

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Erick Ronaldo Recinos Márquez<sup>1</sup>

## RESUMEN

Es importante que una entidad que brinda un servicio cuente con un sistema de generación de energía diferente a la electricidad para que lo utilice en la realización de varios procesos dentro de las instalaciones en los que se haga necesario.

Según (El-Wakil, 2002), los pasos a realizar para dimensionar una caldera y su sistema de distribución de vapor con sus accesorios en base a los requerimientos necesarios, que en este caso fue un hospital se utilizan en este artículo.

Para poder determinar la capacidad de una caldera fue necesario determinar los consumos de vapor por área (Horlock, 2010), los cuales

fueron determinados en base a las características por área e información proporcionada por trabajadores del hospital, por lo que en su momento se presentará la forma y explicación dentro del trabajo.

Fue necesario realizar mediciones físicas de las instalaciones del hospital para contar con un dato importante a la hora de seleccionar los diámetros y poder realizar la distribución de la tubería dentro de las instalaciones. También se hizo necesario asumir varios valores que en su momento se detallarán.

**Palabras clave:** Calderas, sistemas de vapor, distribución de vapor, trampas de vapor, retorno de condensados.

## ABSTRACT

It is important that an entity that provides a service has a power generation system other than electricity to use in performing several processes within the facilities where it is necessary.

(El-Wakil, 2002) presents the steps to be taken to size a boiler and its steam distribution system with its accessories based on the necessary requirements, which in this case was a hospital.

In order to determine the capacity of a boiler it was necessary to determine the steam consumption by area (Horlock, 2010), which

They were determined based on the characteristics by area and information provided by hospital workers, so at the time the form and explanation will be presented within the work.

It was necessary to perform physical measurements of the hospital facilities in order to have an important data when selecting the diameters and to be able to distribute the pipe within the facilities. It was also necessary to assume several values that will be detailed at the time.

**Keywords:** Boilers, steam systems, steam distribution, steam traps, condensate return.

## INTRODUCCIÓN

La generación y distribución de vapor es de suma importancia en la industria guatemalteca, muchas veces de esta depende el buen desempeño que pueda tener algún

proceso (lavado, cocción, secado, esterilización, calentamiento de agua).

---

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico con énfasis en Electrónica, egresado de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, coordinador del departamento de mantenimiento vehicular de la Municipalidad de Guatemala y supervisor de PDIs en Grupo Tecún. Email: erick5408@gmail.com

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

La necesidad de poder contar con un generador de vapor ha crecido rápidamente en toda industria. Por esta razón es importante y exigente la selección del equipo generador de vapor, la red de distribución de este, así como los equipos consumidores de vapor. Estos equipos juegan un papel importante, ya que de estos depende que las eficiencias de estos sistemas sean las esperadas.

En un hospital muchos de los procesos que se manejan necesitan de vapor por lo que es importante montar un sistema que genere y distribuya vapor para cubrir los requerimientos de estos procesos que necesiten vapor como fuente de energía.

## MÉTODO

La investigación se realizó en un Hospital Privado, en el cual se analizó la información necesaria para la realización de los cálculos.

Se ha dividido el consumo total de vapor del hospital en 4 áreas:

1. Agua caliente
2. Lavandería
3. Cocina
4. Esterilización

El agua caliente se utilizará en las regaderas y afuera de las salas de operaciones para que los doctores y demás personal puedan utilizarla para lavarse las manos antes y/o después de cada operación. Se utilizarán 2

Por estas razones este trabajo de tesis trata sobre la selección de un equipo generador de vapor (caldera) y su red de distribución con sus accesorios para el Hospital Privado de Quetzaltenango. Con los resultados de este trabajo las autoridades del hospital determinarán si es viable para ellos instalar un sistema con estas características o si siguen como hasta ahora que utilizan equipos accionados por energía eléctrica. Para esta selección se hizo necesario contar con las presiones de trabajo y calcular los consumos de vapor que necesitan los equipos consumidores de este. Fleten, (S.-E., & Näsäkkälä, E. 2003)

acumuladores de agua, los cuales calientan agua a través de un serpentín dentro de estos y la almacenan. Cada uno tendrá un área específica del hospital y estarán distribuidos de tal manera que el agua caliente llegue en el menor tiempo posible a cualquier punto.

La maquinaria de lavandería que utilizará vapor estará compuesta por: 2 lavadoras, 1 secadora.

El equipo de cocina que utilizará vapor serán marmitas, teniendo un total de 6.

El hospital contará con 2 autoclaves o esterilizadores para desinfectar el equipo y ropa que sean necesarios.

Las autoridades del hospital no tienen pensado ampliar ni a corto ni a largo plazo sus instalaciones teniendo como resultado una demanda constante.

## INSTRUMENTOS

Para la determinación del consumo de vapor dentro del hospital se consultaron fuentes secundarias de información como manuales y hojas de datos de las lavadoras, secadoras, esterilizadores, marmitas y acumuladores de agua; algunos de estos manuales y hojas de datos fueron proporcionados por empresas que se dedican a la venta de estos equipos y

otros se encontraron en páginas de internet de empresas dedicadas a la venta y distribución de estos; además de cierta información proporcionada por las autoridades del hospital.

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Para la realización de los cálculos se consultaron libros de Termodinámica y de producción de energía mediante vapor, se utilizaron, tablas termodinámicas de agua, tablas de selección de diámetro de tuberías, accesorios de la red de distribución (trampas de vapor), (El-Wakil, M. 2002)

Existen varios métodos para poder determinar el diámetro de tuberías, el método que se utilizó relaciona la caída de presión en las tuberías y el flujo de vapor para determinar de esta manera el diámetro de tubería (Sandler, S. 1997).

