



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

“ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES”



PROYECTO DE TESIS

Título:

*“REDISEÑO DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN Y TRANSPORTE DE
VAPOR DEL HOSPITAL DEL IESS DE LA
CIUDAD DE MACHALA”*

*Tesis de Grado previa a la
Obtención del Título de
Ingeniero Electromecánico.*

Autor:

OSCAR EDUARDO RIVAS SÁNCHEZ.

Director:

Ing. GONZALO RAMIRO RIOFRÍO CRUZ.

LOJA-ECUADOR

2013

1859

CERTIFICACIÓN

Ing. GONZALO RAMIRO RIOFRÍO CRUZ, Director de la Tesis, cuyo tema versa en: **Rediseño del sistema de generación y transporte de vapor del Hospital del IESS de la ciudad de Machala** de la carrera de *Ingeniería Electromecánica* de la *Universidad Nacional de Loja*, a petición de la parte interesada;

CERTIFICA:

Que el presente *Proyecto de Investigación* fue elaborado bajo mi dirección, y una vez que ha sido culminado, autorizo la presentación del mismo para los fines legales pertinentes.

.....

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz

DIRECTOR DE TESIS.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Las ideas, hechos, principios, conceptos y resultados vertidos en el presente proyecto de tesis, son de exclusivo responsabilidad del autor que firma a continuación, quien a su vez, autoriza al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

.....

Oscar Eduardo Rivas Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Es necesario dejar constancia mi agradecimiento a la *Universidad Nacional de Loja*, al *Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables*, a mis padres, hermanos y a todas las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo, a cada uno de los docentes que supieron impartir sus conocimientos y experiencias, brindando apoyo día a día para nuestra formación como futuros profesionales. De manera especial:

- A dios, por brindarme salud y sabiduría.
- A mi director de tesis, *Ing. Gonzalo Riofrío*, por su inagotable ímpetu en hacer posible la realización de este proyecto de tesis ingenieril.
- Al Director del Hospital del IESS por haber permitido realizar este trabajo investigativo en la Institución.
- A todo el personal del Hospital, en especial al área de mantenimiento liderada por el Tec. Francisco Ordoñez, quien me brindo todo el apoyo y apertura de las de las instalaciones del Hospital para poder obtener la información necesaria.

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación, a Dios por darme sabiduría y fortaleza. A mis Padres Guido Rivas y Ruth Elizabeth Sánchez, que han sido mi motivación diaria para perseverar y alcanzar las metas propuestas en mi vida. A mi abuelita Irene Paredes, a mis hermanos; Fabricio, Miguel, Jhoe, sobrinos y amigos; quienes con su esfuerzo y su apoyo incondicional permitieron culminar con mis estudios superiores. Se lo dedico con todo el cariño y respeto a ustedes.

A mi abuelo Horacio Sánchez, en homenaje póstumo.

EL AUTOR.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	6
SIMBOLOGÍA.....	14
ÍNDICE DE FIGURAS	16
ÍNDICE DE TABLAS.....	18
1. RESUMEN.....	21
2. INTRODUCCIÓN.....	23
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	25
3.1 Fundamentación teórica de sistemas de vapor	25
3.1.1 Uso del vapor.....	25
3.1.2 Generación de vapor.....	25
3.1.2.1 Definición	25
3.1.2.2 Generación de vapor en calderas	26
3.1.3 Conceptos fundamentales	27
3.1.3.1 Entalpía del líquido.....	27
3.1.3.2 Saturación	27
3.1.3.3 Vaporización.....	27
3.1.3.4 Supercalentamiento	27
3.1.3.5 Punto crítico.....	28
3.1.3.6 Transferencia de calor	28
3.1.3.6.1 Conducción.....	29
3.1.3.6.2 Convección	29
3.1.3.6.3 Radiación.....	29
3.1.4 Equipos constitutivos de un generador de vapor.....	30
3.1. 4.1 Generadores de vapor	30
3.1.4.2 Calderas	30

3.1.4.3 Clasificación de las calderas.....	31
3.1.4.3.1 Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera.....	31
3.1.4.3.2 Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera	32
3.1.4.3.3 Clasificación de acuerdo a la producción de vapor	32
3.1.4.3.4 Clasificación de acuerdo al combustible utilizado	33
3.1.4.3.5 Clasificación de acuerdo a la circulación del agua dentro de la caldera.....	34
3.1.4.3.6 Clasificación de acuerdo al intercambio de calor	35
3.1.5 Partes principales que componen una caldera	36
3.1.5.1 Hogar:	37
3.1.5.2 Tubos:	37
3.1.5.3 Conductos de humo:	37
3.1.5.4 Cajas de humo:	37
3.1.5.5 Chimenea:	37
3.1.5.6 Cámara de agua:	37
3.1.5.7 Cámara de vapor:	38
3.1.5.8 Cámara de alimentación de agua:	38
3.1.5.9 Colector superior:	38
3.1.5.10 Colector inferior y cabezales:	38
3.1.5.11 Los economizadores:	38
3.1.5.12 Ventilador:	38
3.1.5.13 Recalentadores:.....	39
3.1.5.13.1 Sistemas de control de la temperatura del vapor a la salida del recalentador	39
3.1.5.14 Los precalentadores de aire:	40
3.1.5.15 Calentador de aire:.....	40
3.1.5.16 Quemadores:.....	40
3.1.5.17 Sistemas de eliminación del hollín:	40
3.1.5.18 Indicadores de nivel:.....	40
3.1.5.19 Sistemas de control del nivel del colector:	41
3.1.6 Sistema de alimentación de agua.....	41
3.1.6.1 Tanque de agua de alimentación	42

3.1.7 Bombas de agua de alimentación	43
3.1.7.1 Operación continua o intermitente	43
3.1.7.2 Temperatura del agua de succión	43
3.1.7.3 Capacidad	43
3.1.7.4 Presión de descarga	44
3.1.7.5 La carga neta de succión positiva (NPSH)	44
3.1.8 Tanque de condensado.....	44
3.1.9 Sistema de combustible	45
3.1.9.1 Tanque de combustible.....	45
3.1.9.2 Bombas de alimentación de combustible	46
3.1.10 Sistemas de distribución de vapor y retorno de condensado	46
3.1.10.1 Distribución de vapor	46
3.1.10.2 Tubería de transporte de vapor	47
3.1.11 Agua para la caldera	48
3.1.11.1 Tratamiento de agua para calderas	48
3.1.11.2 Fuentes de agua	49
3.1.11.3 Parámetros tratamiento del agua	50
3.1.11.4 Problemas más frecuentes	51
3.1.11.4.1 Corrosión	51
3.1.11.4.2 Corrosión por oxígeno o “Pitting”	51
3.1.11.4.3 Corrosión cáustica	52
3.1.11.5 Corrosión en las líneas de retorno de condensado.....	53
3.1.11.6 Incrustaciones	53
3.1.11.7 Equipos de tratamiento de agua.....	54
3.1.11.7.1 Ablandadores	55
3.1.11.7.2 Desgasificador	56
3.1.12 Instrumentos de control para calderas industriales.....	56
3.1.12.1 Secuencia de encendido.....	57
3.1.12.2 Nivel de agua de alimentación.....	57
3.1.12.3 Control de la llama	57
3.1.12.4 Control de la presión.....	57
3.1.12.5 Temperatura del combustible	57

3.1.12.6	Temperatura de salida de los gases.....	57
3.1.12.7	Total de sólidos disueltos	58
3.1.13	Válvulas	58
3.1.13.1	De compuerta.....	58
3.1.13.2	De globo	58
3.1.13.3	De bola.....	58
3.1.13.4	De retención (cheque).....	58
3.1.13.5	Válvula reductora de presión	59
3.1.13.6	Electro válvula (solenoid).....	59
3.1.13.7	Válvula de seguridad	60
3.1.14	Equipos	60
3.1.14.1	Tubería.....	60
3.1.14.2	Codos	61
3.1.14.3	Reducidores	61
3.1.14.4	Tes	62
3.1.14.5	Filtros.....	62
3.1.14.6	Juntas o uniones.....	63
3.1.14.7	Juntas de expansión	63
3.1.14.8	Aislamiento térmico	63
3.1.15	Equipos que funcionan con vapor	64
3.1.15.1	Esterilizador.....	64
3.1.15.2	Marmita	64
3.1.15.3	Planchadora de rodillo	64
3.1.15.4	Secadoras	64
3.1.15.5	Lavadoras	64
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
4.1	Requerimientos de vapor en el Hospital del IESS de Machala	65
4.1.1	Vapor para usos en esterilización de equipos (quirófano).....	65
4.1.2	Vapor para usos en la cocina	66
4.1.3	Vapor para usos en fisioterapia	66
4.2	Descripción tecnológica actual.....	66
4.2.1	Área de alimentación y dietética	66

4.2.2 Área de lavandería	68
4.2.3 Sistema de agua caliente sanitaria	69
4.3 Cálculo y selección de los equipos constitutivos de una planta generadora y distribuidora de vapor	69
4.3.1 Selección de las calderas	69
4.3.2 Requerimientos de vapor para el Hospital del IESS.....	70
4.3.3 Balance térmico y justificación del tipo de caldera a utilizar.....	70
4.3.3.1 Dimensionamiento de los equipos en el área de alimentación y dietética.....	71
4.3.3.1.1 Determinación de la densidad de la suspensión	72
4.3.3.1.2 Dimensionamiento de la marmita.....	72
4.3.3.1.2.1 Dimensionamiento de la marmita para la cocción del arroz	72
4.3.3.2 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de alimentación y dietética	74
4.3.3.2.1 Determinación del balance de calor.....	75
4.3.3.2.1.1 Determinación del balance de calor para la cocción del arroz	76
4.3.3.2.1.2 Régimen alimenticio.....	77
4.3.3.3 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de esterilización	78
4.3.3.3.1 Determinación del balance de calor.....	78
4.3.3.3.1.1 Determinación del balance de calor para la autoclave 1.....	79
4.3.3.4 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de lavandería.....	80
4.3.3.4.1. Determinación del balance de calor para las lavadoras.....	80
4.3.3.4.1.1 Determinación del balance de calor para la lavadora 1.....	80
4.3.3.4.2 Determinación del balance de calor para las secadoras.....	82
4.3.3.4.2.1 Determinación del balance de calor para secadora 1.....	82
4.3.3.4.3 Determinación del balance de calor para las planchadoras	83
4.3.3.4.3.1 Determinación del balance de calor para la planchadora	83
4.3.3.5 Demanda de vapor para el sistema de agua caliente en fisioterapia	84
4.3.3.6 Análisis con los diversos factores de selección	87
4.3.3.6.1 El agua de alimentación disponible	87
4.3.3.6.2 Tiempo de operación diaria de la caldera.....	88

4.3.3.6.3	Número de unidades	88
4.3.3.6.4	Selección del combustible	88
4.3.3.6.5	El espacio disponible	89
4.3.3.6.6	La disponibilidad de energía eléctrica	89
4.3.3.6.7	Calderas instaladas y sus características.....	89
4.3.4	Cálculos y diseño del sistema de agua de alimentación	90
4.3.4.1	Diseño del tanque de agua de alimentación.....	90
4.3.4.1.1	Cálculos y selección de la bomba de alimentación	95
4.3.4.1.1.1	Capacidad de la bomba	96
4.3.4.1.1.2	Altura total dinámica, presión de descarga (THD)	96
4.3.4.1.1.3	Datos técnicos de la bomba seleccionada	97
4.3.4.1.1.4	Cálculo de la carga neta de succión positiva (NPSH _A)	97
4.3.4.1.1.5	Potencia y eficiencia de la bomba.....	101
4.3.5	Cálculo y diseño del sistema de combustible	101
4.3.5.1	Consumo de combustible	104
4.3.5.1.1	Dimensionamiento del tanque de servicio diario	104
4.3.5.1.2	Cálculos y selección de la bomba de combustible	106
4.3.5.1.3	Selección del tipo de quemador.....	107
4.3.6	Cálculo del diámetro de la tubería de vapor	107
4.3.6.1	Tubería desde la caldera hasta el colector	110
4.3.6.1.1	Cálculo de la caída de presión desde la caldera hasta el colector	110
4.3.6.2	Tubería desde el colector hasta el área de lavandería.....	111
4.3.6.2.1	Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta el área de lavandería.....	111
4.3.6.3	Tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética .	112
4.3.6.3.1	Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta el área de alimentación y dietética	113
4.3.6.4	Tubería desde el colector hasta el área de esterilización	114
4.3.6.4.1	Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta la válvula reguladora de presión.....	114
4.3.6.5	Tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor.....	115

4.3.6.6 Procedimiento para realizar el dimensionamiento de las tuberías de vapor en el Hospital del IESS.....	117
4.3.6.6.1 Tubería desde la caldera hasta el colector	117
4.3.6.6.2 Tubería desde el colector hasta el área de lavandería.....	120
4.3.6.6.3 Tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética	121
4.3.6.6.4 Tubería desde el colector hasta el área de esterilización	123
4.3.6.6.5 Tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor.....	124
4.3.6.7 Cálculo y selección del aislamiento de las tuberías de vapor.....	125
4.3.7 Dimensionamiento de las tuberías de retorno de condensado.....	128
4.3.7.1 Tubería desde el colector hasta el tanque de agua de alimentación .	131
4.3.7.2 Tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación.....	131
4.3.7.3 Tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación	131
4.3.7.4 Tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación.....	131
4.3.7.5 Tubería desde el intercambiador de calor hasta el tanque de agua de alimentación.....	132
4.3.7.6 Procedimiento para realizar el dimensionamiento del sistema de retorno de condensado en el Hospital del IESS.....	133
4.3.7.6.2 Tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación.....	136
4.3.7.6.3 Tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación	137
4.3.7.6.4 Tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación.....	138
4.3.7.6.5 Tubería desde el intercambiador de calor hasta el tanque de agua de alimentación.....	138
4.3.7.8 Selección de aislamientos para tanque de agua de alimentación y conjunto de accesorios.....	139
4.3.8 Trampas de vapor	140
4.3.8.1 Selección de trampas de vapor	140
4.3.8.1.1 Grupo termostático	141
4.3.8.1.2 Grupo mecánico.....	141

4.3.8.1.3 Grupo termodinámico.....	141
4.3.8.1.4 Otros tipos	141
Fuente de información: Tesis Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval.	149
4.3.8.2 Distribución de accesorios.....	150
4.3.9 Cálculo y selección del ablandador de agua.....	151
4.3.10 Cálculo de pérdidas energéticas	153
4.3.10.1 Pérdida en la red caldero 1 64 BHP – colector.....	154
4.3.10.2 Pérdida en la red caldero 2 64 BHP – colector.....	157
4.3.10.3 Pérdidas en la red colector – central de esterilización.....	159
4.3.10.4 Pérdidas en la red colector – área de lavandería.....	167
4.3.10.5 Pérdidas en la red colector – área de alimentación y dietética	174
4.3.10.5 Costo del vapor con referencia al combustible utilizado.....	180
4.3.10.6 Costo de pérdidas en USD.....	181
4.3.10.7 Análisis de pérdidas de las instalaciones si estuvieran debidamente aisladas	182
5. EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA	183
5.1 Evaluación técnica.....	183
5.1.1 Generador de vapor	183
5.1.2 Tuberías de conducción de vapor	184
5.1.2.1 Dimensionamiento de las tuberías de vapor	184
5.1.2.3 Aislamiento de las tuberías de vapor y tanques.....	184
5.1.2.4 Instalación de tuberías de retorno de condensado y trampas de vapor	185
5.1.3 Tanque para agua de alimentación	186
5.2 Evaluación económica.....	186
5.2.1 Determinación del costo de operación.....	191
5.2.2 Análisis de rentabilidad	193
6. DISCUSIÓN.....	198
7. CONCLUSIONES.....	199
8. RECOMENDACIONES	200
9. BIBLIOGRAFÍA	201
10. ANEXOS.....	203

SIMBOLOGÍA

A	Área
BHP	Potencia al freno
D	Diámetro
ε	Rugosidad absoluta.
γ	Rugosidad relativa.
f	Factor de fricción.
g	Gravedad.
sp.gr	Gravedad específica.
Hfs	Ficción en la succión.
P_1	Presión de la ciudad de Machala.
P_v	Presión de vapor del líquido.
Z_1	Altura de succión.
$\rho_{sól}$	Densidad del sólido.
$\rho_{líq}$	Densidad del líquido (kg/lt).
x	Parte de la masa de la fase sólida en la suspensión.
$m_{alimento}$	Masa del alimento cocido (kg).
ρ_s	Densidad de la suspensión (kg/lt).
$t_{cocción}$	Tiempo de cocción del alimento.
C_p	Calor específico a presión constante.
ΔT	Diferencia de temperaturas.
L	Calor específico de vaporización.
THD	Altura total dinámica.
P_{total}	Presión total.
Q	Caudal.

