

## Rediseño del sistema de distribución de vapor del área de lavandería del Hospital Carlos Andrade Marín

<sup>1</sup>Guillermo Landázuri; <sup>2</sup>Daniel Pozo

<sup>1,2</sup>Escuela Politécnica Nacional | Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador

Enviado: 16-07-2016 | Aceptado: 05-09-2016

### Resumen

**Introducción:** Esta investigación plantea una propuesta de rediseño para el sistema de distribución de vapor y de retorno de condensado en el área de lavandería del hospital.

**Materiales y Métodos:** En el desarrollo del proyecto se realizó el levantamiento de información que comprende los diferentes requerimientos de los equipos de consumo de vapor, trazado de la tubería del sistema actual y deficiencias energéticas.

**Resultados:** Para el rediseño se implementaron conexiones superiores a los equipos, piernas colectoras y finales de línea, garantizando así que no ingrese condensado a los equipos y que no afecte a la tubería por el golpe de ariete. El condensado drenado de las líneas de vapor y a la salida de los arreglos de trapeo de los equipos de consumo, antes de dirigirse al tanque de condensado, pasa por un tanque de revaporizado donde se obtiene revaporizado a baja presión, el mismo que puede ser utilizado en otro proceso con estos requerimientos.

**Discusión:** Se determinó el costo del proyecto y se realizó un análisis económico, tomando en cuenta el ahorro energético-económico que se obtendrá con la implementación del rediseño, así como la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** Tuberías, vapor, lavandería.

### Abstract

**Introduction:** This research proposes to redesign the steam distribution and condensate return systems in the hospital laundry area.

**Methods:** During the project development, we gather information from steam consumer equipment, piping layout of the current system and energy deficiencies.

**Results:** For the redesign, it has been implemented upward connections to equipment, drain pockets and line endings, thus, guarantying that condensate does not get into the laundry equipments and pipes to avoid being damaged by the water hammer. The drained condensate from the steam lines, before being trapped in the tank of condensate, is conducted to a flash tank creating a low-pressure flash steam that can be used in other process with these requirements.

**Discussion:** The cost of the project was obtained and an economic analysis was undertaken bearing in mind the energy and economic saving that will be obtained with the redesign as well as the CO<sub>2</sub> emissions reduction.

**Keywords:** Tubing, steam, laundry.

### Hospital Carlos Andrade Marín

El Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM) se inauguró el 30 de mayo de 1970 durante la quinta presidencia del Doctor José María Velasco Ibarra y cuenta con un área de construcción de 12.550 m<sup>2</sup> aproximadamente<sup>1</sup>. Nombrado en homenaje al Doctor Carlos Andrade Marín, quien fuera Director del Servicio Médico de la Caja del Seguro Social, de donde se origina después el hospital Carlos Andrade Marín<sup>1</sup>.

En el año 2014 en el HCAM se realizaron un total de 831.233 atenciones a 199.955 pacientes, de los cuales 132.028 pacientes fueron atendidos en consulta externa y 67.927 pacientes fueron atendidos en emergencias, representando así un 11.1% del total de pacientes atendidos en la Zona 9 correspondiente al Distrito Metropolitano de Quito<sup>2</sup>.

En el área de lavandería se encuentran algunos tipos de equipos de consumo, los cuales, entre sus

principales funciones está: lavar, secar y planchar alrededor de 17.000 libras de ropa (ropa de pacientes, ropa del personal, pañales, sábanas y cubrecamas) diariamente<sup>1</sup>.

### Estado actual del sistema de vapor

#### Generación de vapor

El HCAM cuenta con tres calderas Cleaver Brooks horizontales piro-tubulares de 4 pasos de 250 BHP (Boiler horsepower), las cuales funcionan de acuerdo al siguiente cronograma: Caldera N°1 y N°3 trabajan de lunes a viernes en el horario de 5:00 a 19:00 funcionando una a la vez y alternándose cada semana. El fin de semana opera la Caldera N°4 de 60 BHP.

El combustible que utilizan las calderas del hospital

es Diésel N° 2, el cual se encuentra almacenado en dos tanques subterráneos de 22.71 m<sup>3</sup> (6000 galones) de capacidad cada uno. El abastecimiento de combustible para llenar los tanques de almacenamiento se lo realiza cada 10 días aproximadamente. En la figura 1 se muestra el consumo de combustible correspondiente al año 2015.

