuito equivalente Compuerta Lógica AND .....</b>	<b>37</b>

<b>Ilustración 29. Representación compuerta OR</b> .....	38
<b>Ilustración 30. Circuito de compuerta lógica OR</b> .....	38
<b>Ilustración 31. Conexión esclavo 39</b> .....	39
<b>Ilustración 32. Conexión a preformados</b> .....	41
<b>Ilustración 33. Estructura del tachó</b> .....	42
<b>Ilustración 34. Definición de ruta</b> .....	42
<b>Ilustración 35. Dimensiones del sistema de cocción</b> .....	48
<b>Ilustración 36. Menú Tachos</b> .....	52
<b>Ilustración 37. Pantalla de monitoreo del sistema</b> .....	53
<b>Ilustración 38. Parámetros del sistema</b> .....	56
<b>Ilustración 39. Lazo de control de Vacío</b> .....	57
<b>Ilustración 40. Lazo de control de nivel</b> .....	57
<b>Ilustración 41. Lazo de control de presión</b> .....	58
<b>Ilustración 42. Lazo de control de densidad</b> .....	58
<b>Ilustración 43. Elenco</b> .....	59
<b>Ilustración 44. Estructura</b> .....	60
<b>Ilustración 45. Panel de control eléctrico</b> .....	66
<b>Ilustración 46. Panel de control eléctrico por fuera</b> .....	66
<b>Ilustración 47. Hydrotrac, sensor de medición de brix</b> .....	67
<b>Ilustración 48 .Actuador Bray</b> .....	67
<b>Ilustración 49. Manómetros y Termómetros</b> .....	68
<b>Ilustración 50. Actuador y posicionador electro neumático</b> .....	68
<b>Ilustración 51. Alimentadores de Miele</b> .....	69

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1. Controlador combinado</b> .....	20
<b>Ecuación 2. Función de transferencia PID</b> .....	21
<b>Ecuación 3. Presión absoluta</b> .....	29
<b>Ecuación 4. Punto pendiente</b> .....	32
<b>Ecuación 5. Coeficiente de saturación</b> .....	49
<b>Ecuación 6. flujo de vapor</b> .....	50
<b>Ecuación 7. Eficiencia de cocimiento</b> .....	50
<b>Ecuación 8. Conversión InHg- mBar</b> .....	50

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Comparación presiones</b> .....	29
<b>Tabla 2. Presiones de operación</b> .....	29
<b>Tabla 3. Historia de las bombas de vacío</b> .....	30
<b>Tabla 4. Datos técnicos</b> .....	33
<b>Tabla 5. Conexión preformado 1</b> .....	39
<b>Tabla 6. Conexión preformado 2</b> .....	40
<b>Tabla 7. Conexión preformado 3</b> .....	40
<b>Tabla 8. Rangos de coeficientes de saturación</b> .....	49

## **I. INTRODUCCIÓN**

Desde el principio de la industrialización se han buscado maneras para realizar los trabajos de forma más ágil y eficiente, logrando de este modo que resulten más fáciles para el operador. Gracias a la revolución tecnológica se ha logrado automatizar muchos procesos industriales. En la Industria Azucarera a nivel mundial existen diversos procesos para hacer azúcar que se pueden automatizar y donde la inversión monetaria se puede recuperar de forma más rápida.

Uno de esos procesos es la cristalización del azúcar, identificando donde se necesita un control total del proceso, para obtener un producto de mejor calidad y un proceso más rápido para abarcar las exigencias de producción. La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto. El material resultante que contiene líquido y cristales se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos para lograr la mayor concentración de sacarosa.

El siguiente trabajo explica como realizo la automatización del tacho #3 que contiene masa B del ingenio santa Matilde, para el monitoreo y control de calidad de todo el proceso de la cristalización del azúcar. El proyecto está compuesto por dos motores (para vacío y movimiento del circulador). El sistema cuenta con cuatro válvulas on/off que suministran las sustancias, seis sensores de los cuales uno de los más importantes es el hydrotrac dado que es el medidor de Brix, este parámetro es de suma importancia en el proceso de la caña de azúcar. "los jugos de caña con diferentes grados presentan aumentos de aminoácidos que causan serios problemas en la clarificación" (Larrahondo et al, 1989) ya que de este valor dependerá la pureza del jugo de la caña y por consiguiente contribuirá a un mayor rendimiento de la caña y una azúcar de calidad. Todo proceso es monitoreado desde la computadora principal en la oficina de instrumentación del ingenio santa Matilde por medio del programa freelance, teniendo control total del proceso.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

El ingenio Santa Matilde, pertenece al grupo CAHSA, es una empresa dedicada a la industria azucarera, en la cual se realizan varios procesos para producir el grano de azúcar, en busca de mejorar la calidad y la eficiencia el ingenio se vio en la necesidad de automatizar gran parte del proceso y debido a las altas exigencias de producción nace la necesidad de un nuevo proyecto para realizar la cocción de masa de una forma más rápida.

El ingenio Santa Matilde cuenta con diez sistemas de cocción de masa llamados tachos, los cuales cuentan con diferentes volúmenes, el nuevo sistema cuenta con una capacidad de 2,300 pies cúbicos, los tachos están divididos en tres procesos diferentes siendo utilizados tres para azúcar refinada, uno para azúcar morena y seis para azúcar común, los cuales son alimentados con diferentes sustancias y masas, dichos tachos están ubicados en la última planta de la fábrica.

Los tachos son recipientes de un solo efecto, con un circulador que mantiene la masa en un movimiento constante y son los encargados de la cocción de las mieles provenientes de las centrifugas para obtener el grano de azúcar, cabe mencionar que la concentración al inicio del producto suele ser de 65 a 92 °Brix para azúcar común y puede llegar a 74 °Brix en el proceso de refinería, al tacho se le ingresa el tipo de masa dependiendo del nivel del proceso.

Así mismo el nuevo proyecto ayudará al ingenio a obtener mayor tonelaje de azúcar en el menor tiempo posible manteniendo una alta calidad y eficiencia en el proceso, resolviendo de esta forma las altas exigencias del mercado.

## 2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para poder obtener el grano de azúcar, la caña pasa por diferentes procesos tales como: batey, molinos, evaporadores, clarificadores, cocción, entre otros. Siendo el sistema de cocción uno de los más importantes, dado que es donde se lleva a cabo la cristalización del producto.

Como proyecto anterior la empresa tomo la decisión de aumentar la capacidad de la mesa donde la caña empieza su proceso, de esta forma producir más azúcar en el menor tiempo posible, dado que la empresa tiene como meta pasar de 5 meses a 3 meses de producción.

Debido al aumento de tonelaje de caña de 13,500 a 15,000 toneladas diarias la empresa noto que el equipo con que contaba no era suficiente para satisfacer el incremento de molienda, debido a que entre más molienda la generación de miel era mayor.

Por esa razón la implementación de un nuevo sistema de cocción era de suma importancia, para lograr de este modo cumplir con las demandas, también era de total importancia que el proceso estuviera completamente automatizado para así poder lograr un trabajo con una mejor eficiencia en un tiempo más reducido.

## 2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Luego de los primeros días en el ingenio santa Matilde y teniendo en cuenta consideraciones las automatizaciones anteriores de los otros sistemas de cocción y conociendo las necesidades de la empresa, surgen las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles beneficios se podrían obtener en la calidad de la azúcar al implementar esta automatización?
2. ¿Cómo se podrá implementar la adaptación del sistema al actual proceso?
3. ¿Cuáles se redirigirá la programación del sistema?

## 2.4 OBJETIVOS

Para poder redactar los objetivos es importante tener claro cuál es la finalidad del proyecto, esto es de suma importancia porque nos llevan por el camino correcto para alcanzar el éxito del mismo.

"El objetivo principal de la investigación causal es obtener evidencias respecto a las relaciones de causa y efecto, deben considerarse las metas de la organización y de quienes toman las decisiones" (Malhotra, 1996/1997, p. 97)

Teniendo en cuenta lo anterior podemos obtener nuestros objetivos, teniendo en cuenta cual es la finalidad del proyecto.

### 2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la automatización completa a un sistema de cocción nuevo, incluyendo un condensador barométrico para poder controlar de forma eficiente el proceso de cristalización.

### 2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir lazos de control para válvulas de agua, vapor, vacío y brix.
- Generar un sistema automático para el arranque y paro de motor de bomba de vacío.
- Automatizar arranque y la medición de corriente del circulador del sistema de cocción.

## 2.5 JUSTIFICACIÓN

La razón por la cual se realiza este proyecto es para disminuir el tiempo que lleva el proceso de cocimiento en el tacho, debido al alta demanda de producción, con la automatización de dichos sistemas se logra realizar más cocimientos durante las 24 horas del día, en modo manual el proceso se tarda alrededor de 3.5 horas y de manera automática se reduce a 2 horas obteniendo así una reducción de tiempo considerable.

Viendo la utilidad y la mejora en calidad que se ha obtenido con los demás procesos automatizados, el ingenio Santa Matilde tomo la decisión de crear y automatizar otro sistema de cocción, creando un nuevo lazo de control con entradas y salidas que ayuden en el mejoramiento de la creación del gano de azúcar.

Tomando en cuenta que había más sistemas para el primer nivel, se opta por crear otro sistema para la templa de segunda, logrando mayor capacidad al momento de que se generen las descargas del primer nivel.

Logrando también aparte de tener un proceso eficiente que garantiza la calidad del azúcar medido en color y en granulometría, obtendrán lo que ellos desean, tener más toneladas de azúcar en menor tiempo.



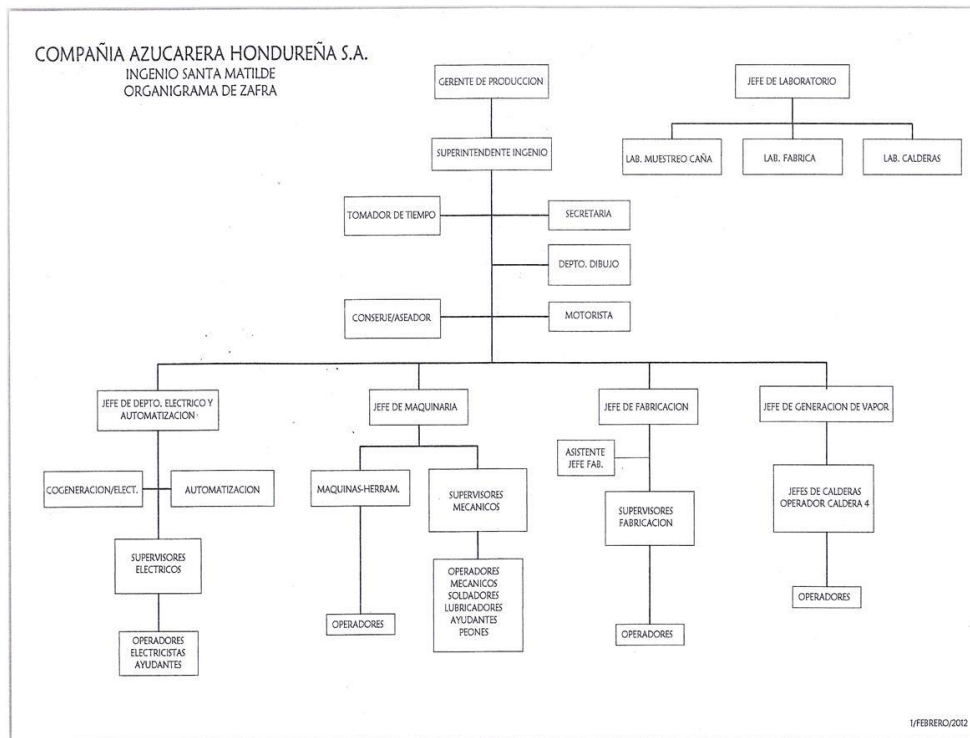
### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

El 20 de octubre de 1938, un grupo de empresarios sampedranos encabezados por Don Roberto Fasquelle Orellana e integrado por hombres visionarios y dinámicos decidieron fundar una empresa que se dedicara al cultivo de la caña y la fabricación de azúcar; de esta manera nació (CAHSA), en las cercanías de San Pedro Sula. Firman el acta de constitución de la sociedad 30 personas que aparecían como accionistas fundadores (ilustración 1).

El ingenio santa Matilde es una empresa dedicada a la fabricación de azúcar de alta calidad tanto importación y exportación, que tiene como propósito reducir su tiempo de producción de cinco meses a tan solo tres, por lo cual comenzaron automatizar su fábrica desde el 2004.

#### 3.2 ORGANIGRAMA



**Ilustración 1 Organigrama**

Fuente: Compañía Azucarera Hondureña, S.A.

### 3.3 PROCESO DEL AZÚCAR

A continuación, se explicará detalladamente el proceso por el que pasa la caña luego de ser cortada para poder obtener el grano de azúcar.

Los camiones cargados de caña que llegan del ingenio son pesados en las básculas, luego pasan a los patios del ingenio para ser descargados a las mesas por las volteadoras. Las básculas también son usadas para pesar el producto terminado (azúcar), la melaza, las materias primas, la caña, materiales (cal, azufre, soda, ácido, etc.)

Las mesas consisten de depósitos angulados entre 28° con cadenas rastreadoras para levantar la caña y luego hacerla caer por gravedad al conductor. Además, las mesas tienen un nivelador, troceadora de caña y tuberías de agua a presión para el lavado efectivo. Las mesas descargan la caña lavada por gravedad al conductor, en el cual se nivela el colchón pasando luego por un juego de cuchillas oscilantes y una desfibradora, esto se hace para obtener una mayor extracción de azúcar en los molinos. El proceso cuenta con cinco molinos para de esta forma obtener el mayor jugo posible, La caña desfibrada entra al primer molino, en los molinos se utiliza el agua de imbibición que consiste en el lavado de la caña que pasa por ellos con el objetivo de obtener una mejor extracción de azúcar.

El bagazo obtenido de la molienda pasa por un separador de bagacillo y por medio de conductores de bagazo es transferido a las calderas donde es usado como combustible para la generación del vapor que necesita el ingenio y cogeneración de energía eléctrica para la venta.

