

# DISEÑO DE UNA PLANTA DE VAPOR, DEMOSTRATIVA Y EXPERIMENTAL PARA LA FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

Jimena Andrea González Bravo

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador  
[jagoonza@espol.edu.ec](mailto:jagoonza@espol.edu.ec).

Alfredo Barriga Rivera. PhD.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador  
[abarriga@espol.edu.ec](mailto:abarriga@espol.edu.ec).

## Resumen

*En la presente tesis se ha descrito técnicamente el diseño de un sistema térmico el cual consiste en generar vapor por medio de una caldera a bunker, para ceder calor a un fluido de carga, agua a temperatura ambiente y elevar su temperatura hasta 45 grados centígrados por medio de diferentes usuarios de vapor. El fluido de carga se enfriara nuevamente por medio de un equipo térmico, una torre de enfriamiento, para luego ser bombeada a una cisterna base. Se recuperara el condensado, para ser llevado a un tanque de condensados y bombeados nuevamente a la caldera, lo que nos da como resultados un ahorro en energía y costos.*

*El diseño de esta planta de vapor consiste en tres circuitos: circuito de vapor, circuito de condensado y circuito del flujo de carga, los mismos que están establecidos conjuntamente.*

**Palabra claves:** vapor, caldera a bunker, usuarios de vapor, condensado, agua de carga, torre de enfriamiento.

## Abstract

*The present work describes the design of a thermal system which consists of generating steam by means of a boiler operating with heavy fuel oil. Heat is then transferred to various end users: a thermal load, consisting of a water container at room temperature, which raises its temperature to 45 degrees Celsius; the other end users are two heat exchangers and a steam turbine. The fluid acting as load (water) is cooled back by means of a cooling tower, and it is then pumped back into a reservoir. The condensate is subsequently recovered, to be taken to a condensate tank and pumped back to the boiler, which in turn results in energy and cost savings.*

*There are three loops in the plant: steam loop; condensate loop; and load loop.*

## 1. Introducción

El desarrollo de la presente tesis se enfoca en el estudio del diseño de un sistema térmico como propuesta para un nuevo laboratorio de Termofluidos en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, capaz de simular producción permitiendo la interacción con el medio industrial y el establecer una relación teórica – práctica.

El vapor es uno de los fluidos más comúnmente utilizados en la industria, se ha convertido en el útil esencial de la vida moderna dentro de los procesos industriales, es indispensable conocer el manejo y la manipulación de este fluido, su comportamiento y los diferentes equipos que hacen posible una transferencia de calor óptima a la aplicación ingenieril del sistema térmico.

## 2. Objetivos.

El objetivo del presente estudio es renovar con la tecnología actual y la modernización de los diferentes equipos y sistemas de control, el presente laboratorio térmico de la facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, en el cual se permita un medio didáctico, demostrativo y experimental.

Implementar en las prácticas los conocimientos adquiridos en la teoría e intercambiar mejoras industriales, reconocer problemas de ingeniería y plantear nuevos diseños térmicos.

A través de simular producción, se podrán tomar mediciones y realizar cálculos con la finalidad de analizar los resultados obtenidos y un entendimiento más enfocado a la realidad y más claro del funcionamiento y de los parámetros esenciales que con lleva un sistema térmico.

Finalmente se puede tener un banco de pruebas para otros usuarios o equipos de sistemas térmicos con la finalidad de experimentar y conocer nuevas tecnologías y principios térmicos.

## 3. Metodología

### 3.1. Descripción técnica: Selección de la caldera a bunker

El corazón de todo sistema térmico es la caldera, ya que la misma es capaz de general el fluido de operación, vapor, por ello se ha seleccionado una caldera pirotubular a bunker de 40 BHP que genera 1380 lb/h de vapor a una presión de diseño operacional de 135 Psi.

La caldera por ser con combustible a bunker cuenta con un calentador para dicho combustible debió a su alta viscosidad, el tanque de condensados con sus respectivos sistemas de control y el sistema de ablandamiento y químicos para el agua de reposición a

la caldera, ya que dicha agua debe ser tratada y sin dureza.

