

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO INDUSTRIAL PARA LA
EMPRESA MUNDIAL DE TAMBORES LTDA.**



**JAIME ALBERTO CARRANZA REDONDO
IVAN HERNANDEZ PEREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**BARRANQUILLA
2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

**REDISEÑO DE UN SISTEMA CALENTADOR INDUSTRIAL PARA LA
EMPRESA MUNDIAL DE TAMBORES LTDA.**

**JAIME ALBERTO CARRANZA REDONDO
IVAN HERNANDEZ PEREZ**

Proyecto de investigación para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico

Asesor Disciplinar

Ing. Esp. Antonio Manuel Saltarín Jiménez.

Asesor Metodológico

Ing. Msc. Kelvin Beleño Sáenz

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

BARRANQUILLA

2013

DEDICATORIA

A Dios por haberme acompañado en cada paso dado a lo largo de mi carrera universitaria, por haberme dotado de un espíritu extraordinario e inteligencia y ciencia para tener el significado de los sueños, porque ha brindado la oportunidad de alcanzar una meta mas para mi vida, que felizmente me lleva a decir que he alcanzado un objetivo muy importante para mi propósito del existir.

A mi mama Adela, que desde el cielo estoy seguro celebra esta victoria como propia, porque en vida siempre estuvo allí cuando siempre la necesitaba, por haber sido la primera persona que me impulso a recibir una educación, llena de ética y de valores.

A mi mama María, a mi madre a mi padre, a mis 7 hermanos por ser el pilar de mi familia, en donde he crecido aprendiendo dentro de ellos mi razón para ser feliz y encontrar el propósito de mi vida.

JAIME ALBERTO CARRANZA REDONDO.

DEDICATORIA

Lo que es imposible para el hombre es posible para DIOS. DIOS quiere que uno quiera.

JOSUE 1:7-9

7Sólo te pido que seas muy fuerte y valiente. Así podrás obedecer siempre todas las leyes que te dio mi servidor Moisés. No desobedezcas ni una sola de ellas, y te irá bien por dondequiera que vayas. 8Nunca dejes de leer el libro de la Ley; estúdialo de día y de noche, y ponlo en práctica, para que tengas éxito en todo lo que hagas. 9Yo te pido que seas fuerte y valiente, que no te desanimes ni tengas miedo, porque yo soy tu Dios, y te ayudaré por dondequiera que vayas.

PROVERBIOS 3:5-7

5Pon toda tu confianza en Dios y no en lo mucho que sabes. 6Toma en cuenta a Dios en todas tus acciones, y él te ayudará en todo. 7No te creas muy sabio; obedece a Dios y aléjate del mal; 8así te mantendrás sano y fuerte.

“Que ese propósito por el cual DIOS los creo se cumplan sobre sus vidas.”

Juan 3:16

Iván Hernández Pérez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. JUSTIFICACION	7 8
3. OBJETIVO GENERAL	9
3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
4. MARCO TEORICO	10
4.1. CALENTADOR	10
4.2. Tipos de calentadores	11
4.2.1.1. Calentadores de almacenamiento (tipo tanque).11	
4.2.1.2. Calentadores sin tanque. 12	
4.2.1.3. Calentadores solares. 13	
4.3. SENSORES	14
4.3.1. Tipos de sensores de temperatura. 15	
4.3.1.1. Fundamentos de RTD. 15	
4.3.1.2. ¿Cómo medir temperatura CON RTDS?18	
4.3.1.3. PT10019	
4.3.1.4. Termistores20	
4.3.1.5. Termocuplas o termopares20	

4.3.1.6. Tipos de termocuplas	20
5. DISEÑO METODOLOGICO	22
5.1. FASE 1: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO A MEJORAR Y DEFINICIÓN DE SUS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y TECNOLÓGICOS.	22
5.1.1. Selección de equipos	23
5.1.1.1. Selección de PT10024	
5.1.2 Controlador	25
5.1.4 CONVERTIDOR SCM-38I	28
5.1.5 Software DAQ Master	30
5.1.6 Resultados	30
5.1.7 Datos recolectados	30
5.1.8 FUNCION DE TRANSFERENCIA	32
5.2. FASE 2: PLANIFICACIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN	36
5.3. SELECCIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA	37
5.4. NUEVA CONFIGURACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO.	38
5.4.1. Selección del material para la elaboración del tanque	40
5.5. SISTEMA DE CALENTAMIENTO FOTOVOLTAICO.	42
5.5.1. Aporte de calor al sistema	44
5.5.2. Calculo de resistencia calorífica.	46
5.5.3. Calculo de la demanda energética.	58
5.5.3.1. Aporte solar 6160	
5.5.3.2. Potencia del generador 6362	
5.5.3.3. Características eléctricas paneles solares	65
5.6. FASE 3: MODELO COMPUTACIONAL	6766

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características Controlador Autonics TK4L.	26
Tabla 2. Rango de temperatura Controlador Autonics para PT100.	27
Tabla 3. Características de SCM-381.	29
Tabla 4. Valores aleatorios de medición.	31
Tabla 5. Calculo de la demanda de consumo en CC.	59
Tabla 6. Obtención de mes desfavorable.	64 ⁶³
Tabla 7. Características eléctricas paneles solares	66 ⁶⁵

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de los diversos procesos que se utilizan para reacondicionar tambores.	4
Figura 2. Visual de material a recuperar represado por la baja productividad de la etapa de calentamiento.	56
Figura 3. Calentador de almacenamiento tipo tanque.	11
Figura 4. Calentador sin tanque.	12
Figura 5. Calentadores solares.	13
Figura 6. Representación de RTD.	15
Figura 7. Arquitectura Física de un RTD.	16
Figura 8. Curva de Resistencia-Temperatura para un RTD de Platino de 100Ω.	18
Figura 9. PT 100	24
Figura 10. Controlador Autonics TK4L.	26
Figura 11. Pasos para selección de parámetros en Controlado Autonics TK4L.	28
Figura 12. Convertidor SCM-38I.	29
Figura 13. Interfaz de toolbox MATLAB	32
Figura 14. Grafica del sistema caracterizado	33
Figura 15. . Grafica del modelo de medición y simulación.	33
Figura 16. Modelo del proceso con función de transferencia.	34
Figura 17. Modificaciones a la función de transferencia inicial	35
Figura 18. Función de transferencia y grafica característica del sistema.	36
Figura 19. Dimensiones del tanque actual	39
Figura 20. Dimensiones del nuevo tanque	40

Figura 21. Nuevo modelo de calentamiento por medio de una resistencia eléctrica.	45
Figura 22. Resistencias térmicas presentes en el calentamiento.	47
Figura 23. Arreglo de resistencia que representan la resistencia por convección del agua.	48
Figura 24. . Arreglo de resistencia que representan la resistencia por convección del aire.	52
Figura 25. Mapa de brillo solar promedio en la región Caribe.	61 <u>60</u>
Figura 26. Mapa de brillo solar para el mes de octubre en la región Caribe.	62 <u>61</u>
Figura 27. Características mecánicas paneles solares	67 <u>66</u>
Figura 28. Grafica Sistema Lazo Abierto Planta	73 <u>72</u>
Figura 29. Grafica de la planta en lazo cerrado controlada PI	75 <u>74</u>

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Modelo General del Rediseño	8277
Anexo B. Diseño del Calentador	8378
Anexo C. Medidas de Base y Calentador	8479
Anexo D. Medidas Base del Calentador	8580
Anexo E. Medidas Parte del Calentador	8681
Anexo F. Medidas Internas del Calentador	8782
Anexo G. Diseño Paneles Solares y Base	8883
Anexo H. Medidas Paneles y Estructura	8984
Anexo I. Medidas Base de Paneles	9085

INTRODUCCION

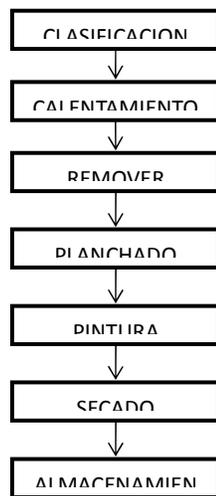
El éxito económico de toda compañía manufacturera o prestadora de servicios depende de la habilidad de satisfacer las necesidades de sus clientes utilizando la cantidad exacta de sus recursos. Lo cual concierne en brindar productos de bajo costos, calidad y largo desempeño. Lograr estas metas representa la problemática entorno al desarrollo de productos, lo cual cuestiona la mercadotecnia, el diseño y la manufactura de productos. Este proyecto se basa en el planteamiento de mejoras al diseño del proceso de calentamiento de sustancias corrosivas utilizadas para la limpieza de tanques en la empresa mundial de tambores Ltda.

A lo largo de este documento se muestra los pasos realizados para lograr rediseñar el sistema de calentamiento presente en la empresa Mundial de Tambores Ltda., reflejando los aportes a las mejoras de la seguridad, calidad y productividad del proceso. Para la consecución de este objetivo se analizan las características iniciales del proceso, del cual se obtienen sus ventajas y desventajas, para así con estas referencias, mejorar las falencias en el sistema y mantener los atributos de este.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Mundial de tambores Ltda. Es una entidad dedicada al reacondicionamiento de tambores utilizados para el almacenamiento y transporte de diferentes sustancias que son de uso común en distintos procesos dentro del sector industrial. El proceso de reacondicionamiento de los tambores sigue la secuencia mostrada en la siguiente figura.

Figura 1. Esquema de los diversos procesos que se utilizan para reacondicionar los tambores.



Fuente: Diseño de los Autores de este Proyecto en la herramienta de Dibujo Paint.

El proceso ilustrado anteriormente se realiza con un flujo regular con respecto a las necesidades de cada etapa en excepción de la etapa de calentamiento de la soda caustica, la que presenta un cuello de botella productivo producido debido a la amplia demanda de tanques a reacondicionar y la cantidad de tiempo que se necesita para calentar la soda caustica.

Esta etapa del proceso de acondicionamiento, se toma un tiempo promedio de una hora y 30 minutos, para tener la sustancia de limpieza caliente a la temperatura de uso de 95-100°C, con una cantidad suficiente para limpiar 5 tanques, por lo que su producción es de 5 tanques / hora y 30 minutos ó 35 tanques / día, en jornadas de trabajo de 9 horas del horno de 9 horas.

La fase siguiente que es la fase de pintura, es más rápida, posee una capacidad productiva de 100 tanques / día, por consiguiente se produce el llamado “cuello de botella productivo” a lo largo de todo el proceso al que son sometidos los tambores.

Figura 2. Visual de material a recuperar represado por la baja productividad de la etapa de calentamiento.



Fuente: Foto tomada por los autores de este proyecto en la empresa Mundial de Tambores Ltda.

Al mismo tiempo, esta etapa está generando gases contaminantes que afectan al medio ambiente, debido a que la fuente de energía del proceso para calentar la

soda caustica, proviene de la quema de madera y a su vez presenta riesgos al manipular sustancias a temperaturas que pueden proporcionar quemaduras térmicas en la piel.

Para resolver el problema planteado, los autores proponen el proyecto titulado “Rediseño de un calentador industrial para la empresa Mundial de Tambores Ltda.” el cual consiste en plantear un rediseño para corregir la problemática presente en la empresa Mundial de Tambores Ltda. Para esto es necesario realizar una investigación detallada sobre los calentadores industriales existentes y utilizar el conocimiento obtenido en la línea de profundización en gestión de mantenimiento industrial en conjunto con los fundamentos de diseño de ingeniería adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con el fin de mejorar el proceso de reacondicionamiento en el ámbito productivo y ambiental.

2. JUSTIFICACION

En la actualidad las industrias utilizan un sin número de tambores para el transporte o almacenamiento de sus materias primas, insumos, productos terminados, que hacen de esto un punto a tener muy en cuenta para generar un crecimiento económico y social en la industria, porque en algunos casos estos tambores almacenan distintos tipos de sustancias entre las cuales son peligrosas o tóxicas para el medio ambiente, y no teniendo un sistema de control que les permitan reutilizar los tanques que son desechados generándole a las empresas un incremento económico que se puede ver reflejado en el aumento de sus residuos tóxicos pudiendo esto ser controlado.

La EMPRESA MUNDIAL DE TAMBORES LTDA clasifica, purifica, y acondiciona, tanques industriales los cuales son reutilizados para ser comercializados. Con esta empresa se desea rediseñar el sistema de calentamiento para así lograr tener un excelente desarrollo de ejecución del proceso de ella, planteando un nuevo diseño el cual tendrá un sistema de control de temperatura y un sistema generador de energía fotovoltaica o paneles solares, que garanticen un mejor rendimiento para la ejecución del reacondicionamiento.

Al alcanzar un mejor rendimiento se hace eficiente el inicio del proceso, consiguiendo un excelente desempeño no solo en esta área de calentamiento sino en todas las áreas que hacen parte del proceso, logrando incrementos en la competitividad con el objetivo de expandir sus productos no solo en la costa sino al interior de nuestro país. Como beneficio de este logro, se tendría una disminución con respecto al impacto ambiental que se genera, a raíz de poder encontrar la eficiencia que hace que se pueda obtener un mejor bienestar en todos los ámbitos de la empresa, ya identificando lo que hace que el proceso sea más eficiente, lograremos que la empresa mundial de tambores se haga participe de

todos los beneficios que se obtendrán al momento en que se alcanzo a mejorar directamente y a estudiar esto que no hacia eficiente el proceso.

El proceso de acondicionamiento de tambores aumento en un cien por ciento su eficiencia con respecto al que ellos hasta el momento tienen, con ello se obtendrá un importante aumento en la producción de la empresa, logrando una mejor calidad del producto y seguridad, no solo del producto sino para los operarios.

Además se encuentran varios factores que son de mucha importancia y cuidado para el bienestar de la sociedad. El primero de ellos tiene que ver con respecto al aumento de la producción que se generara, por consiguiente se necesitara más mano de obra para cumplir con la demanda que se puede llegar a tener, ocasionando una mayor generación de empleo en la ciudad y en el país por medio de la empresa; como segundo el incremento de la seguridad industrial de la empresa ~~para los operarios,~~ con esto mejorar la calidad en el proceso ~~s llevaran una mejor calidad de vida~~ y se disminuir ~~íagrandemente~~ el porcentaje ~~accidentalidad de riesgos de accidentalidades, logrando la preservación de las vida de las personas,~~ y por último el contribuir con la preservación del medio ambiente y de los recursos naturales que se encuentren presentes en su entorno.

3. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar el sistema de calentamiento de la empresa mundial de tambores Ltda. para mejorar la seguridad, la calidad y la productividad del proceso.