El jugo proveniente de los molinos (jugo diluido) es bombeado a través de la torre de sulfatación donde se mezcla con  $\text{SO}_2$  (g) dióxido de

Azufre en contra corriente con el objetivo de eliminar las sustancias que colorean el azúcar. Una vez mezclado el jugo con el  $\text{SO}_2$  (g) sigue su trayectoria por gravedad hasta la báscula de jugo donde se pesa. Luego el jugo se bombea a la primera etapa de calentamiento para elevar la temperatura del mismo, posteriormente este jugo caliente pasa al tanque de encalado en donde se mezcla con una lechada de cal preparada previamente para poder

neutralizar la acidez del jugo y separar las partículas de impurezas (ceras, tierra, albúmina, etc.) El jugo encalado se bombea por la segunda etapa de calentamiento a fin de elevar la temperatura del jugo alcalizado de 180° F a 220° F. El jugo luego pasa a los 3 clarificadores donde las partículas, impurezas, albúminas, ceras, tierra y material en suspensión reaccionan con el floculante, precipitando hacia el lado inferior de las bandejas de los clarificadores los lodos, quedando en la parte superior el jugo claro.

Los lodos son bombeados al tanque de cachaza donde es mezclado el lodillo con el bagacillo extraído del conductor de bagazo y una dosificación mínima de floculante para formar la Cachaza, luego ésta es bombeada a los coaguladores de los filtros de cachaza pasando luego al filtro mismo donde se trata de separar la mayor cantidad de azúcar de la misma. El jugo que se extrae de los filtros de cachaza pasa por un clarificador donde el jugo filtrado "claro" retorna al tanque de la báscula de jugo y los lodos al tanque de cachaza. La cachaza que sale del filtro se deposita en las tolvas de cachaza para luego ser transportada a los campos de caña.

El jugo clarificado, luego de ser filtrado, pasa al tanque de jugo claro y de ahí es bombeado al calentador de jugo clarificado para elevar la temperatura de dicho jugo a 230° F previa su entrada a los evaporadores.

La función de los evaporadores es extraer el agua del jugo clarificado llevándola a la temperatura de ebullición y reduciendo hasta en un 80% el contenido de agua y así aumentar la concentración de azúcar en la meladura que sale de los evaporadores.

La cristalización se lleva a cabo en recipientes al vacío de simple efecto conocidos como tachos de calandria. La mezcla de cristales y meladura que se ha concentrado en forma de una masa densa es llamada "Masa Cocida de Primera" o "Templa". Cuando el contenido del tacho ha alcanzado su nivel y el tamaño de grano del cristal de azúcar tiene el tamaño de azúcar comercial (0.6-0.7) mm (ver ilustración 3). Se abre la válvula de descarga que conectada por un tubo deja pasar la masa cocida a los cristalizadores.

Después de media hora de reposo en los cristalizadores se descarga al mezclador, este tiempo de retención es para agotar la sacarosa de la miel de la masa cocida, del mezclador

se reparte a las centrifugas las cuales separan el azúcar comercial (húmeda) y la miel de primera.

Al igual que la masa cocida de primera (A), también se producen masa cocida de segunda (B) y de tercera (C) y de ellas se obtienen las mieles de primera, segunda y tercera y el azúcar de primera, segunda y tercera. Los materiales producidos se siguen reprocessando hasta que se agotan las mieles obteniéndose dos productos finales: al azúcar de primera o comercial y la miel de tercera o melaza.

La miel de tercera comúnmente llamada melaza es bombeada a los depósitos de melaza para su almacenamiento y su despacho para la venta. No se recicla esta melaza a los tachos para seguir cristalizando con ella porque es un reproceso antieconómico para efectos de costos.

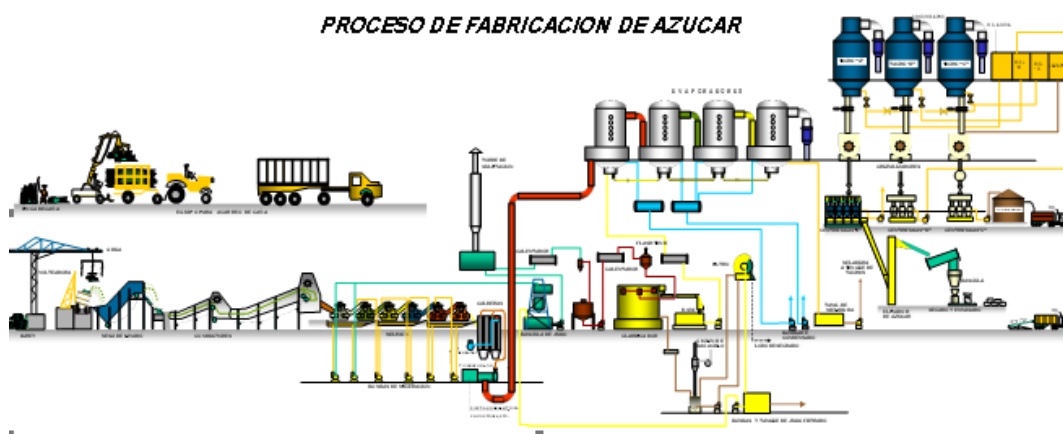
Con miel "A" se cristaliza para "B" y con miel "B" se cristaliza para "C" la miel "C" (melaza) se vende y los excesos centrifugados de masa cocidas "B" y "C" se disuelven formando magmas "B" y "C" y se funden en los tachos.

El azúcar húmedo proveniente de la centrifuga "A" pasa por un elevador de cangilones y luego por la banda transportadora pasa a las tolvas de azúcar húmeda, de estas tolvas por medio de tres gusanos se lleva el azúcar a un elevador de cangilones del cual el azúcar cae a la tolva de la secadora. Mediante un ventilador se succiona aire que pasa a través de la secadora, donde opuestamente entra el azúcar.

El aire previamente pasa por unos radiadores de vapor a 150 Psi y unos filtros de aire calentándolo a 280° F, la temperatura del aire está controlada automáticamente al hacer contacto con el aire el azúcar se seca y cae al enfriador.

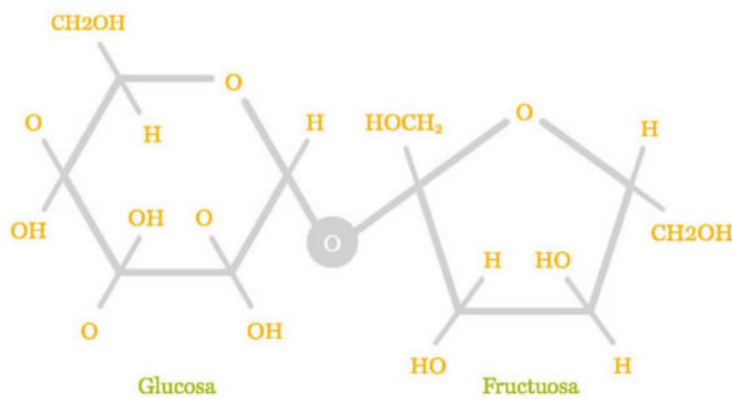
El enfriador tiene las mismas características mecánicas que la secadora con la diferencia que succiona aire fresco a través del azúcar para que esta se enfríe, la Vitamina "A" se le dosifica automáticamente al azúcar a la entrada del enfriador. Una vez seca y fría cae a un transportador que la lleva a las tolvas de azúcar seca.

Finalmente el azúcar cae a las tolvas de envase y luego a las envasadoras automáticas donde es pesada y descargada en sacos de 110 libras mediante conductores de banda, cada saco pasa a las máquinas de coser y luego se transportan a la bodega de azúcar donde son almacenados, para su posterior comercialización, para efectos de visualización ver ilustración 2.



**Ilustración 2. Proceso Productivo**

Fuente: Ing. Lesly Dominguez (CAHSA).



**Ilustración 3. Moléculas de sacarosa**

Fuente: el libro de la azúcar

### 3.4 INCORPORACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO

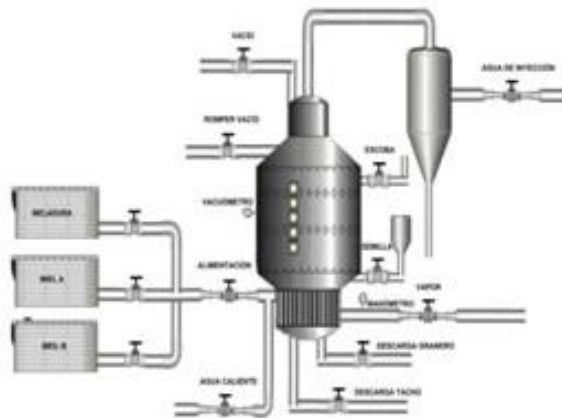
En vista de que se aumentó el tamaño de las mesas se obtuvo un aumento en la molienda de 13,000 a 15,000 toneladas de caña diaria, obteniendo mayor cantidad de miel, se crea un nuevo problema, los sistemas de cocción no son suficientes para las altas exigencias de miel y la producción diaria.

Por lo tanto, la empresa se vio en la necesidad de crear este nuevo proyecto luego de varias reuniones y opiniones sobre el tema, se decidió por crear un sistema de cocción nuevo e incorporarlo al proceso lo rápido posible, todos los sistemas están automatizados para poder obtener un proceso de mejor calidad

### 3.5 DESCRIPCIÓN DEL TACHO

Los tachos son recipientes al vacío de un solo efecto que se utilizan en la industria azucarera para la cocción de meladura, este proceso es llamado cristalización (ver ilustración 4). La cristalización es un proceso demorado que industrialmente se aumenta introduciendo al tacho unos granos de polvillo de azúcar finamente molido.

En general predominan dos tipos de tachos: Serpentin y calandria. La diferencia entre ellos es la forma en la que suministran el vapor, uno trabaja con vapor directo y el otro con vapor de escape a baja presión.



**Ilustración 4 Esquema funcional de un tacho cristizador**

Fuente: articulo automatización de tacho cristizador

Las operaciones en los tachos tienen como finalidad:

- Concentrar la meladura que se les alimentan hasta un nivel de sobresaturación tal que permita un rápido crecimiento de los granos.
- Agotar progresivamente los materiales mediante una operación por etapas.
- Lograr como producto final un azúcar granulado de tamaño tal que cumpla los requisitos normados.

Los controles fundamentales durante la operación del cocimiento son:

- El control de la concentración de la templa.
- El control de la presión de vapor en la calandria del tacho.
- El control del vacío mediante la inyección de agua al condensador.
- Medición e indicación continua del nivel de la masa en el tacho.

### 3.6 FUNCIONAMIENTO DE UN TACHO

La meladura proveniente de la evaporación a 62° Brix se deposita en los tachos de primera (Tacho de A) y sigue concentrando en estos equipos hasta quedar saturada de azúcar, al llegar a cierto grado de sobresaturación se introduce o se hace el semillamiento por choque de semilla, la cual es preparada en el laboratorio como una solución de azúcar en alcohol etílico formando una pasta que sirve de núcleo, para ser alimentado con la sacarosa de la meladura de manera que se forme el grano de azúcar, el cual sigue creciendo a medida que se evapora el agua.

Con la destreza del operador (tachero) los cristales formados originalmente crecen sin que se lleguen a formar cristales adicionales, y se continúa hasta quedar lleno el tacho que ha alcanzado un nivel o volumen previamente determinado.

### 3.7 PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN DEL GRANO DE AZÚCAR.

Cabe recalcar que este no es procedimiento continuo, como inicio del proceso se crea un vacío de 160 mbar, se carga miel dentro del tacho, al tener un 15% del nivel se enciende el

circulador que mantiene con movimiento constante la miel, al llegar a un 30% del nivel comienza la etapa de concentración donde la miel alcanza de 78 a 80 grados brix.

Luego entra la etapa de semillamiento el cual es donde se inyecta una semilla preparada por los expertos del laboratorio de dicho ingenio, a continuación, tenemos dos etapas de cocción, la primera denominada rampa de Brix la cual no da un aumento tanto en nivel como en densidad pasando de 30% de nivel del tanque a un 73% y el brix de 78.5 a 89.5.

La segunda etapa es denominada cierre de miel, no se le ingresa más miel al sistema solo vapor para aumentar el nivel de la densidad de 89.5 grados brix hasta 91.10 grados brix.

Como último tenemos la etapa de descarga la cual se deposita la azúcar en los cristalizadores en donde se separa el grano del exceso de miel que se convierte en masa A la cual pasa a los tachos de segunda (tachos de B) y pasa por el mismo proceso a diferencia de que en este se crea Magma B y miel B de los cuales la magma va de nuevo hacia los tachos de primera ya que aún tiene una buena cantidad de azúcar de la cual se le puede sacar provecho y la miel B va a un tacho llamado VKT el cual es el mismo proceso con la diferencia que es un proceso continuo, creando masa C que vuelve a los tachos de B y melaza la cual es vendida a muchas personas para usos domésticos.

La cristalización es uno de los procesos más importantes en la fabricación de azúcar, en esta etapa se requiere una excelente preparación y habilidad de los trabajadores por que este proceso requiere uniformidad, repetitividad y los tiempos de cocción son variables dependiendo de la calidad del azúcar y es complicado obtener los mismos resultados en cada etapa , siendo esta la razón principal por la cual es de suma importancia tener un sistema altamente automatizado, con la automatización se obtiene una mejor calidad y granometría del grano.

El objetivo básico de la automatización de este sistema es producir todos los granos de una manera más uniforme para la azúcar comercial, por eso el equipo y los materiales que intervienen en los procesos son indispensables.

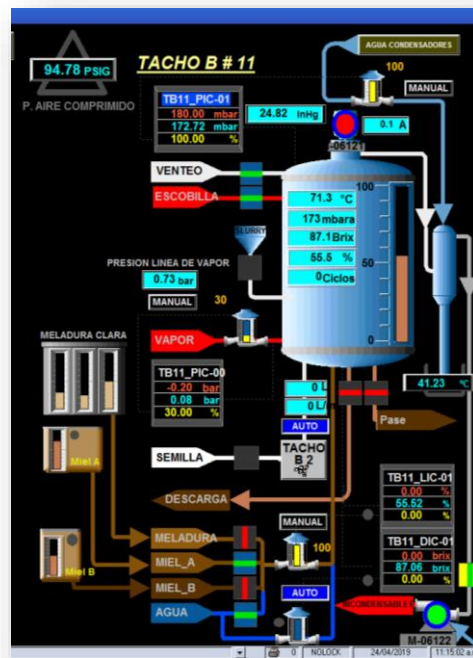


### 3.7.1 BRIX

Los grados brix son una unidad de medida de la cantidad de materia seca que es soluble en agua, generalmente se refiere a azúcares, medida por un sensor llamado Hydrotrac.

