DISEÑO DE UN TRANSPORTE DE AGUAS DE REPROCESO, DESDE INTERCAMBIADORES DE CALOR CON TEMPERATURAS DE SALIDA DE 45 Y 80˚C PARA EL ENCAMISADO DE LICOR DE CACAO DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE CASALUKER S.A UBICADA EN BOGOTA COLOMBIA

CARLOS ANDRES ORTIZ
Ing.carlosortiz@hotmail.com

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA MECATRONICA
CURRICULUM 2004
2010

DISEÑO DE UN TRANSPORTE DE AGUAS DE REPROCESO, DESDE INTERCAMBIADORES DE CALOR CON TEMPERATURAS DE SALIDA DE 45 Y 80˚C PARA EL ENCAMISADO DE LICOR DE CACAO DE LA PLANTA DE PRODUCCION DE CASALUKER S.A UBICADA EN BOGOTA COLOMBIA

CARLOS ANDRES ORTIZ
ing.carlosortiz@hotmail.com
20041166005

PROYECTO DE GRADO, PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO MECATRONICO.

TUTOR: INGENIERO EDUARDO BONILLA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA MECATRONICA
CURRICULUM 2004
2010

NOTA DE ACEPTACION

_____

_____

_____

_____

_____

_____

PRESIDENTE DEL JURADO

_____

JURADO

_____

JURADO

BOGOTA, 26 DE MAYO 2010

DEDICATORIA

A mi padre Jhon Carlos Ortiz, quien ha hecho posible todo en mi vida quien con sus ejemplos, consejos, opiniones, apoyo incondicional, cariño, esfuerzo, carisma y por encima de todo, su amistad ha hecho de mí un hombre de bien, ejemplar y de gran aporte para la sociedad.

A mi abuela Otilia Arcila Vargas, quien ha sido mi madre, me ha criado y me ha convertido en la persona que soy llena de valores y una ética excepcional, por su apoyo y su inmenso carisma le dedico con gran coraje todos mis logros.

A mis tíos, primos, y demás familiares que con ese regalo que el señor JESUS nos ha dado como la unión han permitido que crezca en un ambiente tranquilo de sabiduría, consejos, apoyos y amistad.

Con todo corazón CARLOS ANDRES ORTIZ.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Jesús por guiarme y acompañarme en todas las decisiones y logros durante el transcurso de toda mi vida y sin él para mi nada es posible.

A mi padre quien ha sido parte de mis proyectos, metas y propósitos en mi vida. Brindándome su apoyo y sabiduría para la toma de decisiones trascendentales en mi vida.

A mi abuela quien ha sido mi apoyo y me ha acompañado durante todas las noches en las que he trabajado en mi vida, carrera y en este proyecto.

A mi tío ARLED ORTIZ quien me ha apoyado en toda mi vida y me ha brindado su mano y su consejo para cuando yo lo necesito.

A CASALUKER S.A quien me contrato para realizar mis prácticas profesionales y se interesaron en mi hoja de vida para desempeñarme en los cargos de ingeniería, y de quienes aprendí el movimiento del área de ingeniería en una de las mejores 100 compañías de este país.

Al ingeniero JULIAN GOMEZ FONNEGRA un gran jefe e ingeniero, quien me encomendó la responsabilidad del diseño del sistema de aguas y deposito toda su confianza en mí como practicante, además de enrolarme en el segundo mejor proyecto a nivel Suramérica en la renovación tecnológica de la planta de producción de licor de cacao “BARTH-BUHLER”.

Al ingeniero EDUARDO BONILLA quien ha estado al tanto de mi proyecto y ha sido mi tutor en el desarrollo de este, y me ha brindado sus consejos para llegar con éxito al final de esta aspiración.

A la universidad de San Buenaventura por darme esa gran cátedra educativa y a quien le debo mi desarrollo como profesional. Y por brindarme en sus espacios y aulas los mejores años de mi vida como estudiante universitario.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION **1**

Introducción Casaluker. **1**

Proceso de producción del cacao. **2**

Descripción del proceso del sistema actual. **8**

DESCRIPCION DEL PROBLEMA. **9**

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. **11**

1.1 Antecedentes. **11**

1.2 Descripción y formulación del problema. **12**

1.2.1 Ineficiencia de presiones en algunos sectores de distribución **12**

1.2.2 *Planos de trayectorias mal planteados.* **13**

1.2.3 *Perdidas de agua.* **13**

1.2.4 *Reposo del licor de cacao.* **14**

1.3 JUSTIFICACION. **15**

1.4 OBJETIVOS. **17**

1.4.1 OBJETIVO GENERAL. **17**

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS. **17**

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES. **19**

1.5.1 ALCANCES. **19**

1.5.2 LIMITACIONES. **20**

2. MARCO DE REFERENCIA **21**

2.1 MARCO TEORICO CONCEPTUAL. **21**

2.1.1 HIDRAULICA Y ANALISIS DEL SISTEMA **21**

2.1.1.1 Tubería. **21**

2.1.1.2 Caudal. **21**

2.1.1.3 Temperatura. **22**

2.1.1.4 Longitud Del Tramo. **23**

2.1.1.5 Velocidad de fluido. **23**

2.1.1.6 Presión. **24**

2.1.1.7 Accesorios. **24**

2.1.1.8 Análisis de sistemas de línea de tubería método iterativo. **25**

2.1.1.9 Método de darcy para pérdidas por carga. **26**

2.1.2 MODELAMIENTO DE SISTEMAS. **27**

2.1.2.1 Análisis experimental. **27**

2.1.2.2 Modelos matemáticos. **27**

2.1.2.3 Método de transferencia de calor. **28**

2.1.2.4 Conducción. **28**

2.1.2.5 Convección. **29**

2.1.2.6 Radiación. **29**

2.1.2.7 Resistencia térmica. **29**

2.1.3 METODOS NUMERICOS **30**

2.1.3.1 Algoritmos lógicos. **30**

2.1.3.2 Método De Newton Raphson. **30**

2.1.4 SISTEMAS DE CONTROL. **31**

2.1.4.1 Sistemas de control PID. **31**

2.1.4.2 Sistemas De Lazo Abierto. **32**

2.1.4.3 Sistemas De Lazo Cerrado. **32**

2.1.1.1 Capacitancia térmica. **32**

3. METODOLOGIA. **33**

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION. **33**

3.2 LINEA DE INVESTIGACION DE USB. **33**

3.2.1 LINEA DE INVESTIGACIÓN. **33**

3.2.2 SUBLINEA DE FACULTAD. **33**

3.2.3 LINEA INSTITUCIONAL. **33**

4. DESARROLLO INGENIERIL. **34**

4.1 ANALISIS DE DISEÑO. **34**

4.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO. **34**

Datos para Calcular el sistema de tuberías de aguas para $45℃$ **36**

Datos para Calcular el sistema de tuberías de aguas para $80℃$ **42**

4.2.1 EQUIPO DE BOMBEO. **49**

4.2.2 OPTIMIZACIÓN DE COSTOS. **52**

4.3 Optimización De Costos resultados. **54**

Algoritmo en Matlab para el circuito de $45℃$. **55**

Algoritmo en Matlab para el circuito de $80℃$. **58**

Programa de newton raphson empleado como subprograma. **60**

4.4 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA A TANQUES. **61**

4.5 PROCESO A SIMULAR. **62**

4.5.1 ECUACIONES DEL MODELO. **62**

4.5.1.1 SENSOR. **62**

4.5.1.2 TRANSMISOR. **63**

4.5.1.3 VALVULA. **65**

4.5.1.4 PLOMADA O TAPA. **66**

4.6 PROCESO TRANSFERENCIA DE CALOR. **67**

Agente de control. **69**

Balance de energía del vapor agente de control. **70**

Balance de energía del agua. **70**

4.6.1 Datos obtenidos para cada variable y constante ingresados al programa de simulación SIMULINK. **71**

4.6.2 Transferencia de calor. **72**

4.6.3 Diagramas de bloques del sistema. **73**

4.6.4 Diagrama final del sistema de control. **75**

4.6.5 Graficas de Simulación del sistema. **76**

***4.7* METODO DE SINTONIZACION ZIEGLER-NICHOLS.** **77**

4.7.1 SIMULACION DEL METODO DE SINTONIZACION. **85**

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS. **86**

6. CONCLUSIONES. **88**

BIBLIOGRAFIA. **90**

ANEXOS **92**

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Distribución de aguas en tanques y molinos, consumo.	12
Tabla 2. Necesidades de energía y flujo de agua en tuberías y tanques.	15
Tabla 3. Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de fluidos.	23
Tabla 4. Datos para evaluar el sistema 45.	36
Tabla 5. Resultados después de realizar las iteraciones.	38
Tabla 6. Ecuaciones de pérdidas para el sistema.	39
Tabla 7. Resultados después de realizar las iteraciones.	41
Tabla 8. Datos para evaluar el sistema 80.	42
Tabla 9. Resultados después de realizar las iteraciones.	44
Tabla 10. Ecuaciones de pérdidas para el sistema.	45
Tabla 11. Resultados después de realizar las iteraciones tanques.	45
Tabla 12. Resultados después de realizar las iteraciones molinos.	48
Tabla 13. Perdidas por cabeza totales para determinar equipo de bombeo.	49
Tabla 14. Bomba para el sistema de $45°C$*.*	50
Tabla 15. Perdidas por cabeza totales para determinar equipo de bombeo.	50
Tabla 16. Bomba para el sistema de $80°C$*.*	51
Tabla 17. Optimización de la bomba de $80°C$*.*	51
Tabla 18. Ecuaciones de líneas de tendencia y ecuaciones encontradas para cada elemento del sistema.	52
Tabla 19. Aproximaciones a utilizar en el algoritmo.	53
Tabla 20. Ecuaciones a utilizar en el algoritmo $45°C$*.*	54
Tabla 21. Resultados después de iterar $45°C$*.*	55

Tabla 22. Ecuaciones a utilizar en el algoritmo $80℃$*.* **57**

Tabla 23. Resultados después de iterar $80℃$ **58**

Tabla 24. Características para cálculo de sensor transmisor. **62**

Tabla 25. Temperatura en tiempo real del licor de cacao. **77**

Tabla 26. Costos tubería acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A **102**

Tabla 27. Costos codos acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A **102**

Tabla 28. Costos tees acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A **102**

Tabla 29. Costos válvulas tipo sanitarias para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A **102**

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.	3
Figura 2. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.	4
Figura 3. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.	5
Figura 4. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.	6
Figura 5. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.	7
Figura 6. Impacto técnico 1.	9
Figura 7. Impacto técnico 2.	10
Figura 8. Impacto técnico 3.	10
Figura 9. Método de newton raphson.	31
Figura 10. Diagrama de bloques de un sistema de control.	31
Figura 11. Diagrama de flujo del algoritmo lógico.	60
Figura 12. Sensor de temperatura tipo pt100.	63
Figura 13. Puente de Wheatstone.	63
Figura 14. Válvula de control neumática.	65
Figura 15. Curvas características de una válvula de control.	67
Figura 16. Proceso de intercambio de temperatura en el tanque.	68
Figura 17. Diagrama de bloques del sensor-transmisor.	73
Figura 18. Diagrama de bloques de la válvula de control.	73
Figura 19. Diagrama de bloques del encamisado de licor.	73
Figura 20. Diagrama de bloques del proceso del agua.	74
Figura 21. Diagrama de bloques del proceso del licor de cacao.	74
Figura 22. Diagrama de bloques del sistema de control final.	75

Figura 23. Comportamiento dinámico del licor de cacao. **76**

Figura 24. Comportamiento dinámico del vapor en el encamisado. **76**

Figura 25. Comportamiento real del licor de cacao en un tanque mezclador. **85**

Figura 26. Diagrama de bloques del sintonizador. **85**

Figura 27. Pid sintonizado. **85**

INTRODUCCION

Es de gran importancia el uso de sistemas de distribución de aguas en los procesos industriales, el agua es usada en diferentes campos de nuestra vida tales como domestico, publico, agricultura y ganadería, industria, fuentes de energía, vía de comunicación y deporte u ocio, es propio utilizar las aguas industriales como enfoque de estudio y desarrollo ingenieril. Es necesario el uso de correctos sistemas de abastecimiento y distribución de aguas, esto para satisfacer las necesidades que se presenten en la industria, teniendo en cuenta que más de la mitad de la inversión total en medios para el abastecimiento de agua corresponden a la distribución del agua industrial y potable; para ser adecuado un sistema de distribución debe proporcionar un amplio suministro de agua, estéticamente de calidad satisfactoria y, manteniendo presiones adecuadas normales para los usos residenciales, comerciales e industriales; Por lo general es necesario elevar el fluido a una altura suficiente para que se disponga de las presiones necesarias para su distribución, por conducto de las tuberías a las líneas principales de servicio, a través de las tomas y medidores de los equipos consumidores. El sistema completo de distribución debe contener bombas, tuberías, válvulas de regulación, almacenamiento para distribución, retornos, condensados, conexiones, líneas principales y medidores.

Introducción Casaluker.

Casaluker, ubicada en la calle 13 # 68-98 es una empresa colombiana de talla internacional, cuenta en su portafolio una amplia gama de productos de excelente calidad en la línea de alimentos y de aseo. Es una empresa de tradición, pero también moderna y futurista, que desde 1906 ha llevado felicidad y satisfacción a los hogares Colombianos, pensando en la calidad de vida y con gran presencia en mercados internacionales y de consumo fuera del hogar. Casaluker cuenta con una fuerza nacional de negocios capacitada en ventas orientadas hacia socios comerciales, trabajo en el que se enfoca de acuerdo al mercado y el lugar del consumo de los productos.

Casaluker se dedica a la producción de productos para la canasta familiar los cuales se consumen a diario y de gran importancia en nuestra dieta alimenticia, incluyen:

- ✓ Producción de chocolate (ubicada en Bogotá)
- ✓ Producción de café (ubicada en Manizales)
- ✓ Producción de harinas (ubicada en Caloto, Cauca)
- ✓ Producción de Aceites (ubicada en Casanare)

- ✓ Producción de Jugos (ubicada en Chinchina Caldas)
- ✓ Producción de productos de Aseo. (ubicada Bogotá)

Los productos cuentan con la certificación del sistema de gestión de calidad ISO 9001, es un sello es otorgado a los productos fabricados con ajuste a las normas técnicas colombianas y bajo sistemas de calidad confiables y estables en el tiempo.

Productos de Casaluker.

- ✓ **Chocolate Luker**
- ✓ **Chocolate Sol**
- ✓ **Chocolate Quesada**
- ✓ **Chocoexpress**
- ✓ Lukafe
- ✓ New Colony
- ✓ Aroma
- ✓ Ricamasa
- ✓ Jugos Frutasa
- ✓ Vikingos
- ✓ **Manteca de cacao**
- ✓ **Cocoa en polvo**
- ✓ Jabon Cristalino

Para profundizar en el planteamiento y desarrollo del proyecto es preciso explicar el proceso para producir el licor de cacao que será motivo de desarrollo y planteamiento del problema, algunos de los productos comercializados no son producidos a base de licor de cacao.

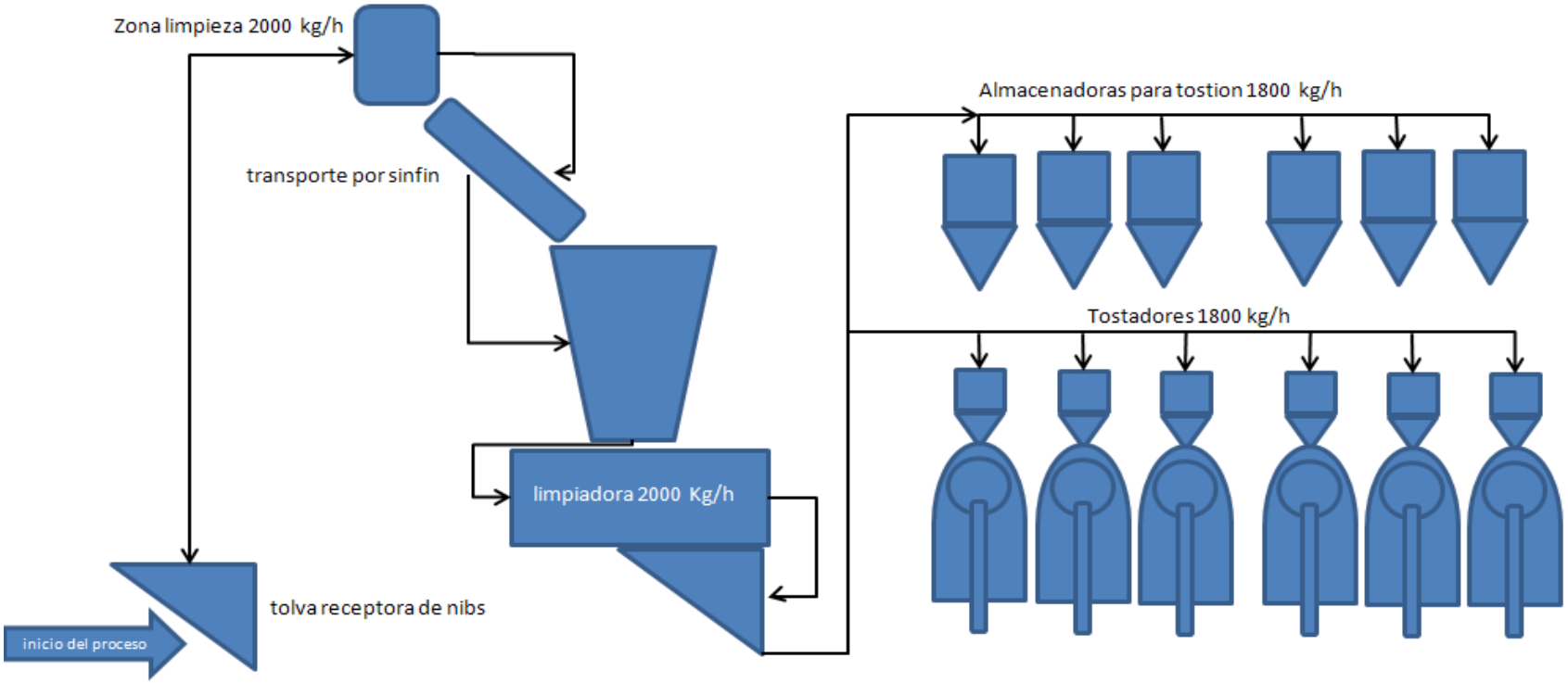
Las graficas a continuación explican el proceso de fabricación del licor de cacao desde su origen en bultos en forma de grano, hasta su fase final el producto final:

1. Inicio de proceso, limpieza de nibs, tostion de nibs
2. Seleccionadora de nibs por tamaño, Trilladora de grano 2000 kg/h, descascarilladora de nibs de cacao, expulsión.
3. Silos de Almacenamiento de cacao, descascarillado, molienda por cuchillas y por bolas 1400 kg/h.
4. Marmitas, tanques acondicionadores o mezcladores, atemperadores y dosificadoras 2340 kg/h.
5. Cavas de enfriamiento, empacadoras, producto terminado 2340 kg/h.

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CACAO.

- ✓ ***Inicio de proceso, limpieza de nibs, tostion de nibs.***

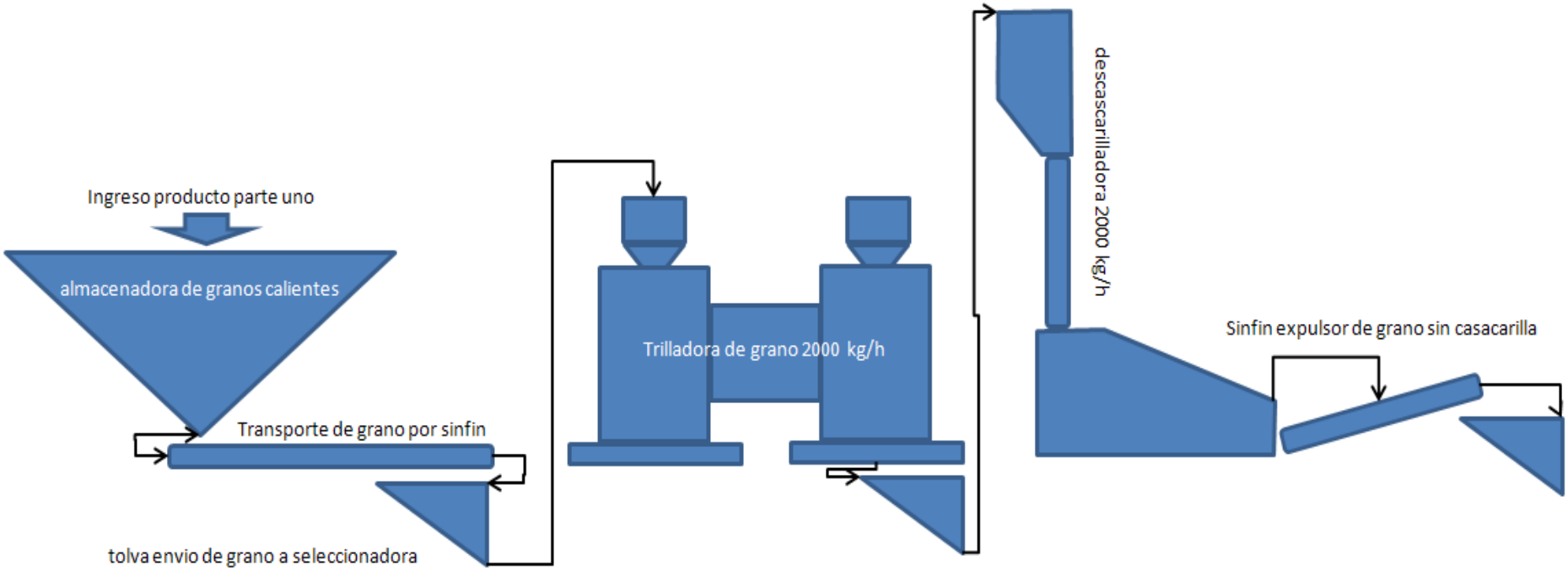
FIGURA 1. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.



Realizado por el autor.

✓ **Seleccionadora de nibs por tamaño, Trilladora de grano 2000 kg/h, descascarilladora de nibs de cacao, expulsión.**

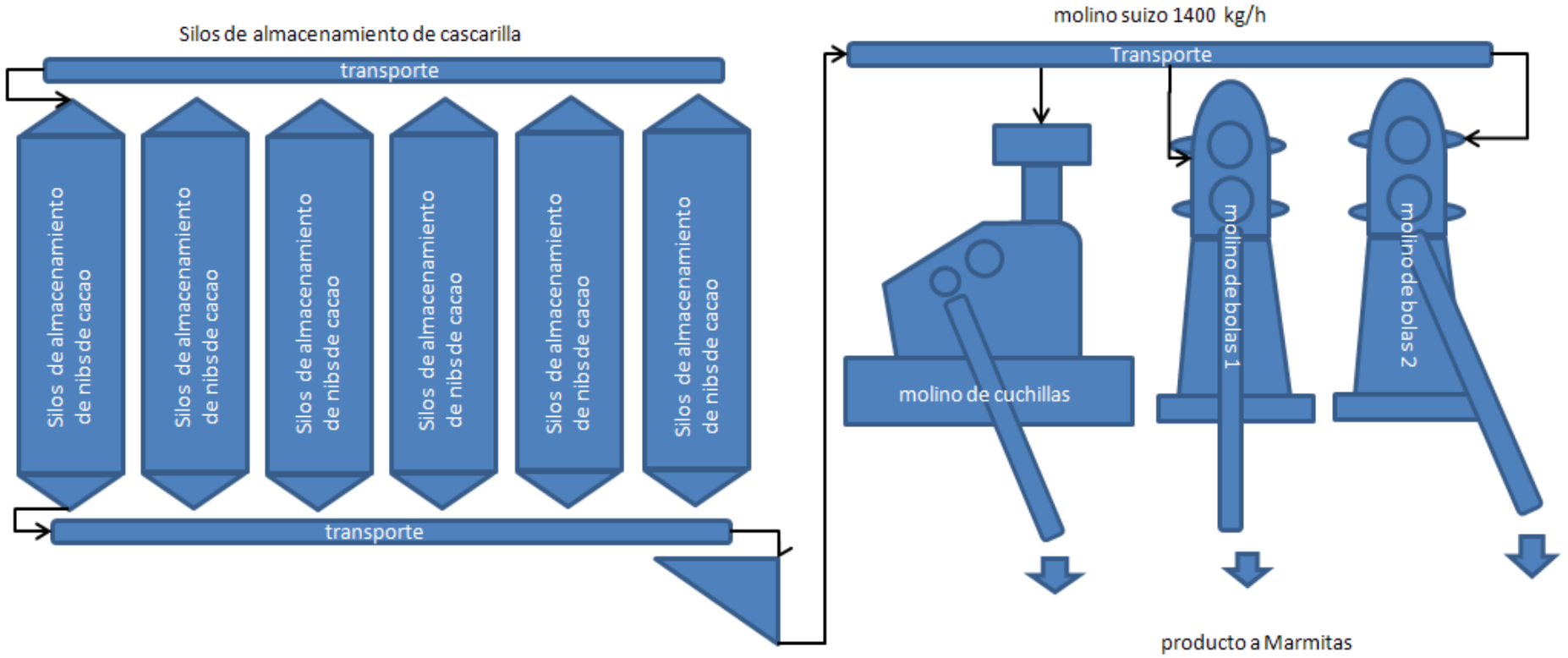
FIGURA 2. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.



Realizado por el autor.

✓ **Silos de Almacenamiento de cacao, descascarillado, molienda por cuchillas y por bolas 1400 kg/h.**

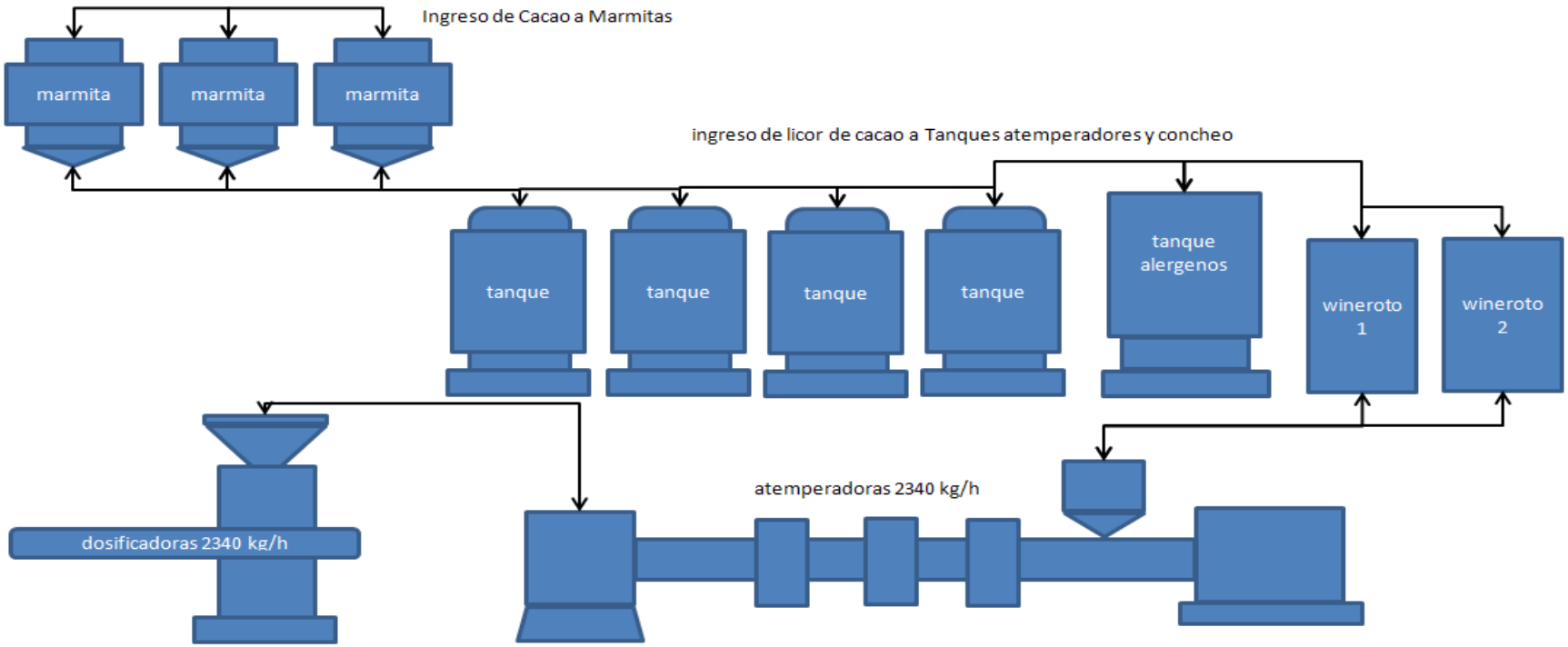
FIGURA 3. Descripción del proceso de producción del licor de cacao.



Realizado por el autor.

- ✓ **Marmitas, tanques acondicionadores o mezcladores, atemperadores y dosificadoras 2340 kg/h.**

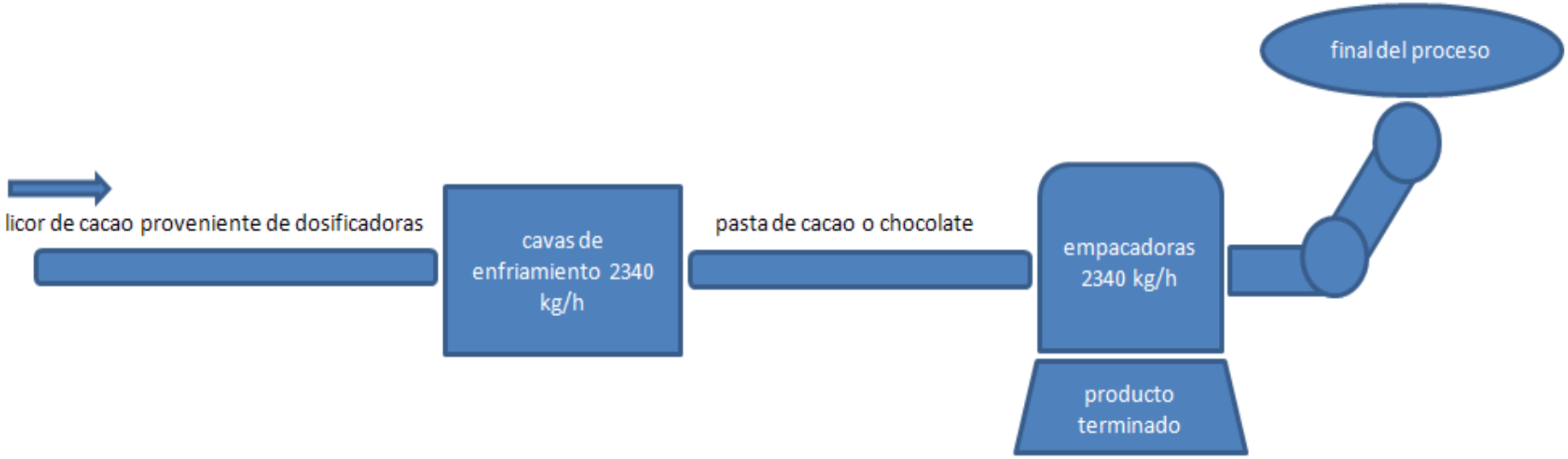
FIGURA 4. ***Descripción*** **del proceso de producción del licor de cacao.**



Realizado por el autor.

- ✓ **Cavas de enfriamiento, empacadoras, producto terminado 2340 kg/h.**

FIGURA 5. Descripción del proceso de producción del *licor* de cacao.



Realizado por el autor.

Tecnológicamente Casaluker cuenta con una gran infraestructura altamente competente ofreciendo productos de excelente calidad desde hace 104 años. Su último proyecto BARTH- BUHLER ubica su planta de producción en segundo lugar de Suramérica en el procesamiento de licor de cacao, debido a su nivel tecnológico tiene plantas de tratamiento de aguas, plantas de procesamiento, refinadoras, equipos de control PLC (Schneider, festo, allen-bradley, siemens entre otros), equipos de bombeo, control de calidad, sus áreas de compras, ventas, investigación, ingeniería, producción y mantenimiento, la hacen una organización bien estructurada, sus plantas productoras cumplen todos los requerimientos en materia ambiental y tienen sistemas adecuados para el manejo de residuos afluentes en los procesos productivos, las calderas y chimeneas tienen los equipos apropiados para retener partículas que pueden causar contaminación, de esta forma se controlan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Debido al requerimiento de prácticas empresariales de la Universidad de San Buenaventura, el ingreso a la compañía Casaluker se realizo el día 10 de agosto de 2009 hasta el día 15 marzo de 2010, durante el ejercicio del contrato Casaluker delegó las tareas de:

- ✓ Despliegue técnico en proyectos.
- ✓ Mantenimiento a Indicadores departamento ingeniería.
- ✓ Asistencia a montajes mecánicos y eléctricos.
- ✓ ***Rediseño del circuito de agua caliente de planta de producción.***

El diseño del sistema de aguas incluye análisis del sistema actual y cálculos hidráulicos teniendo en cuenta los requerimientos de equipos en planta, cumpliendo con los estándares de presiones, temperaturas y caudales para los procesos productivos. El cálculo del equipo de bombeo, planos de trayectorias de ambos circuitos, distribución del equipo de medición como sensores y actuadores, realización del sistema de control y supervisión de variables del sistema hacen parte del diseño requerido.

Descripción del proceso del sistema actual.

Empieza desde una caldera Power Master con un poder calorífico de $\mathbf{5028000}\ \boldsymbol{btu/hr}$ la cual genera vapor saturado de agua de 150 a 170ºC a una presión de 115 a 125 PSI, esta calienta el serpentín en forma de espiral contenido en dos intercambiadores de calor VER ANEXO (B-D-M), ingresa agua al intercambiador proveniente de unas torres de enfriamiento a una temperatura de $25℃$ (tamb) y una presión de 45 PSI, se realiza la transferencia de calor y el agua sale a una temperatura de $45\ y\ 80℃$ desde los dos intercambiadores para realizar la distribución; el agua de 45℃

distribuye licor de cacao atraves de las tuberías encamisadas que llevan el licor de cacao a los tanques, molinos y equipos con un caudal másico de 0.15 L/s VER ANEXO(B), y el agua de 80℃ alimenta los encamisados de tanques acondicionadores , molinos de cuchillas y bolas con un caudal másico de $14\ L/s$ VER ANEXO(C-D), que hacen parte del proceso de producción de los productos de Casaluker.