## PROCEDIMIENTO

1. Surge la idea de realizar un trabajo con estas características, por lo que se contactó con las autoridades de este hospital y se obtuvo una respuesta positiva y entusiasta, ofreciendo las instalaciones para realizar dicho proyecto.
2. Se investigó sobre el tema en bibliotecas de varias universidades del país, biblioteca personal e información en internet.
3. Se definieron los objetivos y variables de estudio.
4. Se presentó un pequeño informe de lo que iba a calcular en el trabajo a las autoridades del hospital, dando ellos su aprobación.
5. Se solicitó a los encargados del hospital planos de las instalaciones, cantidad de camas que tienen disponibles y en base a ello se procedió a calcular la capacidad de la maquinaria a utilizar por área, tomando como referencia la sección 1.3.16 del marco teórico.
6. Se procedió a buscar la maquinaria necesaria en base a la información encontrada del inciso anterior consultando catálogos de internet y de empresas que se dedican a la venta del equipo que se necesita.
7. Al contar con toda esta información se calculó la capacidad de producción de la caldera en base a los principios termodinámicos.
8. Se realizó el cálculo para la elaboración de la red de distribución de vapor y retorno de condensado, en base a tablas y criterios requeridos.
9. Se realizaron las conclusiones y recomendaciones pertinentes de los cálculos realizados.
10. Con la ayuda del asesor se realizó una revisión de este trabajo, para asegurar que se cumplieron los objetivos.

## RESULTADOS

### DETERMINACIÓN DE CONSUMOS

Para determinar los consumos (Burghardt, 1982), se realizó en base a las características que posee cada área en las cuales se utilizará vapor, a continuación, se detalla cómo se determinó el consumo de vapor de cada área.

Parte de la información sobre el tiempo en que se utilizan los equipos fue proporcionada por el Señor Aníbal Pacajo, Encargado del Departamento de Mantenimiento del hospital. Como ya se mencionó el hospital cuenta con 40 camas y 2 salas de operación.

### AGUA CALIENTE

La cantidad de galones por hora totales que se consumen dentro del hospital se determinó utilizando la información de la sección 1.3.16 del marco teórico. Se asumió que una

persona tarda un promedio de 15 minutos bañándose y una persona que utilizará agua caliente para lavarse antes y/o después de una operación un máximo de 3 minutos teniendo los siguientes resultados:

### Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

<b>Agua Caliente</b>	$\frac{\text{gal}}{\text{h}}$	$\frac{\text{litros}}{\text{h}}$	Litros
Por cama	10		
Sala operaciones	6		
Total, cama	400	1480	370.00
Total, Sala Operaciones	12	44.400	2.22
		<b>Total</b>	<b>372</b>

**Tabla 1:** litros totales de agua caliente

Para determinar el flujo másico se utilizó la información técnica de un acumulador de agua en el cual indica la información de caudal a la entrada del serpentín, la temperatura máxima a la cual puede entrar vapor al serpentín y la temperatura máxima a la que puede almacenar agua este

acumulador, se asumió una presión de entrada de vapor (361 kPa), con este valor se buscó su volumen específico en las tablas termodinámicas. Con estos datos se procedió a calcular el flujo másico que necesitan estos 2 acumuladores.

	Presión de entrada (kPa)	Volumen Específico $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$ De Tabla A12 de Anexo 01	Caudal entrada serpentín $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$	Flujo Másico $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$
Entrada al serpentín	<b>361</b>	0.5089	2.8	<b>5.50</b>

**Tabla 2:** flujo másico de vapor y presión de entrada de vapor de un acumulador de agua

Se necesita un total de 2 acumuladores de agua, por lo que el flujo másico total para el agua caliente que se necesita dentro del hospital es  $11 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cong 15 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

## LAVANDERÍA

Según (Cengel, Turner, & Cimbala, 2008), se utilizó la información, la cual sirvió para determinar la capacidad de cada lavadora y secadora a colocar y la cantidad de ciclos por día.

Lavadora		Secadora	
Tiempo por ciclo (min)	50	Tiempo por ciclo (min)	25
Ciclos por día	6	Ciclos por día	4

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

**Tabla 3:** tiempo por ciclo y cantidad de ciclos por día de una lavadora y secadora

Según (Horlock, J. 2010) se tomó el dato de que se lavan 12 libras de ropa por cama al día y que el 30% de esta ropa se seca en secadora (3.6 libras de ropa por cama al día).

Equipo de lavandería	Lb/día	Lb/semana
lavadoras	480	
secadoras	144	
lavadoras		3360
semanas secadoras		1008

**Tabla No. 4:** libras por semana de ropa para lavar y secar

Utilizando la información de las tablas anteriores, se determina la capacidad de las lavadoras y secadora.

$$\text{Capacidad}_{\text{Lavadora}} = \frac{3360}{5 * 6} = 112 \text{libras} = 51 \text{kg}$$

$$\text{Capacidad}_{\text{Secadora}} = \frac{1008}{5 * 4} = 50 \text{libras} = 23 \text{kg}$$

En base a esta información se consulto catálogos otorgados por un trabajador de Apelsa que es un distribuidor de lavadoras y secadoras marca Unimac, de los cuales obtuvimos los flujos másicos de vapor.

Se utilizarán 2 lavadoras con una capacidad de 27 kg, cada una con un flujo másico de  $18 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

En la hoja de datos de la secadora que se selecciono aparece la potencia en Kw por lo que se buscó la entalpía de vapor a la presión de operación del equipo.

$$\dot{Q} = 35 \text{kW}$$

$$h_{@863\text{kPa}} = \underbrace{2772.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}_{\text{De tabla A12 Cengel}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \left( \frac{35 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{2772.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \right) \frac{3600 \text{s}}{1 \text{hora}}$$

$$= 45.45 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

	Cantidad	Presión entrada (kPa)	Flujo másico $\left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$
Lavadoras	2	<b>125</b>	18
Secadoras	1	<b>125</b>	45.45
Total			$81.45 \cong 85$

**Tabla 5:** Propiedades

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

## COCINA (MARMITAS)

Se obtuvo información sobre carne de todo tipo, algunos vegetales y frutas que se cocinan en el hospital actualmente. La

cantidad y tiempo aproximados de cada vegetal, fruta y carne (en kilogramos) que se cose por día fue dada por una cocinera del hospital.

