

## **Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas**

Manuel A. Herrera Ordoñez.

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  
mherrera@espol.edu.ec

Ing. Ángel Vargas Zúñiga MSc.

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  
anvargas@espol.edu.ec

### **Resumen**

*Los hoteles cinco estrellas son empresas dedicadas a brindar a sus clientes, servicios que ofrecen confort y facilidades durante el tiempo que estos permanecen hospedados. Dentro de los servicios que estos ofrecen se encuentra el de agua caliente.*

*El presente trabajo tiene como objetivo diseñar el sistema para el calentamiento de agua en un hotel cinco estrellas; dicho sistema funcionará con vapor. El diseño del sistema en mención incluirá el cálculo de carga térmica, la selección de los generadores de vapor, selección de calentadores de agua, diseño del sistema de agua de alimentación, selección de tuberías de vapor y retorno de condensado, selección de accesorios y trampas de vapor, y diseño del sistema de almacenamiento de agua caliente.*

*En este trabajo siempre se estará considerando el hecho de que un diseño eficiente resulta en un sistema que tiene una operación económica, amigable con el ambiente, y que presta facilidades a la hora de realizar el mantenimiento, además de que la implementación de dicho proyecto sería lo más económica posible. Al final de este trabajo se presenta un análisis de costos, el cual incluye el valor que habría que invertir para implementar este proyecto*

**Palabras Claves:** *Calentadores de agua, agua caliente, calderas, vapor, tuberías.*

### **Abstract**

*The five stars hotels are companies dedicated to offer services, comfort and facilities to their customers while they are hosting in it. One of the services that hotels offer is hot water.*

*This thesis has the aim to design the heat water system for a five stars hotel. This system works with steam. The design of this system includes thermal load calculation, boilers selection, water heaters selection, feed water system design, sizing of steam and condensates piping, fitting and steam traps selection, and sizing of the hot water storage tank.*

*At this work, it is always considered that an efficient design results in a system with an economic and friendly operation with the environment and offer facilities when the maintenance is doing. Also, the implementation of this project would be in the most economic possible. At the end of this work, a cost analysis is shown which includes the value that it would be necessary to implement this project.*

**Keywords:** *Water Heaters, hot water, boilers, steam, pipes.*

## 1. Introducción

Este trabajo se desarrollo en un hotel cinco estrellas que consta de 16 niveles; en la planta baja están ubicados el cuarto de máquinas y los servicios generales, en los pisos que van del primero al quinto están ubicados los parqueos, finalmente en los pisos que van del sexto al decimo quinto se encuentran distribuidos 136 habitaciones.

En este trabajo se resume el proceso de diseño del sistema que suministrará el agua caliente al hotel en estudio, dicho sistema por razones económicas funcionará con vapor en lugar de resistencias eléctricas.

Primero se determina la carga térmica necesaria para satisfacer la demanda de agua caliente que tendrá este hotel, es decir se estima el caudal volumétrico de agua caliente que se necesita y con este resultado se procede a diseñar el sistema para calentar el agua.

Con los valores de los caudales volumétricos de agua y la temperatura de esta, se estima la cantidad de vapor que necesita este sistema, de ahí se seleccionan los calentadores de agua, calderas y demás equipos necesarios para calentar el agua; dicho sistema suministra el agua caliente tanto para las habitaciones, como para los servicios generales.

## 2. Objetivos

- El objetivo principal de este trabajo es realizar el diseño completo del sistema que suministrará el agua caliente al hotel en estudio.
- Seleccionar los calentadores de agua y calderas para satisfacer la demanda de agua caliente del sistema.
- Diseñar completamente el sistema a vapor que alimentará a los calentadores de agua, esto incluye los sistemas de combustible y de agua de alimentación, tuberías de vapor y condensado, sistema de almacenamiento y recirculación de agua caliente.
- Seleccionar equipos para el tratamiento del agua de alimentación de las calderas, para alargar la vida útil de estas

## 3. Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados se establece una metodología muy simple la cual se resume en los siguientes ítems.