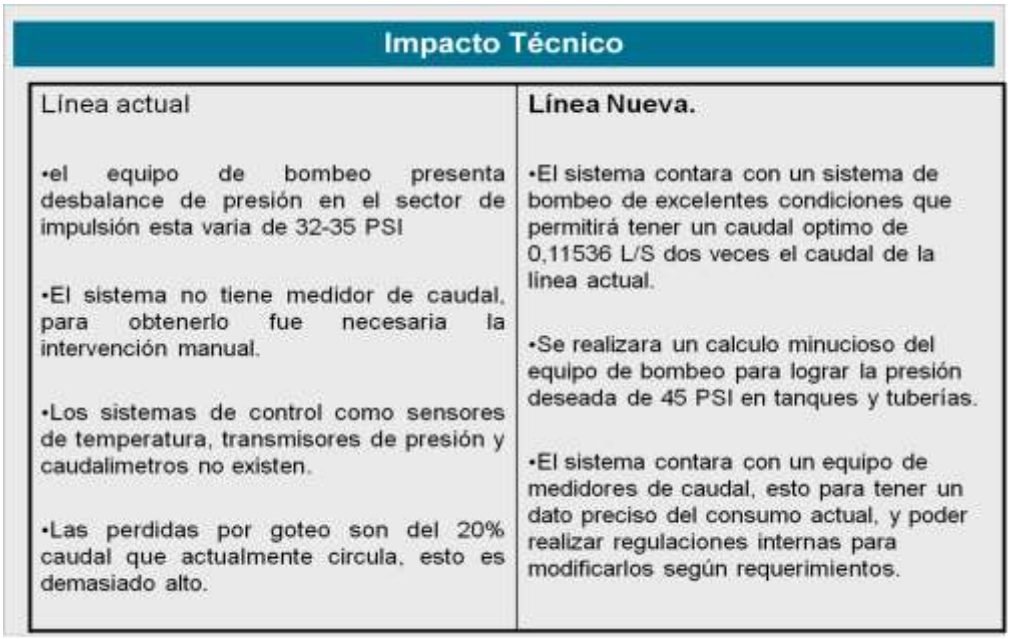
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Hoy por hoy Casaluker cuenta con un gran equipo e infraestructura mediante la cual se realizan los productos que comercializan, fuente de ingreso económico que les permite mantenerse en un lugar alto en las grandes compañías de Colombia. Esto es materia para tener un establecimiento en condiciones de calidad y normatividad cumpliendo con los estándares técnicos que la industria colombiana plantea así como de sus propios criterios para la producción. Para mantener la calidad de sus productos, sus equipos deben contar con un debido despliegue técnico, el actual circuito de agua no tiene información de sus equipos en planta ni de las normativas de regulación para mantener los consumos de agua estables, esto conlleva a la exigencia por parte del equipo de ingeniería para establecer un nuevo diseño cumpliendo con las necesidades planteadas en el aparte descripción y formulación del problema, satisfaciendo la demanda de agua y evitando al máximo las pérdidas generadas en el actual sistema.

FIGURA 6. Impacto técnico 1.

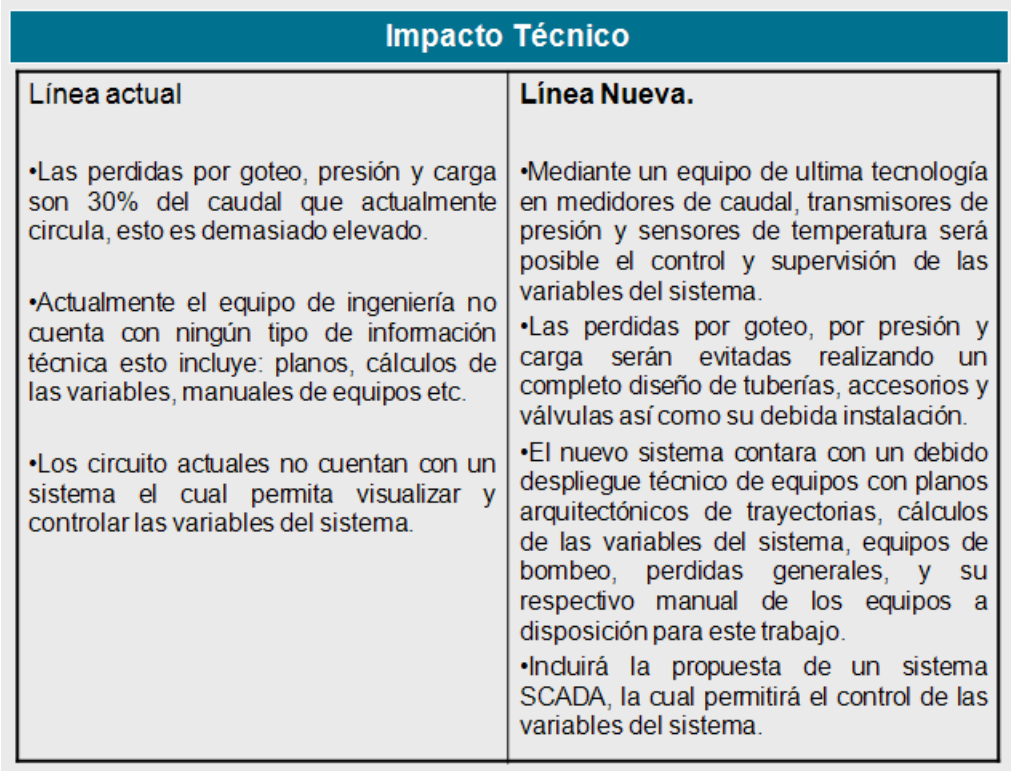
Impacto Técnico	
Línea actual	**Línea Nueva.**
•El sistema actual de distribución de aguas a encamisado de licor de cacao de toda la planta de producción no tiene despliegue técnico de equipos.	•La línea nueva de distribución actual de aguas contara con un informe técnico de todos sus equipos en planta que hacen parte del proceso de producción.
•Las presiones actuales de sistema están entre 30-35 PSI.	•El nuevo sistema contara con un balance de presiones en cada uno de los tanques, de esta manera se espera una presión uniforme de (45 PSI) atraves de todo el anillo de circulación.
•Las temperaturas en tuberías encamisadas, tanques y molinos no es la adecuada varia entre 38ºC – 76.5ºC.	•El sistema tendrá un balance en temperaturas de, 70-75 ºC en todos sus molinos y tanques y 42-45ºC en toda su tubería encamisada. Esto nos debe de arrojar un perdidas generales de Max 5%.
•El caudal de agua para las tuberías encamisadas es de 0,062031 L/S	

FIGURA 7. Impacto técnico 2.



Impacto Técnico	
Línea actual	**Línea Nueva.**
•el equipo de bombeo presenta desbalance de presión en el sector de impulsión esta varia de 32-35 PSI •El sistema no tiene medidor de caudal, para obtenerlo fue necesaria la intervención manual. •Los sistemas de control como sensores de temperatura, transmisores de presión y caudalimetros no existen. •Las perdidas por goteo son del 20% caudal que actualmente circula, esto es demasiado alto.	•El sistema contara con un sistema de bombeo de excelentes condiciones que permitirá tener un caudal optimo de 0,11536 L/S dos veces el caudal de la línea actual. •Se realizara un calculo minucioso del equipo de bombeo para lograr la presión deseada de 45 PSI en tanques y tuberías. •El sistema contara con un equipo de medidores de caudal, esto para tener un dato preciso del consumo actual, y poder realizar regulaciones internas para modificarlos según requerimientos.

FIGURA 8. Impacto técnico 3.



Impacto Técnico	
Línea actual	**Línea Nueva.**
•Las perdidas por goteo, presión y carga son 30% del caudal que actualmente circula, esto es demasiado elevado. •Actualmente el equipo de ingeniería no cuenta con ningún tipo de información técnica esto incluye: planos, cálculos de las variables, manuales de equipos etc. •Los circuito actuales no cuentan con un sistema el cual permita visualizar y controlar las variables del sistema.	•Mediante un equipo de ultima tecnología en medidores de caudal, transmisores de presión y sensores de temperatura será posible el control y supervisión de las variables del sistema. •Las perdidas por goteo, por presión y carga serán evitadas realizando un completo diseño de tuberías, accesorios y válvulas así como su debida instalación. •El nuevo sistema contara con un debido despliegue técnico de equipos con planos arquitectónicos de trayectorias, cálculos de las variables del sistema, equipos de bombeo, perdidas generales, y su respectivo manual de los equipos a disposición para este trabajo. •Incluirá la propuesta de un sistema SCADA, la cual permitirá el control de las variables del sistema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Los primeros antecedentes se encuentran en Israel hace aproximadamente 7.000 años, donde el agua era almacenada en los pozos para su posterior utilización. Como el agua había de ser trasladada de los pozos a otros puntos donde era necesario su uso, se empezaron a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. El transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas.

En la antigua Grecia, el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas desde épocas muy tempranas por sus ciudadanos. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados a desarrollar sistemas más eficaces para al almacenamiento y distribución del agua, lo que les llevó a la construcción de las primeras redes de distribución a gran escala que requerían de unos materiales más sofisticados, como la cerámica, la madera o el metal.

A inicios del Siglo XIX se encuentra el primer sistema de suministro de agua potable para toda una ciudad completa. Fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. Tres años más tarde se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.[1]

El agua es fuente principal en el desarrollo ingenieril del proyecto, ya que se distribuirá atraves de tanques, tuberías, molinos y bombas; la distribución de aguas en Luker actualmente se da de la siguiente manera:

- ***tanques mezcladores***

J08-07, J08-04, J08-05, J08-03, J08-08, J08-09, J08-10, J08-02, mezcla, hacos, pecoso, y winerotos 1 y 2.

- ***Molinos***

Molino de bolas #1, molino de cuchillas #2, molino de cuchillas #3, molino (marmita), Molino de bolas #2. Molinos de bolas winerotos (2).

- ***Tuberías de licor de cacao.***
- ***Intercambiadores***, red de agua caliente ($45° \; y \; 80°$) grados centígrados℃.
- ***Atemperadoras***

[1] http://blog.condorchem.com/historia-antigua-del-tratamiento-del-agua-potable/#more-598

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE AGUAS EN TANQUES Y MOLINOS, CONSUMO.

TEMPERATURAS DE SALIDA EN TANQUES ACONDICIONADORES						
TANQUE	TEMPERATURA DE ENTRADA AGUA e=+/-2%	TEMPERATURA DE SALIDA LICOR CACAO	DIFERENCIA DE TEMPERATURAS	CAPACIDAD EN TANQUE Kg	FLUJO DE AGUA POR EQUIPO kg/s	CAUDAL DE AGUA POR EQUIPO L/s
TQ-10	74.5˚C	40.7˚C	33.8˚C	10000	0,5858	0,5354
TQ-09	75.8˚C	46.6˚C	36.4˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-05	76.2˚C	40˚C	36.2˚C	2000	0,1171	0,107
TQ-03	77.3˚C	40˚C	37.3˚C	2000	0,1171	0,107
TQ-04	76.2˚C	45˚C	31.2˚C	2000	0,1171	0,107
TQ-08	78.9˚C	38˚C	40.9˚C	10000	0,5858	0,5354
TQ-winer1	73.1˚C	45˚C	28.1˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-winer2	75.5˚C	48˚C	27.5˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-mezcla	76.7˚C	45.6˚C	31.1˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-07	74.7˚C	46.5˚C	28.2˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-HACOS	72.5˚C	45˚C	27.5˚C	5000	0,2929	0,2677
TQ-02	77.6˚C	45˚C	32.6˚C	1000	0,5858	0,5354
TQ-06	77.4˚C	45˚C	32.4˚C	2000	0,1171	0,107
					3,9832	3,6404
				molinos		**8,159**
				Subtotal		**11,799**
				otras dependencias		**2**
				Total		**14**

Realizado por el autor.

Con la anterior descripción se logran establecer los parámetros para realizar la descripción del problema a solucionar que concluirá con el diseño del sistema de distribución.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Énfasis punto a punto de los problemas a solucionar:

1.2.1 Ineficiencia de presiones en algunos sectores de distribución: tales como tanques acondicionadores.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe plantear un sistema de distribución que reemplace al anterior, que cumpla con los requerimientos de los equipos de mezcla, estas presiones deben ser inferiores a los 125 PSI debido a que esta

es la presión máxima que soportan por diseño los tanques antes de estar expuestos a implotaciones[2]. El sistema actual presenta ineficiencia de presión, en algunos tanques es inferior (30 PSI) a la normal deseada de (35 PSI), debido a que los diámetros de retorno y distribución no son acordes con el anillo principal, están mal calculados. Esto hace que se presente un desbalance de presiones en los anillos de circulación por la ecuación de bernoulli, en consecuencia el agua no es transportada con eficiencia atraves de los tanques acondicionadores y es necesaria la intervención manual del operario realizando un bypass o cerrando la distribución en otros tanques.

1.2.2 Planos de trayectorias mal planteados.

Debido a las malas trayectorias actualmente planteadas en la distribución de aguas fue demasiado engorroso el análisis, y así analizando los puntos de desembocadura se pudo llegar a la conclusión que muchos de los tramos planteados en un 50% son creados por emergencias y son ajenos al diseño inicial, la creación de dichos puntos hace que al no estar calculados presenten desbalances en las presiones del anillo principal, riesgos para los operarios en planta ya que algunos tramos pasan a tan solo 1.63 cm de altura, siendo posible accidentes laborales por quemaduras, así mismo el mal diseño actual hizo que fuera difícil distinguir entre el encamisado de licor de cacao, la tubería de vapor y la distribución de aguas.

1.2.3 Perdidas de agua.

Teniendo en cuenta que más de la mitad de la inversión total en medios para el abastecimiento de agua corresponde a la distribución del agua industrial y potable, para ser adecuado un sistema de distribución debe proporcionar un amplio suministro de agua, estéticamente de calidad satisfactoria y, manteniendo presiones adecuadas normales para los usos residenciales, comerciales e industriales, algunas de las perdidas más relevantes de los sistemas de abastecimiento son los desperdicios de aguas, en la planta de producción estos desperdicios de agua se pueden apreciar fácilmente en tuberías deterioradas por corrosión, malas conexiones en equipos, fugas en tubos y accesorios y mala instalación en equipos de control como válvulas y reguladores, dichas pérdidas generan costos para la producción general o de servicios y deben ser atendidas con eficacia por el equipo de mantenimiento, esto para lograr una eficiente línea de producción evitando al máximo costos adicionales a los planteados presupuestalmente.

[2] Implotacion se entiende como la explosión que se presenta al interior de un tanque cuando se sobrepresuriza, excediendo la presión de diseño.

1.2.4 Reposo del licor de cacao.

Debido a la viscosidad del licor de cacao de $\mathbf{14036,05\ lb/ft*h}$ es necesaria la intervención de un sistema que le ayude a transportarse atraves de las tuberías, esto se logra manteniendo la temperatura de 45℃ en el sistema, el transporte es mediante un tubo enchaquetado de acero inoxidable con un diámetro que oscila entre 2” y 6”, su geometría la constituye un tubo de menor diámetro contenido al interior de un tubo de mayor diámetro la diferencia de diámetros hace que se presente un vacio llamado chaqueta; el tubo presenta una longitud máxima de 3m a 6m y es necesaria la presencia de uniones enchaquetadas para lograr longitudes mayores, igualmente es necesario tener un equipo de bombeo sanitario construido en acero inoxidable para impulsar el licor de cacao atraves de los equipos. Debido al desbalance de presiones y caudales el agua no se presenta eficientemente en todos los ramales de distribución y algunos tramos de tubería encamisada, Esto hace que el licor de cacao pierda su temperatura interna y pase a su fase solida, impidiendo el paso y perdiendo materia prima de la producción.

1.3 JUSTIFICACION

El desarrollo del proyecto permitirá a CASALUKER S.A disponer de un nuevo sistema de distribución de aguas, cumpliendo las normas necesarias en planta presiones adecuadas, caudales y, temperaturas; es importante resaltar que a solicitud del departamento de ingeniería se propuso cambiar el sistema de distribución de aguas debido a que los tramos actuales son demasiado difíciles de entender, demasiado complejos para analizar, antiguo en cuanto vida útil y, demasiado riesgosos para el operario en planta.

Distribuciones, propiedades, y cantidades necesarias de agua y energía en tuberías y tanques:

Tabla 2. Necesidades de energía y flujo de agua en tuberías y tanques.

CALCULOS DE CAUDALES A PARTIR DE MEDICIONES EN CAMPO					
	numero de tanques acondicionadores que intervienen en el proceso			15	
LICOR DE CACAO	***producto en proceso***	**LICOR DE CACAO**			
	flujo de masa promedio	1,059	(Kg/s)	8.545,920	lb/h
	temperatura de entrada	48,000	ºC	118,400	ºF
	temperatura de salida	45,000	ºC	113,000	ºF
	calor especifico	0,420	cal/ g˚C	3,418	BTU/lbºF
	conductividad térmica K	22,270	W/m*ºK	12,876	BTUºF/ft^3
	densidad p	1940,014	Kg/m^3	109,870	lb/ft^3
	viscosidad dinámica u	23024,930	N*s/m^2	14.036,000	lb*s/ft^2
	calor de fusión	19,250	Kcal/kg		
AGUA	***temperatura de entrada***	22,000	ºC	71,600	ºF
	temperatura de salida	40,0 –80,0	ºC	104,000	ºF
	calor especifico	4,301	Kj/KgºC	1,028	BTU/lbºF
	densidad p	1000,040	Kg/m^3	62,082	lb/ft^3
	NECESIDAD DE CALOR A PLENA CARGA DEL SISTEMA DE LA PLANTA				
TANQUES ACONDICIONADORES	***flujo de energía por equipo***	45,4323	Kw	157733,9023	BTU/h
	flujo de energía total	681,4849	Kw	2366008,534	BTU/h
	FLUJO DE AGUA NECESARIO EN TANQUES				
	flujo de agua por equipo	0,5858	Kg/s	4658,3714	lb/h
	caudal por equipo	0,5354	L/s	8,4875	GPM
	flujo de agua en zona de tanques	14,61	Kg/s	69875,5708	lb/h
	caudal agua en zona de tanques	14,00	L/s	226,0477	GPM
TUBERIAS	FLUJO DE AGUA NECESARIO EN TUBERIAS				
	flujo de agua en tuberías	0,0667	Kg/s	529,36	lb/h
	caudal a través de tuberías	0,062031	L/s	0,98319135	GPM
	caudal para cálculo de tuberías	0,11536	L/s	64,86	GPM

Realizado por el autor.

La modernización de la planta de producción, optimización en espacios para futuros cambios, la eficiencia en el sistema de distribución de aguas, la implementación de tuberías, válvulas, accesorios, sistemas de bombeo, los planos de la distribución de aguas, el despliegue técnico, el control y automatización del proceso de distribución y, los equipos de medición son el gran objetivo del proyecto.

Actualmente la distribución de aguas se encuentra sin aislamientos en la totalidad de su recorrido y sin un acondicionamiento térmico, la planta de producción disminuirá la cantidad de perdidas por carga y por calor mediante un circuito netamente aislado.

El nuevo sistema contara con el diseño de un control de temperatura PID, el cual controlara la entrada del vapor que circula al interior del tanque encamisado, aumentando la temperatura interna del agua que circula atraves del encamisado manteniéndola en el rango de $75 - 80°\mathrm{C}$, y así mantener el licor de cacao en su temperatura ideal de $45\ a\ 48°\mathrm{C}$, operando la apertura y cierre de una válvula de control manipulando la tensión de $0 - 5V$ y así el flujo másico a la entrada en el rango de $395\ -\ 480\ \mathrm{kg/hr}$.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño del sistema de distribución de aguas que provienen de los intercambiadores de calor, a temperaturas de 45 y 80 ℃, cubriendo los tanques de almacenamiento y toda la tubería de transporte del licor de cacao; controlando la temperatura en los tanques de almacenamiento implementando un sistema PID simulado; Para la empresa CASALUKER S.A.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Hacer un análisis profundo al sistema actual de transporte de aguas teniendo en cuenta trayectorias, flujos, caudales, presiones, sistemas subdivididos o implícitos en el sistema actual.

2. Realizar un diseño del sistema de distribución de aguas partiendo de la ubicación geográfica de los intercambiadores de calor; debe incluir planos de las posibles trayectorias de distribución, teniendo en cuenta los requerimientos de los equipos en planta, y los datos adquiridos en la primera investigación.

3. Establecer nuevos cálculos hidráulicos de diámetros para los dos circuitos, perdidas por carga, potencia del equipo de bombeo, costo total del equipo de distribución y velocidad de flujo. Teniendo en cuenta las variables del sistema para los equipos de planta, esto para asignar relaciones en equipos si fuera necesario.

4. Diseñar un algoritmo lógico matemático, para realizar el cálculo de la optimización de costos, El algoritmo incluirá todas las ecuaciones hidráulicas implícitas, relacionando sus variables para la solución de las incógnitas planteadas.

5. Diseñar un equipo de bombeo capaz de suministrar las presiones de $35 - 40\ PSI$ y cumplir con las distribuciones que en planos se plantearan.

6. Establecer un sistema de sensores para supervisar las variables del sistema y posteriormente controlarlas.

7. Hacer cantidad de obra del proyecto asumiendo todos los materiales y equipos a utilizar, debe incluir: numero de tubos, accesorios, válvulas, sensores, soporteria, aislamientos, instalaciones, equipo de bombeo y control y, etapas de regulación.

8. Diseñar un sistema de control de temperatura a los tanques de proceso, partiendo de los modelos matemáticos que hacen parte del proceso de mezcla de licor de cacao e implementando un sistema de control PID.

9. Realizar la sintonización y simulación del proceso de control de temperatura, teniendo en cuenta las propiedades del licor de cacao en cuanto a su temperatura de entrada, salida, solidificación y las variables involucradas en el proceso.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.

1.5.1 ALCANCES.

1. La nueva línea contara con una base fuerte de información, documentada a base de visitas a planta para realizar un inventario de todos los equipos involucrados en el sistema de distribución de aguas, esto con el fin de obtener un despliegue técnico que incluye manuales y mantenimientos.

2. El sistema contara con el diseño de un sistema de tuberías el cual mantenga el balance de presiones requeridos por cada equipo involucrado en el proceso.

3. Contando con la calidad en el diseño del sistema, el circuito contará con una distribución de temperaturas uniformemente distribuidas atraves del anillo de circulación; mediante el uso de sensores PT100 contara con un sistema de visualización de temperatura en tiempo real para su supervisión y control.

4. Se obtendrá un equipo de bombeo, a partir de cálculos hidráulicos según requerimientos del equipo de mantenimiento y producción de Casaluker, El sistema de bombeo estará en capacidad de llevar el agua con una presión uniforme en todos sus recorridos atraves de todo el encamisado de licor de la planta tanques, molinos y tuberías de licor de cacao.

5. El equipo completo de distribución contará con un equipo de medición de caudal para lograr controlar el consumo de agua en los equipos y planta esto para establecer regulaciones encontrar fallos o fugas y disminuir las perdidas.

6. Como logro tecnológico el diseño incluirá un sistema de control y supervisión implementando un sistema SCADA para obtener en tiempo real las variables del sistema y concordar con el punto anterior.

7. El sistema contara al final con un despliegue técnico completo, esto incluye planos arquitectónicos, equipos de bombeo, tablas de las variables del sistema, manuales de mantenimiento, lubricación, limpieza etc., control y supervisión del sistema.

1.5.2 LIMITACIONES.

1. La construcción del proyecto correrá por parte del equipo de ingeniería de la empresa Casaluker s.a el proyecto contendrá una cantidad de obra que en su interior tiene información de los contratistas que mejor pueden realizar la venta y montaje de los equipos involucrados.

2. El sistema SCADA estará planteado por parte del diseñador con el fin de proponer un valor agregado al proyecto, involucrara las variables del sistema y las visualizara en tiempo real, esto le traerá beneficios tecnológicos en la optimización de procesos su aprobación para la construcción solo será aprobada por los ingenieros directivos de CASALUKER S.A.

3. La simulación del sistema de control de la distribución de aguas formara parte del valor agregado al proyecto, incluyendo la parte Mecatrónica planteada por la universidad, los valores de dicha simulación así como sus condiciones iniciales y finales serán planteadas por el diseñador con el fin de realizar una profundización al entendimiento del sistema a diseñar.

4. En el objetivo general del proyecto se estipula el diseño y simulación del proyecto, hay que enfatizar que la simulación se realizara al sistema de control de los tanques mezcladores donde se almacena el licor de cacao, no se hará otro tipo de control a las demás variables del sistema.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEORICO CONCEPTUAL.

2.1.1 HIDRAULICA Y ANALISIS DEL SISTEMA

La hidráulica es el estudio general de los principios y leyes que gobiernan el comportamiento de los líquidos, tanto en reposo como en movimiento, hay dos grandes subdivisiones de la hidráulica: la hidrostática, o el estudio de líquidos en reposo, y la hidrodinámica, el estudio de los equipos en movimiento. El análisis hidráulico de los sistemas de distribución de aguas exige fundamentos básicos de matemáticas e ingeniería, es un trabajo de diseño realizando análisis hidráulicos y planeación. De esta manera se puede definir una red hidráulica como un conjunto de tubos, accesorios, válvulas, reguladores y, sistemas de bombeo debidamente concebidos y ensamblados con el fin de trasladar un fluido de un lugar a otro, cumpliendo con la norma de presiones solicitados por equipos en planta.[3]

2.1.1.1 Tubería.

La tubería de acero se ha usado, desde hace largo tiempo, para la distribución del agua, el mejoramiento de las técnicas de soldadura ha aumentado el uso de la tubería de acero, particularmente en los diámetros más grandes. Es más ligera en peso que la tubería de hierro fundido o de concreto y se corta y suelda con facilidad. Se instala y se une con facilidad, tiene cierta flexibilidad en acción y se puede diseñar en espesores y en resistencia para que satisfaga las condiciones más severas. Sin embargo, es menos durable y algunas veces más costosa que las tuberías de competencia, aunque se pueden aplicar revestimientos o recubrimientos para aumentar su durabilidad y vida útil o de servicio, sin embargo, tales revestimientos algunas veces afectan adversamente por la flexibilidad de la tubería, esto si sufre de flexiones por las cargas de las zanjas.[4]

2.1.1.2 Caudal.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se

[3] American Water Works, association. *Curso de adiestramiento en la distribución de agua*. México AID 1966.*
[4] *

identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Se pude expresar mediante los siguientes términos:[5]

$Q = la\ rapidez\ del\ flujo\ de\ volumen,$
$es\ el\ volumen\ de\ flujo\ de\ fluido\ que\ pasa\ por\ una\ seccion\ por\ unidad\ de\ tiempo$

$W = la\ rapidez\ de\ flujo\ de\ peso,$
$es\ el\ peso\ de\ fluido\ que\ fluye\ en\ una\ seccion\ por\ unidad\ de\ tiempo$

$M = la\ rapidez\ del\ flujo\ de\ masa,$
$es\ la\ masa\ de\ fluido\ que\ pasa\ atraves\ de\ una\ seccion\ por\ unidad\ de\ tiempo$

La rapidez de flujo de volumen Q, se calcula médiate la siguiente ecuación:

$$Q = \ A * V$$

Donde $Q = es\ el\ caudal\ o\ flujo\ volumetrico$, $A = area\ transversal,$
$V = velocidad\ del\ fluido$. Las unidades del caudal son, $Q = \frac{m^3}{seg}$, $V = \frac{m}{s}$
$A = m^2$.

2.1.1.3 Temperatura.

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más caliente tendrá una temperatura mayor, y si fuere frío tendrá una temperatura menor. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía sensible, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que es mayor la energía sensible de un sistema se observa que está más caliente es decir, que su temperatura es mayor.

Es importante resaltar que durante el proceso de diseño del algoritmo para hallar los diferentes diámetros de los tubos y demás parámetros, la temperatura juega un papel muy importante ya que en la ecuación de transferencia de calor es usada para resolver los diámetros a utilizar para las tuberías de distribución. Dicha ecuación se encontrara más detallada en el código fuente del algoritmo.

[5] Mecánica de fluidos, Robert Mott Pág. 146 Rapidez de Flujo Fluido

2.1.1.4 Longitud Del Tramo.

La longitud total del tramo es una variable más en la determinación del diámetro de los tubos, esta variable es usada en diferentes ecuaciones pero la más importante es la ecuación de perdidas por carga; ya que las diferentes longitudes utilizadas en diferentes tramos permiten establecer mediante diferentes métodos las perdidas por carga, estas pérdidas por carga son muy útiles para establecer los costos totales en el diseño de distribución de aguas.

Otra aplicación de esta variable son los planos de diseño y distribución, la variable longitud es muy importante para realizar los planos de diseño, para establecer los diferentes puntos donde requiere distribuir o almacenar el agua, y según su diseño arquitectónico establecer las rutas más favorables. Incluso para establecer la ubicación de medidores, transmisores de señal, equipos de bombeo, equipos intercambiadores etc.

2.1.1.5 Velocidad de fluido.

Los factores que afectan la elección de la velocidad de flujo adecuada en los sistemas de fluidos son numerosos. Algunos son el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de de conducto o tubo, la caída de presión que se puede tolerar, los dispositivos como bombas, válvulas y accesorios, que se pueden conectar al conducto o a la tubería, la temperatura, la presión y el ruido. Al analizar la ecuación de continuidad se puede deducir que la velocidad de flujo aumenta a medida que disminuye el área de la trayectoria del flujo, por consiguiente, los tubos más pequeños producen altas velocidades y de esta manera los tubos más grandes proporcionan bajas velocidades. Es necesario mantener las velocidades bajas para evitar que las caídas de presión aumenten drásticamente. Pero debido a que los conductos grandes son más costosos es necesario establecer algunas limitaciones.

Tabla 3. Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de fluidos.

	unidades del SI	***Unidades del sistema británico***
Entradas a bombas (líneas de succión)	*0.6 a 2.2 m/s*	*2.0 a 7.0 pies/seg*
salidas de bombas (líneas de descarga o de presión)	*2.4 a 7.5 m/s*	*8.0 a 25 pies/seg*
Líneas de retorno	*0.6 a 2.6 m/s*	*2.0 a 8.5 pies/seg*

Realizada por el autor.

2.1.1.6 Presión.

Presión de define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área en especifico de una sustancia. Se puede establecer la ecuación.

$$p = \frac{F}{A}$$

Blaise pascal en el siglo XVII describió unos importantes principios acerca de la presión; Pascal demostró que la presión que se ejerce sobre un punto de un líquido, se transmite íntegramente y con la misma intensidad en todas direcciones. Por otra parte se dice que cuando un fluido se mueve atraves de un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento, esta fuerza se produce por la acción de la presión conocida como dinámica, la presión dinámica depende de la velocidad y la densidad del fluido:

$$P = \frac{1}{2}\ \rho\ v^2$$

Donde P = presión dinámica, ρ = densidad del fluido en Kg/m^3 , v = velocidad del fluido.

2.1.1.7 Accesorios.

Los materiales básicos para las conexiones especiales, que se necesitan en el sistema de tuberías, tales como tees, curvas, codos, uniones y cruces, son de hierro fundido y acero. Es posible usar conexiones de acero y hierro, fabricadas por los mismos manufactureros. Estas son necesarias en el diseño total del sistema de distribución de aguas. Ver Anexo (J).

- ✓ ***Tubos de acero al carbón sin costura L=6m.***
- ✓ ***Codos estándar de 45˚***
- ✓ ***Codos estándar de 90˚***
- ✓ ***Tees o uniones.***
- ✓ ***Tees o uniones con reducción.***
- ✓ ***Reducciones o bushings.***
- ✓ ***Bridas ciegas.***
- ✓ ***Bridas soldadas.***
- ✓ ***Cruces o derivaciones.***
- ✓ ***Tapones.***
- ✓ ***Unión o conexión.***

Los cálculos a realizar se hallaran mediante las ecuaciones de bernoulli de transferencia de calor, gasto o caudal, aproximaciones polinomiales, formulas para el diseño de tuberías, perdidas por carga, funciones de transferencia del sistema entre otras.

2.1.1.8 Análisis de sistemas de línea de tubería método iterativo.

El un método iterativo que parte de la ecuación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Y siguiendo los siguientes pasos:

1. Evaluar las cantidades conocidas, tales como cabezas de presión y las cabezas de elevación.
2. Expresar las pérdidas de energía en términos de las velocidades desconocidas y los factores de fricción.
3. Con la ecuación de continuidad, expresar la tubería de menor diámetro en función de la de mayor diámetro.
4. Sustituir la expresión del paso 4 en la ecuación de la energía y eliminar una velocidad desconocida.
5. Despejar la velocidad en términos de los dos factores de fricción.
6. Expresar el número de Reynolds de cada tubería en términos de la velocidad de esa tubería.
7. Calcular la rugosidad relativa $\frac{D}{\in}$ para cada tubería.
8. Seleccionar valores de prueba para f en cada tubería, utilizando los valores conocidos de $\frac{D}{\in}$ como una guía.
9. Calcular la velocidad en la tubería más grande, utilizando la ecuación del paso 6.
10. Calcular la velocidad en la tubería más pequeña, utilizando la ecuación del paso 4.
11. Calcular los dos números de Reynolds.
12. Determinar el nuevo factor de fricción en cada tubería.
13. Comparar los valores de f con aquellos asumidos en el paso 9 y repetir los pasos 9-14 hasta que la diferencia sea de 0.0001, así las velocidades halladas en los pasos 10 y 11 son las correctas.[6]

[6] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott. **SISTEMAS CLASE I, II Y III**, CAP. 11 Y 12 Pág. 306.

2.1.1.9 Método de darcy para pérdidas por carga.

Con el método de DARCY se pueden calcular las pérdidas de cabeza para cualquier fluido newtoniano, siempre y cuando se utilicen las viscosidades y densidades apropiadas. Esto constituye, la principal ventaja de esta fórmula, ya que las otras fórmulas estudiadas son empíricas y sólo pueden aplicarse bajo condiciones muy específicas. En el cálculo de tuberías, hay que tener en cuenta que el sistema incluye las perdidas accidentales o singulares que se producen por acoples y derivaciones propias de los ramales, es decir, proporciona las pérdidas de cargas totales.

Las principales características del empleo de esta fórmula son:

- ✓ Fórmula para determinar las pérdidas de energía por fricción.
- ✓ Ecuación racional, desarrollada analíticamente aplicando procedimientos de análisis dimensional.
- ✓ Es derivada de las ecuaciones de la segunda ley de newton.
- ✓ La pérdida por fricción está expresada en función de las siguientes variables: longitud de la tubería, velocidad media de flujo (la que se puede expresar también en términos del caudal), diámetro de la tubería y depende también de un factor o coeficiente de fricción *f*.[7]

$$hl = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Calculo del coeficiente de fricción f, $\frac{D}{\epsilon}$, N_r para el método iterativo deben calcularse con el diagrama de Moody.[8] Donde:

$f = factor\ de\ friccion$

$L = longitud\ total\ del\ tramo$

$Q = caudal\ de\ operacion$

$D = diametro\ de\ la\ tuberia$

$Nr = numero\ de\ reynolds$

$\varepsilon = rugosidad\ del\ material\ transportador$

[7] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott **Perdidas Energía debido a la Presión** pág. 237
[8] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott **Diagrama de Moody** pág. 241

$hl = perdidas\ generadas\ por\ presion\ en\ accesorios$

$K = coeficiente\ por\ tablas\ para\ cada\ accesorio$

2.1.2 MODELAMIENTO DE SISTEMAS.

2.1.2.1 Análisis experimental.

La Ciencia y sus métodos proveen respuestas a los interrogantes humanos sobre sistemas y sus propiedades. Los métodos científicos se basan en la experimentación, que consiste en la realización de ensayos sobre el sistema, en la observación de las reacciones del mismo, y en la obtención de leyes de su comportamiento, expresadas por lo general mediante el lenguaje matemático. El método experimental no siempre es viable ya que en algunos casos existen factores que limitan o impiden su aplicación. Por ejemplo: Costos, Riesgos, experimento irrealizable (por inexistencia del sistema o incapacidad humana de experimentar).Cuando no se puede experimentar sobre los sistemas se recurre a su modelado.

2.1.2.2 *Modelos matemáticos*.

El proceso de modelado analítico se divide en tres grandes etapas. La primera de ellas consiste en la delimitación del modelo en función de los fenómenos que resultan relevantes de acuerdo al problema que se quiere resolver. Esta es una etapa que no puede sistematizarse fácilmente y que requiere por ende de una cierta dosis de intuición y por sobre todo de una vasta experiencia en relación con el sistema a modelar. Una vez delimitados los fenómenos que se consideraron relevantes para la construcción del modelo, se pasa a la siguiente etapa en la que se deben formalizar las relaciones constitutivas y estructurales asociadas respectivamente a los fenómenos considerados y a la forma en que se disponen dentro del sistema. En los sistemas físicos, estas relaciones constitutivas y estructurales encuentran su expresión formal (matemática) en las leyes fundamentales de los dominios de la física asociados a los fenómenos mencionados. Así, el modelado analítico de un sistema físico no es posible sin un conocimiento de las leyes físicas elementales asociadas a los fenómenos en cuestión. El procedimiento general es:

- Obtención de los valores físicos (térmicos para el caso)
- Obtención de la ecuación diferencial ordinaria, del sistema.
- Transformar las ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas.
- Resolver las ecuaciones para las variables de salida.
- Obtener la respuesta en el tiempo.