Número marmitas	Litros por marmita	T alimentos entrada °C	T alimentos caliente °C	T entrada Vapor °C	T salida Condensado °C
6	30	20	70	133.43	85
Total, litros	180				

**Tabla 6:** Litros totales, temperaturas de entrada y salida de vapor y agua a la marmita

Según (Fleten & Näsäkkälä, 2003), se asumió que los vegetales se encontraran a temperatura ambiente (20 °C) y la temperatura a la cual llegarán los alimentos dentro de la marmita sería de 70 °C, teniendo como resultado un diferencial de temperatura de 50 °C. El tiempo promedio en el cual las marmitas estarán en funcionamiento será de 2 horas por día.

De acuerdo con (Fleten & Näsäkkälä, 2003), se determino el flujo másico que cada alimento necesita para que sea calentado por medio de un balance de energía, la suma de todos los flujos nos da el consumo de vapor de esta área.

Entalpias de entrada de vapor y salida de condensado:

$$h_{@276kPa} = 2699 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left. \vphantom{h_{@276kPa}} \right\} \text{Tabla No.12 de Anexo 01}$$

$$h_{@85^{\circ}\text{C}} = 2296 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left. \vphantom{h_{@85^{\circ}\text{C}}} \right\} \text{Tabla No.11 de Anexo 01}$$

A continuación, se presenta una tabla con todos los resultados, las capacidades caloríficas según método de (Horlock, 2010):

	$C_p \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}} \right)$	Cantidad en kg cocinados por día	Flujo másico $\left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$
<b>Vegetales</b>			
Brócoli	3.86	14	3.35
Zanahorias	3.79	14	3.29

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Coliflor	3.92	14	3.40
Papas	3.64	16	3.61
Espinaca	3.96	1.2	0.29
<b>Frutas</b>			
Plátano	3.59	12	3.26
Manzana	3.81	16	3.78
<b>Mariscos</b>			
Bacalao	3.45	2.27	0.49
Salmon	2.98	2.27	0.42
<b>Carnes</b>			
Res	3.54	9	1.98
Bistec	3.08	9	1.72
Cerdo	3.49	9	1.95
Pollo	3.56	9	2.42
		<b>Total</b>	<b>29.97 <math>\cong</math> 30</b>

**Tabla 7:** flujos máscicos de vapor para cada alimento

## ESTERILIZACIÓN

Las autoclaves se utilizan para limpiar el material quirúrgico y ropa de operación que utilizan los doctores y demás personal de una sala de operaciones. Se obtuvo información de la cantidad de material quirúrgico y ropa que se esteriliza por ciclo; el tiempo de utilización por ciclo de una autoclave será de 45 minutos según información proporcionada por el señor Pacacoj.

El cálculo de flujo máscico se realizo de la misma manera que en la sección anterior, presentando los datos a continuación:

Entalpías de entrada y salida de vapor

$$h_{@173kPa} = 2694.2 \frac{kJ}{kg}$$

TablaNo.12 de Anexo01

$$h_{@85^{\circ}C} = 2296 \frac{kJ}{kg}$$

TablaNo.11 de Anexo01

	$C_p \left( \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right)$	Cantidad en kg cocinados por día	Flujo máscico $\left( \frac{kg}{h} \right)$
Material Quirúrgico	0.444	25	3.61
Ropa de algodón	1.3	10	4.22
			<b>7.83 <math>\cong</math> 10</b>

**Tabla 8:** flujo máscico para un equipo de esterilización

Se utilizarán 2 autoclaves el flujo total será de  $20 \frac{kg}{h}$ .

## CAPACIDAD DE LA CALDERA

En la siguiente tabla se presentan los consumos de vapor por área del hospital y su presión de funcionamiento

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Área	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	kPa
Lavandería	85	863
Cocina	30	276
Esterilizadores	20	145
Agua Caliente 1	7.50	361
Agua Caliente 2	7.50	361
Total	155	

**Tabla 9:** flujos máscicos de vapor por área con su presión de funcionamiento

Al flujo máscico total se le aumenta un 25% por conceptos de ampliación y picos que se pueden ocasionar al estar en funcionamiento la caldera, esto da como resultado  $188 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ . Se

asume que el flujo máscico dado es cuando la caldera está a un funcionamiento del 85%, por lo que se debe multiplicar por un factor de 1.18 para tener el flujo máscico al 100%, lo que da como resultado  $221 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

Según (Kyle, 1999), se procede a calcular el porcentaje de retorno de condensado (% RC), el cual servirá para determinar la temperatura de agua de alimentación de la caldera. Este cálculo se realiza mediante la ecuación 2.

$$\%RC = \frac{155 - 20}{155} = 87\%$$

Por medio de un balance de energía se calcula la temperatura del agua de alimentación asumiendo que el agua fresca tiene una temperatura de 24 °C y el condensado una temperatura de 82 °C

$$T_{a.a.} = (0.87)(82^\circ\text{C}) + (1 - 0.87)(24^\circ\text{C})$$

$$T_{a.a.} = 77^\circ\text{C}$$

## Diseño de la red de distribución de vapor

La red de distribución de vapor consta de 4 ramales principales, con los flujos máscicos de vapor y la presión a la cual deben de trabajar los equipos se puede determinar el diámetro

Con esta temperatura se busca la entalpía del agua de alimentación y entalpía de vapor saturado, para esta entalpía se tomo que la caldera trabajará a 1000 kPa (145 psia).

$$h_{@77^\circ\text{C}} = 327 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

De tabla 11 del Anexo 01

$$h_{@1000\text{kPa}} = 2773 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

De tabla 12 del Anexo 01

Con la ecuación 1 se calculan los BHP:

$$\text{BHP} = \frac{221 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left( 2773 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 327 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{\left( 15.65 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \left( 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}$$

$$\text{BHP} = 15.3$$

Se utilizará una caldera de 20 BHP que trabaja a una presión máxima de 2070 kPa con una capacidad de generación de máxima de vapor de 310 kg/h.

La altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra Quetzaltenango es de 2333 metros sobre el nivel del mar, este dato de debe de tomar en cuenta al momento de determinar los porcentajes de oxígeno y combustible que deben introducirse a la caldera cuando esté en operación.

La eficiencia de caldera se calculará utilizando la fórmula 3. Se tomo como eficiencia de combustión 85% según lo descrito en la sección 1.3.5 del marco teórico, para las pérdidas por radiación y convección 1% y las pérdidas por purga 2% según lo descrito en la sección 1.3.7 del marco teórico.