- Selección de calentadores de agua y calderas
- Diseño del sistema de agua de alimentación
- Diseño del sistema de combustible
- Diseño del sistema de tuberías de vapor y retorno de condensado
- Diseño del sistema de almacenamiento de agua caliente

- Análisis de costos

## 4. Selección de Calentadores de Agua y Calderas

Para determinar la capacidad de los calentadores de agua y de las calderas primero se debe estimar la cantidad de agua caliente que se debe suministrar a las habitaciones y a los servicios generales, considerando que la primera debe estar a 60 ° C y la segunda a 65 °C [1, 2]

### 4.1. Selección de Calentadores de Agua

Para seleccionar los calentadores de agua primero se determina la demanda de agua caliente para las habitaciones por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_H \times N \times FD \quad (\text{Ec. 1})$$

Los valores que se deben reemplazar en la ecuación anterior son 2.5 GPM para el caudal de cada habitación, un número de 136 habitaciones y un factor de demanda de 0.25 [2]. El caudal total que se obtiene es de 85 GPM para las habitaciones.

Para los servicios generales como lavandería, cocina entre otros se debe considerar un valor de 0.14 GPM por habitación [3], luego al multiplicar este valor por el número de habitaciones se obtiene un resultado de 19.27 GPM. Además de lo anterior se debe considerar que existen 18 puntos de consumo como duchas entre otros, para determinar la demanda de estos se emplea la ecuación 1 con valores de 0.50 GPM para  $Q_H$ , y un factor de demanda de 0.40 [2]; lo que da como resultado un total de 3.60 GPM. Se obtiene un total de 22.87 GPM de agua caliente que se necesitarán en los servicios generales.

Finalmente se decidió emplear para las habitaciones dos calentadores de agua con una capacidad de 45 GPM cada uno, una temperatura de agua a la entrada de 21 °C y salida de 60 °C. Para los servicios generales se decidió emplear un calentador de agua con una capacidad de 30 GPM, una temperatura de agua a la entrada de 21 °C y salida de 65 °C. Los tres calentadores de agua funcionarán con vapor saturado a 861.84 kPa

### 4.2. Selección de Calderas

Para seleccionar las calderas que se necesitarán para alimentar de vapor a los calentadores de agua se debe calcular la potencia que éstas deben suministrar, para lo cual se empleará la siguiente ecuación:

$$w = \rho \times Q_{\text{agua}} \times C_p \times (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}) \quad (\text{Ec. 2})$$

Se considerarán los valores de 1000 kg/m<sup>3</sup> para la densidad, 4.18 kJ/kg-°C para el calor específico del agua, y 21 °C para la temperatura de entrada [4].

Reemplazando en la ecuación 2 los valores de caudal volumétrico con sus respectivas temperaturas de salida se obtiene para las habitaciones 925.79 kW y para los servicios generales 352.91 kW.

Finalmente se suman los valores de potencia mencionados en el párrafo anterior y se agrega un 10% para considerar cualquier tipo de pérdidas, obteniendo un total de 1406,57 kW ó 143,48 BHP.

Por cuestiones de espacio y facilidad a la hora de mantenimiento se seleccionan dos calderas verticales de 80 BHP y una presión de trabajo de 930.79 kPa, las cuales operaran entre 8 y 12 horas diarias [1].

## 5. Diseño del Sistema de Agua de Alimentación

El sistema de agua de alimentación está dividido en dos subsistemas; el primero que alimenta a las calderas, y lleva el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las calderas. El segundo que repone las pérdidas, y lleva el agua desde las cisternas hasta el tanque de almacenamiento

Lo primero a determinar en el diseño del sistema de agua de alimentación es la capacidad de evaporación de las calderas, esto se obtiene considerando que por cada BHP de capacidad de la caldera se necesita suministrar 0.069 GPM [3], es decir que en los 160 BHP que tienen las calderas seleccionadas se necesita aproximadamente 11.04 GPM

### 5.1. Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento

Considerando que el tanque de almacenamiento deberá satisfacer la demanda de las calderas por unos 30 minutos, que solo debe llenarse hasta un máximo del 70%, y que las calderas necesitan un suministro de agua de 11.04 GPM; entonces debe tener un volumen mínimo de 473.14gl. Se decide emplear un tanque con una capacidad de 500 gl

### 5.2. Diseño del sistema de tuberías.

Para diseñar el sistema de tuberías se debe considerar algunos parámetros, que se mencionan a continuación

#### 5.2.1. Tipo de operación

El tipo de operación se refiere al régimen de trabajo, es decir si el sistema operará de forma continua o intermitente.

