



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS



## **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

### **SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN “LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A.A.”**

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADO POR:  
Br. Nieto Diaz, Luis Franco  
Br. Romero Navarro, Ricardo Rafael

ASESOR:  
Ing. Víctor Jara Sandoval

LAMBAYEQUE – PERU

**SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR  
EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DEL  
JUGO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN  
“LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A.A.”**

Elaborado por los bachilleres:

Bach. Nieto Diaz, Luis Franco

Bach. Romero Navarro, Ricardo Rafael

Aprobado por los miembros de jurado:

.....  
**Ing. Manuel Javier Ramírez Castro**  
Presidente del Jurado.....

.....  
**Ing. Julio Ernesto Quispe Rojas**  
Secretario.....

.....  
**Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera**  
Vocal.....

.....  
**Ing. Víctor Jara Sandoval**  
Asesor.....

# **DEDICATORIA**

**Esta tesis dedico a mis familiares en especial padres y hermana quienes me han apoyado, en mi formación profesional hasta esta instancia, ya que su apoyo ha sido motivación para seguir adelante, a su vez agradezco a la casa de estudios por haberme permitido formar parte de ella.**

***FRANCO NIETO***

# **DEDICATORIA**

**El presente proyecto está dedicado a mi familia, en especial a mis padres y hermano que creyeron en mí, gracias a su apoyo incondicional y motivación día a día que esto fue posible.**

***RICARDO ROMERO***

# **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco a la casa de estudios “UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO” por el conocimiento brindado, y a la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A. por el apoyo brindado en la realización del proyecto**

**LOS AUTORES**

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de control automatizado en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., que actualmente consta de dos sub-procesos automatizados en dos etapas diferentes, dichos sub-procesos tienen por finalidad mantener el nivel de pH estable.

El sistema propuesto consta de controladores (PLC) e instrumentación a base de válvulas, transmisor-sensor. Con el primer sub-proceso se pretende obtener una lectura de grado de concentración, a través de transmisor/controlador en la elaboración de lechada de cal, esto en un rango de 24-25 grados Brix; generando lo necesario para neutralizar el jugo mezclado proveniente del proceso de molienda, el cual produce un nivel de acidez no apto para la elaboración de azúcar.

El segundo sub-proceso permitirá una correcta clarificación, logrando un adecuado nivel de pH, minimizando así posibles pérdidas de sacarosa y aumentando el rendimiento a lo largo del proceso. Así también, con el sistema planteado se buscó evitar pérdidas económicas, aumentando el tiempo de vida de los equipos y reduciendo posibles errores en la toma de muestras manuales.

Finalmente, teniendo en cuenta lo difícil que es obtener un producto de estándares aceptables dentro de nuestra comunidad, se buscó diseñar un sistema que genere soluciones usando ingeniería moderna con ideas claras y concisas, tratando de implementar e innovar lo ya establecido por la empresa.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO 1</b>	
Situación problemática.....	2
Problema.....	3
Hipótesis.....	3
Objetivo de Tesis.....	3
<b>OBJETIVOS PRINCIPALES.....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>3</b>
Motivación del proyecto.....	4
Justificación e Importancia.....	4
Alcances del Estudio.....	4
<b>Capítulo 2</b>	
<b>2.1 Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Antecedentes en la Empresa Agroindustrial Pomalca.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Antecedente en la investigación propuesta en el proceso de Clarificación.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.3 Antecedente en la Empresa Cartavio S.A.A.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 Proceso de clarificación.....</b>	<b>9</b>
Inyección de la cal.....	10
Preparación de cal.....	11
Acción de la cal sobre el jugo.....	11
Cal.....	11
Control del pH.....	12

<b>Temperatura permitida.....</b>	<b>12</b>
<b>Floculantes en el proceso.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Elementos de control.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 Válvulas de control.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 Especificación de válvulas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.3 Bombas dosificadoras.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.4 Tipos de sensores.....</b>	<b>25</b>
<b>Sensores de vidrio.....</b>	<b>25</b>
<b>Sensores ISFET.....</b>	<b>25</b>
<b>Sensores con esmalte.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.5 Electrodo de pH.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.6 MEDIDORES DE pH Electrodo y Controladores.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>3.1 Diagnostico de la situación actual.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Diagrama de bloque.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1 Jugo mezclado.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2 Tanques Encalados.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Lechada de cal.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.4 Sacarato de Calcio.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.5 Calentadores.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.6 Vapor Vegetal.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.7 Tanque Flash.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.8 Floculante.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.9 Tanque Clarificador.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Propuesta de Solución.....</b>	<b>41</b>

3.3.1 Propuesta para un mejor control de lechada de cal.....	41
3.3.2 Propuesta para mejorar el pH en los tanques encalados.....	42
3.4 Premisas de solución.....	43
3.4.1. Limitaciones o alcances de diseño.....	44
<b>CAPITULO 4</b>	
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMTIZADO.....	45
4.1.1 Esquema general de la solución.....	45
4.1.2 Función de Transferencia para nuestro sistema de control automatizado.....	46
Sistema Lazo Abierto.....	47
Sistema Lazo Cerrado.....	47
4.2 Software para el diseño del proceso.....	48
Diseño de proceso de Clarificación.....	48
Proceso de Clarificación.....	49
Proceso de Clarificación Instrumentado.....	50
4.3 Selección de equipos en la preparación de sacarato de calcio.....	51
4.3.1 Transmisor Inteligente de Concentración/ Densidad smar –DT301.....	51
4.3.2 PLC Siemens – SIMATIC S7 - 1200 (CPU 1215C - 6ES7215-1AG40-0XB0)....	54
4.3.3 VÁLVULA BRAY - DOBLE EXCÉNTRICA - ALTAS PRESTACIONES Serie 40-45.....	56
4.4 Selección de equipos en los tanques encalados.....	60
4.4.1 Sensor Diferencial de pH.....	61
4.4.2 Analizador P33 pH.....	67
4.4.3 WAFER / LUG Serie 20 / 21.....	76
4.5 Presupuesto de los equipos.....	79
<b>CAPITULO 5</b>	
5.1 Prueba y Validación.....	80

5.1.1 Respuestas del sistema en Matlab de nuestra función de transferencia en lazo abierto.....	80
5.1.2 Respuestas del sistema en Matlab de nuestra función de transferencia en lazo cerrado.....	81
5.2 SIMULACIÓN EN LabVIEW.....	83
Programación en LabVIEW 2012.....	85
Resultados Final de las Prueba.....	86
5.3 VALIDACIÓN.....	87
<b>CAPITULO 6</b>	
6.1 Conclusiones.....	89
6.2 Recomendaciones.....	90
<b>CAPITULO 7</b>	
BIBLIOGRAFIA Y LINKOGRAFIA.....	91
Glosario.....	93
ANEXOS.....	95

# INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la automatización industrial ha mejorado los procesos productivos y su eficiencia, ya que de una forma indirecta ayuda a eliminar parte de los errores humanos, al delegar la responsabilidad de manipular los elementos finales de control, a un instrumento o mecanismo autónomo que responde a instrucciones definidas, con esto se podrá garantizar que las variables de proceso se mantendrán en los valores necesarios para la correcta operación del mismo.

El proceso de fabricación del azúcar involucra muchas etapas, de las cuales depende la calidad del producto final. De las etapas mencionadas, una de las más importantes es la de la clarificación del jugo de caña, ya que de ésta dependerán las características de color, consistencia, turbidez, y otras de la meladura en etapas posteriores. Actualmente, el proceso de clarificación se controla de forma manual, dependiendo su efectividad de la habilidad y experiencia del operador, lo cual vuelve el proceso aleatorio, ya que cada operador tiene una forma distinta de controlar.

El principal objetivo de la clarificación en el proceso de la fabricación del azúcar, es el de eliminar la máxima cantidad de impurezas en el jugo en la etapa más temprana del proceso, que permitan las otras consideraciones del mismo, tales como la claridad y la reacción del jugo claro. En la fabricación del azúcar crudo, la cal y el calor son casi los únicos agentes que se utilizan con este fin, aunque generalmente se adhieren otros componentes tales como el fosfato soluble.

# CAPITULO 1

## Situación problemática

Dentro de los problemas más resaltantes en la empresa agroindustrial Pomalca S.A.A., nos centramos en el proceso de clarificación, el cual es uno de los procesos más importantes para la elaboración de azúcar, ya que busca minimizar posibles pérdidas de sacarosa manteniendo los niveles de pH estables.

Teniendo en cuenta que el proceso de clarificación busca obtener un nivel de PH óptimo (6.8-7.2); el problema radica en la inestabilidad de toma de muestras manuales a diferentes horas y en tiempo real, ya sea en el tanque encalado como tanque clarificador, por diferentes operadores haciendo de este un proceso variable e impreciso.



Figura 1. Tanque Clarificador

## **Problema**

¿De qué manera el sistema de control automatizado mejorará el proceso de clarificación del jugo de la caña de azúcar en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.?

## **Hipótesis**

Si se implementa un sistema de control automatizado en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar en la empresa agroindustrial Pomalca S.A.A., el nivel de pH se mantendrá estable y se evitarán impurezas teniendo uno de mejor calidad.

## **Objetivo de Tesis**

### **OBJETIVOS PRINCIPALES**

Proponer un diseño de un sistema de control automatizado, el cual mejorará el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar manteniendo niveles de pH estables en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el funcionamiento del proceso de Purificación del jugo de caña de azúcar.
- Plantear a detalle el diseño para el sistema de control y monitoreo.
- Programar y simular el diseño de control y monitoreo.
- Validar el diseño por juicio de expertos.

## **Motivación del proyecto**

La elección de la presente investigación fue consecuencia de una serie de situaciones presentadas en investigaciones pasadas y problemática actual en la empresa, con esto no solo mejoraremos el proceso actual, también tiempo de vida de equipos y disminución de costos en la empresa.

Como investigadores, esto nos involucra a dar solución aplicando conocimientos de Ingeniería de control e instrumentación.

## **Justificación e Importancia**

El siguiente proyecto tiene como objetivo plantear un diseño, que pretende ser utilizado como sistema para la modernización en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar. Se ha hecho el estudio y diseño de la modernización del proceso de clarificación; además de mejorar la productividad, proteger al personal y alargar la vida de los equipos. Con el sistema diseñado se ha modernizado mayor parte de las tareas manuales que deben realizar los operadores, pudiendo así evitar errores humanos a futuro. Se programó la lógica de control con PLC, lo cual ha permitido realizar una simulación de todas las condiciones de operación. Se ha realizado Ingeniería Básica, Ingeniería de programación y simulación del proceso de clarificación.

## **Alcances del Estudio**

El presente proyecto comprende el diseño de un sistema de control el cual se controlara el nivel de cal que estará involucrado en el proceso tal como tener en cuenta el nivel de PH que se maneja en este.

# CAPITULO 2

## 2.1 Antecedentes

### 2.1.1 Antecedentes en la Empresa Agroindustrial Pomalca.

Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A dedicada a la elaboración de azúcar y a su exportación.

La constante necesidad de incrementar la producción de azúcar y tener una mejor calidad del producto el cual nos centraremos en el proceso de clarificación del jugo de la caña de azúcar que es parte de la elaboración de ello, lo cual demanda una mejora en el proceso que actualmente está basada por controles manuales, dicho sistema se basa mediante el color de dicho jugo y tiene una medición de pH de 6.8 – 7.2 el cual será un indicador para pasar al siguiente proceso se debe abrirse válvulas manualmente y se tiene un constante operador para este.

Cabe mencionar que el sistema manual tiene una prevención de fallas en los equipos u operaciones que puedan afectar la seguridad de dicho proceso o de las mismas personas, adicional a esto no se cuenta con los equipos de control e instrumentación adecuada.

### **2.1.2 Antecedente en la investigación propuesta en el proceso de Clarificación**

En la Investigación: **“PROPUESTA PARA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA, POR MEDIO DE CONTROLADORES DE LAZOS MÚLTIPLES”** realizada por CARLOS RENÉ OCHOA YUMÁN asesorado por el Ing. JULIO EDGAR CASTILLO ROJAS en el país de Guatemala (abril del 2008), asevero lo siguiente.

Desde hace mucho tiempo, se conoce el proceso de clarificación del jugo de caña por diversos métodos, los cuales para ser eficientes dependen en gran medida de la habilidad y experiencia de los operadores que se encargan de esta tarea.

Al diseñar un sistema de automatización adecuado para el proceso antes descrito, se pueden considerar las diferentes variaciones que se requieran en el proceso, ya que la dosificación de los diferentes químicos involucrados y parámetros como los tiempos de elevación de temperatura y otros dependen en gran medida de las condiciones atmosféricas, tipo de caña, impurezas en la cosecha, etc. Estos cambios en el proceso, pueden ser aplicados con simplemente presionar una tecla o escoger una receta dentro del controlador, mientras que para poder realizar el proceso manualmente, se requiere de una gran experiencia y habilidad por parte del operador y de las personas encargadas de realizar las pruebas de calidad de la meladura.

En el presente trabajo se pretenden estudiar los puntos más importantes que se deben considerar para la automatización del proceso de clarificación del jugo de caña, empezando por las bases teóricas en que se fundamenta el proceso para su ejecución; la teoría sobre la selección y funcionamiento de los elementos para sensor las variables del proceso, los elementos finales de control y los controladores considerados para la propuesta, hasta llegar a las estrategias de control requeridas para llevar a cabo el objetivo deseado.

### **2.1.3 Antecedente en la Empresa Cartavio S.A.A.**

En Agosto del año 1998 el paquete mayoritario de las acciones de Cartavio S.A.A es transferido a un nuevo socio, Azucarero S.A., momento en el cual se inicia un proceso de inversión y modernización de la empresa que colocó a la sociedad como una empresa líder en el mercado nacional en eficiencia y rendimiento.

Área de Elaboración: Automatización del área de Evaporadores y área de Clarificación de Jarabe bajo la plataforma PCS7 existente en planta; Alimentación de Jugo en Serie de Evaporadores; Instalación de dos máquinas de coser Unión Special para Azúcar Blanca y Rubia; Adquisición de dos máquinas codificadoras de bolsas VIDEO JET; Puesta en marcha de dos Sistemas de Ensaque de 50 Kg, Ensak II – Toledo Brasil, para la línea de Azúcar Blanca Directa; Adquisición de una Hidrolavadora para limpieza de tubos de cobre en Evaporadores; Instalación de 2 Calandrias tipo Panel de Abeja para el Tacho 2 y el Tacho 4; entre otros.

Asimismo, puntualizamos que se ha seguido con la implementación de un sistema de medición de gestión de procesos a puertas de obtener la Certificación ISO 9001 Y 22000, definiendo objetivos para cada una de las áreas de fabricación, las mismas que son monitoreadas mensualmente, permitiendo identificar problemas, plantear soluciones y hacer seguimientos de su ejecución.

Las eficiencias fabriles en el 2010 fueron: extracción 95.48%, retención 88.84% y recobrado 84.83%. Estos valores, menores que los del año 2009, indican que hubo una generación de miel B en mayor proporción alcanzando un valor de 5.69% de miel B por tonelada de caña.



Figura 2. Analizador de pH GLI Modelo P33



Figura 3. Sensores diferenciales de pH

## **2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO.**

### **2.2.1 Proceso de Clarificación**

El proceso de clarificación, sólo con cal y calor, era antiguamente uniforme en todo el mundo, pero se han efectuado muchas modificaciones, no sólo por la importancia que se da actualmente al logro de una clarificación más eficiente, sino también por la necesidad de dar tratamiento especial a los jugos difíciles de tratar que producen ciertas variedades de caña.

Las etapas del proceso y las modificaciones o variantes de cada una son las siguientes:

- Método de añadir la cal en el proceso encalado: como lechada, en forma discontinua o continua; como sacarato.
- Regulación de la cantidad de cal: pruebas periódicas; registro continuo del pH; alimentación automática mediante el control del pH.
- Momento en que se añade la cal: antes de calentar el jugo en los calentadores; “alcalización demorada” (aumento del tiempo de reacción antes de calentar); después de calentar; en fracciones, antes y después de calentar.
- Temperaturas: ebullición, sobrecalentamiento; calefacción en dos etapas.
- Momento en que el jugo cae a una determinada presión en el Tanque flash.

- Momento en que el jugo llega al clarificador.
- El tratamiento de espumas: filtración simple; filtración doble; retorno a los molinos; defecación por separado, o con jugos diluidos, como en la clarificación compuesta.

### **Inyección de la cal**

Consisten esencialmente en dos tanques para mezclar la cal equipados con agitadores y en los cuales puede mezclarse la cal con el agua a la densidad deseada, la que suele ser de 15 Baumé (148 g de CaO por la densidad de 1 litro, 1.116 g/ml). Sin embargo, sucede con frecuencia que el contenido de cal es menor, especialmente cuando se emplea la alcalización automática. Se puede utilizar cal viva en trozos, cal hidratada pulverizada, o cal viva en polvo, la que resulte más conveniente desde el punto de vista económico. La lechada de cal así preparada se bombea por el sistema de circulación a aquellos lugares de la fábrica donde sea necesaria. Se llena uno de los tanques mezcladores, y en él se apaga la cal, mientras se vacía el otro. Para apagar la cal y diluirla se deben utilizar condensados del tercero y cuarto vaso del evaporador. Los efectos de estas precauciones sobre la calidad de la lechada pueden ser tan grandes como los de la calidad de la cal original.

En la cual para la concentración de cal se tendrá en cuenta que dicha preparación estará compuesta por 75 kilogramos de cal por tonelada de jugo y dicha concentración ocupará el 60 – 65% de lechada de cal.

Para la concentración de jarabe se tendrá un aproximado de 430 litros de jarabe que ocupará el 35 – 40% de la lechada de cal.

El consumo por parte de la cal se tiene que son unos 1800 kilogramos de cal por día que vendrían a estar compuesta por 20 bolsas de cal por turno (8h turno) en la Empresa Agroindustrial.

## **Preparación de cal**

### **Acción de la cal sobre el jugo**

Se dejara de lado los fenómenos químicos que provienen de la reacción de la cal sobre el jugo. Los ácidos orgánicos del jugo se eliminaran porque sus sales de calcio son insolubles (ácido oxálico, tartárico, etc.) y as materias albuminoideas se coagulan. Una parte de los materiales pécticos y los materiales colorantes se destruyen o se insolubilizan Sin embargo, esta eliminación es relativamente insignificante porque la pureza del jugo defecado es, aproximadamente, la misma que la del jugo antes del tratamiento. El incremento de pureza es, generalmente, de 1 a 2 puntos: 83 a 84.5, por ejemplo. Algunas veces no se obtiene ningún incremento.

La purificación es, sobre todo, física. Se forma un precipitado fácil de observar en la probeta debido, sobre a todo, a materiales coagulados. Este precipitado arrastra las impurezas físicas al envolverlas.

### **Cal**

La calidad de la cal empleada es importante. En muchos países, en particular en Bourbon, se obtiene una cal muy impura, con 60%, aproximadamente, de CaO y que contiene una alta proporción de la arena de materiales no calcinados.

Debes evitarse, sobre todo, cales que contenga más del 2% de MgO o de óxido de fierro o de aluminio. Estas impurezas producen depósitos en el múltiple efecto; el magnesio dificulta la defecación.

- Si es posible debe exigirse menos del 1% de MgO.
- Una buena cal debe tener del 90 al 95% de CaO.

### **Control de pH**

El pH óptimo al que se debe llevar el jugo mediante la alcalización depende de muchas condiciones, la variedad y madurez de la caña, la capacidad del equipo de decantación y otras condiciones locales.

En general, resulta deseable agregar el mínimo de cal que produzca un jugo claro con una reacción final cercana a un pH de 7.0. En las áreas donde la caña no está completamente madura al cosecharse, los ácidos orgánicos del jugo mantienen el pH por debajo de 7.0 en el jugo claro. Si el pH de los jugos claros llega a 7.2 puede haber una adición excesiva de cal.