- Analizar la respuesta en el tiempo.

2.1.2.3 *Método de transferencia de calor*.

Bajo transferencia de calor se entienden los procesos de su propagación, según la concurrencia en la práctica de dos o los tres modos elementales:

- Conducción
- Convección
- Radiación

En todos los casos que se describen a continuación, considérese un fenómeno estacionario, o un tiempo fijo t.

2.1.2.4 *Conducción*.

La conducción está relacionada con el desordenado movimiento térmico de las partículas en un cuerpo en contacto directo. Mientras que en los metales el rol fundamental lo juegan los electrones libres, en los medios cristalinos la conducción se debe a las oscilaciones de los átomos en la red y en los gases a la difusión molecular. Conducción pura se observa en el interior de los sólidos opacos y en los fluidos a condición de que la presión en su seno sea uniforme.

2.1.2.5 Convección.

La transferencia de calor por convección tiene lugar entre las partes de un fluido (o entre fluidos y cuerpos sólidos) que estén a temperaturas desiguales, produciéndose como resultado del movimiento de partículas macroscópicas del fluido, las unas respecto a las otras y a los sólidos. Son procesos muy complicados que dependen de muchos factores: el origen del movimiento (convección libre, convección forzada); las condiciones del movimiento (régimen laminar, régimen turbulento); el campo de velocidades del fluido, sus propiedades físicas y químicas (viscosidad, calor especifico, densidad, conductividad térmica, etc.); la geometría de las paredes limitantes del fluido (perfil, dimensiones); las temperaturas en el fluido y en las paredes; otras condiciones de contorno.

2.1.2.6 Radiación.

Es el proceso de propagación de la energía interna de un cuerpo o sustancia por medio de ondas electromagnéticas. Una porción de la energía térmica es emitida por radiación, que se convierte nuevamente en energía térmica cuando es absorbida por otros cuerpos. La radiación térmica (la que produce cambios en la temperatura del emisor o del receptor) abarca las longitudes de onda λ entre 0,8 µm y 0,8 mm aproximadamente.

2.1.2.7 *Resistencia térmica*.

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

La resistencia térmica total Rt es la inversa del coeficiente de transmisión de calor de un elemento, que es la suma de las resistencias térmicas superficiales y la resistencia térmica del elemento constructivo. Se verifica que:

$$Rt = \frac{1}{KA}$$

Ecuación del modelo térmico de transferencia de calor obtenida entre tubería y fluido para hallar las pérdidas generadas por el calor, la solución para tiempo real se obtuvo del método de la transformada de laplace en modelos de sistemas dinámicos (térmicos).

$$Q_{in} = C\frac{dT - T_{\infty}}{dt} + \frac{T - T_{\infty}}{R}$$

2.1.2.8 Capacitancia térmica.

La capacidad calorífica de un cuerpo es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En otras palabras es la energía necesaria para aumentar 1 °K la temperatura de una determinada cantidad de sustancia. Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Puede interpretarse como una medida de inercia térmica. Es una propiedad extensiva, ya que su magnitud depende, no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo o sistema; por ello, es característica de un cuerpo o sistema particular. En general, la capacidad calorífica depende de la temperatura y de la presión. Las unidades de la capacitancia térmica son:

$$C = \frac{J}{°K}$$

2.1.3 METODOS NUMERICOS

2.1.3.1 *Algoritmos lógicos*.

En un sentido amplio, dado un problema y un dispositivo donde resolverlo, es necesario proporcionar un método preciso que lo resuelva, adecuado al dispositivo. A tal método se le llama algoritmo. Un algoritmo se centra en dos aspectos muy importantes como son el diseño y el estudio de su eficiencia.

El primero se refiere a la búsqueda de métodos o procedimientos, secuencias finitas de instrucciones adecuadas al dispositivo, que permitan resolver el problema. Por otra parte, el segundo nos permite medir de alguna forma el coste (en tiempo y recursos) que consume un algoritmo para encontrar la solución y nos ofrece la posibilidad de comparar distintos algoritmos que resuelven un mismo problema. Los algoritmos lógicos son muy útiles en los campos de ingeniería, creando múltiples ecuaciones en funciones de las variables de entrada, la temperatura, longitud del tramo total, caudal y las ecuaciones planteadas anteriormente, simplificándolas y resolviéndolas para la solucionar las incógnitas de diámetros, caudales, presiones etc.

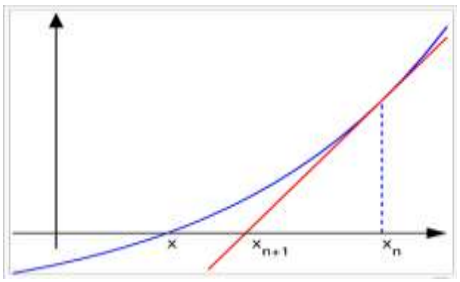
2.1.3.2 Método De Newton Raphson.

El método de Newton fue descrito por Isaac Newton en *De analysi per aequationes número terminorum infinitas* (escrito en 1669, publicado en 1711 por William Jones) y en *De metodis fluxionum et serierum infinitarum* (escrito en

1671, traducido y publicado como Método de las fluxiones en 1736 por John Colson). Sin embargo, su descripción difiere en forma sustancial de la descripción moderna presentada más arriba: Newton aplicaba el método solo a polinomios, y no consideraba las aproximaciones sucesivas X_n, sino que calculaba una secuencia de polinomios para llegar a la aproximación de la raíz x. Finalmente, Newton ve el método como puramente algebraico y falla al no ver la conexión con el cálculo.[9]

El método de Newton-Raphson es un método abierto, en el sentido de que su convergencia global no está garantizada. La única manera de alcanzar la convergencia es seleccionar un valor inicial lo suficientemente cercano a la raíz buscada. Así, se ha de comenzar la iteración con un valor razonablemente cercano al cero (denominado punto de arranque o valor supuesto). Una vez se ha hecho esto, el método linealiza la función por la recta tangente en ese valor supuesto. La abscisa en el origen de dicha recta será, según el método, es una mejor aproximación de la raíz que el valor anterior. Se realizarán sucesivas iteraciones hasta que el método haya convergido lo suficiente.

FIGURA 9. Método de Newton Raphson.



2.1.4 SISTEMAS DE CONTROL.

2.1.4.1 Sistemas de control PID.

Un controlador PID (proporcional, integral, derivativo) es un sistema de control que, mediante un elemento final de control (actuador), es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más usados en la industria y son muy precisos dentro de la regulación automática.

$$Cpid = Kp\ (\ 1 + \frac{1}{Tis}\ Tds\ )$$

[9] http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Newton

En general, si se tiene un sistema de primer orden, se suele utilizar un control PI debido a que la acción derivativa no tiene gran efecto si el sistema es de segundo orden se suele utilizar un controlador PID. Para algunos sistemas de orden mayor o con retardos muy grandes el control PID no es eficiente.[10]

FIGURA 10. Diagrama de bloques de un sistema de control.

2.1.4.2 Sistemas De Lazo Abierto.

La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, de modo que el lazo cerrado permite compensar los errores generados por el lazo abierto.

2.1.4.3 *Sistemas De Lazo Cerrado*.

La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. La estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

La implementación del control de temperatura para el proyecto se basa en el control de entrada del vapor que circula atraves de un tanque encamisado para aumentar la temperatura interna del agua que circula atraves de dicho encamisado y así mantener la temperatura del licor de cacao en su temperatura ideal entre $45 - 48℃$, controlando la apertura y cierre de una válvula y así el flujo másico de entrada del vapor entre $395 - 480\ \mathrm{kg/hr}$.

[10] http://www.slideshare.net/ptah_enki/estructura-del-control-pid

3. METODOLOGIA.

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION.

Debido a la naturaleza investigativa del proyecto, se recolecto información, se realizaron cálculos matemáticos, aproximaciones y planos, se establecieron hipótesis, y todas las labores para partir a establecer un diseño ingenieril, todo esto hace parte del método empirico-analitico, basado en los conocimientos empíricos con los cuales se establecen las bases para definir teorías, cabe resaltar que el método no es preciso 100% ya que tiene falencias en cuanto a teorías y conceptos, pero es la base para el diseño final y desarrollo del proyecto.

3.2 LINEA DE INVESTIGACION DE USB.

3.2.1 LINEA DE INVESTIGACIÓN.

Automatización de procesos.

3.2.2 SUBLINEA DE FACULTAD.

Control del proceso.

3.2.3 LINEA INSTITUCIONAL.

Implementación de nuevas tecnologías y modernización de las plantas.

4. DESARROLLO INGENIERIL.

4.1 ANALISIS DE DISEÑO

Después de realizado el análisis se coincide con que es necesario el nuevo diseño del sistema de transporte de agua para los circuitos de $45℃\ y\ 80℃$, debe cumplir con las necesidades que anteriormente se han planteado y deberán cumplir con la expectativa propuesta desde el inicio.

Se planteo un sistema en el que el tramo de $45℃$ que atraviesa toda la tubería encamisada de licor de cacao de la planta, no se mezcle con ningún elemento de los que atraviesa el circuito de $80℃$ y deberá mantener la temperatura en tanques, molinos y algunas tuberías. En la zona de prensas se hicieron estimativos de diseño para facilitar futuros cambios de tramos luego de culminar la instalación, esta nueva red se diseñara de forma elevada, evitando roces con otras tuberías ya sean de licor de cacao o vapor.

El cálculo de los diámetros de tuberías y velocidades de flujo, se basan en las ecuaciones de energía y pérdidas, solucionadas mediante procesos iterativos y con la ayuda del diagrama de Moody.[11]

4.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO.

Una de las condiciones para el diseño y los cálculos necesarios, que en el trabajo se plantean, es la de utilizar la tubería suministrada por la empresa tuvacol s.a de la ciudad de Medellín (Antioquia) proveedores de tuberías y accesorios para los montajes de la planta CASALUKER. El material escogido para el diseño es ACERO AL CARBON CEDULA 40 sin costura, densidad 7850 $\mathrm{Kg/m^3}$, punto de fusión 1375 y 1650℃ y presión de contacto permisible $PC_{perm} = 80 - 150\ N/mm^2$, es un material muy tenaz, dúctil y maleable. Debido a las anteriores características y agregando su economía para instalación y mecanizado es la opción más indicada para el diseño. La cedula 40 brinda una perfecta relación entre espesor y diámetro además de la resistencia a la corrosión de los químicos que presenta el agua potable.[12]

Para determinar el sistema completamente es necesario calcular los siguientes apartes:

1. Cálculo del sistema de tuberías.
2. Calculo del equipo de bombeo.

[11] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott **Diagrama de Moody** pág. 241
[12] Millán Gómez, Simón (2006). *Procedimientos de Mecanizado*. Madrid: Editorial Paraninfo.

3. Optimización de costos del sistema de tuberías.
4. Equipo de Soporteria.

1. El proceso para determinar el sistema de tuberías comprende los siguientes pasos:

I. Obtener los datos de caudal $Q = \frac{L}{s}$, altura de pérdidas $hl = m$, coeficiente de rugosidad $\in = m$, gravedad especifica $g = \frac{m}{s^2}$, viscosidad cinemática $\nu = \frac{m^2}{s}$, longitud de tramo $L = m$, peso especifico $\gamma = \frac{KN}{m^3}$, densidad $\frac{Kg}{m^3}$, viscosidad dinámica $\mu = \frac{N*s}{m^2}$, temperatura $T =$ ℃, diámetro $D = m$.

II. Realizar los cálculos establecidos en los pasos del numeral 2.1.4. Para el cálculo de velocidades y caudales.

Para el cálculo de tamaños de tubería adecuados se deben realizar los siguientes pasos:

III. Paso 1 y 2 Del numeral 2.1.1.8
IV. Expresar las pérdidas de energía en términos de la velocidad, utilizando la ecuación de darcy. Numeral 2.1.1.9
V. Expresar la velocidad en términos del caudal y el diámetro de la tubería.

$$V = \frac{4 * Q}{pi * D^2}$$

VI. Sustituir la expresión de V en la ecuación del punto 4 del numeral 2.1.1.8.

$$hl = \frac{8 * L * Q^2}{pi^2 * g} * \frac{f}{D^5}$$

VII. Despejar el diámetro:

$$D = (C_1 * f\ )^{0.2}$$

VIII. Expresar el numero de Reynolds en términos del diámetro:

$$N_r = \frac{\upsilon * D * \rho}{\mu}$$

IX. Asumir un valor para número del factor de fricción.
X. Calcular el diámetro punto 7.
XI. Calcular el número de Reynolds punto 8.
XII. Calcular el factor de rugosidad relativa $\frac{D}{\epsilon}$.
XIII. Con los valores del punto 10 y 11 calcular el nuevo factor de fricción f con el diagrama de Moody *VER ANEXO (E)*.
XIV. Comparar los valores de f con aquellos asumidos en el paso 9 y repetir los pasos 9-14 hasta que la diferencia sea de 0.0001, así el diámetro y número de Reynolds hallados en los pasos 10 y 11 son los correctos.[13]

Cálculos realizados para el sistema de tuberías:

Datos tomados de tablas 1 y 2, la longitud de los tramos se obtienen de los planos VER ANEXOS (A-B-C). Los datos de gravedad específica, densidades, viscosidades y coeficientes de rugosidad.[14]

- ***Datos para Calcular el sistema de tuberías de aguas para*** $45℃$:

Tabla 4. ***Datos para evaluar el sistema.***

Datos para el Sistema de 45ºC	
Temperatura operación **T** (ºC)	45
caudal inicial **Q** (L/s)	0,16
Longitud **L** (m)	71,287
gravedad especifica **g** (KN/m^3)	9,71
densidad **p** (Kg/m^3)	990
Viscosidad dinámica **u** (N.s/m^2)	5,44*e-4
Viscosidad cinemática **vc** (m^2/s)	6,00*e-7
Rugosidad del material **E** (m)	4,6*e-5
Diámetro **D** (m)	incógnita
Velocidad de fluido **v** (m/s)	incógnita

Realizado por el autor.

El agua parte del intercambiador de calor VER ANEXO (B) y se distribuye hacia las tuberías encamisadas, están situadas en la parte superior de los tanques acondicionadores. Como la idea del proyecto es mantener los caudales y presiones adecuadas para el sistema, se procedió a calcular los diámetros adecuados para transportar el caudal de $0{,}16L/s$ de agua a la

[13] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott. **SISTEMAS CLASE I, II Y III**, CAP. 11 Y 12 Pág. 306.
[14] Mecánica de Fluidos Aplicada 4. Edición Robert L. Mott. CAP. 10 Y 19 Pág. 517.

temperatura de $45℃$, esto se da evaluando el sistema como en el paso III del presente capitulo:

Ecuación de la energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Si se toma como referencia la superficie de ambos elementos, se establece que V1 y V2 son iguales en ambos puntos.

$$V_1 = V_2 = 0$$

Entonces la ecuación de la energía queda.

$$hl = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2$$

Si la presión a la salida de la bomba de descarga es de 45 PSI, la deseada en los equipos y tuberías es de 25 PSI, y la altura piezometrica desde la estación de bombeo hasta la descarga a tuberías es de $2m$ entonces:

$$hl = \frac{310348 - 172416}{9{,}71} + Z_1 - Z_2$$

$$hl = 12{,}20m = perdidas\ por\ cabeza\ de\ altura$$

Como la idea es determinar el tamaño adecuado de tubería que limitara la perdida de energía, se deberá obtener el valor de $C_1\ y\ C_2$.

$$C_1 = \frac{8 * L * Q^2}{\pi^2 * g * hl} = \frac{8 * 61.75 * 1.6 * 10^{-4}}{\pi^2 * 9.71 * 12.20} = 2.35 * 10^{-6}$$

$$C_2 = \frac{4 * Q}{\pi * Vc} = \frac{4 * 0.16 * 0.001}{\pi * 6 * 10^{-7}} = 339.53$$

Calculo del número de Reynolds.

$$Nr = \frac{C_2}{D} = \frac{339.53}{D}$$

Con un factor de fricción inicial $f = 0.02$, se procede a iterar. Determinando el diámetro tomando como referencia el numeral 7.

$$D = (C_1 * f)^{0.2} = (2.35 * 10^{-6} * 0.02)^{0.2} = \ 0.067018 = 2.1/2"$$

Se obtiene el número de Reynolds.

$$Nr = \frac{339.53}{0.067018} = 5066.2508 \ flujo \ laminar$$[15]

El coeficiente de rugosidad relativa.

$$\frac{D}{E} = \ \frac{0.067018}{4.6 * 10^{-5}} = \ 1456.91$$

Teniendo en cuenta que el flujo se encuentra en la región laminar, se procede a calcular el nuevo factor de fricción:*

$$f_1 = \frac{64}{Nr} = 0.012632$$

Con el nuevo factor de fricción retorna al paso 7. Aquí comienza el proceso de iteración y se realiza hasta que el valor de f no cambie hasta la tolerancia de 0.0001.

Tabla 5. Resultados después de realizar las iteraciones.

Datos Después de Iterar				
factor de fricción	f0	f1	f2	**f3**
f	0.02	0.01263	0.0115	**0.0113**
Diámetro	0.0670	0.0611	0.06002	**0.0598**
Numero de Reynolds	5066.25	5553.85	5656.83	**5677.71**

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que el diámetro mas optimo para transportar el caudal de $\mathbf{0.16}\ \boldsymbol{L/s}$, a la temperatura de $\mathbf{45}$℃ es de $\boldsymbol{D = 0.0598m = 2"}$ ó $\mathbf{2.1/2"}$.

- Se debe seguir el método de sistemas de línea de tubería procedimiento iterativo, para determinar velocidades, caudales y perdidas generales. Se debe seguir el lineamiento especificado del numeral 1 a 14 del capítulo 2.1.1.8 comenzando por la ecuación de la energía.

[15] Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. **Diagrama de Moody**, *Fluid Mechanics,* New York, John Wiley and Sons. Pág. 242.
*Ecuación para el factor de fricción en régimen laminar.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Teniendo en cuenta que las presiones en la entrada y salida son iguales y que las velocidades iniciales son aproximadamente cero se obtiene:

$$Z_a - Z_b = hl = 2m\ altura\ de\ descarga\ del\ fluido$$

Determinar las perdidas generales.

$$hl = h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6 + h7$$

Para el caso el subnumeral 2 significa 2" y el subnumeral 1.1 significa 1.1/2".

Tabla 6. Ecuaciones de pérdidas para el sistema.

Perdidas en la entrada	$h1$	$1.0\left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right)$
Perdidas por fricción en la tubería	$h2$	$f_2\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right)$
Perdidas en los codos.	$h3$	$\#codos * f_{2t} * \left(\frac{L_e}{D}\right) * \left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la reducción.	$h4$	$0.12 * \left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas por fricción en la tubería	$h5$	$f_{1.1}\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la válvula de bola.	$h6$	$340 * f_{1.1t} * \left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la salida.	$h7$	$1.0\left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$

Realizada por el autor.

Reduciendo la ecuación de hl, se obtiene:

$$hl = (1.0 + 421f_2 + 240f_{2t})\left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right) + (2.26 + 246f_{1.1} + 340f_{1.1t})\left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$$

Teniendo en cuenta que $f_{2t} = 0.019$ y $f_{1.1t} = 0.021$ se obtiene[16]:

$$hl = (5.56 + 421f_2)\left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right) + (8.26 + 246f_{1.1})\left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$$

Teniendo en cuenta que se requiere hallar las velocidades del sistema, se procede a despejar como en el numeral 3 del capítulo 2.1.4.

$$V_{1.1} = V_2\left(\frac{A_2}{A_{1.1}}\right)$$

Asumiendo que las áreas de flujo son $A_2 = 2.168 * 10^{-3}\, m^2$ y $A_{1.1} = 1.314 * 10^{-3} m^2$, se obtiene[17]:

$$V_{1.1} = 1.64 * V_2$$

Para sustituir la ecuación en hl es necesario elevar al cuadrado la anterior expresión:

$${V_{1.1}}^2 = 2.72 * {V_2}^2$$

Remplazando en hl:

$$hl = (5.56 + 421f_2)\left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right) + (8.26 + 246f_{1.1})\left(\frac{2.72{V_2}^2}{2g}\right)$$

Se obtiene:

$$hl = \left(\frac{{V_2}^2}{2g}\right)(28.02 + 421f_2 + 669.1\, f_{1.1})$$

Despejando para V_2, teniendo en cuenta el numeral 5 del capítulo 2.1.4:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g * hl}{(28.02 + 421f_2 + 669.1\, f_{1.1})}}$$

Finalmente, teniendo en cuenta que $hl = 2m$, se obtiene la velocidad V_2.

[16] Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. **Factor de fricción en zona de turbulencia completa para conductos de acero comercial nuevo y limpio**. Cap. 10. Pág. 284

[17] Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. **Dimensiones de Tubos de Acero Calibre 40**. Cap. 10. Pág. 284

$$V_2 = \sqrt{\frac{38.34}{(28.02 + 421 f_2 + 669.1\, f_{1.1})}}$$

Calculando el número de Reynolds para la tubería de 2" y 1.1/2", se obtiene:

$$Nr_2 = \frac{V_2 * D * \rho}{\mu} = \frac{V_2 * 0.0508 * 990}{5.44 * 10^{-4}} = 92.44 * 10^3\, V_2$$

$$Nr_{1.1} = \frac{V_{1.1} * D * \rho}{\mu} = \frac{V_{1.1} * 0.0381 * 990}{5.44 * 10^{-4}} = 56.05 * 10^3\, V_{1.1}$$

Y Coeficiente de rugosidad relativa:

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0508}{4.6 * 10^{-5}} = 1104.34$$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0381}{4.6 * 10^{-5}} = 828.2608$$

Para comenzar con el proceso iterativo se debe suponer valores de $f_2\ y\ f_{1.1}$ aleatorios, que se encuentren en la región de las curvas de los valores de rugosidad relativa, se toma para $f_2 = 0.018$ y $f_{1.1} = 0.023$. No hay una norma establecida que diga que valores iniciales se deben escoger.

Tabla 7. Resultados después de realizar las iteraciones.

Datos Después de iterar					
Iteración		**1**	**2**	**3**	**4**
Velocidades	**v2 (m/s)**	0.8671	1.4	**1.393**	-
	v1.1 (m/s)	2.045	23.056	**2.284**	-
Numero de Reynolds	**Nr2**	80174.54	129900.0	**12870.0**	-
	Nr1.1	114622,25	129230.0	**128670.0**	-
factor de fricción	**f2**	0.029	0.03	**0.03**	-
	f1.1	0.0285	0.0295	**0.0295**	-

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que las velocidades de caudal son de $\boldsymbol{V_2 = 1.393\ m/s}$ y $\boldsymbol{V_{1.1} = 2.284\ m/s}$, obteniendo un caudal másico de $\boldsymbol{Q_2 = 0.00303\ m^3/s}$ y $\boldsymbol{Q_{1.1} = 0.002995\ m^3/s}$.

- ***Datos para Calcular el sistema de tuberías de aguas para $80℃$:***

Tabla 8. Datos para evaluar el sistema.

Datos para el Sistema de 80ºC	
Temperatura operación **T** (ºC)	80
caudal inicial **Q** (L/s)	16
Longitud **L** (m)	51.983
gravedad especifica **g** (KN/m^3)	9,53
densidad **p** (Kg/m^3)	971
Viscosidad dinámica **u** (N.s/m^2)	3.50*e-4
Viscosidad cinemática **vc** (m^2/s)	3.60*e-7
Rugosidad del material **E** (m)	4,6*e-5
Diámetro **D** (m)	incógnita
Velocidad de fluido **v** (m/s)	incógnita

Realizado por el autor.

El agua parte del intercambiador de calor VER ANEXO (C-D) y se distribuye hacia las tuberías encamisadas. Están situadas en la parte superior de los tanques acondicionadores. Como la idea del proyecto es mantener los caudales y presiones adecuados para el sistema, se procedió a calcular los diámetros apropiados para transportar el caudal de $16L/s$ de agua a la temperatura de $80℃$, esto se da evaluando el sistema como en el numeral 3 del presente capítulo:

1 Ecuación de la energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Si se toma como referencia la superficie de ambos elementos, se establece que V1 y V2 son iguales en ambos puntos.

$$V_1 = V_2 = 0$$

Entonces la ecuación de la energía queda.

$$hl = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2$$

Si la presión a la salida de la bomba de descarga es de $45\ PSI\ o\ 310348\ N/m^2$, la deseada en los equipos es de $35\ PSI$ ó $241382\ N/m^2$, y la altura

piezometrica desde la estación de bombeo hasta la descarga a tanques es de $Z_1 - Z_2 = 7m$ entonces:

$$hl = \frac{310348 - 241382}{9{,}53} + Z_1 - Z_2$$

$$hl = 0.2350\, m = perdidas\ por\ cabeza\ de\ altura$$

Como la idea es determinar el tamaño adecuado de tubería que limitara la perdida de energía, se deberá obtener el valor de $C_1\ y\ C_2$

$$C_1 = \frac{8 * L * Q^2}{\pi^2 * g * hl} = \frac{8 * 51.983 * 0.016^2}{\pi^2 * 9.53 * 2.5991} = 4.25 * 10^{-4}$$

$$C_2 = \frac{4 * Q}{\pi * Vc} = \frac{4 * 0.16 * 0.001}{\pi * 6 * 10^{-7}} = 56.58 * 10^3$$

Calculo del número de Reynolds.

$$Nr = \frac{C_2}{D} = \frac{56.58 * 10^3}{D}$$

Con un factor de fricción inicial $f = 0.02$, se procede a iterar. Determinando el diámetro; tomando como referencia el numeral 7.

$$D = (C_1 * f)^{0.2} = (4.25 * 10^{-4} * 0.02)^{0.2} = \ 0.0968 = 4"$$

Se obtiene el número de Reynolds.

$$Nr = \frac{56.58 * 10^3}{0.0968} = 0.58 * 10^6\ flujo\ turbulento^{18}$$

El coeficiente de rugosidad relativa.

$$\frac{D}{E} = \ \frac{0.0968}{4.6 * 10^{-5}} = \ 2104$$

Teniendo en cuenta que el flujo, se encuentra el numero de Reynolds y el coeficiente de rugosidad relativa, se debe calcular el nuevo valor de f en el diagrama de Moody.

[18] Se determina que el fuljo está en la región laminar según. Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. Diagrama de Moody, *Fluid Mechanics,* New York, John Wiley and Sons. Pag. 242.

$$con\ Nr = 0.58 * 10^6\ y \frac{D}{\in} = 2104$$

$$f_1 = 0.03$$

Con el nuevo factor de fricción retorna al paso 7. Aquí el proceso de iteración se realiza hasta que el valor de f no cambie hasta la tolerancia de 0.0001.

Tabla 9. Resultados después de realizar las iteraciones.

Datos Después de iterar				
factor de fricción	f0	**f1**	f2	f3
f	0.02	**0.03**	-	-
Diámetro	0.0968	**0.1049**	-	-
Numero de Reynolds	585040	**538965**	-	-

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que el diámetro mas optimo para transportar el caudal de $16\ L/s$, a la temperatura de $80℃$ es de $\boldsymbol{D = 0.1049m = 4}$".

- Se debe seguir el método de sistemas de línea de tubería procedimiento iterativo, para determinar velocidades, caudales y perdidas generales. Se debe seguir el lineamiento especificado del numeral 1 a 14 del capítulo 2.1.4 comenzando por la ecuación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Teniendo en cuenta que las presiones en la entrada y salida son iguales y que las velocidades iniciales son aproximadamente cero se obtiene:

$$Z_a - Z_b = hl = 7m\ altura\ de\ descarga\ del\ fluido$$

Determinar las perdidas generales.

$$hl = h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6 + h7$$

Para el caso el subnumeral 4 significa 4” y el subnumeral 2.1 significa 2.1/2”.

Tabla 10. Ecuaciones de pérdidas para el sistema.

Perdidas en la entrada	$h1$	$1.0\left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)$
Perdidas por fricción en la tubería	$h2$	$f_4\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)$
Perdidas en los codos.	$h3$	$\#codos * f_{4t} * \left(\frac{L_e}{D}\right) * \left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la válvula.	$h4$	$40 * f_{4t} * \left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la reducción.	$h5$	$0.14 * \left(\frac{{V_{2.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas por fricción en la tubería	$h6$	$f_{2.1}\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{{V_{1.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la válvula de bola.	$h7$	$60 * f_{2.1t} * \left(\frac{{V_{2.1}}^2}{2g}\right)$
Perdidas en la salida.	$h8$	$1.0\left(\frac{{V_{2.1}}^2}{2g}\right)$

Realizada por el autor.

Reduciendo la ecuación de hl, se obtiene:

$$hl = (1.0 + 67.913f_4 + 100f_{4t})\left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right) + (0.14 + 108.66f_{2.1} + 60f_{2.1t} + 1.0)\left(\frac{{V_{2.1}}^2}{2g}\right)$$

Teniendo en cuenta que $f_{4t} = 0.017$ y $f_{2.1t} = 0.018$ se obtiene[19].

$$hl = (2.7 + 67.913f_4)\left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right) + (2.22 + 108.66f_{2.1})\left(\frac{{V_{2.1}}^2}{2g}\right)$$

Como se requiere hallar las velocidades del sistema, se procede a despejar como en el numeral 3 del capítulo 2.1.4.

$$V_{2.1} = V_4\left(\frac{A_4}{A_{2.1}}\right)$$

[19] Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. **Factor de fricción en zona de turbulencia completa para conductos de acero comercial nuevo y limpio**. Cap. 10. Pág. 284

Teniendo en cuenta que las áreas de flujo son $A_4 = 8.213 * 10^{-3}\ m^2$ y $A_{2.1} = 3.090 * 10^{-3} m^2$, se obtiene[20]:

$$V_{2.1} = 1.64 * V_4$$

Para sustituir la ecuación en hl es necesario elevar al cuadrado la anterior expresión:

$${V_{2.1}}^2 = 2.72 * {V_4}^2$$

Remplazando en hl.

$$hl = (2.7 + 67.913 f_4)\left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right) + (2.22 + 108.66 f_{2.1})\left(\frac{7.0645 {V_4}^2}{2g}\right)$$

Se obtiene:

$$hl = \left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)(18.38 + 767.62 f_{2.1} + 67.913\ f_4)$$

Despejando para V_4, teniendo en cuenta el numeral 5 del capítulo 2.1.4:

$$V_4 = \sqrt{\frac{2g * hl}{(28.02 + 421 f_2 + 669.1\ f_{1.1})}}$$

Finalmente, teniendo en cuenta que $hl = 7m$, se obtiene la velocidad V_4.

$$V_2 = \sqrt{\frac{50.9953}{(18.38 + 767.62 f_{2.1} + 67.9\ f_4)}}$$

Calculando en número de Reynolds para la tubería de 4" y 2.1/2", se obtiene:

$$Nr_4 = \frac{V_4 * D * \rho}{\mu} = \frac{V_4 * 0.1016 * 971}{3.50 * 10^{-4}} = 0.2818 * 10^6\ V_4$$

$$Nr_{2.1} = \frac{V_{2.1} * D * \rho}{\mu} = \frac{V_{2.1} * 0.0635 * 971}{3.50 * 10^{-4}} = 0.17616 * 10^6\ V_{2.1}$$

[20] Mecanica de Fluidos Aplicada, Robert Mott. **Dimensiones de Tubos de Acero Calibre 40.** Cap. 19. Pág. 535.

Y Coeficiente de rugosidad relativa:

$$\frac{D}{\epsilon_4} = \frac{0.1016}{4.6 * 10^{-5}} = 2208.69 \qquad \frac{D}{\epsilon_{2.1}} = \frac{0.0635}{4.6 * 10^{-5}} = 1380$$

Para comenzar con el proceso iterativo se debe suponer valores de $f_2\ y\ f_{1.1}$ aleatorios, que se encuentren en la región de las curvas de los valores de rugosidad relativa, se toma para $f_4 = 0.025$ y $f_{2.1} = 0.02$. No hay una norma establecida que diga que valores iniciales se deben escoger.

Tabla 11. Resultados después de realizar las iteraciones.

Datos Después de iterar					
Iteración		**1**	**2**	**3**	**4**
Velocidades	**V4 (m/s)**	0.2014	1.199	**1.1514**	-
	V2.1 (m/s)	0.5351	3.187	**3.05**	-
Numero de Reynolds	**Nr4**	$0.2818 * 10^6$	$3.38 * 10^5$	$\mathbf{3.24 * 10^5}$	-
	Nr2.1	$0.1761 * 10^6$	$5.6135 * 10^5$	$\mathbf{5.38 * 10^5}$	-
factor de fricción	**f4**	0.025	0.0245	**0.0245**	-
	f2.1	0.02	0.024	**0.024**	-

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que las velocidades de caudal son de $\boldsymbol{V_4 = 1.1514\ m/s}$ y $\boldsymbol{V_{2.1} = 3.05\ m/s}$, obteniendo un caudal másico de $\boldsymbol{Q_4 = 9.77 * 10^{-3}\ m^3/s}$ y $\boldsymbol{Q_{2.1} = 9.8478 * 10^{-3}\ m^3/s}$, esto para la zona de tanques acondicionadores y zona de prensas.

- ***Es necesario realizar un nuevo proceso de análisis para hallar los caudales que van a ir atraves del circuito alterno de la zona de molinos VER ANEXO (B).***

Se deberá seguir el mismo lineamiento de cálculos utilizados para tanques y prensas, por tanto se resumirán las ecuaciones teniendo en cuenta desde la ecuación de perdidas.

$$hl = \left(\frac{{V_4}^2}{2g}\right)(39.1608 + 943.25 f_{2.1} + 9.84\ f_4)$$

Despejando para V_4, teniendo en cuenta el numeral 5 del capítulo 2.1.4:

$$V_4 = \sqrt{\frac{2g * hl}{(39.1608 + 943.25 f_{2.1} + 9.84\, f_4)}}$$

Finalmente, teniendo en cuenta que $hl = 7m$, se obtiene la velocidad V_4.

$$V_2 = \sqrt{\frac{50.9953}{(39.1608 + 943.25 f_{2.1} + 9.84\, f_4)}}$$

Calculando en número de Reynolds para la tubería de 4" y 2.1/2", se obtiene:

$$Nr_4 = \frac{V_4 * D * \rho}{\mu} = \frac{V_4 * 0.1016 * 971}{3.50 * 10^{-4}} = 0.2818 * 10^6\, V_4$$

$$Nr_{2.1} = \frac{V_{2.1} * D * \rho}{\mu} = \frac{V_{2.1} * 0.0635 * 971}{3.50 * 10^{-4}} = 0.17616 * 10^6\, V_{2.1}$$

Y Coeficiente de rugosidad relativa:

$$\frac{D}{\epsilon_4} = \frac{0.1016}{4.6 * 10^{-5}} = 2208.69 \qquad \frac{D}{\epsilon_{2.1}} = \frac{0.0635}{4.6 * 10^{-5}} = 1380$$

Para comenzar con el proceso iterativo se debe suponer valores de $f_2\ y\ f_{1.1}$ aleatorios, que se encuentren en la región de las curvas de los valores de rugosidad relativa, igualmente se toma para $f_4 = 0.025$ y $f_{2.1} = 0.02$. No hay una norma establecida que diga que valores iniciales se deben escoger.

Tabla 12. Resultados después de realizar las iteraciones.