Dado que las calderas que se emplean son de baja capacidad, el sistema trabajará de forma intermitente tanto para la alimentación de las calderas como para la reposición

#### 5.2.2. Temperatura a la succión

Para el caso del sistema de reposición, este tendrá una temperatura a la succión de 21 °C, ya que toma el

agua de las cisternas y se encuentran a temperatura ambiente.

Para el caso del sistema de agua de alimentación de las calderas, este tendrá una temperatura a la succión de 90 °C, ya que toma el agua del tanque de retorno de condensados [1]

#### 5.2.3. Capacidad

La capacidad se refiere al caudal que el sistema debe transportar, y sirve para seleccionar las tuberías y las bombas.

Como se mencionó antes el consumo de agua de las dos calderas es de 11.04 GPM, pero para fines de diseño se debe considerar un valor entre 1.5 y 2.0 veces la capacidad de evaporación de las calderas [3], por lo que se considero un consumo total de 22 GPM.

Para el caso del sistema de agua de reposición se asume que se necesita reponer un 40% del consumo de las calderas debido a purgas y pérdidas de vapor flash en el retorno de condensados [1]. El caudal que se debe suministrar es del 40% de los 11.04 GPM que equivalen a 4.42 GPM, pero para fines de diseño se considerará 5 GPM

#### 5.2.4. Presión de descarga

Para el caso del sistema de agua de reposición se decidió emplear tubería de diámetro ¾" con unas pérdidas de 7.27 m por cada 100 m, y para el sistema de alimentación de las calderas se empleará tuberías de diámetro 1" con unas pérdidas de 9.50 m por cada 100 m. Se decidió emplear estas tuberías por ser las que tienen menores pérdidas de fricción [6]

La siguiente tabla muestra las longitudes de las tuberías, pérdidas menores y totales en el sistema de reposición y en de alimentación de las calderas

**Tabla 1:** Perdidas en el sistema de agua de alimentación

	Metros	
	Reposición	Alimentación a las calderas
Altura	9,50	2,50
Longitud	12,00	14,50
Pérdidas por fricción	0,87	1,38
Pérdidas menores	0,45	0,92
Pérdidas totales	1,32	2,29

Para determinar el cabezal de las bombas que se emplearán, se recurre a la primera ley de la termodinámica expresada por medio de la ecuación de la energía aplicada a un fluido incompresible [5].

$$h_p = \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + (z_2 - z_1) + h_{L1-2} \quad (\text{Ec. 3})$$

Es importante mencionar que la densidad del agua es 1000 kg/m<sup>3</sup>, que la aceleración de la gravedad tiene un valor de 9.81 m/s<sup>2</sup>

Para el caso de la bomba para el agua de reposición el punto 1 es la cisterna que esta a presión atmosférica (101.32 kPa) y el punto dos el tanque de condensados que está a 620.53 kPa. Los valores de Z<sub>2</sub>-Z<sub>1</sub> y h<sub>L1-2</sub> se pueden ver en la tabla anterior y son 9.50 m, y 1.32 m respectivamente. Reemplazando todos los datos anteriores en la ecuación 3 se tiene como resultado un valor de 63.74 m. Si al valor anterior se agrega la caída de presión a través del ablandador de agua que fue estimada en 8.44 m de columna de agua (82.73 kPa) se obtiene un valor de 71.91 m.

Es decir, que la bomba que se emplee para el agua de reposición debe ser capaz de vencer un cabezal aproximado de 72 m.

Para el caso de la bomba para el agua de alimentación de las calderas el punto 1 es el tanque de condensados que esta a presión de 620.53 kPa, y el punto dos es la caldera la cual se considera a una presión igual a la de 1034.21 kPa mas 172.37 kPa según recomendaciones que se mencionan en la referencia 3, es decir 1206,58 kPa. Los valores de Z<sub>2</sub>-Z<sub>1</sub> y h<sub>L1-2</sub> se pueden ver en la tabla 10 y son 2.50 m, y 2.29 m respectivamente. Reemplazando todos los datos anteriores en la ecuación 3 se obtiene como resultado un valor de 61.53 m.