### **Temperatura permitida**

La temperatura final a la que se calientan los jugos en la clarificación varía 90 – 115°C a pesar de que el procedimiento más común consiste en calentar el jugo hasta un punto ligeramente superior a la ebullición.

Por lo general, se piensa que el sobrecalentamiento no resulta ventajoso y que las temperaturas ligeramente superiores a la ebullición, por ejemplo, 130 °C son las máximas admisibles para una buena práctica.

## **Floculantes en el proceso**

Las pruebas acumuladas indican que el contenido de fosfato en el jugo es el factor más importante para una clarificación eficiente. En la caña de azúcar, los fosfatos son de naturaleza inorgánica y orgánica. Los fosfatos inorgánicos existen como iones de fosfato libres, mientras que los fosfatos orgánicos existen en formas variadas.

Es comprensible que sólo los iones de fosfato libres tomen parte en la clarificación del jugo. Por lo tanto, los jugos con una cantidad adecuada de fosfatos inorgánicos son los más deseables.

Por lo general, un buen floculador mejora la floculación, aumenta la velocidad de decantación, reduce el volumen de cachaza, disminuye la Pol en la torta, y lo que es más importante, aumenta la transparencia del jugo clarificado.

## **2.3 Elementos de control**

### **2.3.1 Válvulas de control**

La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador. Constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones industriales. En la figura 3 se ve una válvula de globo con un actuador neumático de diafragma en donde se indican las diversas piezas que la constituyen

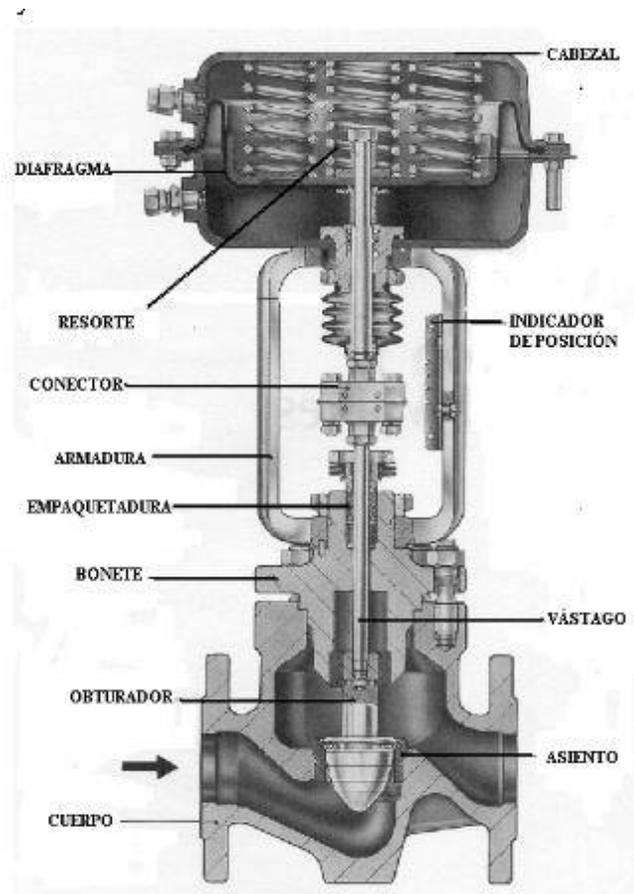


Figura 4. Corte de una válvula de control con sus partes

Esta válvula utiliza una señal externa que puede ser neumática o eléctrica y posteriormente transformada en una de tipo neumática que incide el cabezal.

Estos elementos se pueden considerar constituidos por dos partes:

- **Actuador:** recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) merced a un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.
- **Cuerpo:** el diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal. Con un

diagrama en bloques se puede representar a la válvula como un sistema en serie como se muestra en la figura 5.

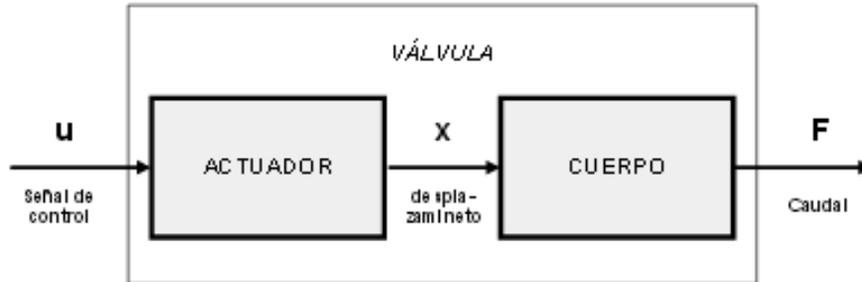


Figura 5. Diagrama de bloques de representación de válvula de control

Desde el punto de vista estático el actuador es moderadamente lineal y la dinámica más significativa es la de llenado del cabezal con una constante de tiempo del orden de los segundos. El cuerpo carece de retardo y la ganancia viene determinada por la característica de flujo como se verá.

### 2.3.2 Especificación de válvulas

Especificar una válvula de control implica determinar las características siguientes:

- **Cuerpo e internos:** indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar. También hay que indicar el diámetro que está relacionado con la capacidad y a esto se lo denomina dimensionamiento. Por último, algunos tipos de válvula permiten elegir la Característica de Flujo.
- **Actuador:** una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.

- **Accesorios:** corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.

### **Tipos de válvulas de control**

Existen diversos tipos de cuerpos, que se adaptan a la aplicación. Los que más se emplean en la práctica industrial se muestran en la tabla siguiente.

Teóricamente el tipo debe adoptarse en función de las necesidades del proceso, aunque a veces hay razones, económicas por ejemplo, que obligan a usar un tipo aunque éste no sea el más adecuado.

TIPO	CARACTERÍSTICA
<p data-bbox="483 310 553 338"><i>Globo</i></p> 	<ul data-bbox="695 310 1453 604" style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo en relación al Cv</li> <li>• Aplicación limitada para fluidos con partículas en sus suspensión</li> <li>• Diámetros hasta 24 pulgadas</li> <li>• Disponible en diversos modelos (simple y doble asiento, guiado en caja, etc.)</li> <li>• Existen tipos especiales para aplicaciones criogénicas, para vaporización, etc.</li> <li>• Rango de 35:1 a 50:1</li> <li>• Amplia disponibilidad de características de flujo</li> </ul>
<p data-bbox="461 630 574 657"><i>Mariposa</i></p> 	<ul data-bbox="695 630 1453 919" style="list-style-type: none"> <li>• Buena disponibilidad para grandes diámetros</li> <li>• Bajo costo en la versión estándar</li> <li>• Bajo costo en relación a Cv</li> <li>• Característica igual porcentaje salvo diseños especiales del plato</li> <li>• Susceptibles a cavitación y ruido</li> <li>• Baja pérdida de carga</li> <li>• Diámetros hasta 150 pulgadas</li> <li>• El cierre hermético requiere de recubrimientos especiales</li> </ul>
<p data-bbox="435 949 597 976"><i>Esférica (ball)</i></p>  <p data-bbox="444 1178 587 1205"><i>Tapón (plug)</i></p> 	<ul data-bbox="695 1075 1453 1339" style="list-style-type: none"> <li>• Característica igual porcentaje salvo que el obturador tenga una sección especial</li> <li>• Apta para el manejo de suspensiones muy viscosas o con fibras y sólidos</li> <li>• Requiere motores de gran tamaño</li> <li>• Precisan posicionadores</li> <li>• Deben ser extraídas de la línea para mantenimiento</li> <li>• Rango de 50:1</li> </ul>
<p data-bbox="467 1478 565 1505"><i>Sauers</i></p> 	<ul data-bbox="695 1499 1453 1728" style="list-style-type: none"> <li>• Ampliamente usadas para el manejo de fluidos corrosivos o erosivos</li> <li>• Construcción simple</li> <li>• Cierre hermético y las partes móviles no tienen contacto con el fluido</li> <li>• Limitado rango para presiones y temperaturas de trabajo</li> <li>• Rango de 3:1 a 15:1</li> </ul>

Figura 6. Tipos de Válvulas

### 2.3.3 Bombas dosificadoras

Las bombas dosificadoras se utilizan en muchos de los procesos industriales para aplicar una cantidad determinada de alguna solución e proporción a la magnitud de la señal de entrada (señal de control), y se divide en dos tipos principales que son:

- Electromagnéticas
- Electromecánicas

#### a) Bomba dosificadora electromagnética

El conjunto mecánico de una bomba dosificadora electromagnética está constituido del electro-imán, por su electrónica de mando y por los dispositivos de regulación: dispositivo mecánico de regulación de la cilindrada, aunque también, en varios modelos, dispositivo electrónico de regulación de la cadencia de funcionamiento.

En el esquema de principio de la figura 6, se ve que el electroimán genera directamente el movimiento lineal, en un sentido, del cuadro móvil. El retorno se efectúa por medio de los muelles de retroceso. La regulación de la cilindrada se obtiene por un tope mecánico regulable del enganche móvil en su fase de vuelta. La regulación de la cadencia se hace por medio de la electrónica de mando.

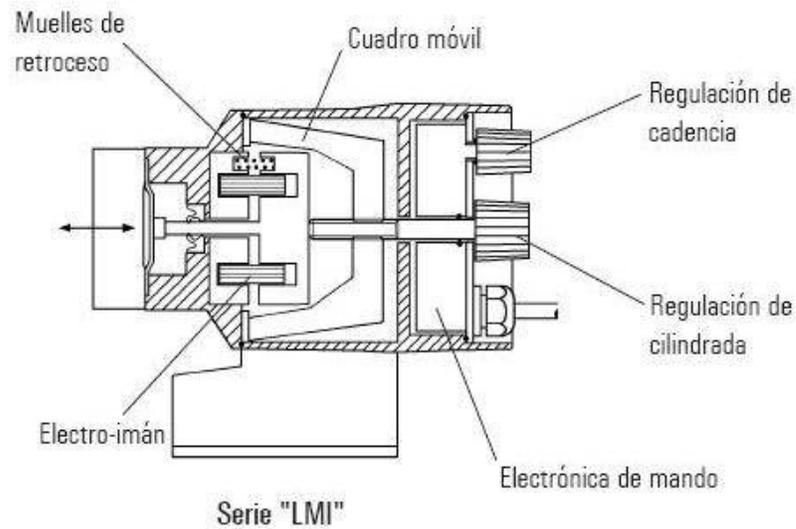


Figura 7. Componentes de bomba dosificadora electromagnética

b) Bomba dosificadora electromecánica

El conjunto mecánico de una bomba dosificadora electromecánica comprende:

- El reductor de engranaje (a menudo de tipo rueda y tornillo sinfín).
- El mecanismo de transformación de movimiento rotativo del sistema de arrastre en movimiento alternativo de la corredera.
- El dispositivo de regulación de la cilindrada.

Existen varios principios de funcionamiento:

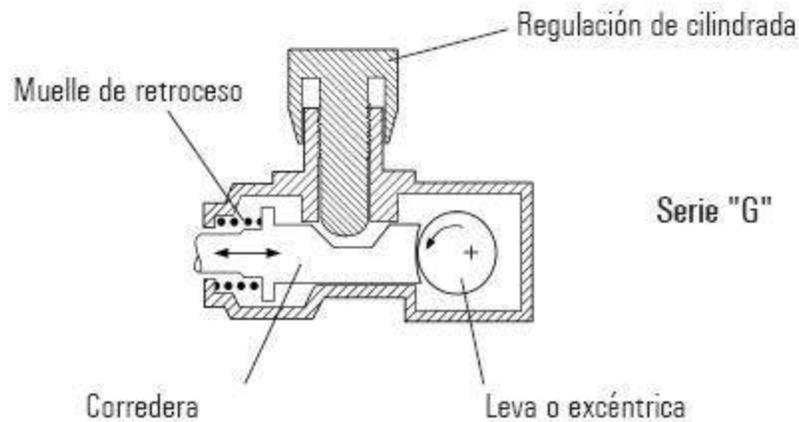


Figura 8. Componentes de bomba dosificadora electromecánica

La regulación de la cilindrada de la bomba se obtiene por reglaje del tope mecánico de la corredera en su fase de retorno. Este principio de diseño está muy generalizado y es realmente muy sencillo. Esta generalmente reservado por las bombas de potencia reducida, debido a los choques mecánicos e hidráulicos que se producen. La figura 8 ilustra el principio de una versión del principio de excéntrica variable, que concretamente es una versión con doble excéntrica. La variación de la cilindrada se obtiene por variación de la amplitud del movimiento sinusoidal del pistón; la bomba no genera choques hidráulicos ni mecánicos.

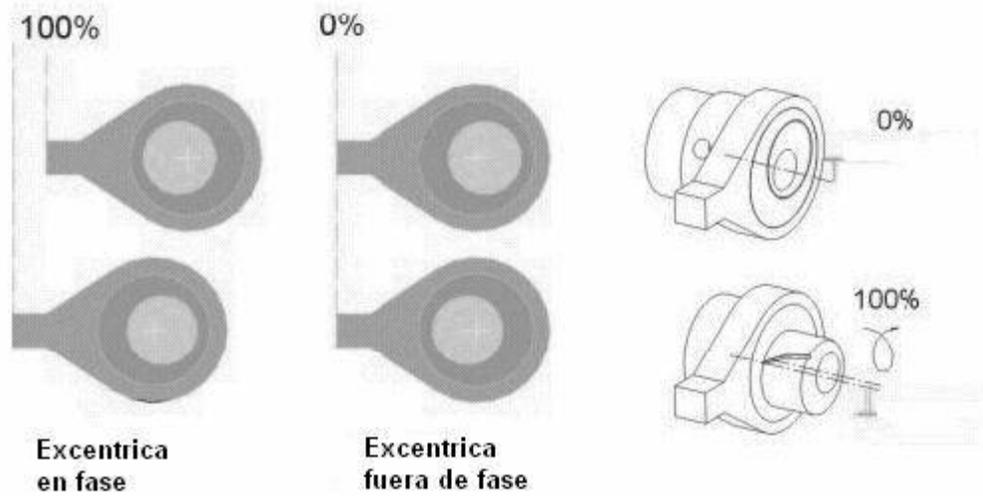


Figura 9. Principio de funcionamiento de la excéntrica de una bomba dosificadora

Aunque el principio descrito anteriormente es valedero sólo en los casos de dosificadores de membrana hidráulica, es posible efectuar una regulación de cilindrada por by-pass o división de caudal en el circuito de aceite de mando.

Las figuras más abajo ilustran este principio basado en el desacoplamiento hidráulico entre pistón y membrana, cuando el by-pass (o circuito de retroceso) está abierto y, a la inversa, acoplamiento hidráulico entre pistón y membrana cuando el by-pass está cerrado.

**By – Pass división de caudal:**

El circuito está cerrado durante la fracción del ciclo igual a la fracción deseada del caudal máximo. Ejemplo de una bomba regulada al 66%:

**1 - Impulsión 1er tercio:**

Circuito de retroceso abierto; no hay bombeo

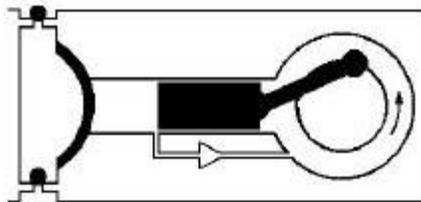


Figura 10.

**2 - Impulsión 2º y 3er tercio:**

Circuito de retroceso cerrado; impulsión 2/3 de la cilindrada

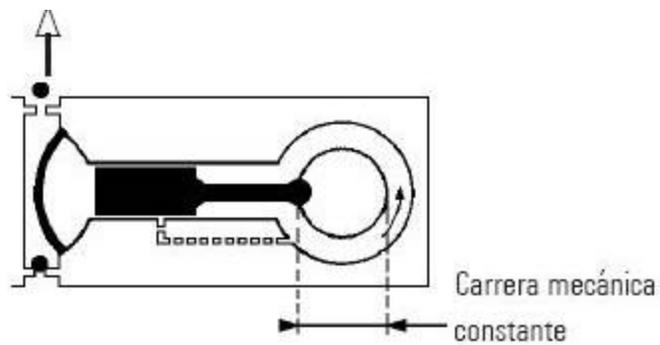


Figura 11.

3 - Aspiración 3er tercio:

Circuito abierto; no hay bombeo

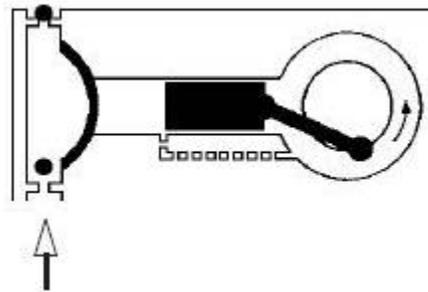


Figura 12.

4 - Aspiración 3er tercio:

Circuito abierto: no hay bombeo

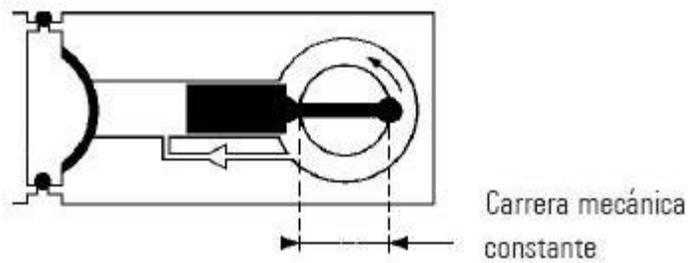


Figura 13.

En la regulación 0%, el circuito de regulación está abierto permanentemente. Toda la cilindrada generada por el pistón vuelve al *carter*. En la regulación 100%, toda la cilindrada engendradora por el pistón

es transmitida por la membrana al líquido bombeado. En este caso el circuito de retroceso al *carter* está cerrado permanentemente.

### Bombas dosificadoras de gran potencia

Para las mayores potencias, se utilizan mecanismos de regulación de la carrera que modifican la cinemática como muestra la siguiente figura:

- Sistemas de plato inclinable
- Sistemas de balancines

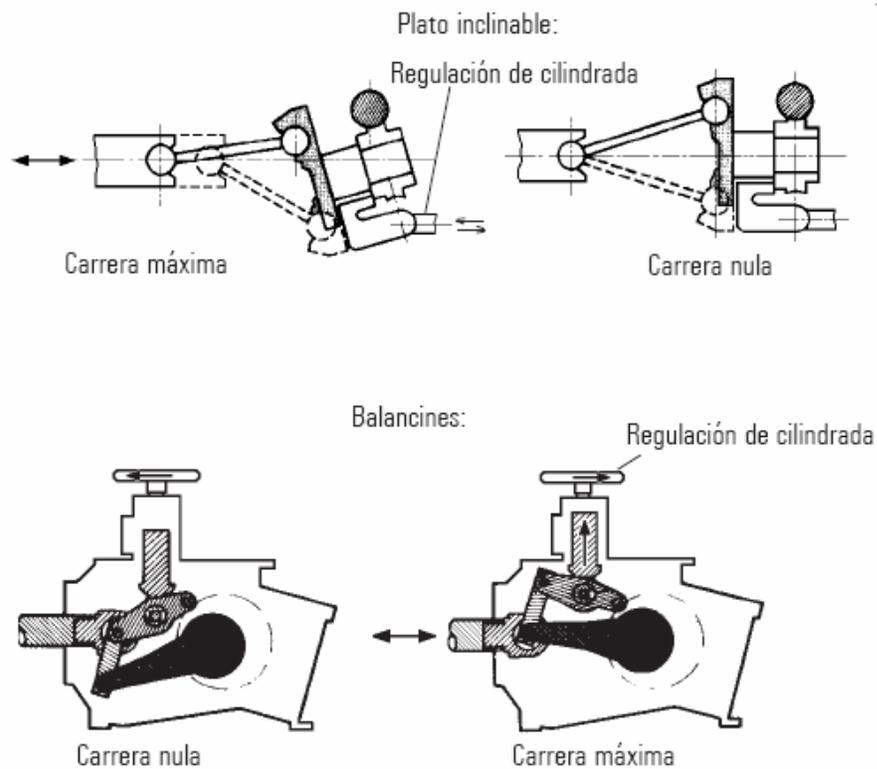


Figura 14. Funcionamiento de bombas dosificadoras de gran capacidad

## **2.3.4 Tipos de sensores**

### **Sensores de vidrio**

El elemento sensor de un electrodo de pH estándar de vidrio es una capa de gel de espesor submicrométrico dispuesta sobre una ampolla de vidrio. Esta capa puede incorporar iones  $H^+$  lo que implica un cambio en el potencial electrostático en la ampolla de vidrio. Esta variación en el potencial se mide con respecto a un elemento de referencia que está en contacto con el producto mediante el diafragma con el que se crea un lazo eléctrico cerrado.

