



TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE ACEITE TÉRMICO PARA LA EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A

Patricio Xavier Crespo Sáenz
Carrera de Ingeniería Mecánica
ESPE
Sangolquí, Ecuador
patocrespo@hotmail.com

Esteban Sebastián Mancheno Ayala
Carrera de Ingeniería Mecánica
ESPE
Sangolquí, Ecuador
estemancheno@hotmail.com

RESUMEN - La planta de emulsiones de Chova del Ecuador S.A. ubicada en el sector del Inga, es la encargada de fabricar emulsiones asfálticas; que es una combinación de tres elementos como son: el asfalto, agua y el agente emulsificante. En el proceso productivo para la elaboración de este producto, existe un cuello de botella en el calentamiento de agua, que tarda aproximadamente 2 horas 43 minutos, para un volumen de 1000 galones, ya que se utiliza un serpentín como dispositivo de transferencia de calor, este calentamiento es ineficiente. Por tal motivo la empresa se vio en la necesidad de optimizar los tiempos de calentamiento de agua, por lo cual se ha diseñado y construido un intercambiador de calor de tubos concéntricos en contraflujo (aceite térmico – agua) con el fin de calentar el agua en un tiempo estimado de 40 minutos. Además el equipo debe ser controlado con un sistema automático de medición de temperaturas, con el objetivo de verificar el funcionamiento del dispositivo. Con esta disminución de tiempos la empresa genera un ahorro en consumo de combustible del caldero y en costos de mano de obra, además el objetivo es incrementar la capacidad de producción de planta.

Palabras claves: intercambiador de calor de tubos concéntricos, producción de solución jabonosa, tiempos de calentamiento, aceite térmico, automatización

ABSTRACT - Chova Del Ecuador S.A. asphalt emulsions plant is located at Inga sector, this plant produce asphalt emulsion which is a combination of three main elements: asphalt, water and emulsifying agent. There is a production bottleneck in this process, water heating takes too long, approximately 2 hours and 43 minutes to heat 1000 gallons, this is due to the heating method employed, which is a heating oil coil located at the base of the tank that operates without a mixing device. In this project this bottleneck is attempted to be solved with a double tube heat exchanger, employing heating oil to heat water in counter flow, achieving heating times of approximately 40 minutes. This equipment must be controlled and automatically monitored by an automated temperature check system, verifying correct functioning of the heat exchanger. With this time reduction, plant capacity is augmented and improved, reducing gasoil consumption and optimizing manpower costs.

Keywords: double tube heat exchanger, soap solution production, heating times, heating oil, automation

1.-INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor han ayudado en la industria en diversos procesos productivos, implementándose éstos en diferentes

geometrías para satisfacer los requerimientos térmicos y cumplir con las condiciones necesarias para el proceso productivo.

En Chova del Ecuador S.A., se ha estado ocupando intercambiadores de calor tipo serpentín para calentar agua utilizada en el proceso productivo, el calentamiento es lento y poco eficiente, por lo que, luego de una evaluación de la situación térmica de la planta se implementará un intercambiador de calor agua-aceite, con el fin de disminuir el tiempo de calentamiento y mejorar el proceso productivo de emulsiones asfálticas.

Los intercambiadores de calor para este tipo de procesos que involucran agua – aceite, han demostrado un excelente comportamiento, y logran cumplir las condiciones de manera precisa.

El proyecto además de implementar un intercambiador de calor eficaz, utilizará tecnologías actuales de instrumentación y automatización para monitorear y controlar visualmente las variables del proceso de calentamiento.

De manera académica, el proyecto abarca diversas áreas del conocimiento de ingeniería mecánica, principalmente se ubica en el área del diseño térmico, el área del diseño mecánico, instrumentación y automatización mecánica, simulación mecánica.



Figura 1 Serpentín como dispositivo de transferencia de calor

2.- METODOLOGÍA

Para diseñar un dispositivo de transferencia de calor nos vamos a basar en los parámetros de diseño de la tabla 1.