Eficiencia caldera

$$= (0.85 - (0.01 + 0.02))(100)$$

Eficiencia caldera = 82%

Según (Potter, M., & Scott, E. 2004) para cada uno de estos ramales. A continuación, se presenta el cálculo del ramal de lavandería.

Se definieron dos presiones que son las presiones de abastecimiento (904 kPa) y la

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

presión de consumo (870 kPa). Se hace notar que se trabajan con presiones manométricas y no absolutas.

Factores de presión

$$\left. \begin{aligned} P_1 @ 904 \text{ kPa } \text{ ó } 116 \text{ psig} &= 12610 \\ P_2 @ 870 \text{ kPa } \text{ ó } 110 \text{ psig} &= 11515 \end{aligned} \right\} \text{ De Cengel}$$

(Cengel, Turner, & Cimbala, 2008)

Se aplica el 70% al largo de tubería, debido al efecto de accesorios, lo que da un largo equivalente de 60 metros (195 pies).

Aplicando la ecuación 5 se determina el factor de caída de presión:

$$F = \frac{(12610 - 11515)}{195} = 5.61$$

Debido a las pérdidas de radiación a lo largo de la tubería, es necesario que el consumo de

vapor de cada área sea multiplicado por un factor, el cual consiste en que por cada 30 metros (100 pies) de tubería equivalente se asume que se pierde 1% de vapor, lo que da como resultado  $94 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

Utilizando la Tabla A3 del Anexo 01, se determina el diámetro de la tubería, tomando como base el factor de caída de presión y el consumo de vapor lo que da un diámetro de 1 pulgada.

A continuación, se presentan los diámetros de todas las tuberías

Equipo	Largo (m)	Largo (pies)	Largo Equivalente (m)	Largo equivalente (pies)	Flujo ( $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ )	Flujo ( $\frac{\text{lb}}{\text{h}}$ )	Flujo Eq ( $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ )	Flujo Eq ( $\frac{\text{lb}}{\text{h}}$ )
Agua Caliente 1	50	164	85	278.8	10	22	11	24.2
Agua Caliente 2	65	213.2	111	362.44	10	22	12	26.4
Lavandería	35	114.8	60	195.16	85	187	94	206
Marmitas	40	131.2	68	223.04	30	66	33	72.6
Esterilización	85	278.8	145	473.96	20	44	24	52.8

**Tabla 10:** diámetros de tuberías principales

Equipo	Presión Abastecimiento (kPa)	Presión Consumo (kPa)	P1	P2	F	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
Agua Caliente 1	393	361	2500	2100	1.4	3/4	19.05
Agua Caliente 2	393	361	2500	2100	1.1	3/4	19.04
Lavandería	932	897	13370	12420	4.9	1	25.4
Marmitas	345	311	1945	1595	1.6	3/4	19.04

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Esterilización	214	179	760	540	0.5	1	25.4
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	---	------

**Tabla 11:** (continuación) Diámetros de tuberías principales

Equipo	Largo (m)	Largo (pies)	Largo Equivalente (m)	Largo equivalente (pies)	Flujo ( $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ )	Flujo ( $\frac{\text{lb}}{\text{h}}$ )	Flujo Eq ( $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ )	Flujo Eq ( $\frac{\text{lb}}{\text{h}}$ )
Lavadora	1.5	4.92	6	19.68	18	39.6	20	43.6
Secadora	2.5	8.2	6	19.68	45.45	100	50	110
Marmita	1.5	4.92	5	16.4	5	11	6	13.2
Esterilizador	1	3.28	5	16.4	10	22	12	26.4

**Tabla 12:** diámetros de tuberías a conectar en equipos consumidores de vapor

Equipo	Pr. Ramal (kPa)	Pr. Consumo (kPa)	P1	P2	F	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
Lavadora	897	863	12420	11515	45.99	1/2	12.7
Secadora	897	863	12420	11515	45.99	1/2	12.7
Marmita	310.5	276	1595	1255	20.73	1/2	12.7
Esterilizador	179.4	145	540	355	11.28	1/2	12.7

**Tabla 13:** (continuación) Diámetros de tuberías a conectar en equipos consumidores de vapor

El diámetro del manifold principal se calcula con la ecuación 4:

$$D = \sqrt{\left(\left(\frac{3}{4}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}\right)^2 + (1)^2 + (1)^2 + \left(\frac{3}{4}\right)^2\right)}$$

$$D = 2 \text{ plg} = 50.8 \text{ mm}$$

De la misma manera se calculan los otros manifolds.

Área	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
Principal	2	50.8
Lavandería	1	25
Cocina	1 1/2	39
Esterilización	3/4	19

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

**Tabla 14:** diámetros de manifolds

## Diseño del sistema de retorno de condensados

El cálculo se realiza según (El-Wakil, 2002). El sistema de retorno de condensado será abierto por lo que descargará a un tanque de recolección abierto a la atmósfera. La tabla A6 del Anexo 01 servirá para determinar el flujo de condensado que se genera por radiación en las tuberías principales de vapor y la tabla A7 del anexo 01 servirá para determinar las cargas de condensado por precalentamiento. Para determinar el flujo de condensado que se genera en el manifold se utilizará la ecuación 8.

La carga de vapor en el manifold es la carga que entrega la caldera  $221 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{condensado en manifold}} &= (1.5)(221)(0.1) \\ \dot{m}_{\text{condensado en manifold}} &= 33.15 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Se determinará la carga de condensación por radiación en la tubería que transportará vapor a las marmitas:

La presión de abastecimiento en esta tubería es de 345 kPa (3.45 bar), por lo que se tendrá que interpolar ya que en la tabla A6 del anexo 01 este valor está en medio de 4 y 8 bar, esto da un resultado de  $0.069 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{h}}$ .