A partir de esta selección conocemos el calor que se genera para ser transferido, por ello se establece los usuarios de vapor que harán posible dicha transferencia de calor.

Se proponen cuatro usuarios de vapor, dos intercambiadores de calor de tubo y coraza con diferentes pasos cada uno, una marmita y una turbina de vapor. Para cada usuario de vapor se transferirá el 20% de la energía que se genera en la caldera y el 40% de dicha energía a la turbina de vapor y un 20% aproximadamente para precalentamientos necesarios del sistema térmico, como el tanque de almacenamiento de bunker y el tanque de condensados. Por ello, el diseño de la planta de vapor permite operar con tres usuarios a la vez como máximo, es decir que se puede interactuar entre las demás de vapor en el sistema. Estos usuarios calentaran agua por medio de vapor, la misma que será bombeada a una torre de enfriamiento con la capacidad térmica necesaria para quitar el calor adquirido y bajar su temperatura a la ambiente, para nuevamente ser almacenada en una cisterna y recircularla.

Se recuperara el condensado resultado de la transferencia de calor entre el vapor y el agua de carga, el mismo que será trampeado hasta el tanque de condensados para ser bombeado a la caldera para una generación de vapor continua.

### 3.2. Cálculos para el diseño de los usuarios y la selección de equipos y accesorios de línea de vapor, condensado y agua de carga.

A partir del consumo del combustible de bunker en la caldera (dato del fabricante) se determina un balance térmico, la energía que entra es igual a la energía que sale, bajo ese principio se conoce el calor que genera la caldera y por ende el que se proporcionara a cada usuario de vapor según los porcentajes establecidos en la descripción técnica. A partir del calor que se va a transferir se conoce el flujo másico de agua de carga necesario para que el vapor entregue toda su energía y el flujo másico de vapor por medio del balance energético.

Los cálculos básicos para los diseños propuestos de intercambiadores de calor y marmita, están enfocados en la tasa de condensación, es decir, se debe iterar con áreas de transferencia de calor vs los coeficientes internos y externos de convección, numero de Reynolds obteniendo siempre flujos turbulentos y finalmente, dichas iteraciones deben arrojar como resultados la condensación del vapor en su totalidad, con ello se puede concluir que dicho diseño logra transferir toda la energía térmica del vapor al agua de carga. Las correlaciones que se usan para las iteraciones son del libro de Incropera – transferencia de calor.

φ de los tubos	1/2"
Longitud	2.4 m
Tipo de arreglo	Escalonado
Número de tubos Nt	14
Número de tubos verticales Nv	4
Temperatura de superficie Ts	120 °C

El diseño de la marmita debe constar de 80 tubos internos de 1/2" cada uno y de 1.5 metros de longitud por donde pasará el agua y por el lado de la chaqueta el vapor a 20 Psi, para transferir 77 kw de calor.

El cuarto usuario de vapor, es la turbina, la misma que consta de un sobrecalentador para elevar la temperatura del vapor a presión constante, lo que nos da como resultado vapor sobrecalentado, que entra a la turbina para generar energía eléctrica de 10Kw, y luego dicha turbina entrega vapor saturado al condensador para calentar agua de carga.

Dichos equipos están actualmente instalados en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, con los cuales se realizaron prácticas y se constata el buen funcionamiento de los mismos.

Masa del vapor (Turbina y condensador), Mv	295 Kg/h
Masa del condensado – condensador	295 kg/h
Pr entrada – turbina	145 Psi (Caldera actual) / 135 Psi (Caldera seleccionada)
Pr salida – turbina / entrada al condensador	1 Psi
RPM	2750
Carga	10 Kw – 13,3 HP
Torque	11 lb.pie
T agua – condensador, entrada	28°C
T agua – condensador, salida	53°C
ΔT	25
Masa de agua	6000 kg/h

La selección del diámetro de las tuberías de vapor se hace bajo los criterios de presión, flujo másico y velocidad recomendada en la línea, la misma que es obtenida por la literatura, el método de la velocidad.

De una manera similar se selecciono las tuberías de condensado, es decir bajo los mismos criterios térmicos pero en base a diagramas de la literatura.