WHP	Potencia de salida de la bomba.
η	Eficiencia.
l	Longitud.
v	Velocidad del vapor en la tubería.
Q	Flujo de vapor saturado.
ρ	Densidad del vapor saturado.
RE	Número de Reynolds.
μ	Viscosidad dinámica o absoluta.
ω	Velocidad de flujo.
h_p	Caída de presión.
ΔP	Pérdida de presión.
ΔP_{roz}	Pérdida de presión por rozamiento.
V	Gasto volumétrico.
P_{cald}	Potencia caldera.
h_{fg}	Entalpia específica de vaporización.
Q	Emisión de calor.
ΔT	Incremento de temperatura.
T	Temperatura.
m	Taza de condensación.
F	Factor de aislamiento.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Generación del vapor.	25
Figura 2: Generación de vapor en una caldera.	26
Figura 3: Proceso de transferencia de calor.	28
Figura 4: Detalle caldera humotubular.	31
Figura 5: Detalle de la caldera acuotubular.	32
Figura 6: Circulación natural.	34
Figura 7: Circulación asistida.	35
Figura 8: Circulación forzada.	35
Figura 9: Partes principales que componen una caldera.	36
Figura 10: Sistemas para tanques de alimentación a calderas.	41
Figura 11: Sistema de combustible.	45
Figura 12: Distribuidor de vapor.	47
Figura 13: Conexión de vapor tipo cuello de ganso.	48
Figura 14: Ciclo del agua.	49
Figura 15: Corrosión por oxígeno o “pitting”	52
Figura 16: Corrosión cáustica en fogón de una caldera.	52
Figura 17: Incrustaciones en tubos de humo.	54
Figura 18: Acumulación de incrustaciones en el fondo del cuerpo de presión de la caldera.	54
Figura 19: Equipos de tratamiento de agua para calderas.	55
Figura 20: Ablandadores.	55
Figura 21: Desgasificador.	56
Figura 22: Válvula de cheque.	59
Figura 23: Válvula reductora de presión.	59
Figura 24: Electro válvula.	60
Figura 25: Codos a 90°C.	61
Figura 26: Reducidor.	62
Figura 27: Te roscada.	62
Figura 28: Filtros para tuberías de vapor.	63
Figura 29: Esterilizador existente en el Hospital del IESS.	65
Figura 30: Tanque existente para el agua de alimentación.	91

Figura 31: Dimensiones del tanque de agua de alimentación.	92
Figura 32: Tanque seleccionado para agua de alimentación.	94
Figura 33: Circuito de ingreso del agua de alimentación 1.	95
Figura 34: Circuito de ingreso del agua de alimentación 2.	95
Figura 35: Conexión del tanque de agua de alimentación y bomba.	99
Figura 36: Tanque de almacenamiento de combustible.	103
Figura 37: Tanque diario de combustible.	105
Figura 38: Esquema general de la distribución de vapor en el Hospital del IESS.	107
Figura 39: Dimensionamiento de tuberías para vapor.	109
Figura 40: Caída de presión en tubería Sch-40.	112
Figura 41: Presiones disponibles para los puntos de consumo.	116
Figura 42: Diagrama para dimensionar las líneas de retorno de condensado.	130
Figura 43: Esquema general de retornos de condensado.	132
Figura 44: Ubicación del conjunto trampa – filtro en las unidades a drenar.	143
Figura 45: Trampas de vapor de Flotador y Termostáticas.	148
Figura 46: Instalación de la autoclave existente en el Hospital del IESS.	151
Figura 47: Red caldero 1 de 64 HP – colector.	155
Figura 48: Red caldero 2 de 64 HP – colector.	157
Figura 49: Curva característica de la bomba seleccionada GOULDS PUMPS.	210
Figura 50: Esterilizador fuera de servicio.	214
Figura 51: Marmita fuera de servicio.	214
Figura 52: Caldera Bryan Bolier de 64 HP existente en el Hospital.	215
Figura 53: Colector de vapor.	215
Figura 54: Tuberías de vapor que van a los diferentes puntos de consumo.	216
Figura 55: Presión de trabajo de la caldera.	216
Figura 56: Accesorios sin aislar.	217
Figura 57: Aislamiento en mal estado.	217
Figura 58: Tubería por donde se envía en el condensado a las cañerías en el área de esterilización.	218
Figura 59: Válvula reguladora de presión en el área de lavandería.	218
Figura 60: Temperatura ambiente en la ciudad de Machala.	219
Figura 61: Esterilizador de vapor.	219

Figura 62: Marmita a vapor.....	220
Figura 63: Rodillo planchador a vapor.....	220
Figura 64: Lavadora a vapor.....	221
Figura 65: Secadora a vapor.....	221

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los equipos de esterilización del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	66
Tabla 2: Cantidad de alimentos que consume diariamente un paciente en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	67
Tabla 3: Personas que comen diariamente en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	68
Tabla 4: Características de las lavadoras del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	68
Tabla 5: Características de las secadoras del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	69
Tabla 6: Datos del área de alimentación del Hospital del IESS.....	71
Tabla 7: Dimensionamiento de las marmitas para el área de Alimentación y Dietética del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	74
Tabla 8: Consumo de vapor hora de las marmitas para el área de Alimentación y Dietética del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	77
Tabla 9: Consumo de vapor hora de las autoclaves para el área de Esterilización del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	80
Tabla 10: Consumo de vapor hora de las lavadoras para el área de Lavandería del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	81
Tabla 11: Consumo de vapor hora de las secadoras para el área de Lavandería del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.....	83
Tabla 12: Demanda de vapor saturado para los equipos dimensionados del Hospital del IESS.....	85
Tabla 13: Consumo de vapor saturado de los equipos seleccionados según datos de los catálogos.....	85
Tabla 14: Características de la caldera del Hospital del IESS.....	89
Tabla 15: Tanques para agua de alimentación.....	93
Tabla 16: Propiedades de los combustibles.....	102

Tabla 17: Capacidades mínimas para el tanque de almacenamiento.....	103
Tabla 18: Distancias a puntos de consumo de vapor.....	108
Tabla 19: Caudales de vapor.	108
Tabla 20: Características de la tubería desde el colector hasta el área de lavandería...	121
Tabla 21: Características de la tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética aguas arriba.	122
Tabla 22: Características de la tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética aguas abajo.....	122
Tabla 23: Características de la tubería desde el colector hasta el área de esterilización aguas arriba.....	123
Tabla 24: Características de la tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación.	124
Tabla 25: Características de la tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor.	125
Tabla 26: Espesores económicos para el aislante lana de vidrio.....	127
Tabla 27: Espesores de aislantes requeridos.....	128
Tabla 28: Caudales de condensado.....	129
Tabla 29: Características de la tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación.	137
Tabla 30: Características de la tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación.....	137
Tabla 31: Características de la tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación.	138
Tabla 32: Características de la tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación.	139
Tabla 33: Guía de selección de trampas de vapor.	145
Tabla 34: Selección de trampas Termodinámicas.	149
Tabla 35: Modelos de ablandadores E-watertechnologies para agua.....	153
Tabla 36: Resumen de pérdidas totales en el Hospital del IESS.....	180
Tabla 37: Resumen de pérdidas en USD en el Hospital del IESS.....	182
Tabla 38: Análisis de pérdidas si las tuberías estuvieran debidamente aisladas.	182
Tabla 39: Características técnicas de la nueva caldera.....	183
Tabla 40: Pérdidas de calor en tuberías aisladas y sin aislar.....	185
Tabla 41: Costos de los tramos de tubería para vapor.....	188

Tabla 42: Costos del material aislante.....	189
Tabla 43: Costo de los equipos.....	190
Tabla 44: Costo de inversión.....	191
Tabla 45: Lavadoras	194
Tabla 46: Secadoras.....	194
Tabla 47: Horno eléctrico	195
Tabla 48: Ahorro por concepto de sustitución de gas licuado de petróleo por vapor. .	196
Tabla 49: Propiedades físicas del agua.....	203
Tabla 50: Propiedades del vapor de agua saturado en función de la temperatura.....	204
Tabla 51: Propiedades del agua a varias temperaturas.....	205
Tabla 52: Calor específico de algunos alimentos.....	206
Tabla 53: Caudales de vapor, dados la presión y el diámetro de la tubería.....	206
Tabla 54: Calor específico de algunos materiales sólidos para 0-100 °C ($kJ/kg K$). .	207
Tabla 55: Pérdidas de fricción para agua, tubería de acero “Schedule 40”.....	208
Tabla 56: Factor de evaporación	209
Tabla 57: Propiedades del diesel oil usado en el Ecuador.....	209
Tabla 58: Rugosidad absoluta para algunos materiales.....	210
Tabla 59: Emisión de calor de las tuberías.....	211
Tabla 60: Pérdidas de fricción en longitud de tubería de varios accesorios.....	211
Tabla 61: Valores de K en función de la relación entre diámetros en un estrechamiento brusco.	212
Tabla 62: Rugosidad absoluta de algunas válvulas.....	212
Tabla 63: Rango de trampas de flotador termostáticas.....	213

1. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo rediseñar el sistema de generación y transporte de vapor del Hospital del IESS, de la ciudad de Machala. El rediseño del sistema en mención incluye el cálculo de carga térmica, la selección de las calderas de vapor, selección de máquinas térmicas para las diferentes áreas del Hospital, diseño del sistema de agua de alimentación, cálculo y selección de tuberías de vapor y retorno de condensado, cálculo y selección del ablandador de agua, selección de accesorios y trampas de vapor. Se efectuó también una valoración de las pérdidas energéticas por transmisión y fugas en las tuberías.

En este trabajo se realizó un análisis actual de los requerimientos de vapor del Hospital, de acuerdo a ello se detalló los parámetros de diseño-selección para los diferentes equipos y/o elementos del sistema y valiéndose de los cálculos necesarios se determinó la caldera de vapor requerida.

La metodología a seguir para este trabajo es la siguiente. Primero se procedió a calcular la demanda de vapor, con este resultado y otras consideraciones generales, se seleccionó las calderas y las máquinas térmicas a utilizar. Luego se realizó el diseño del sistema de alimentación de agua de las calderas, con su respectiva bomba de alimentación.

Una vez llegado a este punto, se decidió finalmente que combustible deberá utilizar la caldera, también se justificó el por qué del combustible a utilizar, se seleccionó la bomba, se calculó y diseñó los tanques de combustible.

Luego se diseñó el sistema de tuberías de vapor y retorno de condensado, este diseño incluye la selección del aislamiento térmico. También se seleccionó las trampas de vapor según la presión diferencial y el flujo de condensado. Y por último se hizo el cálculo y selección del ablandador de agua correspondiente.

A continuación se realizó el cálculo de las pérdidas energéticas en las líneas de vapor desde el caldero hasta el colector, y desde el colector en tres redes que distribuyen el vapor a las diferentes áreas.

SUMMARY

This work aims to redesign the system of steam generation and transport IESS Hospital in the city of Machala. The redesign of the system in question include the thermal load calculations, selection of steam boilers, thermal selection of machines for different areas of the hospital, water system design, supply, calculation and selection of steam pipes and return condensate, calculation and selection of water softener, and selection of fittings and steam traps. Should also undergo an assessment of the energy lost through transmission and leaks.

In this paper we undertake a current analysis of the steam requirements of the hospital, according to this will be detailed-design parameters selection for different equipment and / or system elements, and using the necessary calculations determine the boiler required.

The methodology for this work is as follows. First we shall calculate the demand for steam, with this result and other general considerations, the procedure to select the boilers and thermal machines to use. Then proceed to design the system of water supply boilers, with their respective feed pump.

Having reached this point, finally decided to use the boiler fuel should also justify why the fuel to use, select the pump, is calculated and designed fuel tanks.

Then design the piping system of steam and condensate return, this design should include the selection of thermal insulation. Also be selected according steam traps differential pressure and flow of condensate. And finally do the calculation and selection of appropriate water softener.

Will be followed by the calculation of energy losses in the steam lines from the boiler to the manifold, and from the collector in three networks that distribute the steam to the different areas.

2. INTRODUCCIÓN

En las instituciones de servicio público, como por ejemplo, los hospitales tienen una marcada dependencia de la generación de vapor centralizada, ya sea para la esterilización de instrumentos quirúrgicos (autoclaves), para la elaboración de alimentos (marmitas) o para la desinfección de la ropa generada por los pacientes en general (lavadoras y secadoras).

La necesidad del Hospital del IESS, de contar con un sistema de vapor que le permita cumplir sus requerimientos para atender al personal que ingresa al mismo, en lo que se refiere a regímenes de lavandería-secado, cocina, limpieza y esterilización en quirófano, dotación de agua caliente para fisioterapia, y otras necesidades complementarias, determino la necesidad de equipar al mismo con una instalación de calderas industriales.

Así en el año del 2005, se procedió a la instalación de 2 calderas pirotubulares horizontales marca Bryan Boilers, modelo CL270-S-150-FDO, de 64 BHP, con una producción de 2583 lb/h de vapor a 150 PSI de presión.

Actualmente no existe un estudio técnico sobre la correcta selección y dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de vapor del Hospital del IESS, así como un control del estado operativo de sus partes: aislamientos, tuberías, ablandador, etc..., o necesidades adicionales; y considerando que el sistema ha operado por 7 años de forma permanente, se procedera en la presente tesis a realizar el dimensionamiento y selección de los equipos y/o materiales con el fin de lograr un funcionamiento óptimo del sistema de vapor en el Hospital del IESS, lo que incluye un máximo aprovechamiento del vapor con un correcto consumo de combustible y un cuidado permanente de los equipos instalados.

El objetivo de esta tesis es analizar y realizar un rediseño del sistema de generación y transporte de vapor del Hospital del IESS. Primero se hará un balance de energía a los equipos para determinar la cantidad de vapor que necesitaremos y por ende la potencia de la caldera requerida.

Para que todo funcione correctamente en una instalación de generación de vapor, en primer lugar, debe estar funcionando eficientemente la caldera, en segundo lugar, deben estar en buenas condiciones la tubería de conducción de vapor (con sus respectivos accesorios) y la tubería de retorno de condensado. Por último los equipos deben estar aprovechando al máximo la energía calorífica del vapor.

Por las bondades y beneficios que presenta un buen diseño del sistema de vapor en Hospitales, razón por la cual se planteo los siguientes objetivos:

- Evaluar las necesidades y exigencias de la capacidad de vapor que se requieren en los distintos servicios.
- Rediseñar el sistema de generación y transporte de vapor en función de los requerimientos en los distintos servicios, para lograr un máximo aprovechamiento del vapor.
- Seleccionar una metodología y calcular los costos: por transmisión y fugas.
- Realizar un levantamiento de la red desde el caldero a los diferentes consumidores.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Fundamentación teórica de sistemas de vapor

3.1.1 Uso del vapor

La necesidad de los fluidos condensables en general y de los vapores en particular, para su utilización industrial, tanto en procesos de calentamiento como de refrigeración, hacen aconsejable su estudio termodinámico. De una manera general, el vapor de agua se produce llevando al punto de ebullición el agua contenida en un recipiente. El agua de alimentación introducida en el generador de vapor proviene de la fuente fría (red colectora del producto condensado más agua adicional). En ciertas aplicaciones especiales del vapor, como la humidificación del aire, éste puede estar en contacto directo con el cuerpo humano. El vapor que se distribuye entre los beneficiarios del servicio conectados a una red de distribución de vapor, es un producto industrial fabricado a partir del agua tratada. Gracias a las propiedades sobresalientes de transferencia de calor, el vapor es ampliamente usado como un medio de energía. Varios métodos y procesos son usados para la generación de vapor con las propiedades requeridas por los consumidores individuales en sus sistemas específicos.