3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el sistema actual de calentamiento para identificar sus debilidades, fortalezas y definir los requerimientos tecnológicos del nuevo sistema que garanticen mejorar la productividad, la seguridad y aminorar el impacto ambiental.
- Desarrollar la nueva configuración del sistema de calentamiento a nivel de diseño conceptual, diseño básico y diseño de detalle para elaborar los modelos de cálculo, así como los planos de fabricación y montaje.
- ~~Desarrollar~~ Realizar una modelación computacional para garantizar la calidad del diseño final.

Comentado [M1]: REVISAR

4. MARCO TEORICO

4.1. CALENTADOR

▲ Son dispositivos que realizan el proceso termodinámico de calentar una sustancia por encima de su temperatura inicial. Posee usos habituales domésticos que incluyen cocinar, limpiar, bañarse y calefacción. En la industria posee muchos usos, pProcesos de calentamiento industriales se aprecian en buques, tanques, calderas, intercambiadores de calor, acumuladores de calor₁.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto, Color de fuente: Fondo 1

▲ Este tipo de proceso utiliza como fuente de energía combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural) o combustibles sólidos (madera, turba). Estos pueden ser consumidos directamente o pueden producir electricidad que, a su vez, también es fuente de energía en este tipo de proceso₂. La electricidad para calentar una sustancia también puede provenir de cualquier otra fuente de energía, como la energía nuclear o las energías renovables (energía solar, calefacción geotérmica)₃.

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto, Color de fuente: Fondo 1

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Calibri, 11 pto, Color de fuente: Fondo 1

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

¹Sears Zemansky, Física Universitaria, Decima segunda edición, pág. 582

² Ibid.,p.625

³Enciclopedia Británica, Heating,[en línea] [citado en 9 junio de 2013] Disponible en internet: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/258832/heating>>

⁴Haceb, Calentadores de almacenamiento, [en línea] [citado en 8 junio de 2013] Disponible en internet: <

http://www.haceb.com/v2_base/index.php?sub_cat=1310&page=2&debug=1&q=MenuCalentadores&busqda=ok>

4.2. Tipos de calentadores

4.2.1.1. Calentadores de almacenamiento (tipo tanque). En uso industrial y doméstico este tipo de calentadores es el más común, que consisten en un recipiente generalmente cilíndrico en el que se mantiene la sustancia continuamente caliente y lista para su uso. Este tipo de calentadores pueden incorporar resistencias eléctricas, una fuente de aire, o un quemador de gas o aceite que caliente la sustancia.

Con formato: Fuente: Color de fuente: Fondo 1

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Figura 3. Calentador de almacenamiento tipo tanque.



Fuente: Imagen disponible en: <<http://0.tqn.com/d/reparaciones/1/0/7/5/-/-/hwh2.jpg>>

En comparación con los calentadores con tanque, calentadores de almacenamiento tienen la ventaja de utilizar la energía a un ritmo relativamente lento para almacenar el calor en su uso posterior. La desventaja es que con el tiempo, la sustancia dentro del sistema se enfría teniendo que iniciar el proceso nuevamente y además poseen un flujo lento.

4.2.1.2. Calentadores sin tanque. Calentadores sin tanque también son conocidos como calentadores instantáneos, cada vez son más populares, estos calentadores de alta potencia funcionan calentando la sustancia a medida que fluye a través del dispositivo, y no retienen el agua internamente a excepción de lo que es el serpentín del intercambiador de calor.

Figura 4. Calentador sin tanque.



Fuente: Imagen disponible en: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/over-temperature-protection-tankless-electric-water-heater-thermostat-cz-910-688310205.html>

Las principales ventajas de los calentadores sin tanque son un flujo abundante continuo de agua caliente (en comparación con un flujo limitado de fluido caliente en los calentadores convencionales de tanque), el ahorro potencial bajo algunas condiciones y no necesita equipo adicional.

4.2.1.3. Calentadores solares. La implementación de este tipo de calentadores a incrementando exponencialmente tanto en los hogares como en la industria, Los modelos térmicos solares más básicos son el tipo de ganancia directa, en la que el fluido se envía directamente en el colector. Muchos de estos sistemas se dice que el uso de almacenamiento colector integrado, como sistemas de ganancia directa por lo general dispone de almacenamiento integrado en el colector.

Calentar agua es directamente inherentemente más eficiente que la calefacción de forma indirecta a través de intercambiadores de calor, pero estos sistemas ofrecen protección contra la congelación muy limitado (si la hubiera), puede calentar fácilmente el agua a temperaturas no seguras para uso doméstico, este tipo de sistema sufren de pérdida de calor intenso en las noches frías y los días fríos y nublados.

Figura 5. Calentadores solares.



Fuente: Imagen disponible en: <<http://www.ciudadcapital.com.mx/archives/6709>>

Por el contrario, indirectos o de circuito cerrado sistemas no permiten que el agua potable a través de los paneles, sino que bombean un fluido de transferencia de calor (ya sea agua o una mezcla de agua / anticongelante) a través de los paneles. Después de recoger el calor en los paneles, el fluido de transferencia de calor fluye a través de un intercambiador de calor , transfiriendo el calor al fluido.

Comentado [M2]: LOS CALENTADORES INDIRECTOS....

4.3. SENSORES

Es un dispositivo de entrada que recibe la energía del medio al que está expuesto que brinda una señal de salida transducible en relación de la variable de medida. Son elementos que se usan cotidianamente tanto en usos domésticos como en industriales en el hogar, automóviles, maquinaria, industria a aeroespacial, medicina y robótica.

Existen gran variedad de sensores y cada vez se diseñan más debido a la gran importancia que estos representan en nuevos dispositivos electrónicos modernos desarrollados, cualidades que poseen son resistivas, ópticas, térmicas, humedad, magnéticas

4.3.1. Tipos de sensores de temperatura. La temperatura se puede medir de diferentes maneras, esto de acuerdo al costo de los equipos, precisión, etc. Entre los tipos de sensores más comunes están los termopares o termocuplas, RTD'S (dispositivos termo resistivos) y termistores.

4.3.1.1. Fundamentos de RTD. Un RTD de platino es un dispositivo hecho de bobinas o capas de metal. Al excitarse o calentarse, la resistencia del metal aumenta; al momento de enfriarse, la resistencia disminuye. Transferir corriente a través de un RTD genera un voltaje en el RTD. Al medir este voltaje, podemos determinar su resistencia y por lo tanto, su temperatura. La relación entre la resistencia y la temperatura es relativamente lineal. Generalmente, los RTDs tienen una resistencia de 100 Ω a 0 $^{\circ}\text{C}$ y pueden medir temperaturas hasta 850 $^{\circ}\text{C}$.

Con formato: Fuente: Color de fuente: Fondo 1

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Figura 6. Representación de RTD.

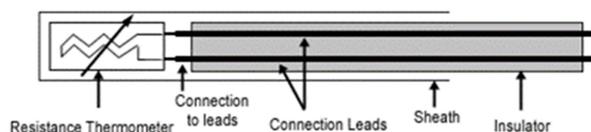


Fuente: Imagen Disponible en:

Image <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/>

⁵National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013]
sen <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/>

Figura 7. Arquitectura Física de un RTD.



Fuente: Disponible en, <http://www.ni.com/white-paper/7115/es>

Un RTD de platino es un dispositivo hecho de bobinas o capas de metal. Al excitarse o calentarse, la resistencia del metal aumenta; al momento de enfriarse, la resistencia disminuye. Transferir corriente a través de un RTD genera un voltaje en el RTD. Al medir este voltaje, podemos determinar su resistencia y por lo tanto, su temperatura. La relación entre la resistencia y la temperatura es relativamente lineal. Generalmente, los RTDs tienen una resistencia de 100Ω a 0°C y pueden medir temperaturas hasta 850°C .

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, Color de fuente: Fondo 1

Los RTDs operan bajo el principio de los cambios en la resistencia eléctrica de metales puros y se caracterizan por tener un cambio lineal positivo en resistencia con temperatura. Existen elementos típicos usados por los RTDs incluyen níquel (Ni) y cobre (Cu), pero el más común por su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad es platino (Pt)⁷.

Comentado [M3]: REPETICION DE UN PARRAFO

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Los RTDs son diseñados usando una de las dos configuraciones de manufactura. Los RTDs wire-wound son creados enrollando un cable delgado en una bobina. Una de las configuración más común es el elemento decapa delgada, el cual consiste en una capa muy delgada de metal puesta arriba de un estrato de plástico o cerámica. Los elementos de capa delgada son más baratos y

⁶National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013] [senhttp://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/](http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/)

⁷National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013] [senhttp://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/](http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/)

ampliamente disponibles ya que pueden alcanzar resistencias nominales más altas con menos platino. Para proteger el RTD, una cubierta de metal cubre al elemento RTD y los cables conectados a él.

Los RTD's muestran la señal más lineal con respecto a la temperatura de cualquier sensor electrónico de temperatura. Sin embargo, son más caros por su cuidadosa construcción y el uso de platino. Los RTDs se caracterizan por alcanzar un tiempo lento de respuesta y baja sensibilidad; y como se requiere de una excitación de corriente son propensos a auto calentamiento.

Son clasificados por su resistencia nominal a 0 °C. Los valores típicos de resistencia nominal para RTDs de platino de capa delgada incluyen 100 Ω y 1000 Ω. La relación entre resistencia y temperatura es casi lineal y cumple con esta ecuación:

$$\text{Para } < 0 \text{ } ^\circ\text{C} R_T = R_0 [1 + aT + bT^2 + cT^3 (T - 100)] \text{ (Ecuación 1)}$$

$$\text{Para } < 0 \text{ } ^\circ\text{C} R_T = R_0 [1 + aT + bT^2]$$

Donde R_T = resistencia a temperatura T

R_0 = resistencia nominal

a, b y c = constantes usadas para escalar el RTD

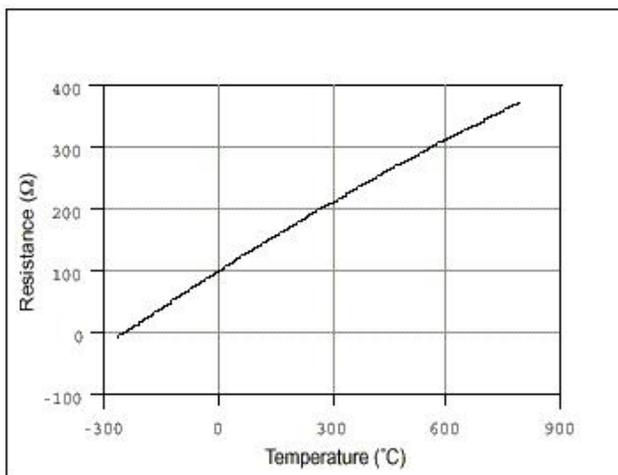
La curva de resistencia/temperatura para un RTD de platino de 100 Ω, comúnmente conocido como Pt100, se muestra en la siguiente figura.

⁸National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013] <<http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>>

Con formato: Color de fuente: Fondo 1

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Figura 8. Curva de Resistencia-Temperatura para un RTD de Platino de 100Ω.



Fuente: Imagen Disponible en: <<http://www.ni.com/white-paper/7115/es>>

4.3.1.2. ¿Cómo medir temperatura CON RTDS?

Por lo general todos los RTDs se venden en una combinación de cables de color rojo y negro o rojo y blanco. El cable rojo es el cable de excitación y los cables negro o blanco son los cables a tierra. Si no está seguro qué cable está conectado a qué lado del elemento resistivo, puede usar un multímetro digital (DMM) para medir la resistencia entre las terminales. Si hay cerca de 0 Ω de resistencia, entonces las terminales están sujetas al mismo nodo. Si la resistencia está cerca de la resistencia nominal (100 Ω es una resistencia nominal común de RTD), entonces los cables que está midiendo están en el lado opuesto del elemento resistivo. Además, relacione la especificación del RTD para encontrar el nivel de excitación para ese dispositivo en particular.

La mayoría de los instrumentos ofrecen configuraciones de pines similares para medidas RTD. El siguiente ejemplo muestra una medida RTD usando un chasis NI

Compact DAQ y el módulo NI 9217 RTD (ver Figura 3). National Instruments ofrece varias opciones para medir temperatura desde 1 a más de 1,000 canales.

4.3.1.3. PT100. Un Pt100 es un dispositivo que se utiliza para sensar la temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica, pueden medir temperaturas de 850°C.

Con formato: Fuente: Color de fuente: Fondo 1

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Las ventajas del pt100 que sus mediciones son muy precisas su error es muy bajo de una decima de segundo y no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso. su desventaja sería que es muy costoso, y no se deben someter a lugares con mucha vibración.

Existen tres métodos de conexión para un pt100, el más sencillo es de dos hilos pero el menos recomendado porque hay un error muy alto y para esto ay que poner unos cables más gruesos para eliminar la resistencia. el segundo metodo es el más utilizado que consta de tres cables de conexión los cuales deben de ser del mismo diámetro claro que se debe utilizar un instrumento lector para este caso y

⁹ ARIAN Control & Instrumentación, Pt100, su operación, instalación y tablas.[en línea] [citado en 25 septiembre de 2013] Disponible en internet:<<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>>

el tercero que costa de 4 cables este es el más preciso pero el más costoso de los tres y ay que utilizar un lector exclusivo para este.

4.3.1.4. Termistores. Un termistor es una pieza semiconductor hecha de óxidos de metal que están comprimidos en una pieza de diferentes formas y son sometidos a altas temperaturas. Un termistor a diferencia de los RTD'S tienen más alta resistencia (2,000 a 10,000 Ω) y una sensibilidad mucho más alta ($\sim 200 \Omega/^\circ\text{C}$), permitiéndoles alcanzar más alta sensibilidad en un rango de temperatura limitado (hasta 300°C)¹⁰.

Con formato: Fuente: Color de fuente: Fondo 1

4.3.1.5. Termocuplas o termopares. Las termocuplas son sensores de temperatura que se basa en la circulación de una corriente en un circuito compuesto por dos materiales distintos unidos comúnmente por soldadura, los cuales generan un voltaje muy pequeño (mini voltios) el cual aumenta a aumentar la temperatura.

Con formato: Fuente: 7 pto, Sin Superíndice / Subíndice

4.3.1.6. Tipos de termocuplas. Se encuentran distintos tipos de termocuplas las cuales mencionaremos siete (E; J; T; K; R; S; B) y de estas las más utilizadas por la industrias son la K y la J.