Datos Después de iterar					
Iteración		**1**	**2**	**3**	**4**
Velocidades	**V4 (m/s)**	0.1224	0.90	0.899	**0.9**
	V2.1 (m/s)	0.3254	2.408	2.39	**2.39**
Numero de Reynolds	**Nr4**	$0.2818 * 10^6$	$2.55 * 10^5$	$2.53 * 10^5$	$\mathbf{2.53 * 10^5}$
	Nr2.1	$0.1761 * 10^6$	$4.24 * 10^5$	$4.20 * 10^5$	$\mathbf{4.21 * 10^5}$
factor de fricción	**f4**	0.025	0.027	0.021	**0.021**
	f2.1	0.02	0.025	0.025	**0.025**

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que las velocidades de caudal son de $\boldsymbol{V_4 = 0.9\, m/s}$ y $\boldsymbol{V_{2.1} = 2.39\, m/s}$, obteniendo un

caudal másico de $\boldsymbol{Q_4 = 7.539 * 10^{-3}\ m^3/s}$ y $\boldsymbol{Q_{2.1} = 7.38 * 10^{-3}\ m^3/s}$, esto para la zona de molinos.

4.2.1 EQUIPO DE BOMBEO.

Es necesario realizar el cálculo del equipo de bombeo que sea capaz de impulsar el fluido atraves del sistema de tuberías. Para esto es necesario partir de la ecuación de la energía, y así despejar la perdida por carga total sobre la bomba ha cantidad a compensar por la existencia de tuberías, accesorios y válvulas.

Tabla 13. Perdidas por cabeza totales para determinar el equipo de bombeo.

Datos Del sistema					
Caudal	$1.153 * 10^{-4}\ m^3/s$	*Elevación en el punto 1*		$7m$	
Presión en el punto 1		*Elevación en el punto 2*		$4m$	
Presión en el punto 2	$25\ psi$	*Carga de velocidad en el punto 1*			
Velocidad en el punto 1		*Carga de velocidad en el punto 2*			
Velocidad en el punto 2					
Propiedades Del Fluido					
Peso especifico	$9.71\ KN/m^3$				
Viscosidad cinemática	$6.00 * 10^{-7} m^3/s$				
Temperatura del fluido	$45°C$				
Tubo de succión: Tubería de Acero de 3.1/2"		**Tubo de descarga: tubería de acero de 2.1/2" c. 40**			
Diámetro D	$0.0889\ m$	*Diámetro D*		$0.0635\ m$	
Rugosidad de la pared	$4.6 * 10^{-5} m$	*Rugosidad de la pared*		$4.6 * 10^{-5} m$	
Longitud L	$1.462\ m$	*Longitud L*		$33.453\ m$	
Área A	$6.381 * 10^{-3}\ m$	*Área a*		$3.090 * 10^{-3}\ m$	
D/e	1932	*D/e*		1380	
L/d	16.44	*L/d*		527	
Velocidad de flujo	$10.0180\ m/s$	*Velocidad de flujo*		$0.0393\ m/s$	
Carga de velocidad	$1.6513 * 10^{-3}\ m/s$	*Carga de velocidad*		$7.09 * 10^{-5}\ m/s$	
Numero de Reynolds	$2667\ laminar$	*Numero de Reynolds*		$3947\ laminar$	
Factor de fricción	0.023	*Factor de fricción*		0.018	
Perdidas en la tubería 1 $k(L/D)$		**Cant.**	**Total K**	**hl= K * v**	
Tubería	0.0391	1	0.391	$6.45 * 10^{-6}$	
Salida	1.0	1	1.0	$1.65 * 10^{-5}$	
Cod	0.136	1	0.136	$2.24 * 10^{-6}$	
Valv	6.72	2	12.24	$2.02 * 10^{-4}$	
Uni	1.62	1	1.62	$1.65 * 10^{-5}$	
Perdidas en la tubería 2		**Cant.**	**Total K**	**hl=K*v**	
Tubería	2.7	1	21.43	$1.91 * 10^{-4}$	
Valv	6.12	1	2.55	$4.33 * 10^{-4}$	
Descarga	1.0	1	23.12	$7.09 * 10^{-5}$	
Uni	1.62	1	1.0	$1.14 * 10^{-4}$	
Cod	1.0	1	1.0	$7.09 * 10^{-5}$	
			hl tot.	$\mathbf{1.1259 * 10^{-3}\ m}$	
			ha total	**48.00 m**	

Realizada por el autor.

Los resultados se obtienen de las graficas de las curvas de rendimiento, para una bomba compuesta:[21]

Tabla 14. Bomba para el sistema de $45℃$***.***

Resultados del equipo de bombeo	***Datos***
Diámetro de succión	$2\ "\ plg$
Diámetro de descarga	$3"\ plg$
Diámetro del impulsor	$6"\ plg$
Eficiencia	$40 - 50\%$
Flujo max	$130\ GPM$
Potencia	$10\ HP$
Npshr	$5\ ft\ min - 7 ft\ max$
Punto de operación	$65\ GPM$
Cabeza de punto de operación	$48m$
Cabeza max de punto de operación	$60m$
Revoluciones por minuto	$3500\ rpm$
Bomba	$2 * 3 - 10$

Realizada por el autor.

Tabla 15. Perdidas por cabeza totales para determinar el equipo de bombeo.

Datos Del sistema					
Caudal	$0.016\ m^3/s$	*Elevación en el punto 1*		$8m$	
Presión en el punto 1		*Elevación en el punto 2*			
Presión en el punto 2	$35\ psi$	*Carga de velocidad en el punto 1*			
Velocidad en el punto 1		*Carga de velocidad en el punto 2*			
Velocidad en el punto 2					
Propiedades Del Fluido					
Peso especifico	$9.53\ KN/m^3$				
Viscosidad cinemática	$3.09 * 10^{-7} m^3/s$				
Temperatura del fluido	$80℃$				
Tubo de succión: Tubería de Acero de 3.1/2"		**Tubo de descarga: tubería de acero de 2.1/2" c. 40**			
Diámetro D	$0.1016\ m$	*Diámetro D*		$0.1016\ m$	
Rugosidad de la pared	$4.6 * 10^{-5} m$	*Rugosidad de la pared*		$4.6 * 10^{-5} m$	
Longitud L	$1.663\ m$	*Longitud L*		$21.426\ m$	
Área A	$8.213 * 10^{-3}\ m$	*Área a*		$8.213 * 10^{-3}\ m$	
D/e	2208	*D/e*		2208	
L/d	16.93	*L/d*		210.88	
Velocidad de flujo	$1.948\ m/s$	*Velocidad de flujo*		$1.948\ m/s$	
Carga de velocidad	$0.199\ m/s$	*Carga de velocidad*		$0.199\ m/s$	
Numero de Reynolds	$0.54 * 10^6\ turb.$	*Numero de Reynolds*		$0.549 * 10^6\ turb.$	
Factor de fricción	0.0245	*Factor de fricción*		0.0245	
Perdidas en la tubería 1 $k(L/D)$		**Cant.**	**Total K**	**hl= K * v**	
0.40		1	0.40	0.78	
1.0		1	1.0	1.948	
0.51		3	1.53	3	
5.78		2	11.53	22.51	
Perdidas en la tubería 2		**Cant.**	**Total K**	**hl=K*v**	
21.43		1	21.43	47.76	
0.51		5	2.55	4.96	
5.78		4	23.12	45.37	
1.0		2	2	3.896	
0.34		5	1.7	3.31	
			hl tot.	**$127.20\ m$**	
			ha total	**145.20 m**	

Realizada por el autor.

[21] VER ANEXO (F) grafica del rendimiento de una bomba compuesta. Robert Mott Ed. 6ª CAP. 13 pag 405.

Los resultados que se obtienen de las graficas de las curvas de rendimiento, para una bomba compuesta:[22]

Tabla 16. Bomba para el sistema de $80℃$***.***

Resultados del equipo de bombeo	***Datos***
Diámetro de succión	$4\ "\ plg$
Diámetro de descarga	$3"\ plg$
Diámetro del impulsor	$10"\ plg$
Eficiencia	60%
Flujo max	$300\ GPM$
Potencia	$50\ HP$
Npshr	$8ft\ max$
Punto de operación	$250\ GPM$
Cabeza de punto de operación	$150m$
Cabeza max de punto de operación	$170m$
Revoluciones por minuto	$3560\ rpm$
Bomba	$1.1/2 * 3 - 13$

Realizada por el autor.

La bomba establecida por las curvas de rendimiento arrojan una bomba con una potencia de 50 HP en su entrada; como la idea del proyecto es optimizar en costos y gastos en servicios de energía por impulsión, es necesario remplazarla por una que consuma menos potencia, esto se logra haciendo que el punto de operación cambie, aumentando la eficiencia, cambiando el diámetro de descarga, aumentando el flujo max, y disminuyendo las pérdidas de cabeza en válvulas, abriéndolas a la mitad de su carrera. Por la siguiente:

Tabla 17. Optimización de la bomba de $80℃$***.***

Resultados del equipo de bombeo	***Datos***
Diámetro de succión	$4\ "\ plg$
Diámetro de descarga	$4"\ plg$
Diámetro del impulsor	$7.7"\ plg$
Eficiencia	70.2%
Flujo max	$386\ GPM$
Potencia	$17\ HP$
Npshr	$10ft\ max$
Punto de operación	$223\ GPM$
Cabeza de punto de operación	$61.83m$
Cabeza max de punto de operación	$72m$
Revoluciones por minuto	$3500\ rpm$
Bomba	$4\ * 4 - 10$

Realizada por el autor.

[22] VER ANEXO (F) grafica del rendimiento de una bomba compuesta. Robert Mott Ed. 6ª CAP. 13 pag 405.

4.2.2 OPTIMIZACIÓN DE COSTOS.

La optimización de costos se utiliza para encontrar la tubería más adecuada, teniendo en cuenta los anteriores parámetros ya hallados como caudales, velocidades y diámetros. Agregando otros factores como los costos de la tubería en $, costos por transferencia de calor $\$Kw * \frac{h}{d}$ y costos por presión $\frac{Kw}{h}$.

Tabla 18. **Ecuaciones de líneas de tendencia y ecuaciones encontradas para cada elemento del sistema.**[23]

Aproximación	Datos Necesarios	Ecuación Descriptiva	Ecuación De Cada Elemento Del Sistema
LINEAL	$\sum D$ $\sum V$ $\sum D^2$ $\sum VD$	$\boldsymbol{y = mx + b}$	**Tub.** 912820*d-20520
			Cod. 543.58e+3*d-20467.04
			Uni. 582720*d-17690
			Valv. (7.0677e+6)*d-115759.61
POTENCIAL	$\sum in\ D$ $\sum in\ V$ $\sum in\ D^2$ $\sum inD * inV$	$\boldsymbol{K = e^b}$	**Tub.** 1000000*d.^1.3248
			Cod. 1000000.*d.^1.857
			Uni. 685533.*d.^1.3842
			Valv. 30e+6.*d.^1.7574
EXPONENCIAL	$\sum in\ D$ $\sum in\ V$ $\sum in(in\ D^2)$ $\sum inD * inV$	$\boldsymbol{K = e^b}$	**Tub.** 7615*exp(15.383.*d)
			Cod. 982.07*exp(22.13*d)
			Uni. 3112.2*exp(16.966*d)
			Valv. 15642*exp(40.957*d)
POLINOMICA	$\sum in\ D$ $\sum in\ V$ $\sum(D^2)$ $\sum(D^3)$ $\sum D^4$ $\sum D^5$ $\sum(D^6)$ $\sum D * V$ $\sum(D^2) * V$ $\sum D^3 * V$	$\boldsymbol{V_4 = a_0 + a_1 D + a_2 D^2 + a_3 D^3}$	**Tub.** 1.0e+006*(1.8889.*d.^3+1.5576.*d.^2+0.4075.*d-0.0021)
			Cod. 1.0e+006*(6.5642.*d.^3+0.3308.*d.^2+0.0717.*d-0.0009)
			Uni. 1.0e+006*(-0.8409.*d.^3+2.6144.*d.^2-0.0282.*d+0.0030)
			Valv. 1.0e+008.*(-6.506875009198921.*d.^3+1.970046148403899.*d.^2-0.070049989057072.*d+0.000934044779988)

Realizada por el autor.

Para saber cuál es la ecuación más apropiada a emplear en la optimización, es necesario emplear la ecuación de error y hallar la magnitud del error en cada

[23] **Datos Necesarios** para calcular las ecuaciones, tablas VER ANEXO (G), Realizada por el autor.

ecuación y escoger aquella que arroje el menor valor; es posible que las ecuaciones arrojen un valor muy similar, se debe emplear la ecuación de sigma que es más precisa.

Ecuaciones para el cálculo del Error Y Sigma.

$$\varepsilon = \sum \left| \frac{V - Vc}{N} \right| \; ERROR \qquad \sigma = \sqrt{\sum \frac{(V - Vc)^2}{N}} \; SIGMA$$

Donde $V = valor\ inicial$, $Vc = valor\ calculado$, $N = numero\ de\ datos$.

Tabla 19. Aproximaciones a utilizar en el algoritmo.

Aproximación	Ecuación De Cada Elemento Del Sistema	Error	Sigma
LINEAL	**Tub.** 912820*d-20520	-1803	4328
	Cod. 543.58e+3*d-20467.04	11.536,0	1,1
	Uni. 582720*d-17690	9.203,0	13,2
	Valv. (7.0677e+6)*d-115759.61	55.430,0	38.578,0
POTENCIAL	**Tub.** 1000000*d.^1.3248	5186	8103
	Cod. 1000000.*d.^1.857	9.655,0	32.969,0
	Uni. 685533.*d.^1.3842	7.731,0	17.794,0
	Valv. 30e+6.*d.^1.7574	47.703,0	96.209,0
EXPONENCIAL	**Tub.** 7615*exp(15.383.*d)	-2269	2131
	Cod. 982.07*exp(22.13*d)	13.534,0	30.256,0
	Uni. 3112.2*exp(16.966*d)	9.844,0	15.278,0
	Valv. 15642*exp(40.957*d)	51.280,0	42.050,0
POLINOMICA	**Tub.** 1.0e+006*(1.8889.*d.^3+1.5576.*d.^2+0.4075.*d-0.0021)	30.7	1566
	Cod. 1.0e+006*(6.5642.*d.^3+0.3308.*d.^2+0.0717.*d-0.0009)	574,7	77,4
	Uni. 1.0e+006*(-0.8409.*d.^3+2.6144.*d.^2-0.0282.*d+0.0030)	1.284,0	167,5
	Valv. 1.0e+008.*(-6.506875009198921.*d.^3+1.970046148403899.*d.^2-0.070049989057072.*d+0.000934044779988)	14.510,0	0,0

Realizada por el autor.

Las ecuaciones escogidas están resaltadas en color azul, debido a que son las que arrojan menos error, de esta manera son las que se incluirán en el algoritmo lógico utilizado para determinar los diámetros óptimos.

Teniendo en cuenta que lo que se requiere es hallar el diámetro optimo el siguiente aparte es establecer las ecuaciones de pérdidas, transferencia de calor y bombeo estas deben estar en función del mismo para agregarlas en el algoritmo lógico.

4.3 Optimización De Costos resultados.

Ecuaciones necesarias para realizar la optimización de costos sin instalación, para el sistema de 45℃. Cabe resaltar que en adelante las ecuaciones deben quedar en función del Diámetro, incógnita a resolver.

Tabla 20. Ecuaciones a utilizar en el algoritmo $45℃$***.***

Ecuaciones descriptivas del sistema.	
Calculo de perdidas en función de D	***Despeje de Ecuación.***
$hl = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \frac{{V_2}^2}{2g} + Hp$	$hl = \frac{16 * Q^2}{\pi^2 D^4} [7.14 * \#valv + 1.80 * \#uni + 0.57 * \#cod]$
Costos por bombeo	***Costos por presión=cbomb*Hp***
$Cbomb = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{\dot{m} * g * h}{t}$	$cpp = \frac{16 * Q^2}{\pi^2 D^4} [7.14 * \#valv + 1.80 * \#uni + 0.57 * \#cod] * 9.36 * 10^{-3}\$ * Watt$
Costos por disipación de Calor	***Despeje de Ecuación.***
$R = \frac{0.004}{58\left(\frac{\pi}{4}\left(D-(0.004)\right)^2\right)} + \frac{0.0254}{0.0256\left(\frac{\pi}{4}(D-0.004-0.0254)^2\right)} + \frac{0.0333}{D^2}\ \left[\frac{°K}{W}\right]$	$C = 0{,}1153Kg * 4181{,}3\ \frac{J}{kg * °K} = 482{,}103\ \frac{J}{°K}$
Costos por transferencia de Calor	***Despeje de Ecuación.***
$C_{transferencia} = \left(\left(\frac{1}{R^2 C}\ T_\infty + \frac{1}{R^2} Q_{in}\right) * euler^{\frac{L_t}{Q_{in}\left(\frac{\pi}{4}D^2\right)}} - \frac{T_\infty}{R}\right) * cca$	$cca = 237.17\ \$KW * 16\ h * 30\ dias = 113841.6\ \$\frac{KW}{h}$

Realizada por el autor.

Tabla 21. Resultados después de iterar $45℃$.

DATOS OBTENIDOS PARA DISTINTOS CAUDALES					
		Q1 = 1 lt/s	*Q2= 2.5 lt/s*	*Q3= 4.5 lt/s*	*Q4= 6 lt/s*
45˚C	*potencia de bomba en KW*	0,3776	0,9443	1,6996	2,2661
	diámetro obtenido (m)	0,0266	0,042097	0,057469	0,07367
	Diámetro obtenido (plg)	1”	1.1/2”	2”	3”
	velocidad m/s	1,797	1,796	1,738	1,4102
	costo total sin instalación $	5,01E+06	7,29E+06	7,42E+06	7,65E+06

Realizada por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que el diámetro mas óptimo debe ser de $\mathbf{2}$" ó $\mathbf{2.1/2}$". Que la potencia en la bomba debe ser superior a $\mathbf{1.7}\ \boldsymbol{Kw}$ ó $\mathbf{3}\ \boldsymbol{HP}$, y los costos totales sin la instalación son de $\$\mathbf{7.450.000}\ \boldsymbol{aprox}$.

Algoritmo en Matlab para el circuito de $45℃$.

```
% -------programa para hallar el diámetro de tubería en función de los
%costos y las variables de caudal, presión, bombeo, velocidad,
perdidas por carga, presión y costos por transferencia de calor.
Newton raphson

clc
clear all
close all
format long
q=input('CAUDAL DE ENTRADA EN Lt/seg   =   ');
Q=q*0.001;                              %para obtener medida en m^3/seg
t=input('TEMPERATURA DEL AGUA EN °C    =   ');
L=input('LONGITUD TOTAL DEL TRAMO EN m =   ');
g=9.71;                                 %aceleración en KN/m^3
tamb=305.15;                            %temperatura en grados K.
ntub=42;                                %numero de tubos en tramo
ncod=74;                                %numero de codos en tramo
nuni=37;                                %numero de uniones en tramos
nvalv=40;                               %numero de válvulas en tubería
x=0.0254;                               %espesor inicial de asilamiento
syms d
syms w
v=((4*Q)/pi*d^2);                       %velocidad en m/s
u=6.00e-7;                              %viscosidad del agua a 45°C
den=971.37;                             %densidad del agua
Nr=(v*den*d)/u;                         %numero de Reynolds
f=64/Nr;
ctub=1.0e+006*(1.8889.*d.^3+1.5576.*d.^2+0.4075.*d-0.0021)*ntub;
%costos en tuberías
ccod=543.58e+3*d-20467.04*ncod; %costos en codos
cuni=1.0e+006*(-0.8409.*d.^3+2.6144.*d.^2-0.0282.*d+0.0030)*ntub;
%costos en uniones
```

```
cvalv=1.0e+008.*(-6.506875009198921.*d.^3+1.970046148403899.*d.^2-
0.070049989057072.*d+0.000934044779988)*nvalv; %costos en valvulas
Hp=(v^2/2*g)*(7.14*nvalv+1.80*nuni+0.57*ncod)); %perdidas por presion
metodo de DARCY
cbomb=((((1.6e-4*g*12.20))/(16*30)))*237.17; %costos por bombeo
cpp=Hp*cbomb; %costo generado por presion
% w1=((1.7224*d)/((234.26e+6)+1.3778));%calculo para espesor mínimo en
la tubería
w1=0.004;
r1=(w1)/(58*((pi/4)*(d-w1)).^2);%resistencia de conducción de la
tubería
r2=(0.0254/(0.025*((pi/4)*(d-w1-0.0254)).^2));%resistencia convección
del aislante
r3=1/(30*((pi/4)*d^2));%resistencia convección del aire
R=r1+r2+r3;%resistencia total
C=0.1153*4181.3;
cca=1138416;
ctr=((((1/(R^2*C))*tamb)*exp((L*pi*d^2)/13.7*4))-(tamb/R))*cca; %
costos generados por el calor que cede el sistema al ambiente
ctot=(ctub+ccod+cuni+cvalv+cpp+ctr)  %costos totales funcion a evaluar
newraps(ctot,0.001,0.000001);
load datos_d2
l=abs(x1);
disp('diametro en metros')
eficiencia=0.9;%eficiencia del sistema para efectos de diseño 0.9
potenciaKW=den*9.8*38.54*(q/1000);
costo=eval(ctot);%costo total
costo=abs(costo)
Hp=eval(Hp)
v=eval(v)


disp('Programa realizado para CASALUKER S.A')
disp('por CARLOS ANDRES ORTIZ ING MECATRONICA')
```

Realizado por el autor.

Ecuaciones necesarias para realizar la optimización de costos sin instalación, para el sistema de 80℃. Cabe resaltar que en adelante las ecuaciones deben quedar en función del Diámetro, incógnita a resolver.

Tabla 22. Ecuaciones a utilizar en el algoritmo $\mathbf{80}$℃***.***

Ecuaciones descriptivas del sistema.	
Calculo de perdidas en función de D	***Despeje de Ecuación.***
$hl = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \frac{{V_2}^2}{2g} + Hp$	$hl = \frac{16 * Q^2}{\pi^2 \, D^4} \, [7.14 * \#valv + 1.80 * \#uni + 0.57 * \#cod]$
Costos por bombeo	***Costos por Presión=cbomb*Hp***
$Cbomb = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{\dot{m} * g * h}{t}$	$cpp = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \frac{{V_2}^2}{2g} [(5.78 * \#valv + 0.34 * \#uni + 0.51 * \#cod) + 1] * 0.01766 \, \$ * \frac{KW}{h}$
Costos por disipación de Calor	***Capacitancia térmica del agua.***
$R = \frac{0.004}{58\left(\frac{\pi}{4}\left(D - (0.004)\right)^2\right)} + \frac{0.0254}{0.0256\left(\frac{\pi}{4}(D - 0.004 - 0.0254)^2\right)} + \frac{0.0333}{D^2} \left[\frac{^\circ K}{W}\right]$	$C = 14Kg * 4181{,}3 \, \frac{J}{kg * ^\circ K} = 58534 \, \frac{J}{^\circ K}$
Costos por transferencia de Calor	***Despeje de Ecuación.***
$C_{transferencia} = \left(\left(\frac{1}{R^2 C} \, T_\infty + \frac{1}{R^2} Q_{in}\right) * euler^{\frac{L_t}{Q_{in}\left(\frac{\pi}{4}D^2\right)}} - \frac{T_\infty}{R}\right) * cca$	$cca = 237.17 \, \$KW * 16 \, h * 30 \, dias = 113841.6 \, \$\frac{KW}{h}$

Realizada por el autor.

Tabla 23. Resultados después de iterar $80℃$

DATOS OBTENIDOS PARA DISTINTOS CAUDALES					
		Q1 =12 lt/s	*Q2= 13.5 lt/s*	*Q3= 14 lt/s*	*Q4= 15.5 lt/s*
80°C	*potencia de bomba en KW*	7,0560	7,9380	8,23	8,82
	diámetro obtenido (m)	0,0613	0,0678	0,07022	0,0752
	diámetro obtenido (plg)	2.1/2”	2.1/2”	3”	3”
	velocidad m/s	4,0660	3,739	3,6150	3,4898
	costo total sin instalación $	5,51*1e6	5,9391*1e6	7,99*1e6	8,32*1e7

Realizado por el autor.

Los datos después de realizar las iteraciones necesarias arrojan que el diámetro mas óptimo debe ser de $\mathbf{3}$" ó $\mathbf{3.1/2}$". La potencia en la bomba debe ser superior a $\mathbf{8.23}\ \boldsymbol{Kw}$ ó $\mathbf{12}\ \boldsymbol{HP}$, y los costos totales sin la instalación son de $\$\mathbf{8.000.000}\ \boldsymbol{aprox}$.

Algoritmo en Matlab para el circuito de $80℃$***.***

```
%-------programa para hallar el diámetro de tubería en función de los
%costos y las variables de caudal, presión, bombeo, velocidad,
perdidas por
%carga, presión y costos por transferencia de calor. Método de Newton
Rapshon.

clc
clear
close all
format long
q=input('CAUDAL DE ENTRADA EN Lt/s    =    ');
Q=q*0.001; %para obtener medida en m^3/seg
% p=input('PRESION DE ENTRADA EN N/m^2    =    ');
t=input('TEMPERATURA DEL AGUA EN °C     =    ');
L=input('LONGITUD TOTAL DEL TRAMO EN m =    ');
g=9.53; %aceleración en KN/m^3
tamb=305.15;
ntub=60;                              %numero de tubos en tramo
ncod=70;                              %numero de codos en tramo
nuni=30;                              %numero de uniones en tramos
nvalv=50;                             %numero de válvulas en tubería
syms d

v=((4*Q)/pi*d^2);                     %velocidad en m/s
u=5.47e-4;                            %viscosidad del agua a 45°C
den=971.37;                           %densidad del agua
re=(v*den*d)/u;                       %numero de Reynolds
f=0.25/log(((0.09/5.71*d)+(5.74/re^0.9)))^2; %factor de fricción
```

```
ctub=.0e+006*(1.8889.*d.^3+1.5576.*d.^2+0.4075.*d-0.0021)*ntub;
%costos en tuberías
ccod=543.58e+3*d-20467.04*ncod; %costos en codos
cuni=1.0e+006*(-0.8409.*d.^3+2.6144.*d.^2-0.0282.*d+0.0030)*nuni;
%costos en uniones
cvalv=1.0e+008.*(-6.506875009198921.*d.^3+1.970046148403899.*d.^2-
0.070049989057072.*d+0.000934044779988)*nvalv; %costos en válvulas

Hp=(v^2/2*g)*(7.14*nvalv+1.80*nuni+0.57*ncod));%perdidas por presión
método de DARCY
cbomb=((((0.016*g*L)/3600)/(16*30)))*237.17; %costos por bombeo
cpp=Hp*cbomb;                          %costo generado por presión
% w1=((1.7224*d)/((234.26e+6)+1.3778));%calculo para espesor mínimo en
la tubería
w1=0.004;
r1=(w1)/(58*((pi/4)*(d-w1)).^2);    %resistencia de conducción de la
tubería
r2=(0.0254/(0.025*((pi/4)*(d-w1-0.0254)).^2));%resistencia convección
del aislante
r3=1/(30*((pi/4)*d^2));             %resistencia convección del aire
R=r1+r2+r3;                         %resistencia total
C=14*4181.3;
cca=58534;
ctr=((((1/(R^2*C))*tamb)*exp((L*pi*d^2)/q*4))-(tamb/R))*cca; % costos
generados por el calor que cede el sistema al ambiente
ctot=(ctub+ccod+cuni+cvalv+cpp+ctr) %costos totales función a evaluar
newraps(ctot,0.001,0.000001);
load datos_d2
l=abs(x1);
disp('diámetro en metros')
eficiencia=0.9; %eficiencia del sistema para efectos de diseño 0.9
potenciaKW=(q/1000)*60*9.53*den %potencia en KW
costo=eval(ctot); %costo total
costo=abs(costo)
Hp=eval(Hp)

disp('Programa realizado para CASALUKER S.A')
disp('por CARLOS ANDRES ORTIZ ING. MECATRONICO')
```

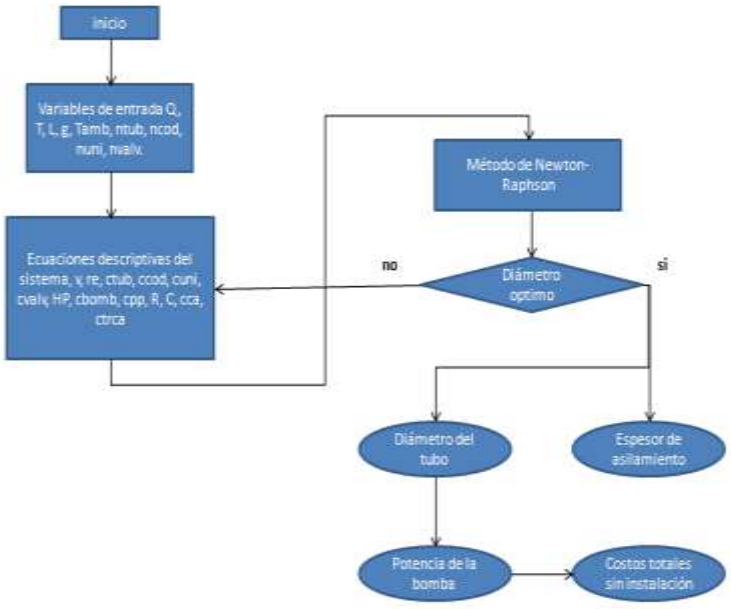
Realizado por el autor.

METODO DE NEWTON RAPHSON.

Programa de newton raphson empleado como subprograma.

```
function newraps(f,x0,tol)

syms d;
df=diff(f,'d');
f=inline(f);
df=inline(char(df));

fprintf('\n it. x f(x) \n')

i=0;
fprintf('%3.0f %10.10f %10.10f \n',i,x0,f(x0))

x1=x0-f(x0)/df(x0);
while abs(x0-x1)>tol
    i=i+1;
    fprintf('%3.0f %10.10f %10.10f \n',i,x1,f(x1))
    x0=x1;
    save datos_d2 x1
    x1=x0-f(x0)/df(x0);
end
```

Figura 11. Diagrama de flujo del programa.



Realizado por el autor.

4.4 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA A TANQUES.

El rendimiento económico de la mayor parte de los procesos y sin duda, su seguridad y posibilidad de operación, depende en gran parte de cuán bien se controlen. Por lo tanto, existe un estímulo considerable para aplicar controles a los procesos que no cuentan con ellos y para mejorar el control de los que ya están siendo regulados.

Sin embargo esto es fácil plantearlo pero no resolverlo, debido a que algunos procesos responden especialmente bien a la acción de control, pero otros tantos no lo hacen. Teniendo en cuenta esto, existe una gran variedad de posibilidades; la mayor de ellas define que un sistema de control puede descomponerse en una serie de bloques relativamente elementales, y cada uno de ellos define cierta parte del sistema analizado y caracterizado. Una vez que se comprenden los elementos es posible reconstruir el proceso y predecir su comportamiento, a partir de ese conocimiento.

Aunque la realimentación no es el único método de control, ni siempre el más eficaz, es el más sencillo, robusto, es decir el más útil con una amplia variedad de parámetros de procesos y condiciones de operación, también es el más económico y viable, además de que exige menos conocimiento del proceso por parte del diseñador, en consecuencia, es posible aplicarlo con mayor amplitud que otros métodos.

La sintonización de los controladores proporcional-integral-derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros (Kc, Ti, Td) para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de desempeño establecido.

Para poder realizar la sintonización de los controladores, primero debe identificarse la dinámica del proceso, y a partir de esta determinar los parámetros del controlador utilizando el método de sintonización seleccionado.

En la industria de procesos, la mayor parte de los controladores se utilizan para responder a un cambio en la perturbación, y se requiere de una buena regulación para seguir el cambio en el valor deseado.[24]

[24] Víctor M. Alfaro. Métodos de sintonización de controladores. Ingenieria PDF. San José Costa rica 2002.

4.5 PROCESO A SIMULAR.

En el siguiente apartado, SIMULINK programa de simulación matemática, simulara el comportamiento dinámico de un intercambio energético entre tres sustancias en diferentes condiciones de operación, estas son el vapor, agua y licor de cacao; al cual se le hará el control de temperatura del proceso. Para controlar la variable del proceso se incluye un lazo retroalimentado con un controlador PID. El sistema propuesto toma como referencia un proceso industrial de calentamiento dentro de un tanque encamisado de 10T. Mediante el vapor y el agua que circulan atraves de dicho encamisado, se realiza la transferencia de calor entre estos a el licor de cacao, los elementos considerados en el esquema propuesto son: el tanque de almacenamiento del producto, el encamisado de vapor y agua, el sensor-transmisor de temperatura del producto, el controlador PID y la válvula como elemento final de control. Esquema instrumental del proceso a simular VER ANEXOS (L-N).

4.5.1 ECUACIONES DEL MODELO.

Se listaran las ecuaciones descriptivas de los componentes del modelo, escogiendo analizando y restringiendo el sistema físico a simular, estableciendo el modelo real supuesto, e identificando los factores que controlan el comportamiento del sistema real.

4.5.1.1 SENSOR.

Es el elemento primario de medición, lo constituye un sensor $PT100$ de temperatura tipo SPRING LOAD, montaje fijo, con termovaina, y transmisor de señal eléctrica variante proporcional a la temperatura, modelo RBW platino RTD.[25]

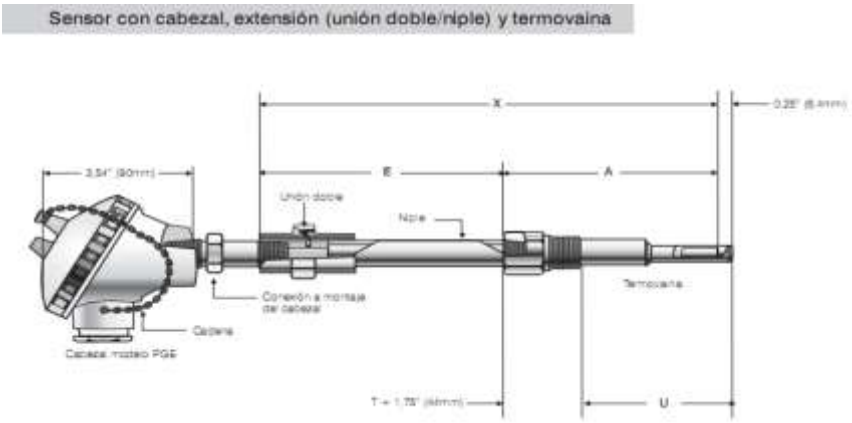
Tabla 24. Características para cálculo de sensor transmisor.

Datos para el Sensor PT100	
Temperatura a medir **T** (ºC)	0-100
Tensión de salida V (v)	0- 5
Error medida (%)	0.5
Fondo de escala error (%)	0.2
Resistencia (Ω)	100 a ˚C
Sensibilidad (%/˚C)	0.4 a 0˚C
Coef. Disipación térmica (mW/˚K)	5
Voltaje en alimentación	Incógnita
Potencia de disipación (mW)	Incógnita
Ganancia del ampo.	Incógnita
Presión de trabajo (PSI)	3.5

Realizado por el autor.

[25] Sensotec, sensor de temperatura intercambiable tipo SPRING LOAD, 2010.

FIGURA 12. Sensor de temperatura tipo PT100.



Sensor de temperatura, sistema intercambiable tipo ASTM, modelo RBW platino RTD.

La ecuación general para el detector de temperatura, basado en la variación de una resistencia eléctrica, se expresa de la siguiente forma

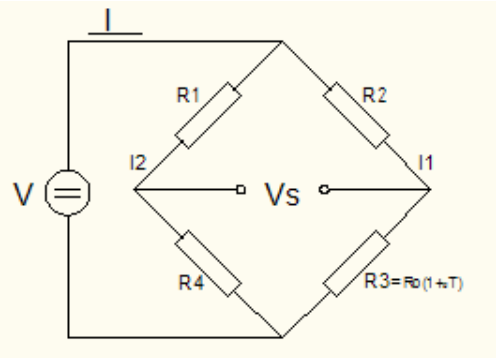
$$R = R_o(1 + \alpha_1 T)$$

4.5.1.2 TRANSMISOR.

Capta la variable del proceso atraves del elemento primario y la transmite a distancia en forma de señal electrónica de $0 - 5\,V$ de voltaje dc, para esto es aconsejable utilizar acondicionadores de señal para adaptar la señal.