Tabla 1 Parámetros de diseño

Tiempo estimado de calentamiento de agua	40 minutos
Temperatura de salida de aceite térmico del caldero (°C)	214 °C
Temperatura de retorno de aceite térmico al caldero (°C)	150 °C
Temperatura inicial de agua (°C)	16°C
Temperatura final de agua (°C)	28 - 32°C

Se debe determinar el calor disponible de aceite térmico y el calor requerido para el calentamiento de agua, con el objetivo de verificar que exista el suficiente calor disponible para la realización de este proyecto en relación al calor requerido. Por lo que el calor disponible es de 2181 KW y el requerido 105,62 KW, satisfaciendo el calentamiento de agua mediante el aceite térmico.

Debido a la facilidad de construcción, mantenimiento, disponibilidad de materiales, costo de fabricación, tiempo de implementación y espacio geográfico, se seleccionó un intercambiador de tubos concéntricos como dispositivo de intercambio de calor.

Para la disminución de los tiempos de calentamiento de agua, se diseñó un intercambiador de calor de tubos concéntricos en contraflujo, equipo que requiere de 4 horquillas de 4,5m con una longitud efectiva de 2,25m, la cual tiene una disposición horizontal debido al sector donde va a colocarse el equipo.

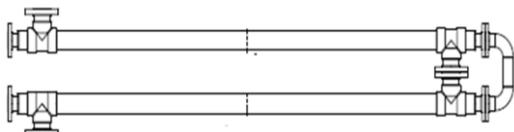


Figura 2 Esquema de una horquilla del intercambiador de calor

El espesor mínimo de tubería se determina en base a la norma ASME B31.3 (tuberías de proceso), seleccionando para las líneas de aceite térmico una tubería A106 gr.B y para el agua una tubería galvanizada A53 gr.A, ambas con cédula 40. Para determinar la clase de brida se necesita de dos variables que son la presión y temperatura de diseño, seleccionando para el intercambiador y para las líneas de alimentación brida de clase 150 PSI.

Se realizó una simulación de la estructura que va a sostener al intercambiador de calor, mediante el uso del SAP 2000, con cargas muertas (70 kg) que equivale al peso propio de las tuberías y accesorios, y, a la carga viva (13kg) que corresponder al peso de los fluidos cuando se encuentre el equipo en funcionamiento. Se determina que el perfil adecuado para esta estructura es un tubo cuadrado de 40x40x3mm,

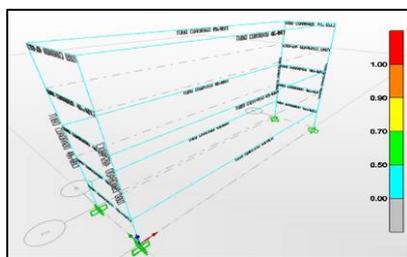


Figura 3 Simulación de la estructura en SAP 2000

En un sistema térmico se presentan esfuerzos y deformaciones por dilatación térmica, en especial cuando se arranca el sistema y pasa de un estado frío a uno caliente súbitamente. En el intercambiador diseñado se ha propuesto soldar unos anillos como tapas de los tubos encamisados y en base al software Solidworks se realiza un estudio estático donde el intercambiador tendrá 2 apoyos con restricciones radiales mas no axiales. Donde el esfuerzo máximo es 240 MPa, valor que no supera el límite elástico de 620.4 MPa, por lo que los esfuerzos térmicos no representan una preocupación en la construcción de la máquina.