3.1.2 Generación de vapor

3.1.2.1 Definición

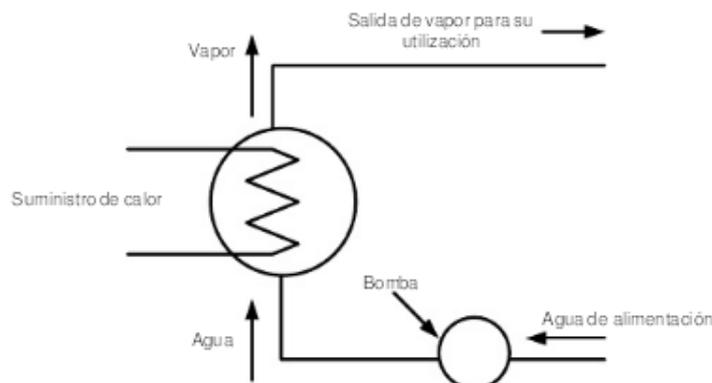


Figura 1: Generación del vapor.

De una manera general y esquemática, el vapor de agua se produce llevando al punto de ebullición el agua contenida en un recipiente. El agua de alimentación introducida en el generador de vapor proviene de la fuente fría (red colectora del producto condensado + agua adicional).

Cuando el vapor producido está destinado a poner en movimiento una máquina de vapor, el circuito de producción incluye, un condensador que se convierte en la fuente fría. A fin de mejorar el rendimiento termodinámico del ciclo, se sobrecalienta el vapor; a la salida del generador, después de la ebullición, el vapor pasa a un sobrecalentador, donde su temperatura se eleva a presión constante. Además del mejoramiento del rendimiento del ciclo, el sobrecalentamiento implica una ventaja por el hecho de que al alejarse de la saturación, se suprime la condensación en las paredes, y por consiguiente, el intercambio de calor entre las paredes y vapor.

3.1.2.2 Generación de vapor en calderas

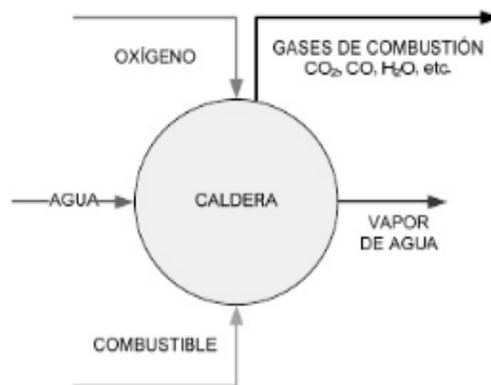


Figura 2: Generación de vapor en una caldera.

Las calderas son aparatos tubulares calentados directamente, que por principio convierten la energía del combustible en calor latente de vaporización. Es un intercambiador de calor en el que gases de combustión ceden entalpía aun fluido para cambiarlo de estado, generalmente para convertirlo en vapor. En su mayoría, el fluido de trabajo es agua. (Bentancur, 2011)

3.1.3 Conceptos fundamentales

3.1.3.1 Entalpía del líquido

El calentamiento del agua hasta alcanzar una temperatura determinada a una presión dada causará que está entre en ebullición y de esta forma el vapor sea liberado. El calor requerido para llevar el agua desde 32 F, que es la temperatura o punto base para el estudio de las propiedades del agua y del vapor, hasta el punto de ebullición, es lo que se conoce como entalpía del líquido saturado y es medida en BTU'S por libra.

3.1.3.2 Saturación

Cuando el agua está en ebullición, ambos, el agua y el vapor liberado, tienen una misma temperatura que se llama temperatura de saturación. Para cada presión a la que ebulle el agua existe solamente una temperatura de saturación y viceversa. El calor agregado durante la ebullición es utilizado para pasar el agua de su estado líquido a vapor. Este calor medido también en BTU'S por libra se denomina entalpía de evaporación.

La suma de la entalpía del líquido saturado más la entalpía de evaporación nos da la entalpía del vapor saturado, que equivale al calor agregado para llevar el agua desde 32F hasta vapor a una presión dada.

3.1.3.3 Vaporización

La vaporización consiste en la conversión rápida de agua a vapor, a temperatura alta y presión reducida, de modo que la temperatura del agua esté por encima del punto de ebullición a dicha presión. Por ejemplo: si el condensado caliente es descargado por una trampa en un retorno a baja presión o hacia la atmósfera, un porcentaje del agua será transformada inmediatamente en vapor. También se le llama re- evaporación.

3.1.3.4 Supercalentamiento

Mientras el vapor y el agua estén en contacto la temperatura permanecerá constante - la temperatura de saturación a una presión dada -. Si deseamos aumentar la temperatura del vapor debemos supercalentarlo, es decir, calentarlo fuera de contacto con el agua. La entalpía del vapor aumentará por la cantidad de BTU'S agregada y la temperatura se

incrementará. La rata a la cual se produzca este incremento depende en buen grado de la presión.

3.1.3.5 Punto crítico

Es el punto en el cual el agua se convierte en vapor sin pasar por su punto de ebullición. Esto sucede a una temperatura de 705.4 F y a una presión de 3206.2psia. En este punto el agua y el vapor tienen las mismas propiedades. En pruebas de laboratorio se ha demostrado que si se calientan agua y vapor en un tubo de cuarzo, se puede apreciar que a cualquier temperatura y presión por debajo del punto crítico se tiene claramente definida una línea de nivel que separa el agua del vapor. Al alcanzar valores de presión y temperatura muy próximos al punto crítico, esta línea de nivel desaparece y todo se convierte en vapor.

3.1.3.6 Transferencia de calor

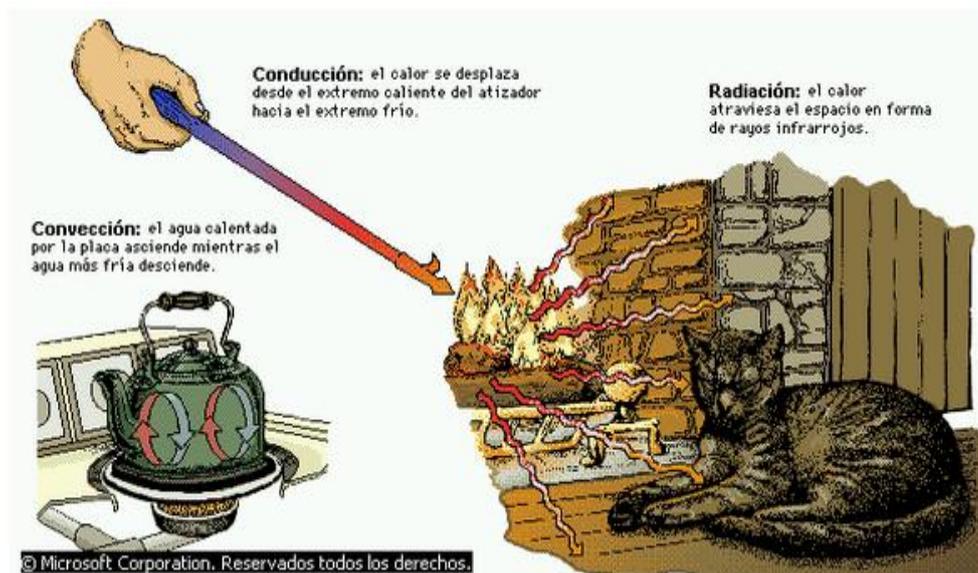


Figura 3: Proceso de transferencia de calor.

En física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola

situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación. Existen tres tipos de transferencia de calor: Conducción, convección, radiación.

3.1.3.6.1 Conducción

Es la transferencia de calor desde un punto de un material hacia otro punto del mismo material o hacia un material contiguo. El calor es visualizado como una actividad molecular; realmente es la vibración de las moléculas de un material. Cuando una parte de un material es calentada la vibración molecular en ese punto aumenta. Este incremento de la actividad molecular es transmitido a las moléculas adyacentes y estas a su vez lo transmiten a otras moléculas estableciéndose un flujo de calor desde el punto caliente hasta las zonas más frías.

3.1.3.6.2 Convección

Como vimos en el punto anterior, la transferencia de calor por conducción es un movimiento de energía a través de un material. En contraste, la transferencia por convección tiene lugar debido a un movimiento del mismo material calentado.

Cuando un fluido es calentado, su densidad - peso por pie cúbico - disminuye. Si parte de una masa de un fluido es calentada, la parte más fría y más pesada tiende a desplazar la parte más caliente, entonces la porción que estaba fría se calienta y a su vez es desplazada. El resultado es un flujo continuo de fluido frío hacia el área caliente y de fluido caliente alejándose de dicha área estableciéndose una corriente por convección. El movimiento del fluido caliente se convierte en un medio de transferencia de calor.

3.1.3.6.3 Radiación

Todos los cuerpos irradian energía. La radiación no requiere un medio de transmisión, ella se produce tanto a través del vacío como de un gas; la radiación se propaga como las ondas de la luz. Un cuerpo expuesto a radiación se calienta solamente sobre el lado expuesto; el otro lado está en la "sombra" y permanece frío. (Días Tapia)

3.1.4 Equipos constitutivos de un generador de vapor

Los generadores de vapor deben ser equipos capaces de separar las gotas portadoras de impurezas (partículas, pirógenos, etc.) y por tanto de producir vapor puro de calidad constante. Para ello, el generador de vapor suele constar de las siguientes partes:

- Un depósito en forma de columna o cámara de expansión
- Un intercambiador de calor sanitario o resistencias eléctricas para calentamiento del agua y evaporación

Este diseño produce el fenómeno de termosifón, que permite adaptar fácilmente la demanda de vapor a su producción. La columna se convierte en un depósito de energía que al almacenar el agua garantiza la estabilidad de la producción incluso durante la demanda punta. (Telstar)

3.1. 4.1 Generadores de vapor

Un generador de vapor es una máquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química, se transforma en energía térmica. Generalmente es utilizado en las turbinas de vapor para generar vapor, habitualmente vapor de agua, con energía suficiente como para hacer funcionar una turbina en un ciclo de Rankine modificado.

Los generadores de vapor se diferencian de las calderas por ser mucho más grandes y complicados.

3.1.4.2 Calderas

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones en diferentes procesos. (Wikipedia)

3.1.4.3 Clasificación de las calderas

Las calderas pueden clasificarse basándose en algunas de las características siguientes: uso, presión, materiales de que están construidas, contenido, forma y posición de los tubos, sistema del fogón, clase de combustible, fluido utilizado, sistema de circulación, posición y tipo del hogar, forma general, etc.

3.1.4.3.1 Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera

a) Calderas humotubulares

En estas calderas son los humos los que circulan por dentro de tubos, mientras que el agua se calienta y evapora en el exterior de ellos (ver figura 4). Todo este sistema está contenido dentro de un gran cilindro que envuelve el cuerpo de presión.

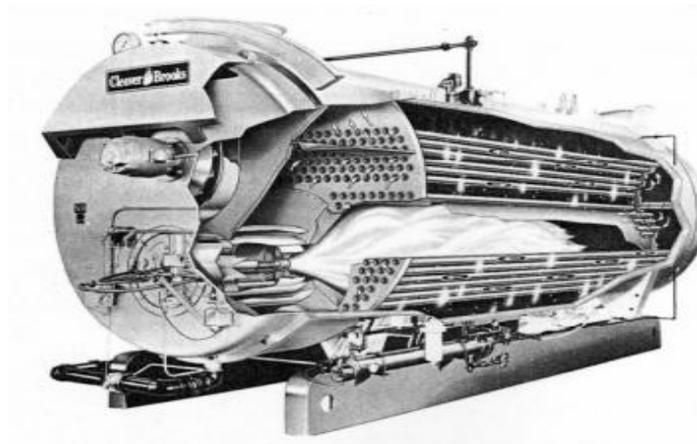


Figura 4: Detalle caldera humotubular.

b) Calderas acuotubulares

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente en flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la combustión (ver figura 5).

En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

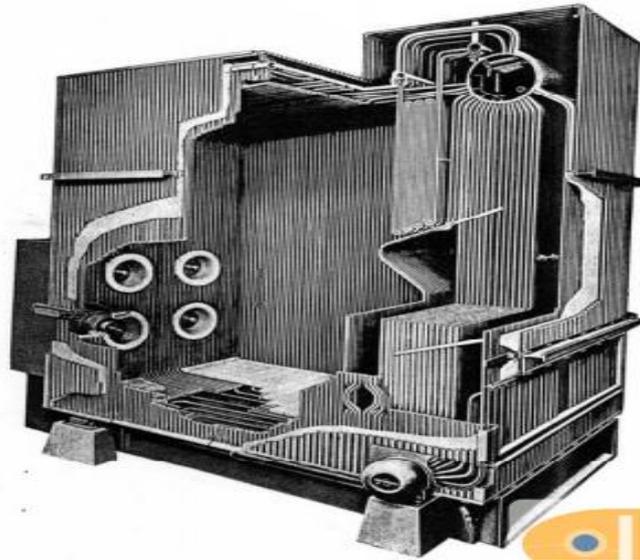


Figura 5: Detalle de la caldera acuotubular.

3.1.4.3.2 Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera

a) Calderas de baja presión

Calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm². Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.

b) Calderas de media presión

Producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm². Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general.

c) Calderas de alta presión

Asociadas a ciclos de potencia, trabajan con presiones de 20 kg/cm² hasta presiones cercanas a la crítica.

3.1.4.3.3 Clasificación de acuerdo a la producción de vapor

a) Calderas chicas

Producen hasta 1 o 2 toneladas de vapor saturado por hora.

b) Calderas medianas

Producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora. Las calderas chicas y medianas casi en su totalidad son calderas humotubulares de baja y media presión.

c) Calderas grandes

Calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

3.1.4.3.4 Clasificación de acuerdo al combustible utilizado

a) Calderas de combustibles líquidos

Se fabrican Generadores de Vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos.

Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del fuel y de sistemas de bombeo y transporte.

b) Calderas de combustible gaseosos

Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores.

Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

c) Calderas de combustibles sólidos

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), desechos de producción (pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón (en distintos grados de pulverización), etc.

Cada uno requerirá una tecnología apropiada para poder quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo, teniendo que considerar el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el combustible, la

permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas entre otros factores.

3.1.4.3.5 Clasificación de acuerdo a la circulación del agua dentro de la caldera

Es una clasificación que tiene sentido en las calderas acuotubulares, en las humotubulares la circulación del agua en el interior es siempre por convección natural.

a) Circulación natural.

La circulación del agua y de la mezcla agua-vapor ocurre naturalmente debido a la diferencia de densidades entre el agua más fría y la mezcla de agua-vapor (efecto sifón) (ver figura 6).

Implica entonces tener un circuito cerrado por donde circula el agua y una diferencia de altura apreciable entre las partes altas y bajas del equipo.

Los generadores chicos, los de potencia mediana y una buena parte de los grandes generadores de vapor son de circulación natural.