Para el caso se utiliza un puente de continua alimentado con una tensión constante (incógnita a resolver), y un amplificador (ideal para efectos de cálculo) a su salida.

FIGURA 13. Puente de wheatstone.



Sensores y acondicionadores de señal, puente de wheatstone, ramón pallas areny. Pág. 117.

El voltaje en la salida del puente viene dado por la siguiente ecuación

$$V_s = V\ \frac{k\ \alpha T}{(k+1+\alpha T)(k+1)} \quad siendo\ \ k = \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_0}$$

Teniendo en cuenta que la salida que se desea es linealmente alta, se pude despreciar el factor de sensibilidad en el denominador α, resumiendo la ecuación

$$V_s = V\ \frac{k\alpha T}{(k+1)^2} \quad {}^{26}(*)$$

Teniendo en cuenta que se desea obtener un error en la medición inferior al 0.5% de la medida, el error en la medición del sensor viene dado mediante la siguiente ecuación

$$\varepsilon = \frac{\alpha T}{k+1} < 5 * 10^{-3}$$

Debido a que interesa tener una salida de $0V\ a\ 0℃$, se toma $R_0 = 100\ \Omega$, y un valor para $\alpha = 4 * 10^{-3}$, el error relativo máximo sucederá para $T = 100℃$, obteniendo k de la anterior ecuación.

$$k = 79$$

Con el valor de k se obtienen los valores de $R_4 = 100\ \Omega, R_1 y R_2 = 7900\ \Omega$. La elección de valores mayores para las resistencias implicara una perdida en la sensibilidad, limitada también por la tensión de alimentación del puente. A la vez limitada por la posibilidad de auto calentamiento.

$$P = 2 * 10^{-3} * 100℃ * 5mV = 1 * 10^{-3}\ mW$$

El voltaje necesario en la alimentación se obtiene de la siguiente manera:

$$V < \left(\frac{1 * 10^{-3}}{140}\right) * 8040 = 21.48V$$

Obteniendo una sensibilidad.

$$S = \frac{20}{(100 * 140)} = 0.83\ mV/℃$$

La ganancia ideal para el ampo. Debe ser.

[26] Sensibilidad y linealidad en un puente de wheatstone. Sensores y acondicionadores de señal Ed. 3ª CAP. 3 pag 121.

*Ecuación para modelar el sensor-transmisor.

$$G = \frac{5}{0.83 * 100} = 60$$

La función de transferencia del sistema

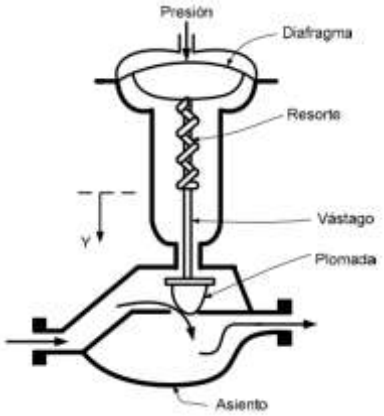
$$\frac{V_s}{T} = V \frac{k\alpha}{(k+1)^2} * \frac{1}{S}$$

4.5.1.3 VALVULA.

El elemento final de control es un dispositivo construido para que ejecute la acción ordenada por el controlador y, según algunas características, del proceso como el estado de los materiales que se manejan, se utilizara una válvula automática de control.

Una válvula de control la compone un mecanismo compuesto de dos partes, el actuador y la válvula. El actuador es la parte superior o carcaza que encierra el diafragma y el resorte adjunto, con el diafragma conectado al vástago. El cuerpo de la válvula o asiento es el bloque atraves del cual se mueve el liquido desde la entrada hasta la salida con un flujo que depende del tamaño de la abertura permitido por el vástago y su plomada.[27]

Figura 14. Válvula de control neumática.



Esto equivale a que cuando se produce un cambio en la presión sobre el área diafragmática, el vástago se desliza junto con la plomada ensamblada en su extremo y se efectúa un cambio en el tamaño de la abertura a través de la cual se permite el paso de un fluido desde la entrada hasta la salida de la válvula. Es decir, es el comportamiento de un fluido atraves de un orificio y se modela con la siguiente ecuación:

$$Q = Cd * A * \sqrt{2gH}$$

[27] Creus sole Antonio, Instrumentación Industrial. 6ª edición, pág. 365, Barcelona, España 1997.

Donde, $Q = \ caudal$, $A = \ área\ del\ orificio$, $H = \ carga$ sobre el eje de orificio, $Cd = \ coeficiente\ de\ descarga$ (depende del número de Reynolds).

4.5.1.4 PLOMADA O TAPA.

La plomada une el cuerpo al servomotor, contiene la empaquetadura para impedir el escape de fluido y a su vez desliza el vástago de la plomada accionado por la presión. Para describir el efecto dinámico de la válvula se considerara un modelo de primer orden para considerar los efectos neumáticos en la cámara del diafragma, los efectos de inercia y roce del vástago.

$$\tau_v \frac{dY}{dt} + \ Y = K_v * SC$$

Aplicando laplace.

$$K_v * \%SC = \ \tau_v s\ Y(s) + \ Y(s)$$

$$K_v * \%SC = Y(s)(\tau_v s + 1)$$

$$\frac{Y(s)}{\%SC} = \frac{K_v}{\tau_v S + 1}$$

Donde,

$$K_v = \frac{fmv}{\%SC} = \frac{480\,\frac{kg}{hr}}{100\ \%} = 46.0\ max \gg \frac{395\,\frac{kg}{hr}}{100\ \%} = 39.5\ min$$

τ_V Constante de tiempo de válvula,

$$\tau_v = 0.3\ seg$$

Área de plomada-asiento.

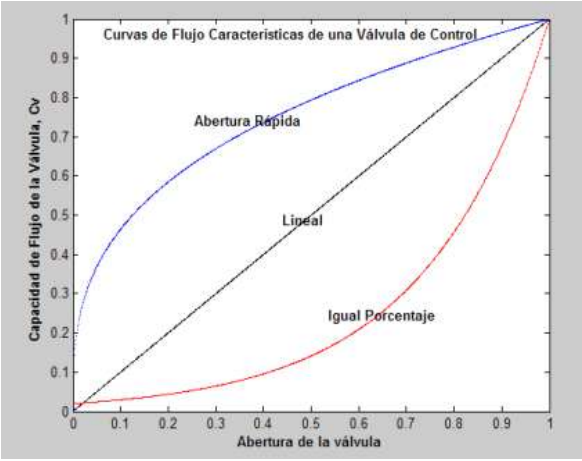
$$A = K_{ov}\, X_v{}^{C_{ev}}$$

Cev, Coeficiente exponencial de la válvula.

A presión diferencial constante, se tienen características lineales o porcentuales.

Una válvula es de tipo lineal se la relación entre el factor de capacidad y la posición o abertura es lineal. Y una válvula de igual porcentaje tiene la propiedad de que a iguales incrementos en la abertura de la válvula producen iguales aumentos relativos o en porcentajes en el coeficiente de la válvula.

Figura 15. Curvas características de una válvula de control.



Realizado por el autor.

La característica lineal es descrita mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K * X$$

Y la característica porcentual viene descrita mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{R} * R^{l} * Q_{max}$$

Donde $\mathrm{R} = \text{rango de control}$, $\mathrm{L} = \text{carrera del vástago}$.

4.6 PROCESO TRANSFERENCIA DE CALOR.

Principio de la conservación de la energía para un volumen de control.

Cuando un sistema pasa por un cambio cíclico, el calor neto que entra o sale del sistema es igual al calor neto que efectúa o admite el mismo.

Y basándonos en la hipótesis de que el flujo másico que entra es igual al que sale, que la densidad del producto es constante, la temperatura de salida se considera igual a la que está en el tanque encamisado homogéneamente mezclado y que la capacidad calorífica del producto es constante.[28]

$$\dot{m_{ve}} = m_{vs} \quad (1)$$

$$\delta_p = cte \quad (2)$$

$$Cp = calor\ especifico\ cte$$

[28] Virgil Moring Faires. *Sistemas abiertos de estado y flujo constantes*. Termodinámica. Texas A M university, pág. 90.

Ecuación de energía para un volumen de control.

$$\dot{Q} + \dot{W}_{neto} = \sum_{salida} (h + \frac{V^2}{2} + gz)\,\dot{m}_s - \sum_{entrada} (h + \frac{V^2}{2} + gz)\,\dot{m_e} + \frac{dE_{vc}}{dt}$$

Para el caso problema de estudio y para los dispositivos como cámaras de mezcla, o tanques intercambiadores que se encuentran en flujo permanente las variables se dan de la siguiente manera:

$\dot{m_{pe=}}\,\dot{m}_{ps} = \dot{m}_p$

$\dot{W}_{neto} = 0$ *Debido a que la densidad del producto cte.*

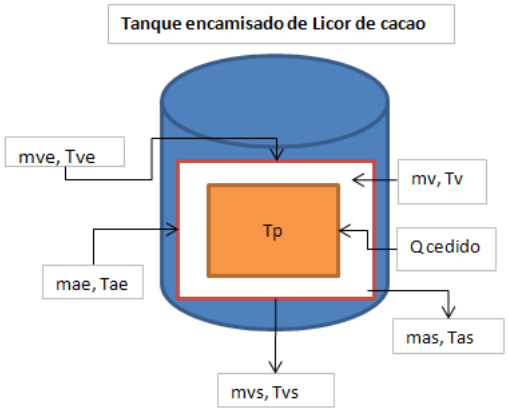
$\Delta\frac{V^2}{2} = 0$ *Debido a la capacidad calorífica del producto cte.*

$\Delta gz = 0$ *Debido a que la temp. De salida es igual al interior del tanque*

La ecuación se reduce a la siguiente expresión.

$$\dot{Q} = \sum_{salida} h\dot{m}_s - \sum_{entrada} h\dot{m}_e + \frac{dE_{vc}}{dt}$$

Figura 16. Proceso de intercambio de temperatura en el tanque.



Realizado por el autor.

Donde,

$mve = flujo\ masico\ del\ vapor\ entrante$

$tve =$
$temperatura\ del\ vapor\ entrante$

$tas =$
$temperatura\ del\ agua\ de\ salida$

$mv =$
$masa\ del\ vapor\ dentro\ del\ tanque$

$Q =$
$calor\ cedido\ por\ transferencia\ de\ calor$

$tv =$
$temperatura\ del\ vapor\ al\ interior\ del\ tanque.$

$mvs = masa\ del\ vapor\ saliente$

$tvs =$
$temperatura\ del\ vapor\ saliente$

$mae =$
$flujo\ masico\ del\ agua\ entrante$

$tp =$
$temperatura\ del\ producto\ (licor\ de\ cacao)$

$tae =$
$temperatura\ del\ agua\ entrante$

$mas =$
$flujo\ masico\ del\ agua\ de\ salida$

Agente de control.

El vapor del agua hace las veces de agente de control debido a que es con el que se eleva la temperatura del agua que está en el encamisado, agua que será posteriormente agente de control para mantener regulada la temperatura del licor de cacao, como solución a uno de los problemas planteados.

Formula de transferencia de calor.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = m * C * \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Donde

$m = flujo\ masico\ del\ volumen\ de\ control\ (vapor)$.
$C = calor\ especifico\ del\ volumen\ de\ control\ (vapor)$.

De esta manera.

$$\dot{Q} = U * A * (T_v - T_a - T_l)$$

Donde $U =$ coeficiente global de transferencia de calor entre el vapor-agua-licor. (Convección + conducción).

$T_v = temp.del\ vapor$, $T_a = temp.del\ agua$, $T_l = temp.licor\ de\ cacao$

Balance de energía del vapor agente de control.

$$\sum q_{entra} = \sum q_{sale} = m_v\, C_v \quad \frac{dT_v}{dt}$$

Obteniendo el bloque ***tanque encamisado***.

$$m_{ve}\, C_{ve}\, T_{ve} - \; U * A * \left(T_v - \; T_p - T_l\right) - m_{vs}\, C_{vs}\, T_{vs} = \; m_v\, C_v \quad \frac{dT_v}{dt} \quad (2)$$

Balance de energía del agua.

Igualmente se utiliza la primera ley tanto para el agua, como para el licor de cacao.

$$E_{entra} - \; E_{sale} \; = E_{acumulada}$$

$$\sum q_{entra} = \sum q_{sale} = m_a\, C_a \quad \frac{dT_a}{dt}$$

$$\sum q_{entra} = \sum q_{sale} = m_l\, C_l \quad \frac{dT_l}{dt}$$

Obteniendo la ecuación para el ***proceso 1***.

$$m_{ae}\, C_{ae}\, T_{ae} - \; U * A * \left(T_v - \; T_p - T_l\right) - m_{as}\, C_{as}\, T_{as} = \; m_a\, C_a \quad \frac{dT_a}{dt} \quad (3)$$

Finalmente para el licor de cacao en tanque se obtiene la ecuación para el bloque ***proceso 2***.

$$m_{le}\, C_{le}\, T_{le} - \; U * A * \left(T_v - \; T_p - T_l\right) - m_{ls}\, C_{ls}\, T_{ls} = \; m_l\, C_l \quad \frac{dT_l}{dt} \quad (4)$$

4.6.1 Datos obtenidos para cada variable y constante ingresados al programa de simulación SIMULINK.

Datos de la caldera y para vapor.[29]

$poder\ calorifico = 5028000\frac{btu}{hr}$

$150\ BHP = 2340\frac{kg}{hr}$

$P = 115 - 120\ PSI$

$T = \mathbf{150 - 170}\ ℃ - -\rightarrow vapor\ saturado$

Por tablas.

$$Cp\ calor\ especifico = \ 1.93\ \frac{KJ}{kg * °K}$$

Para obtener medida en $\frac{Kcal}{kg*℃}$

$$1.93\ \frac{KJ}{kg * °K} * \frac{0.2519\ Kcal}{1.055KJ} = 0.4608\ \frac{Kcal}{kg * °K} * \frac{274.15\ °K}{1℃} = \mathbf{126.33}\frac{Kcal}{kg * °C}$$

Datos para el agua.

Flujo de agua requerido por cada tanque.

$\dot{m}_a = 0.5858\ \frac{kg}{s} * \frac{3600s}{1\ hr} = \mathbf{2108.8}\frac{kg}{hr}$

Por tablas.

$$Cp\ calor\ especifico = 4.18\ \frac{KJ}{kg * °K}$$

Para obtener medida en $\frac{Kcal}{kg*℃}$

$$4.18\ \frac{KJ}{kg * °K} * \frac{0.2519\ Kcal}{1.055KJ} = 0.998\ \frac{Kcal}{kg * °K} * \frac{274.15\ °K}{1℃} = \mathbf{273.7}\ \frac{Kcal}{kg * °C}$$

[29] Cortesía Equipo de mantenimiento, Casaluker S.A, 2009

Datos del tanque mezclador.

Volumen del encamisado.[30]

$$Vt = \mathbf{700\ lt}$$

Masa del agua contenida en el encamisado.

$$m = V * \delta = \ 0.7\ m^3 * 1000\,\frac{kg}{m^3} \ = \ \mathbf{700\ kg}$$

4.6.2 Transferencia de calor.

El calor necesario para elevar la temperatura del agua de $25℃$ (temperatura ambiente) a $80℃$ (temperatura max), en tanques necesaria para mantener el licor de cacao entre las temperaturas de $45 - 48\ ℃$ es:

$$Q = m * Cp * \ \Delta T$$

$$700\ kg * 4.18\ \frac{KJ}{kg * \ °K} * (328.15)°K = \mathbf{960166.9}\ KJ$$

Para saber la medida en BTU necesarios requeridos de la caldera.

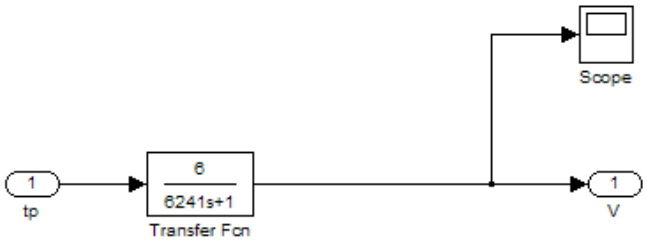
$$960166.9\ KJ * \ \frac{1\ btu}{1.055056\ KJ} = \mathbf{910062.49}\ btu$$

Según graficas la cantidad máxima de vapor necesario, evitando perdidas por transferencia de calor son $\mathbf{840735}\,\frac{btu}{hr}$ min. Y $\mathbf{955565.6}\,\frac{btu}{hr}$ max. Ver anexo (I-J) Esto equivale a $\mathbf{395}\,\frac{kg}{hr}$ min. Y $\mathbf{460}\,\frac{kg}{hr}$ max. De vapor saturado en la entrada.

[30] Plano general Tanque Acondicionador. Capacidad 700 lts. (encamisado). Ver anexo (K)realizado por el autor.

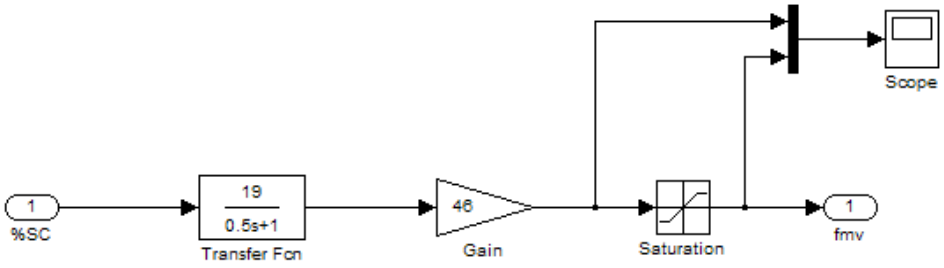
4.6.3 Diagrama de bloques de las anteriores ecuaciones en Matlab.[31]

Figura 17. Diagrama de bloques del sensor-transmisor.



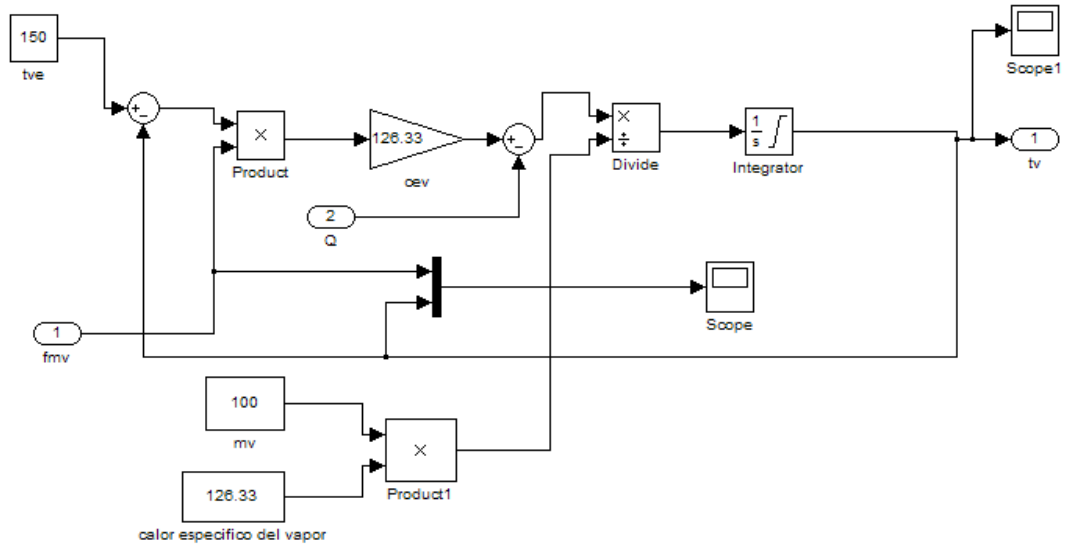
Realizado por el autor.

Figura 18. Diagrama de bloques de la válvula de control.



Realizado por el autor.

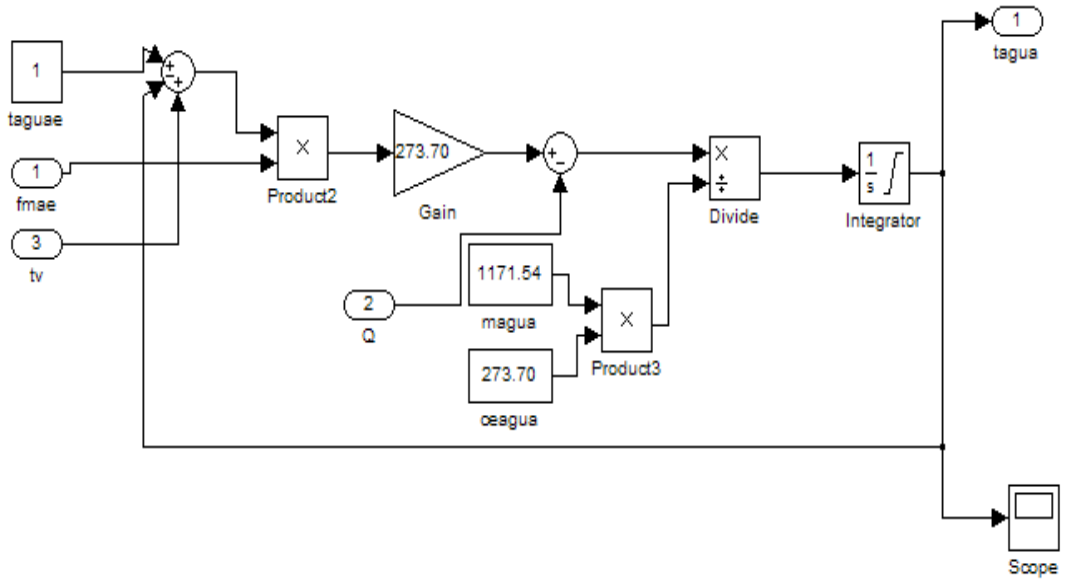
Figura 19. Diagrama de bloques del encamisado entrada vapor.



Realizado por el autor.

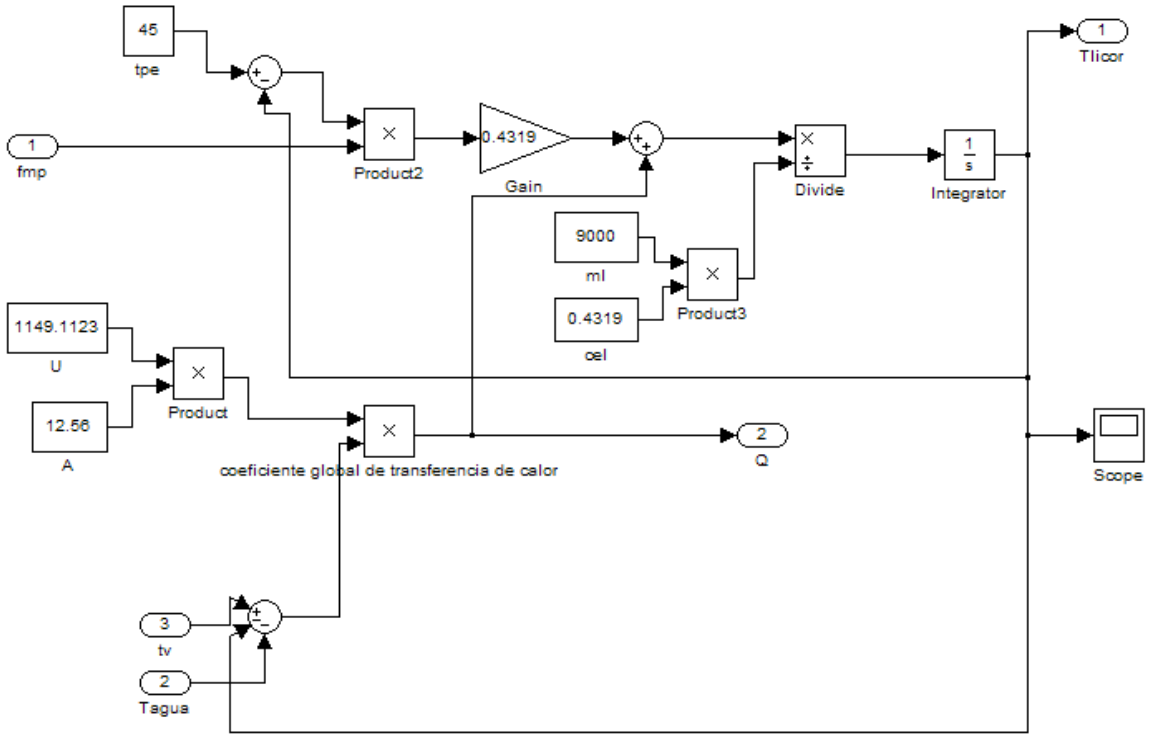
[31] Diagrama de bloques de las ecuaciones, realizado por el autor.

Figura 20. Diagrama de bloques del proceso 1 del vapor-agua.



Realizado por el autor.

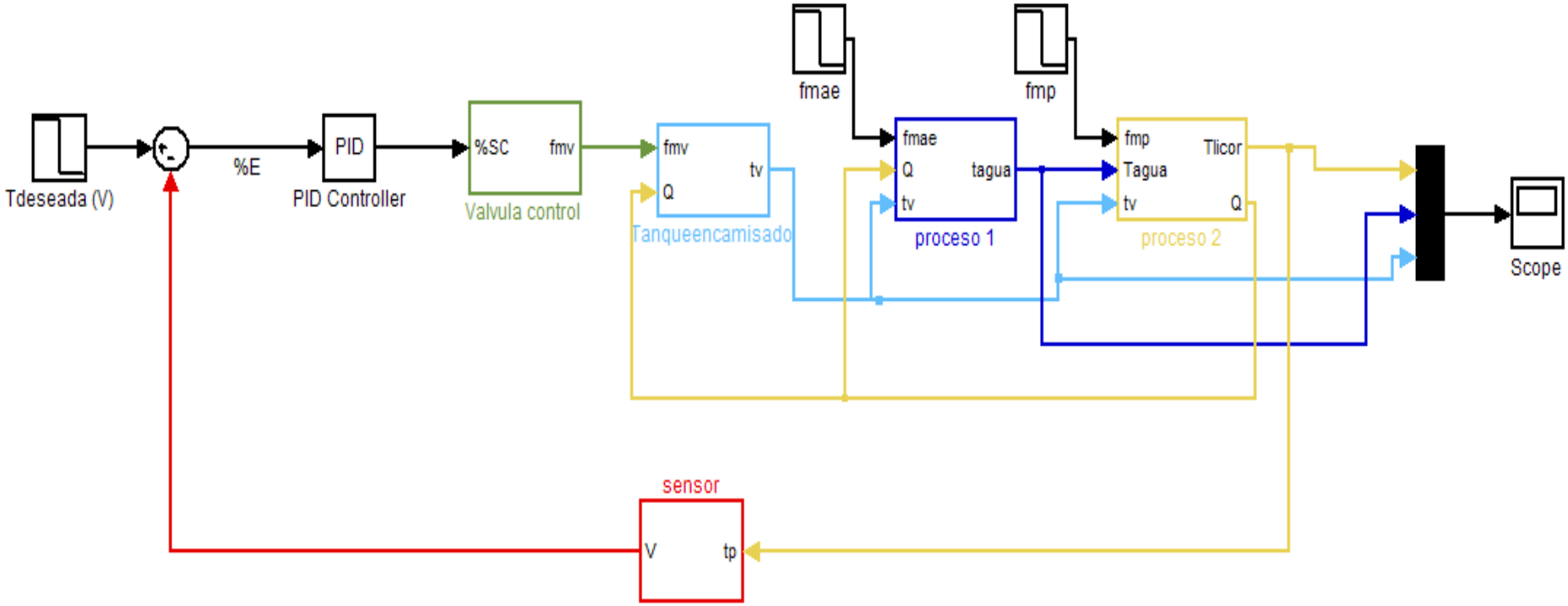
Figura 21. Diagrama de bloques del proceso del agua-licor de cacao.



Realizado por el autor.

4.6.4 Diagrama final del sistema de control.[32]

Figura 22. Diagrama de bloques del sistema de control final.

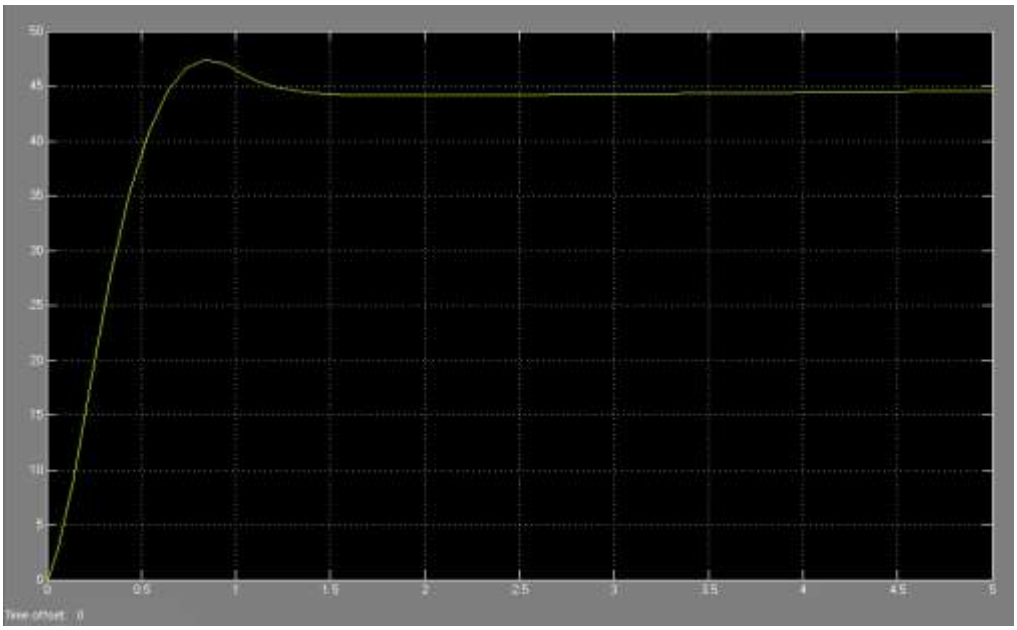


Realizado por el autor.

[32] Diagrama final del sistema de control de temperatura a tanques mezcladores, planteado por el autor.

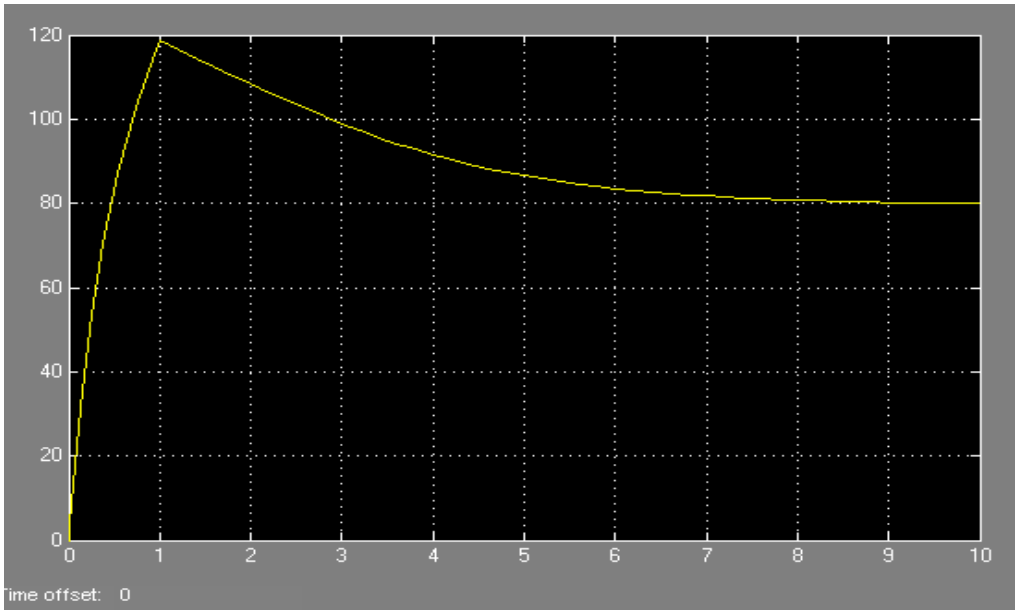
4.6.5 Graficas de Simulación del sistema.

Figura 23. Comportamiento dinámico del licor de cacao.



Realizado por el autor.

Figura 24. Comportamiento dinámico del vapor en el encamisado.



Realizado por el autor.

4.7 METODO DE SINTONIZACION ZIEGLER-NICHOLS.

El primer método sistematizado para el cálculo de los parámetros de un controlador PID fue desarrollado por ZIEGLER-NICHOLS el criterio de desempeño que selecciono fue el de decaimiento de 1/4, es decir que el error decae una cuarta parte de un periodo de oscilación.

Las ecuaciones fueron determinadas de forma empírica a partir de pruebas realizadas en laboratorio con diferentes procesos, y están basadas en un modelo de primer orden más tiempo muerto identificado por el método de la tangente o curva, para un funcionamiento del lazo de control como regulador con un controlador PID-ideal.

Los datos que se encuentran a continuación corresponden al comportamiento en la salida de la temperatura del licor de cacao al interior de un tanque mezclador o de concheo, al cual se le aplico un escalón de $\mathbf{550}\frac{kg}{hr}$ a $\mathbf{700}\ \frac{kg}{hr}$ en un tiempo de $0.6\ min$.

Tabla 25. Temperatura en tiempo real del licor de cacao.