Grados brix es una fracción de peso de solidos solubles en una solución. Si la solución está compuesta solo por agua y azúcar el Brix = % en masa de azúcar en la solución de agua.

### 3.8 EQUIPO DEL TACHO



**Ilustración 5. Sistema del tachó**

Fuente: Propia

Un sistema de cocción cuenta con 11 válvulas entre ellas válvulas on/off y otras que son controladas por un circuito de 4 a 20 mA, cuenta con diferentes sensores, entre ellos hydrotracs, sensores de nivel, presión y flujo, aparte de tener dos manómetros para el control del proceso, teniendo cada una de las válvulas su actuador correspondiente y sus posicionadores electro neumáticos (ver ilustración 5).

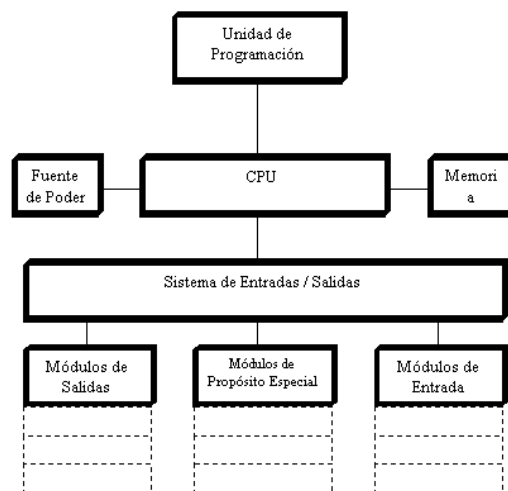
Teniendo automatizado todos los elementos se logra mantener un proceso más limpio y con más seguridad de que se lograra mantener una mejor consistencia y una densidad estable sobre la materia que se crea dentro del tacho.

### 3.9 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

La empresa cuenta con cuatro PLC marca ABB (*Asea Brown Boveri*, Se utiliza el sistema ABB por que ofrecen un alto rendimiento y flexibilidad al momento de ser implementados y son muy efectivos en esta industria, el ingenio tiene diferentes esclavos donde van las diferentes conexiones hacia los equipos automatizados. El tacho nuevo lleva sus conexiones a los esclavos 24 y 26 que son controlados por el PLC maestro número 1.

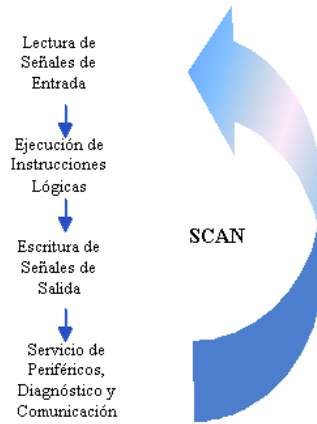
Un PLC es una computadora industrial con una arquitectura utilizada en procesos de automatización, es el cerebro que activa componentes de maquinarias para que ejecuten tareas que pueden ser peligrosas para el ser humano, muy lentas o imperfectas (ver ilustración 6,7 y 8).

Juan Luis (2016) Afirma: "Podemos definir un PLC como un equipo electrónico, programado por el usuario en lenguaje no informático y que está destinado a gobernar dentro de un entorno industrial, maquinas o procesos lógicos y/o secuenciales." (pg.15)



**Ilustración 6. Arquitectura de un PLC**

Fuente: ArquitecturaPLC



**Ilustración 7. Ciclo de un PLC**

Fuente: ArquitecturaPLC

	Símbolo en esquema eléctrico	Instrucción de lenguaje ladder en el PLC	Descripción de la función
Contacto normalmente abierto (NA)			Si circula corriente por el contacto, el resultado de la instrucción es verdadero 1
Contacto normalmente cerrado (NC)			Si <b>no</b> circula corriente por el contacto, el resultado de la instrucción es verdadero 1
Bobina			La bobina se activa si se la alimenta con un valor verdadero
Contactos en serie (condición 1)			Combinación Y. Para que circule corriente deberán estar cerrados el primer Y el segundo interruptor
Contactos en paralelo (condición 0)			Combinación O. Para que circule corriente deberán estar cerrados el primer O el segundo interruptor

**Ilustración 8. Símbolos eléctricos e instrucción al PLC**

Fuente: Automatización y control industrial

### 3.10 SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA es un sistema de supervisión, control y adquisición de datos que ayuda a mejorar la toma de decisiones en remoto desde una cabina de mando en la Industria 4.0.

Su aparición ha supuesto un avance muy importante dentro de la automatización industrial, ya que permite a los ingenieros de cualquier empresa llevar un control exhaustivo de todos los dispositivos en tiempo real y, además, crear alarmas y advertencias para corregir posibles desviaciones.

La automatización industrial es uno de los aspectos más importantes de la digitalización de los procesos productivos, principalmente en la gran Industria. Gracias a los sistemas y soluciones de automatización, las compañías pueden gobernar toda su actividad y gestionar la evolución de todos los procesos sin la intervención continua de un ingeniero.

El control directo se realiza gracias a los autómatas programables, robots, reguladores analógicos, PCs industriales, etc., que reciben consignas a través del operario mediante los sistemas SCADA y de los parámetros de la planta a controlar, a través de sensores. (Pardo Alonso, 2012, p. 160)

### 3.10.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA presenta una serie de particularidades que lo hacen muy valioso dentro del sector industrial. Son las siguientes:

Puede adquirir, procesar y almacenar un conjunto enorme de datos para utilizar la información recibida de forma continua y confiable dentro del proceso productivo de la empresa.

Los sistemas SCADA pueden representar gráficamente todo el proceso productivo para controlar de primera mano las diferentes variables y monitorizarlas mediante alarmas.

Gracias a sus características, ofrece la posibilidad de ejecutar acciones de control mediante las que se puede modificar la evolución de todo el proceso industrial.

Permite la ampliación y adaptación de todo el sistema gracias a que cuenta con una arquitectura abierta y flexible, que permite funcionar en base a las necesidades de cada cliente.

Ofrece una conectividad total con otro tipo de aplicaciones industriales y bases de datos, ya sean de origen local o estén distribuidos en redes de comunicación.

La supervisión se puede realizar en remoto, ya que mediante un sistema de pantallas los ingenieros encargados del mantenimiento y control de una serie de dispositivos, pueden llevar a cabo la monitorización sin problemas.

La causa del punto anterior es la capacidad del sistema SCADA para representar gráficamente en una interfaz sencilla todos los datos que recibe en tiempo real.

Permite la explotación de los datos recabados en el día a día para mejorar la gestión de la calidad, el control estadístico y la gestión de la producción.

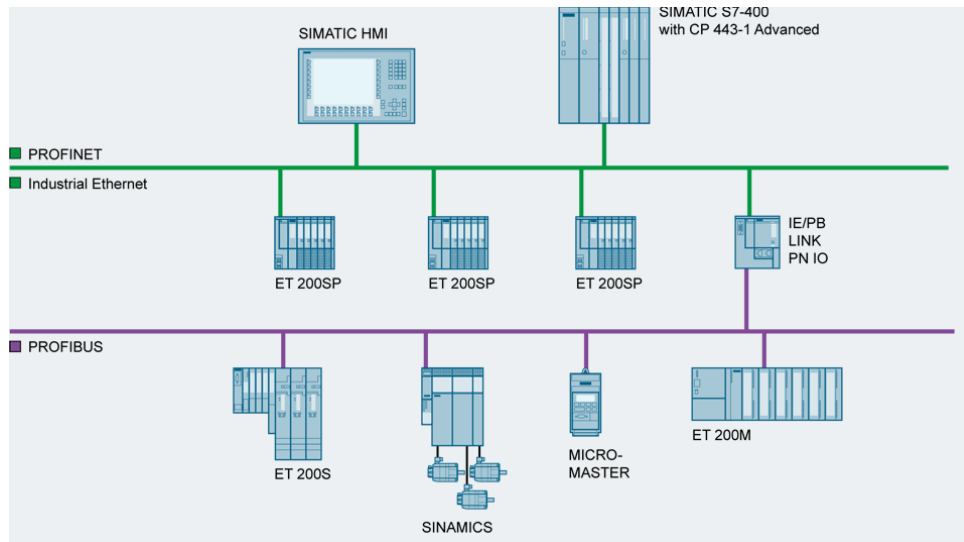
### 3.11 RED PROFIBUS

La red profibus es un estándar de red de campo abierto e independiente de proveedores, donde la interfaz de ellos permite amplia aplicación de procesos, fabricación y automatización predial (ver ilustración 9).

La red profibus es utilizada en el 90% de las industrias que cuentan con conexiones a esclavos debido a que esta red es accesible en los sistemas de control con acceso a dispositivos distribuidos de entradas y salidas utilizados en sistemas convencionales de 4 a 20 mA

Profibus se divide en 3:

- 1) Profibus DP
- 2) Profibus PA
- 3) Profibus FMS



**Ilustración 9. Red profibus**

Fuente: Comunicación industrial (Siemens)

### 3.12 PROFIBUS DP

Implementado en el ingenio.

Es una solución de alta velocidad, con un desarrollo perfeccionado principalmente para comunicación entre los sistemas de automatización y los equipos descentralizados. Es aplicable en los sistemas de control, donde se destaca el acceso a los dispositivos distribuidos I/O. Este es utilizado en sustitución con temas convencionales 4 a 20Ma, HART o en transmisores de 24 voltios, el 90% de las aplicaciones relativas a esclavos profibus utilizan este sistema.

### 3.13 SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados.

Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida se genera dependiendo de la entrada; mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación. Un sistema de lazo

cerrado es llamado también sistema de control con realimentación. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos sobre la base de muchos parámetros y reciben el nombre de controladores de automatización programables (PAC).

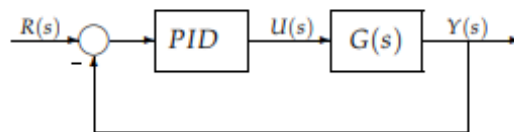
Ricardo Gaviño (2010) Afirma: "Uno de los resultados más importantes de los sistemas retroalimentados es el hecho de llevar a cabo variaciones de ganancia, con lo que se logrará modificar las características de respuesta de los sistemas de control." (pg.12)

### 3.14 SISTEMA PID

El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada.

Este controlador depende de tres variables (ver ilustración 10):

- 1) Sensor: Determina el estado del sistema.
- 2) Controlador: Genera la señal que gobierna el actuador.
- 3) Actuador: Modifica la señal de manera controlada.



**Ilustración 10. Diagrama de bloques de un PID**

Fuente: Controladores PID, Virginia Mazonee

El PID se define como acción de control proporcional, integral, derivativo, combinadas reúnen las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

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

**Ecuación 1 Controlador combinado**

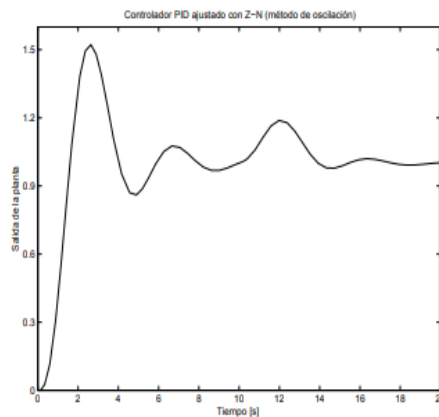
Fuente: controladores PID, virginia Monzee

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

### Ecuación 2 Función de transferencia PID

Virginia Monzee (2002) afirma: "La estructura de un controlador PID es simple, aunque su simpleza es también su debilidad, dado que limita el rango de plantas donde puedan controlar en forma satisfactorias." (pg.1)

El sistema del tacho cuenta con 4 lazos de control PID, que se manejan mediante las salidas (ver ilustración 11) los cuales son: Vacío, nivel, presión y densidad. Con cuatro válvulas de alimentación de miel que son controladas de acuerdo a las perezas de las masas, las cuales se trabajan normalmente con la miel A.



**Ilustración 11 Salida de control de un PID**

Fuente: Controladores PID

### 3.15 TRANSMISORES

El transmisor es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador. Es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio.

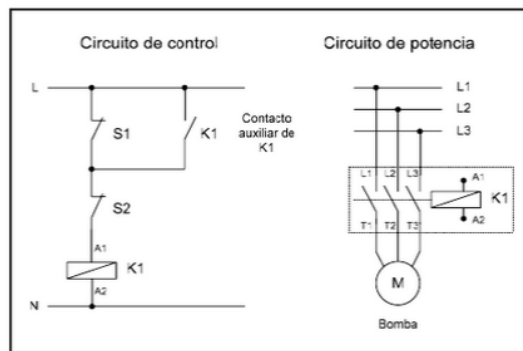
Generalmente utilizan el equilibrio de fuerzas, el desequilibrio da lugar a una variación de posición relativa, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y es así como se complementa un circuito



de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable en proceso. Su precisión es de 0.5 - 1 % en una salida estándar de 4 - 20 mA Se caracterizan por el rango de entrada del sensor.

### 3.15.1 SENSORES DE NIVEL

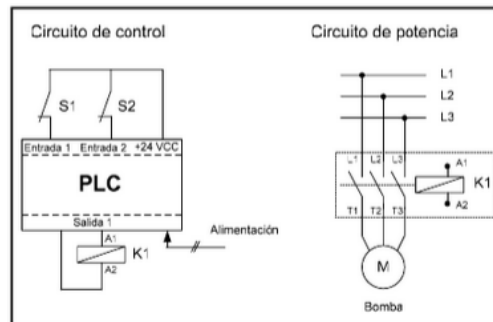
El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material ( ver ilustración 12), generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Integral para el control de procesos en muchas industrias, los Sensor de nivel se dividen en dos tipos principales. Los Sensor de nivel de punto se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo.



**Ilustración 12. Sistema control de nivel**

Fuente: automatización de PLC

Juan Luis (2016) Afirma: "Para utilizar un PLC como controlador del nivel del tanque (ver ilustración 13) será necesario entonces conectar cada detector a una entrada y el contacto KI que comanda la bomba a una salida." (pg.16)



**Ilustración 13 Implementación de sistema de control nivel del tanque**

Fuente: automatización y control industrial

### 3.15.2 TRANSMISOR DE NIVEL

Los transmisores de presión son elementos vitales en las instalaciones de aire comprimido. La mayoría de ellos se pueden encontrar instalados en el interior de compresores, secadores, montados sobre las tuberías de aire comprimido, depósitos acumuladores o filtros de línea y en sistemas de control como los PLC. El valor eléctrico más frecuente en este tipo de equipos es de 4 a 20 mA, usando un cable de dos hilos.