Al multiplicar la longitud de la tubería por la carga de condensación y el factor de seguridad (en este caso el recomendable es 2) da como resultado el flujo a drenar por radiación:

$$\begin{aligned} \text{Flujo a drenar por radiación} &= (40\text{m}) \left( 0.069 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{h}} \right) (2) = 5.52 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

De la misma manera se calculan los demás flujos a drenar por radiación:

	Longitud (m)	Presión (kPa)	Presión (bar)	Carga $\left(\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{h}}\right)$	FS	Flujo $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$
Agua Caliente 1	50	393	3.93	0.079	2	7.86
Agua Caliente 2	65	393	3.93	0.079	2	10.27
Lavandería	35	932	9.32	0.137	2	9.56
Marmitas	40	345	3.45	0.069	2	5.52
Esterilización	85	214	2.14	0.081	2	13.84

**Tabla 15:** flujos para drenar por radiación de las tuberías de vapor

Se calcula ahora los flujos a drenar por precalentamiento de tubería, en este caso,

según la práctica se asume que las tuberías tardarán 30 minutos en calentarse, se utilizará la tabla A7 del Anexo 01.

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Se determinará el flujo a drenar para la tubería que transportará vapor a la lavandería.

Nuevamente se tendrá que hacer una interpolación lineal, ya que la presión de abastecimiento queda entre dos valores (8 y 12 bares), esto da como resultado  $0.09529 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

El resultado anterior se multiplica por la longitud de la tubería (35 metros) y este resultado dividirlo entre el tiempo (0.5 horas) para determinar el flujo de condensado:

Flujo a drenar por precalentamiento

$$= \frac{(35\text{m})\left(0.09529 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\right)}{(0.5\text{horas})} = 6.67 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se calcula de la misma manera para la tubería de esterilización, ya que la cantidad de carga por precalentamiento del condensado en tuberías menores a un diámetro de 1 pulgada se desprecia (Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados, 1998).

	Longitud (m)	Presión kPa	Presión (bar)	Carga $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}}\right)$	Tiempo (h)	Flujo $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$
Lavandería	35	932	9.32	0.0950	0.5	6.65
Esterilización	85	214	2.14	0.0629	0.5	10.69

**Tabla 16:** flujos para drenar por precalentamiento de las tuberías de vapor

Para obtener el flujo de condensado total por línea se suman los flujos a drenar por radiación y precalentamiento, con estos datos se busca el diámetro en la tabla A4 del Anexo 01.

Área	Presión (kPa)	Presión (psig)	Capacidad $\left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$	Capacidad $\left(\frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)$	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
Agua Caliente 1	393	42	7.86	17.29	1/2	12.7
Agua Caliente 2	393	42	10.27	22.59	1/2	12.7
Lavandería	932	120	16.21	35.7	1/2	12.7
Marmitas	345	35	5.52	12.14	1/2	12.7
Esterilización	214	16	24.53	54.0	1/2	12.7
Manifold principal	1000	130	33.15	72.9	1/2	12.7

**Tabla 17:** diámetros de red de retorno de condensado

El tanque de retorno de condensado se determinará en base al flujo másico de vapor que produce la caldera, el cual es  $228 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ .

El tanque de condensado debe ser capaz de almacenar la carga total de 6 horas de trabajo lo cual es 1368 kg, esto al dividirlo dentro de la densidad del agua nos da el volumen del tanque de condensado:

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

$$\left( \frac{1368 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \right) = 1.368 \text{ m}^3 = 361 \text{ galones}$$

Para las dimensiones del tanque de condensado se toma la siguiente regla del pulgar: el largo del tanque de condensado será de 3 veces el tamaño del diámetro del tanque.

Se asume que el diámetro del tanque será de 0.5 metros y con la fórmula del volumen de un cilindro se encuentra el diámetro:

$$1.368 \text{ m}^3 = \pi(0.5)^2(L)$$

$$L = 1.74 \text{ m} \approx 1.80 \text{ m}$$

Por lo tanto, las dimensiones del tanque serán:

Diámetro: 0.5 metros

Largo: 1.80 metros

## SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

El tipo de trampa de vapor que se utilizará será de cubeta invertida, se selecciono este tipo debido a que su funcionamiento se adecua a las características de este sistema.

Al tener calculadas los flujos de condensado se puede seleccionar la trampa para cada ramal; el flujo de condensado que se utilizó fue la suma del flujo de condensado por radiación y por precalentamiento.

Los factores de seguridad se obtuvieron de la Tabla A5 del Anexo 01, para los equipos que no aparecen se tomaron los factores de equipos similares.

Se determinará la capacidad de la trampa de vapor para la tubería que va a la lavandería.

En base a la presión de abastecimiento de vapor, la presión de descarga y el diámetro de la tubería de retorno de condensado, se busca en la tabla A4 del Anexo 01 el factor de caída de presión, en este caso como la presión de abastecimiento (932 kPa ó 120 psig) queda entre 2 valores, se toma el valor superior para obtener el factor de carga de presión, que da un valor de 131 kPa (4 psig). A este valor se le suma la presión de

descarga (0 psig) para obtener el diferencial de presión total (131 kPa o 4 psig); al flujo de condensado de cada equipo se multiplica por el factor de seguridad.

Con el diferencial de presión total y el flujo de condensado se buscan en la tabla A8 de Anexo la trampa que se adecue a estas características.

Área	Factor de Seguridad	$\Delta P_{\text{total}}$ (kPa)	Modelo Trampa
Agua Caliente 1	4	131	CI - 1
Agua Caliente 2	4	131	CI - 1
Lavandería	2	131	CI - 1
Marmitas	3	131	CI - 1
Esterilización	3	131	CI - 1
Manifold Principal	2	131	CI - 1

**Tabla 18:** selección de trampas de vapor para tuberías

Área	Diámetro orificio (plg)	Diámetro orificio (mm)	Diámetro conexión (plg)	Diámetro conexión (mm)
Agua Caliente 1	1/8	3.175	3/4	19.05

## Canalización del Conocimiento Científico

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

Agua Caliente 2	1/8	3.175	3/4	19.05
Lavandería	1/8	3.175	3/4	19.05
Marmitas	1/8	3.175	3/4	19.05
Esterilización	1/8	3.175	3/4	19.05
Manifold Principal	1/8	3.175	3/4	19.05

**Tabla 19:** (Continuación) Selección de trampas de vapor para tuberías de vapor

Ahora se debe de calcular las trampas de vapor que irán colocadas a la salida de vapor de cada equipo que sea necesario. Todos los equipos a excepción de los esterilizadores y lavadoras tendrán una trampa de vapor en la salida de vapor. Como regla del pulgar se toma que la presión a la cual saldrá vapor es a un 50% de la presión de consumo de los equipos. La forma de calcular la trampa se hace exactamente igual a las trampas de vapor seleccionadas para colocarlas en la tubería.