Datos:

Tiempo en min	Temperatura del licor de cacao en ºC
0	45,2252071
0,01607717	44,2175447
0,032154341	43,1864112
0,048231511	44,4089728
0,064308682	44,0101702
0,080385852	43,9034707
0,096463023	43,5658109
0,112540193	43,5501819
0,128617363	44,4641757
0,144694534	43,9776991
0,160771704	43,1288908
0,176848875	44,8338021
0,192926045	44,8534256
0,209003215	43,9639487
0,225080386	44,3550317
0,241157556	44,1692371
0,257234727	43,9666728
0,273311897	43,467202
0,289389068	44,8436018
0,305466238	43,0496086
0,321543408	43,655317
0,337620579	44,460183
0,353697749	44,8896403
0,36977492	43,6967873
0,38585209	43,5513125
0,401929261	43,7053959
0,418006431	43,9122067
0,434083601	43,7037148
0,450160772	43,7037148
0,466237942	43,7037148
0,482315113	43,7037148
0,498392283	43,7037148
0,514469453	43,7037148
0,530546624	43,7037148
0,546623794	43,7037148
0,562700965	43,7037148
0,578778135	43,7037148
0,594855306	43,7037148

0,610932476	43,7037148
0,627009646	43,7037148
0,643086817	43,3404902
0,659163987	43,3404902
0,675241158	43,1119222
0,691318328	43,1119222
0,707395498	43,8114916
0,723472669	43,8114916
0,739549839	43,431817
0,75562701	43,6010655
0,77170418	45,4568962
0,787781351	45,802467
0,803858521	44,9305831
0,819935691	45,8089607
0,836012862	46,0672071
0,852090032	47,5118918
0,868167203	48,190018
0,884244373	48,6501047
0,900321544	48,6047586
0,916398714	49,8672567
0,932475884	50,735517
0,948553055	50,3326984
0,964630225	50,0966475
0,980707396	51,1956628
0,996784566	50,2543022
1,012861736	50,4018864
1,028938907	52,3910901
1,045016077	50,629367
1,061093248	51,531968
1,077170418	52,206676
1,093247589	51,3177493
1,109324759	50,1452115
1,125401929	50,1773822
1,1414791	50,2669652
1,15755627	49,0974027
1,173633441	51,0301422
1,189710611	50,116166
1,205787782	51,3311688
1,221864952	52,1338322
1,237942122	52,4786658
1,254019293	50,8970934
1,270096463	49,8483544
1,286173634	50,4632297
1,302250804	49,3478422
1,318327974	50,4201252
1,334405145	51,9055574
1,350482315	50,24629
1,366559486	51,4624482
1,382636656	51,0491823
1,398713827	51,290296
1,414790997	52,5397644
1,430868167	52,5975921
1,446945338	50,6829903
1,463022508	50,5712465
1,479099679	50,3334786
1,495176849	52,0119327
1,511254019	50,0844038
1,52733119	51,1184971
1,54340836	51,3610214
1,559485531	52,4971803
1,575562701	52,3791461
1,591639872	52,6093681
1,607717042	52,3589878
1,623794212	51,7539683
1,639871383	51,5361604
1,655948553	51,3518875
1,672025724	51,8812601
1,688102894	51,1753147
1,704180065	51,9299242
1,720257235	51,385902
1,736334405	51,006885
1,752411576	52,2164983
1,768488746	52,6420421
1,784565917	52,9499404
1,800643087	52,9293743
1,816720257	50,7956554
1,832797428	52,5242152
1,848874598	50,2277114

1,864951769	51,7328888
1,881028939	51,8319409
1,89710611	52,1112506
1,91318328	52,4729564
1,92926045	52,4651421
1,945337621	51,6765519
1,961414791	52,5464977
1,977491962	51,8531831
1,993569132	51,4387194
2,009646303	51,7741702
2,025723473	50,2878523
2,041800643	52,6438571
2,057877814	51,9782137
2,073954984	52,0462647
2,090032155	51,8459037
2,106109325	49,7507217
2,122186495	52,7364651
2,138263666	51,9170144
2,154340836	52,1739715
2,170418007	52,3071423
2,186495177	50,9215644
2,202572348	51,0297763
2,218649518	52,3069418
2,234726688	52,709862
2,250803859	51,834018
2,266881029	51,8235634
2,2829582	51,7718961
2,29903537	51,1896597
2,31511254	52,8970494
2,331189711	51,5015197
2,347266881	51,2117647
2,363344052	50,9260512
2,379421222	52,8629328
2,395498393	51,4760201
2,411575563	51,3020592
2,427652733	51,5661837
2,443729904	51,1789303
2,459807074	51,6458214
2,475884245	51,4796733

2,491961415	51,3798783
2,508038586	51,692541
2,524115756	52,6461659
2,540192926	50,2984335
2,556270097	51,9860781
2,572347267	50,7346975
2,588424438	48,7777487
2,604501608	51,7064112
2,620578778	52,5739534
2,636655949	52,7533795
2,652733119	52,6630278
2,66881029	52,2175595
2,68488746	50,8077972
2,700964631	52,8376752
2,717041801	50,931261
2,733118971	51,6698945
2,749196142	51,9120078
2,765273312	50,9743996
2,781350483	51,5238432
2,797427653	50,9248361
2,813504824	52,7726107
2,829581994	50,9984249
2,845659164	51,8019108
2,861736335	51,4667134
2,877813505	51,5437962
2,893890676	51,6139888
2,909967846	52,0841573
2,926045016	52,6751979
2,942122187	50,1153186
2,958199357	52,0684501
2,974276528	52,1247788
2,990353698	51,3533395
3,006430869	50,0576163
3,022508039	52,6329378
3,038585209	51,3818332
3,05466238	52,6097673
3,07073955	51,8059983
3,086816721	52,593085
3,102893891	51,6104678

3,118971061	51,8183937
3,135048232	52,2025306
3,151125402	52,2512118
3,167202573	52,4887699
3,183279743	51,225183
3,199356914	52,3791138
3,215434084	51,6945223
3,231511254	50,4419001
3,247588425	51,8563337
3,263665595	52,6828905
3,279742766	52,499277
3,295819936	52,2897213
3,311897107	52,4026591
3,327974277	52,0283685
3,344051447	52,0400121
3,360128618	52,075676
3,376205788	51,4216619
3,392282959	51,2953162
3,408360129	51,5262282
3,424437299	51,5239704
3,44051447	50,6364438
3,45659164	51,7721525
3,472668811	52,1804154
3,488745981	52,0444799
3,504823152	52,3090089
3,520900322	51,9538353
3,536977492	51,9529344
3,553054663	52,1553816
3,569131833	51,2610941
3,585209004	52,40245
3,601286174	52,18944
3,617363345	52,7638305
3,633440515	52,0631176
3,649517685	52,9608184
3,665594856	50,8409204
3,681672026	50,342438
3,697749197	52,3230223
3,713826367	52,4653077
3,729903537	51,5394133

3,745980708	52,0890285
3,762057878	51,0495372
3,778135049	51,4374203
3,794212219	52,0965143
3,81028939	52,5811857
3,82636656	51,0298752
3,84244373	52,1552661
3,858520901	50,0340309
3,874598071	52,1882626
3,890675242	52,2809545
3,906752412	51,0147883
3,922829582	50,4482318
3,938906753	52,9318729
3,954983923	52,2547626
3,971061094	51,7989905
3,987138264	51,4482788
4,003215435	50,776821
4,019292605	52,3502118
4,035369775	51,6068836
4,051446946	50,682783
4,067524116	51,522656
4,083601287	52,5385483
4,099678457	51,7051306
4,115755628	52,1214934
4,131832798	51,1996318
4,147909968	51,5347543
4,163987139	52,7107627
4,180064309	51,8450971
4,19614148	52,4822368
4,21221865	52,5167663
4,22829582	51,9963125
4,244372991	52,6602646
4,260450161	52,2982358
4,276527332	51,059105
4,292604502	52,8994313
4,308681673	51,3984157
4,324758843	50,1776964
4,340836013	52,5126631
4,356913184	51,2581459

4,372990354	53,2987902
4,389067525	50,6511794
4,405144695	50,2329836
4,421221866	51,2508285
4,437299036	51,3554106
4,453376206	51,9556805
4,469453377	52,6427491
4,485530547	52,74951
4,501607718	51,1049501
4,517684888	51,778674
4,533762058	51,2696557
4,549839229	52,7613453
4,565916399	52,9490018
4,58199357	52,3360212
4,59807074	50,5800632
4,614147911	51,7508757
4,630225081	52,7620242
4,646302251	52,0079751
4,662379422	51,8551573
4,678456592	52,0378786
4,694533763	52,0528061

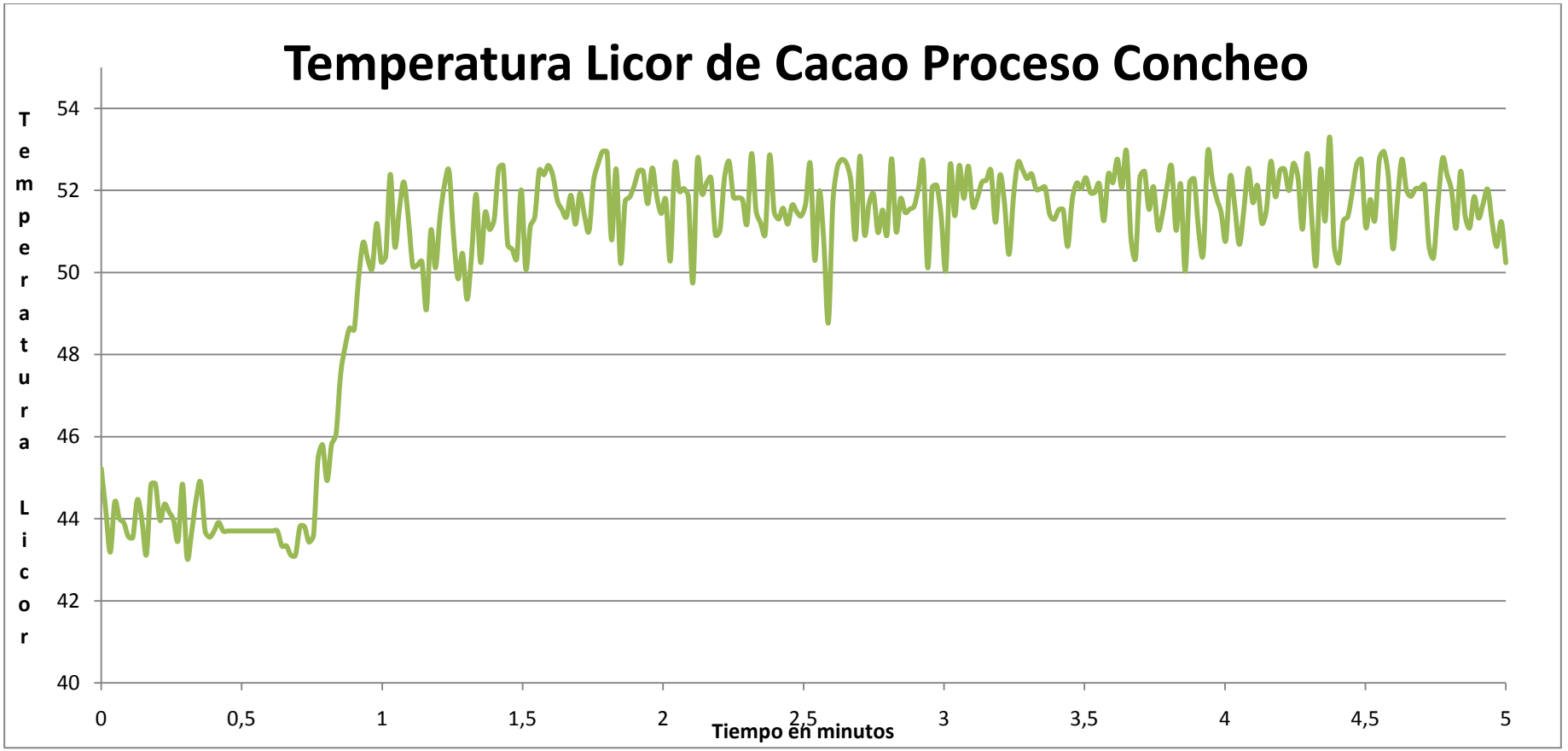
4,710610933	52,1347204
4,726688103	50,6356869
4,742765274	50,3640507
4,758842444	51,6965379
4,774919615	52,7846114
4,790996785	52,3778793
4,807073956	51,9910755
4,823151126	51,0796948
4,839228296	52,4677807
4,855305467	51,3853225
4,871382637	51,0874047
4,887459808	51,8471329
4,903536978	51,3278205
4,919614149	51,6886651
4,935691319	52,0236776
4,951768489	51,1989179
4,96784566	50,6336024
4,98392283	51,2389668
5,000000001	50,2389668

Realizado por el autor.

De acuerdo a los datos anteriormente planteados se obtiene la grafica del comportamiento del sistema previa acción de control.[33]

[33] Víctor M. Alfaro Ruiz. Métodos de sintonización de controladores PID. Pág. 23. San José de Costa rica 2002.

Figura 25. Comportamiento real del licor de cacao en un tanque mezclador.



Realizado por el autor.

Pendiente.

Obteniendo los datos de la grafica.

$$m = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} = \frac{49.8672567 - 44.9305831}{0.916398714 - 0.803858521} = 43.8658711$$

Despejando para Y en la ecuación de la recta.

$$Y - Y_1 = m * (X - X_1)$$

$$Y - 49.8672567 = 43.8658711\ (\ X - 0.916398714)$$

$$Y = 43.8658711\ X + 9.668628835$$

Tiempo Muerto.

El tiempo muerto se halla con la ecuación de la recta, se tomara el punto donde la temperatura comienza ascender.

$$Y = 43.8658711\ X + 9.668628835$$

$$42.111922 = 43.8658711 + 9.66828835$$

$$\frac{42.1119222 - 9.668628835}{43.8658711} = X$$

$$X = 0.730602168$$

Teniendo en cuenta que el impulso se aplico a los 0.5 min, el tiempo muerto es la diferencia entre el valor de la ecuación menos el escalón.

$$T_D = \ 0.730602168 - 0.5$$

$$T_D = 0.239602168\ min$$

Tiempo de estabilización.

De nuevo se utilizara la ecuación de la recta para proceder a realizar el cálculo del tiempo de estabilización con los valores respectivos según grafico.

$$Y = 43.8658711\ X + 9.668628835$$

$$52.3910901 = \ 43.8658711\ X + 9.668628835$$

$$\frac{52.3910901 - 9.668628835}{43.8658711} = X$$

$$X = 0.97393396$$

$$\tau = 2.343317966\ min$$

Parámetros de sintonización del PID de acuerdo al método de ZIEGLER-NICHOLS.

$$Ko = \frac{Y_\infty - Y_o}{U_\infty - U_o}$$

$$\tau_o = T_1 - T_0$$

$$\gamma_o = T_2 - T_1$$

$$Ko = \frac{\Delta Vm}{\Delta U} = \frac{\left(\frac{52{,}4786658 - 45{,}2252071}{52{,}4786658}\right) * 100}{\left(\frac{186 - 11.53}{186}\right) * 100} = 0.147434$$

$$\tau_o = 0.70739548 - 0.353697 = 0.353697$$

$$\gamma_o = 52{,}4786658 - 43{,}811491 = 8.667174$$

Función de transferencia según método de ZIEGLER-NICHOLS.[34]

$$G_s = \frac{0.147434 * e^{-0.35369848*t}}{8.667174\ S + 1}$$

Lazo abierto constante de proporcionalidad Kp.

$$PID(kp) = \frac{1.22\tau}{kp\ \tau d}$$

$$Kp = \frac{1.22 * 8.667174}{0.147434 * 0.35369848} = 202.771$$

Constante integral Ki.

$$Ki = \frac{1}{2 * Td} =$$

$$Ki = \frac{1}{2 * 0.239602} = 2.0867$$

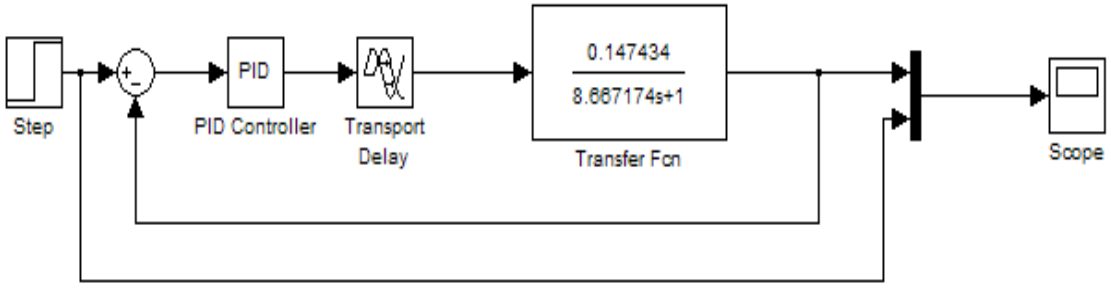
[34] Minorsky, «Directional stability of automatically steered bodies», Journal of the American Society of Naval Engineering, Vol. 34, p. 284, 1922.
K.J. Åström & T.H. Hägglund, «New tuning methods for PID controllers,» Proceedings of the 3rd European Control Conference, p.2456–62

Constante derivativa Kd.

$$Kd = 0.5\,Td$$

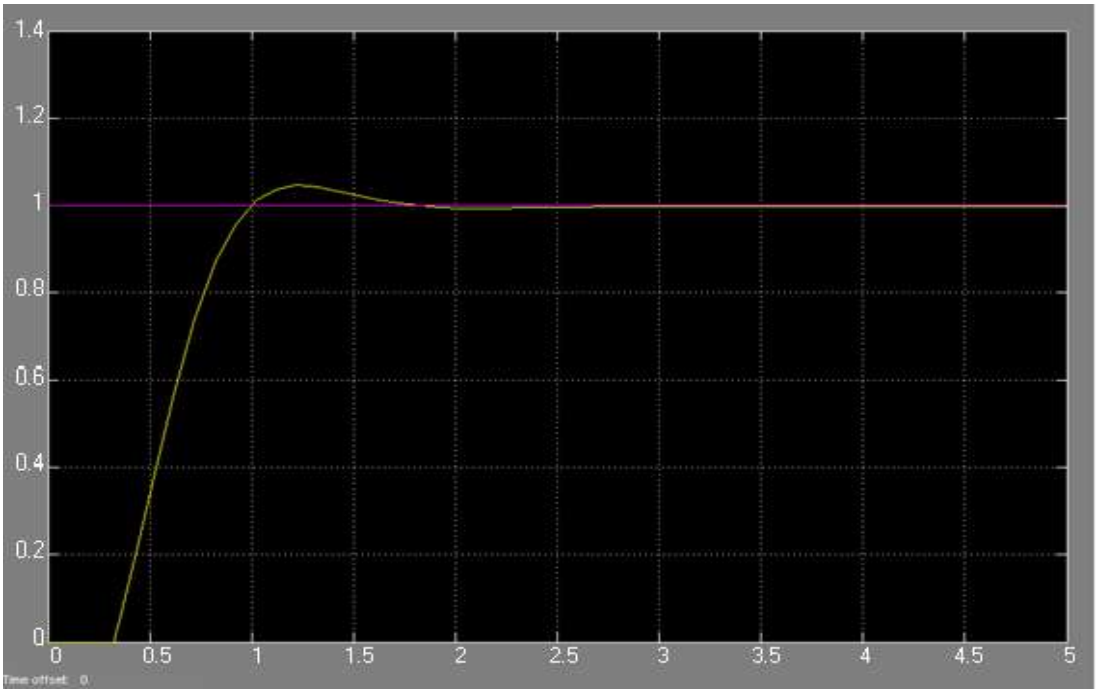
$$Kd = 0.5 * 0.239602 = 0.119801$$

Figura 26. Diagrama de bloques del sintonizador.



4.7.1 SIMULACION DEL METODO DE SINTONIZACION.

Figura 27. Pid sintonizado.



Realizado por el autor.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

*INTERCAMBIADORES DE CALOR***.**

Los intercambiadores deberán trasladarse del lugar actual para satisfacer los diseños propuestos.

Las dimensiones de traslado y ubicación en planta se verán propiamente en planos.

Es necesario el cambio en el aislamiento y cobertura de los tanques intercambiadores de calor debido a que presenta rupturas en su esquema en algunas entradas y salidas de calor, esto debido a que cede calor al entorno y las pérdidas por transferencia de calor aumentan.

ANILLO DE TRANSPORTE

El anillo de transporte estará en una altura demasiado elevada esto implica que se deberá tener mucho cuidado en la instalación debido a que a esa altura están presentes otros elementos propiamente de la arquitectura de la planta.

Por cálculos la presión en tanques es menor a la máxima permisible para implotaciones, por seguridad y para asegurar que la presión en tanques sea leve y se eviten las implotaciones se recomienda instalar válvulas de alivio en la entrada de agua para tanques, así como trampas de vapor.

Los tanques de encamisado de licor deben permanecer cerrados para su control y manejo, se deben instalar mirillas y sensores para el control de nivel, temperatura y caudal.

Se debe instalar equipo de tratamiento de aguas para evitar formación de sedimentos, lodos y contaminación futura de agua.

IMPULSO.

Se instalaran nuevos sensores de temperatura y nivel en tanques para controlar precisamente el flujo de agua atraves de ellos y el anillo y de esta manera controlar el correcto funcionamiento del transporte de aguas, sin exceder presiones, velocidades ni caudales.

Por ningún motivo se debe cambiar los valores de diámetros, caudales, presiones, temperaturas y demás variables calculadas esto afecta de manera directa el diseño en toda su embergadura.

SENSORICA.

Se instalaran equipos de sensores de temperatura, caudal, presión y, nivel muchos de los anteriores actualmente no se encuentran dispuestos para llevar un control total del circuito, bombeo y retorno.

La instalación del equipo de Sensorica da pie a que se establezca un sistema totalmente electrónico controlado por un PLC para lograr la automatización de aguas esto hace más preciso el sistema, más eficiente, y generara más economía para la planta de producción.

6. CONCLUSIONES.

- La producción de licor de cacao es un proceso demasiado engorroso, debido a la cantidad de variables involucradas en su elaboración, para procesarlo se necesitan de que los estándares se cumplan con eficacia y precisión, para esto es necesario el empleo de diseños de alta calidad, manteniendo o mejorando los sistemas actuales de producción.

- El diseño del sistema de distribución de aguas está establecido para la zona delimitada por: intercambiadores de calor, tanques acondicionadores, molinos, tubería encamisada de licor de cacao, transporte de vapor y, condensados o retornos.

- Los datos con los que se partieron para el diseño del sistema de aguas fueron proporcionados por las áreas de mantenimiento, producción, ingeniería, mercadeo y compras. Los cálculos obtenidos en diseños propuestos por el autor del proyecto se basan en dicha información y la precisión en dichos cálculos depende de la veracidad y eficacia de la información suministrada por las anteriores áreas nombradas.

- El proyecto fue planteado por el equipo de ingeniería para reemplazar las necesidades por las que actualmente está atravesando el actual circuito de aguas, estas necesidades se nacen en los goteos, en la mala distribución, ineficiencia de presiones y temperaturas, alto consumo y pérdidas.

- El sistema de control planteado por el autor, se basa en la necesidad de complementar con la parte Mecatrónica del proyecto planteada por el nodo de la universidad.

- Los cálculos hidráulicos del nuevo sistema de distribución fueron demasiado engorrosos, debido a que los métodos planteados fueron establecidos por el área de ingeniería de la compañía, y algunos de los

métodos establecidos fueron planteados por el autor, previa autorización del ingeniero en jefe.

- El análisis pertinente al actual sistema de distribución de aguas también fue demasiado engorroso debido a que se presentan mezclas de las tuberías de aguas, vapor, licor y, neumática.

- Los planos establecidos parten de la distribución actual de aguas y recorren una trayectoria óptima en la arquitectura de la planta en la que no se mezcla con ningún otro elemento de distribución en planta, se aleja de la distribución de licor de cacao permitiendo que los cambios generados día a día sean más fáciles de emplear.

- La aprobación y posterior construcción del proyecto corre por cuenta del área de ingeniería, el proyecto fue entregado el día 15 de marzo del 2010 al ingeniero JULIAN GOMEZ FONNEGRA, líder de equipo. El cumplimiento del cronograma de actividades corre por cuenta del líder de montajes de la empresa. El objetivo del autor era establecer el diseño del sistema de aguas incluyendo cálculos, planos, despliegue técnico y trabajo de campo.

- La cantidad de obra del proyecto estará establecida en un documento. Ver anexo (S), en el que se establecen todos los elementos necesarios para la construcción del proyecto, los valores que se encuentran para cada elemento son establecidos previo contacto con distribuidores oficiales de la empresa, y mediante cotizaciones solicitadas por el autor a las empresas.

BIBLIOGRAFIA.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Documentación. Referencias Bibliográficas para Normas. Bogota***: ICONTEC, 2007. NTC (1307).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Referencias documentales para fuentes de información electrónicas.*** Bogota: ICONTEC, 2007. NTC (4490).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado, y otros trabajos de investigación***. Bogota: ICONTEC, 2007. NTC (1486).

JAMES R. CARSTENS. ***Automatic control systems and components***. PRENTICE HALL. New Jersey. 1990

OGATA KATSUHIKO. ***Ingenieria de control moderna***, 3ª Edición. PRENTICE HALL. MEXICO. 1995.

ANTONIO CREUS SOLE***. Instrumentación Industrial***. 6ª Edición. BARCELONA ESPAÑA. 1997.

KURT GIECK. REINER GIECK. ***Manual de Formulas Técnicas***. ALFAOMEGA. MEXICO. 2000.

IAN R. SINCLAIR AND JOHN DUNTON. ***Practical Electronics Handbook***. 6ª Edición. Jordan Hill, OXFORD. 2007

F.G SHINSKEY, ING. JOSE HERNAN PEREZ CASTELLANOS. ***Sistema de Control de Procesos, Aplicación Diseño y Sintonización***. MCGRAW HILL. MEXICO. 1996.

VIRGIL MORING FAIRES. ***Termodinámica***. MACMILLAN. MEXICO. 1983.

ROBERT L. MOTT. ***Mecánica de Fluidos Aplicada***. PRENTICE HALL. 4ª Edición. MEXICO. 1996.

UNIVERSIDAD DE MEXICO. ***Curso de adiestramiento en la distribución de agua***, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. MEXICO.1998

RAMON PALLAS ARENAS. ***Sensores y acondicionadores de señal***. ALFA OMEGA GRUPO EDITOR. 3ª Edición. MEXICO. 2001.

Recursos electrónicos.

Aceros aleados. [en línea]. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. *www.utp.edu.co/publio2007/ac_aleados.htm*

Guevara A. hidráulica. [en línea]. Unicauca. Ultima Actualización 13 nov. 2007. Disponible en internet en la pag. *http://atenea.unicauca.edu.co/hidraulica/introduccion.pdf*

Martínez Gomez, Rodrigo. Todo lo que usted debe saber sobre el derecho de autor. [en línea]. Primera Edicion 2006. Universidad de la Sabana. *http://biblioteca.unisabana.edu.co/capacitaciones/derecho.pdf*

Tuberías. [en línea]. Arquis. Copyright 2004 ArqHys. *http://www.arquys.com/tuberias.pdf*

www.casaluker.com

http://www.monografias.com/trabajos/elabproyec/elabproyec.shtml

www.google.com

http://www.icontec.org/BancoConocimiento/C/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado.asp?CodIdioma=ESP

http://www.jjcoopsa.com.mx/reglamweb/ihcas/norteccom2I223.htm

http://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-water-d_797.html

www.fceia.unr.edu.ar/.../MODELADO%20DE%20SISTEMAS%20DINAMICOS.pdf

http://www.fceia.unr.edu.ar/dsf/files/sistemas_termicos.PDF

www.mitecnologico.com/.../AnalisisDeLaInformacion

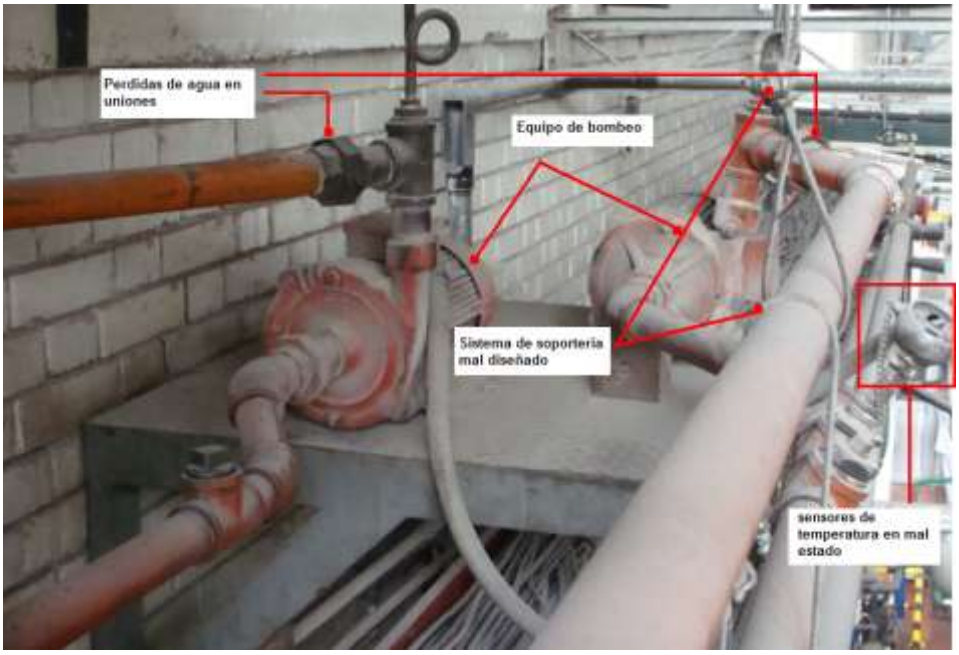
http://www.monografias.com/trabajos15/hipotesis/hipotesis.shtml

http://www.mailxmail.com/curso-iniciacion-fisica/presion-liquidos

http://www.slideshare.net/ptah_enki/estructura-del-control-pid

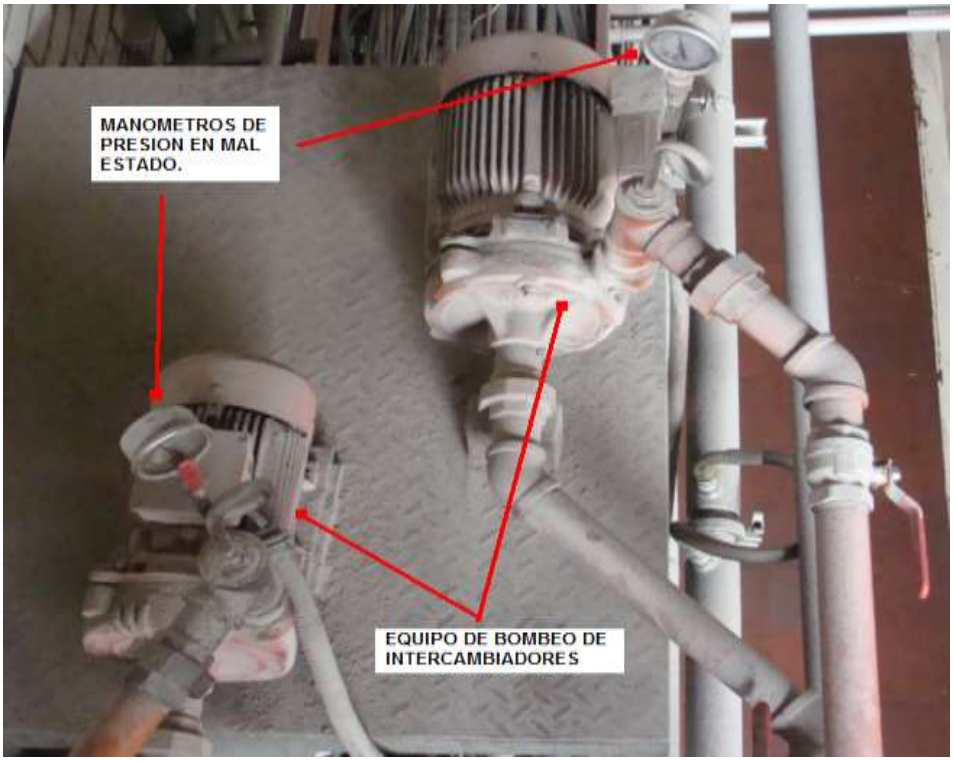
ANEXOS

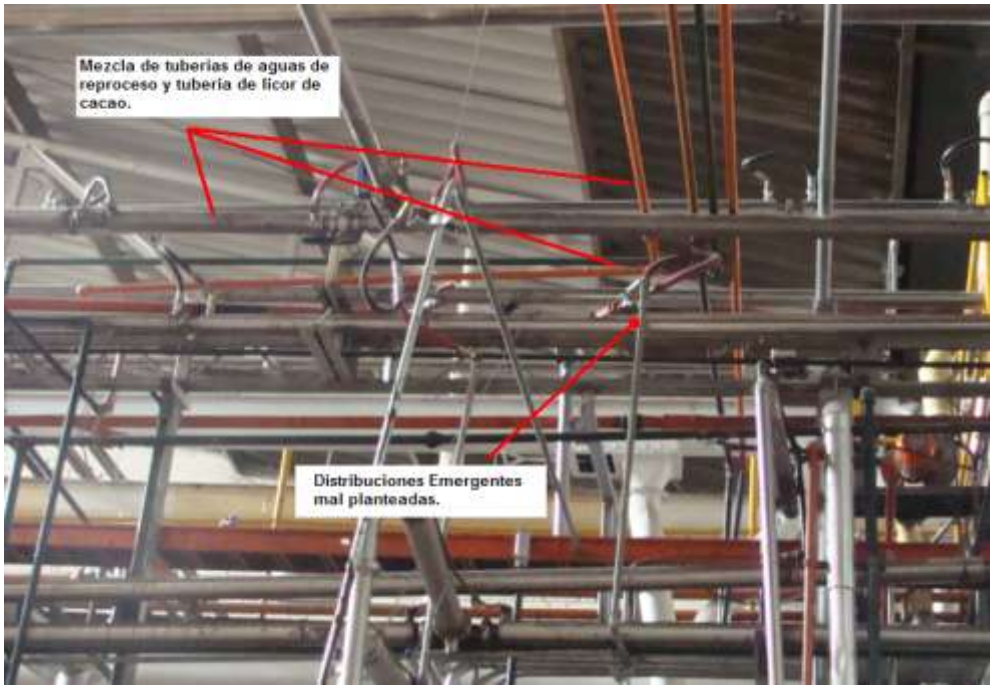
Anexo A. Sistema actual de distribución de aguas Fotografías cortesía Casaluker S.A.

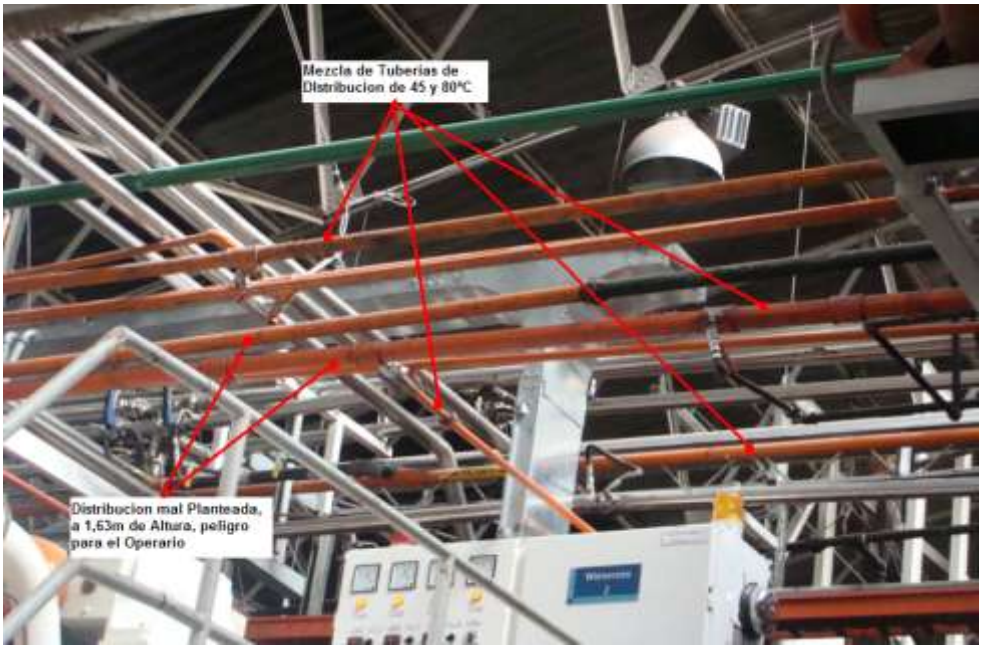


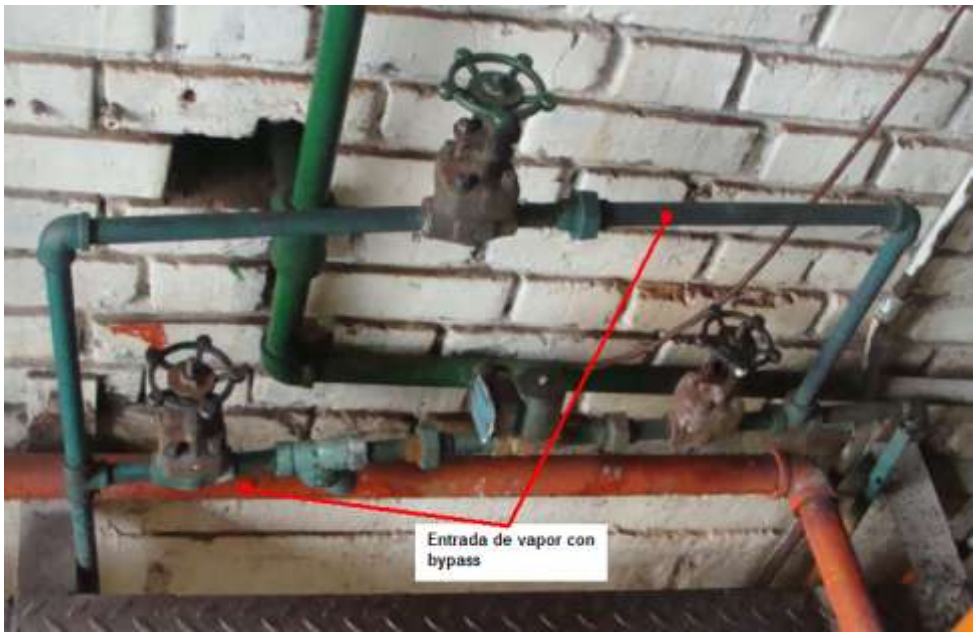
TUBERIA PASA A 1.63m

Tuberias de Emergencia
fuera de tramos calculados.
Dificultad de analisis y
confucion en tramos de las
dos temperaturas.