La termocupla tipo E compuesta por cromel-constantan se utiliza más que todo en vacío o en atmosfera interna o medianamente oxidante o reductora. Esta termocupla pose más alta f.e.m por variación de temperatura y rango de temperatura entre -200° a $+900^\circ$ C.

La termocupla tipo T; de cobre-constantan, es muy resistente a la corrosión por la humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmosferas oxidantes o reductoras. Se utiliza preferiblemente entre -200° a $+260^\circ$ C.

La tipo J compuesta por hierro-constantan, es utilizada en atmosfera con escaso oxigeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de

¹⁰National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013]
<<http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>>

550°C, siendo necesario un mayor diámetro de hilo hasta una temperatura límite de 750°C.

Tipo K, de cromel-alumel, se recomienda utilizar en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo entre 500°y 1250°C. No se deben utilizar en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido o recubierto con un tubo de protección.

Las termocuplas tipo S, R, E, de Pt-Pt/Rh se utilizan en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo hasta 1500°Csi la atmósfera es reductora, la termocupla debe protegerse con un tubo cerámico estanco¹¹.

¹¹ Antonio Creus Solé, Instrumentación industrial 6. a edición, Alfaomega, Capítulo 6 página 237

5. DISEÑO METODOLOGICO

El proyecto se realiza con el fin de plantear un rediseño a la problemática presente en la empresa Mundial de Tambores Ltda. Este problema radica en la necesidad de mejorar el sistema de calentamiento en donde se procesa la sustancia que es utilizada para eliminar los residuos que se encuentran adheridos en las paredes internas del recipiente, lo que consiste en la segunda etapa del proceso de reacondicionamiento de los tambores. La consecución del proyecto con lleva a la modernización del proceso de calentamiento realizado en la planta, mejorando así el rendimiento de la producción, calidad, y seguridad de la operación.

5.1. FASE 1: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO A MEJORAR Y DEFINICIÓN DE SUS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y TECNOLÓGICOS.

Esta fase del desarrollo del proyecto consiste en la identificación de las características, comportamiento y limitaciones del proceso, gracias a efectuar un estudio cuantitativo del sistema, , que arroja como resultado la función de transferencia inicial que representa el modelo matemático de la planta actual, a partir de la cual será posible buscar alternativas para mejorar el funcionamiento del proceso. Se aclara que en esta etapa se define cuantitativamente la capacidad productiva de cada proceso y de la línea de producción completa, en concordancia con los requerimientos de mejora expresados por las directivas de la empresa, en mutuo acuerdo con los autores del proyecto, garantizando lo anterior, mediante un documento de definición de lista de requerimientos, que se elaborara entre las partes interesadas, usando un proceso de prueba y ajustes hasta definir los parámetros para obtener un control deseado del proceso.

5.1.1. Selección de equipos. En orden de seleccionar la instrumentación adecuada para realizar el muestreo de datos requeridos para caracterizar el sistema de calentamiento, se obtuvieron las características físicas del sistema a modelar:

Un recipiente con dimensiones de 40 cm de altura con diámetro de 56 cm y un espesor de 0.5 cm, son mezclados 75 litros de agua con 2.5 kilogramos de soda caustica, tal mezcla es sometida a un proceso de calentamiento por convección partiendo de una temperatura 27°C, que es la temperatura ambiente promedio en el municipio de malambo donde se encuentra ubicada la empresa Mundial de Tambores Ltda., hasta una temperatura cercana a los 100°C.

Con el análisis de estas características, se ha seleccionado los elementos necesarios para realizar la tarea de medida y comportamiento físico del sistema.

5.1.1.1. Selección de PT100. Para seleccionar una PT100 como elemento sensor del sistema se tuvo en cuenta que la temperatura a sensar se encontraba dentro de un rango de 25°C – 110°C, lo cual se ajusta a las condiciones de uso de este instrumento, a su vez, bajo estas condiciones es el instrumento de medida temperatura más recomendable de usar ya que brinda mayor precisión que otros instrumentos como termocuplas y termistores en este rango de temperatura(Los PT100 pueden fácilmente entregar precisiones de una decima de grado) , incluso los PT100 brindan la facilidad de ser utilizada a cierta distancia del medidor utilizando cobre convencional para hacer la extensión, lo que es en cierta medida es la aplicación exacta que se utiliza en proceso.¹²

Figura 9. PT 100



Fuente: Imagen Fotográfica Tomada por los autores.

¹² Arian Control y instrumentación, Cuando y en que aplicaciones usar una termocupla J, Termocupla K ó Pt100? [En línea] [citado en 12 octubre de 2013] Disponible en internet: <<http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>>

Dentro del tipo de PT100 que se encuentran en el mercado se selecciono una PT100 de tres hilos debido a que con la conexión de tres hilos en diferencia con la de 2 hilos, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura.¹³

5.1.2Controlador. Teniendo en cuenta que la realización de este proyecto debe cumplir con el objetivo de rediseñar el sistema actual de calentamiento de la soda caustica y además caracterizar el sistema actual se ha seleccionado el controlador de temperatura Autonics TK4L , ya que brinda la posibilidad de adquirir el muestreo de datos de sistemas físicos , lo que es primordial en esta etapa del desarrollo del proyecto, y que también es un dispositivo que cumpliría un papel importante en el ejercicio de controlar la temperatura en el nuevo diseño del calentador.

Además para la selección de este controlador también se tuvo en cuenta la necesidad de un puerto RTD, de forma que en este pueda ser conectado el instrumento de medida PT100 a su vez otras características que el equipo brinda como una pantalla de LED en donde se puede observar la temperatura de proceso, alta velocidad de muestreo, y la facilidad de manejo que este brinda entre otras características reflejadas en la siguiente tabla¹⁴.

¹³ Antonio Creus, Instrumentación Industrial, sexta edición, pág. 233.

¹⁴ Autonics, Serie TK[Hoja de especificaciones y manuales] [en lineal] [citado en 2 octubre de 2013] Disponible en internet: <http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf>.

Figura 10. Controlador Autonics TK4L.



Fuente: Disponible en, <http://products.autoniconline.com/image?cid=4232&plpver=10&categid=1173&prodid=1188>

Tabla 1. Características Controlador Autonics TK4L.

CONTROLADOR AUTONICS TK4L						
Fuente de alimentación	100-240VAC 50/60Hz					
Rango permitido de voltaje	90 ~110% de voltaje nominal					
Consumo de energía	Max. 8VA					
Periodo de Muestreo	50ms					
Tamaño	PV(WXH)	7 x 14 mm	9.5x20mm	8.5x17mm	7x14.6mm	11x22mm
	SV(WXH)	5x10mm	7.5x15mm	6x12mm	6x12mm	7x14mm

Fuente: Disponible en, http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf

Tabla 2. Rango de temperatura Controlador Autonics para PT100.

Rango de temperatura para RTD				
CU 50Ω		CU 5	-199.9 ~ 200.0	-199.9 ~ 392.0
CU 100Ω		CU 10	-199.9 ~ 200.0	-199.9 ~ 392.0
JIS Standards	JPt 100Ω	JPtH	-200 ~ 650	-328 ~ 1202
	JPt 100Ω	JPtL	-199.9 ~ 650.0	-199.9 ~ 999.9
DIN Standards	DPt 50Ω	dPtS	-199.9 ~ 600.0	-199.9 ~ 999.9
	DPt 100Ω	dPtH	-200 ~ 650	-328 ~ 1202
	DPt 100Ω	dPtL	-199.9 ~ 650.0	-199.9 ~ 999.9
Nickel 120Ω		ni 12	-80 ~ 200	-112 ~ 392

Fuente: Disponible en, http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf

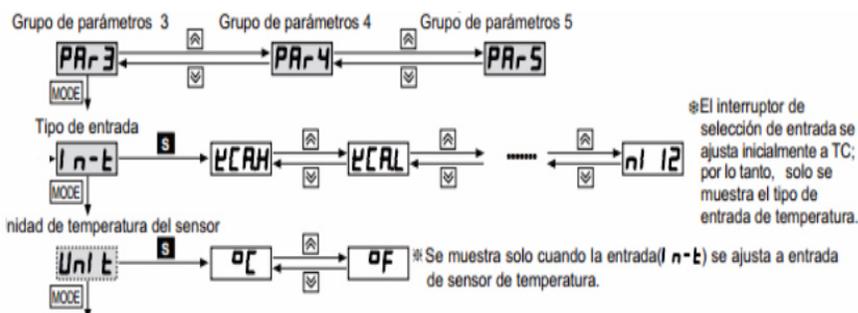
Para poder realizar la toma de temperatura con este controlador es necesario configurarlo en el modo de funcionamiento deseado. Para este caso los pasos a seguir son los siguientes:

1. Presionar cualquiera de las teclas de direccionamiento.   
 2. Después de entrar en modo en ajuste, presione la tecla **MODE** en cualquier momento por 3seg. Para regresar al modo run.
 3. Después de entrar en modo de ajuste, presione la tecla **MODE** en cualquier momento por 1.5s
-  Este parámetro puede no aparecer, dependiendo del modelo y del ajuste de parámetros relacionados.

Si presiona la tecla **MODE** después de cambiar el valor de ajuste del parámetro se almacenara el valor del ajuste.

Y como ultima paso para finalizar la configuración del equipo, seleccionar los dispositivos y parámetros de entrada al controlador.¹⁵

Figura 11. Pasos para selección de parámetros en Controlado Autonics TK4L.



Fuente: Disponible, de

http://www.autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf

5.1.4 CONVERTIDOR SCM-38I. Con el propósito de adquirir los datos recibidos del proceso en el Controlador Autonics TK4L era necesario utilizar este elemento, en orden de tomar los datos adquiridos por el controlador TK4L con un ordenador, gracias a que por medio de dicho dispositivo se garantiza la comunicación del controlador con ordenador realizando una conversor RS485 a RS232. El cual también posee como característica la capacidad de transmitir datos a largas distancias con valores mínimos de error(1.2 km de distancia), lo que es importante en este proceso.¹⁶

¹⁵ Autonics, Serie TK [Hoja de especificaciones y manuales] [en línea] [citado en 2 octubre de 2013] Disponible en internet: <http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf>.

¹⁶Autonics, Serie TK [Hoja de especificaciones y manuales] [en línea] [citado en 2 octubre de 2013] Disponible en internet: <<http://products.autoniconline.com/Asset/SCM-38I%20manual.pdf>>.

Figura 12. Convertidor SCM-381.



Fuente: Disponible en, <http://products.autonicsonline.com/image?&cid=4232&plpver=10&prodid=1170&itemid=40022>.

Tabla 3. Características de SCM-381.

Modelo	SCM-381
Suministro de energía	12-24 VDC
Consumo de energía	Approx. 1.7 W
Tipo de comunicación	Half dúplex type
Protocolo	Daba bit: 5 ~8 data bits, stop bit: 1 or 2 stop bits Bits de paridad : no/odd/incluso bit de paridad
Tipo de conector	RS232C: D-Sub 9pin RS485: Cable terminal de tornillo
Peso	46 gramos

Fuente: Tomado de, http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf

5.1.5 Software DAQMaster. Mediante la utilización del este software y con la instrumentación implementada (PT100, Controlador Autonics TK4L y convertidor SCM-381) se adquiere un muestreo de datos, que describen una estimación de la variación de la temperatura en el proceso.

5.1.6 Resultados. Se desea obtener la función de transferencia de un horno el cual es utilizado para el calentamiento de fluidos, en donde se realiza el proceso de eliminar las distintas sustancias que se encuentran adheridas dentro de las paredes de los tanques.

El Ing. de planta desea tener una mejora y control en el tiempo de calentamiento de los líquidos, por ende se hace necesario en primera instancia caracterizar el sistema para luego proceder a realizar mejoras en el sistema.

La caracterización del sistema se realizó hasta una temperatura máxima aproximada de 95°C debido a que el Ing. de la planta considero que la soda caustica con una temperatura del 95°C ya se encontraba en condiciones para ser utilizada, no fue necesario calentar el líquido hasta un 100°C, ya que generar pérdida de materia prima, tiempo, producción.

En otras palabras, la función de transferencia hallada describe el funcionamiento de la planta en el rango de temperaturas de 0 °C a 95 °C.

5.1.7 Datos recolectados. El total de datos tomados fue de 6605 en un intervalo de tiempo de 1 segundos, por la cantidad de datos adquiridos no se mostraran la totalidad de las temperaturas requeridas.

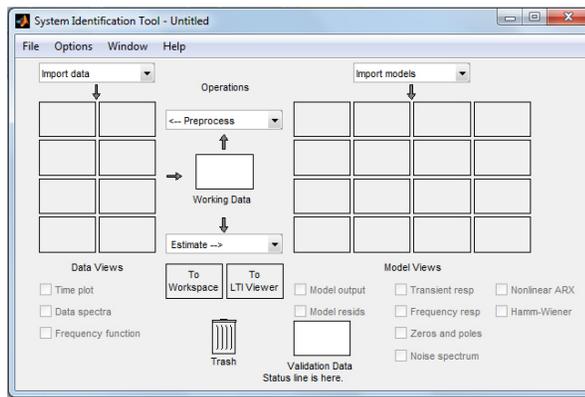
Tabla 4. Valores aleatorios de medición.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA(°C)
0	30
15:49	40
46:27	50
58:24	60
64:10	70
78:48	80
110:39	95

Fuente: Autor

5.1.8 FUNCION DE TRANSFERENCIA. Con la herramienta “System Identificación Tool” en MATLAB, se ha construido el modelo matemático del sistema de calentamiento de la empresa mundial de tambores, a partir de los datos de entrada y salida. En esta herramienta se puede utilizar el dominio del tiempo y los datos de entrada-salida de dominio de frecuencia para identificar las funciones de tiempo continuo.

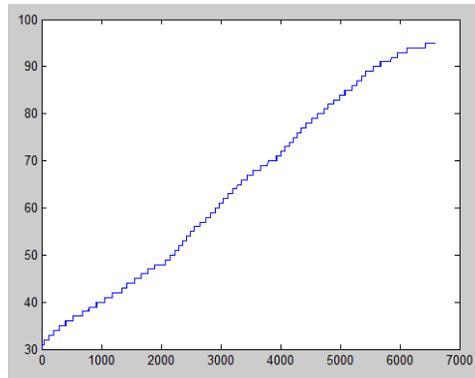
Figura 13. Interfaz de toolbox MATLAB



Fuente: ModeladoPor autores en software Matlab.