### **Sensores ISFET**

El elemento sensor de un sensor ISFET es un chip semiconductor que constituye un transistor de efecto de campo de selectividad iónica. Este chip ISFET es especialmente sensible a los iones  $H^+$ . Al no ser de vidrio, los sensores ISFET no se rompen y, además, pueden tolerar concentraciones mayores de solventes orgánicos que los sensores de vidrio. Los sensores ISFET y los de vidrio utilizan los mismos tipos de diafragma y referencia.

### **Sensores con esmalte**

La ventaja principal de los sensores con esmalte es su robustez. Son unos sensores que presentan unos ciclos de calibración especialmente largos y requieren por tanto menos mantenimiento.

### 2.3.5 Electrodo de pH

	<b>Sensores de vidrio</b> <b>Orbisint</b> <b>CPS11/CPS11D</b>	<b>Sensores de vidrio</b> <b>Ceragel</b> <b>CPS71/CPS71D</b>	<b>Sensores de vidrio</b> <b>Orbipore</b> <b>CPS91/CPS91D</b>
			
<b>Rango de pH</b>	0 a 14	0 a 14	0 a 14
<b>Rango de temperatura</b>	0 a 135°C	0 a 135°C	0 a 110°C
<b>Presión máx.</b>	hasta 16 bar (con vidrio B)	hasta 13 bar	hasta 13 bar
<b>Conductividad mín.</b>	50 µS/cm	10 µS/cm	500 µS/cm
<b>Contenido orgánico</b>	< 20 vol%	< 20 vol%	< 20 vol%
<b>Material del eje</b>	vidrio	vidrio	vidrio
<b>Diafragma</b>	PTFE	cerámica	junta abierta
<b>Sistema de referencia</b>	relleno de gel	relleno de gel, doble cámara	referencia estabilizada de gel
<b>Opciones especiales</b>	para concentr. mayores de ácido fluorhídrico, medios contaminantes, versión BT con trampa iónica para productos contaminantes y versión con aro de sal	referencia presurizada, montaje cabeza abajo, CoC disponible	para productos que ensucian
<b>Aplicaciones</b>	agua, aguas residuales, procesos	farmacia, fermentadores, procesos	emulsiones, suspensiones, reacciones con precipitación

Figura15.

Sensores de vidrio Ceraliquid CPS41/CPS41D	Sensores de vidrio Orbipac CPF81/CPF81D*	Sensores de vidrio Purisys CPF201
		
0 a 14	0 a 14	0 a 14
0 a 135°C	0 a 80°C	2 a 75°C
10 bar con contrapresión	hasta 10 bar	3,45 bar
0,04 µS/cm	50 µS/cm	0,1 µS/cm
puede ser mayor según la aplicación	< 20 vol%	sin especificar
vidrio	vidrio	acero inoxidable
cerámica	PTFE	PTFE
relleno de líquido	relleno de gel, doble cámara	gel
	membrana plana	
agua ultrapura, grasas, colorantes, alimentación, procesos	aguas residuales, minería	agua pura

Figura 16.

	Sensores ISFET Tophit CPS471/CPS471D	Sensores ISFET Tophit CPS491/CPS491D	Sensores ISFET Tophit CPS441/CPS441D
			
<b>Presión máx.</b>	hasta 10 bar	hasta 10 bar	hasta 10 bar
<b>Rango de pH</b>	0 a 14	0 a 14	0 a 14
<b>Rango de temperatura</b>	-15 a 135°C	-15 a 110°C	-15 a 130°C
<b>Conductividad mín.</b>	10 µS/cm	500 µS/cm	0,1 µS/cm
<b>Contenido orgánico</b>	puede ser elevado según la aplicación	puede ser elevado según la aplicación	puede ser elevado según la aplicación
<b>Material del eje</b>	PEEK, sellador para chip	PEEK	PEEK
<b>Diafragma</b>	cerámica	junta abierta	cerámica
<b>Sistema de referencia</b>	relleno de gel, doble cámara	referencia estabilizada de gel	relleno de líquido
<b>Opciones especiales</b>	certificado 3A, CoC disponible		certificado 3A
<b>Aplicaciones</b>	productos no acuosos, galvánicos, farmacia, fermentadores, procesos	productos no acuosos, emulsiones, suspensiones, reacciones con precipitaciones	productos no acuosos, agua ultrapura, grasas, colorantes, alimentación, procesos

Figura 17.



Figura 18.

### 2.3.6 MEDIDORES DE pH Electrodo y Controladores

PH significa potencial Hidrógeno y se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) en soluciones acuosas; es decir nos da cuenta de cuan ácido o básico es un líquido. El rango de escala va desde 0 (ácido) a 14 (básico), siendo 7 el punto neutral correspondiente al agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a  $22^\circ\text{C}$ .

La medición de pH logra un mejor control cuando la medición se realiza en un tanque, especialmente en aplicaciones de neutralización, ya que es importante que se mezclen bien los reactivos con los fluidos a neutralizar.

En instalaciones en línea es recomendable no tener velocidades de flujo mayores de 1,5 m/seg. Velocidades demasiado altas pueden dar lecturas fluctuantes en la medición de pH y reducir la vida útil del electrodo. La temperatura es otro factor a tener en cuenta en la duración de los electrodos de pH, como regla general la velocidad de las reacciones químicas se duplican con cada incremento de 10°C desgastando el electrolito del electrodo, a mayor temperatura menor vida útil del electrodo de pH.

# CAPITULO 3

## 3.1 Diagnostico de la situación actual

Ante la evidente falta de control y calidad del jugo de la caña de azúcar en la empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A, se presenta el proceso de clarificación aquí planteado buscando detectar las causas de impurezas, que permitan a los productores azucareros el implementar los medios más adecuados para combatir el problema.

La situación en el proceso de clarificación se mostrara detalladamente en diagrama de bloques Figura 19.

## 3.2 Diagrama de bloque

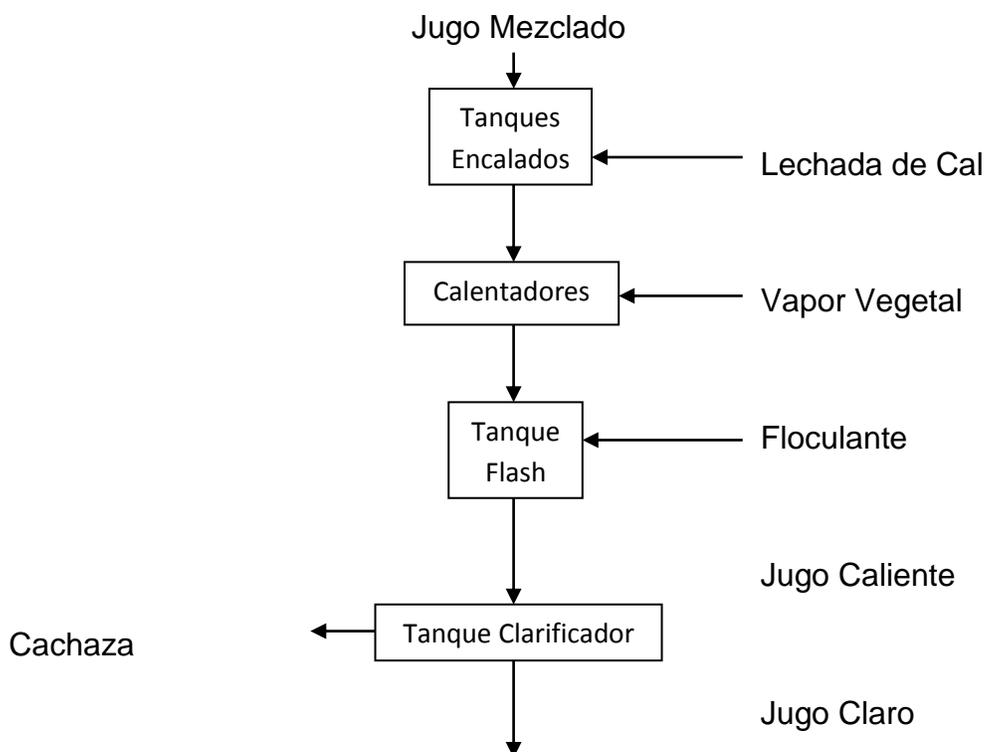


Figura 19. Proceso de Clarificación en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A

### 3.2.1 Jugo mezclado

Al ingresar la caña al proceso de molienda (trapiche) el cual tiene como finalidad la extracción tanto de jugo mezclado (materia prima principal), que es nuestro inicio en el proceso de clarificación, y de un residuo fibroso (Bagazo) que tiene fines de combustión, como se muestra en la figura 20.

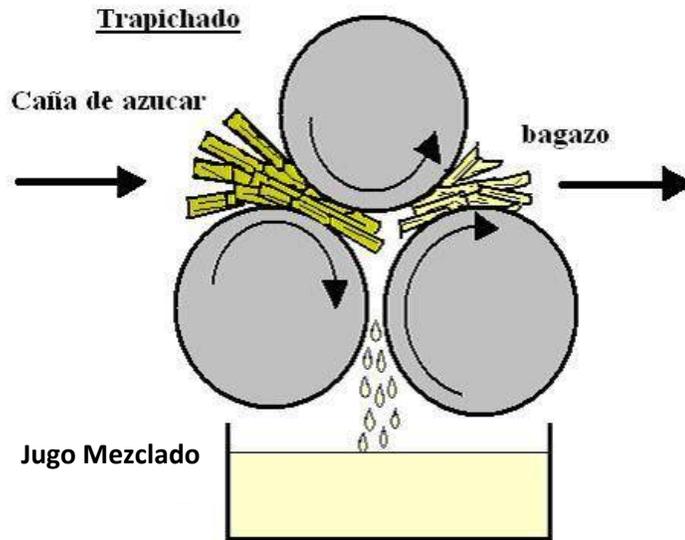


Figura 20. Jugo Mezclado de la caña de azúcar

### 3.2.2 Tanques Encalados

El jugo mezclado proveniente de los molinos, pasa a un tanque llamado encalado, donde es tratado con una solución cal ( $15^{\circ}\text{Baumé} = 25^{\circ}\text{Brix}$ ) con la finalidad de aumentar el pH de 5.3 - 5.5 hasta 7.8 y 8.2 aproximadamente (buscando neutralizar la acidez del mismo), este producto reacciona con los fosfatos contenidos en el jugo formando un compuesto con el nombre de fosfato tricalcico, que forma sales precipitables de gran superficie de contacto y por ende de gran poder en la clarificación de los jugos.



Figura 21. Tanques de encalado



Figura 22. Vasos comunicantes en los tanques de encalado

A continuación el siguiente diagrama muestra el proceso actual en los tanques encalados de la empresa agroindustrial Pomalca S.A.A.

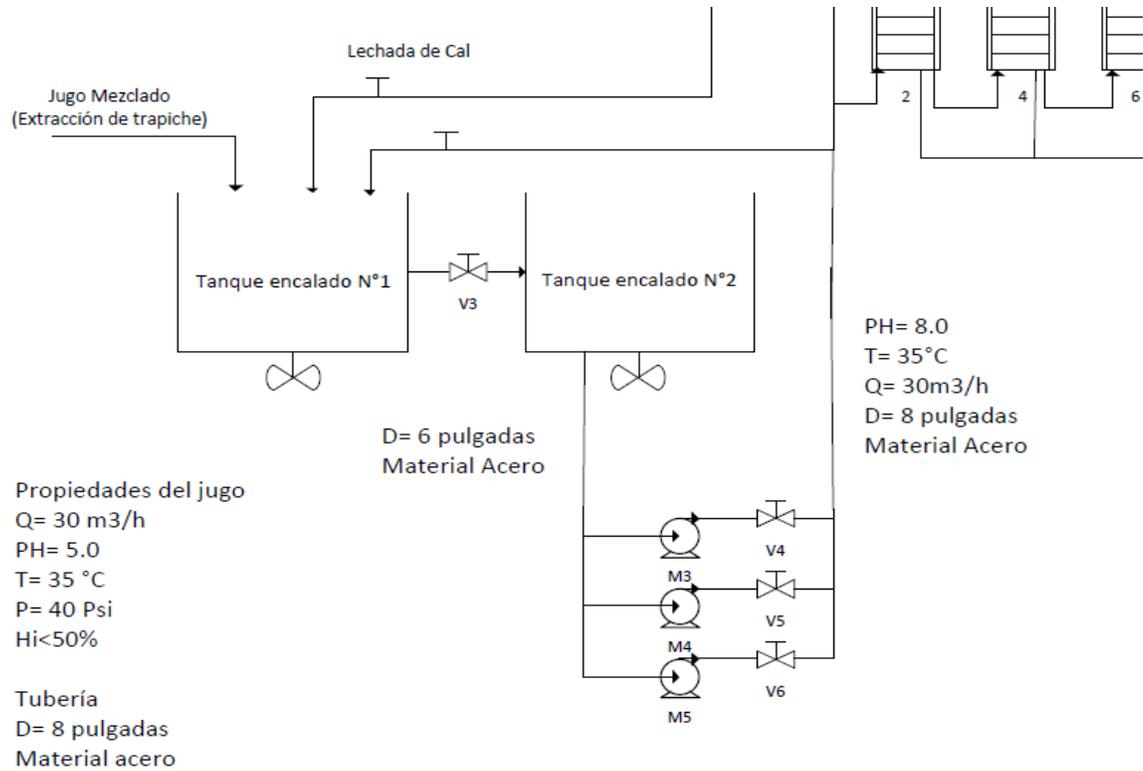


Figura 23. Proceso en los Tanques encalados en la empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A

### 3.2.3 Lechada de cal

Se agrega la cal en agua para utilizar una “lechada de cal”. Esta lechada de cal se dosifica directamente al proceso de purificación de jugo.

En muchas fábricas todavía se utiliza la cal directa agregándola en su estado sólido al jugo.

La solubilidad de la cal en el jugo aumentado con el porcentaje de azúcar y disminuye con temperatura A 80°, en un jugo que contenga del 10 a 12% de azúcar, se disuelve del 0,25% al 0,30% de CaO. Siendo esta disolución relativamente lenta y difícil no es indicado emplear la cal al estado pulverulento: Algunas fracciones del jugo se sobre encalan, mientras que otras se encalan insuficientemente.

Debe fabricarse inicialmente una lechada de cal deslavando la cal pulverulenta o cal viva en trozos, en el agua. Esta lechada de cal se mezclará en seguida al jugo; de esta manera su difusión será más rápida y su acción más regular.

La lechada de cal se fabrica en dos pequeños tanques uno de los cuales se vacía mientras se llena el otro. Estos tanques se provee de un agitador que gira de 8 a 10 rpm, de acuerdo con su diámetro, la capacidad de cada uno de los pequeños tanques debe corresponder a 1h 30min o 2h de marcha de la fábrica.

La adición de la cal en el tanque se hace manualmente mediante sacos de 75kg por hora (600 kg por turno), el turno consta de 8 horas laborables



Figura 24. Tanques de agitación de la cal



Figura 25. Preparación de cal

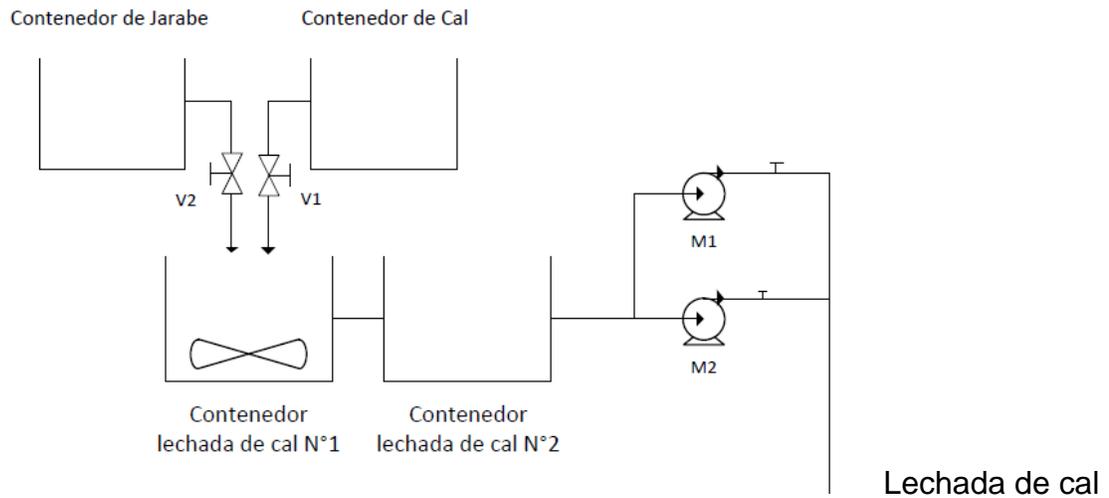


Figura 26. Preparación de lechada de cal

° Baumé	Densidad	Gramos de CaO por litro	CaO % peso	Kg agua empleados por kg de CaO
10°	1.075	94	8.74	10.4
15°	1.116	148	13.26	6.5
20°	1.162	206	17.72	4.6

Tabla 1. Densidad. En seguida se da la relación entre grados Baumé y las cantidades de la cal contenidas en la lechada:

La lechada de cal se fabrica siempre de 15° Baumé. Nunca se pasa de 20° Bé que corresponde al máximo más allá del cual las bombas y las tuberías se taponan frecuentemente.

Cuando se utiliza un regulador automático de pH, puede emplearse lechada de cal a 10° Bé cuando la dosis no debe pasarse de 5 a 6° Bé cuando la dosis es variable y se regula automáticamente; de lo contrario se tienen problemas frecuentes. En este caso, se mantiene la lechada entre 2 a 3° Bé.

### 3.2.4 Sacarato de Calcio

Se agrega la lechada de cal al jugo directamente para formar sacarato de calcio. Este sacarato de calcio se dosifica en línea al proceso, procurando hacerlo en un corto tiempo para evitar la pérdida de azúcares reductores.

En la preparación del sacarato de calcio en algunas ocasiones se adiciona 25kg por turno (8 horas) de lechada de cal directamente al jugo de caña de azúcar

### 3.2.5 Calentadores

Inmediatamente después de encalado el jugo, se bombea hacia los calentadores multi etapa, elevándose a una temperatura de 105 °C aproximadamente, con la finalidad de disminuir la tensión superficial del líquido y lograr una mejor separación de las partículas sólidas.



Figura 27. Calentadores

### **3.2.6 Vapor Vegetal**

Son los vapores generados durante la evaporación del jugo claro. Se utiliza en el proceso de evaporación para el calentamiento del jugo a partir de la finalización del proceso de encalamiento. Su temperatura puede llegar de 95 °C a 105 °C.

### **3.2.7 Tanque Flash**

Es importante calentar el jugo hasta por encima del punto de ebullición y luego permitir un enfriamiento por descompresión rápida o (flash). Esto permite remover el aire que pueda estar contenido en el jugo y asegura que el jugo llegue con temperatura constante a los clarificadores. En este proceso, el aire que pueda estar atrapado en partículas de bagazo o bagacillo también que pueda escapar, permitiendo la sedimentación de estas partículas y evitando su arrastre en el jugo clarificado.