MANOMETROS DE PRESION EN MAL ESTADO.
EQUIPO DE BOMBEO DE INTERCAMBIADORES


Mezcla de tuberias de aguas de reproceso y tuberia de licor de cacao.
Distribuciones Emergentes mal planteadas.


Mezcla de Tuberias de Distribucion de 45 y 80ºC
Distribucion mal Planteada, a 1,63m de Altura, peligro para el Operario


Entrada de vapor con bypass

Anexo B. **Plano distribución, retorno y detalle bombeo 45℃.**

Anexo C. Plano distribución, retorno y detalle bombeo 80℃. (Zona tanques)

Anexo D. **Plano distribución, retorno y detalle bombeo $80℃$. (Zona prensas)**

Anexo E. Diagrama de Moody.

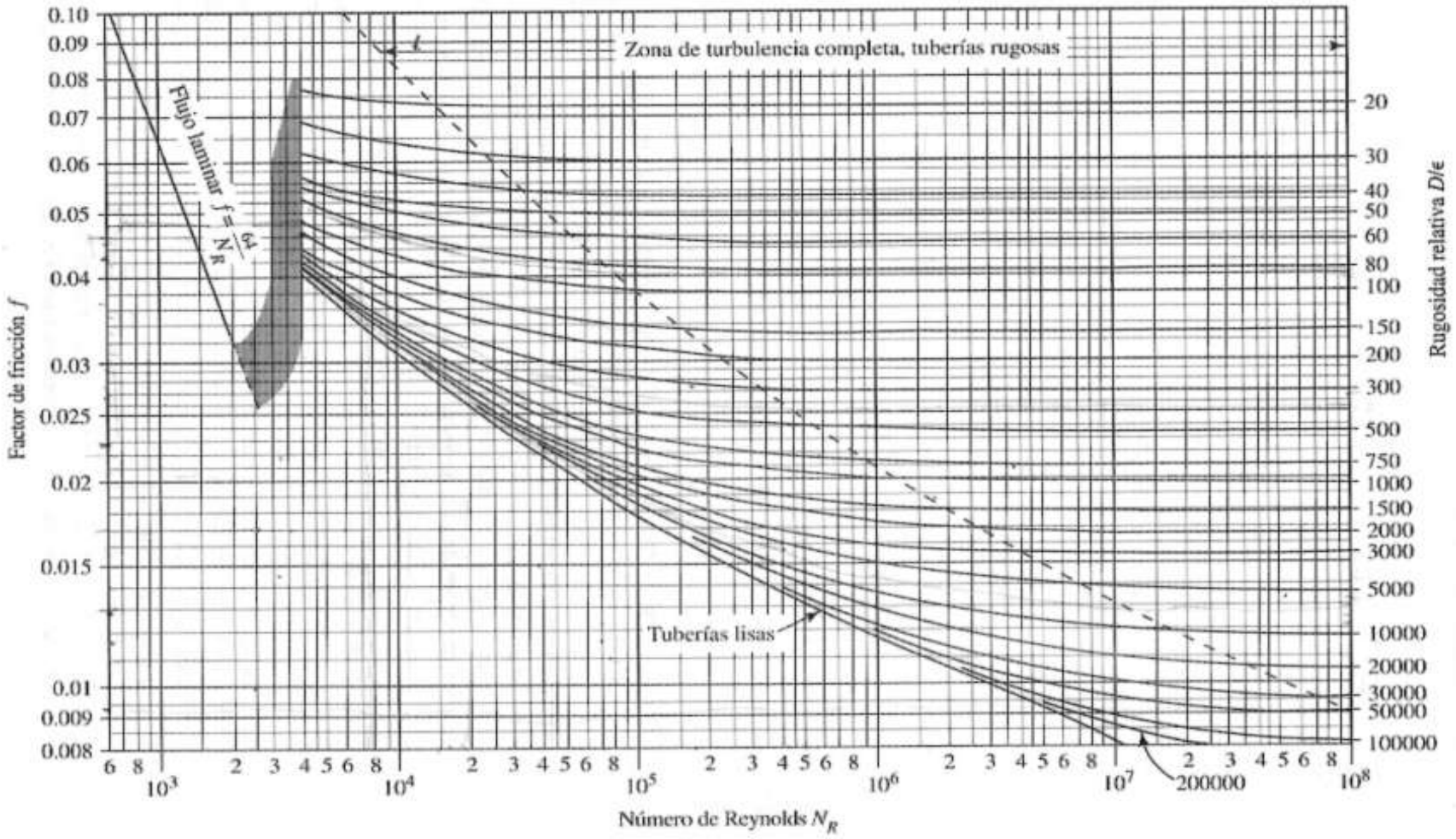
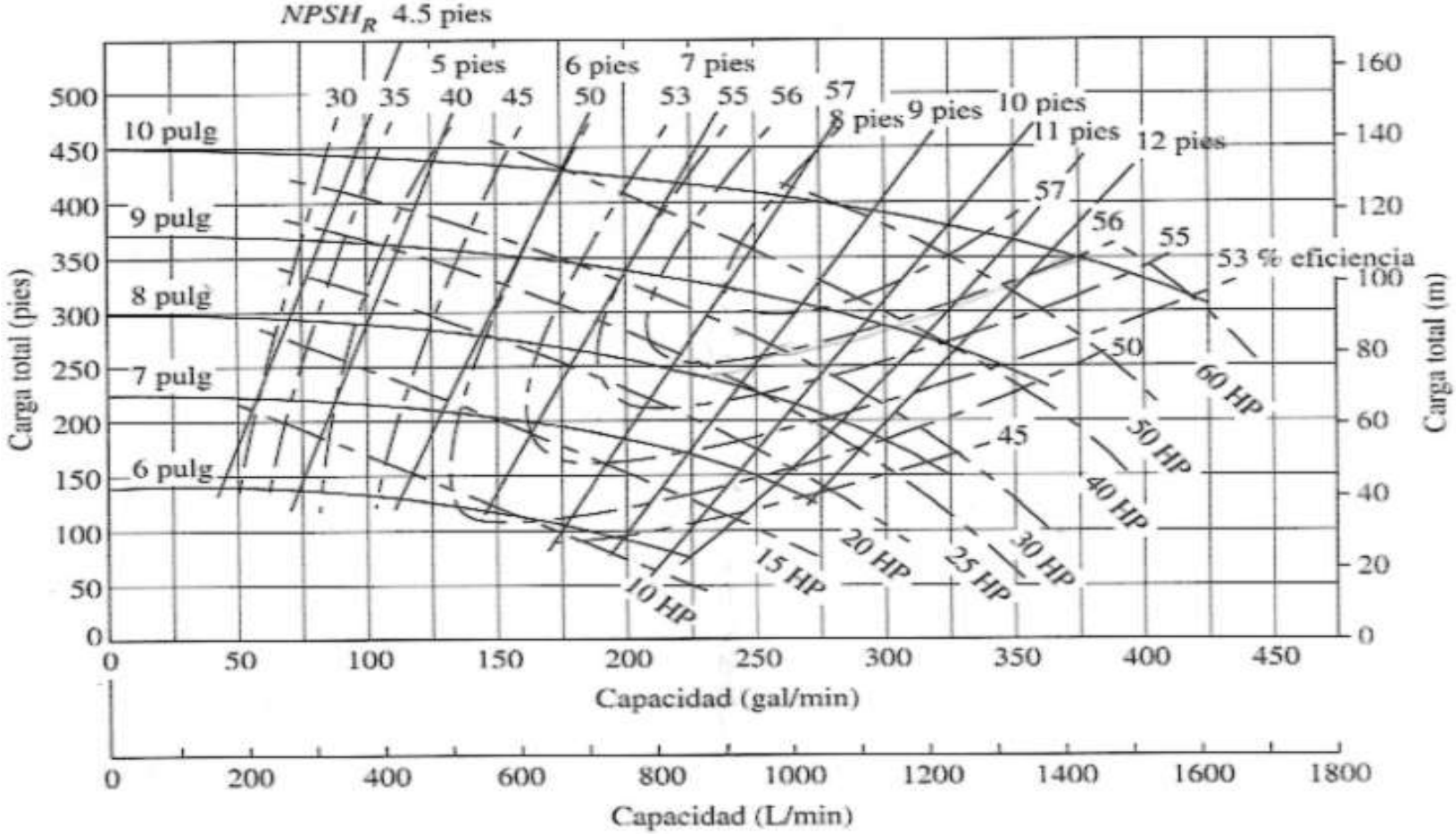


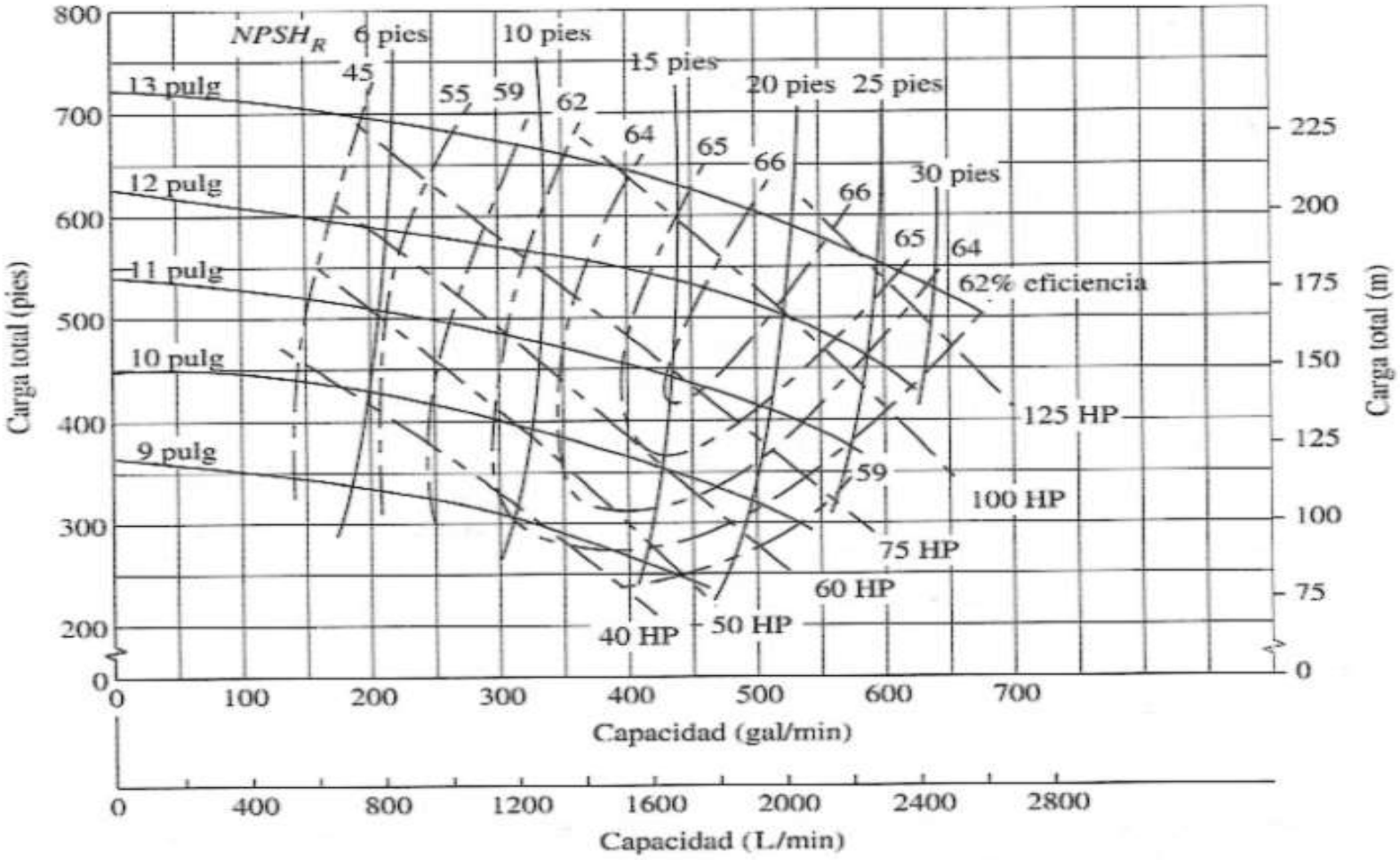
**diagrama de Moody (fuente pao, R. H. F. 1961. Fluid Mechanics. Nueva York. John Wiley e hijos p.284)*

Anexo F. Grafica Rendimiento bomba compuesta para el sistema de 45℃.



*Grafica del rendimiento de un bomba compuesta. De 2*3 -10, a 3500 rpm. (fuente gold pumps Inc. Seneca falls)*

Anexo G. Grafica Rendimiento bomba compuesta para el sistema de 80℃.



*Grafica del rendimiento de un bomba compuesta. De 1.1/2*3 -10, a 3500 rpm. (fuente gold pumps Inc. Seneca falls.)*

Anexo H. Datos necesarios para cálculo de optimización.

Tablas de costos de tuberías, accesorios y válvulas.

Costos tubería acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A

DESCRIPCION ACCESORIO	COSTO $
tuberia a/carbon sch 40 1/2" s/c	*5.220*
tuberia a/carbon sch 40 3/4" s/c	*6.570*
tuberia a/carbon sch 40 1" s/c	*8.550*
tuberia a/carbon sch 40 1 1/4" s/c	*12.060*
tuberia a/carbon sch 40 1 1/2" s/c	*13.950*
tuberia a/carbon sch 40 2" s/c	*19.800*
tuberia a/carbon sch 40 2 1/2" s/c	*33.570*
tuberia a/carbon sch 40 3" s/c	*40.460*
tuberia a/carbon sch 40 4" s/c	*54.000*
tuberia a/carbon sch 40 6" s/c	*108.000*
tuberia a/carbon sch 40 8" s/c	*156.600*
tuberia a/carbon sch 40 10" s/c	*234.000*

Costos tees acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A

DESCRIPCION ACCESORIO	COSTO $
tees a/carbon sch40 de 1/2"	*3.230*
tees a/carbon sch40 de 3/4"	*3.580*
tees a/carbon sch40 de 1"	*3.490*
tees a/carbon sch40 de 1 1/4"	*5.330*
tees a/carbon sch40 de 1 1/2"	*5.330*
tees a/carbon sch40 de 2"	*6.470*
tees a/carbon sch40 de 2 1/2"	*12.050*
tees a/carbon sch40 de 3"	*14.840*
tees a/carbon sch40 de 4"	*29.950*
tees a/carbon sch40 de 6"	*52.380*
tees a/carbon sch40 de 8"	*100.400*
tees a/carbon sch40 de 10"	*150.160*

Costos codos acero al carbón para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A

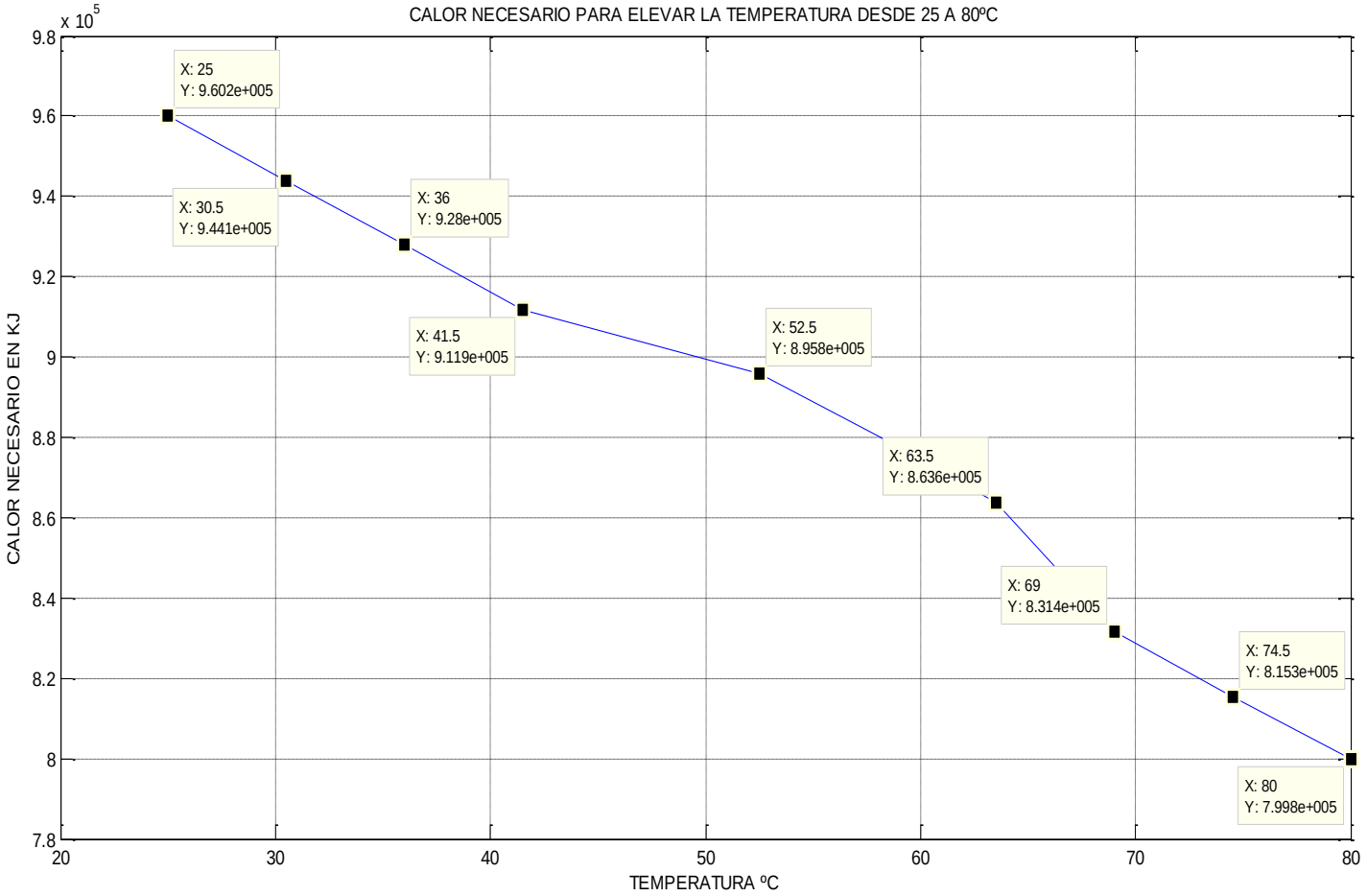
DESCRIPCION ACCESORIO	COSTO $
codo a/carbón sch40 de 1/2" soldar (90°)	*790*
codo a/carbón sch40 de 3/4" soldar (90°)	*920*
codo a/carbón sch40 de 1" soldar (90°)	*1.210*
codo a/carbón sch40 de 1 1/4" soldar (90°)	*1.830*
codo a/carbón sch40 de 1 1/2" soldar (90°)	*2.070*
codo a/carbón sch40 de 2" soldar (90°)	*3.370*
codo a/carbón sch40 de 2 1/2" soldar (90°)	*6.570*
codo a/carbón sch40 de 3" soldar (90°)	*9.900*
codo a/carbón sch40 de 4" soldar (90°)	*17.100*
codo a/carbón sch40 de 6" soldar (90°)	*42.120*
codo a/carbón sch40 de 8" soldar (90°)	*81.000*
codo a/carbón sch40 de 10" soldar (90°)	*146.700*

Costos válvulas tipo sanitarias para diferentes diámetros. Cortesía tuvacol S.A

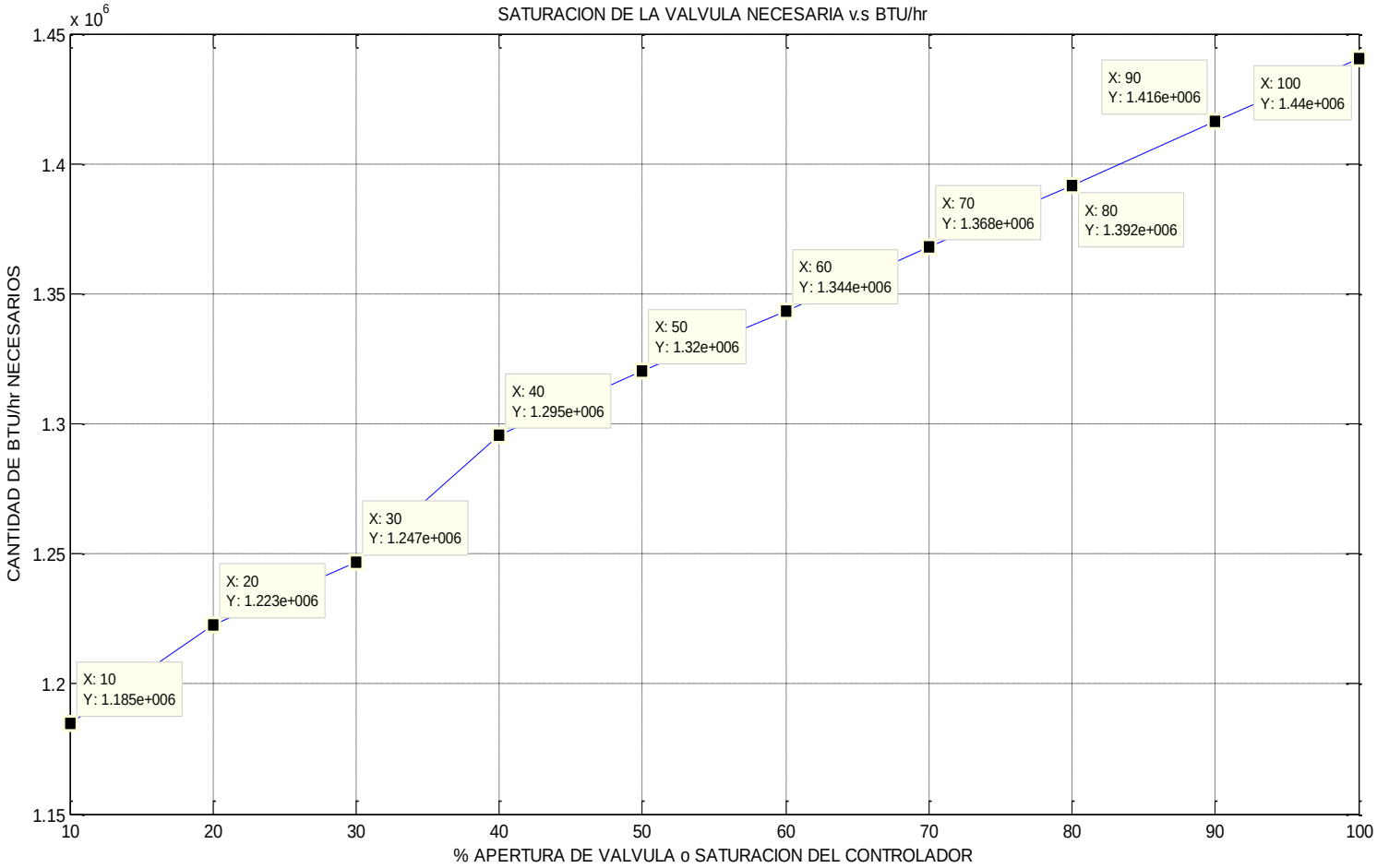
DESCRIPCION ACCESORIO	***COSTO $***
valv.bola inox 1/2" x1000l npt 3pz t.304	*20.700*
valv.bola inox 3/4" x1000l npt 3pz t.304	*32.400*
valv.bola inox 1" x 1000l npt 3pz t.304	*44.100*
valv.bola.inox 1.1/4 x1000l npt 3pz t.304	*67.500*
valv.bola inox 1.1/2 x1000l npt 3pz t.304	*77.400*
valv. bola inox 2" x 1000l npt 3pz t 304	*113.400*
valv.bola inox 2.1/2 x1000l npt 3pz t.304	*292.500*
valv.bola inox 3" x1000l npt 3pz t.304	*427.500*
valv.bola inox 4" x1000l npt 3pz t.304	*729.000*

Realizado por el autor.

Anexo I. Calor necesario para elevar la temperatura del agua de 25 a $80°C$.



Anexo J. Saturación del controlador necesaria vs btu



Anexo K. Elementos necesarios para el sistema de tuberías.

Tubos de acero al carbón sin costura L=6m. http://docs.sketchup.engineeringtoolbox.com/components/52/BS-387_steel_tubes_large.png	**Codos estándar de 45˚** http://sketchup.engineeringtoolbox.com/elbows-bends-long-radius-45-c_111.html
Codos estándar de 90˚ http://sketchup.engineeringtoolbox.com/elbows-bends-long-radius-90-c_111.html	**Tees o uniones**. http://sketchup.engineeringtoolbox.com/tees-asme-b-16-9-buttwelded-c_102.html
Tees o uniones con reducción. http://sketchup.engineeringtoolbox.com/butt-welded-reducing-outlet-tees-c_103.html	**Reducciones o bushings.** http://sketchup.engineeringtoolbox.com/butt-welded-concentric-reducers-c_106.html
Bridas ciegas. http://sketchup.engineeringtoolbox.com/blind-flanges-asme-b16-5-1500-lbs-c_89.html	**Bridas soldadas.** http://sketchup.engineeringtoolbox.com/welding-neck-150-flanges-c_55.html
Cruces o derivaciones. http://sketchup.engineeringtoolbox.com/asme-but-welded-straight-crosses-c_104.html	**Tapones.** http://sketchup.engineeringtoolbox.com/asme-tampon
Unión o conexión. http://sketchup.engineeringtoolbox.com/asme-union	

Anexo L. Plano General tanque acondicionador

Anexo M. Plano general intercambiador de calor.

Anexo N. Plano general, Instrumentación para el sistema de control.

Anexo O. Caudalimetros para control del flujo en tuberías cortesía psiferr.

Signet 2551 Magmeter Flow Sensor

+GF+

Features

- Test certificate included for -X0, -X1
- Patented Magmeter technology
- No moving parts
- Bi-directional flow
- Empty pipe detection
- Installs into pipe sizes DN15 to DN900 (0.5 to 36 in.)
- Operating range 0.05 to 10 m/s (0.15 to 33 ft/s)
- Accurate measurement even in dirty liquids
- Blind 4 to 20 mA, digital/frequency, relay output
- No pressure drop
- Corrosion resistant materials; PP or PVDF with SS, Hastelloy-C, or Titanium
- Multi-language display menu available

Description

The Signet 2551 Magmeter is an insertion style magnetic flow sensor that features no moving parts. The patented* sensor design is available in corrosion-resistant materials to provide long-term reliability with minimal maintenance costs. Material options include PP with stainless steel, PVDF with stainless steel, PVDF with Hastelloy-C, or PVDF with Titanium. Utilizing the comprehensive line of Signet installation fittings, sensor alignment and insertion depth is automatic. These versatile, simple-to-install sensors deliver accurate flow measurement over a wide dynamic range in pipe sizes ranging from DN15 to DN900 (½ to 36 inches), satisfying the requirements of many diverse applications.

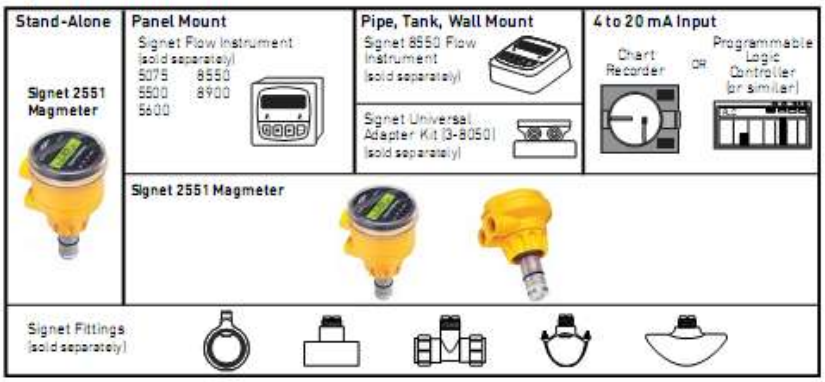
Signet 2551 Magmeters offer many output options of frequency/digital (S^3L) or 4 to 20 mA which are available on both the blind and display versions. The frequency or digital (S^3L) sensor output can be used with Signet's extensive line of flow instruments while the 4 to 20 mA output can be used for a direct input to PLCs, chart recorders, etc. Both the 4 to 20 mA output and digital (S^3L) sensor interface is available for long distance signal transmission. An additional benefit is the empty pipe detection which features a zero flow output when the sensors are not completely wetted. Also, the frequency output is bi-directional while the 4 to 20 mA output can be set for uni- or bi-directional flow using the display or the 3-0250 USB to Digital (S^3L) Configuration/ Diagnostic setup tool which connects to PCs for programming capabilities.

In addition the display version of the 2551 Magmeter is available with relays and features permanent and resettable totalizer values which can be stored and seen on the display. Also, the display contains multi-languages with English, Spanish, German, French, Italian and Portuguese menu options.

Applications

- Chemical Processing
- Water and Waste Water Monitoring
- Metal Recovery and Landfill Leachate
- Commercial Pools, Spas, and Aquariums
- HVAC
- Irrigation
- Scrubber Control
- Neutralization Systems
- Industrial Water Distribution

System Overview



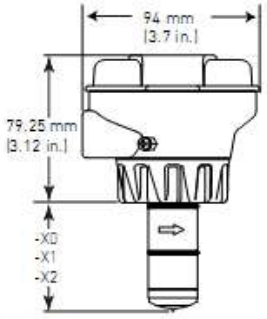
CE c UL us LISTED

* U.S. Patent No: 7,055,396 B1

Anexo P. Dimensiones y especificaciones del sensor de caudal. Cortesía psiferr.

Dimensions

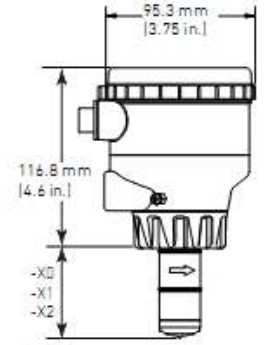
Blind Version



Pipe Range
1/2 to 4 in. -X0 = 58 mm (2.3 in.)
5 to 8 in. -X1 = 91 mm (3.6 in.)
10 to 12 in. -X2 = 167 mm (6.6 in.)

X = Sensor Body P, T, V, or W

Display Version



Pipe Range
1/2 to 4 in. -X0 = 58 mm (2.3 in.)
5 to 8 in. -X1 = 91 mm (3.6 in.)
10 to 12 in. -X2 = 167 mm (6.6 in.)

X = Sensor Body P, T, V, or W

Specifications

General

Operating Range:
0.05 to 10 m/s (0.15 to 33 ft/s)
Pipe Size Range: DN15 to DN900 (½ in. to 36 in.)
Linearity: ±1% reading plus 0.01 m/s (0.033 ft/s)
Repeatability: ±0.5% of reading @ 25 °C (77 °F)
Minimum Conductivity: 20 µS/cm

Wetted Materials

Sensor body/Electrodes and Grounding ring:
- -P0, -P1, -P2: PP/316L SS
- -T0, -T1, -T2: PVDF/Titanium
- -V0, -V1, -V2: PVDF/Hastelloy-C
- -W0, -W1, -W2: PVDF/316L SS

O-rings:
- FPM (standard)
- EPR (EPDM), FFPM (optional)

Case: PBT
Display Window: Polyamide
Protection Rating: NEMA 4X/IP65

Electrical

Power Requirements
- 4 to 20 mA: 24 VDC ±10%, regulated, 22.1 mA max.
- Frequency: 5 to 24 VDC ±10%, regulated, 15 mA max.
- Digital (S^3L): 5 to 6.5 VDC, 15 mA max.
- Auxiliary (only required for units with relays): 9 to 24 VDC, 0.4 A max

Reverse polarity and short circuit protected

Current output (4 to 20 mA):
- Loop Accuracy: 32 µA max. error (25 °C @ 24 VDC)
- Isolation: Low voltage < 48 VAC/DC from electrodes and auxiliary power
- Maximum Cable: 300 m (1000 ft)
- Error condition: 22.1 mA
- Max. Loop Resistance: 300 Ω
- Compatible with PLC, PC or similar equipment
- 4 to 20 mA load needed

Frequency Output:
- Output Modes: Freq., or Mirror Relay (display version only)
- Max. Pull-up Voltage: 30 VDC
- Max. Current Sink: 50 mA, current limited
- Maximum Cable: 300 m (1000 ft)
- Compatible with Signet Model 5075, 5500, 5600, 8550, 8900

Digital (S^3L) Output:
- Serial ASCII, TTL level 9600 bps
- Compatible with Model Signet 8900 controller

Relay Specifications
- #1, #2 Type: Mechanical SPDT
  Rating: 5 A @ 30 VDC max., 5 A @ 250 VDC max.
- #3 Type: Solid State
  Rating: 50 mA @ 30 VDC, 50 mA @ 42 VAC

Hysteresis:
User adjustable for exiting alarm condition
Alarm On Trigger Delay:
Adjustable (0 to 9999.9 sec.)

Relay Modes:
Off, Low, High, Window, and Proportional Pulse
Relay Source:
Flow Rate, Resettable Totalizer
Error Condition:
Selectable; Fail Open or Closed

Display

Characters: 2 x 16
Contrast: User-set in four levels
Backlighting (only on relay versions):
Requires external 9-24 VDC, 0.4 mA max.

Max. Temperature/Pressure Rating

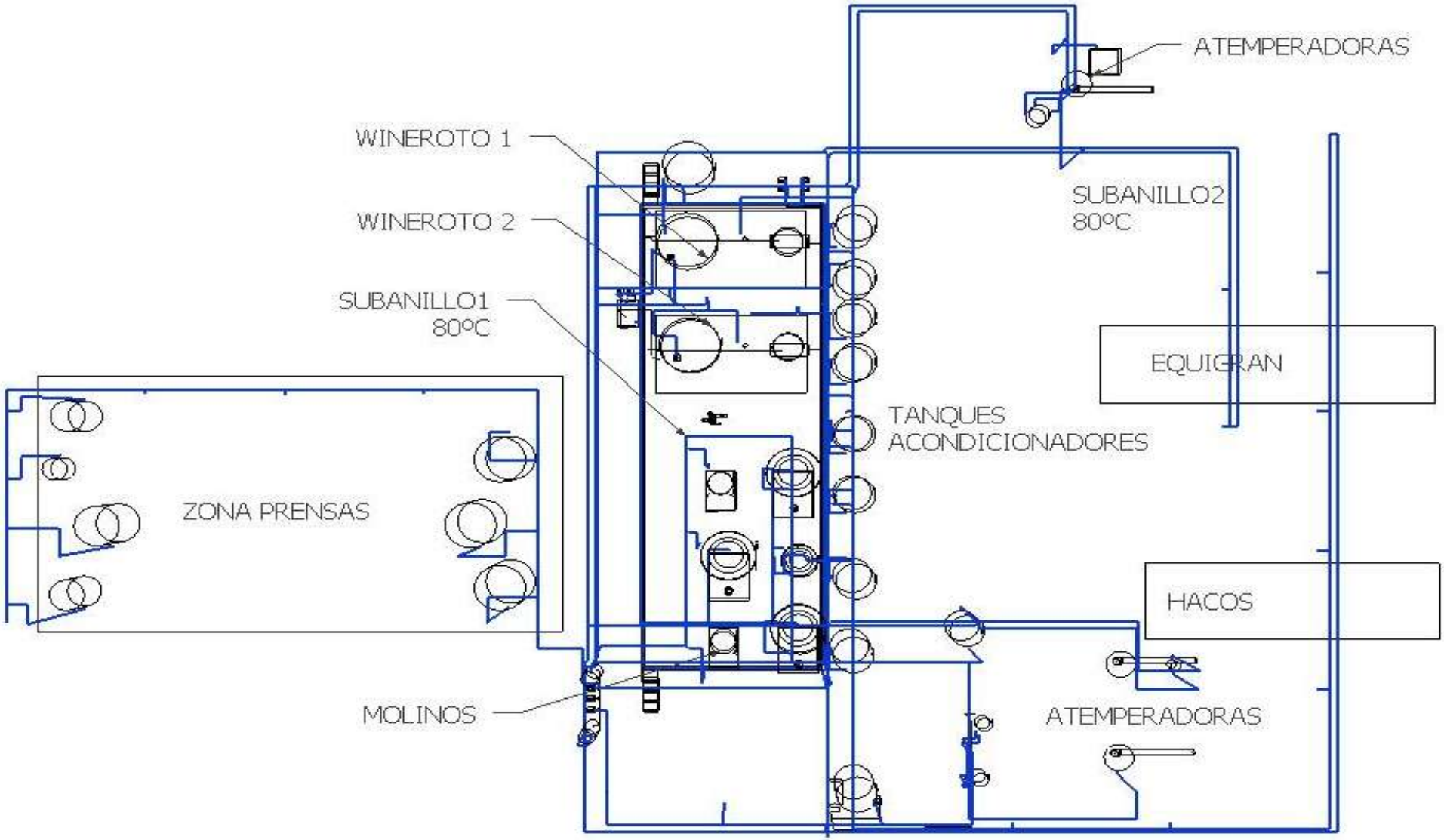
Storage Temperature:
-20 °C to 70 °C (-4 °F to 158 °F)
Relative Humidity:
0 to 95% (non-condensing)
Operating Temperature:
- Ambient: -10 °C to 70 °C (14 °F to 158 °F)
- Media: 0 °C to 85 °C (32 °F to 185 °F)

Maximum Operating Pressure:
10.3 bar @ 25 °C (150 psi @ 77 °F)
1.4 bar @ 85 °C (20 psi @ 185 °F)

See Temperature and Pressure Graphs for more information

Standards and Approvals
- CE
- UL, CUL (for display versions with relays)
- NEMA 4X / IP65 Enclosure (with cap installed)
- U.S. Patent No. 7,055,396 B1

Anexo Q. Planos de distribución final del circuito de aguas circuitos de 45 Y 80 ℃.