Los datos de entrada y salida obtenidos en la medición muestran gráficamente que el sistema de calentamiento es de primer orden como lo pueden observar en la figura siguiente.

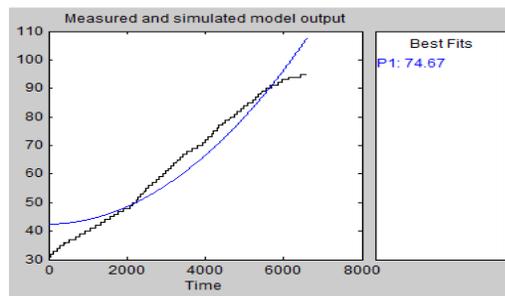
Figura 14. Grafica del sistema caracterizado



Fuente: Graficado por los autores en software Matlab.

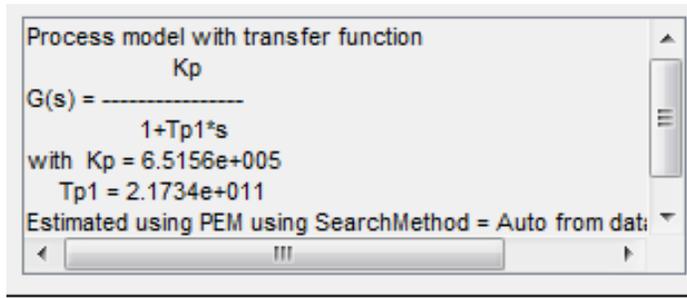
Utilizando la herramienta "IDENT" de Matlab y el modelo identificado para la predicción de la respuesta del sistema con la estimación de los parámetros definido, se obtuvo la representación grafica del sistema y la función de transferencia.

Figura 15. . Grafica del modelo de medición y simulación.



Fuente: Graficado por los autores en software Matlab.

Figura 16. Modelo del proceso con función de transferencia.

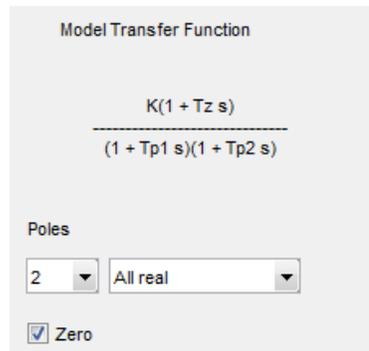


Fuente: Modelado por los autores en software Matlab.

Observando la figura anterior vemos que la representación matemática no cumple con las especificaciones, nos damos cuenta que la respuesta (Best fits) no se asemeja a la respuesta estimada con los parámetros establecidos, teniendo en cuenta el pronóstico del sistema de calentamiento evaluado en la empresa.

Para poder alcanzar la mayor aproximación de la respuesta, y obtener el modelo matemático que más se asemeje al sistema, la herramienta "Sistema de Identificación de Toolbox", nos permite hacer modificaciones dentro de todo el modelo del proceso, en otras palabras en el modelo de la función de transferencia a evaluar, ya sea agregando polos o ceros en el sistema, siendo más específicos se agregan dos polos y un cero al modelo de la función, para consiguiente poder evaluar, el cual quedaría de la siguiente forma como se puede observar a continuación:

Figura 17. Modificaciones a la función de transferencia inicial

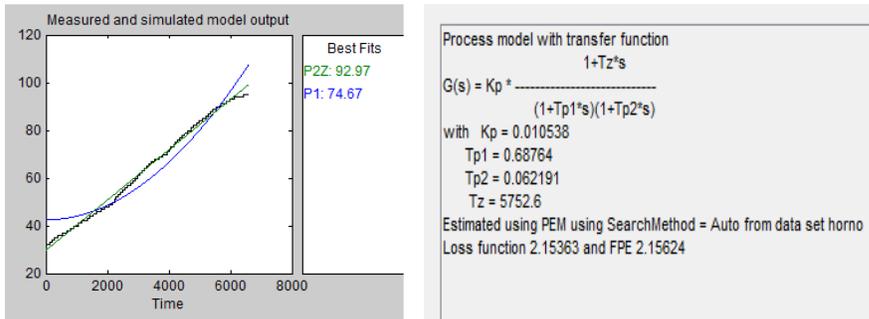


Fuente: Modelado por los autores en software Matlab.

Por último importamos el nuevo modelo de la función diseñada para que pueda ser ejecuta, que a su vez nos mostrara la función de transferencia final con una mejora (Best fits) del 92.97 cumpliendo con el progreso de la respuesta, en comparación con la anterior que nos arrojó el 74.67 como lo pueden observar en la grafica.

Comentado [M4]: REVISAR

Figura 18. Función de transferencia y grafica característica del sistema.



Fuente: Modelado por los autores en software Matlab.

5.2. FASE 2: PLANIFICACIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN

Luego de identificar las distintas fortalezas y debilidades que presenta el sistema actual, así como los requerimientos del sistema mejorado en los aspectos de producción, seguridad y bajo impacto ambiental, se procede a identificar y evaluar diversas formas existentes de calentamiento de la sustancia y de la manera como se pueda manipular seguramente la misma hasta llegar a la etapa de limpieza. A su vez mediante el uso de una herramienta de decisión como una matriz de comparación, se define cuál es la alternativa tecnológica de calentamiento, seleccionada, para mejorar las diferentes problemáticas que se encuentran actualmente. Continuando se procede a definir los componentes del sistema de calentamiento elegido, así como establecer claramente sus relaciones físicas y funcionales, incluyendo sus características de desempeño, en base a lo cual, se procede a establecer los modelos cuantitativos, basados en las leyes que aplican, como conservación de la energía, conservación de la masa, velocidades de combustión, transferencia de calor, manejo de sustancia líquidas peligrosas.

También se incluirá algún modelo matemático para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control que se aplique para sincronizar las diversas fases del proceso y del sistema de calentamiento en particular, el cual deberá controlar la temperatura y tiempos de producción al nivel de los requerimientos establecidos y acordados. Lo anterior debe dar como resultado, un esquema completo del sistema, así como los componentes o módulos a seleccionar (existen estandarizados) y los componentes o módulos a diseñar, en base a lo cual se elaboran los planos finales de fabricación y montaje, incluyendo las pruebas que deban realizarse para poner a punto el sistema.

5.3. SELECCIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Para llevar a cabo esta etapa se realizó una evaluación y análisis global del sistema, en donde se encontró debilidades que afectan directamente en las áreas de productividad, seguridad y en el impacto ambiental, influyendo esto en que la empresa no pueda alcanzar el rendimiento del 100% en las distintas áreas nombradas anteriormente, generando pérdidas en distintos ámbitos.

Teniendo en cuenta el mal rendimiento que lleva la empresa mundial de tambores, se procede a rediseñar el sistema de calentamiento para obtener un mejor desempeño en el proceso, logrando una mayor rapidez a la hora de calentar el líquido y así llegar a tener la sustancia de limpieza a la temperatura deseada, en este caso 100 °C. Esto se puede ver reflejado en el mejoramiento del tiempo de calentamiento obtenido durante la caracterización del sistema, la cual fue de 110:30 minutos es decir con un promedio de una hora y cincuenta minutos. Considerando la opinión del ingeniero de planta, con este tiempo no se alcanzaría obtener una mayor rapidez en el proceso de calentamiento. Como consecuencia a que las dimensiones del calentador no cumplen con las especificaciones requeridas para obtener un mayor almacenamiento y distribución de líquido, por consiguiente se produciría el llamado “cuello de botella productivo”, Puesto a que

la etapa de calentamiento no provee la capacidad para lograr conseguir un mejor desempeño de productividad en la empresa.

Es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros técnicos para obtener una efectividad en el rediseño del sistema de calentamiento:

- Ambiente de instalación/ Lugar
- Dimensiones máximas del tanque
- Tipo de fluido a calentar (detallar sus características)
- Temperatura de funcionamiento

5.4. NUEVA CONFIGURACIÓN PARA EL ALMACENAMIENTO.

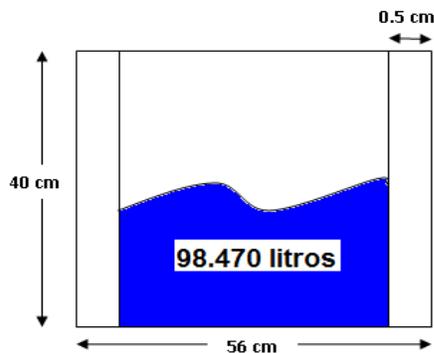
En primera instancia se propuso hacer un rediseño para el almacenamiento de las sustancias líquidas en la empresa, modificando las dimensiones del tanque en donde se es almacenado el líquido, con el objetivo de acumular la mayor cantidad de líquido posible, para así obtener un mejor desempeño de productividad e incrementar la operación diaria de la empresa, que en el caso de ellos es muy pobre y ineficiente.

Teniendo en cuenta todo el conjunto de operaciones de calentamiento, las condiciones del control de temperatura, el tiempo de permanencia, la velocidad de ejecución del proceso, presión y tomando como referencia los datos adquiridos en el estudio previo del sistema, se pudo intervenir y llegar a plantear las dimensiones deseadas logrando obtener las especificaciones y características del nuevo rediseño, planteado al ingeniero de planta y el gerente de la empresa.

Con este rediseño se desea alcanzar un alto nivel de productividad y mejorar el estado económico de la empresa, en los cuales se realizó mucho énfasis, siendo esto para ellos las causas más relevantes para modificar, claro está sin descuidar la seguridad e impacto ambiental.

El recipiente de almacenamiento de forma cilíndrica actualmente posee las siguientes dimensiones; tiene una altura de 40cm, con diámetro de 56cm y un espesor de 0.5cm, teniendo una capacidad o volumen de 98470.4 cm³ en donde se pueden almacenar 98.470 litros.

Figura 19. Dimensiones del tanque actual



Fuente: creado por los autores en la herramienta de dibujo de Windows Paint.

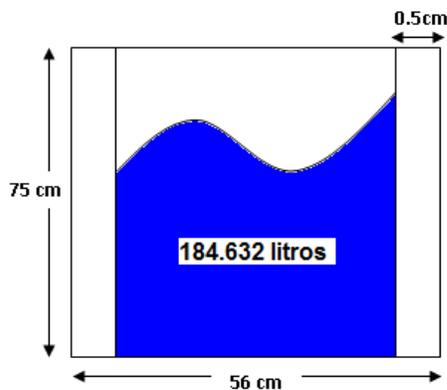
Teniendo presente lo anterior se deduce que para optimizar el desempeño de productividad e incrementar la operación diaria de la empresa, se debe diseñar un depósito con más de 35cm de altura de lo normal, manteniendo el valor del diámetro y espesor los cuales pueden observarlo en la figura. Debido al aumento en la altura se producirán cambios en las dimensiones del sistema de almacenamiento, con el fin de incrementar un 87.5% más de volumen del tanque, el cual es producto del área de la base "A_b" por la altura del cilindro "h". Consiguiendo con esto, almacenar una mayor cantidad de litros para lograr acelerar el proceso de reacondicionamiento de los tanques.

Se valoro que las dimensiones del nuevo diseño del sistema de almacenamiento tendrían una altura de 75cm, 35cm más que la altura anterior, la cual era de 40cm.

Comentado [M5]: CUAL FIGURA

conservando su diámetro de 56cm e espesor de 0.5cm. Alcanzando un volumen final de 184632cm^3 , llegando a tener una capacidad de 184.632 litros, 0.875 veces más cavidad que el otro, es decir tiene un 87.5% de almacenamiento adicional.

Figura 20. Dimensiones del nuevo tanque



Fuente: creado por los autores en la herramienta de dibujo de Windows Paint.

5.4.1. Selección del material para la elaboración del tanque. Se pretende dar a conocer los criterios vigentes y establecidos que forman parte de los componentes de los aceros inoxidable, con ello todas las partes y fundamentos que componen estos materiales que por sus aplicaciones y compuestos se hacen indispensables en los procesos industriales, por sus características que emplean específicamente en algunos campos de la industria mundial. Para poder realizar una buena selección del material para el diseño del tanque, se debe conocer claramente las diferentes variantes que tienen los aceros inoxidables, debido a su estructura química interna.

Es necesario tener presente las propiedades principales de los aceros inoxidables tales como:

La fusibilidad que es la facilidad de poder dar forma a los metales, con la forjabilidad identificamos la capacidad para poder soportar las variaciones de formas sea en estado sólido o caliente, por la acción de martillos, laminadoras o prensa, gracias a la maleabilidad se accede a modificar su forma con temperatura ambiente en laminas, mediante la acción de martillado y estirado, la ductilidad es la capacidad de poder alargarse longitudinalmente el material, en la tenacidad se es sometido a tensión el material logrando identificar el tiempo en que resiste el material al romperse o tener una ruptura, utilizando herramientas cortantes, se tiene una facilidad de corte, consiguiendo fraccionar mucho mejor el material, en la propiedad de soldabilidad podemos unir y construir un cuerpo único, con respecto a la oxidabilidad tenemos una forma de medir la cantidad de materia orgánica total ya sea natural, artificial, biodegradable o no y que consume el oxígeno disuelto en el agua.¹⁷

La razón principal para la existencia del acero inoxidable es su resistencia a la corrosión. El cromo es el principal elemento aislante y el acero inoxidable debe contener por lo menos 11% de cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasiva, extremadamente delgada, continua y estable¹⁸.

Teniendo en cuenta las diferentes propiedades que presentan los aceros inoxidables se elige el acero 316L, que es un acero inoxidable aleado con Molibdeno, mucho más resistente a la corrosión que otros aceros al Cromo - Níquel, lo que le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidantes y a la corrosión por picado. Es conocido como acero quirúrgico y es ampliamente utilizado en la industria farmacéutica. Muy resistente a la corrosión química y atmosférica. Su bajo contenido de carbono hace aumentar la temperatura de

¹⁷ Universidad Tecnológica de Pereira, Propiedades de los metales[en línea] [citado en 6 octubre de 2013] Disponible en internet: < <http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm>>

¹⁸ Universidad Nacional de San Marcos, Revista del instituto de investigación de la facultad de geología, minas, metalurgia, y ciencias geográficas. [en línea] [citado en 6 octubre de 2013] Disponible en internet: < http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n3/aplicaciones.htm>

resistencia a la corrosión intracristalina hasta los 400° C, además de mejorar su soldabilidad¹⁹.