El grado de sobrecalentamiento requerido no parece ser crítico. En general se piensa que debe utilizar un vapor objetivo de control 2-3 °C por encima del punto de ebullición, de manera que incluso con la divergencia alrededor del vapor objetivo, el jugo llegue siempre sobrecalentado al tanque flash. Mayores temperaturas se consideran innecesarias y sólo incrementaría el consumo de vapor de fábrica. Temperaturas muy por encima del vapor diseñado producen un flasheo excesivo que el tanque podría no estar en capacidad de manejar, causando arrastres y pérdidas de azúcar en la tanque flash. Generalmente la temperatura no debe exceder los 105 °C.



Figura 28. Tanque Flash

### **3.2.8 Floculante**

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el pH es un factor prominente en la acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

La solución floculante más adecuada a la naturaleza de los materiales en suspensión con el fin de conseguir aguas decantadas limpias y la formación de lodos espesos se determina por pruebas, ya sea en laboratorio o en el campo.

### 3.2.9 Tanque Clarificador

En este caso nos basaremos en este diagrama el cual muestra como es la secuencia del proceso en la clarificación del jugo en la empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., el cual comienza con la entrada del Jugo mezclado que se obtiene de la extracción del trapiche pasado por los tanques encalados saliendo con un nivel de 8PH pasando luego a los calentadores el que llevara al jugo a una temperatura de 95°C – 105°C luego pasara por el tanque flash el cual amortiguara la presión de la caída del jugo y por ultimo de almacenara el tanque clarificador



Figura 29. Tanque Clarificador

### 3.3 Propuesta de Solución

#### 3.3.1 Propuesta para un mejor control de lechada de cal

Dicha propuesta consta como observamos en la figura 30. En el diagrama se observa un control de válvula regulable con un controlador y un transmisor de Brix (concentración), el cual hará ajuste en la preparación de lechada de cal.

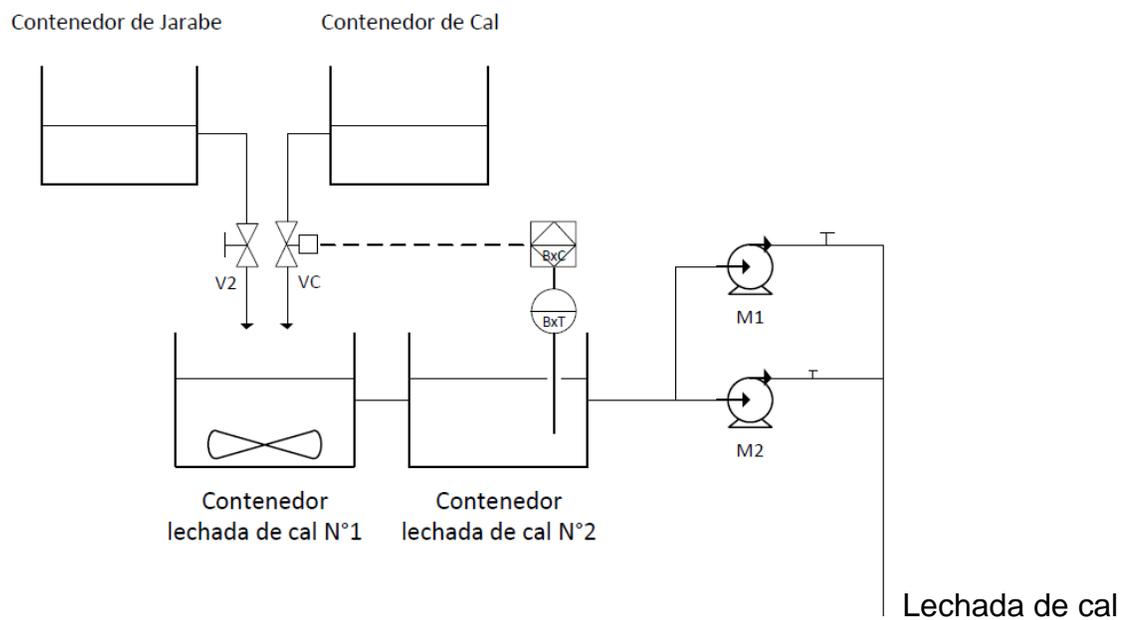


Figura 30. Preparación de la lechada de cal (Propuesta)

Para esto se tendrá en cuenta grados Baumé (concentración y densidad), en esta ocasión mediremos el nivel de sacarosa tomando como referencia grados Brix ya que no se cuenta con la instrumentación para medir concentración en grados Baumé.

### 3.3.2 Propuesta para mejorar el pH en los tanques encalados

La propuesta mostrada consta en mantener un pH constante mediante la lechada de cal y un retorno de la salida del jugo encalado, para esto deberemos hacer uso un controlador el cual constará de un PLC, que mediante un transmisor enviará valores a éste, el cual tendrá como función regular con una válvula la salida de la lechada de cal, como se muestra en la figura 31.

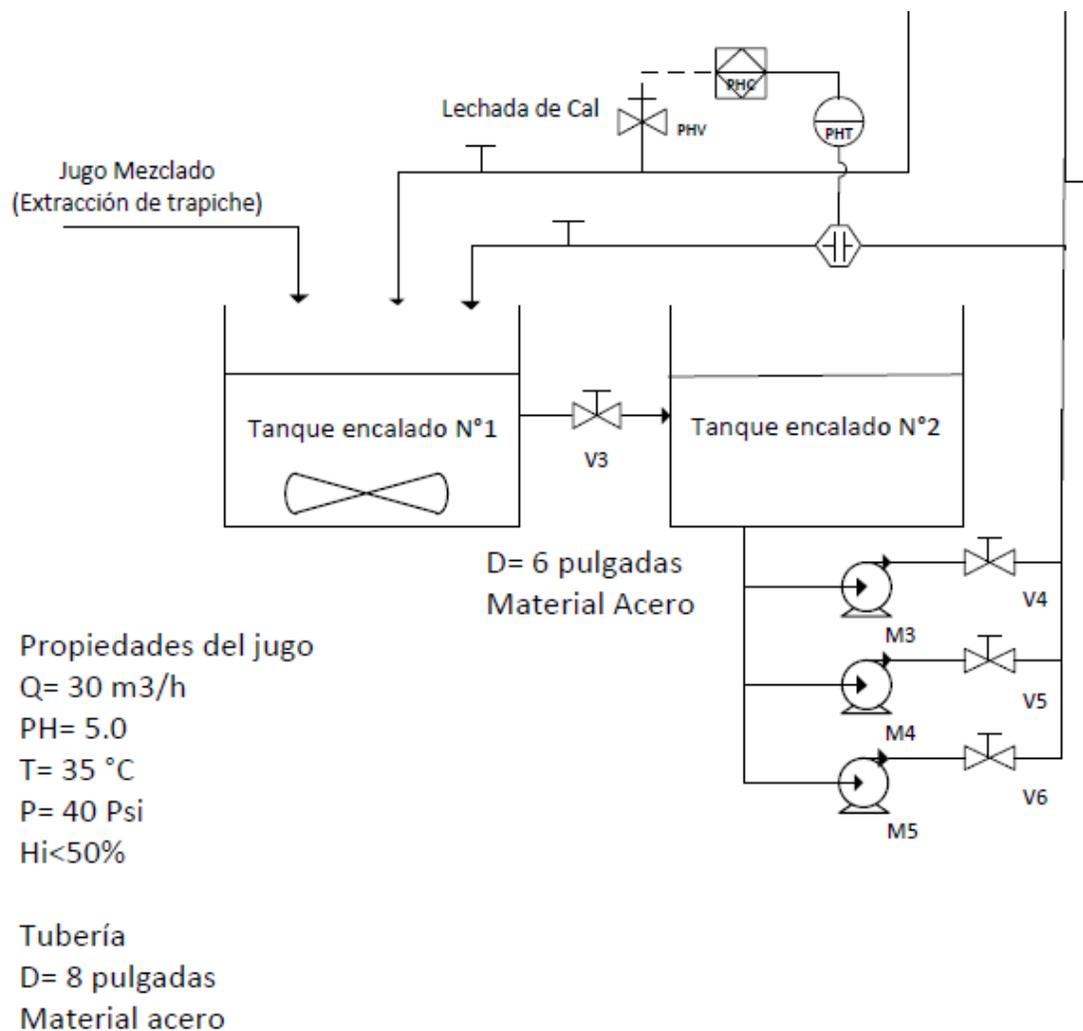


Figura 31. Proceso en los tanques encalados (Propuesta)

### 3.4 Premisas de solución

La solución planteada en nuestro estudio tiene como finalidad brindar facilidades como seguridad, flexibilidad y administración en el proceso de clarificación. Además de mejorar la productividad, proteger al personal y alargar la vida de los equipos. Con el sistema diseñado se ha modernizado la mayor parte de las tareas manuales que deben realizar los operadores, pudiendo así evitar errores humanos.

Tomando en cuenta que en nuestro planteamiento tendremos lo siguiente:

- Mejora en el sistema de la preparación de la cal en la cual se tendrá en cuenta la relación que se debe tener entre concentración de cal y jarabe considerando la medición de brix.
- En el proceso de encalado en cual se deberá mantener una concentración en el cual se obtenga como salida de los tanques encalados una medida de 8 pH el cual será ideal para tener una mejor calidad de jugo en el tanque clarificador.
- Se tendrá también en cuenta el retorno del jugo que sale de los tanques encalados para poder obtener una mayor aproximación al nivel de pH establecido y así poder mantener la constancia del proceso.
- Como último punto se tomara en cuenta la medición del pH al final de dicho tanque clarificador.

### **3.4.1. Limitaciones o alcances de diseño**

La propuesta mencionada no se tomara en cuenta la parte del proceso de calentadores debido a que actualmente cuenta con un pequeño sistema de monitoreo en el cual se da a conocer las mediciones de dichos calentadores el cual se obtiene como rango determinado de 95 °C – 110 °C.

En el tanque clarificador, solo se tomara la medición y sensor constantemente la salida del jugo, mediante eso se podrá prevenir el nivel de PH y claridad del jugo en los procesos anteriores.



A continuación, pasos a seguir para obtener valores de estabilidad en el sistema a través de nuestra función de transferencia, simulando está en software matlab (simulink), como la implementación de equipos usados en el proceso final.

#### **4.1.2 Función de Transferencia para nuestro sistema de control automatizado**

Para nuestro sistema de control automatizado será necesario el hallar variables que mantengan nuestro proceso estable según lo requerido para obtener una mejor calidad del producto, para esto se usó variables que intervinieron en el modelado del sistema de concentración del jugo de caña de azúcar fueron el caudal de entrada a cada efecto, la presión en cada efecto, la temperatura en cada efecto, el área de intercambio de cada efecto, la altura del fluido en cada efecto, los coeficientes globales de transferencia de calor en cada efecto, las entalpías de vaporización y el volumen de cada efecto, donde se resuelve el control de un sistema de para obtener el grado de concentración de azúcar a partir de un control PID.

Las funciones de transferencia de los contenedores de lechada de cal presentada, se hayan luego de trabajar matemáticamente con las funciones de transferencia de cada componente del sistema de control del concentrador en cuestión. Luego de aplicar técnicas de reducción, se determina la función de transferencia del sistema de concentración de azúcar, descrita por la sgte. ecc.

$$\frac{0.00158}{13.31s + 0.0561}$$

Fig. 33: Modelado del sistema de concentración (Brix) completo

$$= \frac{19.74}{s^2 + 11.1s + 20.5}$$

Figura 34. Modelamiento del sistema pH completo

$$K_p = 15.18$$

$$T_i = 0.0275$$

$$T_d = 0.1099$$

$$K_i = 138.189$$

$$K_d = 0.417$$

**Sistema Lazo Abierto**

$$\frac{0.417s^2 + 15.18s + 138.189}{s}$$

**Sistema Lazo Cerrado**

$$\frac{824s^2 + 301s + 2427}{s^3 + 836s^2 + 322s + 2427}$$

## 4.2 Software para el diseño del proceso

### Diseño de proceso de Clarificación

Tomando el software como diseño Microsoft Visio 2010. Este programa nos facilitara el diseño, ya que cuenta con una plataforma en la cual podemos tener en cuenta los parámetros de dicho proceso de clarificación como se muestra en la figura 55 y Figura 56.

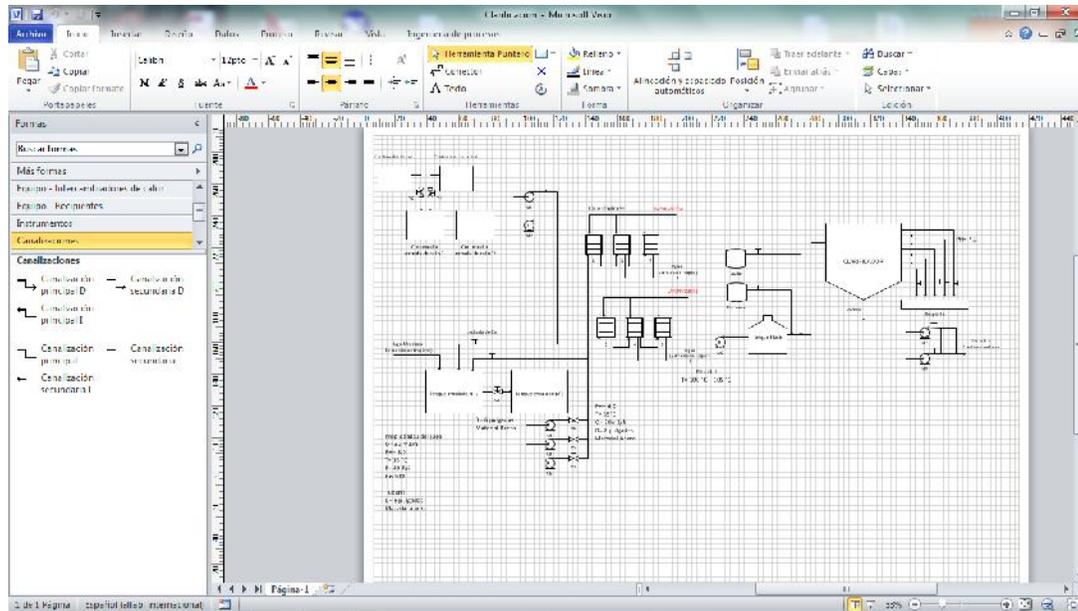


Figura 35. Diseño en Visio 2010 (Proceso de Purificación)

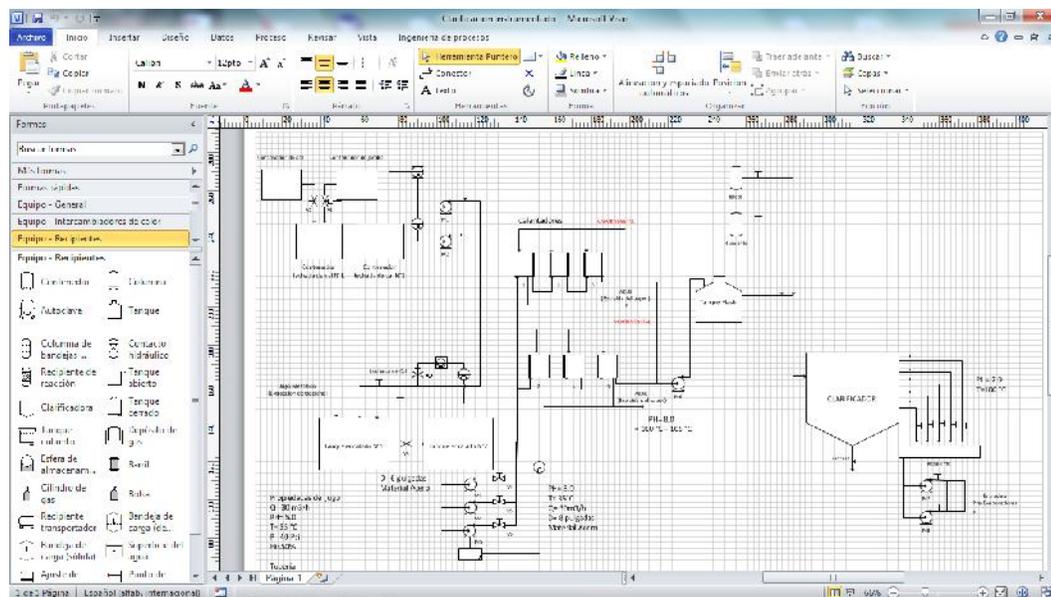
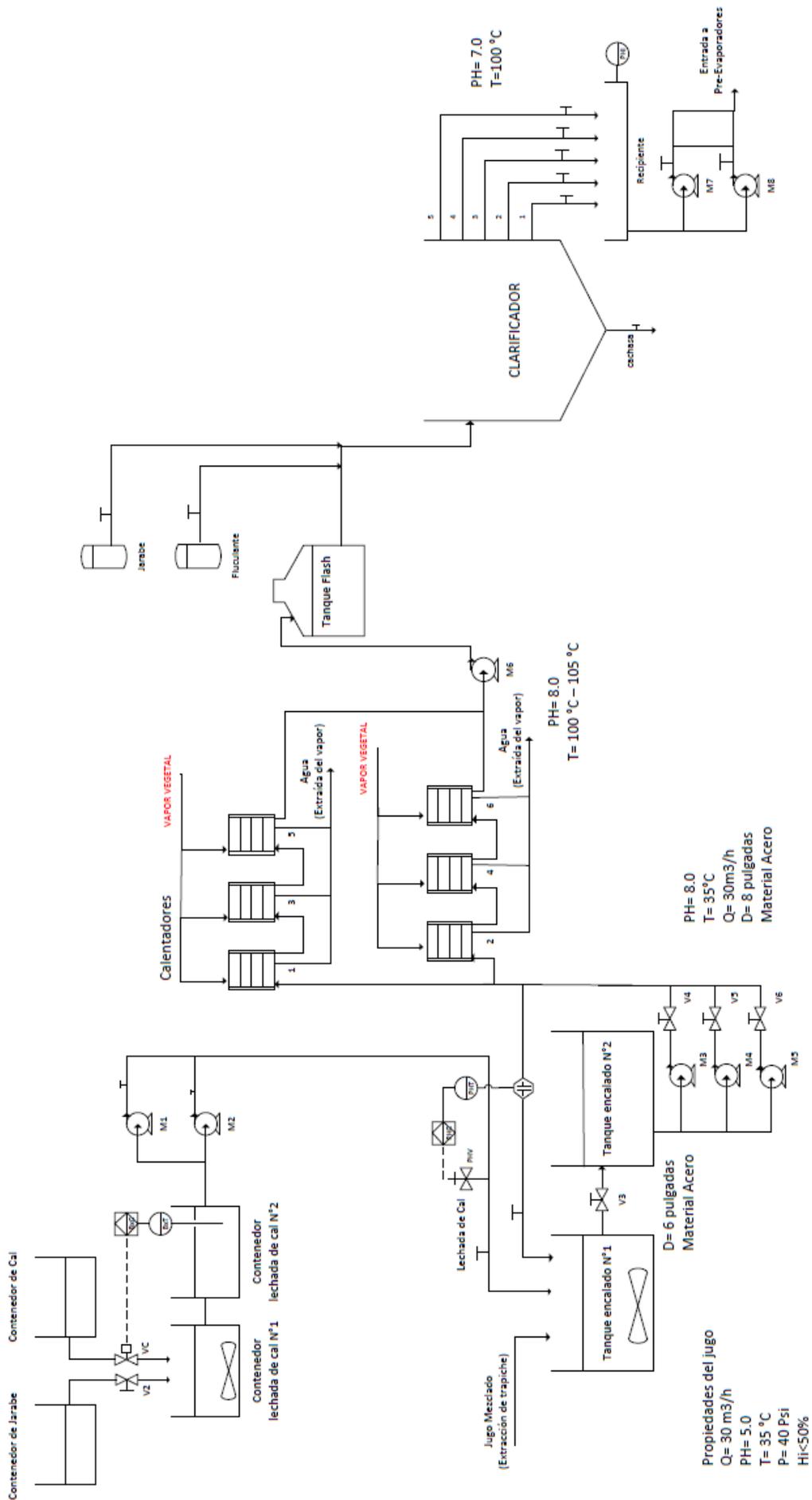


Figura 36. Diseño Visio 2010 (Proceso de Purificación Instrumentado)





## 4.3 Selección de equipos en la preparación de sacarato de calcio

### 4.3.1 Transmisor Inteligente de Concentración/ Densidad smar – DT301

El DT301 es un instrumento desarrollado para la medición continua, en línea de densidad y concentración de líquidos en procesos industriales. Su tecnología pionera, consiste de un transmisor de presión diferencial tipo capacitivo acoplado a un par de diafragma de presión inmerso en el proceso.