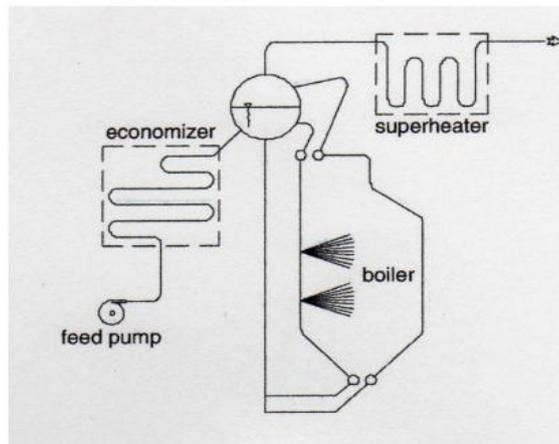


Figura 6: Circulación natural.

b) Circulación asistida.

En este caso la circulación natural en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito (ver figura 7).

En este caso también la caldera consiste en un circuito cerrado, pero permite construcciones más compactas incluso con tubos inclinados.

Se utiliza en aquellos casos en que la diferencia entre las densidades del fluido frío y del caliente no es demasiado grande, típicamente para presiones superiores a los 140-160 bares.

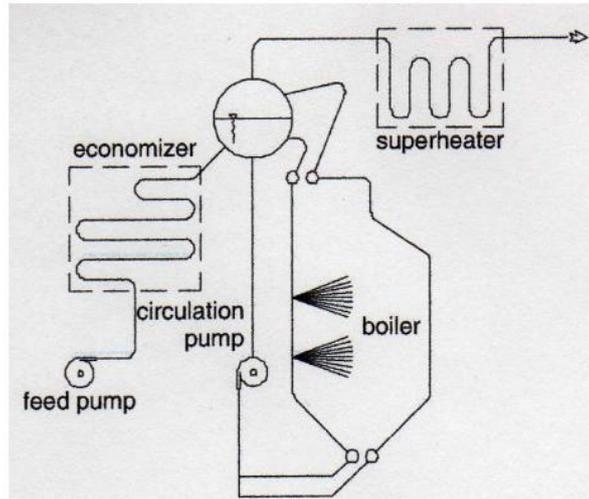


Figura 7: Circulación asistida.

c) Circulación forzada.

Este tipo de calderas tiene una concepción distinta, se trata de un circuito abierto y uno cerrado.

La bomba impulsa el agua a través de una primera superficie de intercambio donde se precalienta, luego pasa a un segundo intercambiador donde se vaporiza y luego, en algunos casos, pasa a un tercer intercambiador donde se sobrecalienta (ver figura 8).

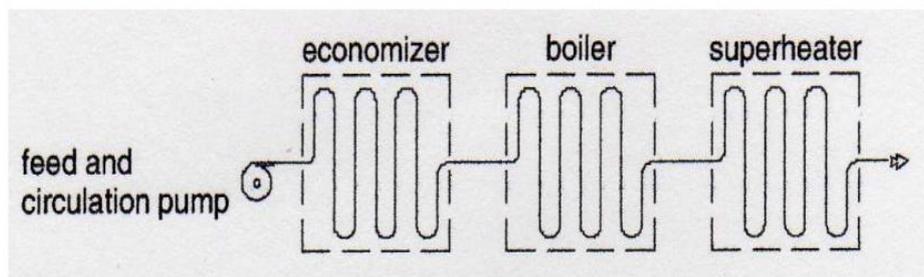


Figura 8: Circulación forzada.

3.1.4.3.6 Clasificación de acuerdo al intercambio de calor

a) Radiantes, o de radiación total.

Son aquellas calderas que solo tienen hogar, y allí prácticamente todo el calor es intercambiado por radiación.

En general se trata de calderas acuotubulares grandes, donde los tubos en donde se genera el vapor conforman las paredes del hogar. Las altas temperaturas que se tienen en la combustión hacen que se tenga un intercambio muy importante de calor por radiación. Además estas calderas trabajan a presiones elevadas, con lo que el calor de vaporización necesario es relativamente bajo, y al utilizar agua de alimentación previamente calentada hasta temperaturas muy cercanas a la de saturación, se consigue que las paredes de tubos del hogar sean suficientes para transferir todo el calor de vaporización necesario.

b) Convectivos.

Típicamente son las calderas HRSG (Heath Recovery Steam Generator), sin cámara de combustión. Utilizan un fluido caliente como fuente de calor, producto de algún proceso previo (hornos de fundición, hornos de vidrio, turbinas de gas, motores diesel, etc.)

c) De calentamiento indirecto.

Son calderas de fluidos térmicos en las que se calienta un fluido intermedio, típicamente un aceite, y este es el que al circular por un intercambiador, genera el vapor de agua. El fluido es nuevamente recirculado hacia la caldera. (www.iceni.com/unlock.htm)

3.1.5 Partes principales que componen una caldera

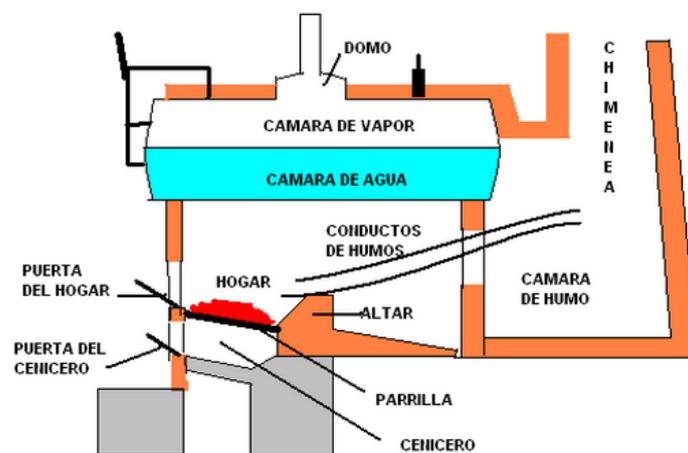


Figura 9: Partes principales que componen una caldera.

En este punto se trataran sólo aquellas partes generales relevantes propias del diseño de las calderas.

3.1.5.1 Hogar:

También se denomina fogón y actúa de manera muy semejante a una cámara de combustión, dentro de él se debe producir una combinación íntima entre el combustible y el comburente (aire).

3.1.5.2 Tubos:

Se unen a los domos, colectores, cabezales y otros mediante mandrinado. La limpieza de los tubos suele llevarse a cabo introduciendo largas varillas. Si un tubo tiene una fuga debe anularse tapándolo por ambos extremos con tapones de cobre (siempre y cuando el número de tubos anulados no sea excesivo).

3.1.5.3 Conductos de humo:

Es aquella parte de la caldera por donde circulan los humos o los gases calientes que se han producido en la combustión.

3.1.5.4 Cajas de humo:

Corresponde al espacio de la caldera que desempeña la función de caja colectora de los humos después de haber pasado por todos los conductos antes de salir por la chimenea.

3.1.5.5 Chimenea:

Sirve para dar la salida a los gases de la combustión, los cuales deben ser evacuados a una altura suficiente para evitar perjuicios y molestias al vecindario.

También para producir el tiro necesario para que la combustión se efectuara en buenas condiciones y en modo continuo.

3.1.5.6 Cámara de agua:

Volumen de la caldera que está ocupada por el agua y tiene como límite inferior un cierto nivel mínimo, del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento.

3.1.5.7 Cámara de vapor:

Es aquella parte de la caldera que queda sobre el nivel superior del agua (volumen ocupado por el vapor considerando el nivel máximo admisible de agua).

3.1.5.8 Cámara de alimentación de agua:

Es el espacio comprendido entre los niveles máximos y mínimos del agua.

3.1.5.9 Colector superior:

Es un recipiente cilíndrico horizontal cuya función es separar el agua del vapor, proveer de espacios donde almacenar el vapor, recibir el agua requerida por la caldera y recibir y distribuir los tubos vaporizadores y de caída.

3.1.5.10 Colector inferior y cabezales:

También consiste en un recipiente cilíndrico horizontal pero de menor tamaño que el domo superior, su función es recoger el agua de los tubos de caída, redistribuir el agua a los tubos vaporizadores y Suele tener una extracción para fangos.

A veces es sustituido por un cabezal de diámetro muy inferior. Incluso en algunos casos como en las calderas en M se puede dar el caso que coexistan colector inferior y cabezal.

3.1.5.11 Los economizadores:

Es la parte de la caldera donde por intercambio de temperatura entre los gases de combustión y el agua de caldera se le baja temperatura a los gases de combustión y se le incrementa al agua de caldera para economizar combustible en el proceso de producir vapor y a su vez minimizar el impacto ambiental porque evitamos el aumento de la temperatura del medio ambiente. El economizador puede estar situado dentro de la caldera, como parte de la zona de convección, o puede ser externo donde por razones de espacio no se puede aplicar el arreglo anterior.

3.1.5.12 Ventilador:

Son los encargados de suministrar el aire para la combustión en las calderas de tiro forzado y de sacar los gases desde el hogar hacia la chimenea en las calderas de tiro

inducido. Deben tener una capacidad superior en un 15% al flujo a máxima carga para suplir las pérdidas por ensuciamiento de la caldera, disminución de la calidad del combustible o desgaste de los mismos ventiladores

3.1.5.13 Recalentadores:

Son sistemas de tubos curvados que describen un recorrido, en su interior circula vapor desde la saturación hasta un determinado recalentamiento, en los recalentadores el vapor aumenta su temperatura y también su volumen.

Los recalentadores se pueden dividir en primario, secundario e intermedio. Así el recalentador primario será aquel tramo de desrecalentador circulado por el vapor antes de viajar hacia el desrecalentador y el secundario e intermedio los que serán circulados después, difiriendo uno del otro en que el intermedio no tiene por qué estar siempre en funcionamiento.

3.1.5.13.1 Sistemas de control de la temperatura del vapor a la salida del recalentador

El primer sistema consiste en llevar el vapor entre el recalentador primario y secundario hacia un atemperador de aire colocado en la admisión de aire de los quemadores. El enfriamiento se regula dejando pasar más o menos cantidad de aire por el desrecalentador.

El segundo, aunque no es del todo correcto decir que sea un sistema de desrecalentamiento, sino un sistema de control de la temperatura de la salida del vapor, consiste en hacer un by pass en los gases de la chimenea, dejando pasar la totalidad de los gases hacia un recalentador o desviando parte de éstos hacia un economizador. El enfriamiento se controla por la cantidad de gas que se desvía hacia el economizador.

El tercer sistema antes mencionado consiste en hacer circular un serpentín por el fondo del domo y favorecer así la transmisión de energía entre el vapor del interior del desrecalentador y el agua del domo. El enfriamiento se controla por la cantidad de vapor que se deja circular hacia el serpentín; el vapor enfriado se mezcla con el no enfriado antes de entrar en el recalentador secundario.

3.1.5.14 Los precalentadores de aire:

Se suelen colocar en la sección de chimenea donde ya la temperatura de los gases es poco elevada, esto sería después de los economizadores.

Es un intercambiador generalmente con vapor de baja presión que se condensa y retorna al sistema como agua de alimentación. La temperatura normal del aire entrando al calentador de aire debe estar entre 140 °F y 176 °F

3.1.5.15 Calentador de aire:

En esta parte se termina de darle temperatura al aire que va para la combustión intercambiando temperatura con los gases que vienen de la combustión.

3.1.5.16 Quemadores:

Son los elementos de la caldera encargados de suministrar y acondicionar el combustible para mezclarlo con el aire y obtener una buena combustión. Deben producir una llama estable y uniforme de manera que se realice una cierta distribución en el hogar.

Los quemadores de gas son perforados y por sus orificios el gas debe salir a una velocidad mayor que la del aire para asegurar una penetración íntegra del chorro de aire. En los quemadores de aceite, este debe ser atomizado para aumentar la superficie de contacto con el aire. La atomización se realiza generalmente con vapor pero se puede utilizar aire también. Aunque el vapor produce una muy buena atomización, presenta como desventaja que causa un mayor contenido de agua en los gases de combustión y disminuye el punto de rocío de los gases, además representa consumo de vapor que no se recupera.

3.1.5.17 Sistemas de eliminación del hollín:

Están destinados a eliminar el hollín que se acumula en los haces tubulares y elementos de las calderas.

3.1.5.18 Indicadores de nivel:

Es de vital importancia saber que nivel de agua y de vapor existen en el domo. Por eso se colocan unos visores que nos lo indican.

Estos visores siempre deben poder ser drenables.

3.1.5.19 Sistemas de control del nivel del colector:

No solo nos basta con conocer el nivel de la caldera, también nos interesa poder controlarlo. Para este fin se utilizan los sistemas de control de nivel.

El más sencillo consiste en un flotador unido en su zona superior a un vástago en cuyo extremo se encuentra un interruptor magnético. Este interruptor magnético va subiendo o bajando según el nivel de la caldera, y según suba o baje puede colocarse ante cuatro indicadores magnéticos cada uno de los cuales da una señal con un diferente significado. El inferior y superior centrales indican a la bomba de alimentación su arranque o su parada. Los dos extremos indican nivel gravemente alto o bajo y dan señal de parada al motor y suena una alarma de paro manual. (Estrucplan, 2011)

3.1.6 Sistema de alimentación de agua

En un tanque de agua de alimentación se encuentran el condensado retornado del sistema y agua fría de aportación (ver figura 10). Para eliminar el oxígeno se debe calentar el agua de alimentación o realizar un tratamiento químico para que químicamente sea adecuada para usar en la caldera.

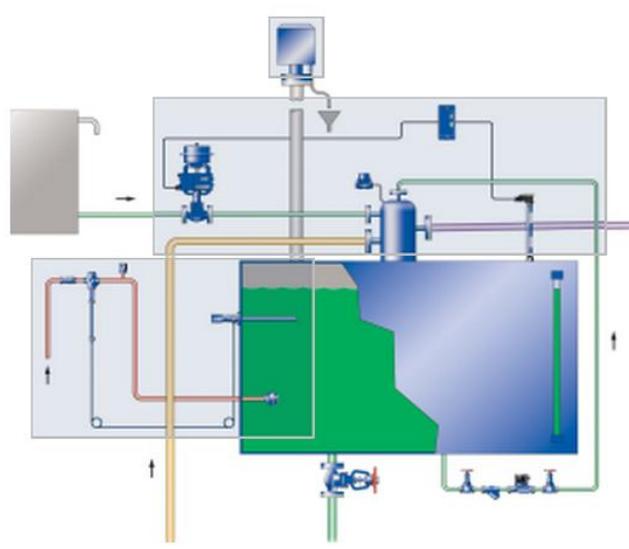


Figura 10: Sistemas para tanques de alimentación a calderas.

Un sistema de tanque de alimentación mal diseñado a menudo es una fuente de grandes pérdidas de calor y aumento de mantenimiento especialmente cuando se le permite al

agua y el condensado entrar al tanque por encima de la superficie del agua, causando pérdidas por revaporizado.

- Un sistema bien diseñado aprovechará al máximo el uso del calor.
- Los costos por tratamiento químico se reducirán al mínimo.

3.1.6.1 Tanque de agua de alimentación

Como la generación de vapor en una caldera depende directamente de la cantidad que se suministra a esta, es recomendable que la cantidad de agua de reserva y la capacidad del tanque de alimentación almacene una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación en la caldera, por lo menos durante 20 minutos.

Como teóricamente, se entiende que el tanque de almacenamiento del agua de alimentación recibirá el retorno del condensado proveniente del vapor que ha circulado por todo el sistema de vapor, aparentemente existiría un circuito cerrado de circulación perfecto. Sin embargo en la realidad, esto no sucede así, pues siempre hay pérdidas a través de todo el sistema sea este de vapor, de condensado, o del agua de alimentación.

Para reponer estas pérdidas precisamente es recomendable que el tanque de agua de alimentación, o el tanque de condensado, sea provisto de alguna conexión de agua de reposición (make-up) proveniente de algún otro tanque de reserva.

El agua de alimentación deberá estar a la temperatura más alta posible para evitar:

- Problemas de dilatación
- Contracciones
- Choques térmicos

Todos los cuales producirían en el interior de la caldera si esta fuera inyectada a la temperatura ambiente o relativamente fría.