Estos transmisores son utilizados para mandar la señal a los controladores PID del sistema de cocción, los cuatro lazos de control cuentan con un transmisor cada uno.



**Ilustración 14 Transmisor de nivel**

Fuente: Mundo compresor

### 3.15.3 TIPOS:

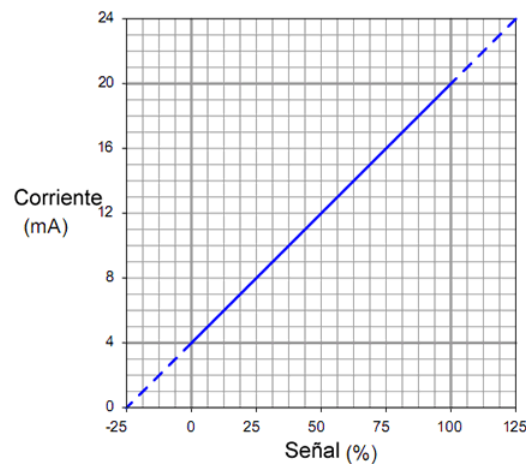
- Transmisores de presión manométrica: Se utilizan para la lectura directa de la presión en una línea de aire comprimido o en algún punto de control de un compresor, secador, etc.
- Transmisores de presión diferencial: Se utilizan para medir la diferencia de presión que existe entre dos puntos. Lo más habitual es verlos instalados en los filtros de línea, filtros separadores de los compresores o en los secadores de adsorción.

### 3.16 CONTROL 4 A 20 MA

Para transmitir señales en instrumentación industrial, se mantiene un estándar de 4 a 20 mA DC, esto significa que la señal de la corriente usada es usada proporcionalmente para representar señales de medida o salidas.

Se dice que cuando una válvula está a 4 mA representa el 0% es decir está completamente cerrada y al obtener un valor de 20 mA representa el 100% lo cual indica que la válvula está completamente abierta. (ver ilustración 15).

Este control es usado para mantener medidas en el rango adecuado, por ejemplo, en el ingenio se utilizan en el tacho para mantener controlada las entradas de agua y vapor, manteniendo de esta forma lo más esencial que es la densidad de las mieles, al igual que los escapes de vapor.



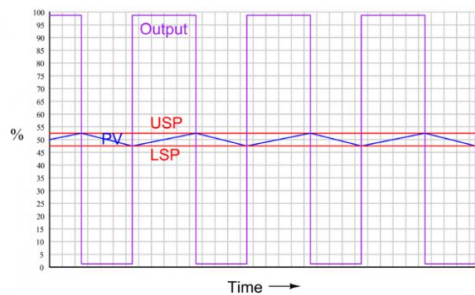
**Ilustración 15 Grafica sistema de control 4 a 20 mA**

Fuente: Instrumentación y control

Gutiérrez (2017) afirma: "La válvula de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varia continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada."(pg.61)

### 3.17 CONTROL DE VÁLVULA ON/OFF

Este tipo de controlador, también es llamado Todo o Nada, usa un algoritmo simple para solamente revisa si la variable de proceso está por encima o por debajo de un setpoint determinado (ver ilustración 16). En términos prácticos, la variable manipulada o la señal de control del controlador cambian entre "totalmente ON" o totalmente OFF, sin estados intermedios. Este tipo de accionamiento provoca un control muy impreciso de la variable de proceso.



**Ilustración 16. Grafica de control**

Fuente: Instrumentación y control (José Carlos)

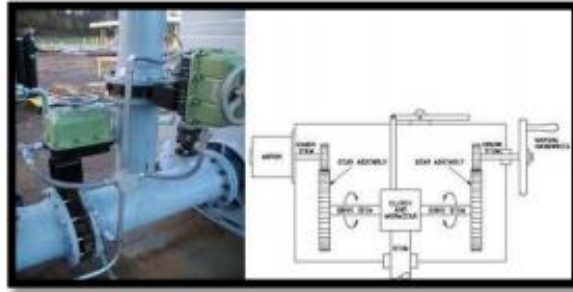
Ruben, Ricardo (2013) Afirma: "Esta lógica es más bien un sistema de lazo cerrado, aunque depende de la lógica de control, puede también ser implementado en un lazo cerrado, pero fuera de contexto de lo enseñado."

### 3.18 ACTUADORES

Son un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control, como por ejemplo una válvula (ver ilustración 17). Son los elementos que influyen directamente en la señal de salida del automatismo, modificando su magnitud según las instrucciones que reciben de la unidad de control.

En el sistema de cocción se utilizan actuadores para válvulas los cuales se clasifican según sus características. Por el tipo de movimiento la salida puede ser:

- Multi-giro el cual gira múltiples veces el eje roscado de la válvula como un tornillo, el cual es desplazado linealmente.
- Los giros parciales, estos hacen girar la válvula generalmente giran 90 grados, también es conocido como actuador de cuatro giros.
- Leva
- Lineal



**Ilustración 17 Actuator de válvula**

Fuente: web mictecnologico.com

### 3.18.1 ACTUADORES NEUMATICOS

Los actuadores neumáticos (ver ilustración 18) funcionan a través de aire o gas presurizado que provocan el movimiento de sus partes mecánicas, son extensamente utilizados por su bajo costo, en caso de fallo, este es más fácil de diagnosticar o reparar en la instalación, a diferencia de los eléctricos.

Están presentes en vuelta de resorte y actuar en doble ángel de 90° y 180°. Este actuator es muy seguro y simple, también rentable y su factor de seguridad es apto 100%



**Ilustración 18 Actuator neumático**

Fuente: Bray.com

“Genéricamente se conoce con el nombre de actuadores a los elementos finales que permiten modificar las variables a controlar en una instalación automatizada. Se trata de elementos que ejercen de interfaces de potencia, convirtiendo magnitudes físicas, normalmente de carácter eléctrico en otro tipo de magnitud que permite actuar sobre el medio o proceso a controlar. Al mismo tiempo aíslan la parte de control del sistema de las cargas que gobiernan el proceso. ”

(Uniovi, tema7, PDF)

### 3.19 POSICIONADORES ELECTRO NEUMÁTICOS

Un posicionador de válvula es básicamente un dispositivo que censa tanto la señal de un instrumento como la posición del vástago de una válvula (ver Ilustración 19). Su función principal es la de asegurar que la posición de este vástago corresponda a la señal de salida del controlador o regulador.

Los posicionadores se pueden dividir neumáticos y electro neumáticos. Con respecto a los primeros, a su vez se subdividen en aquellos accionados por un sistema de balance de movimientos. Consiste básicamente de un fuelle que recibe la señal del controlador, una barra fija al fuelle por un lado y un relé neumático cuya tobera forma un sistema toben-actuador con la barra.



**Ilustración 19 Actuator y posicionador**

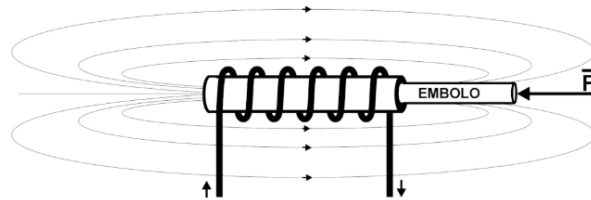
Fuente: bray.com

Los posicionadores electro neumáticos surgieron por el uso cada vez mayor de sistemas de control electrónicos que actúan sobre válvulas de control neumáticas. Básicamente, consisten en una combinación de un conversor de corriente a presión (I/P) y un posicionador. Es un dispositivo de balance de fuerzas y se puede utilizar con acción directa o acción inversa.

### 3.20 SOLENOIDE

Un solenoide es un dispositivo electro neumático usado para aplicar una fuerza mecánica lineal en respuesta al paso de una corriente a través de un embobinado, la cual debe

mantenerse para mantener la fuerza en el embolo (ver ilustración 20). El solenoide está conformado por un embobinado hueco que se encuentra dentro de un contenedor rectangular o cilíndrico, cuyos costados suelen estar abiertos. En uno de los costados suelen estar abiertos. En uno de los costados tiene un orificio en donde el embolo es empujado hacia afuera. Cuando deja de alimentarse de corriente al embobinado, el embolo regresa a su posición original gracias al resorte.



**Ilustración 20. Funcionamiento de solenoide**

Fuente: 33ohms.com

### 3.21 PARTE ELÉCTRICA

La parte eléctrica toma es esencial en este proyecto debido a que sin la bomba de vacío no podría generarse el vacío necesario para mantener la masa, y el agitador nos ayuda a mantener la masa en un movimiento constante, por lo tanto, es de suma importancia para la cristalización de la azúcar.

#### 3.21.1 BOMBAS DE VACÍO

El vacío es la ausencia total de material en los elementos en un determinado espacio o lugar, o la falta de contenido en el interior de un recipiente. Se denomina vacío a la condición de una región donde la densidad de partículas es muy baja.

En la industria azucarera se utiliza para remover los gases incondensables del condensador de un tacho evaporador o filtro rotativo promoviendo el vacío en estos equipos.

La automatización del arranque y paro de motor de esta bomba es de suma importancia debido a que la presión de vacío permite mantener la concentración de la templa por medio de una evaporación estable, dicha automatización nos permite mantener el vacío estable logrando de esta manera una cristalización óptima. (ver ilustración 21)

El vacío puede medirse en unidades que la muestran de forma relativa o absoluta, para comprender mejor es mejor referirse a la presión absoluta que al vacío.

*Presión absoluta = presión manométrica (instrumento) + presión barométrica (atmosfera)*

### **Ecuación 3 Presión absoluta**

Conocer como la presión de vacío absoluta o relativa depende de la naturaleza del instrumento medidor.

**Tabla 1 Comparación presiones**

Equivalencias		
Presión absoluta	Vacío relativo	Presión absoluta
Kpa	InHg	Mbar
101.3	0	1013
30	21.1	300
12	26.4	120
8.0	27.6	80
0	29.92	0

Fuente: Tesis Mamani (2017)

**Tabla 2 Presiones de operación**

Presiones de operación en el proceso de azúcar		
Nombre	Relativa	Absoluta
	InHg	Mbar
Tacho de refinería	166	25
Tacho masa A y B	132	26
Tachos masa C	200	24
Meladoras	150	25.5
Filtros Cachaza	336	20

Fuente: Propia

Laura talavera (1995) afirma: "Durante largo tiempo, las bombas de vacío no fueron llamadas bombas de vacío. Von Güiriche las llamaba jeringas, Boyle, máquinas neumáticas; después el

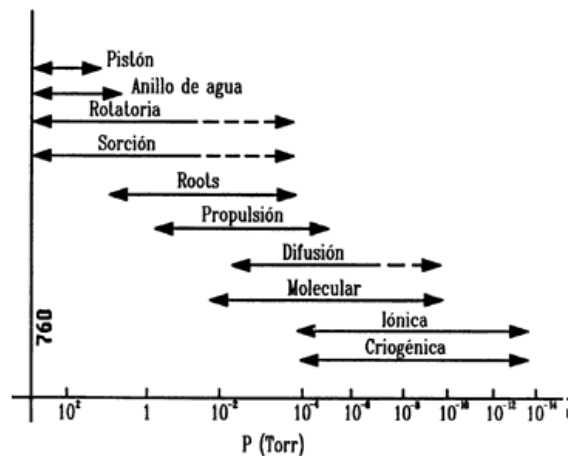


término de bomba de aire fue establecido. El uso de la palabra bomba para este invento, en vez de compresor de aire rarificado, se hizo relacionándolo con el agua.”

Año	Autor	Descubrimiento
Siglo VIII	Hauskbee y Nollet	Mejoras a la bomba dde Von Guericke
1850	Geissler y Toepler	Bomba de columna de Hg
1865	Sprengel	Bomba de gota de Hg
1905	Wolfgang Gaede	Bomba de vacío o rotatoria
1913	Wolfgang Gaede	Bomba molecular de vacío
1915	Wolfgang Gaede	Bomba de difusión
1916	Irving Langmuir	Condensación-difusión
1923	F. Holweck	Bomba molecular
1935	Wolfgang Gaede	Bomba de balastra
1936	Kenneth Hickman	Bomba de difusión de aceite
1953	Schwartz y Herb	Bomba iónica Bomba criogénica

**Tabla 3 Historia de las bombas de vacío**

Fuente: Cultura económica



**Ilustración 21 Rasgos de la bomba de vacío**

Fuente: Cultura económica

### 3.21.2 AGITADOR

Una buena circulación dentro del tacho de la masa cocida ayuda a obtener condiciones uniformes, lo que es vital para lograr buenas condiciones de cristalización.

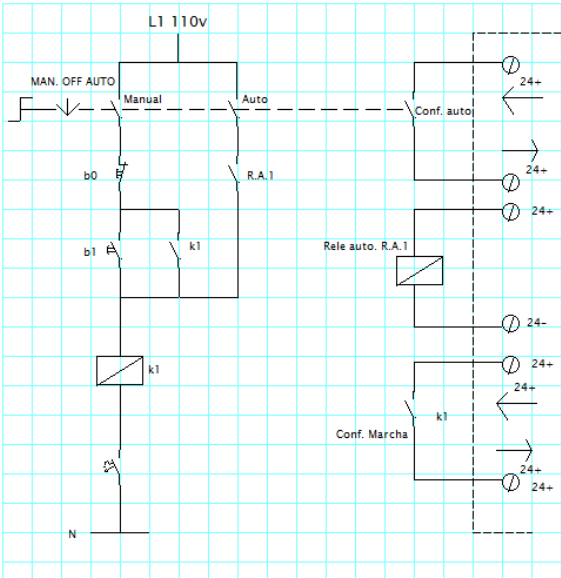
El impulsor o agitador mejora significativamente el desempeño de los tachos, esta circulación forzada mejora la transferencia de calor y reduce la duración de cada ciclo de cocimiento ayudando a mejorar la calidad de azúcar en especial la de alta pureza debido a las condiciones homogéneas que genera dentro del tacho.

Vale aclarar que también se requiere de un buen diseño geométricamente del tacho para elaborar cristalizaciones de alta pureza de calidad, como también un correcto arranque del motor en el momento adecuado, ( Ver Diagrama en ilustración 22)

Una elevada tasa de evaporación caracteriza la primera etapa del cocimiento, en esta etapa los impulsores no tienen mucho efecto. A medida que la altura de la masa cocida se incrementa, aumenta la presión hidrostática, bajando la transferencia de calor el efecto de la circulación forzada es importante en este periodo.