Es decir, que la bomba que se emplee para el agua de alimentación de la caldera debe ser capaz de vencer un cabezal aproximado de 62 m.

### 5.3. Sistema de tratamiento de agua potable.

En este trabajo se emplea un ablandador para realizar el tratamiento al agua de reposición debido a su eficacia y bajo costo de operación.

Para seleccionar el ablandador se debe considerar que el agua de reposición tiene un caudal de 5 GPM, el sistema operara en promedio 8 horas diarias, y la dureza del agua de alimentación es de 300 ppm [7]. Para estimar la capacidad del ablandador se debe realizar el siguiente cálculo

$$5 \text{ GPM} \times \frac{60 \text{ min}}{h} \times 300 \text{ ppm} \times \frac{0.0584 \text{ GPG}}{\text{ppm}} \times 8h$$

Del cálculo anterior se obtiene que la capacidad del ablandador debe ser superior o igual a 42048 granos, es decir 42 k

## 6. Diseño del Sistema de Combustible

Para empezar a diseñar el sistema de combustible lo primero que hay que hacer es seleccionar el combustible que representa la opción más económica, luego se procede a estimar la demanda de combustible y con este valor se dimensiona los tanques de

combustible. Después de lo anterior se selecciona la bomba de combustible y se dimensiona la chimenea.

### 6.1. Selección de Combustible

Dentro de las opciones que se tiene para el combustible están el diesel y GLP. El precio del diesel es de 7.5x10<sup>-6</sup> \$/kJ, versus el precio del GLP que es 2.23x10<sup>-5</sup> \$/kJ; por lo que se decidió emplear diesel como combustible para las calderas [1,4].

Es importante mencionar que se empleo el poder calorífico inferior para realizar los cálculos anteriores; ya que se considera que no se condensan los gases de escape de la caldera, de esta forma se evitará que los condensados corrosivos dañen prematuramente la chimenea.

Se puede concluir que la solución más económica es el diesel, ya que este tiene el precio más económico por cada kilo Joule de energía generado.

### 6.2. Estimación de la demanda de Combustible

Para estimar la demanda de combustible se debe emplear la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{diesel}} = \frac{\text{Capacidad de las Calderas}}{\eta \times \text{Poder Calorífico del Diesel}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Reemplazando los valores de 1568.48 kW que equivalen a los 160 BHP de potencia de las calderas, 0.8 en lugar de la eficiencia, y 42800 kJ/kg como poder calorífico inferior del diesel; se obtiene un resultado de 45.81x10<sup>-3</sup> kg/s. Considerando una densidad relativa de 0.85 para el diesel, el caudal volumétrico seria 51.26 GPH

### 6.3. Cálculo de la capacidad del tanque de combustible

El sistema de combustible consta de dos tanques. El primero que es el de servicio diario, sirve para almacenar el combustible unos pocos días y es de donde se alimentan directamente las calderas. El segundo que es el de reserva, y sirve para satisfacer la demanda de combustible por un tiempo más largo y evitar los desabastecimientos en épocas de escases.

#### 6.3.1. Dimensionamiento del tanque de servicio diario

Para dimensionar el tanque de servicio diario se debe considerar que este almacenará suficiente combustible para tres días laborables, cada día con 10 horas de operación. El siguiente cálculo sirve para determinar la capacidad de este tanque

$$3 \text{ dias} \times \frac{10 \text{ horas}}{\text{dia}} \times 51.26 \frac{\text{gl}}{\text{hora}} = 1537.80 \text{ gl}$$

Se selecciona un tanque horizontal de 1650 gl por ser este de dimensiones comerciales [1]

### 6.3.2. Dimensionamiento del tanque de reserva

Para dimensionar el tanque de reserva se debe considerar que este almacenará suficiente combustible para 20 días laborables, cada día con 8 horas de operación. El siguiente cálculo sirve para determinar la capacidad de este tanque

$$20 \text{ dias} \times \frac{8 \text{ horas}}{\text{día}} \times 51.26 \frac{\text{gl}}{\text{hora}} = 8201.6 \text{ gl}$$

Se selecciona un tanque vertical de 8200 gl, el cual deberá estar encerrado en un cajón de hormigón por medidas de seguridad.