ANEXO R. Implementacion de sistema scada para la supervision y control de las variables del sistema.

Para cumplir con los alcances que tendra el proyecto es necesario la intervencion de un sistema *SCADA* para la supervision y control de las variables involucradas en el proceso del transporte de aguas, para esto es necesario contar con el siguiente sistema, los elementos involucrados son:

Controlador watlow RMC1L1L1L1LAAAA, 4 canales de entrada universal, 2 salida por rele por canal de entrada. ubicado en un tablero de control el cual me indica la temperatura del proceso en tiempo real.

Modulo de expansion RMEA-CJAA-AAAAAA, montaje en riel, 6 I/O digitales DC. 4 salidas por rele. Estara ubicado dentro del tablero de control.

Fuente de alimentacion P/N: 0847-0300-0000, alimentacion 100 – 240 Vac, salida 24 Vdc, 2.5 A, 60W. ubicada en el tablero de potencia.

Interface remota de usuario EZKB-H3AA-AAAA, puerto ethernet/ modbus TCPIP. Ubicada al interior del tablero de control.

Pantalla touch screen TS00-0070-0000, pantalla de $800 * 480pix$**.** puertos ethernet, serial, USB y SD card. 128MB flash, 64MB RAM, ubicado en el tablero de control.

Software PAC-Project-Professional PACProjectPro, programacion por diagramas de flujo con herramienta de depuracion para automatizacion.

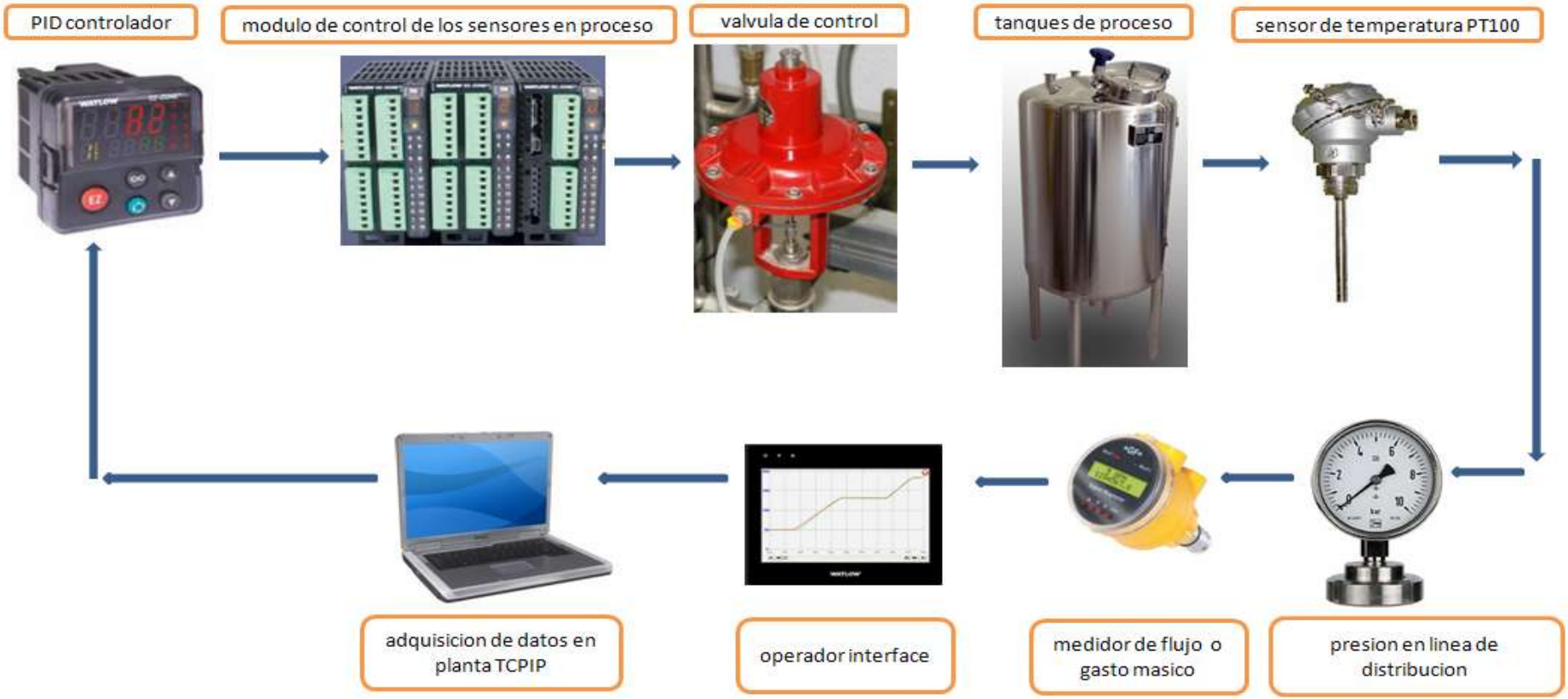
el control del proceso se da de la siguiente manera:

El sensor de temperatura PT100 ubicado en los tanques de almacenamiento, transmite la señal en tiempo real de la temperatura del proceso a un controlador $PID\ Watlow\ (HMI)$ que tiene en su interior un controlador logico programable $PLC\ (RUI/GTW)$ el cual es sintonizado[35], mantiene la temperatura dentro del rango deseado de $\mathbf{45 - 48}$℃, mediante sus salidas analogas manipulando una señal entre $\mathbf{0 - 5V}$. Entregando una señal a la válvula de control la cual regulara la entrada de vapor mediante la carrera del vástago contenido en el interior. De modo que el sensor como captador de la variable a controlar, el controlador PID como accion de control y la valvula como elemento final de control, se obtenga un sistema de control de temperatura optimo. Las demas variables como el caudal, presion y nivel, se controlaran manualmente de acuerdo a las regualciones que en planta sean necesarias para los proceso de produccion y seran visualizables y manipulables en una pantalla

[35] sintonización PID del proceso, temperatura en tiempo real del sistema actual. Pág. 78

touchscreen **TS00-0070-0000** y en PC usando la interface comunicación TCP/IP.

Adquisicion de datos para el sistema:

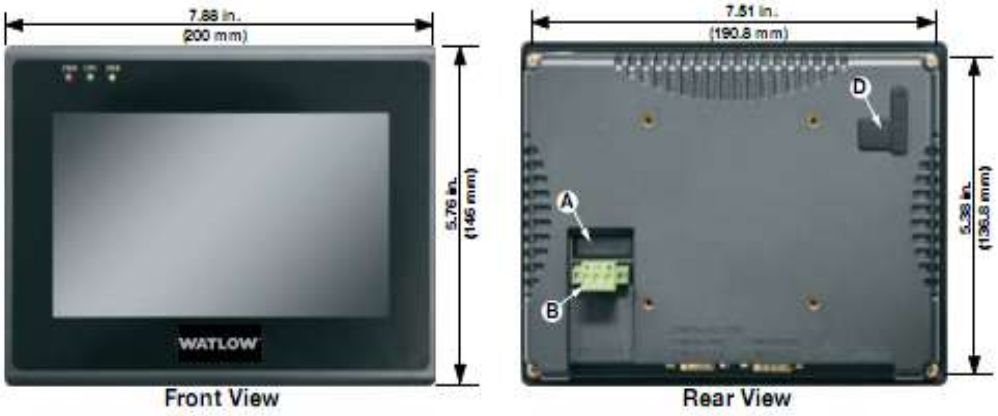


Realizado por el autor.

Pantalla touch screen TS00-0070-0000

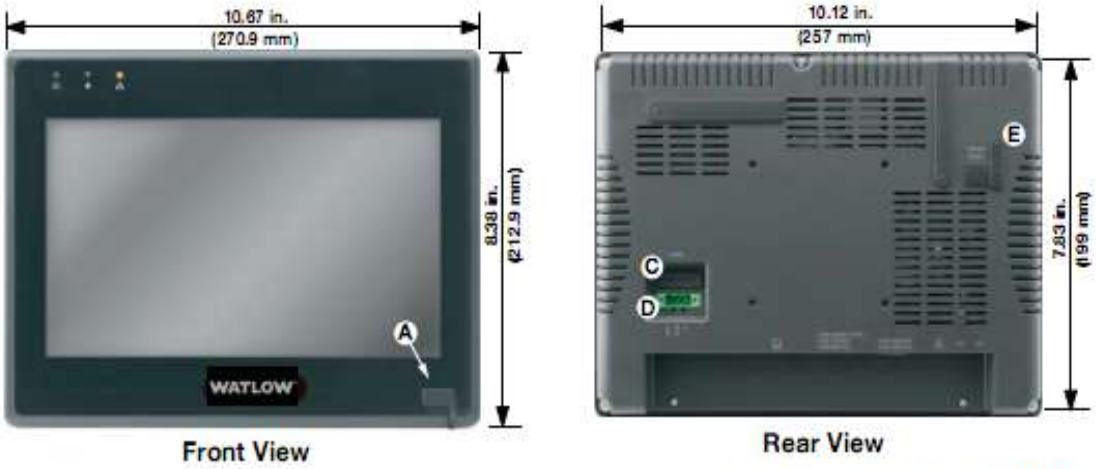
Dimension and Connection Diagrams

Model TS00-0070-0000



A Fuse
B Power connector
D Switches and reset button
E COM1: RS-232/RS-485, 2-or 4-wire
COM2: RS-232
COM3: RS-232/RS-485, 2-wire
G USB 1.1 host port, 2.0 client port
H SD card slot
I Ethernet port

Model TS00-0100-0000



A Front accessible USB host port
C Fuse
D Power connector
E Switches and reset button
I SD card slot
J COM1 RS-485, COM3 RS-485, COM3 RS-232
K COM1 RS-232, COM2 RS-232
L Ethernet port
M USB host port
N USB client port

Features and Benefits (cont.)

Screen object password security with programmable hierarchy and multiple users

- Prevents errors and tampering by allowing only authorized users to access restricted items on the screen
- Allows flexible hierarchies by letting the developer assign each screen object to any of six groups and grant each user access to selected groups
- Provides password protection for upload, download and access to local setup
- Supports up to twelve users

Screen object invisibility and/or interlock control

- Prevents errors by guiding operators

Powerful, easy-to-use EasyBuilder5000, programming software

- Requires only a small investment in time to create a useful interface
- Provides the ability to learn additional features as needed
- Provides advanced interface features such as animation and pop-up windows
- Reduces development time by providing extensive graphical libraries and facilitating reuse with user-created libraries
- Simplifies development by allowing import of common graphic formats: bitmaps, JPGs and animated GIFs

User-programmable macros with math functions and support for floating point

- Extends functionality
- Automates processes

TrueType fonts with Unicode (international) characters and language switching feature

- Makes screens easy to read by allowing formatting such as bold, italics, underline, scrolling and blinking to direct operator's eyes
- Prevents errors by communicating with users in their native languages
- Reduces development and support by allowing inclusion of up to eight user-selectable languages in a project

NEMA 4, CE, RoHS

- Allows use in harsh industrial environments
- Assures prompt product acceptance

Specifications

Hardware

- Processor Type: 400Mz 32-bit RISC Fanless
- Memory: 128MB Flash, 64MB DRAM
- Ethernet Port: 10/100 Base-T (RJ45)
- Number of Serial Ports: 3
- COM1: RS-232/RS-485, 2-wire or 4-wire
- COM2: RS-232
- COM3: RS-232/RS-485, 2-wire
- USB Host (Type A): 1 each (7 inch), 2 each (10 inch), version 1.1
- USB Client (Type B): 1 each version 2.0
- SD Card Slot: 1 each
- Real Time Clock: Built in

Display

- Type: TFT color
- Size: See table below
- Resolution: See table below
- Colors: 65,536 (16-bit) maximum

Touchscreen

- Type: 4-wire analog resistive
- Resolution: Continuous
- Light Transmission: Greater than 80%
- Lifespan: 1,000,000 activations minimum

Environmental

- Storage Temperature: -13° to 158°F (-25° to 70°C)
- Relative Humidity: 10% to 90% (non-condensing)
- Shock (operation): 10 to 25Hz (x, y, z direction, 2g, 30 minutes)
- Ratings: NEMA/IP65
- Agency: CE, RoHS, EMI FCC Class A

Mechanical

- Enclosure: Plastic molded
- Dimensions: See table below
- Panel Cutout: See table below

Power Input

- Voltage and current: See table below
- Use Class 2 power supply for applications that do not otherwise provide the isolation required by applicable electrical codes.

Model Number	TS00-0070-0000	TS00-0100-0000
Diagonal Screen Size	7.0 in.	10.2 in.
Resolution (Pixels)	800 x 480	800 x 480
Brightness	300 cd/m²	300 cd/m²
Contrast Ratio	500:1	300:1
Viewing Angles	Top: 40°, Bottom, Right, Left: 60°	Top: 55°, Bottom, Right, Left: 85°
Backlight Longevity	30,000 hours	50,000 hours
Screen Size (W x H)	6.1 x 3.4 in. (154 x 87 mm)	8.75 x 5.25 in. (222 x 133 mm)
Cutout (W x H)	7.55 x 5.43 in. (192 x 138 mm)	10.20 x 7.91 in. (259 x 201 mm)
Overall (W x H x D)	7.88 x 5.76 x 1.87 in. (200 x 146 x 42 mm)	10.87 x 8.38 x 1.92 in. (270.9 x 212.9 x 50mm)
Weight	1.8 lbs. (0.85 kg)	3.4 lbs. (1.6 kg)
Power: Voltage	24VDC	24VDC
Power: Current	250mA max.	440mA max.
Operating Temperature	14° to 113°F (-10° to 45°C)	32° to 113°F (0° to 45°C)
Mounting	Panel / VESA 75 compatible	Panel / VESA 75 compatible

Controlador watlow RMC1L1L1L1LAAAA

Definiciones de terminales

Ranura C	Función de terminales	Modelo
98 99	entrada de alimentación: CA o CC+ entrada de alimentación: CA o CC-	PM _(C)_ _ _ - AAAAB _ _
CF CD CE	Bus estándar EIA-485 común Bus estándar EIA-485 T-/R- Bus estándar EIA-485 T+/R+	PM _(C)_ _ _ - AAAAB _ _
Ranura A		
Entrada 1		
T1 S1 R1	S2 (RTD) o corriente +, S3 (RTD), termopar-, corriente- o voltios - S1 (RTD), termopar + o voltios +	Sensor universal entrada 1: todas las configuraciones

Salidas		Función de terminales	Configuración
1	2		
X1 W1 Y1		común (se puede usar cualquier salida de CC conmutada). CC- (colector abierto) CC+	CC conmutada/colector abierto, salida 1: PM _(C)_ C _-_ AAAB _ _
	W2 Y2	CC- CC+	CC conmutada, salida 2: PM _ (C) _ _ C - _ AAAB _ _
F1 G1 H1		voltaje o corriente - voltaje + corriente +	Proceso universal, salida 1: PM _ (C) _ F _ - _ AAAB _ _
L1 K1 J1		normalmente abierto común Normalmente cerrado	Relevador mecánico 5 A, Forma C, salida 1: PM _(C)_ E _-_ AAAB _ _
	L2 K2	normalmente abierto común	NO-ARC 15 A, Forma A, salida 2: PM6(C) _ _ H - _ AAAB _ _
	L2 K2	normalmente abierto común	Relevador mecánico 5 A, Forma A, salida 2: PM _(C)_ _ J-_ AAAB _ _
L1 K1	L2 K2	normalmente abierto común	Relevador estado sólido 0.5 A, Forma A salida 1: PM _(C)_ K _ - _ AAAB _ _ salida 2: PM _(C)_ _ K - _ AAAB _ _

ANEXO S. cantidad de obra y cronograma del proyecto.

Anexo T. Soportes para el montaje (dispuestos en planta).

FORMATO RAE

FECHA	23 Sep. 10

NÚMERO RA	00
PROGRAMA	INGENIERIA MECATRONICA

AUTOR (ES)	***ORTIZ HERRERA, Carlos***, estudiante de ingeniería Mecatrónica de la universidad de San Buenaventura, aspirante al título de ingeniero mecatrónico.
TÍTULO	Diseño de un transporte de aguas de reproceso, desde intercambiadores de calor con temperaturas de salida de 45 y 80˚c para el encamisado de licor de cacao de la planta de producción de Casaluker s.a ubicada en Bogota Colombia.

PALABRAS CLAVES	Aguas de reproceso, aguas industriales, intercambiadores, plantas de producción, producción del cacao, hidráulica, control de temperatura.

DESCRIPCIÓN	El desarrollo del proyecto brindara un nuevo sistema de transporte de aguas, que cumplirá las normas establecidas para los equipos en planta incluyendo presiones, caudales, temperaturas y su control. Es de gran importancia el uso de sistemas de distribución de aguas en los procesos industriales ya que el agua es usada en diferentes campos de nuestra vida tales como domestico, publico, agricultura y ganadería, industria, fuentes de energía, vía de comunicación y deporte u ocio, es propio utilizar las aguas industriales como enfoque de estudio y desarrollo ingenieril. Es necesario el uso de correctos sistemas de abastecimiento y distribución de aguas, esto para satisfacer las necesidades que se presenten en la industria, teniendo en cuenta que más de la mitad de la inversión total en medios para el abastecimiento de agua corresponden a la distribución del agua industrial y potable; para ser adecuado un sistema de distribución debe proporcionar un amplio suministro de agua, estéticamente de calidad satisfactoria y, manteniendo presiones adecuadas normales para los usos residenciales, comerciales e industriales; Por lo general es necesario elevar el fluido a una altura suficiente para que se disponga de las presiones necesarias para su distribución, por conducto de las tuberías a las líneas principales de servicio, a través de las tomas y medidores de los equipos consumidores. El sistema completo de distribución debe contener bombas, tuberías, válvulas de regulación, almacenamiento para distribución, retornos, condensados, conexiones, líneas principales y medidores.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Documentación. Referencias Bibliográficas para Normas. Bogota***: ICONTEC, 2007. NTC (1307). INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Referencias documentales para fuentes de información electrónicas.*** Bogota: ICONTEC, 2007. NTC (4490). INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. ***Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado, y otros trabajos de investigación***. Bogota: ICONTEC,

2007. NTC (1486).
JAMES R. CARSTENS. ***Automatic control systems and components***. PRENTICE HALL. New Jersey. 1990
OGATA KATSUHIKO. ***Ingenieria de control moderna***, 3ª Edición. PRENTICE HALL. MEXICO. 1995.
ANTONIO CREUS SOLE***. Instrumentación Industrial***. 6ª Edición. BARCELONA ESPAÑA. 1997.
KURT GIECK. REINER GIECK. ***Manual de Formulas Técnicas***. ALFAOMEGA. MEXICO. 2000.
IAN R. SINCLAIR AND JOHN DUNTON. ***Practical Electronics Handbook***. 6ª Edición. Jordan Hill, OXFORD. 2007
F.G SHINSKEY, ING. JOSE HERNAN PEREZ CASTELLANOS. ***Sistema de Control de Procesos, Aplicación Diseño y Sintonización***. MCGRAW HILL. MEXICO. 1996.
VIRGIL MORING FAIRES. ***Termodinámica***. MACMILLAN. MEXICO. 1983.
ROBERT L. MOTT. ***Mecánica de Fluidos Aplicada***. PRENTICE HALL. 4ª Edición. MEXICO. 1996.
UNIVERSIDAD DE MEXICO. ***Curso de adiestramiento en la distribución de agua***, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. MEXICO.1998

RAMON PALLAS ARENAS. ***Sensores y acondicionadores de señal***. ALFA OMEGA GRUPO EDITOR. 3ª Edición. MEXICO. 2001.

NÚMERO RA	
PROGRAMA	INGENIERIA MECATRONICA

CONTENIDOS	Después de realizar el debido despliegue de campo y realizar las mediciones correspondientes se debe seguir unos lineamientos para concluir con el diseño deseado: A. Toma, recolección y medición de datos correspondientes de caudales, presiones, temperaturas de operación. B. Planos arquitectónicos de la distribución deseada en planta de producción. C. Cálculos y diseño del nuevo sistema teniendo en cuenta los datos recolectados en el primer paso. D. Elaboración del plan de negocios y el cronograma de actividades del montaje. 5.1 METODOLOGIA DE LOS CALCULOS Y DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA. ***Hidráulica Y Análisis Del Sistema***. La hidráulica es el estudio general de los principios y leyes que gobiernan el comportamiento de los líquidos, tanto en reposo como en movimiento, hay dos grandes subdivisiones de la hidráulica: la hidrostática, o el estudio de líquidos en reposo, y la hidrodinámica, el estudio de los equipos en movimiento. El análisis hidráulico de los sistemas de distribución de aguas exige fundamentos básicos de matemáticas e ingeniería, es un trabajo de diseño realizando análisis hidráulicos y planeación. De esta manera se puede definir una red hidráulica como un conjunto de tubos, accesorios, válvulas, reguladores y, sistemas de bombeo debidamente concebidos y ensamblados con el fin de trasladar un fluido de un lugar a otro, cumpliendo con la norma de presiones solicitados por equipos en planta.[1] ***Caudal.*** En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. La rapidez de flujo de volumen Q, se calcula médiate la siguiente ecuación: $$Q = A * V$$ Donde $Q = es\ el\ caudal\ o\ flujo\ volumetrico$, $A = area\ transversal$, $V = velocidad\ del\ fluido$. Las unidades del caudal son, $Q = \frac{m^3}{seg}$, $V = \frac{m}{s}\ A = m^2$. ***Temperatura.*** Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía sensible, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A

medida que es mayor la energía sensible de un sistema se observa que está más caliente es decir, que su temperatura es mayor.

Velocidad de fluido. Es la rapidez con la que se mueve un fluido atraves de un ducto o tuberia o la velocidad que recorre cierta distancia en x cantidad de tiempo. Los factores que afectan la elección de la velocidad de flujo adecuada en los sistemas de fluidos son numerosos. Algunos son el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de de conducto o tubo, la caída de presión que se puede tolerar, los dispositivos como bombas, válvulas y accesorios, que se pueden conectar al conducto o a la tubería, la temperatura, la presión y el ruido. Al analizar la ecuación de continuidad se puede deducir que la velocidad de flujo aumenta a medida que disminuye el área de la trayectoria del flujo, por consiguiente, los tubos más pequeños producen altas velocidades y de esta manera los tubos más grandes proporcionan bajas velocidades. Es necesario mantener las velocidades bajas para evitar que las caídas de presión aumenten drásticamente. Pero debido a que los conductos grandes son más costosos es necesario establecer algunas limitaciones.

Tabla 2. *VELOCIDADES DE FLUJO RECOMENDADAS EN SISTEMAS DE FLUIDOS.*

	unidades del SI	***Unidades del sistema británico***
Entradas a bombas (líneas de succión)	*0.6 a 2.2 m/s*	*2.0 a 7.0 pies/seg*
salidas de bombas (líneas de descarga o de presión)	*2.4 a 7.5 m/s*	*8.0 a 25 pies/seg*
Líneas de retorno	*0.6 a 2.6 m/s*	*2.0 a 8.5 pies/seg*

Presión. Presión de define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área en especifico de una sustancia. Cuando un fluido se mueve atraves de un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento, esta fuerza se produce por la acción de la presión conocida como dinámica, la presión dinámica depende de la velocidad y la densidad del fluido:

$$P = \frac{1}{2}\,\rho\, v^2$$

Donde P = presión dinámica, ρ = densidad del fluido en Kg/m^3 , v = velocidad del fluido.

Para realizar el cálculo de los diámetros, velocidades y caudales se utilizo el teorema de Hardy Cross metodo iterativo.

Es un método iterativo que parte de la ecuación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} - hl = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Y siguiendo los siguientes pasos:

14. Evaluar las cantidades conocidas, tales como cabezas de presión y las cabezas de elevación.
15. Expresar las pérdidas de energía en términos de las velocidades desconocidas y los factores de fricción.
16. Con la ecuación de continuidad, expresar la tubería de menor diámetro en función de la de mayor diámetro.
17. Sustituir la expresión del paso 4 en la ecuación de la energía y eliminar una velocidad desconocida.
18. Despejar la velocidad en términos de los dos factores de fricción.
19. Expresar el número de Reynolds de cada tubería en términos de la velocidad de esa tubería.
20. Calcular la rugosidad relativa $\frac{D}{\epsilon}$ para cada tubería.
21. Seleccionar valores de prueba para f en cada tubería, utilizando los valores conocidos de $\frac{D}{\epsilon}$ como una guía.
22. Calcular la velocidad en la tubería más grande, utilizando la ecuación del paso 6.
23. Calcular la velocidad en la tubería más pequeña, utilizando la ecuación del paso 4.
24. Calcular los dos números de Reynolds.
25. Determinar el nuevo factor de fricción en cada tubería.
26. Comparar los valores de f con aquellos asumidos en el paso 9 y repetir los pasos 9-14 hasta que la diferencia sea de 0.0001, así las velocidades halladas en los pasos 10 y 11 son las correctas.

Método de darcy para pérdidas por carga. Con el método de DARCY se pueden calcular las pérdidas de cabeza para cualquier fluido newtoniano, siempre y cuando se utilicen las viscosidades y densidades apropiadas. En el cálculo de tuberías, hay que tener en cuenta que el sistema incluye las perdidas accidentales o singulares que se producen por acoples y derivaciones propias de los ramales, es decir, proporciona las pérdidas de cargas totales. En el cálculo de tuberías, hay que tener en cuenta que el sistema incluye las perdidas accidentales o singulares que se producen por acoples y derivaciones propias de los ramales, es decir, proporciona las pérdidas de cargas totales.

Las principales características del empleo de esta fórmula son:

- ✓ Fórmula para determinar las pérdidas de energía por fricción.
- ✓ Ecuación racional, desarrollada analíticamente aplicando procedimientos de análisis dimensional.
- ✓ Es derivada de las ecuaciones de la segunda ley de newton.
- ✓ La pérdida por fricción está expresada en función de las siguientes variables: longitud de la tubería, velocidad media de flujo (la que se puede expresar también en términos del caudal), diámetro de la tubería y depende también de un factor o coeficiente de fricción *f*.

$$hl = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Calculo del coeficiente de fricción f, $\frac{D}{\epsilon}$, N_r para el método iterativo deben calcularse con el diagrama de Moody.

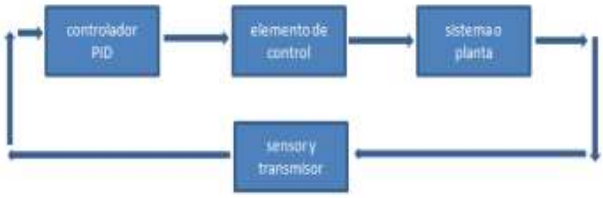
Optimización de costos. La optimización de costos se utiliza para encontrar la

tubería más adecuada, teniendo en cuenta los anteriores parámetros ya hallados como caudales, velocidades y diámetros. Agregando otros factores como los costos de la tubería en $, costos por transferencia de calor $\$Kw * \frac{h}{d}$ y costos por presión $\frac{Kw}{h}$.

Sistema de control. El control se realizara mediante un sistema PID. Un controlador PID (proporcional, integral, derivativo) es un sistema de control que, mediante un elemento final de control (actuador), es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más usados en la industria y son muy precisos dentro de la regulación automática.

$$Cpid = Kp\ (\ 1 + \frac{1}{Tis}\ Tds\ )$$

Figura 1. *DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL.*



Sistemas De Lazo Abierto. La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, de modo que el lazo cerrado permite compensar los errores generados por el lazo abierto.

Sistemas De Lazo Cerrado. La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. La estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

La implementación del control de temperatura para el proyecto se basa en el control de entrada del vapor que circula atraves de un tanque encamisado para aumentar la temperatura interna del agua que circula atraves de dicho encamisado y así mantener la temperatura del licor de cacao en su temperatura ideal entre $45 - 48°\text{C}$, controlando la apertura y cierre de una válvula y así el flujo másico de entrada del vapor entre $395 - 480\ \text{kg/hr}$.

Sistema de control de temperatura. El rendimiento económico de la mayor parte de los procesos y sin duda, su seguridad y posibilidad de operación, depende en gran parte de cuán bien se controlen. Por lo tanto, existe un estímulo considerable para aplicar controles a los procesos que no cuentan con ellos y para mejorar el control de los que ya están siendo regulados.

Sin embargo esto es fácil plantearlo pero no resolverlo, debido a que algunos procesos responden especialmente bien a la acción de control, pero otros tantos no lo hacen. Teniendo en cuenta esto, existe una gran variedad de posibilidades; la mayor de ellas define que un sistema de control puede descomponerse en una serie de bloques relativamente elementales, y cada uno de ellos define cierta parte del sistema analizado y caracterizado. Una vez que se comprenden los elementos es posible reconstruir el proceso y predecir su comportamiento, a partir de ese conocimiento.

La sintonización de los controladores proporcional-integral-derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros (Kc, Ti, Td) para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de desempeño establecido.

El primer método sistematizado para el cálculo de los parámetros de un controlador PID fue desarrollado por ZIEGLER-NICHOLS el criterio de desempeño que selecciono fue el de decaimiento de 1/4, es decir que el error decae una cuarta parte de un periodo de oscilación.

Pendiente.

$$m = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}$$

Tiempo Muerto.

$$Y = 43.8658711\,X + 9.668628835$$

Tiempo de estabilización.

$$\frac{52.3910901 - 9.668628835}{43.8658711} = X$$

Parámetros de sintonización del PID de acuerdo al método de ZIEGLER-NICHOLS.

$$Ko = \frac{Y_\infty - Y_o}{U_\infty - U_o}$$

Función de transferencia según método de ZIEGLER-NICHOLS.

$$G_s = \frac{0.147434 * e^{-0.35369848*t}}{8.667174\,S + 1}$$

Lazo abierto constante de proporcionalidad Kp.

$$PID(kp) = \frac{1.22\tau}{kp\ \tau d}$$

Constante integral Ki.

$$Ki = \frac{1}{2 * Td}$$

Constante derivativa Kd.

$$Kd = 0.5\ Td$$

NÚMERO RA	
PROGRAMA	INGENIERIA MECATRONICA

METODOLOGÍA	**ENFOQUE DE LA INVESTIGACION.** Debido a la naturaleza investigativa del proyecto, se recolecto información, se realizaron cálculos matemáticos, aproximaciones y planos, se establecieron hipótesis, y todas las labores para partir a establecer un diseño ingenieril, todo esto hace parte del método empirico-analitico, basado en los conocimientos empíricos con los cuales se establecen las bases para definir teorías, cabe resaltar que el método no es preciso 100% ya que tiene falencias en cuanto a teorías y conceptos, pero es la base para el diseño final y desarrollo del proyecto. LINEA DE INVESTIGACION DE USB. LINEA DE INVESTIGACIÓN. Automatización de procesos. SUBLINEA DE FACULTAD. Control del proceso. LINEA INSTITUCIONAL. Implementación de nuevas tecnologías y modernización de las plantas.

CONCLUSIONES	➢ La producción de licor de cacao es un proceso demasiado engorroso, debido a la cantidad de variables involucradas en su elaboración, para procesarlo se necesitan de que los estándares se cumplan con eficacia y precisión, para esto es necesario el empleo de diseños de alta calidad, manteniendo o mejorando los sistemas actuales de producción. ➢ El diseño del sistema de distribución de aguas está establecido para la zona delimitada por: intercambiadores de calor, tanques acondicionadores, molinos, tubería

	encamisada de licor de cacao, transporte de vapor y, condensados o retornos. ➢ Los datos con los que se partieron para el diseño del sistema de aguas fueron proporcionados por las áreas de mantenimiento, producción, ingeniería, mercadeo y compras. Los cálculos obtenidos en diseños propuestos por el autor del proyecto se basan en dicha información y la precisión en dichos cálculos depende de la veracidad y eficacia de la información suministrada por las anteriores áreas nombradas. ➢ El proyecto fue planteado por el equipo de ingeniería para reemplazar las necesidades por las que actualmente está atravesando el actual circuito de aguas, estas necesidades se nacen en los goteos, en la mala distribución, ineficiencia de presiones y temperaturas, alto consumo y pérdidas. ➢ El sistema de control planteado por el autor, se basa en la necesidad de complementar con la parte Mecatrónica del proyecto planteada por el nodo de la universidad. ➢ Los cálculos hidráulicos del nuevo sistema de distribución fueron demasiado engorrosos, debido a que los métodos planteados fueron establecidos por el área de ingeniería de la compañía, y algunos de los métodos establecidos fueron planteados por el autor, previa autorización del ingeniero en jefe. ➢ El análisis pertinente al actual sistema de distribución de aguas también fue demasiado engorroso debido a que se presentan mezclas de las tuberías de aguas, vapor, licor y, neumática. ➢ Los planos establecidos parten de la distribución actual de aguas y recorren una trayectoria óptima en la arquitectura de la planta en la que no se mezcla con ningún otro elemento de distribución en planta, se aleja de la distribución de licor de cacao permitiendo que los cambios generados día a día sean más fáciles de emplear. ➢ La aprobación y posterior construcción del proyecto corre por cuenta del área de ingeniería, el proyecto fue entregado el día 15 de marzo del 2010 al ingeniero JULIAN GOMEZ FONNEGRA, líder de equipo. El cumplimiento del cronograma de actividades corre por cuenta del líder de montajes de la empresa. El objetivo del autor era establecer el diseño del sistema de aguas incluyendo cálculos, planos, despliegue técnico y trabajo de campo.

	➢ La cantidad de obra del proyecto estará establecida en un documento. Ver anexo (S), en el que se establecen todos los elementos necesarios para la construcción del proyecto, los valores que se encuentran para cada elemento son establecidos previo contacto con distribuidores oficiales de la empresa, y mediante cotizaciones solicitadas por el autor a las empresas.