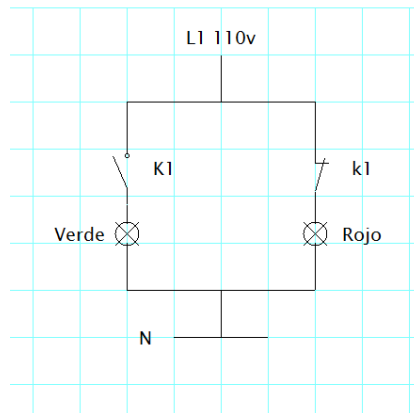
Como se ha mencionado reiteradamente el agitador en el tacho mantiene una masa homogénea, por tanto, un brix igual en cualquier parte del tacho en el momento específico, a medida que va aumentando la potencia sobre el agitador.

Con la automatización de dicho agitador logramos mantener la medición de la corriente que a la vez ayuda a conocer el nivel de densidad de la templa.



**Ilustración 22 Diagrama eléctrico, arranque motor agitador y bomba de vacío**

Fuente: Propia

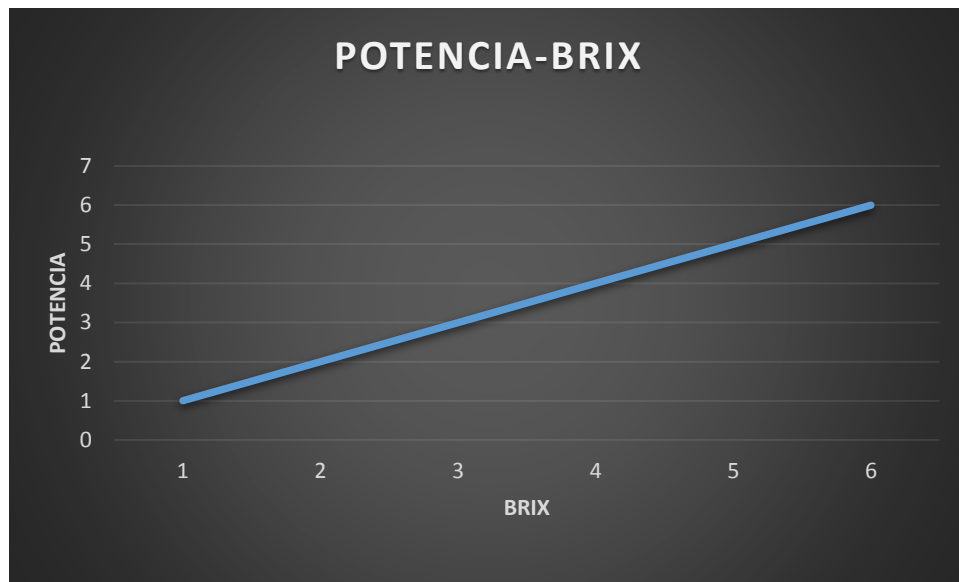


**Ilustración 23 Diagrama de conexión de luces Piloto**

Fuente: Propia

$$Y = mx + b$$

**Ecuación 4 Punto pendiente**



Tipo de arranque: manual/automático

**Tabla 4 Datos técnicos**

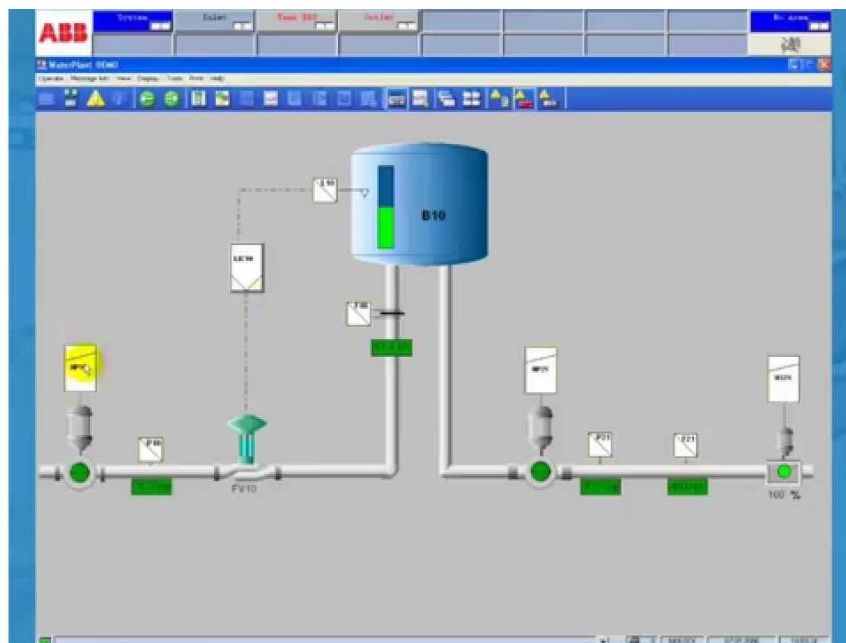
Datos técnicos , motor agitador	125 Hp	Motor bomba de vacío	50 Hp
	480 Vac		480 Vac
	3 fases		3 fases
	1800 rpm		1800 rpm
	60 hz		60 Hz
	156 amps		65 amps

Fuente: Ing. Raudales

### 3.22 PROGRAMA FREELANCE

El sistema de cocción es controlado por medio del programa FreeLancer que es un completo sistema de control distribuido que combina las ventajas de DCS y PLC. (ver ilustración 23)

El entorno integrado simplifica la ingeniería, la puesta en servicio, el mantenimiento y la gestión del bus de campo. La interfaz intuitiva del operador permite una fácil operación y diagnóstico de todo el sistema. FreeLancer está probado desde hace 20 años y es totalmente compatible con versiones anteriores.



**Ilustración 24 Ejemplo de interface Freelance**

Fuente: abb.com

El programa del sistema consiste en las siguientes etapas.

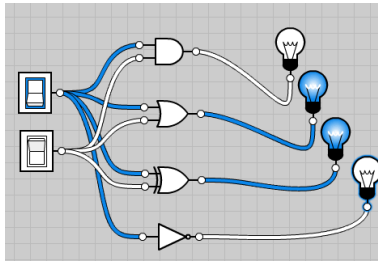
1. Etapa de carga
2. Etapa de concentración
3. Semillamiento
4. Desarrollo
5. Descarga
6. Escobillado

#### 3.22.1 PROGRAMACIÓN

Todas las personas tenemos una manera única y diferente al momento de programar un sistema, dependiendo de las variables y las situaciones que se den en el momento, lo único que todos tenemos las mismas herramientas para programar.

El sistema de cocción está programado de una manera simple y sencilla, utilizando compuertas lógicas, las más utilizadas son AND y OR (ver imagen 24), dado que existen diferentes dependencias de variables unas entre otras, este sistema sigue la siguiente secuencia:

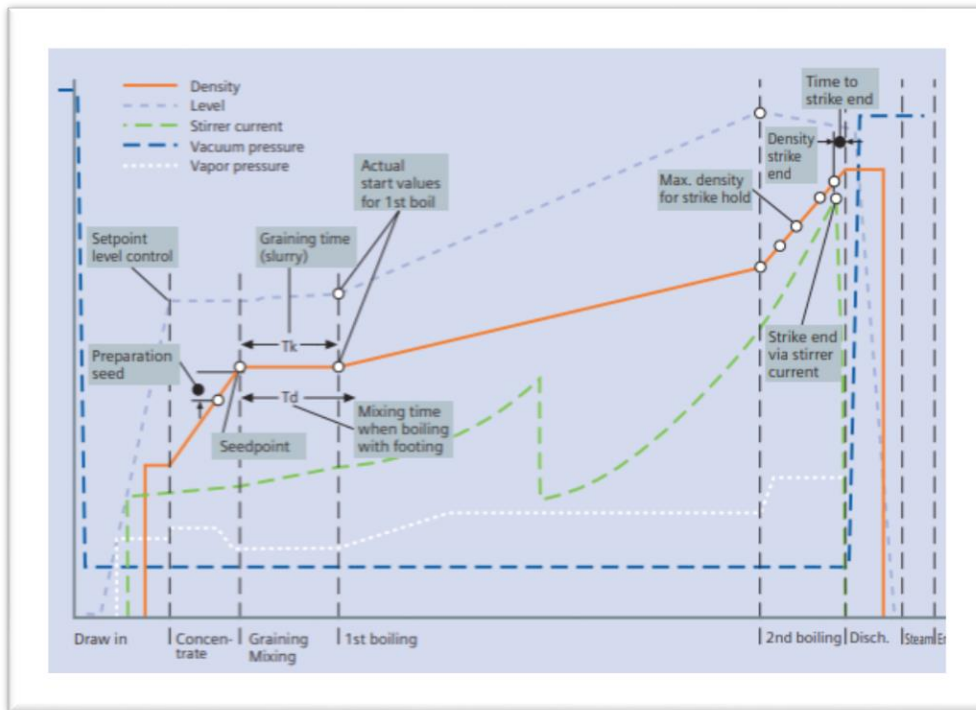
Al iniciar el proceso se activara la válvula de agua para generar un vacío de 160mBar y se cargara miel, el circulador se encenderá si y solo si el nivel del tanque es mayor o igual al 15% , cuando el tanque llegue a un 30% de nivel iniciara la etapa de concentración hasta que el medidor de brix indique que la miel tiene de 78 a 80 grados, se activara la rampa de brix , se le agregara vapor solo si el nivel del tanque cambia de 30% a 73% y el brix cambie de 78.5 a 89.5 grados de lo contrario no. Se activará la descarga cuando el brix sea de 91.1 grados.



**Ilustración 25 Compuertas Lógicas**

Fuente: logicbus.com

Para poder realizar dicha lógica de programación se parte de la siguiente gráfica realizada por siemens, (ilustración 26):



**Ilustración 26 Grafica Lógica de programación**

Fuente: Siemens

Dónde:

- Densidad
- Vapor
- Nivel
- Circulador
- Presión

Para iniciar se tiene que llevar el nivel de un vacío de 160 mBar, debido a que este vacío nos mantiene las condiciones de cristalización.

Como se puede observar no hay límites dentro de la gráfica, pero sabemos que al llegar a un 15% del nivel del tanque la miel nos cubre la chumacera del eje logrando lubricarlo y así evitando el desgaste del mismo, por lo tanto ya podemos encender el circulador.

Al llegar al 30% de capacidad del tanque entramos a la etapa de concentración donde elevamos el vapor para poder llegar hasta un 78.5% del nivel del brix, para poder entrar a la etapa de semillamiento.

La semilla es hecha fuera del sistema a base de licor y azúcar refinada a una propiedad de 10 micrones, se introduce al sistema por medio de un cono con una válvula on/off, en ese momento se cierra la entrada de vapor para que la semilla se mezcle uniformemente y evitar que el brix aumente.

Luego se entra a la etapa de cocimiento #1 llamada rampa nivel-brix en el cual tenemos un aumento de nivel del 30% al 73.5% del nivel del tanque y el brix de 78.5% a 89.5%, teniendo una relación matemática que dependiendo del nivel del tanque es el aumento en la entrada de vapor.

Al obtener dicha rampa entramos a la etapa de cocimiento #2 llamado cierre de mieles en la cual no ingresamos más miel al sistema simplemente vapor para aumentar el nivel de la densidad a un nivel óptimo de 91.1%.

Se puede observar que tenemos el cierre de pico de la densidad y del circulador debido a que tenemos una relación densidad- amperaje de circulador, el amperaje nos ayuda también a saber qué nivel de brix obtenemos en ese punto.

Para terminar dicho proceso debemos abrir la válvula de venteo para poder romper el vacío y que este llegue al nivel de la atmosfera para poder iniciar la descarga de lo contrario no se puede.

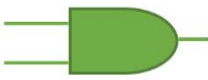
Cuando el cristalizador está lleno nos manda una señal para que no se realice la descarga, agregándole agua al sistema y quitando el vapor, de esta manera se mantiene el nivel del brix en el sistema.

Se utilizaron 244 variables y 77 bloques de programación para este sistema de cocción.

### 3.22.2 COMPUERTA LÓGICA AND

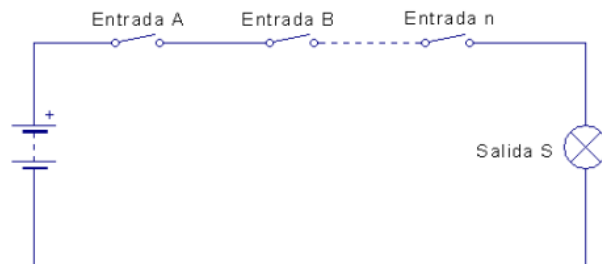
Esta compuerta es representada por una multiplicación en el Algebra de Boole (ver ilustración 27). Indica que es necesario que en todas sus entradas se tenga un estado binario 1 para que la salida otorgue un 1 binario. En caso contrario de que falte alguna de sus entradas con este estado o no tenga si quiera una accionada, la salida no podrá cambiar de estado y permanecerá en 0 (ver ilustración 28). Esta puede ser simbolizada por dos o más interruptores en serie de los cuales todos deben estar activos para que esta permita el flujo de la corriente.

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1


$$Q = A * B$$

**Ilustración 27 Representación de un circuito AND**

Fuente: Logicbus.com



**Ilustración 28 Circuito equivalente Compuerta Lógica AND**

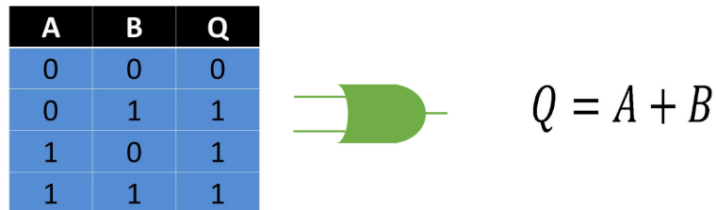
Fuente: logicbus.com

### 3.22.3 COMPUERTA LÓGICA OR

En el Algebra de Boole esta es una suma (ver ilustración 29 y 30). Esta compuerta permite que con cualquiera de sus entradas que este en estado binario 1, su salida pasara a un estado 1 también. No es necesario que todas sus entradas estén accionadas para conseguir un estado 1 a la salida, pero tampoco causa algún inconveniente. Para lograr un estado 0 a la

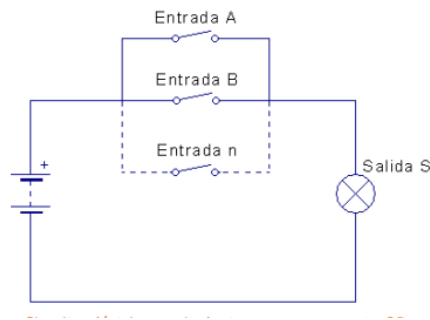


salida, todas sus entradas deben estar en el mismo valor de 0. Se puede interpretar como dos interruptores en paralelo, que sin importar cual se accione, será posible el paso de la corriente.