Área	Factor de Seguridad	$\Delta P_{total}$ (kPa)	Flujo Condensado $\left(\frac{kg}{h}\right)$	Flujo Condensado $\left(\frac{lb}{h}\right)$	Modelo trampa
Agua Caliente 1	4	131.1	40	88	CI - 1
Agua Caliente 2	4	131.1	40	88	CI - 1
Secadora	2	131.1	90.9	199.98	CI - 1
Marmitas	3	131.1	15	33	CI - 1

**Tabla 20:** selección de trampas de vapor para salidas de vapor en equipos

Área	Diámetro orificio (plg)	Diámetro orificio (mm)	Diámetro conexión (plg)	Diámetro conexión (mm)
Agua Caliente 1	1/8	3.2	3/4	19
Agua Caliente 2	1/8	3.2	3/4	19
Lavandería	1/8	3.2	3/4	19
Marmitas	1/8	3.2	3/4	19

**Tabla 21:** (Continuación) Selección de trampas de vapor para salidas de vapor en equipos

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

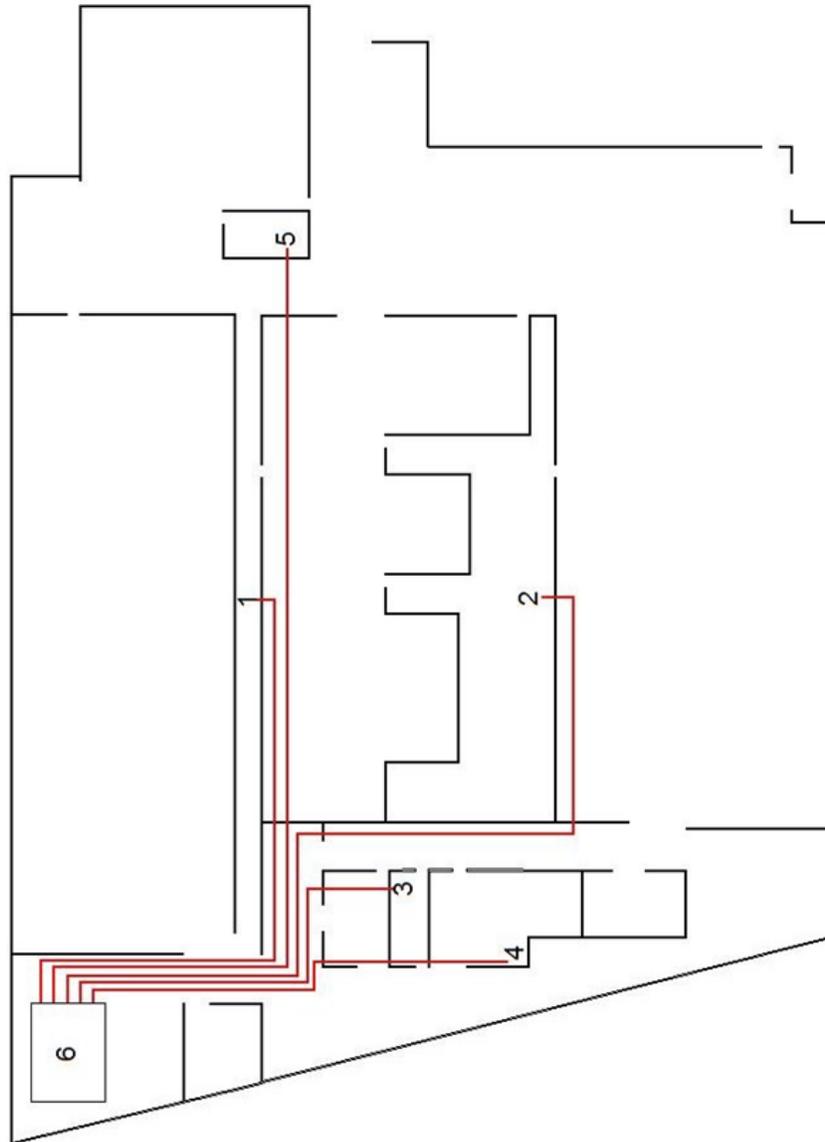
## AISLAMIENTO EN TUBERÍAS

El material que se utilizará para aislar las tuberías de la red de distribución de vapor será cañuelas de fibra de vidrio.