Se utilizan estos aceros para aplicaciones tales como:

- Condensadores
- Intercambiadores de Calor
- Filtros
- Recipientes a presión
- Válvulas
- Bridas y Conexiones

Se pueden encontrar en los siguientes sectores industriales:

- Industria de las bebidas
- Industria química
- Procesamiento de Alimentos
- Equipos marinos
- Petroquímica
- Farmacéutico²⁰

5.5. SISTEMA DE CALENTAMIENTO FOTOVOLTAICO.

La energía solar en la actualidad es uno de los métodos más transparentes para la generación de energía, teniendo en cuenta lo anterior se utilizaran paneles solares como fuente de generación de energía, los cuales son uno de los procedimientos más conocidos que se pueden emplear para convertir la energía solar en energía

¹⁹Metaza, Acero 316L [en línea] [citado en 9 octubre de 2013] Disponible en internet: <<http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/acero-inoxidable/316l>>

²⁰ Brown McFarlane, Aceros inoxidables tipo 316 y 316L [en línea] [citado en 9 octubre de 2013] Disponible en internet: <<http://www.brownmac.com/products/stainless-steel-plate/316-and-316l-spanish.aspx>>

eléctrica, mediante células fotovoltaicas, las cuales son hechas de silicio cristalino, que a su vez no ocasionan peligros para el medio ambiente, anulando en su totalidad el calentamiento, el impacto ambiental y mejorando la seguridad industrial de los trabajadores de la empresa mundial de tambores de barranquilla²¹.

Se sabe que la empresa cuenta con un proceso altamente ineficiente y tóxico que a su vez crea peligros tanto en el impacto ambiental como al instante de manipular la sustancia que se utiliza para limpiar los tambores para su reacondicionamiento, ya que el calor es generado por medio de un sistema de combustión en el que se manipula maderas y materiales similares como combustible, teniendo como resultados la generación de gases contaminantes que afectan en primera instancia el medio ambiente y segundo la seguridad de cada uno de los trabajadores, esto debido a que la fuente de energía para lograr el calor para el calentamiento de dicha sustancia resulta de la cremación de la madera.

La gracia de Dios nos brinda una gran estrella la cual es la fuente de energía que hace posible que disfrutemos de esta vida en este planeta, además el movimiento y la existencia de cada uno de los ciclos naturales que tenemos, que para nosotros en este caso va resultar inacabable. El Sol produce reacciones nucleares liberando una sorprendente cantidad de potencia (aproximadamente 389×10^{24} W), la cual es generada por la fusión de dos átomos de hidrógeno. Dicha energía, es inagotable y viaja hasta llegar a la superficie terrestre en forma de radiación²².

Teniendo en cuenta que un panel solar aislado no produce la suficiente potencia y que su rendimiento solo es del 40%, se dará solución a este problema de la ineficiencia de potencia producido por cada panel, agrupando mayor número de paneles que funcionen conjuntamente para producir un mayor número de energía.

Si toda esa energía emitida por el sol pudiera ser aprovechada y no se dejara perder tanto, bastaría solo de media hora de un día para satisfacer la demanda

²¹Miguel Sánchez Maza, Energía solar fotovoltaica, pág. 9

²²Eneco, Energía Solar Fotovoltaica [en línea] [citado en 13 octubre de 2013] Disponible en internet: <http://www.eneco-ic.com/soluciones_energeticas/energias_renovables.html>

energética mundial durante todo un año. Los paneles solares no son tan económicos. Además están fabricados con materiales sensibles y frágiles como los semiconductores, cristales, los cuales requieren de un constante mantenimiento, los módulos fotovoltaicos están desarrollados para tener una vida útil de 25 años²³.

En la utilización de los sistemas fotovoltaico vale resaltar que la energía solar da como resultado una disminución de emisiones de CO₂, mejorando la calidad de vida del personal de la empresa, anulando rotundamente el gran deterioro del impacto ambiental en la ciudad debido al mal uso en la etapa de calentamiento por la empresa, cumpliendo con una mejor eficiencia en el área de productividad, aumentando la parte económica de la empresa (relación costo - beneficio), consiguiendo así que se satisfagan las necesidades planteadas por el gerente de la empresa y el ingeniero de la planta.

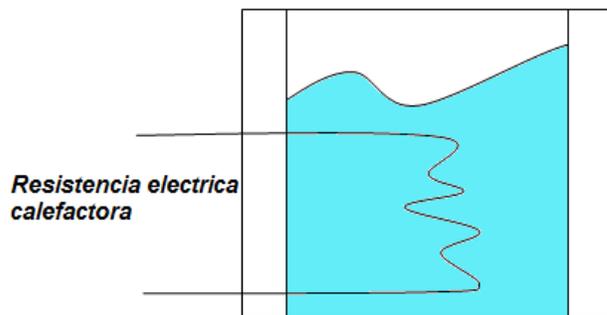
5.5.1. Aporte de calor al sistema. En la empresa mundial de tambores cuentan con un sistema de calentamiento el cual se realiza con la combustión de la quema de madera o materiales similares que son utilizados como combustibles, logrando como resultado gases contaminantes que ocasionan riesgos ambientales y peligros al momento de operar con los trozos de maderas encendidos como se menciono anteriormente, en el que operarios manifiestan dificultad al momento de la manipulación.

No obstante, a esta problemática se desea modificar el sistema de aporte de calor, para así lograr tener una mejora en el tiempo de calentamiento y anular el impacto ambiental generado por el mal uso que se puede observar en esta etapa del proceso, a su vez minimizar los riesgos operativos. Todo esto con la finalidad de

²³Miguel Sánchez Maza, Energía solar fotovoltaica, pág. 9

mejorar el rendimiento en la empresa logrando su máximo potencial en todas las etapas del proceso de reacondicionamiento de los tambores, en el cual se utilizara una resistencia eléctrica calefactora como método de calentamiento, la cual convierten la energía eléctrica en calor, la cual será utilizada para el calentamiento de sustancias líquidas, Además este tipo de resistencia garantiza un óptimo intercambio térmico, manteniendo la temperatura deseada de los permanentes volúmenes de fluidos manejados.

Figura 21. Nuevo modelo de calentamiento por medio de una resistencia eléctrica.



Fuente: creado por los autores en la herramienta de dibujo de Windows Paint.

Las resistencias eléctricas calefactoras tienen innumerables formas en la que permiten aseguir la instalación, en el caso de nosotros se utilizara la resistencia en forma de espiral, inmersa en el fondo del tanque encontrándose en contacto directo con el fluido, alcanzando un eficiente rendimiento energético considerando que todo el calor se generara dentro del líquido. Las resistencias cuentan con

varias opciones para el acoplamiento al depósito, pero en nuestro caso el acoplamiento de la resistencia al tanque será mediante un tapón roscado²⁴.

La gran mayoría de las resistencias calefactoras son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%), la cual lleva una separación en la que es seleccionada según el medio en el que se vaya a implementar, en el caso de nosotros se utilizara soda caustica liquida que es una sustancia altamente reactiva, se calienta naturalmente apenas se pone en contacto con la humedad, es corrosiva, ataca metales y aleaciones como el zinc, aluminio, cobre, plomo, bronce y latón, teniendo en cuenta lo relacionado anteriormente se es necesario utilizar acero inoxidable para sustancias corrosivas, ya que lo protege indefinidamente contra todos los tipos de corrosión.²⁵

Debido a que se utilizara una resistencia eléctrica calefactora como método de calentamiento se realizaron una serie de cálculos.

5.5.2. Calculo de resistencia calorífica.

Con el propósito de calcular la resistencia eléctrica que permita calentar la solución de soda caustica y agua a temperatura deseada, se ha realizado el cálculo en donde se determina la potencia nominal que esta debe tener.

Este cálculo requiere considerar las pérdidas que se presentan en el sistema, que en este caso son producidas por la transferencia de calor del interior del sistema

²⁴ Electricfor, Resistencia para inmersión.[en línea] [citado en 1 noviembre de 2013] Disponible en internet: < <http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>>

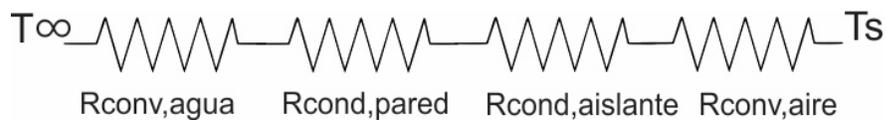
²⁵Ramón Palla Areny, Adquisición y distribución de señales,pág. 84

hacia su exterior, debido al cambio de temperatura que hay en el calentador y la temperatura ambiente.

Este tipo de problemas se resuelven, mediante la introducción de resistencias de resistencia térmica, de manera análoga a los problemas de circuitos eléctricos.

En este caso se aprecian resistencia térmica por convección en el agua y el aire, debido a que interactúan naturalmente con el fluido, y Resistencia térmicas por conducción en la pared y en el aislante, debido al contacto que estos realizan con el fluido²⁶.

Figura 22. Resistencias térmicas presentes en el calentamiento.



Fuente: Creada por el autor en la herramienta computacional Corel Draw X6.

En todo lo largo de el cálculo se considera como temperatura presente en el interior del fluido 100° y como temperatura ambiente 27° , representado cada una la temperatura dentro del proceso y fuera del proceso.

²⁶Yunos A Cengel , Transferencia de calor y masa,pág. 17

- **RConvección, agua**

$$Tf = \frac{Ts + T\infty}{2}$$

$$Tf = \frac{27^{\circ}\text{C} + 100}{2} = 63.5^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del agua a temperatura de película:

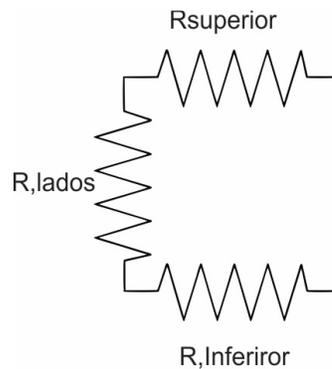
K= Conductividad térmica, U= Viscosidad cinemática, Pr= Numero de prandtl

β = Coeficiente de expansión volumétrica.

$$K = 0.6575 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \quad U = 0.4526 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Pr} = 2.822 \quad \beta = 0.5387 \times 10^{-3}$$

El largo del tanque en este caso va ha ser considerado como la altura del cilindro.

Figura 23. Arreglo de resistencia que representan la resistencia por convección del agua.



Fuente: Creada por el autor en la herramienta computacional Corel Draw X6.

R, lados del cilindro

$L_c = L = 0.75 \text{ m}$

Calculo del número de Grashof.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$
$$Gr = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.5387 \times 10^{-3} \times (100 - 27) \times (0.75 \text{ m})^2}{(0.4526 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2}$$
$$Gr = 7.9449 \times 10^{11}$$

Un cilindro vertical puede ser tratado como una placa vertical cuando

$$D (= 0.4 \text{ m}) \geq \frac{35l}{Gr^{\frac{1}{4}}}$$
$$\frac{35(0.75)}{(7.9449 \times 10^{11})^{\frac{1}{4}}} = 0.0278$$

Lo que satisface la ecuación, es decir que la relación del número de Nusselt para una placa vertical puede ser usada para la superficie lateral. Para la superficie superior e inferior se puede usar la relación del número de Nusselt relevante.

Numero de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

Numero de Rayleigh = Numero de Grashof x Numero de Prandtl

$$Ra = 7.9449 \times 10^{11} \times 2.822 = 2.2420 \times 10^{12}$$

Numero de Nusselt

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{5}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2 Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 (2.2420 \times 10^{12})^{\frac{1}{5}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{2.822} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

$$= 1690.7032$$

$$h = \frac{k}{l} Nu h = \left(\frac{0.6575 \frac{W}{m^2 \cdot C}}{0.75m} \right) 1690.7032 = 1482.1831 \text{ W/m}^2 \cdot C$$

Parte superior del cilindro.

$$Lc = \frac{As}{p} = \frac{\pi d^2 / 4}{\pi D} = \frac{D}{4} Lc = \frac{0.565m}{4} = 0.1425$$

Numero de Rayleigh

$$Ra = \frac{g \beta (T_s - T_{\infty}) Lc^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.5387 \times 10^{-3} \times (100 - 27) \times (0.1425m)^3}{(0.4526 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})^2} \times 2.822 = 1.5378 \times 10^{10}$$

Numero de Nusselt

$$Nu = 0.54 \left(Ra^{\frac{1}{4}} \right), Nu = 0.54 \left((1.5378 \times 10^{10})^{\frac{1}{4}} \right) = 190.1598 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h = \frac{k}{l} Nu, h = \left(\frac{0.6575 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.1425 m} \right) \times 190.1598 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}, h = 877.4039 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Parte inferior del tanque.

$$Nu = 0.27 \left(Ra^{\frac{1}{4}} \right), Nu = 0.27 \left((1.5378 \times 10^{10})^{\frac{1}{4}} \right) = 95.0799$$

$$h = \frac{k}{l} Nu, h = \left(\frac{0.6575 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.1425 m} \right) \times 95.0799 = 438.7019 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_1 = \frac{R_{superior} * R_{inferior}}{R_{superior} + R_{inferior}}$$

$$h_1 = \frac{877.4039 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 438.7019 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}{877.4039 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 438.7019 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} = 292.4679 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_{total} = 1482.1831 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 292.4679 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 1774.6510 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R_{conv, agua} = \frac{1}{hA}$$

$$R_{conv, agua} = \frac{1}{1774.6510 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \times 0.9858 \text{ m}^2} = 5.7160 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- **Rconducción, Pared**

Calculado para un acero 316l

$$R_{cond, Pared} = \frac{r_2 - r_1}{4\pi k r_1 r_2}$$

$$R_{cond, Pared} = \frac{(0.2825 - 0.28) \text{ m}}{4\pi (15 \text{ W/m}) (0.2825 \text{ m}) (0.28 \text{ m})}, R_{cond, Pared} = 1.6767 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

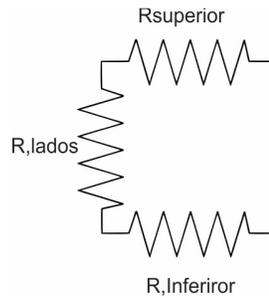
- **Rconductor, Aislante**

Calculado para el aislante poliestireno expandido.

$$R_{cond, Aislante} = \frac{L}{K}, R_{cond, Aislante} = \frac{0.05 \text{ m}}{0.034 \text{ }^\circ\text{C/W}} = 1.4705 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- **RConvección, aire**

Figura 24. . Arreglo de resistencia que representan la resistencia por convección del aire.