**Ilustración 29 Representación compuerta OR**

Fuente: Logicbus.com



**Ilustración 30 Circuito de compuerta lógica OR**

Fuente: logicbus.com

### 3.23 CONEXIONES FÍSICAS

Las conexiones físicas del sistema de cocción son hechas por medio de preformados que contienen 12 pares de los cuales se conectan a las I/O de las señales analógicas y digitales. Las I/O tanto de los empalmes como las que van directo al esclavo (en este caso el 39, que es esclavo del PLC1) son nombradas desde el programa (ver ilustración 31 y 32).

AO salida analógica

DO salida digital

AI entrada analógica

DI entrada digital



**Ilustración 31 Conexión esclavo 39**

Fuente: propia

**Tabla 5 Conexión preformado 1**

Preformado #1		
Par	Descripción	I/O
1	Abrir válvula miel A	DO 04
2	Abrir válvula miel B	DO 05
3	Abrir válvula de agua	DO 03
4	Abrir válvula de meladura	DO 02
5	Abrir válvula de semilla	DO 06
6	Abrir válvula de escobilla	DO 00
7	Abrir válvula de venteo	DO 07
8	Válvula control de agua	AO 01
9	Válvula control de vapor	AO 02
10	Válvula control de miel	AO 00
11	Transmisor flujo de semilla	AO 02
12	Transmisor de nivel	AO 03

Fuente: Propia

**Tabla 6 Conexión preformado 2**

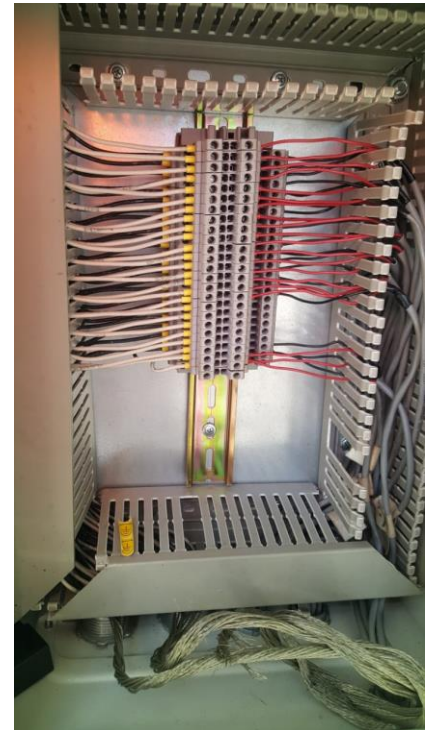
Preformado #2		
Par	Descripción	I/O
1	Transmisor de presión de calandria	AI 04
2	Transmisor presión de vacío	AI 05
3	Config. Abierto/ Cerrado miel A	DI 13/12
4	Config. Abierto/ Cerrado miel B	DI 15/14
5	Config. Abierto/ Cerrado agua	DI 09/08
6	Config. Abierto/ Cerrado meladura	DI 11/10
7	Config. Abierto/ Cerrado entrada de semilla	DI 17/16
8	Config. Abierto/ Cerrado escobilla	DI 01/00
9	Config. Abierto/ Cerrado venteo	DI 19/18
10		
11		
12	24v DC	Fuente

Fuente: propia

**Tabla 7 Conexión preformado 3**

preformado #3		
Par	Descripción	I/O
1	Blanco: Abrir válvula descarga	DO 08
	Negro: Abrir válvula de pase	DO 10
2	Abrir válvula de vacío	DO 01
3	Válvula control de vacío	AO 03
4	Blanco: conf. Abierto descarga	DI 22
	Negro: conf. Cerrado descarga	DI 21
5	Blanco: conf. Abierto pase	DI 28
	Negro: conf. cerrado pase	DI 27
6	Blanco: conf. Abierto vacío	DI 05
	Negro: conf. Cerrado vacío	DI 04
7	Blanco: conf. Remoto descarga	DI 20
	Negro: conf. Remoto pase	DI 26
8	Orden de marcha bomba de vacío	DI 13
9	Conf. Marcha bomba de vacío	DI 06
10	Conf. Remoto bomba de vacío	DI 07
11	Temperatura de condensan	AI 06
12	24v DC	Fuente

Fuente: propia



**Ilustración 32 Conexión a preformados**

Fuente: propia

### 3.24 MATERIALES DE RUTA DE CONEXIÓN DEL TACHO ( VER ILUSTRACIÓN 34)

1. 6 rieles struck para válvula de descarga y pase
2. 10 rieles struck para escobilla y transmisor de vacío
3. Fabricar base con Angulo para caja de registro, 8 rieles para alimentación de mieles
4. Fabricar bases para armarios metálicos para descarga y pase, señales de condensador barométrico y pantalla de visualización.
5. Soldar 34 rieles struck para diferentes válvulas y tuberías.



**Ilustración 33 Estructura del tacho**

Fuente: propia



**Ilustración 34 Definición de ruta**

Fuente: propia

## **IV. METODOLOGÍA**

La metodología es una de las etapas en que se divide la realización de un trabajo. En ella, el investigador o los investigadores deciden el conjunto de técnicas y métodos que emplearán para llevar a cabo las tareas vinculadas a la investigación. De esta manera, la metodología de investigación elegida es la que va a determinar la manera en que el investigador recaba, ordena y analiza los datos obtenidos.

La función de la metodología de la investigación es otorgarles validez y rigor científico a los resultados obtenidos en el proceso de estudio y análisis.

Asimismo, como metodología de la investigación se denomina la parte de un proyecto en que son expuestos y descritos los criterios adoptados en la elección de la metodología de trabajo y las razones por las cuales se considera que dichos procedimientos son los más pertinentes para abordar el objeto de estudio, etc.

### **4.1 HIPÓTESIS**

La realización de dicho proyecto nace de la necesidad de la empresa para generar mayor cantidad de azúcar en el menor tiempo posible, deseando de esta manera reducir el tiempo de zafra de cinco a tres meses, como primer proyecto para lograrlo aumentaron la capacidad de tonelaje de caña en las mesas principales de la primera área de nombre batey.

El nuevo sistema de cocción le propone un mayor rendimiento a la empresa, generando más azúcar en reducidos tiempos, teniendo más capacidad de espacio en volumen, con la nueva integración del tacho la empresa espera obtener más tonelaje de azúcar embolsado al día.

En la programación del PLC se emite diferentes señales las cuales 4 de ellas mencionadas anteriormente son controladas por medio de PID, de esta automatización depende la rapidez y mayor calidad del azúcar.

Con la nueva integración del sistema se logra formular la siguiente hipótesis: los tacheros (nombre que se les da a los operadores de dicho sistema) ya han interactuado anteriormente con estos sistemas automatizados, por lo cual se espera que el nuevo tacho se integre de excelente manera, ayudando a la producción de azúcar, esperando del mismo cumpla con los requisitos pedidos por los jefes de fábrica y producción

## 4.2 VARIABLES

### 4.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Dado que la principal función del nuevo sistema de cocción radica en el aumento de volumen, disminución de tiempo y mayor capacidad de entrada de miel se puede decir que las variables dependientes de este proceso son:

1. El correcto suministro en la carga de miel a través de las válvulas.
2. Suministro de semilla para la explosión del grano de azúcar.
3. Consistencia de la masa.

### 4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables a controlar, siendo de suma importancia en nuestro proyecto son:

1. El agua y el vapor suministrado al sistema, puesto que de estas dos variables depende el brix y la calidad de la masa con la que se realiza el grano.
2. El nivel con que se mantiene la miel suministrada al sistema de cocción para mantener el margen.

## 4.3 MÉTODO Y ENFOQUE

En toda investigación se debe sustentar las teorías en un método, en este caso se basó en el método científico debido a que este método nos permite una serie ordenada de procedimientos de los cuales hace uso una investigación científica para observar la extensión de nuestros conocimientos, podemos decir que este método es una estructura formado de reglas y principios conectados entre ellos.

"En resumidas cuentas, método es el camino o proceso para alcanzarse un objetivo, mientras enfoque es el punto de vista o perspectiva con que se ve determinada cuestión o problema. Aunque sean cosas distintas, método (camino) y enfoque (punto de vista) son fundamentos de la investigación científica" (MANHÃES, Francisco, mensaje en la lista Elebrasil, 23 de mayo de 2006.)

#### 4.3.1 ENFOQUE CUANTITATIVO

La investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables y estudia las propiedades y fenómenos cuantitativos. Ente las técnicas de análisis se encuentran: análisis descriptivo, análisis exploratorio, inferencial invariable, inferencial multivariado, modelización y contrastación.

Que el investigador realiza los siguientes pasos:

1. Plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
2. Una vez planteado el problema de estudio delimitado y concreto. Sobre la base de la revisión de la literatura construye un marco teórico.
3. De esta teoría deriva hipótesis.
4. Somete a prueba las hipótesis mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados. Si los resultados corroboran las hipótesis o son congruentes con estas, se aporta evidencia en su favor.
5. Para obtener tales resultados el investigador recolecta datos numéricos de los objetos fenómenos o participantes, que estudia y analiza mediante procedimientos estadísticos.

Patton (1980) Afirma: "el enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados ni complemento determinado."

#### 4.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de investigación son los múltiples tipos de documentos que brindan información y conocimiento útil requerido para llevar a cabo una investigación y, consecuentemente, generar conocimiento.

Todo proceso de investigación inicia con la búsqueda de información relativa a un tema definido, y se desarrolla en torno a las diversas fuentes disponibles. Las fuentes de investigación permiten al investigador realizar un análisis crítico de la información.



Las fuentes primarias y secundarias son igualmente válidas. Sin embargo, a las fuentes primarias se les conoce como fuentes de primera mano, mientras que las secundarias son aquellas compuestas por información resumida, relacionada con un tema puntual.

#### 4.4.1 FUENTES PRIMARIAS

- Libros electrónicos de internet
- Libros físicos sobre el tema

#### 4.4.2 FUENTES SECUNDARIAS

- Manuales técnicos
- Tesis sobre el tema
- Documentos sobre el tema

#### 4.5 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para poder realizar y comprender mejor en que se basaban las automatizaciones de estos sistemas de cocción, fue muy necesario leer diferentes artículos como son:

- Archivos de otras automatizaciones del sistema como tal
- Documentos sobre el tipo de equipo a utilizar
- Documentaciones sobre el funcionamiento de las I/O del sistema del PLC y como se adaptan al sistema.

#### 4.6 CRONOGRAMA

No.	Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
1	Explicación de proyecto										
2	Primera visita al área de trabajo										
3	Conocimiento de inventario										
4	Reconocimiento de programa										
5	Rutas de cableado físico										
6	Conexiones al PLC										
7	Visitas al área de trabajo										
8	Control de cableado										
9	Programación										
10	Otras actividades										

Fuente: propia

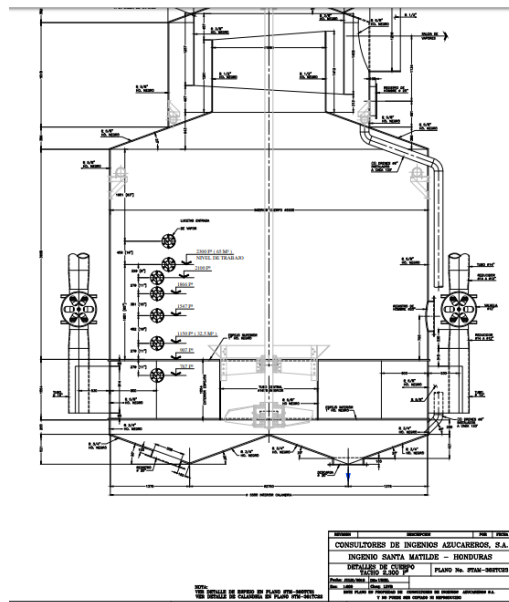
## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS

Como se ha mencionado anteriormente este proyecto nace de la necesidad de disminuir tiempo y agregar más espacio al proceso para poder cumplir con las demandas del mercado como también las exigencias de la empresa.

El análisis parte desde el momento en que se ve la necesidad de adquirir más espacio para poder lograr agilizar el proceso, llegando siempre a la misma conclusión, se decide anexar un nuevo sistema de cocción.

#### 5.1.1 DIMENSIONES



**Ilustración 35 Dimensiones del sistema de cocción**

Fuente: propia

Para iniciar con el nuevo proyecto se analizó las dimensiones de dicho tacho (ver ilustración 35) para poder colocarlo en el lugar indicado, que nos diera el espacio suficiente y más cercano al esclavo para tener la comodidad de realizar las cocciones y que el sistema funcione en condiciones óptimas.

## 5.1.2 ECUACIONES

### 5.1.2.1 Semillamiento

Para poder obtener el grano de azúcar a la miel se le agrega una sustancia homogénea de agua y licor a la cual llamamos semilla, esta semilla es muy necesaria para que exista la "explosión" del grano de azúcar, para esto se necesita tener en cuenta ciertos niveles los cuales nos sirven como referencia dentro del sistema.

Para obtener dicho valor se requiere la siguiente ecuación donde  $^{\circ}\text{SS}$  es el coeficiente de saturación:

$$^{\circ}\text{SS} = \frac{\text{en licor}}{\text{en agua}}$$

#### Ecuación 5 Coeficiente de saturación

**Tabla 8 Rangos de coeficientes de saturación**

	En licor		En agua
Caso	g. Sacarosa / g. Agua	Celsius	g. sacarosa / 100 g. agua
1	280	63	297,93
2	280	50	257,65
3	280	42	237,84

Fuente: Tesis Azúcar, Mamani (2017)

$$^{\circ}\text{SS} = \frac{280}{297,93} = 0.94$$

En este caso la semilla no haría explosión, porque el resultado es menor a 1.00 por lo tanto no está saturado.

$$^{\circ}\text{SS} = \frac{280}{237,94} = 1,18$$

En este caso si está saturado.