### 6.4. Determinación de la capacidad de la bomba de combustible

Como ya se mencionó la demanda de combustible que se necesita para alimentar las calderas es de 51.26 GPH, dicha demanda debe ser satisfecha por la bomba de combustible.

Para este caso se recomienda emplear bombas de desplazamiento positivo del tipo de engranajes, ya que su operación será intermitente.

La presión de descarga de la bomba puede fluctuar entre 275,79 y 1206,58 kPa dependiendo del arreglo del sistema de tuberías de combustible, siendo lo recomendado usar 689,48 kPa [3].

### 6.5. Dimensionamiento de la chimenea

En la ciudad de Guayaquil para quemar 1 kg de diesel se necesitan 21.96 kg de aire, y se producen 22.96 kg de gases de combustión; de esta forma se obtendrá una combustión excelente con un exceso de aire del 24% [1]

Del párrafo anterior se puede concluir que por los  $45.81 \times 10^{-3}$  kg/s de diesel que se consumen, se producirán 1.05 kg/s de gases de combustión.

Es importante mencionar que los gases de combustión salen a una temperatura aproximada de 250 °C, dicha temperatura es superior a 120 °C que corresponde a la temperatura de rocío de los derivados de azufre presentes en los gases de combustión, pues de no ser así ocasionaría daños en la chimenea por efectos corrosivos.

Los gases de combustión deben abandonar la caldera a una velocidad tal que los costos de construcción y las pérdidas de tiro por fricción no sean elevados, por esta razón las velocidades recomendadas fluctúan entre 7.62 m/s y 9.14 m/s [1].

Para determinar el área de la sección transversal de la chimenea se debe emplear la siguiente ecuación

$$A = \frac{\dot{m}}{\rho V} \quad (\text{Ec. 5})$$

Para determinar el área de la sección transversal de la chimenea se considerará un caudal de 1.05 kg/s de gases de combustión, una velocidad de 7.62 m/s según

recomendaciones que se mostraron en párrafos anteriores, una densidad de los gases de combustión idéntica a la que tiene el aire a la misma temperatura y presión, es decir 0.6746 kg/m<sup>3</sup> a 250 °C y 101.3 kPa [4]

Al reemplazar en la ecuación 5 los datos mencionados en el párrafo anterior se obtiene una sección transversal con un área de 0.20 m<sup>2</sup>, que corresponde a un diámetro de 500 mm

Para este proyecto la altura de la chimenea debería tener aproximadamente 15 m para tener una combustión satisfactoria, pero como saldrá por la terraza del edificio esta tendrá aproximadamente 65 m, por lo que se deberá instalar un dämpner para evitar problemas en la combustión [1].

## 7. Tuberías de vapor y retorno de condensado

En esta parte se selecciona los diámetros de las tuberías de vapor y retorno de condensado, también se selecciona las trampas de vapor necesarias para impedir el flujo de vapor hacia el sistema de retorno de condensado.

### 7.1. Dimensionamiento de tuberías de vapor

En esta sección se mencionan cuatro tramos de tuberías, el tramo 1 que va de las calderas al distribuidor de vapor, los tramos 2, 3, y 4 que van del distribuidor de vapor a los calentadores número 1, 2, y 3 respectivamente.

Para poder seleccionar el diámetro de las tuberías es importante mencionar que las velocidades máximas recomendadas están en el orden de 24.4 m/s a 36.6 m/s, de esta forma se evitaban problemas de erosión y ruido [6].

La siguiente tabla muestra los caudales, velocidades y diámetros de las tuberías seleccionadas.