Los tamaños de tuberías de agua de carga se seleccionaron a partir de la velocidad de línea recomendada en los textos y la caída de presión según los gpm. Los gpm de agua de carga que manejara cada usuario es de 20 y la turbina de vapor 26 gpm.

Se selecciona la torre de enfriamiento en base a la capacidad térmica que debe ser mínima de 1217921

kJ/h o 338.31 kw, con un diferencial de temperatura de 15 grados.

El sistema debe de contar con un tanque de almacenamiento de bunker el mismo que debe ser precalentado para que pueda fluir hasta el calentador de la caldera. Para ello se debe elevar la temperatura del bunker hasta los 60°C desde su temperatura ambiente de alrededor de 30°C. Dicho efecto se lograra con resistencias térmicas para elevar el bunker a la temperatura deseada y luego en existencia de vapor, por medio de un serpentín de vapor mantener su temperatura mientras que opere la caldera.

A partir de definir el volumen de tanque que se requiere para almacenar 1500 galones para 16 días y calentarlo en 30 minutos con la ecuación de calor de masa se calculan las resistencias eléctricas y el flujo másico de vapor que se requiere para mantener su temperatura constante a partir del balance de energía entre el calor que se pierde por convección al medio es igual al calor que debo transferir al bunker.

Por resistencias térmicas se debe transferir 181 Kw, y el flujo másico de vapor necesario es de 23lb/h con un serpentín de 1/2" y una longitud de 11 metros aproximadamente.

Los accesorios de línea se seleccionaran de acuerdo a los tamaños de las válvulas para el caso del vapor y el agua de carga, para el caso del condensado a partir del tamaño de las trampas de vapor.

Las válvulas reguladoras de presión y de temperatura se seleccionan en base al Cv requerido vs el Cv que maneja la valvula.

El vapor debe ser regulador de 135 psi a 20 psi antes de la aplicación por medio de una estación reductora de presión que consta de dos reguladoras de 3/4" y 1/2" para las demandas máximas y mínimas.

Finalmente se debe precalentar el tanque de condensados con la finalidad de no interrumpir la tasa de ebullición en la caldera, debe ingresar a la misma de 90 a 95 °C. Este calentamiento se lo obtiene ingresando por medio de un inyector o flauta en la parte inferior del tanque, 128 lb/h de vapor regulado a 30 Psi. Esta aplicación contara con una valvula de control de temperatura, al igual que los intercambiadores de calor y marmita, cuya función es regular la entrada de vapor a medida que el agua de carga o condensado vayan adquiriendo la temperatura deseada, para ello debe haber un lazo de control.

El calor que se genera en la caldera al ser transportado por las tuberías se pierde una parte por convección al medio, por ello es importante aislar las tuberías de vapor, condensado y agua de carga.

Basándonos en el calor que se pierde por convección y asumiendo un espesor se obtiene el calor que se perderá al medio con el aislante seleccionado, calor que va disminuyendo a medida que el espesor del aislante vaya aumentando, se ha definido un aislante de 3" de espesor para las tuberías y equipos para la planta de vapor propuesta.

## 4. Conclusiones

El sistema térmico que se presenta en la siguiente tesis es capaz de simular producción industrial de una forma didáctica, siendo éste un sistema actualizado que genera investigación y formación con la industria. La caldera pirotubular a bunker, permite experimentar el manejo de la combustión y la generación de vapor, comparar la eficiencia del sistema a bunker con los diferentes sistemas térmicos con otros combustibles, desarrollar y estudiar mejoras industriales.

En el diseño del sistema térmico de la presente tesis la energía que entrega la caldera por medio del poder calorífico del bunker en la combustión es igual a la energía que resulta en el agua de carga, esto se obtiene transfiriendo dicha energía por medio de los intercambiadores de calor, marmita y turbina, para que finalmente la torre de enfriamiento extraiga este calor enfriándola nuevamente para un nuevo ciclo de transferencia de calor. Este sistema térmico es un ciclo cerrado, se recupera el condensado que será bombeado nuevamente a la caldera conjuntamente con el agua de reposición para continuamente generar vapor. De igual forma el agua de carga luego de ser enfriada en la torre de enfriamiento es bombeada a una cisterna común para el uso del sistema térmico.