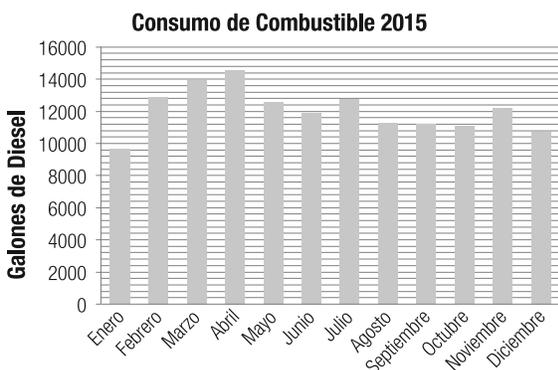


Figura 1. Consumo de combustible 2015

Para el año 2015 el mes con mayor consumo de combustible fue el mes de abril con 14543.85 galones, un consumo promedio y total de 12047.67 y 144572.06 galones, respectivamente. El gasto en combustible para el 2015 fue \$118.590,15.

Las fluctuaciones en el consumo de combustible que se pueden observar en el histograma se deben principalmente a la salida de funcionamiento de equipos de consumo por mantenimiento o por avería.

### Eficiencia de las calderas

Para el cálculo de la eficiencia se utilizó el método indirecto<sup>3</sup>, en el cual el balance térmico en base a la norma europea DIN EN 303-5. Así se determinaron los valores de las diferentes pérdidas térmicas y su porcentaje respecto al poder calórico inferior del combustible<sup>3</sup>.

Las pérdidas térmicas consideradas en el estudio<sup>3</sup> son: pérdidas de calor sensible con los gases de salida  $q_2$ , pérdidas de calor por combustión incompleta  $q_3$ , pérdidas de calor por radiación y convección  $q_4$ , pérdidas por calor físico de los residuos del horno  $q_5$  y pérdidas por purgas  $q_6$ .

Los resultados del cálculo de la eficiencia para las calderas N°1 y N°3 se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Cálculo de la eficiencia de las calderas

Caldera N°	$q_2$ %	$q_3$ %	$q_4$ %	$q_5$ %	$q_6$ %	$q_p$ %	$\eta$ %
1	10.02	0.72	1.52	0.00	2.31	14.57	85.4
3	9.42	0.94	1.48	0.00	2.46	14.30	85.7

De los valores de eficiencias se determina el consumo específico de combustible que nos indica los kilogramos de vapor generados por kilogramo de combustible consumido<sup>4</sup>. Dando así un valor de 14.92 [kgv/kgc] y de 14.97 [kgv/kgc] para la caldera N°1 y N°3, respectivamente.

Así también se determina el costo de generación de vapor con un promedio de las dos calderas de 47.6 kg de vapor por dólar de combustible o  $7.57 \times 10^{-6}$  dólares por kJ de energía generada, estos valores servirán para determinar el costo económico de algunas de las pérdidas energéticas en el sistema<sup>4</sup>.

### Distribución de Vapor

El distribuidor de vapor es el elemento encargado de recibir el vapor proveniente de las calderas, al mismo tiempo que envía dicho vapor a las diferentes áreas de consumo mediante una serie de líneas de distribución. De izquierda a derecha, de acuerdo a la figura 2, se tiene las zonas a las cuales suministra vapor el distribuidor y las líneas por donde recibe el vapor de las diferentes calderas: Área de quemados (Línea 1), Caldera 3 y Caldera 5, Caldera 2 y Caldera 4, Lavandería (Línea 2), Lavandería y comedor (Línea 3), Esterilización (Línea 4), Deshabilitado, Piscina (Línea 5), Biberones (Línea 6), Deshabilitado, Obstetricia (Línea 7), Patología y Laboratorio central (Línea 8), Cocina (Línea 9), Tanques agua caliente (Línea 10), Manómetro y Caldera 1.



Figura 2. Distribuidor de vapor

La tubería de distribución de vapor ha sido instalada desde los inicios del hospital, de la cual se han ido realizando diversas derivaciones a lo largo de los años sin cambiar las tuberías principales. Se realizó el levantamiento del recorrido de las tuberías de distribución de vapor y retorno de condensado, la instalación actual cuenta con un recorrido total de aproximadamente 376 m.

Las tuberías del sistema de vapor están aisladas térmicamente con cañuelas de lana de vidrio, las mismas que están cubiertas con una lámina de aluminio. Algunas secciones de tubería no cuentan con aislante térmico, otras secciones tienen el aislante deteriorado, en otros casos el aislante no está colocado correctamente como se muestra en la figura 3 y 4.