Se usa un sensor de temperatura entre los dos repetidores de presión para compensar las variaciones de temperatura del fluido del proceso. Un software dedicado, mediante un algoritmo, calcula la densidad del fluido. Dependiendo del proceso industrial, la densidad puede expresarse en  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{g/l}$ ,  $\text{lbm/ft}^3$  y concentración en grados Brix, grados Gay-Lussac, grados Baumé, grados Plato, etc.  $1.1 \text{ g/cm}^3 = 25^\circ \text{ Brix}$ .

Diseñado para aplicaciones en control de procesos, este transmisor a 2 hilos genera una señal de 4-20mA proporcional a la concentración /densidad. Tiene capacidad de comunicación digital para calibración remota y monitoreo.



Figura 39.

## Instalación y Montaje

La instalación del DT en tanques es bastante simple, pudiendo ser instalado en la parte lateral del tanque o en la tapa. En casos de tanques con agitador se utiliza una vaina de protección para evitar turbulencias en los diafragmas.

El DT opera con otros tipos de montaje, tales como montaje en tanque abierto y montaje con un cilindro de extensión. Recordando que para que el DT funcione correctamente en estos modos de montaje, el nivel del fluido a ser medido tiene que ser controlado para que cubra ambos sensores.

También es posible el montaje con la varilla volteada hacia arriba, y el DT operando en modo inverso.

## Modelo Industrial

Los montajes típicos del DT en tanques pueden ser con conexión bridada de 4" ANSI B 16.5 RF # (150, 300). Observamos las figura 40.

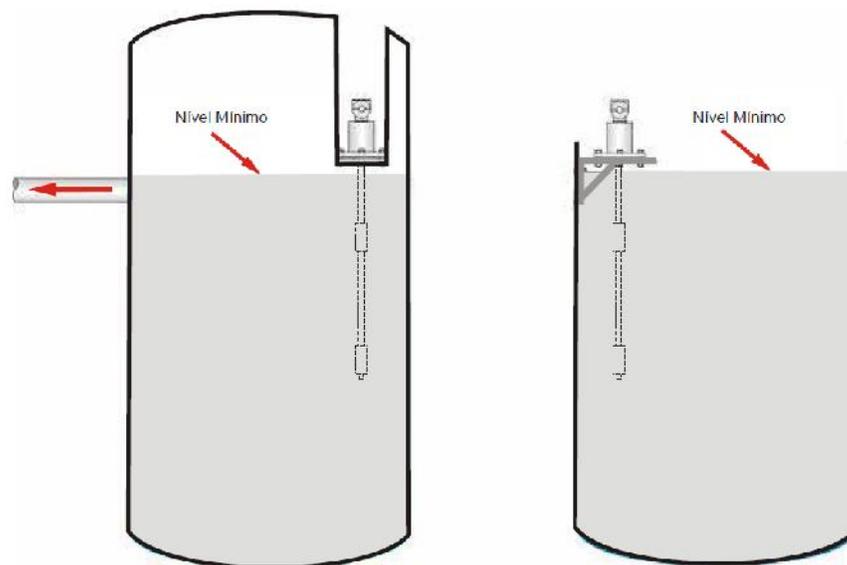


Figura 40.

### Algunas Características:

<b>Entrada</b>	Rango 1: 0.5 a 1.8 g/cm <sup>3</sup> Rango 2: 1.0 a 2.5 g/cm <sup>3</sup> Rango 3: 2.0 a 5.0 g/cm <sup>3</sup>
<b>Salida</b>	Salida 2 hilos, 4-20 mA con señal de comunicación digital superpuesta (Protocolo HART)
<b>Exactitud</b>	Rango 1: ±0.0004 g/cm <sup>3</sup> (±0.1 °Bx) Rango 2: ±0.0007 g/cm <sup>3</sup> Rango 3: ±0.0016 g/cm <sup>3</sup>
<b>Alimentación Eléctrica</b>	12 a 45 Vdc
<b>Indicación</b>	Indicador tipo LCD de 4½ dígitos y 5 caracteres alfanuméricos
<b>Partes Húmedas</b>	Acero Inox 316 SS o Hastelloy
<b>Límites de Temperatura</b>	Ambiente: -40 a 85 °C (-40 a 185 °F) Proceso: -20 a +150°C (-4 a 302°F)
<b>Límites de Presión Estática</b>	70 kgf/cm <sup>2</sup> (7MPa) (1015 PSI)
<b>Límites de Humedad</b>	0 a 100% RH
<b>Conexión a Proceso</b>	Modelo Industrial: Brida 4" ANSI B16.5 y DIN en Acero Inox 316 Modelo Sanitario: Tri-clamp Acero Inox 304 - 4"
<b>Certificación en Áreas Clasificadas</b>	Certificación a prueba de explosión, a prueba de intemperie e intrínsecamente seguro, estándar CENELEC y FM (pendientes).
<b>Montaje</b>	En línea con configuración del equipo recta o en tanques con configuración curva.
<b>Peso</b>	Modelo Sanitario: 4.5 kg (10 lb) - Modelo Industrial: 8 kg (18 lb)

#### 4.3.2 PLC Siemens – SIMATIC S7 - 1200 (CPU 1215C - 6ES7215-1AG40-0XB0)

SIMATIC S7-1200, CPU 1215C, CPU compacta, DC/DC/DC, 2 puertos PROFINET, E/S integradas: 14 entradas digitales 24 V DC; 10 salidas digitales 24 V DC; 0,5A; 2 entradas analógicas 0-10V, 2 salidas analógicas 0-20 mA, alimentación: 20,4 - 28,8 V DC, memoria programa/datos 100 KB

La CPU compacta SIMATIC S7-1200 1215C DC/DC/DC - 6ES7215-1AG40-0XB0 de Siemens dispone de 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y 2 entradas analógicas. La tensión de alimentación es de 20,4...28,8V DC. Hay disponible 2 puertos PROFINET para la comunicación y programación. Gracias a sus 100 kB de memoria para guardado de datos y programa, la compacta CPU 1215C DC/DC/DC - 6ES7215-1AG40-0XB0 es óptima en todas las industrias en múltiples tareas de control.



Figura 41. PLC Siemens S7-1200

## Características del PLC

Tipo	SIMATIC S7-1200 CPU 1215C
Tipo	DC/DC/DC
Entradas digitales	14 (de ellos 6 High Speed Counting)
Entrada analógica	2 (0-10V)
Salidas digitales	10 (4;100 kHz Impulsfolge)
Salida analógica	2 (0-20mA)
Guardado de datos	100 kb
Voltaje de entrada / suministro	24 V DC
Rango admisible	20,4...28,8 V DC
para señal "0"	5 V DC a 1 mA
para señal "1"	15 V DC a 2,5 mA
Área de aplicación	1 mA
Salidas de corriente continua	0,5 A
Montaje	Carril DIN 35 mm
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	130 x 100 x 75 mm
Temperatura ambiente mín.	-20
Temperatura ambiente máx.	60
Protección	IP20
Reloj de tiempo real	si
Comunicación	PROFINET
Software	STEP7 Basic V13 o superior

### 4.3.3 VÁLVULA BRAY - DOBLE EXCÉNTRICA - ALTAS PRESTACIONES Serie 40-45

Válvula de alto rendimiento, para trabajar a altas presiones y productos corrosivos. Apropriada para procesos de alta responsabilidad y seguridad.

#### Características

##### GAMA

Tipos:	Wafer, Lug y Doble Brida
Tamaños:	2.1/2" ...60" (DN-65...DN-1500)
Rating:	Serie 40/41 Clase 150/PN-10/16/25
Temperatura:	Serie 42/43 Clase 300/PN-25/40 Serie 44/45 Clase 600/PN-40/63 -29°C...260°C

##### MATERIALES

Cuerpo:	Carbono A216 WCB/A516 gr. 70 A351 CF8M, Bronce Al-Ni, Super Duplex
Asiento:	RTFE/PTFE con junta de silicona energizante
Eje:	17-4 PH, Modelo K500
Disco:	Inox. A351 CF8M, Bronce Al-Ni, Super Duplex
Estopada:	PTFE/Fibra Carbono/Grafito

## Diseño

Robustez de diseño disco-eje.

En esta oportunidad para la para dicha aplicación hemos optado por la válvula de 10" que servirá en nuestro proceso.



Figura 42. Válvula Bray serie 40/45

El primer desplazamiento del eje respecto del disco (figura 47) favorece la continuidad del asiento.

Por su forma cónica del disco favorece la estanqueidad y la posibilidad de trabajar a altas presiones.

En el segundo desplazamiento el disco se despega del asiento del cuerpo al iniciar el movimiento de apertura reduciendo considerablemente el par de maniobra de la válvula (figura 43).

La válvula puede pasar de una presión alta a una baja cerrando sin fugas.

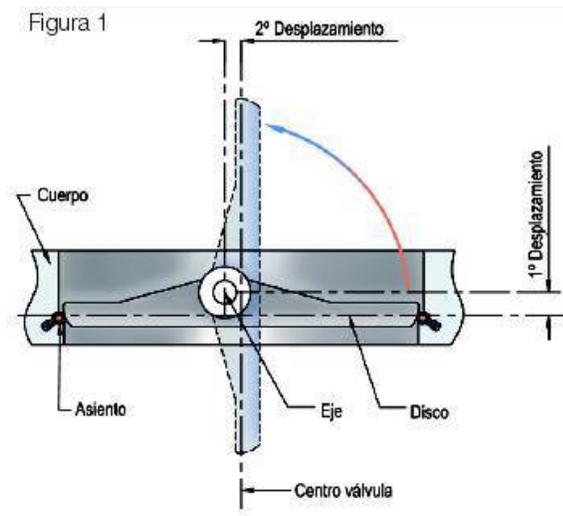


Figura 43.

Cierre bidireccional. La válvula cierra en los dos sentidos (figura 44)

La presión del fluido desplaza la junta del disco hacia un sentido u otro y siempre cierra con fugas cero. La junta interior de silicona energizante efectúa la recuperación del Teflón al abrir la válvula.



Figura 44.

### Fire Safe

Diseño opcional previsto de un asiento adicional metálico (Inconel 718) que proporciona estanqueidad, cuando el asiento de material blando ha sido destruido por el fuego, el asiento metálico puede hacer su función de cierre bidireccionalmente, tal y como puede verse en la figura 45.



Figura 45.

## Especificaciones de solenoide en válvula Bray

<b>Presión de suministro [Máx.]</b>	20 - 102 psi (1,4-7 bar)
<b>Consumo de aire (80 psi)</b>	<0,00035 scfm (0,00275 sccm)
<b>Señal de entrada</b>	
Análoga	4-20 mA CC
BUS	HART, Foundation Fieldbus, Profibus PA
<b>Conexiones</b>	
Suministro	NPT de 1/4" (G de 1/4")
	Señal (2 entradas de conductos) NPT de 1/2" (M20x1,5)
<b>Resolución</b>	<0,05%
<b>Repetibilidad</b>	0,32%
<b>Histéresis</b>	<0,2%
<b>Rango de temperatura</b>	-22 °F(-30 °C) a +176 °F(+80 °C)

### 4.4 Selección de equipos en los tanques encalados

Para la selección de equipos se tendrá en cuenta los parámetros mencionados que desarrollan los investigadores a continuación mencionaremos dichos equipos:

#### 4.4.1 Sensor Diferencial de pH

- a) El sensor de pH u ORP usa un diseño de técnica Electrodo diferencial, el uso de dos electrodos para comparar el valor de proceso a una referencia interna estable.
- b) El sensor tiene un cuerpo en forma hexagonal para facilitar el montaje, ha sido construido por material PEEK® de química excepcional resistencia y resistencia mecánica. Este material deberá activar el sensor de ser instalada en accesorios metálicos sin fugas por lo general causada por la calefacción y la refrigeración ciclos cuando materiales diferentes son enroscadas juntos.
- c) Los componentes electrónicos incorporados del sensor deberá estar completamente encapsulado para la protección de la humedad y la humedad.
- d) El sensor tendrá un preamplificador incorporado para permitir que la señal a transmitir hasta 3000 ft. (914 m) con cableado estándar.
- e) La señal del sensor tendrá una integral sensor de temperatura para automáticamente compensar a los valores medidos para cambios en la temperatura de proceso
- f) El sensor deberá incluir una planta de titanio electrodo (estándar) para eliminar la tierra corrientes de bucle en los electrodos de medición.
- g) El sensor será GLI International, Inc.

PDXP-series Modelo para la medición de pH o RDXP-series Modelo para la medición de ORP.

## Especificaciones

### Materiales Húmedos

Operaciones en rango de temperatura : 23 a 203°F (-5°C a +95°C)

Velocidad de flujo máxima : 10 pies (3 m.) Por  
segundo

Construido - en el elemento de temperatura :

NTC 300 ohm termistor para automática compensación de temperatura y  
analizador de temperatura de lectura

Rango De Medición : 0pH – 14pH

Sensibilidad : Menos de 0,005 pH

Estabilidad : PH por 24 horas, no  
acumulativo

Máxima distancia de transmisión : 3000 pies (914 m.)

Cable del sensor (integral : 5 conductores (más dos  
escudos aislados) Cable con XLPE (reticulado polietileno) la chaqueta; nominal  
a 302 ° F (150 ° C); 15 ft. (4,5 m) de longitud estándar



Figura 46. Sensor de pH

Para su instalación



(optional protector pictured)

Material	Part Number
CPVC	MH434A00B
316 SS	MH414A00B

Material	Part Number
CPVC	MH236B00Z

Figura 47. Montaje

Por encima de hardware incluye 1 pulgada. Por 4 pies. Tubo largo y 1 pulgada x 1 pulgada x 1 pulgada acoplamiento NPT en respectiva materiales, y el tubo de montaje de conexiones caja con regleta de terminales.

Por encima de la barandilla de hardware incluye 1-1 / 2 pulgadas de diámetro por 7.5 pies de largo. CPVC, y un única giratoria / pivotante / tubo abrazadera de montaje.

El flujo a través del montaje



Material	Part Number
CPVC	MH334N4NZ
316 SS	MH314N4MZ

Hardware includes a standard 1-inch tee in respective material.

Figura 48.

## Unión de montaje



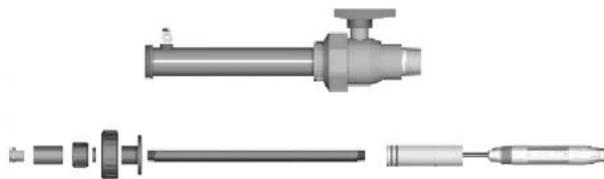
Material	Part Number
CPVC	MH536N4NZ
316 SS	MH516N9Z

Hardware includes standard 1-1/2 inch tee, special union pipe with adapter, sealing hub, and lock ring in respective material, and Viton® O-ring.

Figura 49.

## Inserción de montaje

FIGURE 4 Insertion Mount

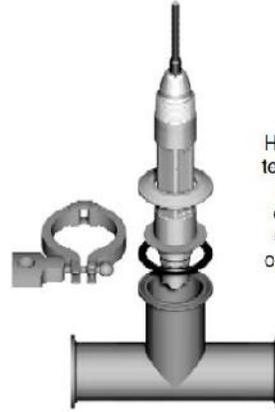


Material	Part Number
CPVC	MH736M4MZ
316 SS	MH716M4MZ

Hardware includes a 1-1/2 inch ball valve in respective material, 1-1/2 inch NPT close nipple, sensor adapter with two Viton® O-rings and wiper, extension pipe, pipe adapter, back tube, and lock ring.

Figura 50.

## Montaje final



Material	Part Number
316 SS	MH018S8SZ

Hardware includes 2-inch sanitary tee and heavy duty clamp. Special cap (70F1037-004) and EPDM compound gasket (9H1327) are supplied with sensor but can be ordered separately as spare parts.

Figura 51.

## Instalación de sensor

Flow-through Mount	Insertion Mount
<p>Adapters for Existing 1-1/2 inch NPT Tee:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CPVC Adapter ..... 60F2018-001</li> <li>• 316 SS Adapter..... 60F2018-002</li> </ul> <p>Adapters for Existing 1-1/2 inch BSPP Tee:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CPVC Adapter ..... 60F2018-003</li> <li>• 316 SS Adapter..... 60F2018-004</li> </ul> <p>Adapters for Existing 1-1/2 inch BSPT Tee:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CPVC Adapter ..... 60F2018-005</li> <li>• 316 SS Adapter..... 60F2018-006</li> </ul>	<p>Adapters for Existing 2-inch Ball Valve Assembly:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CPVC Adapter..... 60A2040-001</li> <li>• 316 SS Adapter..... 60A2040-002</li> </ul> <p>Each adapter includes a Teflon wiper and two Viton® O-rings.</p>

Figura 52.

## Unión al montaje

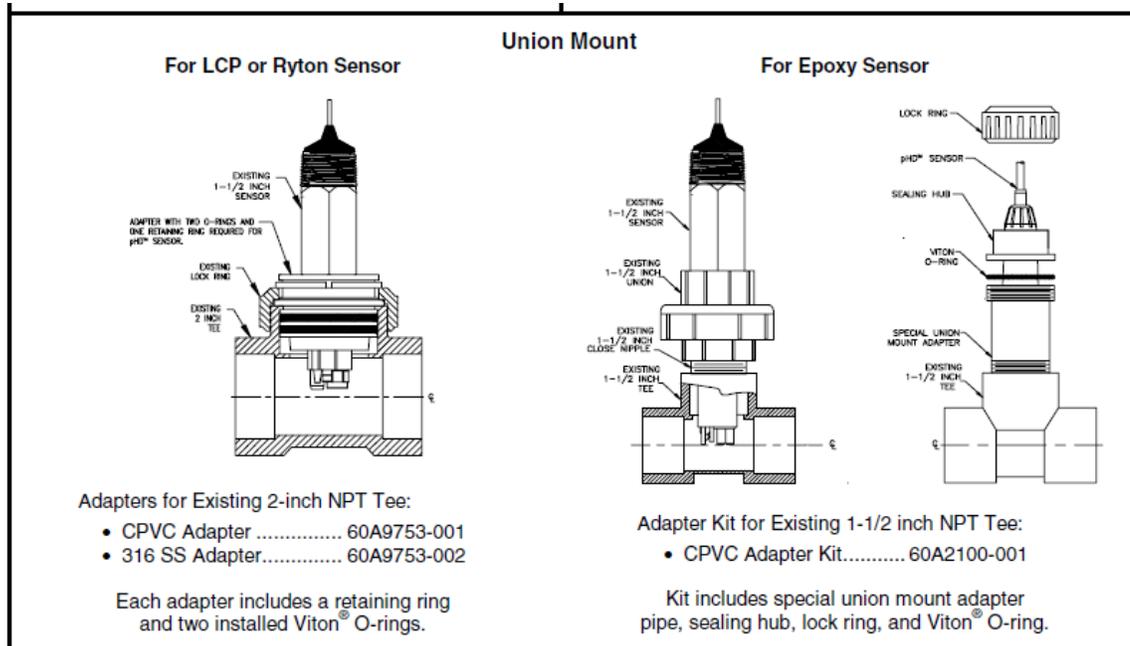


Figura 53.

### 4.4.2 Analizador P33 pH

1. El analizador basado en microprocesador aceptará cualquier diferencial GLI PH Técnica o sensor ORP, o cualquier combinación convencional electrodo. Para la compensación de temperatura, el analizador deberá aceptar un Pt 1000 RTD, Pt 100 RTD o NTC 300 ohmios temperatura termistor compensador.