El sistema térmico contará con la caldera pirotubular a bunker la misma que tiene en su exterior un calentador de bunker, un tanque de almacenamiento de uso diario de bunker con un sistema de precalentamiento, manifold o distribuidor de vapor, usuarios de vapor: dos intercambiadores de calor, una marmita, sobrecalentador – turbina y condensador, tanque de condensados con un sistema de precalentamiento, control y sistema de ablandamiento para el agua de reposición a la caldera, torre de enfriamiento y una cisterna para agua.

La caldera de 40 BHP es capaz de generar 1'399,868.624 kJ/h a 135 Psi de presión de diseño, dicha energía será distribuida a dos intercambiadores de calor y una marmita en un 20% cada uno, 47% a la turbina y 1.5% para el precalentamiento de otras aplicaciones como el tanque de bunker y el tanque de condensados. Este sistema térmico permite trabajar con tres usuarios a la vez, para poder trabajar con los cuatro usuarios del sistema presentado se necesita de una caldera con mayor BHP que generará 25% más de la caldera seleccionada. La finalidad del presente sistema térmico como un laboratorio para la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, es interactuar con dicho sistema de forma práctica, demostrativa y experimental, por ello trabajar con los usuarios de manera alternada lo hace posible.

El flujo másico de agua que se requiere para que el vapor saturado entregue su energía y se condense es de 19.6 gpm para cada uno de los intercambiadores de calor y la marmita, calentando dicho flujo de agua de carga hasta 45°C. Se ha considerado la turbina, el sobrecalentado y el condensador que actualmente se

encuentran instalados en el laboratorio de Termofluidos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción para el diseño de este sistema térmico. Se realizaron prácticas en dicha turbina donde se ha definido todas las variables térmicas.

La presión de operación en los intercambiadores de calor y marmita será de 20 Psi, para ello se instalarán dos reguladoras de presión de vapor en paralelo para las demandas altas y bajas de vapor cuando se requiera trabajar con uno, dos o los tres usuarios a la vez.

La torre de enfriamiento debe tener 1'217,921.04 kJ/h de potencia térmica, manejar un  $\Delta T$  de 15 grados y la masa de evaporación no debe exceder del 5% del flujo de agua de carga, esto como un dato referencial que corresponde a 966,604 kg/h. Según los cálculos realizados se evaporan 648,9 kg/h. del flujo de masa de agua de carga, menor a la masa de evaporación referencial.

Se ha diseñado un tanque de almacenamiento de bunker con una capacidad de 1500 galones para 16 días, el mismo que requiere de 180,88 kw., para elevar su temperatura inicial de 30°C. a 65°C., hasta que se genere vapor en la caldera y luego por medio del diseño de un serpentín en la parte interna del tanque de bunker mantener su temperatura final mientras esté en operación la caldera. Para ello se debe instalar en la parte inferior del tanque resistencias eléctricas que den los 180.88 kw y un serpentín por donde interiormente pasará vapor regulado a 40 Psi. El serpentín debe ser de tubo de ½" con una longitud de 15.81 metros, por donde deben pasar 47.5 lb/h. de vapor, el condensado de esta aplicación no se recuperará, es decir se drenará al drenaje. El flujo másico de vapor será modulado con una válvula de control de temperatura de ½". Es necesario precalentar el bunker para que pueda fluir por las tuberías hasta el calentador de bunker de la caldera.

Como anteriormente se acotó, se recuperará el condensado en el tanque de condensados, el mismo que debe tener instalado en su interior una flauta o inyector de vapor para precalentar dicho condensado en un rango de 90°C. a 95°C., para ser bombeado a la caldera. Se lo precalentará por medio de vapor, 128 lb/h., flujo que estará controlado con una válvula de control de temperatura de ¾", cuando el condensado vaya alcanzando la temperatura deseada la válvula modulará el flujo másico de vapor hasta cerrar por completo alcanzando su temperatura final.

En los diseños de los usuarios: intercambiadores de calor y marmita el criterio base es que el vapor se condense en su totalidad, es decir que sea capaz de transferir el 20% de la energía total que genera la caldera, 77.7 kw., por medio del área de transferencia de calor al agua de carga.