**Tabla 2:** Diámetros y velocidades en tuberías de vapor

	Datos		Resultados	
	Presión [kPa]	Caudal [kg/h]	Diámetro [pulgadas]	Velocidad aproximada [m/s]
Tramo 1	930.8	1255	2	27.94
Tramo 2	930.8	952	2	24.38
Tramo 3	930.8	952	2	24.38
Tramo 4	930.8	605	1 1/2	24.87

En la tabla anterior la presión es la de operación de las calderas, el caudal del tramo 1 es el que produce una caldera, los caudales de los tramos 2, 3 y 4 son los que consumen los calentadores. Se puede apreciar

también que para los diámetros seleccionados las velocidades de vapor se encuentran dentro de los límites recomendados.

El siguiente paso para verificar si el diámetro de las tuberías es el apropiado es determinar la caída de presión en cada tramo; para lo cual es necesario conocer la longitud total de la tubería, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios.

La siguiente tabla muestra un resumen de la tubería y accesorios empleados en cada tramo.

**Tabla 3:** Accesorios en tuberías de vapor

	TRAMO			
	1	2	3	4
Tubería [m]	9,0	11,0	9,5	8,0
Codos	4,0	4,0	4,0	4,0
Válvulas de compuerta	2,0	2,0	2,0	2,0
Válvulas de retención	1,0	1,0	1,0	1,0
Entrada recta	1,0	1,0	1,0	1,0
Salida recta	1,0	1,0	1,0	1,0

La siguiente tabla muestra los datos de longitudes totales que servirán para determinar la caída de presión a través de las tuberías de vapor.

**Tabla 4:** Pérdidas en tubería de vapor

	TRAMO			
	1	2	3	4
Longitud de tuberías [m]	9,0	11,0	9,5	8,0
Pérdidas menores [m]	26,4	26,4	26,4	15,6
Longitud total [m]	35,4	37,4	35,9	23,6
Longitud total [pies]	116,2	122,6	117,7	77,5

La siguiente tabla resume la caída de presión en cada tramo de las tuberías de vapor.

**Tabla 5:** Caída de presión en tuberías de vapor

Tramo	Longitud total Pies	Caída de presión		
		Psi/100pies	Psi	kPa
1	116,2	4,7	5,4	37,5
2	122,6	2,3	2,9	19,8
3	117,7	2,3	2,8	18,9
4	77,5	3,3	2,5	17,5

De la tabla anterior se puede concluir que la presión en el distribuidor de vapor es 893.3 kPa, la presión a las entradas de los calentadores 1, 2 y 3 son respectivamente 873.5 kPa, 874.4 kPa, y 875.8 kPa

Dado que todas las presiones a la entrada de los calentadores de agua son superiores a 861.84 kPa que es la presión de operación de los mismos, y que el método empleado para calcular la caída de presión es conservador [1], será necesario agregar estaciones reguladoras de presión a la entrada de cada calentador.

## 7.2. Dimensionamiento de tuberías de condensado

La experiencia indica que se deben diseñar las tuberías de retorno de condensado como si se tratarán de tuberías de agua con el caudal correspondiente a dos veces el de régimen, de esta forma serán capaz de transportar el condensado y revaporizado de régimen sin ningún problema [3].

La velocidad máxima que puede tener el condensado es de 20.11 m/s, con la finalidad de que la mezcla condensado-revaporizado circule sin presiones excesivas y sin deterioro en la tubería [6]. Por otra parte para no reducir la capacidad de descarga de las trampas de vapor, especialmente en el momento de la puesta en marcha (bastante condensado y poca presión), se recomienda dimensionar las tuberías de retorno de condensado con caídas de presión menores a 9.79 kPa por cada 100 metros [3].

Assumiendo que las dos calderas funcionan al mismo tiempo, el caudal de régimen sería 2509 kg/h, es decir, que el caudal de diseño sería 5018 kg/h.

Según el criterio de velocidad permisible, el diámetro de la tubería debería ser de 1 ½" pues permite tener una velocidad muy cercana a la máxima recomendada, pero genera una caída de presión superior a 9.79 kPa por cada 100 m; por lo que se decidió emplear una tubería de 2", de esta manera se mantendrán los valores de velocidad y caída de presión dentro de los límites recomendados [1].

La siguiente tabla muestra un resumen de los accesorios y longitudes equivalentes de los mismos.