De aquí la conveniencia de utilizar un mismo tanque para almacenar la reserva mínima y a la vez recibir los retornos de condensado lográndose así elevar la temperatura del agua de reposición que este necesitando el tanque para compensar las pérdidas que pudieran suscitarse en el sistema. (Spirax sarco)

3.1.7 Bombas de agua de alimentación

Los criterios de selección de una bomba de agua de alimentación para calderas son básicamente los siguientes:

- Operación continua o intermitente
- Temperatura del agua a la succión
- Capacidad Presión de descarga
- Carga neta de succión positiva requerida (NPSH)

3.1.7.1 Operación continua o intermitente

Este criterio depende principalmente del tipo de caldera, pirocubular o acuocubular y del tipo de servicio de la caldera. En la mayor parte de los casos de las bombas destinadas a calderas de tubos de fuego, la operación es intermitente, esto se debe a que este tipo de calderas trabajan generalmente con un flotador sobre el cual actúa un Switch, este hace que el motor que impulsa la bomba pare o arranque entre cierto nivel.

Al seleccionar bombas de agua de alimentación se deberá considerar que a menudo las calderas operan a 200 y 300% de su capacidad.

3.1.7.2 Temperatura del agua de succión

Este parámetro tiene importancia de la premisa que las bombas standard se encuentran disponibles con rangos de temperaturas entre aproximadamente 100 °C a 104°C, mientras que otras bombas son fabricadas para operar con temperaturas de hasta 121 °C o más, pero con enfriamiento de agua externo.

3.1.7.3 Capacidad

La capacidad de una bomba de agua de alimentación de calderas significa el caudal que una bomba puede proveer, pero siempre dependiendo también de la presión de descarga y de la carga neta de succión requerida.

Los dos tipos de bombas usadas para el agua de alimentación de calderas son: el tipo turbina y el tipo centrífuga.

Las bombas tipo turbinas tienen que ser seleccionadas para una capacidad de 1,5 a 2,0 veces la capacidad de evaporación de la caldera para la cual vaya a alimentar, es preciso indicar que por regla general la bomba tipo turbina es frecuentemente seleccionada para operación intermitente.

3.1.7.4 Presión de descarga

Si la tubería de descarga de la bomba está conectada directamente a la caldera, sin válvula motorizada o reguladora de agua de alimentación, solamente es necesario considerar la presión de operación de la caldera y las pérdidas a través de la tubería para determinar la presión de descarga de la bomba.

La selección de la presión de descarga en bombas tipo turbina es menos crítica que en bombas centrífugas, sin embargo se debe asegurar que la presión de descarga seleccionada sea siempre mayor que la presión de operación de la caldera. Un valor de 5 a 25 PSI por encima de la presión de operación de la caldera sería un valor razonable a adoptar.

3.1.7.5 La carga neta de succión positiva (NPSH)

Es la altura total absoluta de succión en cm o pies, corregida al eje impulsor, menos la presión de vapor del líquido en cm o pies absolutos.

En realidad es un análisis de las condiciones de succión de la bomba, para saber si el agua se vaporizará o no en el punto de menor presión de la bomba.

Obviamente, debemos mantener el fluido en estado líquido para obtener un buen funcionamiento de la bomba evitando la cavitación que afecta a la presión, capacidad y eficiencia que podría producir incluso perforaciones en las paletas del impulsor. (García Saavedra, 1982)

3.1.8 Tanque de condensado

El tanque flash tiene como finalidad reutilizar el revaporizado o flash producido del condensado saturado presurizado, que al ser desalojado del medio que lo contiene, reduce su presión revaporizándose parcialmente y alcanzando además la misma temperatura del vapor. Este sistema actúa como recolector, separador y distribuidor, ya que al ingresar el revaporizado parcial se separa, saliendo el vapor por la abertura superior hacia un lugar preestablecido, el condensado restante, se descarga a través de un filtro y una trampa hacia la tubería que conecta con el tanque receptor de condensado en la sala de la caldera. (Aguamarket.com)

3.1.9 Sistema de combustible

El combustible, generalmente fuel, se almacena en tanques dotados de circuitos de serpentines de vapor (ver figura 11), instalados para evitar que su viscosidad sea muy alta y facilitar que el combustible circule bien por las líneas de alimentación de combustible lo que además hace que las bombas de circulación de dicho combustible no tengan que trabajar demasiado forzadas y puedan sufrir averías. Los tubos de vapor que alimentan a los serpentines de calefacción de tanques al igual que los tubos que conducen el combustible van en todo su recorrido hasta la entrada a dichos serpentines y desde la salida de combustible de los tanques hacia bombas y calderas, forrados con material termoaislante para evitar pérdidas de calor poniendo en el caso de las líneas de combustible, si por razones de distribución de líneas el recorrido es largo, un calentador intermedio. (Herrera Ordóñez, 2009)

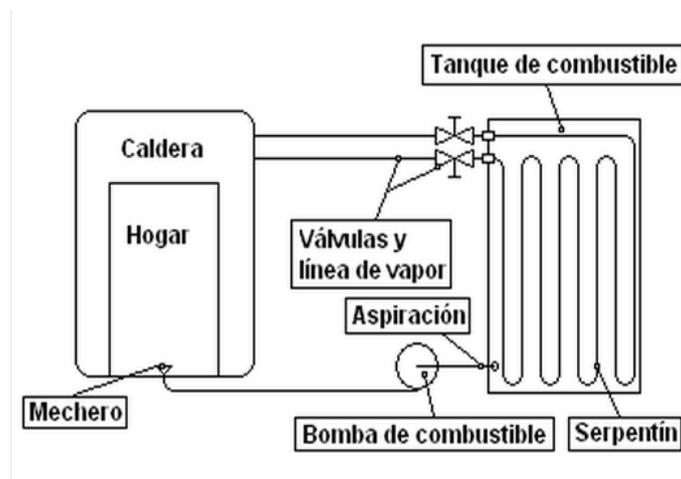


Figura 11: Sistema de combustible.

3.1.9.1 Tanque de combustible

Los tanques de combustible que se usan en aplicaciones industriales donde existan calderas de vapor pueden clasificarse de la siguiente manera:

Según su forma:

- Cilíndricos verticales
- Cilíndricos horizontales
- Rectangulares (raramente usados)

Según su ubicación:

- Sobre el piso
- Subterráneos

El material de construcción de los tanques debe ser siempre de acero y nunca deberá utilizarse hierro galvanizado.

En algunos casos los tanques pueden ser instalados a una altura superior a la que se encuentran los quemadores de las calderas, y en este caso se los denominara “tanques de gravedad”.

El número de tanques y la capacidad de los mismos, dependerá del consumo de combustible de la caldera y del número de calderas que existan. En cualquier caso, es recomendable disponer de tanques de reserva que tengan una capacidad de almacenamiento de tal magnitud que el combustible pueda durar de 15 a 30 días de tiempo de funcionamiento de las calderas. (Jimenez Chilan, 1997)

3.1.9.2 Bombas de alimentación de combustible

Que es del tipo de engranajes y cumple una doble misión, aspirar el combustible desde el depósito y suministra la presión suficiente para la pulverización del combustible en la boquilla para realizar una combustión perfecta. (Jimenez Chilan, 1997)

3.1.10 Sistemas de distribución de vapor y retorno de condensado

Los sistemas de distribución de vapor están conformados por tres componentes principales que son los cabezales distribuidores, tuberías principales y los ramales los mismos que están encargados de transportar el vapor desde las calderas a diversos equipos de consumo. El sistema debe garantizar de manera eficiente la entrega y la calidad del vapor requerido, tomando en cuenta parámetros importantes como demanda, presión y temperatura que son controlados por los diversos accesorios instalados en el sistema.

3.1.10.1 Distribución de vapor

El distribuidor de vapor es una tubería particular horizontal con un diámetro especificado de acuerdo a factores propios del sistema. Este dispositivo es el encargado

de recibir el vapor de uno o varios generadores al mismo tiempo y su función es repartir el vapor hacia los diversos puntos de consumo. Cabe señalar que los ramales que salen del distribuidor deben estar ubicados en la parte superior del distribuidor con la finalidad de dirigir el vapor saturado libre de condensado que pudiese dañar equipos o reducir en gran parte la eficiencia de varios procesos.

El vapor en un distribuidor ingresa por los extremos y por la parte intermedia se ubican las tuberías de consumo o ramales. Un distribuidor debe disponer en su estructura dos piernas colectoras ubicadas en los extremos con la finalidad de recolectar el condensado y garantizar con ello la calidad del vapor. En la figura se muestra la configuración típica de un distribuidor y sus componentes.

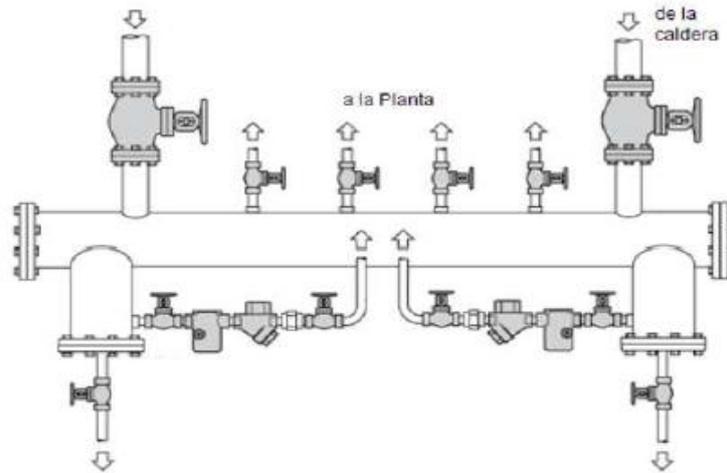


Figura 12: Distribuidor de vapor.

3.1.10.2 Tubería de transporte de vapor

Las tuberías tienen como función primordial brindar una direccionalidad al vapor hacia los diversos puntos de consumo, el vapor tiene la facultad de autotransportarse, es decir este ocupa su propio potencial energético para trasladarse de un punto a otro, proceso en el cual genera una pérdida en su nivel energético formándose condensado, formación inevitable en los sistemas reales. Cuando una válvula se abre el vapor inmediatamente se transporta y se produce un intercambio de energía de este a la tubería que se encuentra a temperatura ambiente “fría”, el condensado se forma inmediatamente a lo que se conoce como régimen de condensado de “carga inicial”. Una vez que la tubería se calienta, la creación de condensado disminuye drásticamente aun cuando se siga

transfiriendo calor hacia los alrededores de la tubería, a este régimen se lo conoce como “carga en régimen”.

Como el condensado se encuentra en las tuberías compartiendo el espacio junto al vapor, los ramales que salgan de las tuberías estarán ubicados en la parte superior de la tubería manteniendo una configuración particular llamada “cuello de ganso” esta configuración permite extraer el vapor sin carga de condensado y se muestra en la figura 13 (Cruz Apunte, 2011)

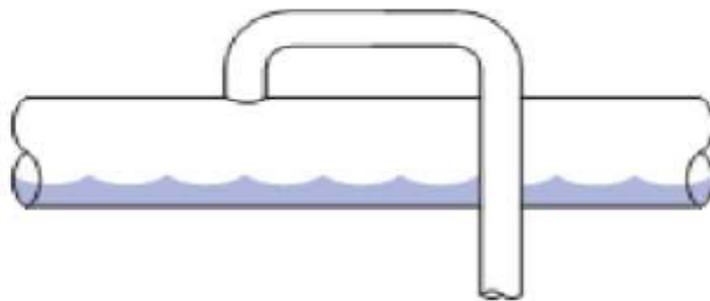


Figura 13: Conexión de vapor tipo cuello de ganso.

3.1.11 Agua para la caldera

3.1.11.1 Tratamiento de agua para calderas

El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y agua de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

3.1.11.2 Fuentes de agua

Las fuentes de agua corresponden a toda aquella agua (ríos, lagos, océanos, etc.), que no ha recibido ningún tipo de tratamiento y por lo tanto contienen impurezas, adquiridas durante el ciclo al que han sido sometidas, que impiden su utilización directa en una caldera.

El ciclo del agua, mostrado en la figura 7, indica que la humedad atmosférica resulta de la evaporación de las fuentes de agua, la que luego al condensarse precipita en forma de lluvia, granizo o nieve, absorbiendo gases y otras sustancias descargadas por el hombre a la atmósfera. Esta situación es la causa de que la lluvia contenga una gran cantidad de impurezas al momento de entrar en contacto con la tierra.

A medida que el agua fluye por sobre la superficie de la tierra o se filtra a través de las capas de ésta, continua atrapando o disolviendo impurezas del suelo o minerales por los que atraviesa. Así es como agua aparentemente cristalina, proveniente de lagos, ríos y vertientes, puede tener un elevado contenido de sólidos disueltos.

Las impurezas encontradas con mayor frecuencia en las fuentes de agua, figuran las siguientes los sólidos en suspensión, líquidos no mezclables con agua (ej. aceite), colorantes, bacterias y otros microorganismos, sustancias semi-coloidales, gases disueltos, sales minerales disueltas (cationes, aniones y sílice).

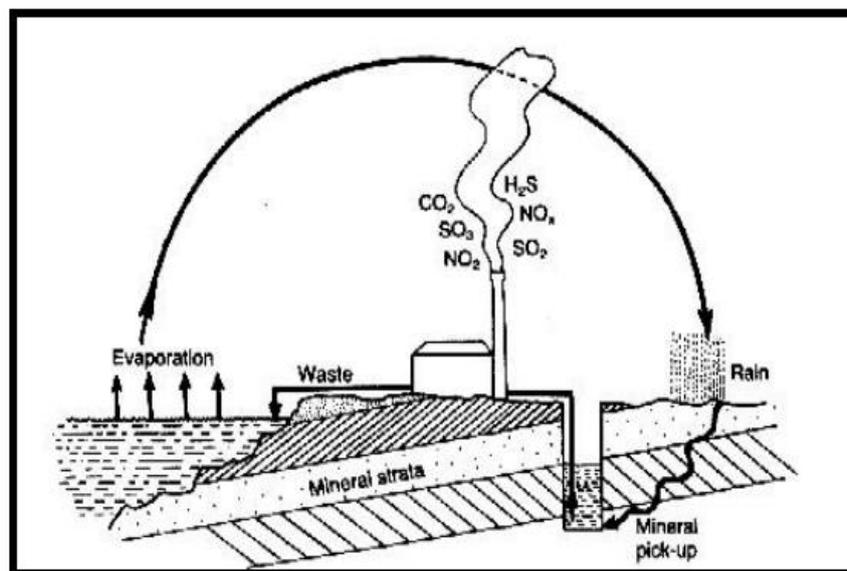


Figura 14: Ciclo del agua.

3.1.11.3 Parámetros tratamiento del agua

Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de una caldera, son los siguientes:

pH: El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).

Dureza: La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.

Oxígeno: El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.

Hierro y cobre: El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.

Dióxido de carbono: El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.

Aceite: El aceite favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.

Fosfato: El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.

Sólidos disueltos: Los sólidos disueltos es la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en el agua.

Sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.

Secuestrantes de oxígeno: Los secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidrazina, hidroquinona, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.

Sílice: La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

Alcalinidad: Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.

Conductividad: La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

3.1.11.4 Problemas más frecuentes

A continuación se describen los problemas, asociados al tratamiento de agua, encontrados con mayor frecuencia en las calderas.

3.1.11.4.1 Corrosión

Las principales fuentes de corrosión en calderas son la Corrosión por Oxígeno o “Pitting” y la Corrosión Cáustica.

A continuación se describe en qué consiste cada uno de estos tipos de corrosión, cuáles son los factores que la favorecen, que aspecto tiene y de qué manera pueden ser prevenidas.

3.1.11.4.2 Corrosión por oxígeno o “Pitting”

La corrosión por oxígeno consiste en la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (en contacto con el agua), provocando su disolución o conversión en óxidos insolubles. Los resultados de este tipo de corrosión son tubérculos de color negro, los que se forman sobre la zona de corrosión, tal como lo muestra la figura 15.