**Intercambiadores de Calor:** Los intercambiadores de calor serán del tipo de tubo y coraza, con diferentes pasos cada uno. El número de tubos para los intercambiadores de calor es de 14 con una longitud de

3.2 metros cada uno y un diámetro de  $\frac{1}{2}$ " , transfiriéndose 58.6kw. que corresponden al 75.6% de la energía entregada. Para entregar el 100% de la energía al agua de carga se necesita de intercambiadores de calor con mayor área de transferencia de calor.

**Marmita:** La marmita consta de 80 tubos cada uno de  $\frac{1}{2}$ " y 1.5 metros de longitud. La marmita será del tipo enchaquetada, por fuera pasará el vapor a 20Psi. y por la parte interna el agua de carga, transfiriéndose 76.9 kw. que corresponden al 99.9% de la energía entregada.

El flujo externo para los intercambiadores de calor y la marmita es de 282 a 336 lb/h. de vapor a 20 Psi., siendo el flujo interno agua a temperatura ambiente, para elevar su temperatura hasta los 45°C. El flujo másico de vapor no es constante ya que la temperatura ambiente del agua tampoco lo es, variará dependiendo del clima. Por ende cuando la temperatura sea menor que los 30°C., se necesitará más flujo de vapor para llegar a los 45°C., que cuando el agua está igual o mayor que los 30°C., en donde se necesita menos flujo de vapor.

Es necesaria para cada usuario la instalación de una válvula de control, la misma que modulará el paso del vapor a medida que el agua vaya adquiriendo la temperatura deseada, 45°C., se han seleccionado diferentes tipos de válvulas de control para cada usuario con la finalidad de tener diversos tiempos de respuesta lo que le dará un sistema didáctico y comparativo.

La selección de los diámetros para las tuberías de vapor se basa en el método de la velocidad cuyo criterio relaciona la presión y el flujo másico de vapor y la velocidad requerida en la línea. Adicionalmente se debe hallar la caída de presión que se produce con los diámetros seleccionados según *la longitud equivalente*, que es la sumatoria de las caídas de presión en pies por accesorios más la longitud la tubería. Se debe hacer una regla de tres con las variables del caso, es decir, por cada 100 metros o 100 pies, dependiendo del diagrama a usar, se tiene una caída de presión, cuanta caída de presión se tendrá por cada  $L_{equivalente}$ . El manifold también es considerado como una tubería de vapor.

De manera similar se seleccionan los diámetros de tuberías de los condensados en diagramas de tuberías de condensado ya que a diferencia de las tuberías de vapor no hay métodos o fórmulas a seguir, estos diagramas siguen el criterio de la presión y el flujo másico de condensado, la presión a la descarga y la contrapresión a vencer. Luego se debe calcular el porcentaje de vapor flash en la línea, lo que dará el valor real del condensado y el agua de reposición a la caldera.

Para seleccionar los diámetros de tuberías de agua, se entra a las tablas de tuberías de agua con los gpm., y la velocidad recomendada en la línea, dicha tabla arroja el diámetro de tubería y la caída de presión en la

misma. Adicionalmente se debe seleccionar la bomba capaz de vencer las alturas, las pérdidas por tubería y accesorios y las caídas de presión de los usuarios, intercambiadores y marmita, es decir el TDH. Se ha analizado el TDH en base a los planos en el anexo vv. y con los gpm., se tiene que la bomba debe tener como mínimo una potencia de 2HP. TDH=59 pies, gpm=83. El sistema térmico debe contar con los diferentes accesorios de línea, los mismos que ayudan a dar un mejor manejo del vapor, condensado y el agua de carga, tales como: válvulas de compuerta o de corte, válvulas de bola, válvulas de seguridad, rompe vacíos, eliminadores de aire, filtros, trampas de vapor, válvulas check, bolsillos en las líneas de vapor, válvulas de control, válvulas reguladoras de presión, separadores de humedad, etc.