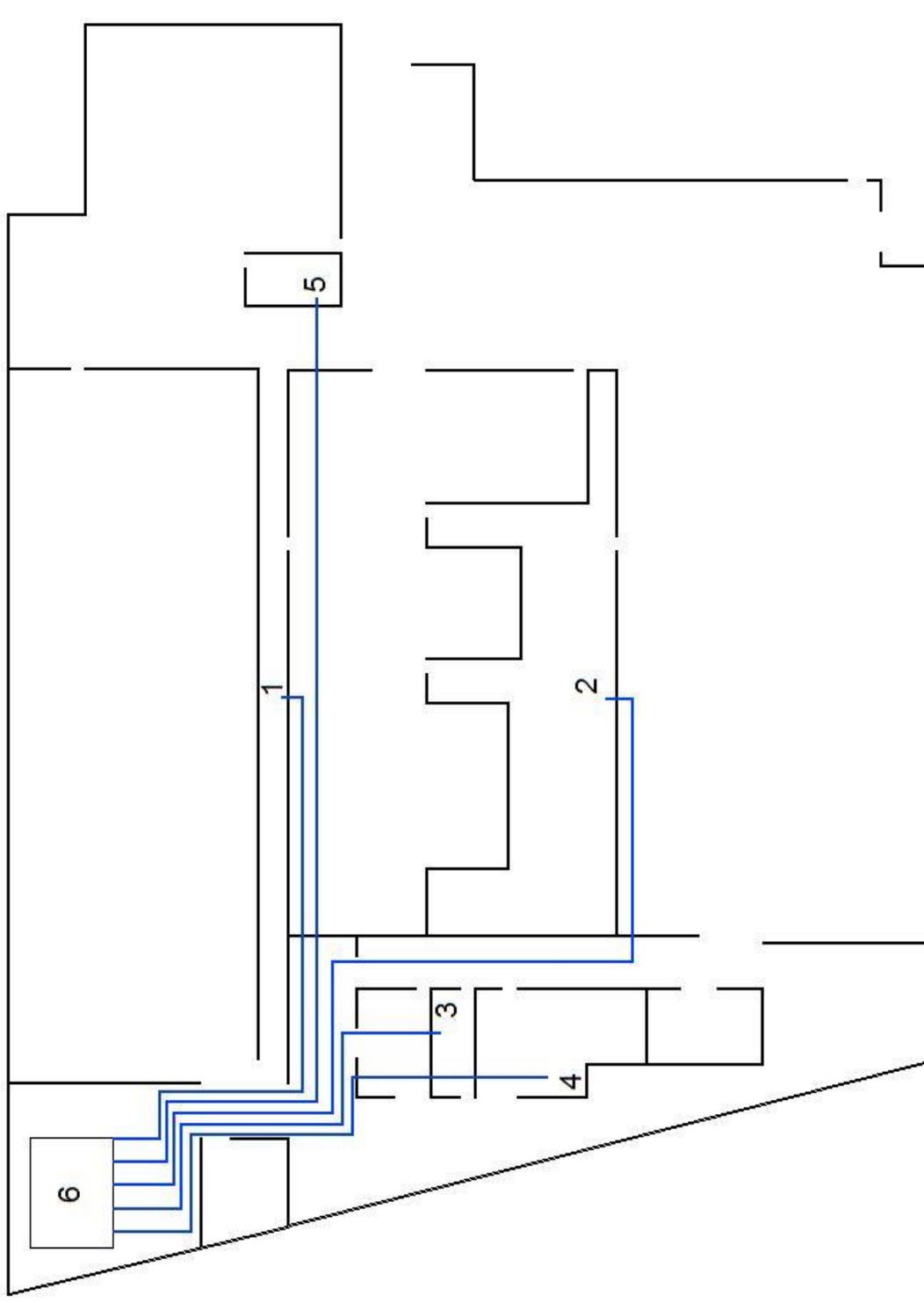
En la práctica se utilizan cañuelas de 1 pulgada de espesor para tuberías con diámetros similares a los que dieron como resultado en este caso.

La tubería de retorno de condensado no se aísla ya que el tanque de descarga es abierto, por lo que se pierde ahí la energía ocasionado por el vapor flasheado.

A continuación, se presentan una serie de planos en los cuales se muestran las distribuciones de la tubería de vapor y el sistema de retorno de condensado:



**Figura 1:** tubería de vapor



**Figura 2:** sistema de retorno de condensado

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

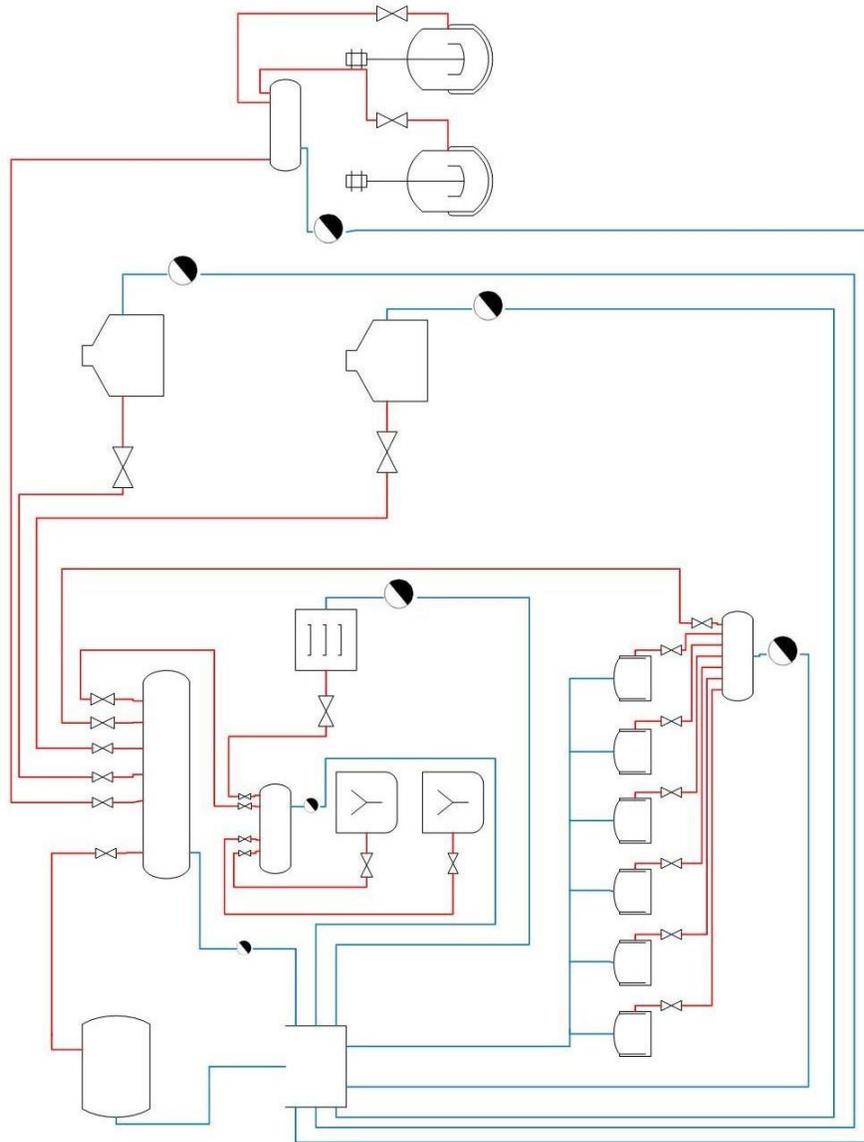
Fecha corregida: 29 agosto 2021

Número en el plano	Área
1	Tanque acumulador de agua caliente 1
2	Tanque acumulador de agua caliente 2
3	Lavandería
4	Cocina
5	Esterilizadores
6	Cuarto de calderas

**Tabla 22:** especificaciones de área en el plano

Las líneas rojas significan la tubería de vapor y las líneas azules significan la tubería de retorno de condensado. Ambas redes de tubería estarán colocadas en el techo ya que el hospital cuenta únicamente con un piso. En estos planos no se especifican todas las áreas del hospital, únicamente en donde estarán ubicados equipos consumidores de vapor. En el anexo 6 se encuentra un plano en donde se especifican todas las áreas del hospital.