**Tabla 6:** Accesorios en tubería de condensado

	Cantidad	Longitud equivalente [m]
Tubería [m]	15	15,00
Codos	4	15,74
Válvulas de compuerta	3	1,18
Válvulas de retención	3	15,74
Entrada recta	3	3,94
Salida recta	1	2,62
Total	-----	54,23

Con el caudal de 5018 kg/h, y un diámetro de la tubería de 2" se obtiene una caída de presión de 9.79 kPa por cada 100m [1]. El siguiente cálculo sirve para determinar la caída de presión a lo largo de la tubería de condensado.

$$\text{Caída de presión} = \frac{54.23 \text{ m} \times 9.79 \text{ kPa}}{100\text{m}} = 5.31 \text{ kPa}$$

Si al valor anterior se le agrega un 20% frente a la posibilidad de agregar algún otro accesorio, entonces la caída de presión sería 6.37 kPa

### 7.3. Selección de trampas de vapor

Para seleccionar las trampas de vapor se debe considerar un factor de seguridad, tanto para el distribuidor de vapor como para los calentadores se emplea un factor de seguridad de dos [6].

La siguiente tabla resume los datos necesarios para la selección de las trampas de vapor tanto para el distribuidor de vapor, como para los calentadores.

**Tabla 7:** Datos para selección de trampas de vapor

Equipo	Caudal [kg/h]		Presión [kPa]	
	Régimen	Diseño	Máx.	Diferencial
Distribuidor de vapor	126	252	896.32	269.42
Calentador 1	952	1904	861.84	234.49
Calentador 2	952	1904	861.84	234.49
Calentador 3	605	1210	861.84	234.49

Basándose en la tabla anterior se selecciona una trampa termodinámica de la serie TD52 de ½" para el distribuidor de vapor, y trampas de flotador y termostáticas de la serie FT14-4.5 en diámetro 1" para los tres calentadores de agua [1].

## 8. Sistema de almacenamiento de agua caliente.

Los sistemas de agua caliente necesitan un sistema de almacenamiento cuando tienen grandes demandas en cortos de tiempo, este es el caso del sistema que alimentará de agua a las habitaciones. Los sistemas que tienen una demanda constante no necesitan tener un tanque de almacenamiento, solo necesitan una válvula de tres vías para mezclar el agua fría con la caliente; este es el caso del sistema que alimentará de agua a los servicios generales.

### 8.1. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Para dimensionar el tanque de almacenamiento se debe emplear la siguiente ecuación

$$V = N \times FF \times FC \times G \text{ max} \quad (\text{Ec. 6})$$

Se debe considerar 1.25 para el factor de forma (FF) ya que se trata de un tanque vertical, un valor de 15 GPM en lugar de Gmax ya que el hotel tiene más de 100 habitaciones, 0.80 para el factor de capacidad (FC) por tratarse de un hotel [2]. Recordando que el hotel en estudio tiene 136 habitaciones, entonces el volumen del tanque debe ser 2040 gl.

### 8.2. Dimensionamiento del sistema de tuberías de recirculación

Dado que cada calentador está en capacidad de calentar 45 GPM, entonces la bomba del sistema debe ser capaz de recircular 90 GPM, por lo tanto se selecciona una tubería de 3" por que presenta las menores pérdidas por fricción [6].

La siguiente tabla muestra un resumen de la longitud de la tubería, accesorios y longitudes equivalentes de los mismos.

**Tabla 8:** Accesorios en el sistema de recirculación

Descripción	Cantidad	Longitud equivalente [m]
Tubería [m]	18	18
Codos	10	66,68
Tees	2	17,78
Reducción 3"x1"	2	4,45
Válvulas de compuerta	6	4
Válvulas de retención	1	8,89
Entrada recta	3	6,67
Salida recta	1	4,45
Total	-----	130,9

Con el caudal de 90 GPM, una tubería de diámetro de 3", unas pérdidas por fricción de 2.26 m por cada 100 m [6]; se obtiene unas pérdidas de 2.95 m. Al valor anterior hay que agregar las pérdidas a través de los calentadores, que corresponde a 3.51 m, lo que da una total de pérdidas de 6.46 m

Es decir que para nuestro sistema de recirculación se empleará tubería de 3" de diámetro, y una bomba con una capacidad de 90 GPM y un cabezal de 6.46 m.