Figura 3. Tubería con aislante deteriorado



Figura 4. Tubería sin aislante

Como parte del levantamiento de la instalación, se determinó la cantidad de tubería sin aislante que se muestra en la tabla 2:

**Tabla 2. Cantidad de tubería sin aislamiento térmico**

Diámetro pulgadas	Tubería sin aislante m
3"	20.71
2"	39.48
1 1/2"	42.97
1"	37.14
3/4"	5.46
1/2"	15.21
<b>Total</b>	<b>160.97</b>

Obteniendo que el 42.77% de la tubería del sistema se encuentra sin aislamiento térmico, lo que representa grandes pérdidas energéticas para el sistema<sup>5</sup>.

### Equipos de consumo

La instalación en el área de lavandería cuenta con: 5 lavadoras, 4 secadoras, 2 rodillos planchadores y 5 planchas tipo prensa.

En la tabla 3 se muestra los requerimientos de consumo de vapor de los diferentes equipos:

**Tabla 3. Requerimientos de vapor y presión de los equipos de consumo**

Equipo Tipo	Consumo de vapor [BHP]	
	Número	
Lavadora	1	24.0
	2	28.5
	3	28.5
	4	28.5
	5	20.0
Secadora	1	9.5
	2	15.0
	3	15.0
	4	15.0
Plancha	1	1.5
	2	1.5
	3	1.5
	4	0.75
	5	0.75
Rodillo	1	14.0
	2	15.0

### Retorno de condensado

La tubería de retorno de condensado al igual que la tubería de distribución de vapor no se encuentra aislada en su totalidad y en las partes que sí está, el aislante se encuentra en malas condiciones. La tubería de condensado que sale del tanque 2 hacia el tanque de condensado 1 no se encuentra aislada y además se encuentra expuesta al exterior.

En todo el recorrido de la tubería de distribución para el área de lavandería no se cuenta con conexiones de piernas colectoras para remover el condensado de la línea<sup>5</sup>, por lo que al ingreso de los equipos se tiene vapor con presencia de condensado. En la instalación sólo se cuenta con una conexión de fin de línea en el área de secadoras, dicha conexión no es adecuada ya que no cuenta con una trampa de vapor<sup>6</sup>.

### Propuestas de mejora en el sistema

En base a las consideraciones de diseño, el espacio físico de la instalación, sugerencias del personal técnico del HCAM y a las visitas realizadas a la instalación, se proponen los siguientes cambios:

#### Eliminar el tanque de condensado 2:

Debido a que no tiene relevancia en el sistema actual y representa una fuente de pérdidas energéticas al encontrarse en el exterior y si aislamiento térmico.

Instalar un tanque de revaporizado en donde se encuentra la caldera N° 5:

La instalación del tanque de revaporizado permite el uso de vapor a baja presión que actualmente no es aprovechado<sup>7</sup>. En la tabla 4 se muestra la cantidad de revaporizado disponible en el sistema.

**Tabla 4.** Flujo de revaporizado para el área del lavandería

Conexión	Carga de condensado [kgc/h]	Revaporizado [kgv/h]
S1	119.8	10.9
S2	135.9	12.4
S3	135.9	12.4
S4	135.9	12.4
P1	40.8	3.7
P2	40.8	3.7
P3	40.8	3.7
P4	28.5	2.6
P5	28.5	2.6
R1	232.3	21.1
R2	261.7	23.8
LP1	11.0	1.0
LP2	2.9	0.3
LP3	6.6	0.6
LP4	1.6	0.1
LP5	1.0	0.1
LP6	2.9	0.3
	<b>1227.1</b>	<b>111.7</b>

Instalar líneas de recuperación de condensado en todo el recorrido de la instalación:

Con esta implementación se previene que el condensado formado en las líneas de vapor afecte tanto a los equipos de consumo como a la tubería de distribución<sup>8</sup>.

Independizar la línea de vapor para el área de cocina utilizando una de las líneas deshabilitadas del distribuidor de vapor:

Así se evita el recorrido innecesario de vapor en el área de lavandería hacia el área de cocina, representado así caída de presión y pérdidas de calor en el vapor.

Equiparar el consumo de vapor que distribuyen las dos líneas que van al área de lavandería.

Colocar manómetros tanto en la línea de vapor como en la de condensado<sup>9</sup>.

Instalar una sola línea principal de retorno de condensado que se dirija hacia el tanque de revaporizado.

Colocar válvulas de corte a la entrada de todos los equipos de consumo<sup>9</sup>.