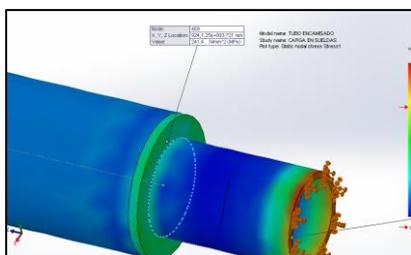


Figura 4 Esfuerzos en anillo soldado

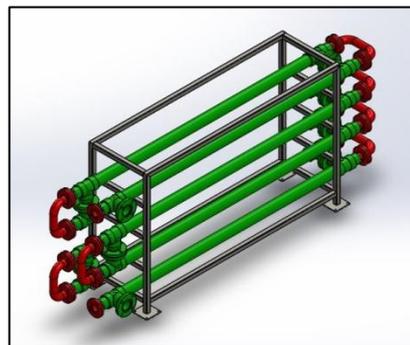


Figura 4 Intercambiador de calor 3D

Se determina la caída de presión tanto de la línea de aceite térmico como la de agua, con la finalidad de verificar si las bombas preinstaladas pueden vencer la pérdida por fricción. La bomba para aceite térmico Allweiler NTT-50-160/01/260 con motor de 15 hp a 3500 rpm puede vencer las pérdidas por fricción (52,3 mH₂O), además si cumple con el caudal nominal de servicio en base a su curva. La bomba centrífuga Goulds 3656 1 1/2 - 2 - 6 instalada para la línea de agua con motor de 3hp a 3500rpm puede vencer la caída de presión y proporciona un caudal de aproximadamente 100GPM.

Debido a las altas temperaturas del aceite térmico, es de vital importancia aislar los codos del intercambiador de calor y la línea de alimentación, utilizando la cañuela de fibra de vidrio como aislante, ya que puede utilizar para temperaturas entre 120°C y 540°C, como se indica en la figura 5.



Figura 5 Codo aislado con cañuela de fibra de vidrio

Las temperaturas a la entrada y salida del intercambiador de calor para ambos fluidos, se obtienen mediante sensores tipo PT100, ubicados en las líneas de alimentación. Estos sensores se conectan a un convertidor de 4-20mA y estas a su vez a un módulo de entrada analógica que envía los datos mediante Ethernet a un computador y a una pantalla táctil que despliega estos valores para los operadores.

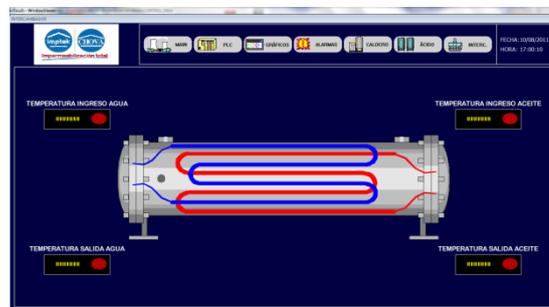


Figura 6 Pantalla del intercambiador de calor

En cuanto a los procesos de manufactura se realizó torneado, fresado, esmerlado, soldadura SMAW, etc. Además varias acciones de mantenimiento como ajustes, limpieza, aprietes, etc.



Figura 7 Construcción del intercambiador de calor

3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber adquirido los datos de temperaturas y tiempos de llenado en el proceso de calentamiento de agua mediante el software Intouch y el touch panel (HMI), se realizan comparaciones con los valores propuestos en el diseño, con la finalidad de determinar la veracidad de los cálculos y resultados.

Tabla 2 Error porcentual calculado VS real

Item	Descripción	Valor Analítico	Valor Intouch	Valor HMI	Error % Analítico vs Intouch	Error % Analítico vs HMI
1	Temp. de aceite térmico al ingreso al IC (°C)	214	214,14	214,25	0,0653 %	0,1166 %
2	Temp. de aceite térmico a la salida al IC (°C)	150	150,10	150,23	0,0666 %	0,1530 %
3	Temp. de agua al ingreso al IC (°C)	16	16,78	16,81	4,6483 %	4,8185 %
4	Temp. de agua a la salida del IC (°C)	32	31,96	31,87	-0,1251 %	-0,407 %