Figura 15: Corrosión por oxígeno o “pitting”

Dado que la corrosión por oxígeno se produce por la acción del oxígeno disuelto en el agua, esta puede producirse también cuando la caldera se encuentra fuera de servicio e ingresa aire (oxígeno).

La prevención de la corrosión por oxígeno se consigue mediante una adecuada desgasificación del agua de alimentación y la mantención de un exceso de secuestrantes de oxígeno en el agua de la caldera.

3.1.11.4.3 Corrosión cáustica

La corrosión cáustica se produce por una sobreconcentración local en zonas de elevadas cargas térmicas (fogón, cámara trasera, etc.) de sales alcalinas como la soda cáustica.



Figura 16: Corrosión cáustica en fogón de una caldera.

Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de cavidades profundas, semejantes al “pitting” por oxígeno, rellenas de óxidos de color negro, presentes solamente en las zonas de elevada liberación térmica (fogón, placa trasera y cámara trasera) de una caldera.

3.1.11.5 Corrosión en las líneas de retorno de condensado

Las líneas de retorno de condensado, lógicamente no forman parte de una caldera, sin embargo, su corrosión tiene efectos sobre las calderas y puede ser prevenida con el tratamiento de agua.

La corrosión de las líneas de retorno de condensado tiene efectos sobre una caldera, ya que, los óxidos (hematita) producidos son arrastrados a la caldera con el agua de alimentación. Toda caldera cuyo lado agua tiene un color rojizo presenta problemas de corrosión en las líneas de retorno de condensado.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado se produce por la acción del ácido carbónico que en éstas se forma.

La prevención de la corrosión en las líneas de retorno de condensado, puede ser conseguida mediante aminas neutralizantes que neutralizan la acción del ácido carbónico y aminas fílmicas que protegen las líneas.

3.1.11.6 Incrustaciones

Las incrustaciones corresponden a depósitos de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio, formados debido a una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación y/o regímenes de purga insuficientes.

En la figura 17 es posible observar la corrida superior de los tubos de humo de una caldera con incrustaciones de espesores superiores a los 8 mm.

La acción de dispersantes, lavados químicos o las dilataciones y contracciones de una caldera pueden soltar las incrustaciones, por lo que deben ser eliminadas de una caldera muy incrustada para prevenir su acumulación en el fondo del cuerpo de presión.

En el caso de que estas incrustaciones no sean removidas, se corre el riesgo de embancar la caldera y obstruir las líneas de purga de fondo, con lo que el problema puede tornarse aun más grave.



Figura 17: Incrustaciones en tubos de humo.

La presencia de incrustaciones en una caldera es especialmente grave debido a que su baja conductividad térmica actúa como aislante térmico, provocando problemas de refrigeración de las superficies metálicas y puede llegar a causar daños por sobrecalentamiento.



Figura 18: Acumulación de incrustaciones en el fondo del cuerpo de presión de la caldera.

3.1.11.7 Equipos de tratamiento de agua

En la figura 12 se muestran los equipos que intervienen en el tratamiento de agua de una planta térmica.

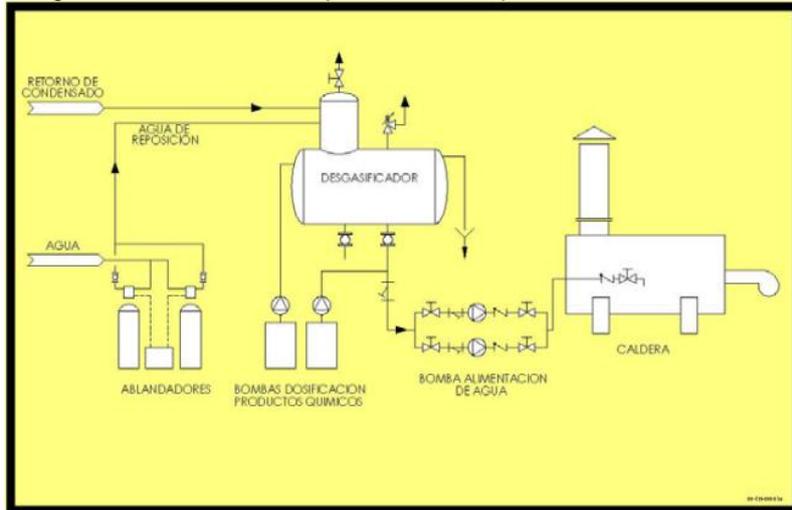


Figura 19: Equipos de tratamiento de agua para calderas.

En la figura 19 se muestran ablandadores, bombas dosificadoras y un desgasificador con su respectivo estanque de almacenamiento de agua.

3.1.11.7.1 Ablandadores

La función de los ablandadores es eliminar los iones de Ca y Mg, que conforman la dureza del agua y favorecen la formación de incrustaciones en una caldera.

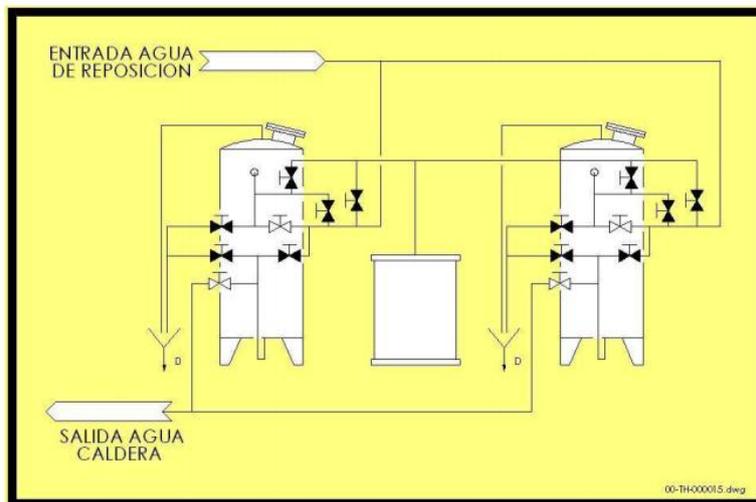


Figura 20: Ablandadores.

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en un proceso llamado “intercambio iónico”, que consiste en la sustitución de estos iones por sodio (Na) para obtener agua para ser utilizada en calderas.

Los ablandadores están compuestos por resinas, que poseen una capacidad de intercambio de iones de calcio y magnesio por sodio.

3.1.11.7.2 Desgasificador

La función de un desgasificador en una planta térmica es eliminar el oxígeno y dióxido de carbono disueltos en el agua de alimentación de las calderas para prevenir problemas de corrosión o “pitting”.

En la figura n°21 se muestra el arreglo típico de los desgasificadores generalmente utilizados para eliminar los gases disueltos del agua de alimentación de las calderas. (ENGINEERING)

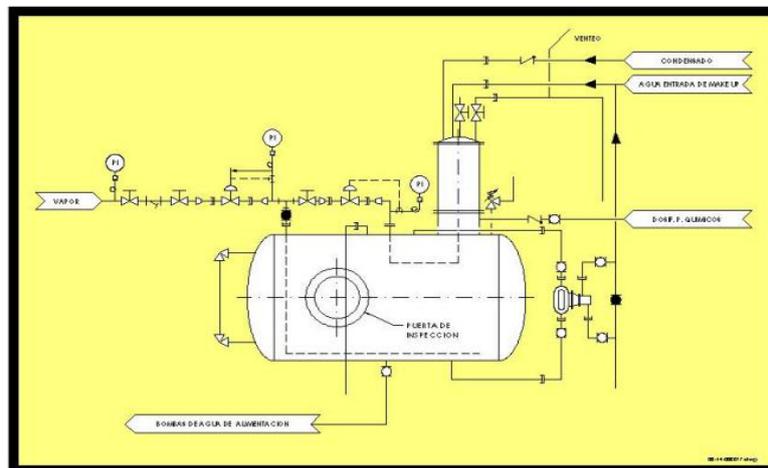


Figura 21: Desgasificador.

3.1.12 Instrumentos de control para calderas industriales

Controles necesarios en las calderas de vapor:

- Secuencia de encendido
- Nivel de agua de alimentación
- Control de la llama
- Control de la presión
- Temperatura del combustible.
- Temperatura de los gases de salida.
- Total de sólidos disueltos

3.1.12.1 Secuencia de encendido

Es el orden de operaciones que debe realizar la caldera para su encendido, el equipo llamado programador es el encargado de establecer la secuencia y los tiempos de trabajo. Se incrementa el uso de autómatas programables.

3.1.12.2 Nivel de agua de alimentación

Este control mantiene el nivel de agua por encima de los tubos fluxes, para una mayor seguridad las calderas están provistas de las siguientes indicaciones y protecciones: nivel normal de trabajo, bajo nivel y extra bajo nivel.

3.1.12.3 Control de la llama

La fotocelda es la encargada de chequear que la llama este presente, si detecta un fallo desconecta la caldera, indicando mediante una señal de alarma lo ocurrido. Esto evita que se acumule en el hogar de la caldera combustible, pudiendo provocar explosiones peligrosas en su interior.

3.1.12.4 Control de la presión

Para el control de la presión en calderas se emplean:

- Los presostatos de ajuste fijo
- Los presostatos de modulación
- Transmisores de presión

3.1.12.5 Temperatura del combustible

El termostato es el encargado de que la caldera no comience su funcionamiento hasta que el combustible no haya alcanzado la temperatura necesaria para establecer una correcta atomización. Utilizado en las calderas de fuel oil.

3.1.12.6 Temperatura de salida de los gases

Se puede observar la temperatura de los gases mediante el termómetro que debe conectarse en la chimenea esto indica la eficiencia de la caldera, cuando la temperatura de los gases es muy alta es una manifestación de que la caldera esta sucia o incrustada.

3.1.12.7 Total de sólidos disueltos

El objetivo de su control es evitar el arrastre de sustancias sólidas y formación de espumas, el control se realiza mediante un sensor de conductividad que determina cuando debe actuar la válvula que está conectada en la tubería de extracción de superficie. También se extraen los sólidos mediante una purga de fondo a la caldera, que puede ser manual o automática. (Perez)

3.1.13 Válvulas

Una válvula es un elemento que gradúa o detiene el paso de un fluido por el interior de una tubería. Pueden ser:

3.1.13.1 De compuerta

Son usadas para detener un flujo completamente. Funcionan totalmente abiertas o totalmente cerradas. Se accionan por medio de un tornillo helicoidal que le proporciona avance en múltiples vueltas de la mariposa.

3.1.13.2 De globo

Se usan para regular el flujo bajando la presión del mismo. Se acciona con un tornillo helicoidal que avanza con varias vueltas de la mariposa.

3.1.13.3 De bola

Son utilizadas para regular el flujo, así como para detenerlo totalmente.

3.1.13.4 De retención (cheque)

Son utilizadas para dejar pasar el flujo en una dirección, el cual mantiene abierta la válvula. Cuando el flujo tiende a ir en dirección contraria, ella se cierra impidiéndole el paso. La más común es la de Campana.

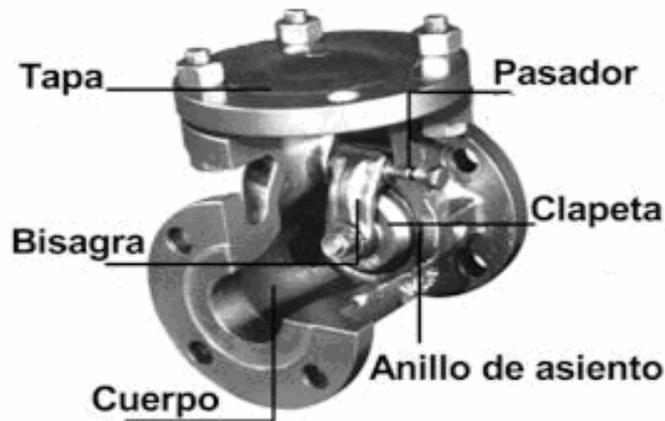


Figura 22: Válvula de cheque.

3.1.13.5 Válvula reductora de presión

Algunos equipos no necesitan la presión total del vapor generada por la caldera para su funcionamiento correcto (marmitas y autoclaves), entonces se les instala esta válvula para regular su presión.

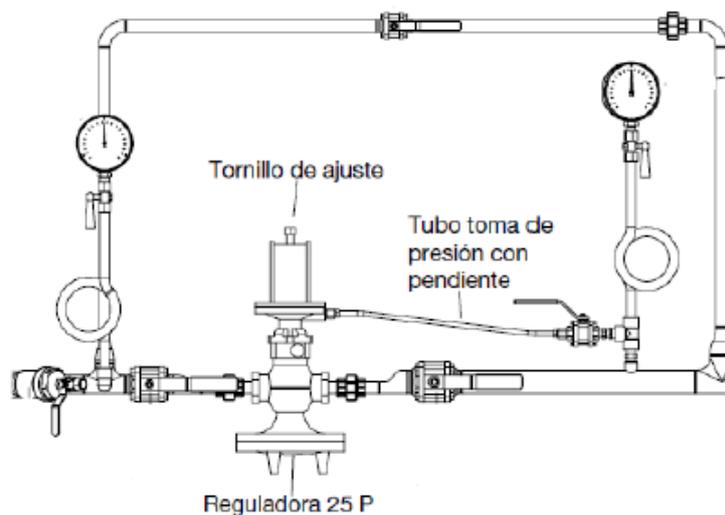


Figura 23: Válvula reductora de presión.

3.1.13.6 Electro válvula (solenoid)

Son llaves de paso (con una parte mecánica y una parte eléctrica) que permiten controlar su acción de "abrir" y "cerrar" por medio de señales eléctricas. Los parámetros eléctricos y mecánicos que se deben considerar son voltaje, frecuencia, presión de trabajo, diámetro de la conexión y el tipo de fluido.

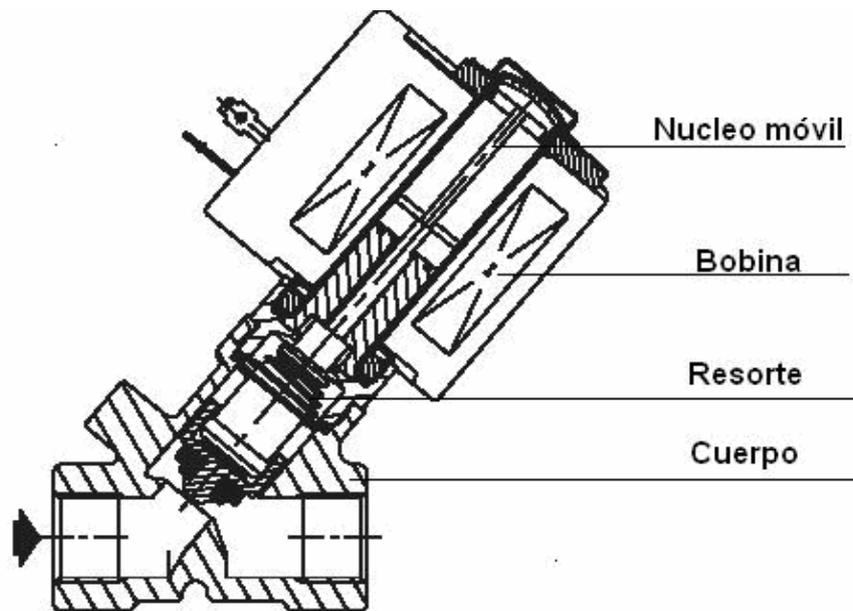


Figura 24: Electro válvula.

3.1.13.7 Válvula de seguridad

Impiden que se acumulen presiones peligrosas en la caldera, abriéndose para dejar escapar el vapor y reduciendo automáticamente la presión interna. Toda caldera está equipada con al menos dos de ellas, la segunda válvula se fija a una presión más alta que la primera (3%) y solo entra en acción cuando está, calibrada al 10% más que la presión de trabajo, no libera la presión acumulada a una velocidad tal que evite una elevación de ella.