2. El analizador será seleccionable por software para medir el pH u ORP, y configurable para múltiples idiomas.

3. El analizador deberá tener una de dos líneas por 16 caracteres LCD retroiluminada. Ella deberá mostrar pH medido (ORP) y la temperatura sobre separada pantallas, o ambas medidas juntas en una sola pantalla. Tanto analógica valores de salida se muestran juntos en una pantalla.

4. El analizador deberá proporcionar estos métodos de calibración:

a) 2 puntos Buffer Método (sólo pH): Calibración automática y amortiguar el reconocimiento utilizando dos tampones de un juego de tampones seleccionado.

b) 1 punto Buffer Método (sólo pH): Calibración automática y amortiguar el reconocimiento mediante un buffer de un juego de tampones seleccionado.

c) 2 puntos Método Muestra (para pH solamente): Introduzca los valores conocidos de dos muestras (determinado por análisis de laboratorio o comparación lectura) o dos tampones de pH.

d) 1 punto Método Muestra (para pH u ORP): Introducir el valor conocido de una muestra (determinado por análisis de laboratorio o lectura de comparación), una memoria intermedia de pH, o una solución de referencia (Para la medición de ORP).

5. El analizador deberá tener un código de acceso para restringir el acceso a la configuración y calibración a personal autorizado.

6. El analizador deberá tener el diagnóstico de usuario de prueba para salidas, relés, y LEDs de alarma sin necesidad de equipo de prueba especial.

7. El analizador será configurable utilizando sus RS-232 puertos y GLI kit de herramienta de software opcional, o protocolo de comunicación HART.

8. El analizador tendrá dos aislados 0 / 4-20 mA salidas analógicas. Cada salida deberá ser capaz de representar el pH medido (o ORP) o la temperatura. Los valores de parámetros se inscribirán para definir el criterios de valoración en el que los valores de salida máximos mA mínimo y los deseados. Durante la calibración, ambas salidas serán seleccionados para mantenga sus valores actuales, transferir preestablecer valores para operar el control elementos por una cantidad correspondiente a esos valores, o permanecer activo para responder al valor medido.

9. El analizador será Hach Company, GLI Modelo P33.

## Dimensiones del Analizador



Figura 54. Analizador de pH

Inches (mm)

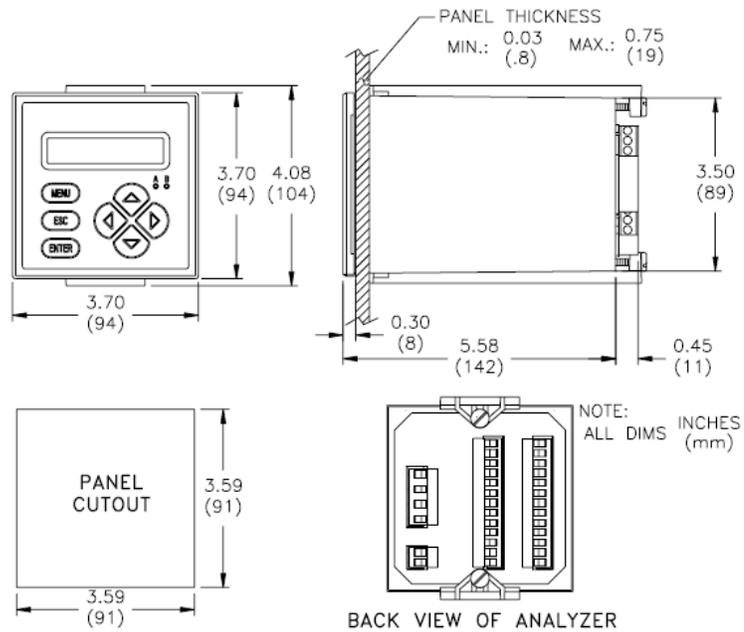


Figura 55. Dimensionamiento

Pantalla

:

Dos Línea de 16 caracteres con retroiluminación LCD

Los rangos de medición seleccionables

pH : 0-14,0 pH o 2, 00 - 14,00 pH

ORP : -2100 a +2.100 mV

Temperatura : -4,0 a 392,0 ° F o -20,0 a + 200,0 ° C

Salidas analógicas (1 y 2) : 0.00-20.00 mA o 4,00 a 20,00 mA

Condiciones Ambientales Operación :

-4 a + 140 ° F (-20 a + 60 ° C); 0 a 95% de humedad relativa, sin condensación

Almacenamiento :

-22 a + 158 ° F (-30 a + 70 ° C); 0 a 95% de humedad relativa, sin condensación

Relés

Tipos / Salidas :

Dos Relés electromecánicos; SPDT (Forma C) contactos; U.L. 5A nominal 115/230 VCA, 5 A @ 30 VDC res.

Modo Operacional :

Cada relé (A y B) puede ser impulsado por el pH medido (ORP) o la temperatura

Modos de funciones: Control :

Ajustes para alta baja eliminación gradual /, consigna, banda muerta, temporizador de sobrealimentación, el tiempo de retardo, y el retraso

Alarma :

Ajustes para el punto de alarma baja, bajo punto de banda muerta de alarma, alto punto de alarma, alto punto de alarma banda muerta, fuera de demora, y en el retraso

Status :

No es configurable; relé sólo se activa cuando existe una condición de diagnóstico de Advertencia

Timer :

El relé se activa por valores de duración de intervalo y en un plazo fijado por el usuario para controlar un sensor GLI sistema de limpieza

Indicadores :

LEDs .Relay A y B indican el estado del relé respectivo

Compensación de la temperatura :

Automatic 14,0 a 230,0 ° F (-10,0 a + 110,0 ° C) con selección para NTC 300 ohm termistor (usado en sensores GLI diferenciales), Pt 1000 ohm RTD o Pt 100 ohmios RTD elemento de temperatura, o fijado manualmente a una temperatura introducida por el usuario; seleccionable adicional los factores de corrección de temperatura (amoniac, morfolina o usuario-sistema de pH / ° C pendiente lineal) para pura agua compensación automática de 0,0 a 50,0 ° C).

## Sensor a Analizador Distancia

GLI diferencial Sensor Técnica : 0.3000 ft. (914 m) máximo

Peine convencional. Electrodo w / preamplificador :

0,985 ft. (300 m) como máximo

Peine convencional. Electrodo w / o preamplificador :

0.100 ft. (30 m) como máximo con la capacitancia del cable de electrodo de menos de 30 pF / pie

Requerimientos De Energía :

0,90 a 130 VCA, 50/60 Hz. (10 VA máx.) O de 190 a 260 VCA, 50/60 Hz. (10 VA máx.)

### Métodos de calibración

2 puntos Buffer (para pH solamente) :

Calibración .Automatic y reconocimiento buffer usando dos buffers de un juego de tampones seleccionado

1 punto de muestra (para pH u ORP) :

Calibración .Automatic y reconocimiento buffer usando un buffer de un juego de tampones seleccionado

NOTA: Al usar tampones que no están incluidos en ninguno de los conjuntos tampones analizador, utilice sólo el método de muestra de 2 puntos o 1 punto de la muestra

Método respectivamente para la calibración.

## Salidas analógicas

:

Aislado .Dos 0 / 4-20 mA; cada uno con 0.004 mA resolución y la capacidad (12 bits) para conducir hasta 600 cargas ohmios

NOTA: Cada salida puede ser asignado para representar el pH medido (o ORP) o la temperatura. Los valores de parámetros se pueden introducir para definir el criterios de valoración en el que se desean los valores de salida máximos mA mínimo y ampliar (rango). Durante la calibración, ambas salidas pueden ser seleccionadas para celebrar sus valores actuales, transferir preestablecer valores para operar los elementos de control por una cantidad correspondiente a esos valores, o permanecerá activo para responder al valor medido.

## Comunicación RS-232

:

Enables Configuración y recuperación de datos medidos para un analizador utilizando compatible con IBM Kit de herramienta de software opcional PC y GLI

## Protocolo HART

:

Enables Configuración y recuperación de los datos medidos para varios analizadores de más de una comunicación enlace con el terminal de mano apropiado o sistema de datos con el software HART

## Copia de seguridad de memoria (no volátil) :

Todos Los ajustes del usuario son retenidos indefinidamente en la memoria (EEPROM)

## Certificaciones eléctricas

Europea EMC Comunidad	:	
CE .Certified compatible para las emisiones conducidas y radiadas (EN 50081-2) e inmunidad (EN 50082-2)		
Propósito General	:	
UL Performance Analyzer (eléctrica, salidas analógicas)		
Precisión	:	$\pm 0,1\%$ del span
Sensibilidad	:	
$\pm 0,05\%$ del span por 24 horas, no acumulativo		
Repetibilidad	:	$\pm 0,01\%$ del span o mejor
Drift temperatura	:	
Zero Y Span: $<0,03\%$ del span por ° C		
Mecánico		
Recinto	:	
Polycarbonate Con panel frontal NEMA 4X; Propósito general; dos soportes para montaje en panel		
Configuraciones de montaje	:	Montaje .Panel
Peso Neto	:	
1.7 Libras. (0,8 kg) aproximadamente		

#### 4.4.3 WAFER / LUG Serie 20 / 21



Figura 56. Válvula Bray de 1 ½ “

## Características

Tamaños:	1" ...20" (DN-25...DN-500)
Rating:	ANSI 125/150 – PN-10/16
Temperatura:	-18°C...121°C
Presión máx.:	Hasta 10 bars
Asiento:	PTFE base EPDM
Cuerpo:	EPDM, FKM, Buna-N
Disco y eje:	F. Gris A126 Clase B, A395 GGG40.3, Inox. A351 CF8M
Pintura:	A351 CF8M (AISI 316)  DN-25...DN-200 con Nylon 11  DN-250...DN500 con Polyester
<b>Características de diseño:</b>	<p>Disco-eje construido de una sola pieza.</p> <p>Por su forma el disco permite un alto valor de Kv.</p> <p>Cuerpo de 2 piezas para facilitar el montaje y para el mantenimiento.</p> <p>Para productos muy corrosivos utilizar asiento teflonado de 1,5 mm de grosor sobre una base de EPDM,.</p> <p>El ensamblaje del EPDM con el cuerpo en forma de T permite una buena unión.</p>

## Especificaciones de solenoide en válvula Bray

<b>Presión de suministro [Máx.]</b>	20 - 102 psi (1,4-7 bar)
<b>Consumo de aire (80 psi)</b>	<0,00035 scfm (0,00275 sccm)
<b>Señal de entrada</b>	
Análoga	4-20 mA CC
BUS	HART, Foundation Fieldbus, Profibus PA
<b>Conexiones</b>	
Suministro	NPT de 1/4" (G de 1/4")
	Señal (2 entradas de conductos) NPT de 1/2" (M20x1,5)
<b>Resolución</b>	<0,05%
<b>Repetibilidad</b>	0,32%
<b>Histéresis</b>	<0,2%
<b>Rango de temperatura</b>	-22 °F(-30 °C) a +176 °F(+80 °C)

#### 4.5 Presupuesto de los equipos

Al tener implementarse dicho proyecto se dará detalle del precio de cada equipo:

- Transmisor Densidad smar – DT301	:	S/. 2341.00
- PLC Siemens – SIMATIC S7 – 1200 (1)	:	S/. 1487.00
- PLC Siemens – SIMATIC S7 – 1200 (2)	:	S/. 1487.00
- Válvula Bray serie 40/ 45	:	S/. 765.00
- Sensor Diferencial de pH	:	S/. 2609.00
- Analizador P33 pH	:	S/. 3159.00
- Sensor Diferencial de pH (2)	:	S/. 2609.00
- Analizador P33 pH (2)	:	S/. 3159.00
- Válvula Bray Serie 20 / 21	:	S/. 595.00
TOTAL	:	S/. 18,211.00

# CAPITULO 5

## 5.1 Prueba y Validación

Se realizaron las pruebas respectivas según nuestro modelo matemático en las 2 partes del proceso lineal mostrando así mediante software MATLAB la respuesta a dichas funciones (lazo abierto y lazo cerrado) y la simulación final en software LabVIEW obteniendo un proceso estable en el rango del valor de PH deseado.

### 5.1.1 Respuestas del sistema en Matlab de nuestra función de transferencia en lazo abierto

#### Concentración – Proceso de medición grados Brix

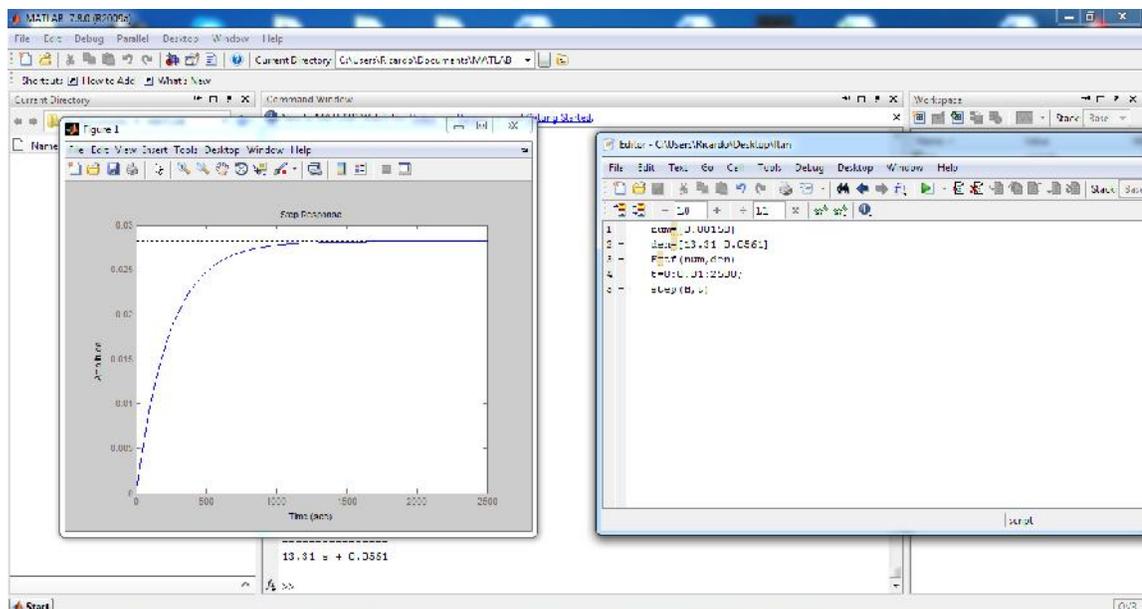


Figura 57.

## Concentración – Proceso de medición de pH

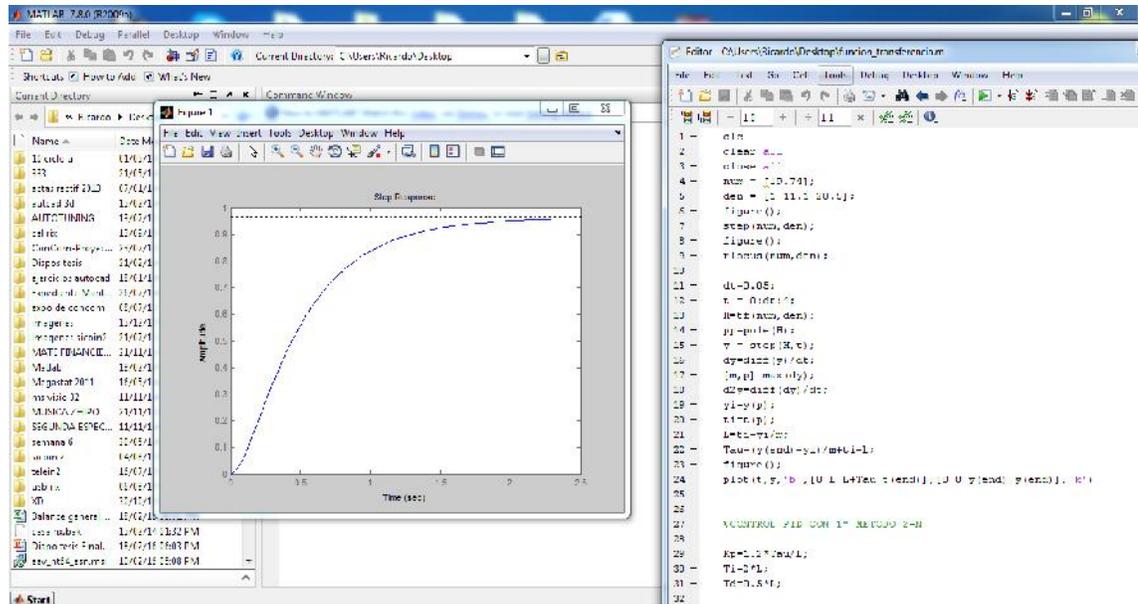


Figura 58.

### 5.1.2 Respuestas del sistema en Matlab de nuestra función de transferencia en lazo cerrado

#### Proceso de medición grados Brix

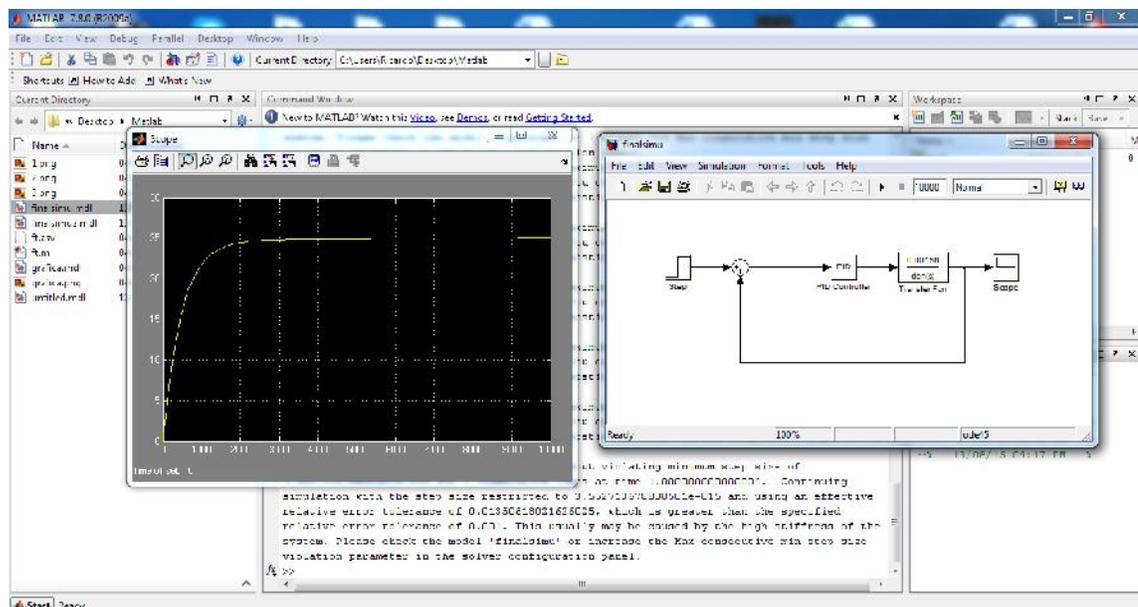


Figura 59.