## Resultados y discusión

Con la implementación del rediseño se logrará un ahorro anual de \$16.365,53 en mejoras energéticas por concepto de aislamiento de tuberías y recuperación de revaporizado, determinado con el costo de generación. Se han considerado y calculado estos dos tipos de pérdidas<sup>5</sup> ya que son las que están directamente relacionadas con las mejoras propuestas.

El costo total del proyecto de rediseño del sistema de vapor se lo calcula haciendo un análisis de precios unitarios. Cada rubro considerado en el proyecto contiene los precios de los diferentes materiales, mano de obra y herramientas que intervienen en su ejecución.

En la tabla 5 se presentan los diferentes rubros considerados en el proyecto de rediseño propuesto:

**Tabla 5.** Desglose de rubros

Rubro	Equipos	Mano de obra	Materiales
Instalación de tubería	Herramientas menores	Maestro fierro	Tubería hierro negro SCH40
	Roscadora	Ayudante	Aislante térmico tipo cañuela
	Compresor		Cinta metálica
	Andamios		Accesorios de conexión
			Discos de corte y desbaste
			Teflón y permatex
Soportería para tubería	Herramientas menores	Maestro soldador	Pintura anticorrosiva
	Soldadora eléctrica	Ayudante	Ángulo de hierro negro
	Amoladora		Varilla roscada
	Taladro		Pernos de expansión
	Andamios		Tuercas
			Arandelas
Arreglo de drenaje de condensado	Herramientas menores	Maestro fierro	Trampa de vapor
	Roscadora	Ayudante	Válvula de compuerta
			Válvula check
Tanque de revaporizado	Herramientas menores	Maestro fierro	Universales
	Roscadora	Ayudante	Teflón y permatex
			Pintura anticorrosiva
Instalación de válvulas	Herramientas menores	Maestro fierro	Tanque de revaporizado
	Roscadora	Ayudante	Pernos de anclaje
Desmontaje tubería actual	Herramientas menores	Maestro fierro	Soporte metálico
	Taladro	Ayudante	Teflón y permatex
	Andamios		Pintura anticorrosiva
			Válvula de compuerta

El costo total se presenta en la tabla 6 con la descripción y costo de cada uno de los rubros considerados, en donde, el rubro de montaje de tubería se compone del rubro de instalación y soportería de la tubería.

**Tabla 6. Costo total del proyecto**

Descripción	Costo total
Montaje de tubería	\$ 22,283.34
Arreglos de drenaje de condensado	\$ 12,630.78
Instalación de tanque de revaporizado	\$ 2,823.20
Instalación de válvulas de corte	\$ 2,507.06
Desmontaje de tubería	\$ 6,767.15
Instalación de manómetros	\$ 250.52
Transporte	\$ 200.00
	<b>\$ 47,462.05</b>

Para el análisis económico del proyecto se ha considerado un periodo de vida de cinco años, en el flujo de efectivo se considera como ingresos el ahorro que significaría la implementación de las oportunidades de ahorro energético descritas anteriormente y como egresos se tiene el costo del rediseño propuesto.

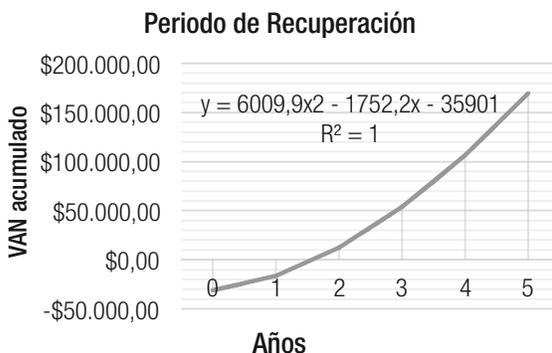
Para determinar el periodo de recuperación de la inversión se utiliza el método del valor actual neto VAN<sup>10</sup> 7th edition, presents a crisp, bold new design using color, highlighting and icons to focus on important concepts, terms, equations and decision guidelines. There are new features, new topics (such as ethics and staged decision making, utilizando la tasa activa efectiva máxima para el segmento de inversión pública proporcionada por el Banco Central del Ecuador (9.33 %).

Con los valores presentes de los ingresos y egresos se calcula la relación beneficio-costos, la cual para el presente proyecto tiene un valor de 4.57.

**Tabla 7. Determinación del VAN acumulado**

Año	VAN	VAN acum.
0	-\$31,096.52	-\$31,096.52
1	\$14,968.93	-\$16,127.59
2	\$28,660.44	\$12,532.85
3	\$41,183.55	\$53,716.39
4	\$52,637.95	\$106,354.35
5	\$63,114.87	\$169,469.21

Como se pueden observar la tabla 7, la recuperación de la inversión se logra entre el año 1 y 2 del proyecto. En la figura 5 se observa la gráfica del VAN acumulado y su respectiva línea de tendencia.