Estas válvulas se presentan como "Unidades Selladas que nunca deben ser reparadas ni ajustadas" y para garantizar esta condición los fabricantes acostumbran colocarles un sello de plomo, el cual una vez roto constituye un indicativo de que la válvula fue reparada. Consta de un resorte, una palanca de acción manual, un asiento, disco y mecanismos de graduación. (Palacios Martínez, 2007)

3.1.14 Equipos

3.1.14.1 Tubería

Es la encargada de distribuir el vapor y retornar el condensado. Su adecuada disposición reduce al mínimo la resistencia por fricción y mantiene su presión. La ASTM agrupa los

tubos en "Corrientes" (para fluidos) y "Especiales" (para intercambiadores de calor, calderas, maquinaria industrial y aviación). Los más usados son los fabricados de Hierro Negro (Acero al Carbono, 0.55%) de acuerdo a las especificaciones ASTM A106 (Cédula 80) y A53 (Cédula 40). Los materiales son los mismos para ambos pero los ensayos para el A106 son más rigurosos. Las presiones de trabajo permisibles para el A53 son de 270 lb/pulg² y para el A106 son de 1,130 lb/pulg². Se fabrican en Grados "A" y "B". El grado "B" tiene resistencia mecánica más alta, pero es menos dúctil y por ello solo se admite el grado "A" para doblado en frío.

3.1.14.2 Codos

Son acoplamientos rígidos que cambian la dirección del flujo a 90°. Son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño así lo requiere. Pueden ser codos iguales cuando poseen las mismas dimensiones en sus extremos y codos desiguales cuando hay variación de diámetros en sus extremos. Se especifica como codo normalizado a 90° (radio medio), que es el Standard en las tuberías de conducción de fluidos y codo de gran radio a 90°. Estos últimos son recomendables porque, independientemente de su alto costo y la dificultad para conseguirlos, "suavizan" las curvas entre dos tuberías cuando hay cambios de dirección, reduciendo la fricción a lo largo de la misma.

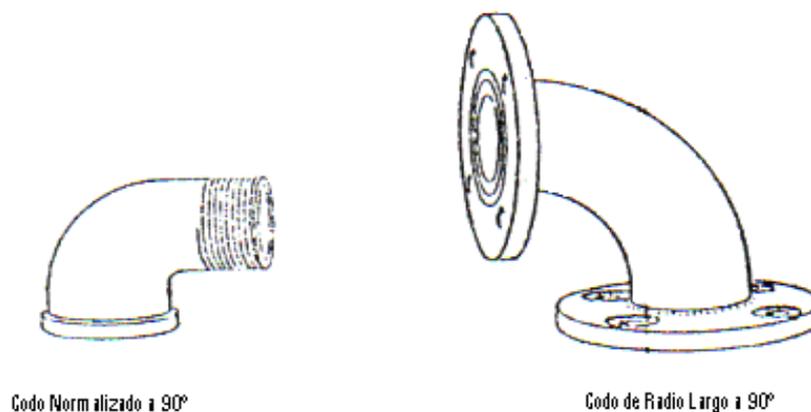
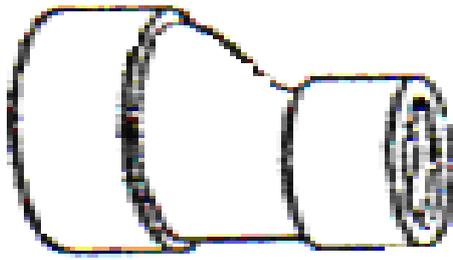


Figura 25: Codos a 90°C.

3.1.14.3 Reducidores

Elementos que acoplan tubos de diferente diámetro en dirección del flujo.

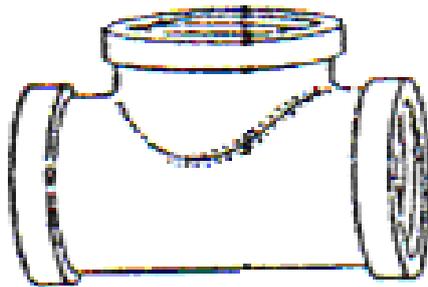


Reducidor

Figura 26: Reducidor.

3.1.14.4 Tes

Son elementos que acoplan tres tuberías cuyo diámetro puede ser igual o desigual, según las características de la instalación. Desvían el flujo para dos tubos a 90° desde la línea principal o propician una derivación a 90° desde ella.



Te Roscada

Figura 27: Te roscada.

3.1.14.5 Filtros

El vapor debe ser filtrado antes de ingresar a los equipos, reteniendo las partículas de material sólido que vienen suspendidas en el vapor, evitando de esta forma su acumulación en los asientos de válvulas, trampas, etc.

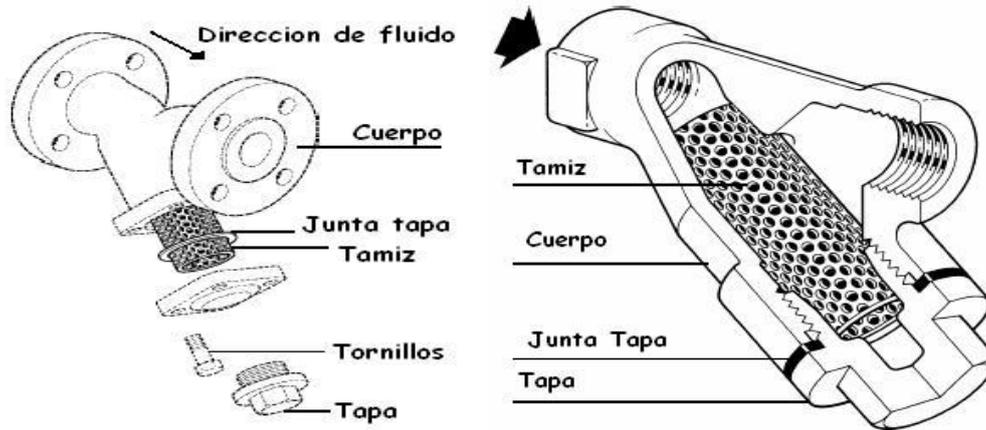


Figura 28: Filtros para tuberías de vapor.

3.1.14.6 Juntas o uniones

La instalación de las tuberías se hace en la obra. Las secciones se cortan a la medida y se empalman en el lugar por medio de juntas o uniones.

3.1.14.7 Juntas de expansión

La dilatación no debe pasarse por alto en tuberías para vapor y retorno, ya que lo común es dejar que ésta se acomode al momento de llegar a su presión y temperatura de trabajo. Esto es limitado por condiciones de construcción por lo cual se ancla en ciertos puntos, entonces la diferencia entre dilatación y compresión puede ser controlada. En lugares en donde no hay espacio para que se acomode se usan juntas de expansión, seleccionándolas en función de presión y temperatura de trabajo, espacio con que se cuenta y conociendo la diferencia entre su longitud inicial y final (a presión y temperatura de trabajo). (Palacios Martínez, 2007)

3.1.14.8 Aislamiento térmico

Se utiliza para evitar que el calor interno escape (desde la caldera y tuberías de vapor y retorno), por efecto de la radiación ó se transmita a otros equipos por conducción. El material más utilizado son las cañuelas de fibra de vidrio y un revestimiento de lámina de aluminio o galvanizada para las que están expuestas a la intemperie. (Palacios Martínez, 2007)

3.1.15 Equipos que funcionan con vapor

3.1.15.1 Esterilizador

Es un equipo que opera a presiones superiores a la atmosférica (60 PSI) con altas temperaturas, basándose en el principio de esterilización por calor húmedo y seco a 250F (121°C). Se usa para destruir la vida microbiana de equipos y materiales re-usables de salas quirúrgicas ó laboratorios.

3.1.15.2 Marmita

Efectúa el cocimiento de alimentos sólidos y líquidos con el vapor que recibe. Utiliza válvula reguladora de presión, filtro, válvula de entrada, manómetro, válvula manual, válvula de seguridad, trampa para vapor y cheque.

3.1.15.3 Planchadora de rodillo

Este equipo combina las funciones de secado y planchado en una sola.

3.1.15.4 Secadoras

En estos equipos el vapor ingresa arriba de la cámara en donde se encuentra la ropa, comunicándole su calor, empezando de esa manera el ciclo, girando al final del ciclo (operación centrifugadora) para acelerar el secado.

3.1.15.5 Lavadoras

Utilizan el calor del vapor que reciben en su parte superior, al mezclarlo con el agua fría de alimentación y a la cual le comunica una temperatura por contacto directo. Posteriormente el agua caliente ingresa a la cámara en donde se encuentra la ropa sucia y con adición de un detergente (que genera poca espuma) hace la limpieza de la ropa en un ciclo que dura 45 minutos cada vez. (Palacios Martínez, 2007)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Requerimientos de vapor en el Hospital del IESS de Machala

Los requerimientos básicos en el Hospital del IESS están determinados por las necesidades en cuatro áreas básicas: vapor para usos en esterilización de equipos de quirófano, vapor para usos en lavandería-secado y vapor para usos en la cocina. Existe además, la necesidad de dotar de agua caliente para usos en fisioterapia por lo que esta función deberá ser generada por la distribución de vapor para fines de calentamiento.

A continuación se detallara los requerimientos para cada una de las áreas antes mencionadas de acuerdo a los equipos existentes en las mismas.

4.1.1 Vapor para usos en esterilización de equipos (quirófano)



Figura 29: Esterilizador existente en el Hospital del IESS.

En la sección de quirófano, existen 2 equipos esterilizadores los cuales para su funcionamiento utilizan vapor saturado a 60 PSI y tienen conexiones de ½” para el vapor, uno de ellos está fuera de servicio por varios meses ya, los cuales trabajan los 7 días de la semana, a un ritmo de 9 horas de lunes a viernes y el sábado y domingo 3 horas. Debido a su largo tiempo de servicio y a la falta de sus manuales, es que con la información tomada de la placa se pudo conocer algunos datos técnicos necesarios para realizar los diferentes cálculos matemáticos en los capítulos posteriores.

Tabla 1: Características de los equipos de esterilización del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Características	Esterilizador 1	Esterilizador 2
Marca		Fuera de servicio
Modelo		
Voltaje		
Potencia		
Hz	60	
Capacidad		

4.1.2 Vapor para usos en la cocina

En esta sección de la cocina a más de preparar los alimentos, también existe el requerimiento de agua caliente para el régimen alimenticio. Para esto, de acuerdo a los valores experimentales presentados en el texto “Calderas Industriales y Marinas” se puede considerar un valor de 4 gal/h de agua caliente por cada persona hospitalizada para fines alimenticios.

4.1.3 Vapor para usos en fisioterapia

Existe una distribución de vapor saturado con el fin de calentar el agua, y luego ser distribuida para usos en fisioterapia. De la misma manera, de acuerdo a los valores experimentales presentados en el texto “Calderas Industriales y Marinas” se puede considerar el valor de 4.5 gal/h de agua caliente por persona hospitalizada para esta necesidad complementaria que constituye fisioterapia.

4.2 Descripción tecnológica actual

En el Hospital del IESS de la ciudad de Machala, actualmente se realizan los siguientes procesos con el empleo de energía eléctrica así como con gas licuado de petróleo:

- Cocción de alimentos
- Lavandería

A continuación se detallan los equipos existentes en cada una de las diferentes áreas:

4.2.1 Área de alimentación y dietética

El Hospital en su área de alimentación y dietética y con el fin de preparar los alimentos se cuenta con los siguientes implementos:

- a) Dos cocinas industriales de 6 quemadores cada una, las cuales consumen entre ambas 1 cilindro al día de gas licuado de petróleo (de uso doméstico) de 15 kg.
- b) Un horno que funciona con electricidad y gas.

En el área de alimentación y dietética del hospital del IESS, se tiene una normativa de alimentos por paciente, de la siguiente forma:

Tabla 2: Cantidad de alimentos que consume diariamente un paciente en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.	
Desayuno	240 gr de leche
	210 gr de jugo
	30 gr de pan
	1 huevo
	1 fruta
Almuerzo	240 gr de sopa
	150 gr de arroz
	90 gr plato fuerte
	100 gr de ensalada
	1 infusión aromática
	1 fruta
Merienda	240 gr de sopa
	150 gr de arroz
	90 gr de plato fuerte
	90 gr de menestra
	90 gr de miga
	$\Sigma = 1720$ gr de alimento al día

Fuente: El autor.

A continuación se muestra el total de personas que ocupan diariamente el comedor del Hospital del IESS:

Tabla 3: Personas que comen diariamente en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.	
Trabajadores	65
Pacientes (difiere, de acuerdo al número de internos existentes)	80
Total	145

Fuente: El autor.

4.2.2 Área de lavandería

Con el fin de lavar diferentes prendas como sabanas, manteles, uniformes, etc..., existen en la sección de lavandería 2 máquinas lavadoras que son accionadas eléctricamente, una de ellas se encuentra fuera de servicio por varios meses ya, siendo muy necesaria su reinsertión. Cabe recalcar que con el uso de las dos lavadoras no se cubre toda la demanda del Hospital y se tiene que complementar con el lavado a mano por parte de las trabajadoras. Trabajan 6 días a la semana, a un ritmo de 8 horas diarias cada una. Ante la falta de sus manuales, es que con la información recogida de los datos en la placa se pudo conocer algunos datos técnicos necesarios para realizar los cálculos posteriores.

Tabla 4: Características de las lavadoras del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Características	Lavadora 1	Lavadora 2
Marca		
Tipo	W-124	W-124
Voltaje	208-240 V	208-240 V
Hz	60	60
Amperios	20 A	20 A
Capacidad	30 lb	30 lb

Fuente: El autor.

También cuentan con 2 secadoras que son accionadas con corriente eléctrica. Trabajan 6 días a la semana, a un ritmo de 8 horas diarias cada una de ellas. Ante la falta de sus manuales, es que con la información tomada de las placas se pudo conocer los datos técnicos necesarios para realizar los cálculos posteriores.

Tabla 5: Características de las secadoras del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Características	Secadora 1	Secadora 2
Marca	Electric Dryer	Electric Dryer
Modelo	L36UR30E	L36UR30E
Voltaje	240 V	240 V
Hz	60	60
Fases	1	1
Capacidad	30 lb	30 lb

Fuente: El autor.

4.2.3 Sistema de agua caliente sanitaria

En el Hospital existe un sistema intercambiador de calor, el cual lleva y dota de agua caliente al área de fisioterapia.

4.3 Cálculo y selección de los equipos constitutivos de una planta generadora y distribuidora de vapor

4.3.1 Selección de las calderas

Si consideramos que el tiempo de vida útil estimada de una caldera industrial es de aproximadamente 25 años, se debe realizar un minucioso análisis de los factores para una correcta selección.

En primera instancia lo que se debe considerar es la demanda de vapor que necesite el hospital para así determinar cuánto se debe generar, es decir, la capacidad de generación de vapor de acuerdo a la demanda. Este análisis se lo realizara de una manera cuidadosa ya que de presentarse casos extremos podrían existir inconvenientes, así, si se selecciona una caldera o calderas con capacidad excesivamente grande con respecto a la demanda existente, la alternativa será antieconómica ya que se estará sobredimensionando. Si en cambio se selecciona las calderas con una menor capacidad que la requerida no se llegara a cubrir la demanda necesaria.

Existe otro factor muy importante para la selección, y es que siempre se deberá considerar la presión de vapor requerida para el funcionamiento de equipos o necesidades presentadas, por ello se detallara las características de presión requeridas para los equipos del Hospital. (Ortiz Tulcán, 2003)

4.3.2 Requerimientos de vapor para el Hospital del IESS

Una fuente que suministre vapor para el Hospital del IESS constituye una medida indispensable ya que además de constituir un servicio del cual depende la salud de personas, constituye una fuente relativamente económica en comparación con otros tipos de energía.

Así se requiere el suministro de vapor para los servicios de esterilización de equipos de quirófano, vapor para usos en lavandería-secado, vapor para usos en la cocina y vapor para calentamiento de agua para fisioterapia.