El presente sistema requiere de una estación de regulación de presión, para bajar la presión del vapor de 135 Psi., a 20 Psi., esto antes de la aplicación del vapor en los usuarios (Intercambiadores de calor y marmita, turbina y condensado de la turbina se operan con vapor sobrecalentado). La estación constará de dos reguladoras de presión, una de  $\frac{1}{2}$ " y una de  $\frac{3}{4}$ ". La reguladora de presión de  $\frac{1}{2}$ " operará cuando la demanda está dada por uno o dos usuarios pero la válvula reguladora de presión de  $\frac{3}{4}$ " entrará a operar cuando estén en funcionamiento los tres usuarios a la vez, en sus flujos máximos o mínimos.

Es eficiente trabajar con presiones bajas en las aplicaciones de calentamiento con vapor, ya que a bajas presiones se tiene mayor área en el diagrama de Mollier lo que se traduce a mayor calor latente a transferir, por ello antes de la aplicación se debe regular la presión del vapor. Adicionalmente a esto se debe acotar que los intercambiadores de calor y marmita están diseñados para operar a bajas presiones.

El sistema debe tener instalado la instrumentación de medición tales como: termómetros, manómetros y flujómetros en las líneas de vapor, agua de carga y condensados, para obtener mediciones exactas al momento de las prácticas. El tanque de bunker debe contar con un sistema de medición de nivel, al igual que el tanque de condensados.

## 5. Recomendaciones

Se recomienda que los equipos de operación al momento de instalarse gocen del suficiente espacio físico para el buen manejo y mantenimiento de los accesorios de líneas y de dichos equipos.

Se recomienda que la caldera opere con combustible bunker para poder emitir análisis, ventajas y desventajas en comparación con otros tipos de combustión.

Se recomienda que cada accesorio o equipo tenga su by-pass, esto es muy importante al momento de hacer mantenimiento, así se podrá seguir operando.

Es recomendable que en la instalación de los equipos se marque en el piso líneas de seguridad con la

finalidad de que los estudiantes no pasen de ella y evitar accidentes o eventualidades no convenientes. Están líneas pueden estar a un metro del equipo.

Se recomienda trabajar con equipos tales como intercambiadores de calor y marmitas ya que son los más comunes en la industria, válvulas de control puesto que es la tecnología actual e involucra la neumática.

Se recomiendan en las líneas de control de temperatura como usuarios y precalentamiento termómetros a la entrada y salida del fluido.

#### **CALDERA: EFICIENCIA DE LA CALDERA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

Se recomienda que se tomen los datos pertinentes, una vez puesta en marcha la caldera, para corroborar los datos del fabricante, como la eficiencia de la caldera, el consumo real de combustible y a partir de este dato la generación de calor en la caldera.

Se recomienda una vez instalada la caldera cerciorarse con pruebas que todos los controles de nivel y de seguridad de la misma funcionen de forma correcta.

#### **USUARIOS: INTERCAMBIADORES DE CALOR Y MARMITA**

Se recomienda que los intercambiadores de calor sean de tubo y coraza, este tipo de intercambiadores de calor facilitan el mantenimiento o limpieza interna de los tubos, ya que el haz de tubos carece de codos lo que también nos da menores pérdidas de fricción y caídas de presión.

Los intercambiadores de calor deben ser de dos o tres pasos cada uno para tener mayor versatilidad.

La marmita debe ser de tipo enchaquetado, lo que nos dará una facilidad en el mantenimiento de la misma.

Cada intercambiador de calor y marmita tendrá instalado una válvula de control de temperatura, la misma que modulara el paso del vapor a la aplicación como se explico en el capítulo 3 de la presente tesis. Esto puede producir un anegamiento en los intercambiadores de calor que se traduce que el condensado de la aplicación no se pueda evacuar con facilidad. En el momento en que el agua este llegando a la temperatura final (45°C) no se necesita el mismo flujo másico de vapor para calentar dicha agua porque el  $\Delta T$  va disminuyendo, por ello al pasar el vapor por la reguladora de presión, se tiene una estrangulación en dicho fluido causando que la presión de entrada del vapor al intercambiador de calor baje y no sea la suficiente a la salida de dicho equipo como para elevar el condensado, es decir, no tendrá la suficiente presión para vencer la contrapresión –altura-. Cuando la válvula de control modula el paso del vapor la presión va disminuyendo y finalmente será menor que la presión que tenga que vencer, es ahí donde se pueden tener problemas de anegamiento.