A continuación, se presenta un layout de todo el sistema.



## Canalización del Conocimiento Científico

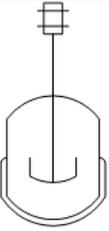
# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

**Figura 3:** Layout del sistema de red de distribución hacia los equipos consumidores de vapor y el sistema de retorno de condensado

Nuevamente las líneas rojas significan la tubería de vapor y las líneas azules la tubería de retorno de condensado.

Figura	Significado
	Caldera, estará ubicada en el área 6.
	Manifold, estará ubicada en el área 3, 4, 5 y 6.
	Válvula de paso.
	Tanque acumulador de agua, estará ubicado en las áreas 1 y 2.
	Lavadora, estará ubicada en el área 3.
	Secadora, estará ubicada en el área 3.
	Marmita, estarán colocadas en el área 4.
	Autoclave, estarán colocados en el área 5.
	Tanque de retorno de condensado, estará ubicado en el área 6
	Trampa de vapor, estará ubicada en cada tubería de vapor y a la salida de los equipos: marmitas, secadoras y acumuladores de agua

**Tabla No. 23:** significado de figuras  
**Canalización del Conocimiento Científico**

# Optimización en generación, distribución y consumo en sistema de vapor en hospital

Fecha enviada: 2 julio 2021

Fecha corregida: 29 agosto 2021

## CONCLUSIONES

1. Para poder determinar el tamaño adecuado de una caldera es necesario conocer los consumos de vapor de todos los equipos dentro de las instalaciones, por lo que es importante conocer o calcular de manera adecuada el consumo de vapor cuando no se tenga.
2. Para determinar el consumo de vapor de un esterilizador fue necesario conocer la cantidad, tipo de material que se va a esterilizar y el tiempo que se iba a utilizar por ciclo. Estas variables sirvieron para determinar la cantidad de flujo másico de vapor que un esterilizador se le debe de suministrar para que trabaje de manera eficiente.
3. Para determinar el consumo de vapor de las marmitas fue necesario conocer la cantidad, tipo de alimentos que se cocinan y el tiempo que se iba a utilizar por día. Con esta información se determinó la cantidad de vapor que necesitan las marmitas para tener un rendimiento
4. adecuado al momento de cocinar los alimentos.
5. La caldera que más se adecua a las características y necesidades que tiene el hospital es una caldera de 20 BHP con  $310 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  de producción máxima de vapor a una presión máxima de 2070 kPa.
6. El sistema de retorno de condensado será de tipo abierto, ya que es un sistema bastante común y sencillo.
7. Para calcular un sistema de retorno de condensado se deben de tomar en cuenta la condensación que se ocasiona debido a las pérdidas por radiación, las pérdidas por precalentamiento, así como la cantidad de condensado que se puede volver a utilizar que sale de los equipos.
8. Es importante colocar por lo menos una trampa de vapor en la red de distribución de vapor, así como en la salida de vapor de los equipos en los cuales se pueda volver a utilizar el vapor proveniente de estos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo a la caldera y al sistema de distribución de vapor, para que tengan un funcionamiento adecuado y no se deterioren con el paso del tiempo por falta de mantenimiento y se ocasionen otro tipo de problemas.
2. Se recomienda mantener controles específicos de tratamiento de aguas de la caldera, combustión para lograr las eficiencias calculadas en este trabajo, así como los costos de consumo de agua y combustible que son otros indicativos de la eficiencia de una caldera.
3. Se recomienda utilizar el equipo de lavandería y acumuladores de agua que se utilizaron para el cálculo de consumos de vapor, sin embargo, las autoridades del hospital están en completa libertad de seleccionar y comprar equipo de otra marca teniendo en cuenta que las características de estos equipos sean similares a los utilizados.
4. Se recomienda que a la hora de instalar la caldera con su red de distribución se sigan las instrucciones de los fabricantes para lograr un correcto funcionamiento.
5. Se recomienda que a las personas van a utilizar los equipos consumidores de vapor reciban una inducción sobre el uso adecuado de estos para que no ocasionen ningún tipo de averías a estos equipos.

## Canalización del Conocimiento Científico

## **Bibliografía**

- Burghardt, D. (1982). *Engineering Thermodynamics with Applications* (2nd Edition ed.). Philadelphia: Harper & Row Publisher.
- Cengel, Y., Turner, R., & Cimbala, J. (2008). *Fundamentals of Thermal Fluid Sciences*. New York: Mc Graw Hill.
- El-Wakil, M. (2002). *Powerplant Technology*. New York: College Custom Series.
- Faires, V., & Simmang, C. (2003). *Termodinámica*. México: Noriega Editores.
- Fleten, S.-E., & Näsäkkälä, E. (2003). Gas Fired Power Plants: Investment Timing, Operating Flexibility and Abandonment. *Arne Ryde symposium, The Nordic Electricity Market*. Lund. Recuperado el 22 de enero de 2008, de <http://www.sal.hut.fi/Publications/c-index.html>
- Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. (1996). United States of America: John Wiley.
- Horlock, J. (2010). *Combined Power Plants*. EEUU, Florida: Editorial Krieger Publishing Company.
- Kyle, B. (1999). *Chemical and Process Thermodynamics* (Third Edition ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Potter, M., & Scott, E. (2004). *Thermal Sciences*. United States of America: Thomson.
- Rajput, E. (2013). *Power Plant Engineering* (Fourth Edition ed.). New Delhi: Laxmi Publications.
- Rayaprolu, K. (2009). *Boilers for Power and Process*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Sandler, S. (1997). *Chemical and Engineering Thermodynamics* (Third Edition ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.