### 5.1.2.2 Flujo de vapor

$$F_{vc} = ((\lambda_{nv} * F_{nv} / \lambda_{vc}) * \phi * kmcb)$$

#### **Ecuación 6 flujo de vapor**

Factor de potencia 1,04

Factor de agua de lavado 1,15

$$F_{vc} = \frac{2367,8 * 3,39}{220,9} * 1,04 * 1,15 = 4,49 \text{ ton/hr}$$

Es decir que en 24 horas se necesitan:

$$4,49 \text{ ton/hr} * 24 \text{ hr} = 107,76 \text{ ton de vapor.}$$

### 5.1.2.3 Eficiencia de cocimiento

La eficiencia del cocimiento es uno de los factores más importantes al momento de realizar nuestro programa, de lo cual sacamos el siguiente dato:

$$\%R_{cristales} = [(P_{zmc} - P_{zmiel}) / (P_{zazúcar} - P_{zmiel})] * B_{xmc} * 100\%$$

#### **Ecuación 7 Eficiencia de cocimiento**

$$\% R_{cristal} = \frac{74,35 - 60,07}{100 - 60,07} * 0,9137 * 100 = 32.67\%$$

### 5.1.2.4 Comparación manómetro - transmisor

$$(P_{atm} - P_{inHg}) * 33.86 = mBar$$

#### **Ecuación 8 Conversión InHg- mBar**

P atm = presión atmosférica

P inHg = Presión del manómetro en pulgadas de mercurio

33.86 = Equivalencia

Ejemplo #1:

$$(29.92 - 25) * 33.86 = 166.59 \text{ mBar}$$

Valor que se compara con el sistema.

Ejemplo #2:

$$(29.92 - 21) * 33.86 = 302.03 \text{ mBar}$$

### 5.1.3 COTIZACIONES

Para todo proyecto se necesitan hacer diferentes cotizaciones con sus especificaciones:

#### Control de presupuesto

A continuación, se detalla las especificaciones para los pedidos del equipo necesario para la realización de la automatización de dicho sistema de cocción.

1. Válvula de 14 pulg. Serie 30 (usada para transferencia de masa)  
Actuador neumático 92-2100  
Sensor inductivo de dos posiciones  
Electroválvula solenoide de 5/2
2. Válvula de 12 pulg. Serie 40 (usada para control de vacío)  
Actuador neumático 92-1600  
Posicionador electro neumático
3. Válvula de 8 pulg. Serie 30 (usada para alimentación de vapor)  
Actuador neumático 92-1280  
Posicionador  
Electroválvula solenoide de 5/2
4. Válvula de 14 pulg. Serie 40 (usada para control de alimentación)  
Actuador neumático 92-0830  
Sensor inductivo de dos posiciones  
Electroválvula solenoide de 5/2
5. Válvula de 2 pulg. Serie 30 (usada para control de brix)  
Actuador neumático 92-0630  
Posicionador electro neumático
6. Flujo metro magnético 6 pulg. (medir flujo de semilla)
7. Transmisor de presión absoluta (para medir el vacío)

8. Hydrotrac (presión del material)
9. RTD PT100  
Con transmisor 4 a 20 mA.
10. Válvula. Serie 41 de rosca.  
Actuador neumático 92-2100
11. Válvula de 14 pulg. Serie 30 ( usada para control de brix )  
Actuador neumático 92-0830  
Posicionador electro neumático  
Electro válvula

## 5.2 RESULTADOS

Como resultado de este proyecto mostraremos el resultado final de la automatización del sistema de cocción, el desarrollo de la programación fue en el programa freelance y el componente de la automatización como por ejemplo los actuadores y PLC son marca ABB.

### 5.2.1 DESARROLLO DEL SISTEMA

En esta parte mostraremos las pantallas del sistema SCADA con sus parámetros para el sistema de cocción.

Cabe mencionar que el programa ya cuenta con este tipo de figuras, también en él se pueden realizar las que no vienen prediseñadas.

#### 5.2.1.1 Pantalla principal del proceso

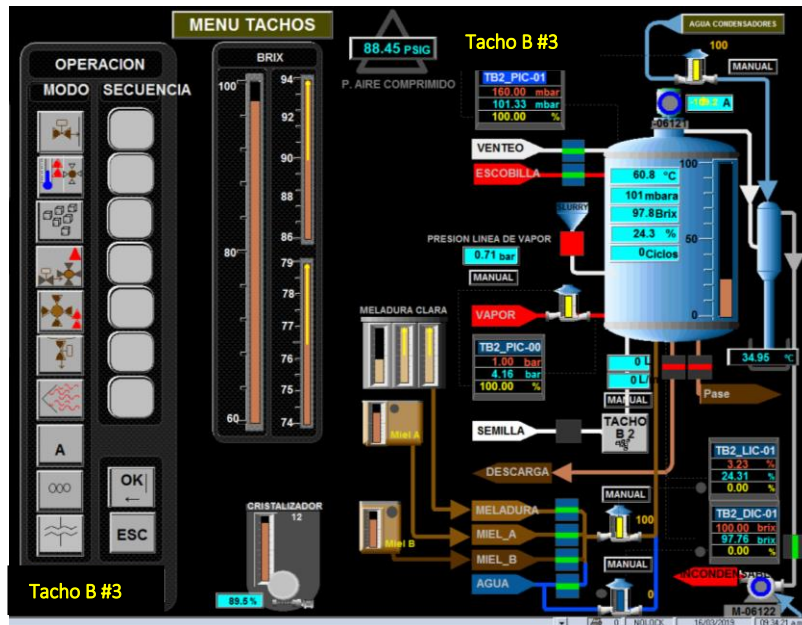


**Ilustración 36 Menú Tachos**

Fuente: propia

En esta pantalla mostramos la integración del nuevo sistema (ver ilustración 36), a todo el sistema del proceso, en el cual también podemos visualizar el control del vacío, las mieles y entre otras variables necesarias de controlar para el proceso. El sistema de cocción nuevo es llamado dentro del sistema como TB3.

### 5.2.1.2 Pantalla de visualización del sistema de cocción



**Ilustración 37 Pantalla de monitoreo del sistema**

Fuente: propia

En esta pantalla logramos ver el funcionamiento de todo el proceso en tiempo real, vemos sus entradas y salidas físicas, las válvulas, depósitos y motores dentro del sistema, además de la secuencia que tiene el sistema. (ver ilustración 37)

Esta pantalla la podemos encontrar en cualquier monitor de la cabina del área de tachos en la cual se pueden cambiar valores cuando el sistema está en modo manual, aquí logramos monitorear los niveles de los tanques de meladura, agua, mieles y el nivel del sistema de cocción, como también el nivel del cristalizador al cual van los granos de azúcar cuando el tacho hace su descarga.



Los colores juegan un papel muy importante, con ellos sabemos de los cambios que se realizan en el sistema como saber cuándo pasa un motor de manual a automático, o bien las válvulas, cambian de azul (manual) a gris (automático), también los colores nos indican si está encendido o apagado el equipo, a la vez podemos observar que tan abierta o cerrada están las válvulas que son manipuladas de 4 a 20 mA

Esta también nos permite ver y modificar los lazos de control, en el cual podemos modificar los Setpoint de cada uno de ellos. Podemos notar si los tanques están llenos o que tanto nivel les hace falta, de esta forma verificar los controles automáticos. Como también podemos notar la secuencia del sistema, si ya va a finalizar el proceso o si otro viene comenzando.

Podemos observar al lado izquierdo que aparece "modo de operación" en esta parte de la pantalla podemos observar la secuencia de dicho sistema de cocción, el avance del proceso, si acaba de iniciar o está por hacer la descarga hacia los cristalizadores.

Siguiendo el proceso mencionado anteriormente en este documento, de una forma más fácil de explicar y de manera más sencilla de visualizar obtenemos el siguiente diagrama dentro del programa.

1. Carga inicial



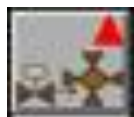
2. Concentración para semillar



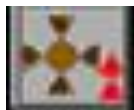
3. Semillamiento



4. Cocimiento #1: alimentación y concentración



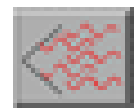
5. Cocimiento #2: concentración final



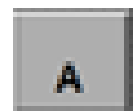
6. Descarga



7. Escobillado



8. Modo automático



9. Múltiples ciclos, Interrumpir ciclo



10. Confirmar selección, Cancelar selección



### 5.2.1.3 Parámetros

PARAMETROS	BMA	CAHSA	AJUSTE	ACTUAL
<b>PARAMETROS INICIALES</b>				
NIVEL MINIMO PARA ARRANQUE DE CIRCULADOR	25 %	20 %	18.0 %	24.3 %
VACIO DENTRO DEL VASO	150mbar	100mbar	160mbar	101mbar
NIVEL MINIMO DE TACHO PARA ABRIR DE VAPOR A CALANDRIA	28.5%	20%	18.0 %	24.3 %
CANTIDAD DE CORTES			0	
<b>CARGA DE MIEL</b>				
PRESION DE VAPOR DE CALANDRIA PARA CARGAR	0.15bar	0.30bar	0.60 bar	4.16bar
NIVEL MINIMO EN TANQUE DE MIEL A PARA INICIAR CARGA	10%	10%	10.0 %	76.9 %
% DE NIVEL CON MIEL A PARA CARGA DE INICIO			28.0 %	24.3 %
% DE NIVEL CON MIEL B PARA CARGA DE INICIO			0.0 %	24.3 %
% DE NIVEL CON MELADURA PARA CARGA DE INICIO			0.0 %	24.3 %
% NIVEL TOTAL DE INICIO	29%	29%		28.0 %
<b>CONCENTRACION</b>				
BRIX DE SOBRESATURACION 1.05	75brrix	83brrix	83.0brrix	97.8 brrix
BRIX PARA REDUCIR PRESION DE VAPOR SEMILLAMIENTO	75brrix	83brrix	83.0brrix	97.8 brrix
PRESION DE VAPOR DE CALANDRIA PARA CONCENTRACION	0.15bar	0.40bar	0.60 bar	4.16bar
<b>SEMILLAMIENTO Y MEZCLADO DE CRISTALES</b>				
TIPO DE PIE			SELECTOR	SEM 100u
BRIX DE SEMILLAMIENTO SEMILLA 100u	75brrix	83brrix	83.0brrix	97.8 brrix
BRIX DE SEMILLAMIENTO SEMILLA 10u	75brrix	83brrix	83.0brrix	97.8 brrix
PRESION VAPOR DE CALANDRIA EN SEMILLAMIENTO	0.05	-0.5	0.00 bar	4.16bar
TIEMPO APERTURA VALVULA DE SEMILLA 10u	00:01	00:01	00:01	00:00
TIEMPO MEZCLADO DE SEMILLA	01:00	02:00	01:00	00:00
<b>COCIMENTO 1 ALIMENTACION MIEL A Y CONCENTRACION</b>				
*BRIX DE FIN DE COCIMENTO 1	89brrix	90brrix	91.5 brrix	97.8 brrix
PRESION VAPOR CALANDRIA FIRAL RAMPA COCIMENTO 1	0.08bar	0.50bar	0.60 bar	4.16bar
% NIVEL MAXIMO COCIMENTO 1	75%	73.2%	75.0 %	24.3 %
% CAMBIO DE ALIMENTAR MIEL A/ MIEL B EN 100% NO HACE CAMBIO	100%	100%	100.0 %	24.3 %
<b>COCIMENTO 2 CONCENTRACION</b>				
*BRIX DE FIN DE COCIMENTO 2	90.5brrix	92.6brrix	93.7 Brrix	97.8brrix
PRESION VAPOR CALANDRIA EN COCIMENTO 2	0.45bar	0.80bar	0.00bar	4.16bar
CORRIENTE MAXIMA PARO CIRCULADOR MECANICO	115A	115A	115 A	100% A
<b>DESCARGA DEL TACHO AL CRISTALIZADOR</b>				
NIVEL CRISTALIZADOR 12 - COMENZAR A DESCARGAR TACHO	24%	25%	30.0 %	89.5 %
NIVEL MAXIMO CRISTALIZADOR - DETIENE DE DESCARGA TACHO	60%	60%	80.0 %	89.5 %
TIEMPO DE DESCARGA ABIERTA DESPUES DE NIVEL BAJO 5% (min: 5s)	03:00	01:00	01:00	00:00
<b>ESCOBILLADO DEL CUERPO DEL TACHO</b>				
TIEMPO DE ESCOBILLADO DESPUES DE ALCANIZAR 90°C	04:00	05:00	05:00	00:00
TIEMPO VALVULA DESCARGA ABIERTA DESPUES DE ESCOBILLADO	02:00	01:00	01:00	00:00
TIEMPO ADICIONAL VALVULA ABIERTA DE DRENAJE DE ESCOBILLA	00:00	00:00	00:00	00:00

**Ilustración 38 Parámetros del sistema**

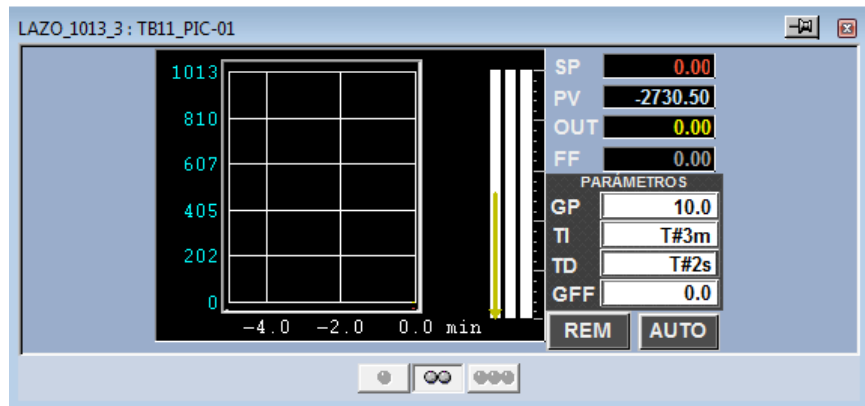
Fuente: propia

En esta pantalla se pueden ver y modificar todos los parámetros con en que el sistema de cocción cuenta y a la vez monitorear todos los porcentajes y niveles de todo el equipo automático. (ver ilustración 38)

#### 5.2.1.4 Lazo de control PID

En las siguientes imágenes podemos ver los lazos de control antes mencionados con los cuales se controla el sistema de cocción, en los cuales tenemos los setpoint que pueden ser configurables al igual que los puntos variables y las salidas de los controles de 4 a 20 mA.