Ya que el flujo de vapor es relativamente pequeño se considera como una recomendación la instalación de un tanque de condensados en donde lleguen los condensados de los usuarios y con una bomba de condensados bombearlos al tanque de condensados de

la caldera, de esta manera cuando la válvula module el paso del vapor la presión en la línea será siempre mayor a la presión a vencer del condensado.

La selección de una bomba de condensado dependerá del flujo másico de vapor, así se obtendrá el tamaño requerido de dicha bomba y el flujo másico de vapor que se requiere como fuerza motriz.

Se recomienda que cada usuario tenga instalado una válvula de seguridad con la finalidad de proteger al equipo de disparo de presión.

Se recomienda en los equipos la instalación de eliminadores de vacío para que cuando el vapor se vaya condensado no se forme vacío en el interior de los intercambiadores y marmita.

Es recomendable que el vapor sea el flujo externo en el interior de los intercambiadores de calor y la marmita, por la facilidad para condensarse.

Es recomendable que para el diseño térmico de los intercambiadores y marmita se considere trabajar con flujo turbulento ya que el flujo laminar tiene mucho arrastre de gotillas de agua.

Se recomendable instalar filtros tipo “Y” a la entrada del vapor en cada aplicación para asegurarnos de filtrar partículas, suciedad o incrustaciones.

#### **TORRE DE ENFRIAMIENTO**

Es recomendable por la literatura que la torre de enfriamiento sea de tiro inducido ya que a diferencia del tiro forzado el aire caliente y húmedo no recircula a la descarga del ventilador y esto hace más eficiente el proceso de enfriamiento.

La temperatura del bulbo húmedo debe estar entre los 30°C o de lo contrario la capacidad térmica de la torre d enfriamiento debe ser igual a la requerida a dicha temperatura de bulbo.

La literatura también recomienda que la masa de evaporación en la torre de enfriamiento no deba exceder del 5% de la masa total del agua. Para ello se recomienda la instalación de un flujometro a la entrada y salida del agua de la torre de enfriamiento.

#### **PRECALENTAMIENTO DEL TANQUE DE CONDENSADOS**

Es recomendable que el tanque de condensados tenga en su instalación un visor de nivel, adicionalmente con los sistema de nivel con los que dicho tanque cuenta (anexo xx).

El tanque de condensados debe contar con una sistema de ablandamiento del agua, para quitar la dureza del agua, calcio y magnesio, y darle un tiempo de vida más largo a la caldera, principalmente a los tubos de la misma.

Es mayor mente recomendable que se tenga un sistema de control que module el paso del vapor para el precalentamiento de los condensados en comparación de un sistema on/off ya que dicho sistema tiene un cierre inmediato del paso del vapor.

Se recomienda que la instalación del eyector o flauta de vapor se haga en la parte inferior del tanque de condensados para el precalentamiento, ya que de

esta manera se aprovecha mas la energía del vapor al tener mayor recorrido en el tanque.

La literatura recomienda que la temperatura de entrada del agua a la caldera debe estar entre 90 y 95 °C.

### **PRECALENTAMIENTO DEL TANQUE DE BUNKER**

El tanque de bunker requiere de un precalentamiento para poder fluirlo a través de las tuberías al calentador de bunker de la caldera, por ello es recomendable precalentarlo de su temperatura ambiente hasta los 65°C. Es recomendable que el tanque de bunker tenga su respectivo sistema de medición de nivel.

Es recomendable que para el precalentamiento del bunker el flujo másico de vapor sea regulado ya que por mucha presión puede reventar o dañar el serpentín.

Es recomendable instalar un Flujómetro a la entrada del combustible a la caldera para conocer el consumo real de la caldera en operación.

### **TUBERIAS DE VAPOR**

Se recomiendan que las tuberías de vapor sean seleccionadas por el método de la velocidad que considera el flujo másico y la presión del vapor.

En las líneas de vapor se recomienda una velocidad de 30 m/seg.

Se recomienda considerar las caídas de presión una vez seleccionado el tamaño de tubería en los diagramas de caída de presión en tuberías de vapor.