**Figura 5. Periodo de recuperación de la inversión**

El ahorro económico en las oportunidades de ahorro energético descritas anteriormente representan un 13.80% del gasto anual por adquisición de combustible (con referencia al año 2015). El costo del proyecto representa 40.02% del gasto anual por adquisición de combustible, además el rediseño tendrá un impacto ambiental al reducir un 11.30% las emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de vapor<sup>11</sup>.

## Conclusiones

La instalación carece de piernas colectoras, conexiones por la parte superior a los equipos, arreglo de drenaje de condensado y aislamiento térmico, que permitan un correcto uso del vapor y recuperación de condensado.

Luego del cálculo de la eficiencia para las calderas se determinó que estos valores se encuentran dentro del rango de eficiencia previsto por el fabricante.

El tanque de condensado 2 no presenta una función relevante dentro del sistema de retorno de condensado, tanto por su ubicación como por uso, por lo que se opta por su eliminación.

Con la implementación del tanque de revaporizado se abre la posibilidad del uso del revaporizado a baja presión para otros procesos dentro del hospital.

Al independizar la distribución de vapor del área de lavandería con la de cocina se evita el transporte innecesario de vapor hacia equipos que no se encuentran operativos debido a los diferentes horarios de trabajo.

Las trampas de balde invertido son las que ofrecen una mejor prestación para el drenaje de condensado en los equipos de lavandería del HCAM, además que son el tipo de trampas de vapor con mayor vida útil.

La implementación de piernas colectoras asegura que en arranques en frío del sistema de vapor, el condensado acumulado en las líneas no llegue a los equipos ya que es removido por el drenaje propio de las piernas colectoras.

El presente proyecto es económicamente viable ya que posee una relación B/C superior a 1 y un tiempo de recuperación de la inversión de 1.59 años.

La principal razón por la cual los equipos de consumo de vapor de lavandería se averían es por el mal drenaje de condensado debido al mal dimensionamiento de las tuberías.

Teniendo en cuenta que una de las principales razones de pérdidas de calor en el sistema se produce en tuberías mal aisladas, se recomienda una inspección continua del aislante en la tubería para prevenir su desprendimiento y así también evitar el peligro que representa una tubería no aislada.

Realizar un plan de mantenimiento periódico para las trampas de vapor de la instalación que permita determinar su estado de funcionamiento y evitar el daño a equipos debido a un mal drenaje de las mismas.

Ya que la línea de drenaje de las piernas colectoras se encuentra a una altura por encima del punto más bajo de las mismas, se recomienda realizar un purgado periódico.

Tener un respaldo electrónico de la bitácora que se maneja en la casa de máquinas a fin de tener un acceso más directo hacia la información, tanto de mantenimiento de los equipos como de consumo de combustible, y así poder planificar de mejor manera las guías de mantenimiento y prever un oportuno abastecimiento de combustible.

## Referencias

1. Hospital Carlos Andrade Marín. HCAM Hospital Carlos Andrade Marín. *Un hospital amigable*. Quito; 2011.
2. Hospital Carlos Andrade Marín. *Plan Médico Funcional 2014*. Quito; 2014.
3. Borroto A. *Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor*. Cienfuegos, Cuba; 2005.
4. Palacios JL. *Auditoría Energética de la Caldera y el Sistema de Distribución de Vapor de La Planta de Elaborados y Embutidos de Pronaca*. 2009.
5. Petrecca G. *Energy Conversion and Management Principles and Applications*. Pavia, Italia; 2014.
6. Tyco Flow Control I. *Industrial Steam Trapping Handbook*. U.S.A.; 2010. 49,50-55 p.
7. Spirax Sarco. *Design of Fluid Systems*. Blythewood, SC, U.S.A.; 2004.
8. Armstrong. *How to Trap : Pipe Sizing Steam and Condensate Return Lines*. 2015.
9. Sherwood D, Whistance D. *The Piping Guide for the design and drafting of industrial piping systems*. Clinton, NC, U.S.A.; 2008. 68-76 p.
10. Blank L, Tarquin A. *Engineering Economy. Eshbach's Handbook of Engineering Fundamentals, Fifth Edition*. 2012. 1246-1258 p.
11. Gómez D, Watterson J. *COMBUSTIÓN ESTACIONARIA*. In: *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2 Energía [Internet]*. AIE; 2006 [cited 2016 May 19]. Available from: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)