Fuente: Creada por el autor en la herramienta computacional Corel Draw X6.

$$Tf = \frac{Ts + T\infty}{2}$$

$$Tf = \frac{27^{\circ}c + 100}{2} = 63.5^{\circ}c$$

Propiedades del aire a temperatura de película:

K= Conductividad térmica, U= Viscosidad cinemática, Pr= Numero de prandtl

β = Coeficiente de expansión volumétrica.

$$K = 0.02833 \frac{w}{m^{\circ}c} \quad U = 1.9306 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr = 0.7193 \quad \beta = \frac{1}{Tf} = \frac{1}{(65.5 + 273)K} = \frac{1}{338.5K}$$

Rlados, cilindro

Análisis: El largo del tanque en este caso va ha ser considerado como la altura del Cilindro.

$L_c=L=0.75\text{ m}$

Calculo del número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$
$$Gr = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times \frac{1}{338.5K} \times (100 - 27) \times (0.75m)^3}{(1.9306 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})^2} = 2.3945 \times 10^{11}$$

Un cilindro vertical puede ser tratado como una placa vertical cuando $D(= 0.4m) \geq$

$$\frac{35l}{Gr^{\frac{1}{4}}}$$

$$\frac{35(0.75)}{(2.3945 \times 10^{11})^{\frac{1}{4}}} = 0.0160$$

Lo que satisface la ecuación, es decir que la relación del número de Nusselt para una placa vertical puede ser usada para la superficie lateral.

Para la superficie superior y inferior se puede usar la relación del número de Nusselt relevante.

Numero de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

Numero de Rayleigh= Numero de Grashof x Numero de Prandtl

$$Ra = 2.3945 \times 10^{11} \times 0.7193 = 1.7223 \times 10^{11}$$

Numero de Nusselt

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387(1.7223 \times 10^{11})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.7193} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2 = 627.3644$$

$$h = \frac{k}{l} Nu$$

$$h = \left(\frac{0.02833 \frac{W}{m^2 \cdot C}}{0.75m} \right) 627.3644 = 19.4901 \text{ W/m}^2 \cdot C$$

Parte superior

$$Lc = \frac{As}{p} = \frac{\pi d^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4}, Lc = \frac{0.565m}{4} = 0.1425m$$

Numero de Rayleigh

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T^\infty)Lc^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times \frac{1}{338.5K} \times (100 - 27) \times (0.1425m)^3}{(1.9306 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})^2} \times 0.7193 = 1.1814 \times 10^9$$

Numero de Nusselt

$$Nu = 0.54 \left(Ra^{\frac{1}{4}} \right), Nu = 0.54(1.1814 \times 10^9)^{\frac{1}{4}} = 100.1135$$

$$h = \frac{k}{l} Nu, h = \left(\frac{0.02833 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.1425m} \right) \times 100.1135 = 17.7747 W/m^2^{\circ}C$$

Parte inferior del cilindro.

$$Nu = 0.27 \left(Ra^{\frac{1}{4}} \right), Nu = 0.27(1.1814 \times 10^9)^{\frac{1}{4}} = 50.0567$$

$$h = \frac{k}{l} Nu, h = \left(\frac{0.02833 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.1425m} \right) \times 50.0567 = 9.9516 W/m^2^{\circ}C$$

$$h_1 = \frac{R_{superior} \cdot R_{inferior}}{R_{superior} + R_{inferior}}$$

$$h_1 = \frac{17.7747 W/m^2^{\circ}C \times 9.9516 W/m^2^{\circ}C}{17.7747 W/m^2^{\circ}C + 9.9516 W/m^2^{\circ}C} = 6.3797 W/m^2^{\circ}C$$

$$h_{total} = 19.4901 W/m^2^{\circ}C + 6.3797 W/m^2^{\circ}C = 25.8698 W/m^2^{\circ}C$$

$$R_{conv, agua} = \frac{1}{hA}$$

$$R_{conv, aire} = \frac{1}{25.8698 W/m^2^{\circ}C \times 0.9858m^2} = 0.0392 ^{\circ}C/W$$

$$R_{total} = R_{agua} + R_{recipiente} + R_{aislante} + R_{aire} + R_{aire}$$

$$R_{total} = 5.7160 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W} + 1.4705 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W} + 1.4705 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W} + 0.0392 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{total} = 8.6962 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\dot{Q} = \frac{(T_s - T^\infty)}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{\begin{pmatrix} 100 \\ -27 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C}}{8.6962 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}} = 8.3944 \text{ KJ}/\text{s} = 8.3944 \text{ kW}$$

Lo que representa las pérdidas de calor del sistema hacia el exterior. Después de haber realizado el cálculo de pérdidas presentes en el sistema, se calculó la potencia nominal de la resistencia que cumpla con las necesidades de calentamiento del sistema.

$$Entalpia = h_{27} = 294 \text{ k} = 558.4132$$

$$Entalpia = h_{100} = 373 \text{ k} = 593.8924$$

Tomando el contenido del tanque como sistema, se determina que es un sistema cerrado ya que no entra ni sale masa en el proceso.

Balace de energía

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

$$Q - W + \sum Mehe - \sum m1h1 = \Delta V$$

$$Q - W_e = \Delta V$$

$$W_e - Q_{out} - W_{s, out} = \Delta V$$

$$W_e = m(h_2 - h_1) + Q_{out}$$

$$W_e = 184.632 \text{ kg}(593.8924 - 558.4132) \text{ kJ/kg} + 8.3844 \text{ KJ}$$

$$W_e = 6558.98 \text{ KJ}$$

$$\dot{W}_e = \frac{W_e}{\Delta t} = \frac{6558.98 \text{ KJ}}{60 \times 60 \text{ segundos}} = 1.8219 \text{ Kw}$$

Teniendo presente las pérdidas presentes en el sistema y el balance de energía se calcula la resistencia nominal para una velocidad de calentamiento de 60, 45 y 60 minutos.

$$\dot{W}_e = \frac{W_e}{\Delta t} = \frac{6558.98 \text{ KJ}}{45 \times 60 \text{ segundos}} = 2.4292 \text{ Kw}$$

$$\dot{W}_e = \frac{W_e}{\Delta t} = \frac{3502.0354 \text{ KJ}}{30 \times 60 \text{ segundos}} = 3.6438 \text{ Kw}$$

5.5.3. Cálculo de la demanda energética. El cálculo de la demanda energética se realiza partiendo de la potencia nominal de consumo de la resistencia calorífica y el controlador, en donde se calcula la potencia consumida diaria y mensual teniendo en cuenta las pérdidas que se pueden producir por el regulador.



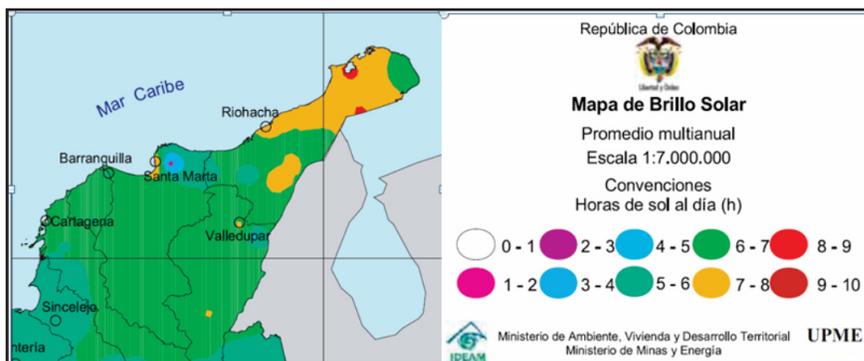
Tabla 5. Calculo de la demanda de consumo en CC.

CALCULO DE LA DEMANDA DE CONSUMO EN CC			
MES			
Equipo	Potencia Pcc(W)	Tiempo de utilización Horas/día	Consumo diario Ecc(Wh/día)
Resistencia Calorífica	1821.9388	10	18219.3888
Controlador Autronics TK4L	4.8	10	48
Consumo total continua Ecc(Wh/día)			18267.3888
Rendimiento regulador η_{reg}			0.95
Consumo total continua con perdidas Ecc/ η_{reg}			19228.8305
VALORES TOTALES			
Consumo total diario Ed(Wh/día)			19228.8305
Utilización mensual, días/mes			24
Consumo total mensual Em (Wh/mes)			461491.9366

Fuente: Autor

5.5.3.1. Aporte solar. El aporte solar evalúa el recurso y potencial de energía de una región el cual se realiza en un estudio basándose en los valores de radiación solar y velocidad del viento en un territorio determinado. Uno de los más reciente estudios de esta índole fue realizado en Colombia en el año 2005 por la Unidad de Planeación Minero Energética, en asocio con el Instituto de Estudios Medio Ambientales-IDEAM. En este estudio se presentan los valores de recursos energéticos solares promedio por cada mes del año y un promedio anual los cuales fueron utilizados en este proyecto para realizar la evaluación del aporte energético en el departamento del atlántico, más exactamente en el municipio de malambo en donde es planeado implementar este sistema. ²⁷

Figura 25. Mapa de brillo solar promedio en la región Caribe.



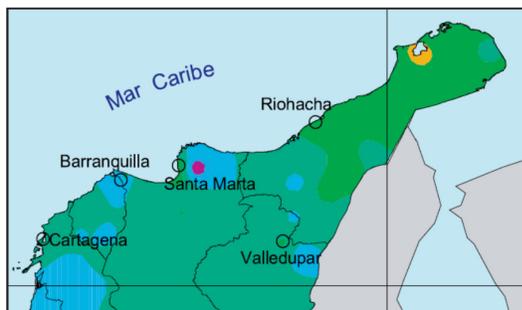
Fuente: Disponible en, <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/3-BrilloSolar.pdf>

Con el propósito de realizar la energía solar fotovoltaica que puede producirse diariamente, hubo que tener en cuenta las horas diarias en la región con una

²⁷ Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios ambientales de Colombia(IDEAM) [en línea] [citado en 13 Noviembre de 2013] Disponible en internet: <<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/1-Preliminares.pdf>>

radiación de $1.000W/m^2$ equivalen a la radiación diaria total. El concepto anterior es conocido como horas de pico solar, las cuales representan la irradiación solar y definen el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de $1.000W/m^2$.

Figura 26. Mapa de brillo solar para el mes de octubre en la región Caribe.



Fuente: Disponible en,

<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/3-BrilloSolar.pdf>

Según la figura x se ha considerado que el municipio de malambo ubicado en la zona metropolitana de barranquilla tiene un promedio anual de horas pico solar de $5Wh/m^2 - 6Wh/m^2$ pero en orden de dimensionar la instalación eléctrica en meses desfavorables, se considero el número de horas pico solares promedio mensuales en el país en donde se encontró que el mes más desfavorable para la captación de energía solar es el mes de octubre con un promedio de $3Wh/m^2 - 4Wh/m^2$, lo cual se considera apropiado debido a la temporada invernal que golpea a esta zona del país en esta parte del año. Con el propósito de calcular la demanda para meses desfavorables se toma el valor de $3Wh/m^2$ con el fin de mantener el

servicio previsto en todo momento, cuando el aporte solar es menor al promedio de otros meses del año.

5.5.3.2. Potencia del generador. Teniendo en cuenta que ya se ha calculado cuánto va a ser el gasto mensual energético consumido por el sistema de calentamiento y que se conoce el aporte solar que se dispone, se calcula la potencia del campo generador necesaria para cumplir con la demanda energética del proceso de calentamiento de la solución de agua y soda caustica.

Con el objetivo de suministrar la cantidad de energía solicitada por el sistema para su óptimo funcionamiento, garantizando el abastecimiento durante el periodo más desfavorable, el periodo de cálculo considerado es el mes más desfavorable del periodo de uso. Este cociente suele representarse en una tabla en la que se compara para cada mes el consumo medio diario (E_d) con la energía media diaria aportada ($R\beta$). La instalación se dimensionara para el mes en que el cociente ($R\beta/E_d$) resulte más bajo. Se obtiene así el are de captación teórica, considerando el rendimiento igual a 1. La instalación mínima precisa para la instalación será la correspondiente a la inclinación óptima que resulta de elegir el valor mínimo entre los máximos de cada inclinación. Se determina de esta manera la inclinación óptima y el periódico crítico.

En principio, con este tipo de instalaciones pretenderá cubrirse toda la demanda planteada, por lo que se procederá igualando la energía media diaria generada con energía media diaria consumida.

Tabla 6. Obtención de mes desfavorable.

OBTENCION DEL MES DESFAVORABLE			
Mes	Energía Disponible $R\beta(kWh/m^2\ dia)$	Consumo de energía $Ed(kWh/m^2\ dia)$	Cociente $R\beta/Ed$
Enero	7	19.2288	0.3640
Febrero	7	19.2288	0.3640
Marzo	6	19.2288	0.3120
Abril	6	19.2288	0.3120
Mayo	5	19.2288	0.2600
Junio	5	19.2288	0.2600
Julio	6	19.2288	0.3120
Agosto	5	19.2288	0.2600
Septiembre	4	19.2288	0.2080
Octubre	4	19.2288	0.2080
Noviembre	6	19.2288	0.3120
Diciembre	7	19.2288	0.3640
MES DE DISEÑO :		Septiembre, Octubre	

Fuente: Sánchez Maza, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica. Limusa. 2010. 162 p.

Teniendo determinados la inclinación óptima y el periodo crítico, y conociendo $HPS\beta$ (Horas pico Solares) y Ed . (Consumo de electricidad $kWh/m^2\ dia$) se procede a dimensionado del generador fotovoltaico.

$$P_{p\text{generados}} = \frac{Ed}{\eta_{\text{panel}} \cdot HPS\beta}$$

$$P_{p\text{generados}} = \frac{1.9222 \text{ Wh/m}^2 \text{ dia}}{0.85 \times 3 \text{ Wh/m}^2 \text{ dia}}$$

$$P_{p\text{generados}} = 0.7540 \text{ Kw (Potenciapico)}$$

$$P_{p\text{generador}} = \frac{Ed}{\eta_{\text{panel}} \cdot HPS\beta}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \text{Parte entera} \left(\frac{P_{p\text{generador}}}{P_{p\text{panel}}} \right)$$

$P_{p\text{generador}}$ = potenciapico del campode paneles fotovoltaico.

$P_{p\text{panel}}$ = potenciapico del panel fotovoltaico en Kw (en CEM)

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \text{Parte entera} \left(\frac{1.9222 \text{ Kw}}{0.145 \text{ kw}} \right) = 13.25$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = 14$$

5.5.3.3. Características eléctricas paneles solares.

Los paneles fotovoltaicos de 145 vatios pico contienen celdas de 156mm de silicio policristalino de alta potencia y eficiencia, su encapsulamiento se lleva a cabo con

vidrio de 4.0mm, el marco está compuesto de aluminio anodizado y la caja de distribución, cables y conectores son de marca EPIC SOLAR.