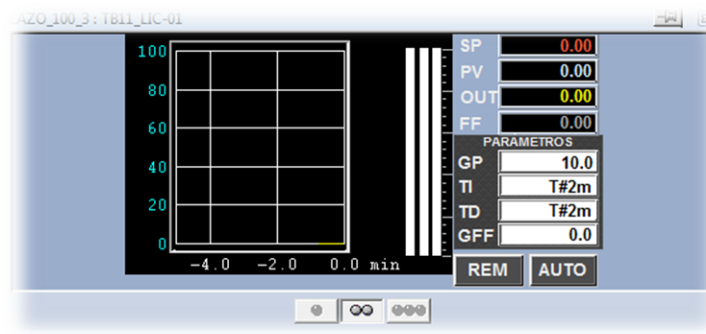
Dichos lazos de control son utilizados dependiendo el tipo de etapa por el que pasa el sistema de cocción.



**Ilustración 39 Lazo de control de Vacío**

Fuente: propia

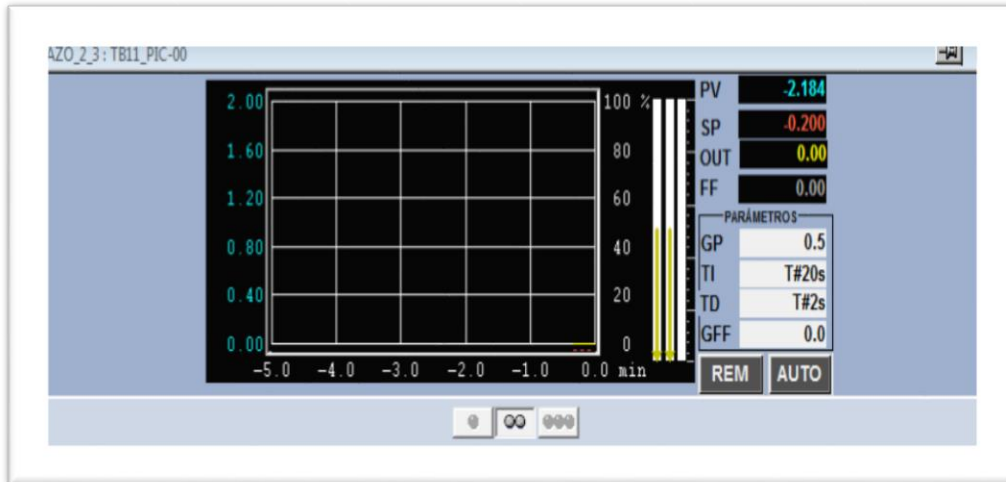
El lazo de control de vacío es utilizado durante todo el proceso para poder mantener en las condiciones óptimas para la cristalización. (ver ilustración 39)



**Ilustración 40 Lazo de control de nivel**

Fuente: propia

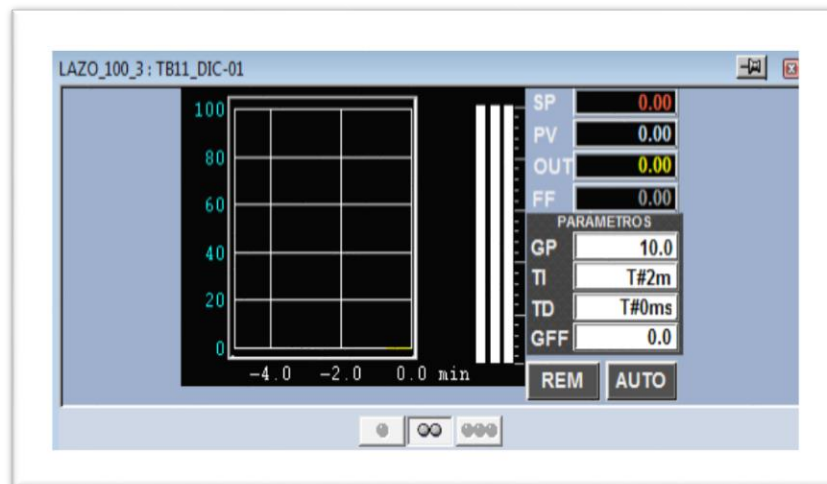
El lazo de control de nivel es utilizado en el proceso de carga debido a que en esta etapa entran en funcionamiento el agitador y la entrada de presión. (ver ilustración 40)



**Ilustración 41 Lazo de control de presión**

Fuente: Propia

El lazo de control de presión se necesita en todo el proceso a excepción del semillamiento para evitar que suba el nivel de la densidad dentro del sistema para poder mezclar uniformemente dicha semilla. (ver ilustración 41)



**Ilustración 42 Lazo de control de densidad**

Fuente: Propia

El lazo de control de densidad es utilizado en las primeras dos etapas. (ver ilustración 42)

### 5.2.1.5 Elenco

The image shows three screenshots of a PLC configuration software interface, specifically the 'Elenco' (I/O list) for a slave PLC. Each screenshot displays a table with columns for 'Módulo', 'Módulo', 'Módulo', 'Tipo', 'Abot', 'CABLE', 'SEÑAL', 'DIR. C/CL', and 'DIR. C/CL'. The tables are organized into sections for 'Módulo', 'Módulo', and 'Módulo'. The first screenshot shows digital inputs (AI) and digital outputs (AO). The second screenshot shows analog inputs (AI) and analog outputs (AO). The third screenshot shows digital inputs (AI) and digital outputs (AO). A large watermark 'Página 1' is visible across the middle of the screenshots.

**Ilustración 43 Elenco**

Fuente: propia

Para poder obtener un mejor control de las conexiones al esclavo 24 que tiene como maestro al PLC 1, se crea un elenco en el cual se anota el número de esclavo, el modulo, la descripción y las entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

De esta manera cuando se requiere hacer un cambio físico se encuentra con mayor rapidez y se sabe con exactitud qué es lo que estamos modificando, al igual que en el programa así son llamadas las variables, en el elenco aparece si es una entrada o salida, por ejemplo: AI01240000 (ver ilustración 43)

Dónde:

AI entrada analógica

01 número de PLC maestro

24 números de esclavo

00 posición del esclavo

00 posición de la entrada

De esta forma se obtiene un mejor control de la automatización evitando fallas por desconectar equipo.

Para las conexiones se utilizaron tres cables preformados de doce pares en los cuales se tomó la decisión de que instrumento iría en cada una de las borneras y cada uno de esos pares para luego ingresarlos al sistema del elenco.

Como aporte general al proyecto, se tomó en cuenta la ruta adecuada del cableado para cada uno de los instrumentos a lo largo del sistema, también todas las conexiones al esclavo como a la vez la decisión de que par de cada preformado iría en cada instrumento, la revisión general del equipo de bodega y las requisiciones para equipos faltantes, lógica de programación y revisión de cuadros de bloques como también la revisión general de estructura y el sistema SCADA.

### 5.3 PARTE FÍSICA

Como toda automatización el sistema tiene su parte física, en la cual podemos observar los equipos, en este caso les mostrare como fueron los resultados de la parte física de la automatización donde se podrán observar las válvulas con sus actuadores y posicionadores y toda la tubería del sistema. (ver ilustración 44)

Para poder realizar toda la parte mecánica del sistema, se analizó la mejor ruta y la mejor posición para que la parte automática del sistema funcione a la perfección, sin ningún problema de espacio, teniendo en cuenta que se trabaja con temperaturas muy altas.



**Ilustración 44 Estructura**

Fuente: propia

En esta imagen podemos observar parte de la estructura del tacho ya terminado. En la cual se tomó el tiempo de ver la mejor posición para cada una de sus partes.



## **VI. CONCLUSIONES**

De este informe podemos concluir de los objetivos específicos lo siguiente:

1. Se obtuvieron cuatro lazos de control, en los cuales dependiendo de diferentes factores se llegó a concluir que lo setpoint y salidas variarían dependiendo de las propiedades de la masa, pero siempre obteniendo la mayor parte de tiempo la misma secuencia.
2. Se generó un sistema automático para el arranque y paro del motor que permite un mejor control sobre el vacío al momento de comenzar finalizar dicho proceso, de esta manera se mantienen los niveles del vacío sin imprevistos.
3. Se logró automatizar el arranque y la medición de corriente del circulador, donde los datos de medición dan la seguridad que el movimiento dentro del sistema comenzara en el momento adecuado para poder obtener los granos de azúcar.
4. Se logró atacar el problema principal, el aumento de las 2000 toneladas más con las que la capacidad de fábrica no contaba, obteniendo 2 horas y medias más de producción.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### 7.1 A LA EMPRESA

1. Es de suma importancia que el equipo cuente con protección adecuada para evitar averías y daños ajenos al desgaste del propio uso.
2. La seguridad de los trabajadores debería ser siempre lo primero, se recomienda mejorar la seguridad en las áreas de trabajo cuando se realizan soldaduras o lavado de pisos. Reforzar las medidas de seguridad para eliminar actos y condiciones inseguras.
3. Los paneles donde se encuentran los esclavos con sus conexiones deben de tener ventilación, aunque estén diseñados para resistir ciertas temperaturas para obtener mayor seguridad del mismo.
4. Los instrumentos de automatización, como los transmisores deben tener protección para evitar los daños por agua, miel y vapores en las pantallas de visualización de datos.

### 7.2 A LA UNIVERSIDAD

1. Ampliar los tipos de sujetos de estudio de programación que se utilicen en la industria para poder obtener un conocimiento más amplio de estos sistemas.
2. Se recomienda que las clases sean un poco más técnicas o cuenten con un taller para poner en practica la teoría vista en los salones de clases, para al momento de llegar al campo de trabajo se puedan realizar los trabajos técnicos con mayor seguridad.
3. Las áreas de redes industriales deben de ser mejor afianzadas en las conexiones Profibus y conexiones externas.
4. Potenciar el uso de sistema SCADA.
5. Mejorar el área de sensores y actuadores enseñando a los alumnos cómo funcionan los sensores en la industria. Ampliar los conocimientos en la aérea de variadores, como su control y programación en la industria.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Wigodski, J. (2010). *Metodología de investigación*. Recuperado de <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/variables.html?m=1>
2. Godoy, E. (2011). *Cómo hacer una tesis*. Buenos Aires, ARGENTINA: Valletta Ediciones. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualesp/detail.action?docID=3203446>
3. Juan Luis, S. (2016). *Automatización Industrial* (CEF). Recuperado de <https://www.marcialpons.es/libros/automatizacion-industrial/9788445432839/>
4. Daneri, P. (2008). *PLC*. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualesp/detail.action?docID=3183744&query=automatizacion>
5. Mamani, A. (2017). *estudio de sistema de coccion*. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13422/TD-1873-Mamani%20Chino,%20Andres.pdf?sequence=1>
6. *electronica digital*. (s. f.). Recuperado de [http://libroweb.alfaomega.com.mx/book/685/free/ovas\\_statics/cap5/Computas%20Logicas.%20G,%20Jesus..pdf](http://libroweb.alfaomega.com.mx/book/685/free/ovas_statics/cap5/Computas%20Logicas.%20G,%20Jesus..pdf)
7. Rodriguez, A. (s. f.). *Sistema SCADA*. Recuperado de [https://books.google.hn/books?id=32kgCNG34TwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.hn/books?id=32kgCNG34TwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
8. Jaen, U. (s. f.). *Metodología*. Recuperado de [http://www.ujaen.es/investiga/tics\\_tfg/enfo\\_cuanti.html](http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/enfo_cuanti.html)
9. Significado. (s. f.). *Metodología de Investigación*. Recuperado de <https://www.significados.com/metodologia-de-la-investigacion/>

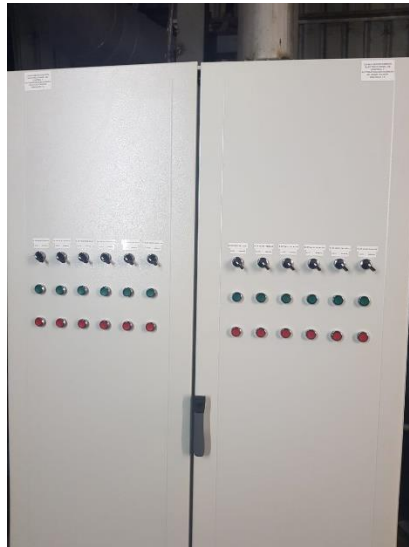
10. ABB. (s. f.). *ABB FREELANCE*. Recuperado de <https://new.abb.com/control-systems/essential-automation/freelance>
11. mecafenix, ingeniería. (s. f.). *Electroneumática básica*. Recuperado de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electroneumatica-basica/>
12. omega. (s. f.). *Sensor de nivel*. Recuperado de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
13. Red, E. (s. f.). *Transmisores*. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Transmisor>
14. Pardo Alonso, J. L. (2012). Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión en bienes de equipo y maquinaria industrial (UF0461). Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3212280>
15. uniovi. (s. f.). *Sensores y Actuadores*. Recuperado de <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>
16. Talavera, L. (1995). Recuperado de <http://tochtli.fisica.uson.mx/fluidos/EI%20vac%C3%ADo%20y%20sus%20aplicaciones.htm>
17. Mazzone, V. (2002, marzo). *Controladores PID*. Recuperado de <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
18. Gross, O. (2013). *El libro del azúcar*. Recuperado de <https://www.chango.com.ar/uploads/libros/el-libro-del-azucar.pdf>
19. patino, P. (s. f.). *Compuertas lógicas*. Recuperado de <http://service.udes.edu.co/modulos/documentos/pedropatino/compuertas.pdf>
20. Información brindada por ingenieros de azucarera Hondureña S.A

## IX. ANEXOS



**Ilustración 45 Panel de control eléctrico**

Fuente: Ing. Raudales



**Ilustración 46 Panel de control eléctrico por fuera**

Fuente: Ing. Raudales



**Ilustración 47 Hydrotrac, sensor de medición de brix.**

Fuente: Propia



**Ilustración 48 Actuador Bray**

Fuente: propia



**Ilustración 49 Manómetros y Termómetros**

Fuente: propia



**Ilustración 50 Actuator y posicionador electro neumático**

Fuente: propia



**Ilustración 51 Alimentadores de Miel**

Fuente: Propia