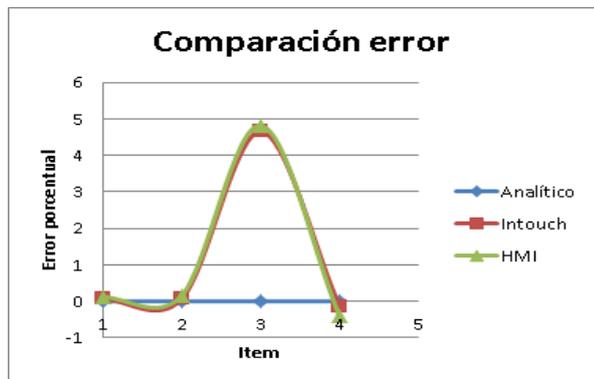


Figura 8 Fluctuación de error porcentual

En base a la tabla 2 y figura 8, se realiza la comparación de las temperaturas de agua y de aceite térmico a la entrada y salida al intercambiador de calor, y se determina el error porcentual existente. Estos errores se producen por condiciones de operación, propiedades físicas de los fluidos, rango de medida del sensor, número de cifras decimales que nos indica el Intouch y HMI, etc.

En la tabla 3 se realiza la comparación de las temperaturas alcanzadas y de los tiempos de llenado en los tanques de solución jabonosa una vez que se encuentre al 100% de su totalidad, es decir, cuando esté a los 1000 galones.

Tabla 3 Error porcentual de las variables en los tanques de solución jabonosa

Item	Descripción	Valor Analítico	Valor adquirido	Error % Analítico vs Adquirido
1	Tiempo de llenado (min)	40	39,2	-2,04 %
2	Temperatura de agua en el tanque de solución jabonosa (°C)	32	30,72	-4,16 %

El error entre el valor adquirido y el diseñado en los tiempos de llenado se debe en el número de vueltas que debe el operador manipular la válvula de compuerta de ingreso de agua al intercambiador de calor para reducir el caudal, y el error porcentual en el valor de la temperatura de agua en el tanque, es porque en la fabricación de emulsiones asfálticas el fluido debe encontrarse en el rango de 28 a 32 °C. Es importante señalar que estos errores se encuentran dentro del rango admisible de operación y funcionamiento para el que fue diseñado el equipo de calentamiento de agua.

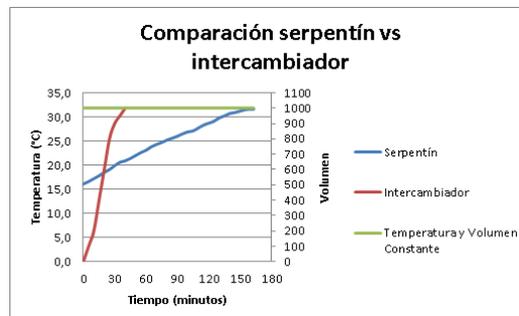


Figura 9 Comparación serpentín vs intercambiador de calor

Se puede verificar que el calentamiento de agua mediante el intercambiador de calor es más eficiente y eficaz con relación al serpentín, en base figura 4. Se observa que la curva para el serpentín es temperatura vs tiempo con el volumen constante, ya que el serpentín funciona cuando los tanques de solución jabonosa se encuentran completamente llenos (1000 galones). La curva de calentamiento de agua utilizando el intercambiador de calor de tubos concéntricos es una relación volumen vs tiempo con temperatura constante, ya que a la salida del intercambiador, el agua fluye con una temperatura de 32°C mientras va llenando el tanque hasta llegar al volumen de 1000 galones.

Por lo tanto el equipo en operación satisface los diseños realizados, ya que logró reducir el tiempo de calentamiento de agua u cumplir con las condiciones y parámetros necesarios para la fabricación de emulsiones asfálticas.

4.- CAPACIDAD DE LA PLANTA

Con el sistema de calentamiento de agua mediante un serpentín ubicado dentro de los tanques de solución jabonosa, la producción de emulsiones asfálticas se realizaba en un tiempo estimado de 5.73 horas para un volumen de producción de 6.000 galones, donde 2.73 horas se aplica en el calentamiento de agua mediante el serpentín, 1 hora en el agregado de emulsificante y 2 horas en el paso por el molino coloidal. Con esto solamente se podía realizar 4 producciones en un día, es decir 24.000 galones.