El manifold o distribuidor es considerado como una tubería de vapor, cuyo diámetro y largo debe ser considerado por el flujo másico de vapor y la velocidad requerida. La velocidad requerida es la velocidad recomendada de 15 m/seg.

Se recomienda en las líneas de vapor eliminadores de aire ya que el aire en la aplicación se comporta como una resistencia a la transferencia de calor.

Se recomienda usar tuberías tipo “cuello de ganso” para tomar vapor de una tubería principal, ya que en la parte inferior de la tubería por gravedad se acumula el condensado.

Se recomienda en la estación reductora de presión que la tubería de vapor a la salida de la válvula reductora de presión sea de mayor diámetro que la tubería de entrada a dicha válvula, esto porque a menor presión el volumen específico aumenta, se debe seleccionar el tamaño de la tubería de salida de la válvula a la nueva presión del vapor. Se recomiendan en la estación de reducción de presión manómetros a la entrada y salida del vapor y a su vez a la entrada del vapor y a la salida del condensado en la aplicación.

Es recomendable operar a baja presión en los equipos ya que a menor presión hay mayor calor latente, estos e puede visualizar en el diagrama de Moddy, mayor área de transferencia de calor.

Es recomendable que al cambiar de un diámetro de tubería a otro ya sea de mayor o menor tamaño usar reducciones excéntricas, para que el condensado no se quede acumulado.

Se recomiendan bolsillos en las tuberías de vapor cada 20 o 30 metros de distancia. Cada bolsillo de condensado debe tener instalado al final del mismo una purga para eliminar suciedades o incrustaciones y una línea de recuperación de condensado.

### **TUBERIAS DE CONDENSADO**

Es recomendable recuperar el condensado ya que tiene un costo por la cantidad de químicos para el ablandamiento del agua, por el mismo costo del agua y porque lleva consigo energía, vapor flash.

Es recomendable que las líneas de condensado al momento de ser instaladas, tengan cierto grado de inclinación, según la norma nos dice que hasta 3°. Esto con la finalidad de que la evacuación del condensado en las tuberías sea más eficiente, ya que esta inclinación nos ayudara a que el condensado caiga por gravedad.

Es recomendable que en las líneas de trapeo de vapor, antes de la trampa se instale visores de trampa. Con este elemento se puede apreciar el funcionamiento de la trampa y observar que pasa a través de la misma.

Instalar un manómetro después de cada trampa de vapor, cuando una trampa falla abierta la presión aumentará significativamente en la línea de condensado.

Instalar un visor de condensado después de cada trampa de vapor con esto se podrá observar cualquier anomalía del funcionamiento de las trampas. El único inconveniente de este método es la posible adherencia de suciedad en ventanas del visor lo que reduce la visibilidad del fluido.

Se sugiere eliminar oportunamente el aire de las tuberías de condensado, evitando la formación de gas carbónico el mismo que al mezclarse con el condensado forma el ácido carbónico este último es el responsable de la corrosión que puede ser identificada por una capa de color rojiza en superficie de las trampas de vapor y tuberías de condensado. Para esto se sugiere instalar venteo termostático en las tuberías de vapor.

Es recomendable que las líneas de trapeo de vapor en los bolsillos de las tuberías o manifolds no sean tomadas al final de dichos bolsillos sino a una distancia de 6” con respecto al nivel del final del bolsillo, esto porque se acumulan partículas o incrustaciones en el inferior de los bolsillo de condensados.

Es recomendable que las trampas de vapor sean instaladas siempre en tuberías horizontales y no verticales, esto facilita la inspección de las trampas, el mantenimiento y el montaje de la misma.

## **6. Bibliografía**

- [1] Seminario de Combustión, Dr. Alfredo Barriga Rivera
- [2] Incropera de Frank P. Fundamentos de transferencia de calor
- [3] Introducción a la termodinámica, Jorge A. Rodríguez, Universidad Nacional
- [4] Perry, Manual del Ingeniero Químico

- [5] SPIRAX SARCO Learning Center ó Design of fluid Systems hookup
- [6] [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com)
- [7] Watson McDaniel – catalogs of steam
- [8] [www.watsonmcdaniel.com](http://www.watsonmcdaniel.com)