## 9. Análisis de costos.

El costo de este proyecto es de \$ 305 226.77, que al agregarle el IVA toma un valor total de \$ 341 853. 98

La siguiente figura muestra de forma detallada el desglose de los costos de este proyecto.

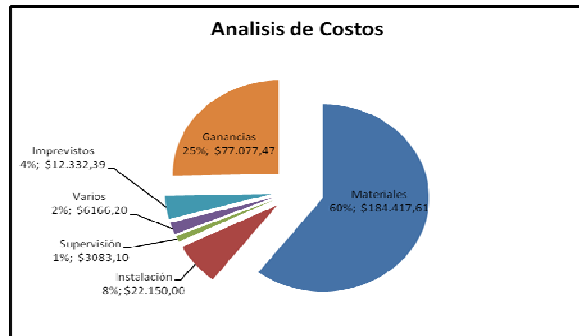


Figura 1: Análisis de costos

## 10. Conclusiones y recomendaciones.

### 10.1. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son:

- Para poder satisfacer la necesidad de agua caliente se deben emplear dos calentadores de agua de 45 GPM para las habitaciones, y uno de 30 GPM para los servicios generales. Todos los calentadores trabajan a 861.84 kPa
- Se necesitan instalar dos calderas verticales de 80 BHP cada una, con una presión de diseño de 1034.21 kPa
- Las calderas operaran con diesel, el cual será almacenado en dos tanques, uno de servicio diario de 1650 gl, y otro de reserva de 8200 gl
- La chimenea tendrá un diámetro de 500 mm y una altura de 65 m. Debido a su altura, a esta chimenea hay que instalarle un dâmpen para que no existan problemas en la combustión
- Las trampas de vapor seleccionadas para los calentadores de agua de 1" de la serie FT14-4.5, y la del distribuidor de vapor es de 1/2" de la serie TD52
- El sistema de almacenamiento de agua caliente constará de una tanque vertical de 2040 galones
- El costo total de este proyecto es 341.853,98 dólares americanos

### 10.2. Recomendaciones

Las recomendaciones de este trabajo son:

- Diseñar el sistema a vapor con el mayor cuidado posible, para evitar problemas técnicos durante su operación y además evitar costos innecesarios
- Recuperar la mayor cantidad de condensado posible, pues esto representa un ahorro de dinero

y el sistema se hace más amigable con el ambiente.

- Incluir un sistema de tratamiento del agua de alimentación de las calderas, así como un sistema de lavado para los calentadores de agua de tal forma que permita alargar la vida útil de estos equipos
- Implementar un plan de mantenimiento a todos los equipos del sistema de agua caliente, de esta forma se minimizarán las fallas, permitiendo así que el sistema opere de forma segura
- Realizar de forma frecuente análisis al agua de alimentación de la caldera para poder tomar medidas correctivas en caso de que alguna variable este fuera de los limites deseados y así evitar que se acorte la vida útil de este equipo
- Analizar los gases de escape de la caldera con la frecuencia apropiada para determinar si la combustión es adecuada y tomar medidas correctivas en caso de ser necesario
- Mantener en óptimas condiciones los equipos de control y seguridad para evitar algún accidente

## 7. Referencias

- [1] Herrera Ordóñez M, Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas, Tesis de grado, ESPOL, 2009
- [2] SLANT/FIN, "CARAVAN Engineering Manual", SLANT/FIN Corporation, Estados Unidos de Norteamérica, 1995
- [3] Vargas Zúñiga Angel, "Calderas Industriales y Marinas", Segunda Edición, Editorial Series VZ, Guayaquil, 1996
- [4] Cengel Yunus; Boles Michael, "TERMODINÁMICA", Cuarta Edición, Editorial Mc Graw Hill, México DF, 2003
- [5] Munson Bruce, Young Donald, Okiishi Theodore "Fundamentos de Mecánica de Fluidos", Editorial Limusa Wiley, México DF,
- [6] Spirax Sarco, "Design of fluid systems", Spirax Sarco Inc, Decima Edición, Estados Unidos de Norteamérica, 1991
- [7] INEN, "Requisitos de Agua Potable", Primera Edición, 2005