Tabla 4 Capacidad de la planta mediante el uso del serpentín

Serpentines		
Descripción	Valor	Unidad
Tiempo de calentamiento de agua	2,73	h
Tiempo de agregado de emulsificante	1	h
Tiempo molino coloidal	2	h
Tiempo total	5,73	h
Volumen de Producción	6000	gal
Producciones en un día	4	
Galones por día	24000	Gal

Con el intercambiador de tubos concéntricos como sistema de calentamiento de agua la producción de emulsiones asfálticas se reduce a 2.66 horas para la elaboración de 6.000 galones de emulsión; donde 0.66 horas se aplica en el calentamiento de agua, el agregado del emulsificante se realiza dentro del tiempo del calentamiento de agua es decir se reduce la hora de agregado y 2 horas en el paso por el molino coloidal. Con este sistema se aumenta la capacidad instalada de la planta a 9 producciones diarias, es decir se pueden realizar 54.000 galones al día, lo que significa el

crecimiento de la capacidad de en un 125% en la planta de emulsiones asfálticas de Chova del Ecuador S.A.

Tabla 5 Capacidad de la planta mediante el uso del intercambiador de calor

Intercambiador de calor de tubos concéntricos		
Descripción	Valor	Unidad
Tiempo de calentamiento de agua	0,66	h
Tiempo de agregado de emulsificante	Se realiza mientras se calienta	
Tiempo molino coloidal	2	h
Tiempo total	2,66	h
Volumen de Producción	6000	gal
Producciones en un día	9	
Galones por día	54000	gal

5.- CONCLUSIONES

- El tiempo de calentamiento disminuyó de 2 horas y 44 minutos a 39 minutos, cumpliendo con el objetivo propuesto.
- Se aprovecha de mejor manera el calor disponible con un intercambiador de calor de tubos concéntricos en lugar del serpentín antiguo, evidenciándose un salto térmico de 65 °C aproximadamente en el intercambiador vs uno de 30° aproximadamente en el serpentín.
- El error de los datos teóricos con los prácticos es de máximo 4.82%, manteniendo su validez y garantizando un error menor del 5% como se trabaja habitualmente en términos estadísticos.
- El proceso constructivo de este tipo de intercambiadores requiere mano de obra común, que incluye un plomero con experiencia y un soldador calificado para evitar fugas en el sistema.
- El sistema SCADA implementado permite una fácil visualización de parámetros, ayudando a los operadores a mejorar el control del proceso.
- El proyecto intercambiador de calor incrementa la capacidad de planta, aumentando la producción posible en un día de trabajo de 24000 galones de emulsión a 54000, en términos porcentuales aumenta un 125%.

6.- RECOMENDACIONES

- Modificar la tubería de alimentación de aceite térmico al intercambiador de calor, de 1" a 2", para elevar la temperatura de salida de agua hasta 50°C y disminuir el tiempo de calentamiento hasta 15 min.
- Evitar la formación de vapor en el sistema para no dañar las tuberías externas que son tuberías con costura y no diseñadas para vapor.
- Revisar los documentos de automatización existentes en proyectos previos en la empresa, y referirse al manual de operación para garantizar el correcto funcionamiento del sistema SCADA.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- Alcoser, J. P. (2007). Apuntes de Diseño Mecánico. Quito: s.e.
- Cengel, Y. (2007). Transferencia de Calor y Masa 3ra edición. México: McGraw-Hill.
- Chova. (2011). Manual de Inducción de Chova del Ecuador S.A. Sangolquí: s.e.
- Fox, R. W., McDolnald, A. T., & Pritchard, P. J. (2004). Introduction to Fluid Mechanics 6ta edition. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Guasumba, J. (s.f). Intercambiadores de Calor. Quito: s.e.
- Incropera, F. P., & De Witt, D. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor 4a. ed. México: Prentice Hall.
- Kern, D. (1999). Procesos de Transferencia de Calor. Ciudad de México: Continental.
- Pirobloc. (2007). Caldera de fluido térmico. España: Pirobloc.