## Proceso de medición grados pH

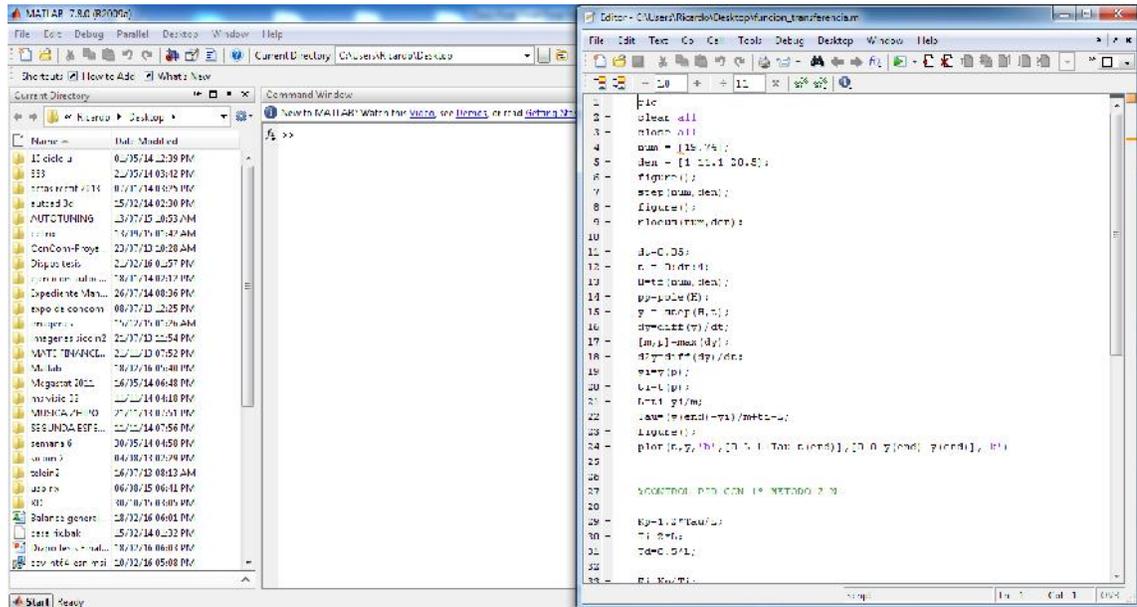


Figura 60. Programación

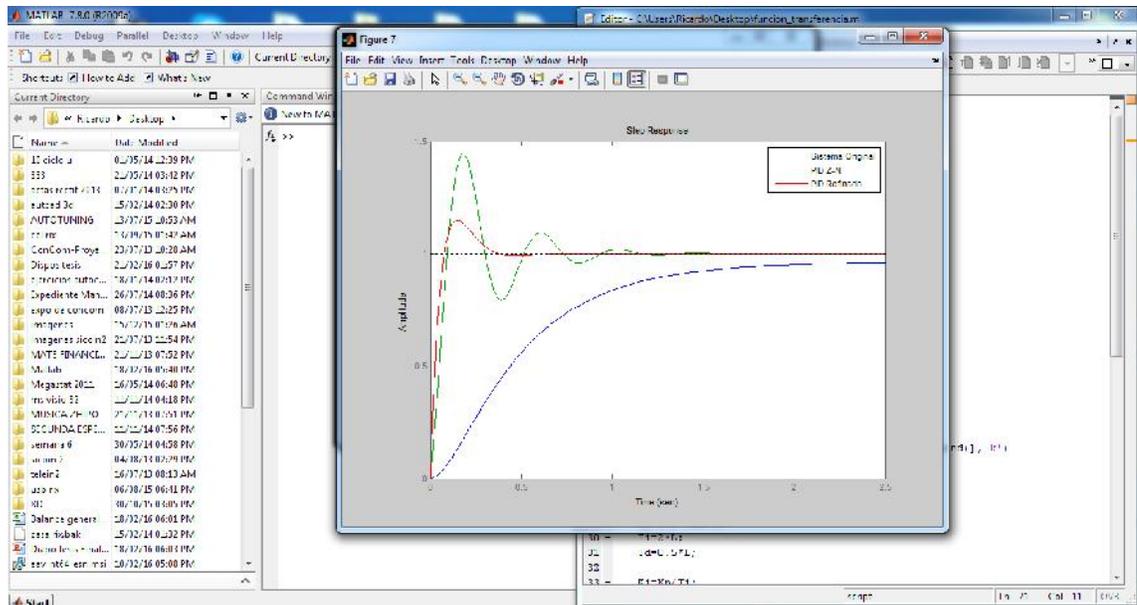


Figura 61. Respuesta

## 5.2 SIMULACIÓN EN LabVIEW.

### Pruebas para la simulación de nuestro proceso en LabVIEW 2012

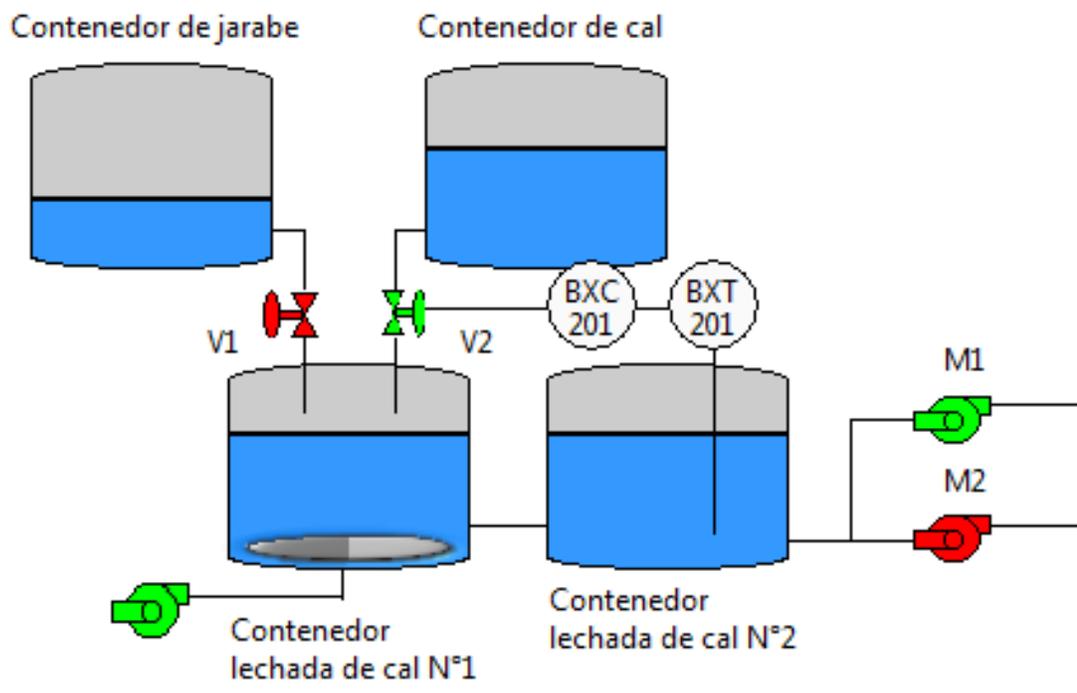


Figura 62. Proceso para control de lechada de cal.

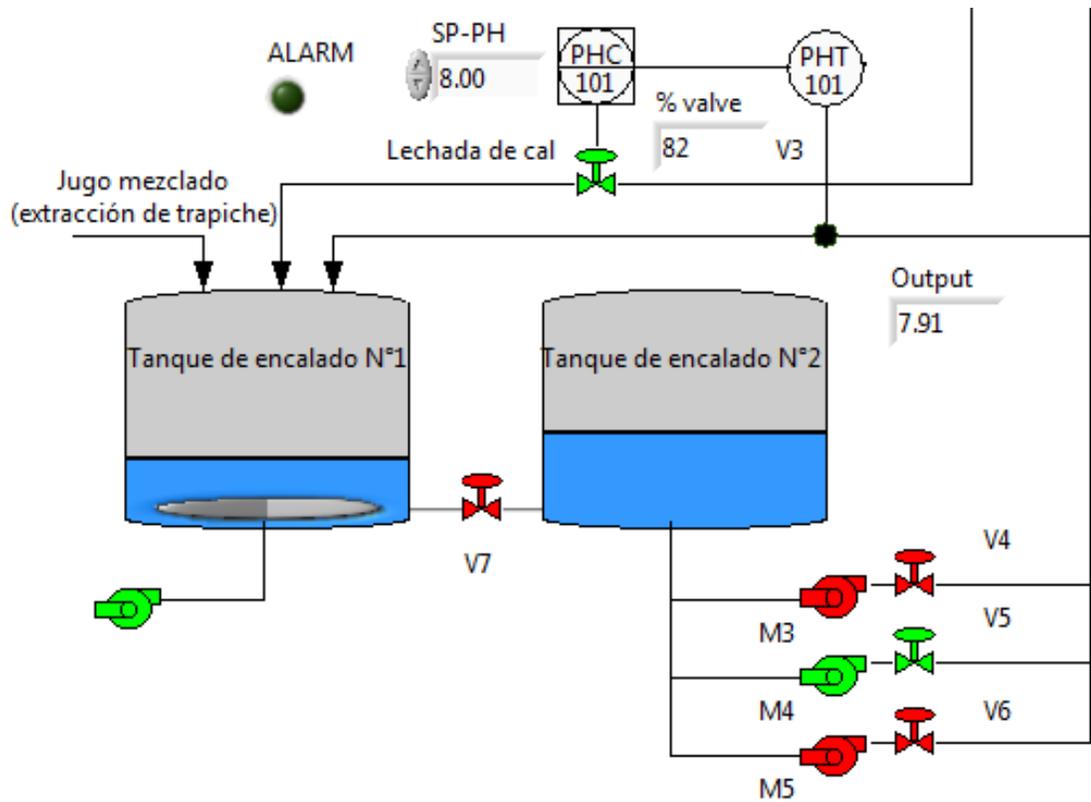


Figura 63. Proceso para el control de pH

## Programación en LabVIEW 2012

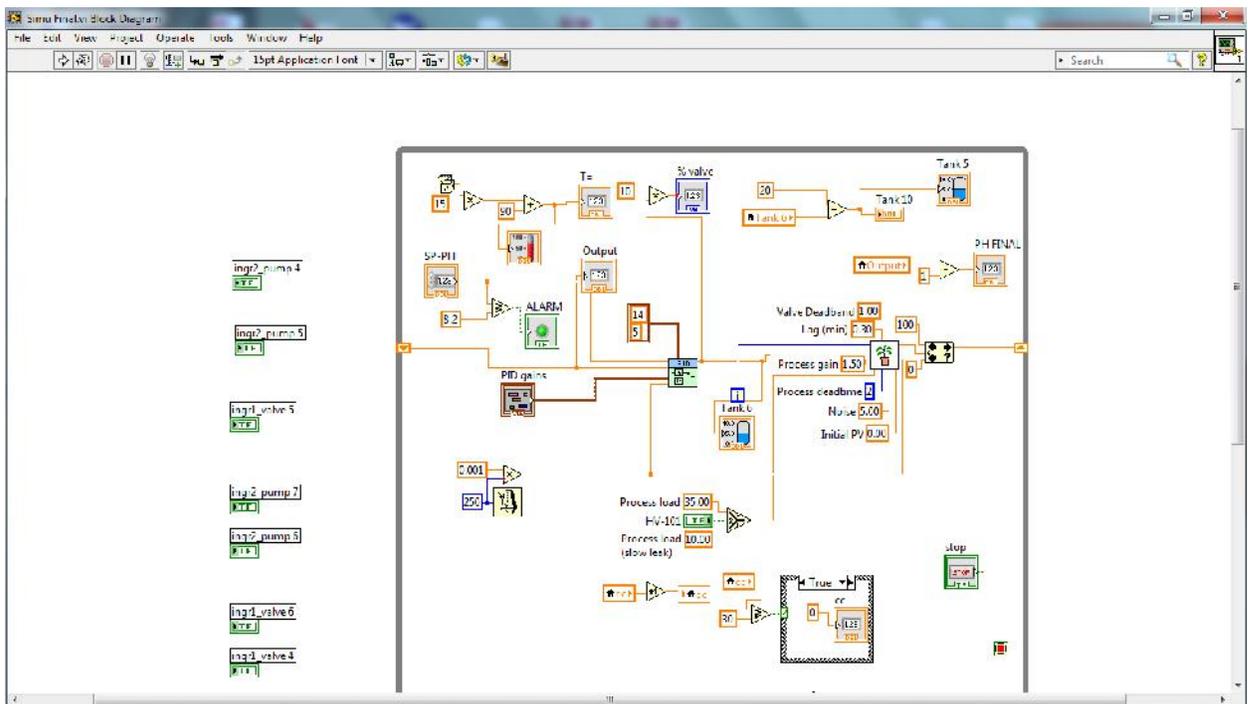


Figura 64.

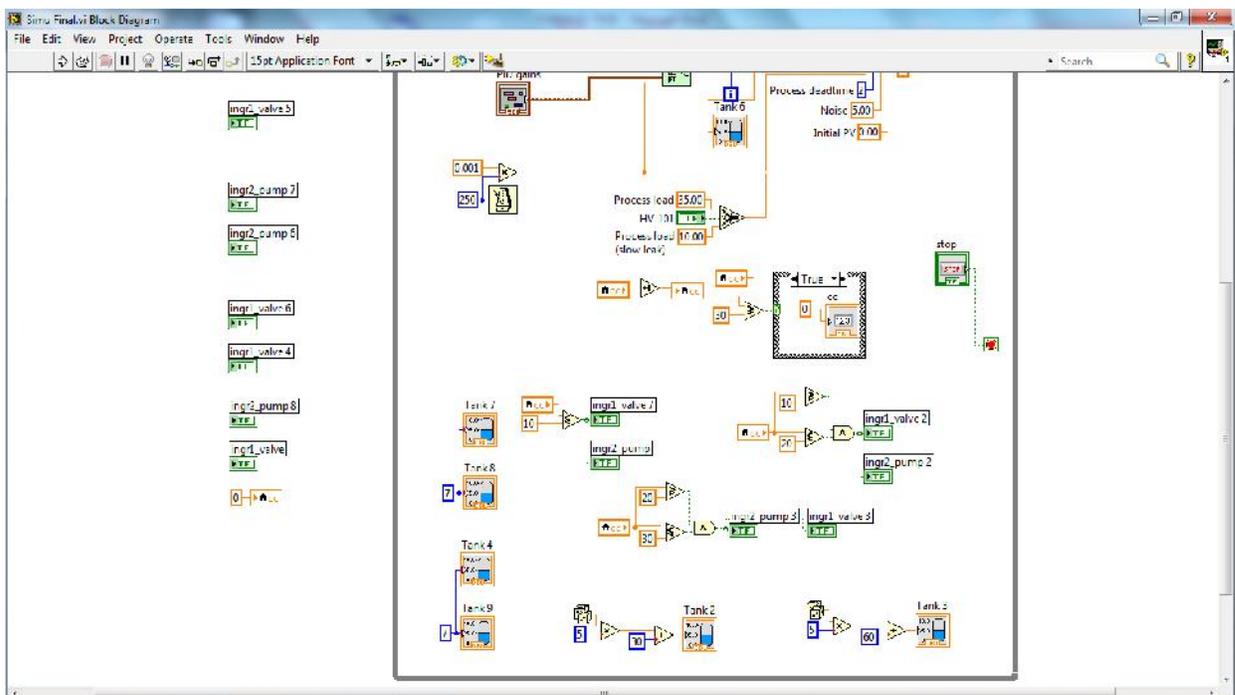
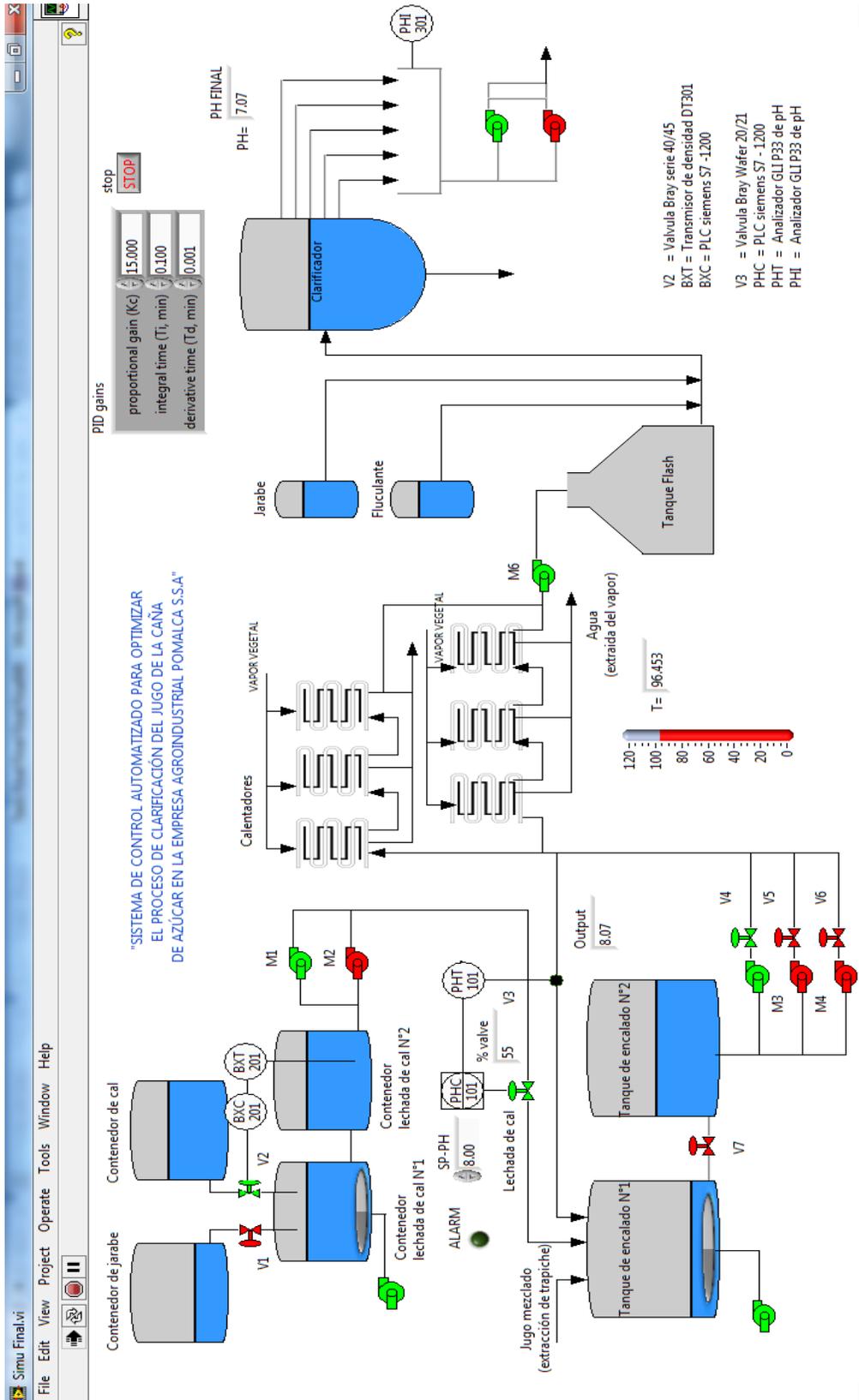


Figura 65.

# Resultados Final de las Pruebas



### 5.3 VALIDACIÓN

Se mostró a dos expertos el proceso de clarificación y la simulación, después de que lo analizaran nos sugirió algunos ajustes y luego de revisar los ajustes nos dieron su opinión favorable.

A continuación adjuntamos las opiniones.

Revisando los puntos importantes de la tesis denominada "Sistema de Control Automatizado para optimizar el Proceso de Clarificación del jugo de caña de Azúcar en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A" presentado por los bachilleres Nieto Diaz Luis Franco y Romero Navarro Ricardo Rafaél puedo aportar lo siguiente, manifestando que es un buen punto de partida para el proceso de automatización de la empresa en la que interviene mano del operador para el proceso de encalamiento del jugo, cabe indicar que el jugo viene con un pH ácido en el rango de 5.3 – 5.5 y se necesita neutralizar la acidez natural del jugo de caña, la suficiente cantidad de cal en el proceso manteniendo al jugo ácido y ocurrirá destrucción y pérdidas de sacarosa por inversión y una mala clarificación, si se añade demasiada cal produce oscurecimiento de los jugos aumentando viscosidad y baja pureza de los materiales(jarabe, masas, miel)etc.

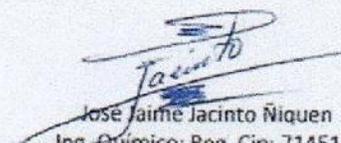
Una alcalinización del jugo incorrecta tiende a aumentar las pérdidas de sacarosa por mala clarificación y reduce el rendimiento de azúcar, lo que se traduce todo ello en pérdidas económicas.