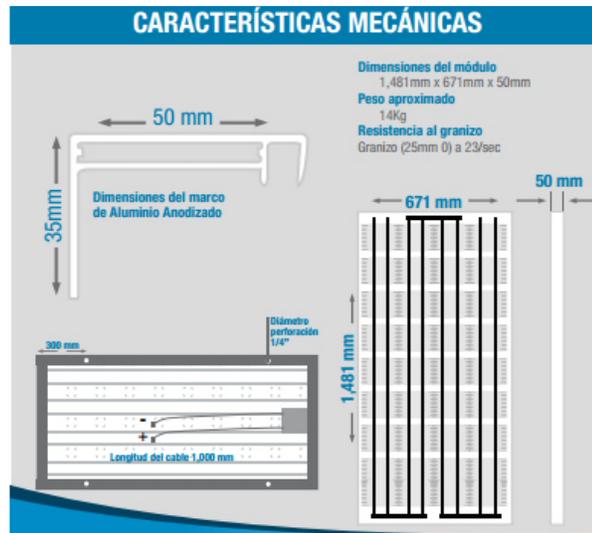
Tabla 7. Características eléctricas paneles solares

Características Eléctricas			
		Valor	Tolerancia
Potencia máxima	Pmax	145W	+/-3%
Voltaje a máxima potencia	Vmp	17.86V	+/-5%
Voltaje en circuito abierto	Voc	22.4V	+/-5%
Corriente a máxima potencia	Imp	8.15 ^a	+/-5%
Corriente en corto circuito	Isc	8.67 ^a	+/-5%
Eficiencia del panel	P%	14.6%	
Eficiencia de la celda	C%	14.8 - 17.0%	
Fusible recomendado en series (Pmax)	A	15 ^a	
Coeficiente de temperatura (Pmax)		-0.45%/°C	
Coeficiente de temperatura (Voc)		-0.34%/°C	
Coeficiente de temperatura (Isc)		+0.05%/°C	
Máximo voltaje DC del sistema		1000V	
Configuración de las celdas	14 paneles en paralelo.series		

Fuente:hybrytec energía solar, Itagüí - Antioquia by Prolego / ZERO AZUL, disponible

en,http://media.wix.com/ugd/bf5d2f_782be30b281c95bb71c49d0acffa0da.pdf

Figura 27. Características mecánicas paneles solares



Fuente:hybrytec energía solar, Itagüí - Antioquia by Prolego / ZERO AZUL, disponible

en, http://media.wix.com/ugd/bf5d2f_782be30b281c95bb71c49d0acffa0da.pdf

El número de paneles necesarios para calentar una sustancia de 184.632 litros es de 14 paneles asumiendo las pérdidas presentes en el sistema para un mes desfavorable de 3 horas picos solares. Este cálculo también se realizó para la cantidad 94.70 litros de sustancia, los cuales requieren 8 paneles para realizar el mismo proceso.

5.6. FASE 3: MODELO COMPUTACIONAL

Realizar un modelo computacional del nuevo diseño del sistema con la herramienta CAD SolidWorks y el software de cálculo técnico Matlab, con el fin de garantizar la calidad del diseño final, donde se refleja el modelo físico planteado y el modelo matemático de la nueva configuración del sistema.

A partir del modelo matemático de los sistemas térmicos se pudo hallar el modelo de la nueva configuración del sistema de almacenamiento, para así poder obtener la función de transferencia del sistema que servirá para identificar la potencia que se le es suministrada al elemento calefactor, que en nuestro caso es una resistencia eléctrica, y la diferencia de temperatura entre el agua caliente y la fría.

El sistema térmico está representado por la siguiente ecuación, el cual se considera un sistema cerrado, debido a la depreciación de flujo de masa de entrada y de salida.

$$q_{entregado} = q_h + q_p \text{ (KCal)}.$$

Donde $q_{entregado}$ es el flujo de entrada de energía calorífica, es decir la cantidad energía calorífica que va ser entregada al sistema por medio del elemento calefactor, la energía calorífica q_h es empleada para calentar el horno, q_p es la energía calorífica perdida, la cual es la cantidad de calor que se pierde en el sistema en forma de energía, debido a la diferencia de temperatura que presenta el sistema.

Considerando la resistencia térmica R como:

$$R = \frac{T_h - T_a}{q_p} \text{ (}^\circ\text{C /Kcal)}$$

Donde $T = T_h - T_a$, T_h es la temperatura del horno y T_a es la temperatura del medio ambiente, entonces poder decir que:

$$R = \frac{T}{q_p}$$

El suministro de energía calorífica q_h ocasionará un incremento en la temperatura T del horno, por consiguiente es necesario saber el valor de la capacidad térmica del horno, que correspondería a la propiedad de almacenamiento de calor en su interior, la capacidad térmica C (Kcal/°C), es una de las principales características que se deben tener en cuenta en el sistema, la Energía calorífica empleada para calentar al horno esta expresada de la siguiente manera:

$$C \frac{dT}{dt} = q_h$$

Una vez teniendo las ecuaciones dadas de q_h y q_p podemos obtener la representación de nuestro modelo matemático:

$$q_{entregado} = C \frac{dT}{dt} + \frac{1}{R} T$$

Aplicando transformada de la place la función de transferencia del sistema quedo de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{T(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1/C}{s + 1/RC}$$

La capacidad térmica específica, capacidad calorífica específica, o también llamada calor específico, representada con la letra c , se define como la cantidad

de calor necesario para elevar 1 grado de la temperatura de una masa unitaria de cierta sustancia.

c= Capacidad térmica específica del H₂O

$$@ 100^{\circ}\text{C} = 4217 \text{ J/K}_g\text{K}$$

$$@ 25^{\circ}\text{C} = 4180 \text{ J/K}_g\text{K}$$

Una vez teniendo la capacidad térmica específica de cada temperatura 25°C y 100 °C se pasa a evaluar la capacidad térmica la cual es representada con la letra C donde se definiría como la cantidad de energía en forma de calor que se necesita suministrar a un sistema para incrementar su temperatura 1°C, siendo C la capacidad térmica o también llamada capacidad calorífica, m que es la masa de la sustancia y c es la capacidad térmica específica.

$$C = m * c$$

$$C = m * (C_{H_2O@100^{\circ}\text{C}} - C_{H_2O@25^{\circ}\text{C}})$$

$$c = 37 \text{ J/K}_g\text{K}$$

$$V = 75 \text{ K}_g = 0.075 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

$$m_{H_2O@100^{\circ}\text{C}} = \rho_{H_2O@100^{\circ}\text{C}} * V$$

$$m_{H_2O@100^{\circ}\text{C}} = 957.9 \text{ K}_g * 0.075 \text{ m}^3$$

$$m_{H_2O@100^{\circ}\text{C}} = 71.842 \text{ K}_g$$

$$m_{H_2O@25^{\circ}\text{C}} = \rho_{H_2O@25^{\circ}\text{C}} * V$$

$$m_{H_2O@25^{\circ}\text{C}} = 997 \text{ K}_g * 0.075 \text{ m}^3$$

$$m_{H_2O@25^\circ C} = 74.775K_g$$

$$m_{H_2O@100^\circ C} - m_{H_2O@25^\circ C} = 2.933K_g$$

Teniendo estos datos calculados, se puede hallar la capacidad térmica del sistema reemplazando los valores correspondientes en la ecuación:

$$C = 2.933K_g \cdot 37J/K_gK$$

$$C = 108.521J/K$$

Para calcular la resistencia térmica de este sistema, se tiene en cuenta que viene dada por la relación entre el cambio de temperatura existente entre las sustancias con respecto a la energía en forma de calor producida por pérdidas en el sistema debido a esta diferencia de temperaturas, por lo cual se tiene lo siguiente:

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}}$$

Donde \dot{Q} es la energía calorífica perdida en el sistema y ΔT es la diferencia de Temperatura, por lo anterior tenemos:

$$\dot{Q} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{(100 - 25)^\circ C}{(1.5119)^\circ C/W} = 49.6064 \text{ kJ/s}$$

$$(49.6064 \text{ kJ/s}) \times \frac{1 \text{ kCal}}{4.1868 \text{ kJ}} = 11.8482 \text{ kCal/s}$$

$$R_{TH} = \frac{(100 - 25)^\circ C}{11.8482 \text{ kCal/s}} = 6.330075^\circ C \cdot s/\text{kCal}$$

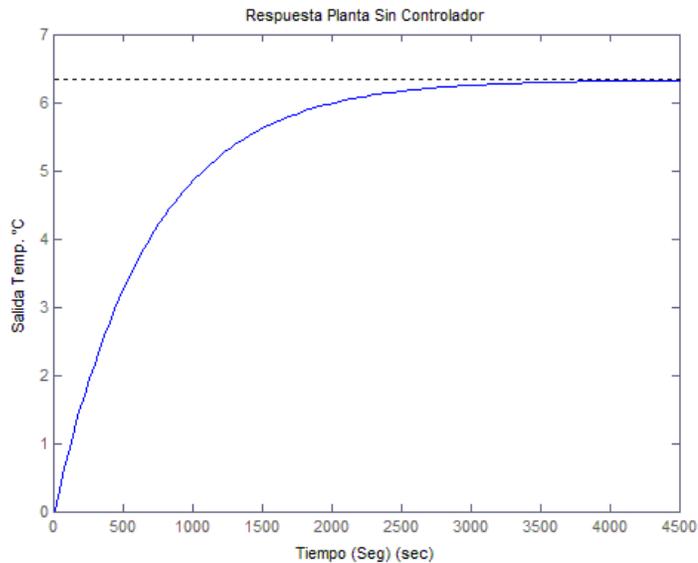
Con los cálculos de R y C mostrados anteriormente se reemplazan en la función de transferencia, por lo cual se obtuvo:

$$G(s) = \frac{T(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1/C}{s + 1/RC} = \frac{R}{RCs + 1}$$

$$G(s) = \frac{6.330075}{686.9460691s + 1}$$

La ecuación anterior representa el sistema del horno empleado en este proyecto, el cual relaciona la cantidad de energía calorífica generada por el elemento calefactor para alcanzar la temperatura deseada de trabajo. En el software MATLAB esta función de transferencia fue graficada para analizar su comportamiento entre temperatura deseada y tiempo en lazo abierto.

Figura 28. Grafica Sistema Lazo Abierto Planta



Fuente: Creado por los autores en Software MATLAB

En la figura 27 se muestra la grafica que representa el comportamiento del modelado matemático de la planta en lazo abierto, en el cual presenta un tiempo de estabilizamiento de 3600 segundos que equivale a 1 hora en que la planta se demora en alcanzar su temperatura de deseada es decir 100°C.

Con la ayuda de la herramienta SISOTOOL de MATLAB se logro diseñar un controlador PI a lazo cerrado, para poder darle la máxima precisión posible al sistema. La acción integral tiene las siguientes características:

- Reducir el amortiguamiento
- El máximo pico de sobre impulso se incrementa
- Disminuye el tiempo de elevación

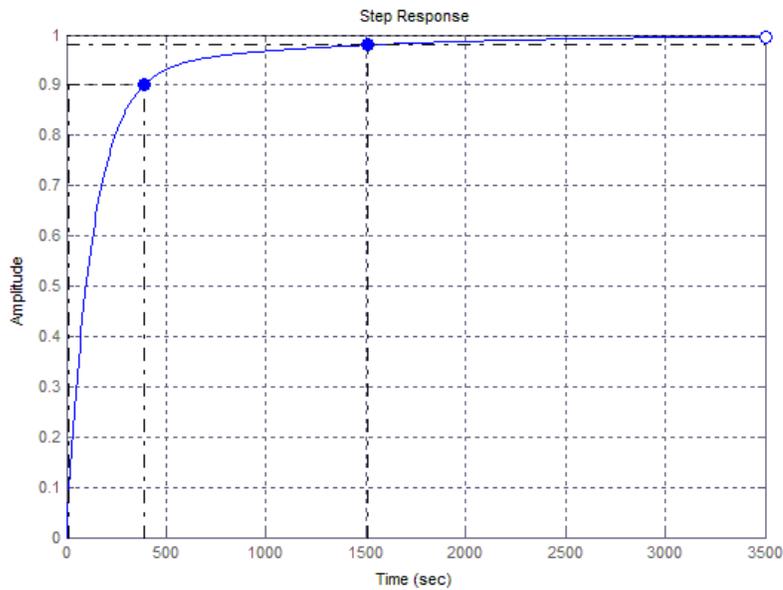
- Se mejoran los márgenes de ganancia y fases
- El tipo de sistema se incrementa en una unidad
- Mejora el error de estado estacionario

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se ingresa la función de transferencia del nuevo sistema, para así poder observar gráficamente como respondería la planta ante la acción integral que se le desea implementar. La herramienta SISOTOOL nos brinda la posibilidad de interactuar con el sistema, agregando polos o ceros al lugar geométrico de las raíces de la planta, además de eso nos permite ajustar la ganancia del sistema, para ver de qué manera responde ante el aumento o decremento de dicha ganancia por medio del diagrama de bode, estos que serían los dos métodos a analizar, para sí lograr identificar si la respuesta del sistema es estable o no.

Para diseñar el controlador PI fue necesario agregar un polo en el origen, eliminando el error en estado estacionario, reduciendo el amortiguamiento, logrando alcanzar el 1 que sería el 100% del valor final de la respuesta, en nuestro caso 100°C, alcanzando así el estado ideal del sistema.

También se agregó un cero, que puede ser ajustable en el eje real negativo del lugar geométrico de las raíces, disminuyendo el tiempo de elevación el cual es de 374 segundos que equivalen a 7 minutos, mejorando el tiempo de elevación de la planta anterior, el cual era de 1510 segundos que equivalen a 25 minutos, que representaría la mejora del tiempo requerido por el sistema controlado para que la respuesta pase del 10% al 90% de su valor final, como pueden observarlo en la gráfica que corresponde a la figura 28:

Figura 29. Grafica de la planta en lazo cerrado controlada PI



Fuente: Creado por los autores en Software MATLAB

La siguiente ecuación representa la función del controlador tipo PI:

$$Kp \left[\frac{S + (Ki/Kp)}{S} \right]$$

De la herramienta SISOTOOL de matlab obtenemos la siguiente función de controlador:

$$0.00077108 \left(\frac{1000S + 1}{S} \right)$$

Llevando la anterior ecuación a la forma de la ecuación que representa la función del controlador tipo PI, obtenemos:

$$G_c(s) = 0.77108 \left(\frac{s + 0.001}{s} \right)$$

De la cual tenemos que los valores correspondientes a K_p y K_i son 0.77108 y 0.00077108 respectivamente.