La cantidad de Cal (en forma de sacarato) está en función de la cantidad de jugo que ingresa al proceso por ende a las toneladas de caña a moler.

Se le brindo a los tesisas información en el proceso de purificación de jugo de caña que constaba de investigaciones anteriores sobre modelamiento matemático, esperando sirva para su estudio e investigación.

Por lo antes expuesto el presente trabajo realizado por los tesisas en la empresa es viable en la que solo se procederá a supervisar el resultado de los materiales, se evitará la adición de cal en forma manual con resultados positivos.

Es cuanto tengo que aportar

  
José Jaime Jacinto Niquen  
Ing. Químico; Reg. Cip: 71451  
Elaboración Fabrica EAI Pomalca S.A.A

## Informe técnico de la tesis, Sistema automatizado para optimizar el proceso de clarificación de azúcar en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A

Para quienes estamos inmersos en el mundo azucarero sabemos que es de gran importancia efectuar una buena clarificación del jugo de la caña, porque el jugo clarificado se convierte en la verdadera materia prima para la cristalización de la sacarosa en el proceso de elaboración de azúcar, para ello los parámetros establecidos para lograr una buena clarificación como objetivo final deben de cumplirse estrictamente.

Uno de los requisitos para lograr la clarificación es el control del pH del jugo encalado y clarificado siendo éste último una consecuencia del anterior. En la empresa Agroindustrial Pomalca, aún no se cuenta con un sistema automatizado para el control de pH del jugo encalado y sólo se hace mediante un papel indicador o cinta pH métrica y la destreza del operador que apoyándose en su experiencia controla el pH del jugo que entrega al proceso.

La implementación de la automatización o control automático para optimizar el proceso de clarificación propuesto por este estudio de tesis, significaría una mejora sustantiva trayendo numerosos beneficios al proceso de elaboración de azúcar tanto en la calidad del producto final como en los rendimientos fabriles.

Hay que recordar que cuando hay un control riguroso de la cal que ingresa a proceso mediante el control de pH del jugo, trae entre otros beneficios : menor descomposición de la sacarosa y azúcares reductores, bajas viscosidades que facilitan el proceso de cristalización e intercambio de calor, menor incrustación en los equipos de calentamiento y evaporación , menor formación de mieles , mejores azúcares para la centrifugación, azúcares de menor color , con mayor filtrabilidad, menor humedad y mejor factor de retardación para su deterioro en almacenaje , etc.

Como se ve, los beneficios de lograr una buena clarificación son numerosos, y sería una inversión muy rentable de contar con un sistema automatizado para optimizar la clarificación, que sin duda la inversión, frente a los múltiples beneficios que este sistema aporta, se pagaría rápidamente.

Así como Pomalca y otras azucareras de la región como Tumán, Pucalá , Azucarera del Norte, que no cuentan con un sistema de control automatizado para optimizar la clarificación, tendrían en este trabajo de tesis el punto de partida para implementar este sistema a su proceso.

Ing Jorge Suárez Córdoba.  
  
Ing. Jorge Suárez Córdoba  
DIRECTOR GENERAL DE OPERACIONES  
EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A.A

# CAPITULO 6

## 6.1 Conclusiones

Se determinó según la simulación del diseño de control automatizado, que de ser éste implementado por la empresa, lograría estabilizar el pH del jugo de caña de azúcar a una escala de 6.8 – 7.2; mejorando así el proceso de clarificación, beneficiando procesos posteriores.

Se estudió el funcionamiento del proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar implementando un sistema de control en ambas partes de los Sub-procesos obteniendo un nivel de pH estable.

La adecuada selección de los elementos de campo en el proceso de clarificación, garantizará el correcto funcionamiento y tiempo de vida de los equipos.

Se programó y simuló el diseño de control automatizado en software LabVIEW, obteniendo así una estabilidad en el proceso en un tiempo de 12 segundos.

## 6.2 Recomendaciones

Al automatizar un proceso industrial, inculcar en los usuarios las buenas prácticas de operación, ya que la eficiencia de un proceso, no sólo depende de la tecnología que esté instalada en el mismo, sino también de la correcta aplicación de la filosofía de control.

Analizar cómo se pueden implementar mejoras en los procesos industriales por medio de la automatización, para lograr reducción de costos de operación e incrementar la eficiencia de los mismos.

Al proponerse un proyecto de automatización se debe considerar cuáles son los requerimientos de la empresa, para de esa forma generar la alternativa que resulte más funcional y rentable para la misma.

# CAPITULO 7

## BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA

- Peter Rein. Ingeniería de la caña de Azúcar. Libro. 2012
- Ing. José Ángel Cruz Martínez, Ing. Miguel Ángel Chávez Mancilla. Ingeniería Azucarera E\_Hugo. Libro.
- Carlos René Ochoa Yumán. "Propuesta para Automatización del proceso de clarificación del jugo de caña, por medio de controladores de lazos Múltiples". Tesis de Pregrado. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. GUATEMALA, ABRIL DE 2008
- Cartavio S.A.A. Documento. <http://www.bvl.com.pe/hhii/B11082/20110215194901/MEMORIA32CARTAVIO322010.PDF>. 2011
- Medición del pH en procesos industriales Guía técnica y de selección para distintas industrias y aplicaciones. Endress+ Hause <http://www.vigaflo.com/wp-content/uploads/2014/08/E+H-Analisis-de-liquidos-PH.pdf>
- Medidores de pH Electrodo y Controladores. NIKRON Automación. <http://www.nikron.com.ar/automacion/descripcion-producto/11/17/2/> .
- Tutorial: estándares de comunicaciones RS232, RS422, RS485. <http://www.puntoflotante.net/RS485.htm>
- LabVIEW. Software <http://www.ni.com/labview/why/esa/>
- LabVIEW. Archivos. <http://www.ni.com/labview/release-archive/2012/esa/>
- Microsoft Visio. Archivos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visio](https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visio)

- Válvulas de mariposa Bray. Bray.  
<http://www.valvulamedrano.com/linked/bray.pdf>
  
- Siemens PLC. Archivos.  
<http://www.conrad.com/ce/en/product/198319/Siemens-6ES7211-0AA23-0XB0-SIMATIC-S7-200-CPU-221-Compact-Unit-DCDCDC-6-DI-4-DO-4Kb-Code-2Kb-Data>
  
- Azucarera Cartavio. Archivo.  
<http://www.bvl.com.pe/hhii/B11082/20110215194901/MEMORIA32CARTAVIO322010.PDF>

# Glosario

<b>Clarificación</b>	Procedimiento de eliminación de determinadas partículas que existen en el jugo de caña, tanto en solución como en suspensión y que lo afectan tanto en la transparencia como en la limpidez.
<b>Grado Baumé</b>	Equivale a un 1% de cloruro de sodio en agua. Es decir, una solución de cloruro sódico de 15° Be, es una disolución de cloruro de sodio al 15% (15g de NaCl y 85g de agua).
<b>Turbidez</b>	Se entiende por turbidez o turbiedad la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.
<b>Meladura</b>	Jarabe preparado para elaborar el azúcar.
<b>Impurezas</b>	Una impureza es una sustancia dentro de un limitado volumen de líquido, gas o sólido, que difieren de la composición química de los materiales o compuestos.
<b>Cal</b>	La cal (también llamada cal viva) es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio. Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías.
<b>pH</b>	Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
<b>Dosificación</b>	Graduar la cantidad o proporción de algo.

<b>Jugos diluidos</b>	Es la mezcla de los jugos extraídos en los dos primeros molinos (molienda)
<b>Alcalinización</b>	Un alcalinizante es aquella sustancia que modifica las condiciones de pH del medio hacia condiciones más básicas decantación
<b>Ebullición</b>	Movimiento violento del agua u otro líquido, con producción de burbujas, como consecuencia del aumento de su temperatura o por estar sometido a fermentación o efervescencia.
<b>Fosfatos</b>	Los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica.
<b>Grado Brix</b>	Los grados Brix (símbolo °Bx) sirven para determinar el cociente total de materia seca disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de líquido.  Los grados Brix se cuantifican con un refractómetro.
<b>Concentración</b>	Se refiere a la cantidad de soluto que hay en una masa o volumen determinado de solución o solvente. Puesto que términos como concentrado, diluido, saturado o insaturado son inespecíficos, existen maneras de expresar exactamente la cantidad de soluto en una solución.
<b>Sacarato de Calcio</b>	Se prepara mezclando una parte de lechada de cal de 15°Be con nueve partes de jugo crudo frío.
<b>Molienda</b>	Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido.

# **ANEXOS**

## Datos utilizados en el Balance de Fabrica

DATOS UTILIZADOS PARA EL BALANCE FABRICA	
DATOS DE TRAPICHE	
Ton Caña Sucia	56484.00
% Impzas Caña	0.05
Ton Caña Limpia	53659.80
Ton de caña/h	121.95
Días de molienda	20.00
Horas de Molienda	22.00
Bagazo%caña	28.49
%sac Bagazo	1.69
Fibra % caña	13.56
Imbibición%Fibra	220.79
% Hdad Bagazo	48.18
% Extracción	0.96
Imbibic % caña	29.93
J.Mezgl % Caña	102.50
% Pol Caña	0.128
% Pol J.Mezclado	12.90
Tiempo Efectivo (Hr)	440.00
% Retención	0.87

Dónde:

Pol: Porcentaje de sacarosa en el jugo

Pza: Pureza del jugo

Brix: Nivel de concentración

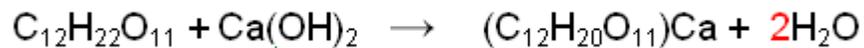
DATOS CLARIFICACION	
Bagacillo % Caña	0.25
Agua % Caña	4.00
Cachaza % caña	2.58
Pol enTorta% Pol Caña	0.62
Brix J. Clarificado	14.57
Brix J. Filtrado	11.88

Jugo Mezclado			Jugo encalado		
Brix	Pol	Pza	Brix	Pol	Pza
14.09	12.90	87.60	16.00	13.60	85.00

Preparación de 1 kg de Sacarato de Calcio										
<b>a) Sacarosa requerida</b>										
1000	g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca	x	1	mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca	x	1	mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	x	342 g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	0.900 kg (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )
			380	g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca		1	mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca		mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	
W sacarosa = 0.900 Kg										
<b>b) Hidróxido de Calcio requerido</b>										
1000	g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca	x	1	mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca	x	1	mol Ca(OH) <sub>2</sub>	x	74 g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	0.195 kg (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )
			380	g (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca		1	mol (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )Ca		mol Ca(OH) <sub>2</sub>	x
W Hidróxido de Calcio = 0.195 Kg										
<b>Porcentaje (%) en Peso de Reactantes:</b>										
	Reactantes	Peso (Kg)	%		Productos	Peso (kg)				
	Sacarosa	0.900	82		Sac. Calcio	1.00				
	Lechada cal	0.1947	18		Agua	0.09				
	Total	1.09	100		Total	1.095				

## Cantidad de Sacarato de calcio para 1 Balanzada de Jugo Mezclado

Reacción de Formación Química



	PM	UNIDADES
SACAROSA	342	g/mol
HIDROXIDO DE CALCIO	74	g/mol
SACARATO DE CALCIO	380	g/mol
AGUA	18	g/mol

## Datos

Consumo Cal/TC		
Ritmo Molienda TCD	53659.80	
Ratio Cal kg/ton caña	0.50	
Consumo Cal	26829.90	
Pza Aprovechable de óxido de Calcio	0.90	
Pza J.C	87.00	
Brix J.C	16.00	
Lechada Cal, Lc (°Be)	8.00	11
Densidad Lc (Tn/m3)	1.06	1.083
Kg CaO/m3Lc	75.00	104

## Preparación de 1 kg de Sacarato de Calcio

Pesos Moleculares de Reactantes y Productos:



Pesos Moleculares de Reactantes y Productos:

	PM	UNIDADES
CaO	56	g/mol
AGUA	18	g/mol
LECHADA CAL	74	g/mol

Según el balance de sacarato se necesita 0.195 Kg de Lc para reaccionar, por lo tanto:

a) Oxido de Calcio necesario para preparar 0.1947 Kg de Ca(OH)<sub>2</sub>

$$194.74 \text{ g Ca(OH)}_2 \times \frac{1 \text{ mol Ca(OH)}_2}{74 \text{ g Ca(OH)}_2} \times \frac{1 \text{ mol CaO}}{1 \text{ mol Ca(OH)}_2} \times \frac{56 \text{ g CaO}}{1 \text{ mol CaO}} = 0.147 \text{ kg CaO}$$

W Oxido de calcio = 0.147368 Kg

b) Cálculo de Agua requerida

$$194.7 \text{ g Ca(OH)}_2 \times \frac{1 \text{ mol Ca(OH)}_2}{74 \text{ g Ca(OH)}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol Ca(OH)}_2} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0.047 \text{ kg H}_2\text{O}$$

W agua = 0.0473684 Kg

Porcentaje (%) en Peso de Reactantes:

Reactantes	Peso (Kg)	%
Oxido Calcio (CaO)	0.147368	76
Agua	0.047368	24
Total	0.1947	100

1.04205

Preparacion de Sacarato de Calcio con Jugo Clarificado

Para 1 kg de Jugo Clarificado

$$0.900 \text{ kgsacaroso} \times 6.46551724 \text{ kg jugo clarificado} = 13.92$$

Kg sacarosa = 1 Kg JC \*BJ\*PJ  
Kg sacarosa = 0.139 Kg

Si 0.139 82 % Sacarosa  
x 18 % Ca(OH)<sub>2</sub>

x = 0.03012 Kg Lc, Ca(OH)<sub>2</sub> 1.02605

Para obtener 0.02605 Kg de LC, según el balance estequiométrico, se necesitan 76% CaO y 24% H<sub>2</sub>O , por lo tanto:

W CaO = 0.0228 Kg CaO 0.0228 kg CaO 0.03012 lc  
W H<sub>2</sub>O = 0.0073 Kg Agua  
0.03012 24146.91 KgCaO 31908.4168 kg Ca(OH)<sub>2</sub>  
7761.50679 Kg Agua

En 8 Be se consume : 75 104 Kg CaO/m3Lc

Kg Lc/ Kg CaO = 14.13 10.41

Según el balance necesito 0.0197 Kg CaO para reaccionar con el agua entonces:

Kg Lc a consumir = 0.322 251.453 Ton Ca(OH)<sub>2</sub>

TOTAL A MEZCLAR = Kg JC + Kg Lc = 1.322 Kg

### RESULTADOS

% Jugo Clarificado =	76	780.5683
%Hidróxido de Calcio=	24	251.4529
	100.00	1032.0212

Ton Jugo Clarificado

Ton Lechada de Cal 11°Be

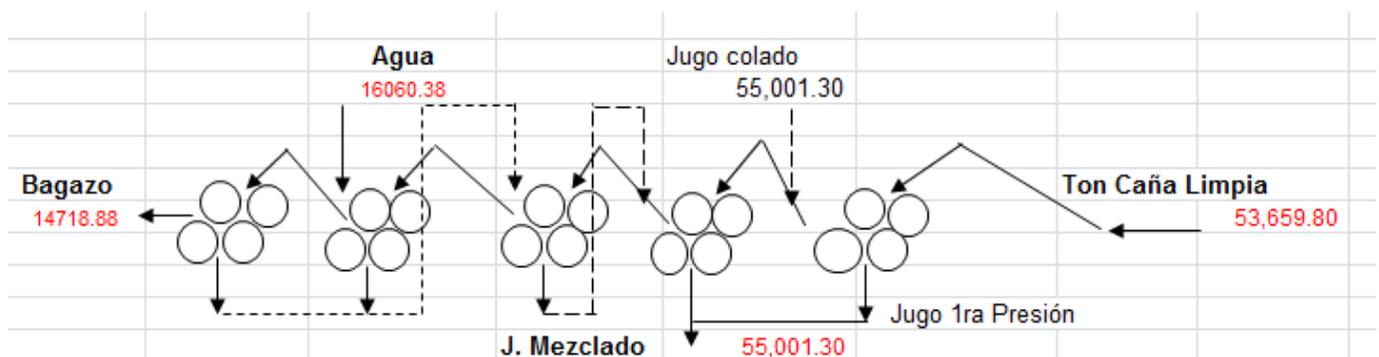
1.92326703

Ton Sacarato de Calcio 8 °Be

JUGO		SACARATO DE CALCIO	
53659.80	Ton Caña	1032.0212	Ton
54733.00	Ton JM	1032.0212	Ton
54732996.00	Kg JM	1032021.24	Kg
5000.00	1 Balanzada de jugo	94.277955	Kg Sacarato

10946.5992 balanzadas

### 4.3.2 Balance de Material en fábrica de Azúcar





Ton de Jugo Filtrado = 6,078.87

Jugo Filtrado % Caña = 11.33%

Hugot estima entre 15 a 25 %

Ton de Jugo Encalado = Ton J. Mezclado + J. Filtrado + Lechada de Cal

Ton de Jugo Encalado = 62,112.19

#### 4.3.4 Balance en el Sistema de Clarificación de jugo encalado

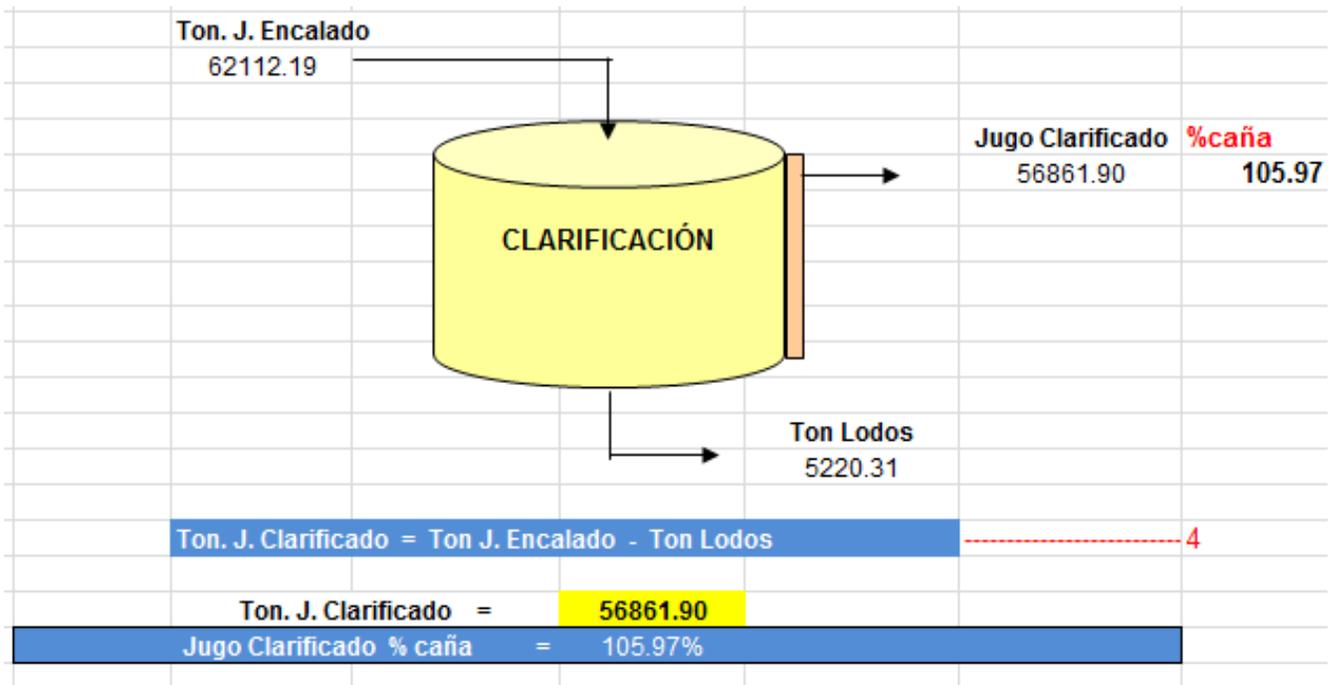


Figura 53.