La herramienta SISOTOOL nos permite conocer además de la representación grafica de la planta controlada, la función del controlador tipo PI, en el cual fue necesario identificar el valor de la parte proporcional y de la acción integral, para que pueda ser implementado en el controlador de temperatura para el nuevo diseño del sistema de calentamiento, claro está si así lo desean tanto el gerente como el ingeniero de planta de la empresa mundial de tambores.

6. CONCLUSIONES

- Después de realizar una evaluación, comparación y un análisis entre los tipos de calentadores, se identifica que el calentador de tipo solar representa económicamente el menor gasto energético diario y al recibir su energía proveniente de los rayos del sol, es amigable al medio ambiente.
- Las horas de pico solares en temporadas invernales en esta región del país hacen prácticamente el cálculo de paneles solares requeridos para realizar el proceso de reacondicionamientos de tanques al doble, diferencia notable si se resalta que la mayoría del año en el país es verano.
- El estudio de otra fuente de energía para calentar la soda caustica está abierto para futuras investigaciones con el fin de comparar potencia velocidad en el sistema, estudio económico entre las fuentes de energía, y el impacto ambiental que éstos reflejan.
- Se logra reducir el tiempo de calentamiento de la soda caustica en el proceso de reacondicionamiento de tambores, reduciendo el impacto medio ambiental presente, y reduciendo las labores manuales con sustancias a altas temperaturas.

- Se logra demostrar que el comportamiento del modelo matemático de la planta sin controlador presenta un tiempo de estabilizamiento de 3600 segundos que equivale a 1 hora en que la planta se demora en alcanzar su temperatura deseada es decir 100°C.

- Se logra ver como en la planta controlada se disminuye el tiempo de elevación el cual es de 374 segundo que equivalen a 7 minutos, mejorando el tiempo de elevación de la planta anterior, el cual era de 1510 segundo que equivalen a 25 minutos, que representaría la mejora del tiempo requerido por el sistema controlado para que la respuesta pase del 10% al 90% de su valor.

- Mediante la implementación de un controlador PI a lazo cerrado, obtuvimos la máxima precisión posible al sistema. Observando que la acción integral Redujo el amortiguamiento y elimino el error en estado estacionario, con lo cual se consigue que nuestro sistema alcance el valor deseado.

BIBLIOGRAFIA

Arian Control & Instrumentación, Pt100, su operación, instalación y tablas.[en línea] [citado en 25 septiembre de 2013] Disponible en internet:

< <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>>

Arian Control y instrumentación, Cuando y en que aplicaciones usar una termocupla J, Termocupla K ó Pt100? [En línea] [Citado en 12 octubre de 2013]

Disponible en internet:<<http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>>

Autonics, Serie TK [Hoja de especificaciones y manuales] [en lineal] [citado en 2 octubre de 2013] Disponible en internet:

<http://autonics.com.mx/upload/data/TK_CAT_130715.pdf>.

Autonics, Serie TK [Hoja de especificaciones y manuales] [en lineal] [citado en 2 octubre de 2013] Disponible en internet:

<<http://products.autoniconline.com/Asset/SCM-38!%20manual.pdf>

Brown McFarlane, Aceros inoxidable tipo 316 y 316L [en línea] [citado en 9 octubre de 2013] Disponible en

internet:<http://www.brownmac.com/products/stainless-steel-plate/316-and-316l-spanish.aspx>

CENGEL YUNOS A, Transferencia de calor y masa 3ra edición. México D F.:2007.

CREUS SOLE ANTONIO, "Instrumentación industrial 6ta edición. Barcelona, España.:1997. Alfaomega, Capítulo 6 página 237.

Enciclopedia Británica, Heating,[en línea] [citado en 9 junio de 2013] Disponible en internet:

<<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/258832/heating>>

Electricfor, Resistencia para inmersión.[en línea] [citado en 1 noviembre de 2013] Disponible en internet: <<http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>>

Eneco, Energía Solar Fotovoltaica [en línea] [citado en 13 octubre de 2013] Disponible en internet: <http://www.eneco-ic.com/soluciones_energeticas/energias_renovables.html>

Haceb, Calentadores de almacenamiento, [en línea] [citado en 8 junio de 2013] Disponible en internet: <http://www.haceb.com/v2_base/index.php?sub_cat=1310&page=2&debug=1&&q=MenuCalentadores&busqda=ok>

Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios ambientales de Colombia (IDEAM) [en línea] [citado en 13 Noviembre de 2013] Disponible en internet: <<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/1-Preliminares.pdf>>

Metaza, Acero 316L [en línea] [citado en 9 octubre de 2013] Disponible en internet:
<<http://www.metaza.com.co/productos-y-servicios/acero-inoxidable/316l>>

SÁNCHEZ MAZA MIGUEL, Energía solar fotovoltaica. México DF.:2010.Limusa.

National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013]
sen<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n21:17557/fmid/6681/>

National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013] <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>

National Instrument, Sensores de temperatura [en línea] [citado en 11 junio de 2013] <<http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>>

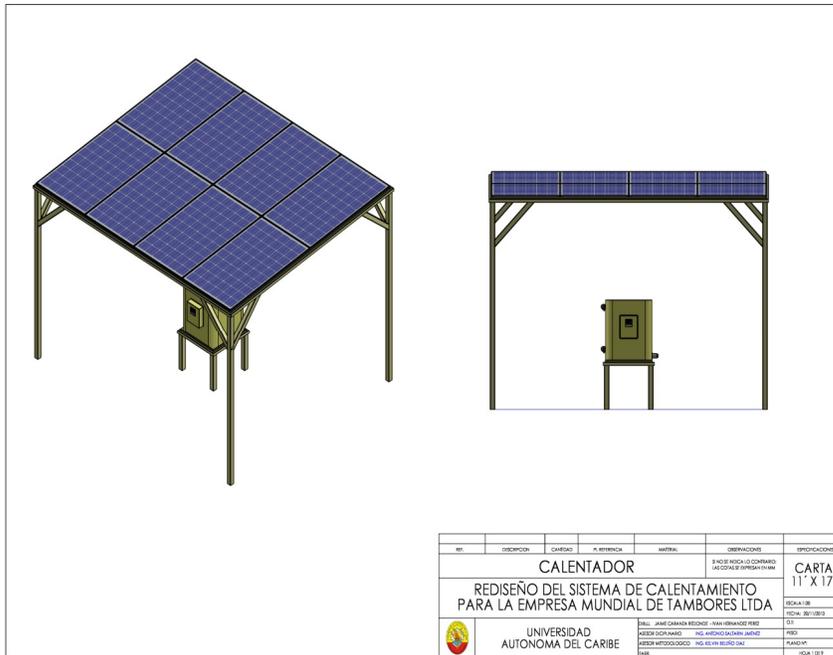
PALLAS ARENY RAMÓN, Adquisición y distribución de señales. Barcelona España.:1993. MARCOMBO

HUGH D. YOUNG-FREEDMAN ROGER A, Física Universitaria volumen 1 , Decima segunda edición, México D.F.:2009. 760 p. Pearson Education.

Universidad Nacional de San Marcos, Revista del instituto de investigación de la facultad de geología, minas, metalurgia, y ciencias geográficas. [en línea] [Citado en 6 octubre de 2013] Disponible en internet:
<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n3/aplicaciones.htm>

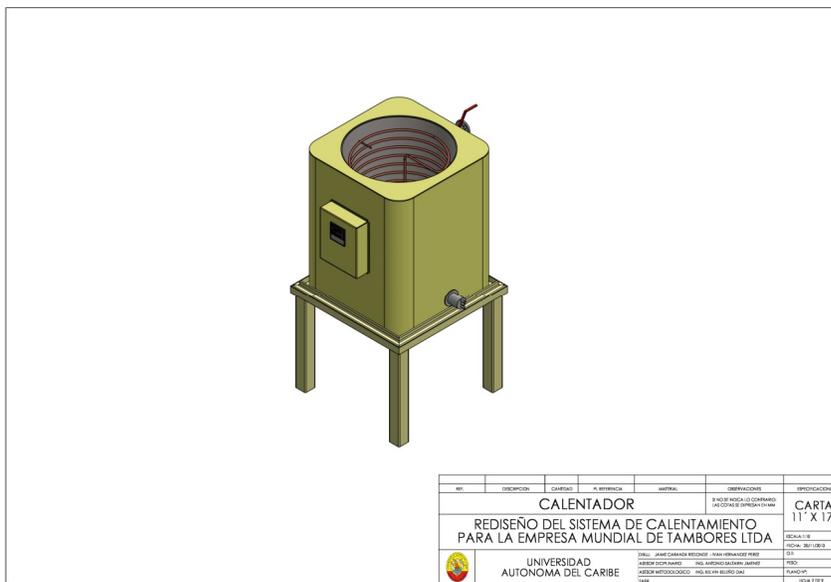
Universidad Tecnológica de Pereira, Propiedades de los metales [en línea] [citado en 6 octubre de 2013] Disponible en internet:
<<http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm>>

Anexo A. Modelo General del Rediseño



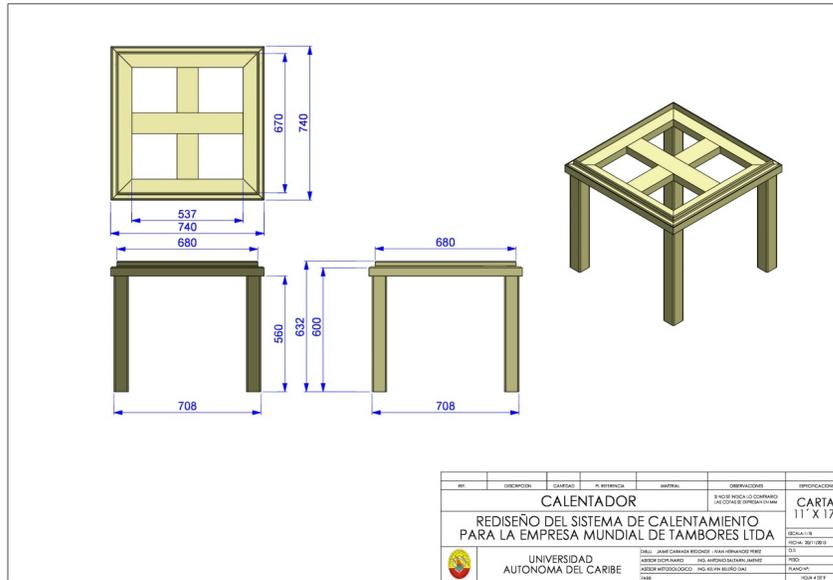
Fuente: Diseñado por los autores de esta Tesis en Software SolidWorks.

Anexo B. Diseño del Calentador



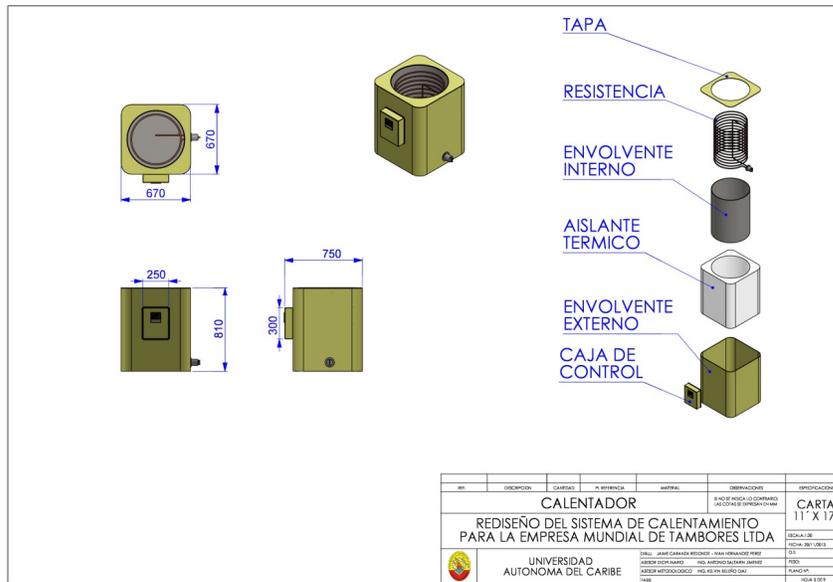
Fuente: Diseñado por los autores de esta Tesis en Software SolidWorks.

Anexo D. Medidas Base del Calentador



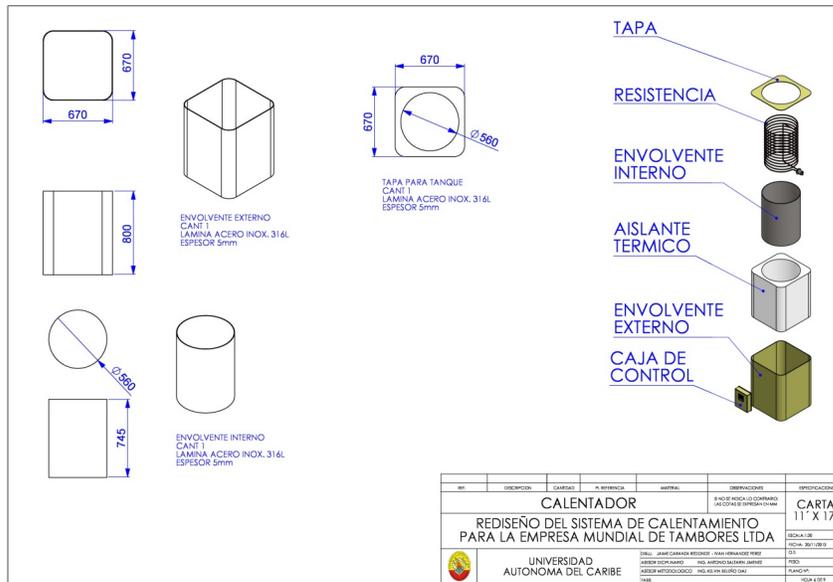
Fuente: Diseñado por los autores de esta Tesis en Software SolidWorks.

Anexo E. Medidas Parte del Calentador



Fuente: Diseñado por los autores de esta Tesis en Software SolidWorks.

Anexo F. Medidas Internas del Calentador



Fuente: Diseñado por los autores de esta Tesis en Software SolidWorks.