En su máxima capacidad el Hospital del IESS puede atender a 80 personas internas y se deberá considerar este número cuando se estime la cantidad de vapor (kg/h o lb/h) que representaría cubrir los requerimientos de agua caliente para régimen alimenticio y fisioterapia.

Para los demás equipos como los esterilizadores, la estimación de la cantidad de vapor requerido (kg/h o lb/h) para la operación de los mismos, la obtendremos a partir de las presiones requeridas y las conexiones para vapor en los equipos, que son datos presentados por los catálogos técnicos.

Así, conociendo la presión de operación del equipo y el diámetro de la conexión, y utilizando la tabla 53 de la sección anexos, que relaciona estas cantidades, podemos encontrar la cantidad de vapor que requiere cada equipo para su funcionamiento.

4.3.3 Balance térmico y justificación del tipo de caldera a utilizar

Debido a que el balance térmico consiste en la determinación de las cargas caloríficas expresadas en unidades de potencia o en cantidades de vapor, procederemos a señalar los requerimientos.

Quirófano:

2 Esterilizadores que requieren vapor a 60 psi, conexiones de 1/2”:

Utilizando la tabla 53 (Anexo 5) por interpolación: $60 \text{ psi} \cong 4,38 \text{ kg/cm}^2$

Conexión de 1/2”

Tenemos una cantidad de vapor de $74,08 \text{ kg/h} = 162,97 \text{ lb/h}$

Como son dos esterilizadores, tenemos:

$$2 \times 162,97 \text{ lb/h} = 325,95 \text{ lb/h de vapor}$$

4.3.3.1 Dimensionamiento de los equipos en el área de alimentación y dietética

Para conocer el volumen o capacidad de las marmitas, se hace uso de los balances de materiales mediante la determinación de la densidad de la suspensión, los cuales se basan en los siguientes tópicos:

- Cantidad de comensales
- Normas de consumo de alimentos en el Hospital del IESS
- Masa del sólido en suspensión
- Densidad del Líquido (agua)
- Densidad del sólido (alimento)

Tabla 6: Datos del área de alimentación del Hospital del IESS.	
Cantidad de alimentos que consume en el almuerzo diariamente un paciente en el Hospital (Nota: Se diseñara la demanda de vapor para el horario pico, es decir para la hora del almuerzo)	0,150 kg de arroz
	0,090 kg de plato fuerte, (tomado como dato de referencia la carne de res)
	0,090 kg de potaje o menestra de granos, (tomado como dato de referencia el fréjol)
	0,1 kg de ensalada de tubérculos y vegetales, (tomado como dato de referencia el camote)
	0,240 kg de sopa
	1 fruta
Número de camas	80 camas
Cantidad de personas que se alimentan diariamente en el comedor del Hospital	65 Trabajadores 80 Pacientes (suponiendo que el Hospital se encuentra lleno en su capacidad) Total = 145 personas

Fuente: El autor.

4.3.3.1.1 Determinación de la densidad de la suspensión

Para calcular la densidad de una suspensión ρ_s , se necesita de la siguiente formula:

$$\frac{1}{\rho_s} = \frac{x}{\rho_{sól}} + \frac{1-x}{\rho_{líq}} \text{ (kg/lt)} \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde:

x = Parte de la masa de la fase sólida en la suspensión

Como ejemplo de la parte de la masa de la fase sólida en la suspensión, mencionamos el arroz, pues para su cocción se necesita del 50% de arroz (0,5) en relación del 100% de agua (1) que es ocupada para la cocción del alimento. (Roldan Erazo, 2007)

$\rho_{sól}$ = Densidad del sólido (kg/lt)

$\rho_{líq}$ = Densidad del líquido (kg/lt)

4.3.3.1.2 Dimensionamiento de la marmita

Para determinar el volumen de la marmita se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = \frac{m_{alimento}}{\rho_s} \text{ lt} \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde:

$m_{alimento}$ = masa del alimento cocido (kg)

ρ_s = Densidad de la suspensión (kg/lt)

Es recomendable darle un 20% de sobredimensionamiento a la marmita.

Por deducción de la tabla 6, se ha decidido dimensionar 4 marmitas y como ejemplo de la aplicación de las ecuaciones anteriores, a continuación se determinará el dimensionamiento de la marmita para la cocción del arroz.

4.3.3.1.2.1 Dimensionamiento de la marmita para la cocción del arroz

Aplicando la ecuación 1, para encontrar la densidad de la suspensión se tiene:

$$\frac{1}{\rho s} = \frac{x}{\rho sól} - \frac{1-x}{\rho líq} \text{ (kg/lit)}$$

$$x = 0,50$$

$$\rho \text{ sólido (arroz)} = 1,433 \text{ kg/lit (ver anexo 4)}$$

$$\rho \text{ líquido (agua)} = 1,00 \text{ kg/lit}$$

$$\frac{1}{\rho s} = \frac{0,50}{1,433 \frac{\text{kg}}{\text{lit}}} + \frac{1-0,50}{1,00 \frac{\text{kg}}{\text{lit}}} = \frac{0,35 + 0,50 \text{ lit}}{\text{kg}} = 0,85 \frac{\text{lit}}{\text{kg}}$$

$$\rho s = \frac{1}{0,85 \frac{\text{lit}}{\text{kg}}} = 1,18 \text{ kg/lit}$$

Conforme a la ecuación 2, para el dimensionamiento de la marmita tenemos:

$$\text{Volumen} = \frac{m_{\text{alimento}}}{\rho s} \text{ lit}$$

$$m_{\text{alimento}} = \frac{0,150 \text{ kg de arroz}}{\text{persona}} \times 145 \text{ personas} = 21,75 \text{ kg de arroz cocido}$$

$$\text{Volumen} = \frac{21,75 \text{ kg}}{1,18 \frac{\text{kg}}{\text{lit}}} = 18,43 \text{ lit}$$

$$\text{Volumen} = 18,43 \text{ lit} \times 1,20 = 22,12 \text{ lit}$$

En la tabla 7 que se muestra a continuación, se exponen a más de los resultados obtenidos en el dimensionamiento de la marmita para la cocción del arroz, los de las tres marmitas restantes para el área de alimentación y dietética.

Tabla 7: Dimensionamiento de las marmitas para el área de Alimentación y Dietética del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.					
Datos	Cocción de:	Arroz	Plato fuerte	Menestra	Tubérculos y vegetales
		(arroz)	(carne de res)	(fréjol)	(camote)
x		0,50	0,50	0,33	0,50
ρ del sólido (kg/lt)		1,433	1,128	1,087	1,034
ρ del agua (kg/lt)		1,00	1,00	1,00	1,00
ρ de la suspensión (kg/lt)		1,18	1,06	1,03	1,02
Masa del alimento cocido para 145 personas (kg)		21,75	13,05	13,05	14,5
Volumen de la marmita (lt)		18,43	12,31	12,67	14,22
Volumen de la marmita más 20% de sobredimensionamiento (lt)		22,12	14,77	15,20	17,06

Fuente: El autor.

4.3.3.2 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de alimentación y dietética

Para conocer la cantidad de vapor necesario que consume cada una de las marmitas ya dimensionadas, nos valemos de los balances de calor, los cuales se basan en lo siguiente:

- Tiempo de cocción
- La masa del alimento
- Diferencia de temperatura
- Calor específico de los diferentes alimentos
- Calor específico de vaporización L_v , en relación a la presión absoluta

Para poder determinar la temperatura del vapor, nuestro limitante sería la temperatura que queremos en los diferentes procesos y de todas estas escoger la mayor. Para nuestro caso la temperatura más alta es la del área de lavandería en la calandra (rodillo planchador), que será de entre 140 a 160°C pues se requiere que el manómetro marque una presión de 92,65 PSI para asegurar que se destruya toda forma de vida microbiana que pudiera haber persistido luego del lavado.

Presión manométrica del proceso de mayor demanda (área de lavandería):

$$92,65 \text{ PSI} \times \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ PSI}} = 6,303 \text{ atm}$$

La presión atmosférica de la ciudad de Machala según la bibliografía consultada es de aproximadamente 1012,10 mb.

$$1,01210 \text{ bar} \frac{14,504 \text{ PSI}}{1 \text{ bar}} \times \frac{0,0731 \text{ kg/cm}^2}{1 \text{ PSI}} \times \frac{1 \text{ atm}}{1,0332 \text{ kg/cm}^2} = 1,038 \text{ atm}$$

La presión absoluta se la encuentra con la siguiente ecuación:

$$P. \text{ absoluta} = P. \text{ manométrica del proceso de mayor demanda} \\ + P. \text{ atmosférica de Machala} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$P. \text{ absoluta} = 6,303 \text{ atm} + 1,038 \text{ atm} = 7,341 \text{ atm}$$

De la tabla del vapor saturado en función de la temperatura (anexo 2), cogiendo el valor inmediato superior a 7,41 atm, es decir 8,08 atm = 8,44 kg/cm² = 120 PSI de presión, su correspondiente temperatura es de 170 °C (necesaria para realizar la diferencia de temperaturas), y el calor específico de vaporización, L es de 2056 kJ/kg.

4.3.3.2.1 Determinación del balance de calor

Para calcular la masa de vapor de todos los equipos a dimensionar, es decir los kilogramos hora de vapor, nos valemos de los balances de calor, cuya fórmula es la siguiente:

$$Q \text{ ganado} = Q \text{ cedido} \quad (\text{Ec. 4})$$

Sabiendo que el calor ganado es de él o de los elementos que se encuentran dentro del equipo, en este caso de los alimentos a cocer, mientras que el calor cedido por el vapor es solo calor latente ya que no existe cambio de fase o de estado (calor sensible), en este caso dentro de la chaqueta de la marmita. (Roldan Erazo, 2007)

$$\frac{m_{\text{alimento}}}{t_{\text{cocción}}} \times C_p \times \Delta T = m_{\text{vapor}} \times L$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{\frac{m_{\text{alimento}}}{t_{\text{cocción}}} \times C_p \times \Delta T}{L} \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \quad (\text{Ec. 5})$$

En donde:

$m_{alimento}$ = Masa del alimento a cocer *kg*

$t_{cocción}$ = Tiempo de cocción del alimento *hr*

Cp = Calor específico a presión constante (*kJ/kg°C*) (anexo 4)

ΔT = Diferencia de temperaturas *°C*

L = Calor específico de vaporización (*kJ/kg*) (anexo 2)

A continuación se determinara la masa de vapor necesario para accionar la marmita para la cocción del arroz, como ejemplo de aplicación de las ecuaciones anteriores.

4.3.3.2.1.1 Determinación del balance de calor para la cocción del arroz

Aplicando la ecuación (5) para encontrar la masa de vapor, se tiene:

$$m_{vapor} = \frac{\frac{m_{alimento}}{t_{cocción}} \times Cp \times \Delta T}{L} \text{ (kg/hr)}$$

Masa del alimento = 21,75 *kg*

Tiempo de cocción = 20 *min* = 0,33 *hr*

Cp del arroz = 2,001 *kJ/kg°C*

T_2 = Temperatura del agua en el proceso de mayor demanda (a 8,08 atm) = 170°C

T_1 = Temperatura ambiente de la ciudad de Machala: 29°C

ΔT = 170 – 29 *°C* = 141°C

L = 2056 *kJ/kg*

$$m_{vapor} = \frac{\frac{21,75 \text{ kg}}{0,33 \text{ h}} \times 2,001 \text{ kJ/kg°C} \times 141\text{°C}}{2056 \text{ kJ/kg}} = 9 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

A continuación se muestran en la siguiente tabla los resultados obtenidos en la determinación del consumo de vapor hora, de cada una de las cuatro marmitas para el área de alimentación y dietética del Hospital.

Tabla 8: Consumo de vapor hora de las marmitas para el área de Alimentación y Dietética del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.

Marmita:	Arroz	Plato fuerte	Menestra	Tubérculos y vegetales
Datos	(arroz)	(carne de res)	(fréjol)	(camote)
Masa del alimento cocido para 145 personas (kg)	21,75	13,05	13,05	14,5
Tiempo de cocción (hr)	0,33	0,67	0,75	0,5
Calor específico (Cp) (kJ/kg°C)	2,001	3,146	3,381	3,728
ΔT (°C)	141	141	141	141
Calor específico de vaporización L (kJ/kg)	2056	2056	2056	2056
Masa de vapor (kg/h de vapor)	9	4,20	4,03	7,41

Fuente: El autor.

4.3.3.2.1.2 Régimen alimenticio

Actualmente la disponibilidad total de hospitalizados es para 80 personas hospitalizadas, por lo tanto los cálculos lo realizaremos a partir de este dato, es decir para una máxima demanda. De acuerdo con los factores numéricos recomendados por el texto “Calderas Industriales y Marinas” para el caso de Hospitales, se debe considerar un valor de 4 gal/h de agua caliente por cada persona hospitalizada para fines alimenticios. También sabemos que se requiere 0,065 HP por gal/h. (Ortiz Tulcán, 2003)

Por lo tanto tendremos:

$$80 \times 4 \frac{\text{gal}}{\text{h}} = 320 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \times \frac{0,065 \text{ HP}}{1 \frac{\text{gal}}{\text{h}}} = 20,8 \text{ HP}$$

$$20,8 \text{ HP} \times \frac{34,5 \text{ lb/h}}{1 \text{ HP}} = 717,6 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \text{ de vapor requerido}$$

4.3.3.3 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de esterilización

Para poder determinar la cantidad de vapor que consume cada una de las autoclaves, nos valemos de los balances de calor, los cuales se encuentran basados en lo siguiente:

- Tiempo de esterilización
- La masa del instrumental
- Diferencia de temperatura
- Calor específico de los diferentes instrumentos
- Calor latente de vaporización L, en relación a la presión absoluta

4.3.3.3.1 Determinación del balance de calor

Para calcular la masa de vapor, es decir los kilogramos hora de vapor, nos valemos de la siguiente ecuación:

$$m_{vapor} = \frac{\frac{m_{ins.quir.}}{t_{este.}} \times Cp \times \Delta T}{L} \frac{kg}{hr} \quad (Ec. 5)$$

En donde:

$m_{ins.quir.}$ = Masa de instrumentos a esterilizar (kg)

$t_{este.}$ = Tiempo de esterilización del instrumental (hr)

Cp = Calor específico a presión constante (kJ/kg°C) (anexo 6)

ΔT = Diferencia de temperaturas K

L = Calor específico de vaporización (kJ/kg) (anexo 1)

Como ya se describió anteriormente, existen dos esterilizadores de los cuales solo uno de ellos se encuentra trabajando y el otro está fuera de servicio hace varios meses, es por eso que a falta de sus manuales y datos en la placa no se pudo conocer la capacidad de los mismos pero si satisfacen las necesidades de esterilización en el Hospital aun estando fuera de servicio uno de ellos. Para el diseño se procedió a pesar la masa de instrumental quirúrgico con que se cuenta en el Hospital y aplicando la ecuación del

balance de calor se ha decidido determinar la masa de vapor para dos autoclaves de 102 kilogramos de capacidad cada una, y como ejemplo de aplicación se determinara a continuación la cantidad de vapor necesario para accionar una autoclave.

4.3.3.3.1.1 Determinación del balance de calor para la autoclave 1

Aplicando la ecuación (5) para encontrar la masa de vapor, se tiene:

Masa del instrumental quirúrgico a esterilizar = 102 kg

Tiempo de esterilización = 45 min = 0,75 h (Cristian, 2009)

Cp del acero = 0,50 kJ/kgK

T₂ = 170°C; K = °C + 273 = 170°C + 273 = 443 K

T₁ = 29°C; K = °C + 273 = 29°C + 273 = 302 K

ΔT = 443 – 302 K = 141 K

L = 2056 kJ/kg

$$m_{vapor} = \frac{\frac{102 \text{ kg}}{0,75 \text{ h}} \times 0,50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 141 \text{ K}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{9591,8 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4,67 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la determinación del consumo de vapor, de las dos autoclaves para el área de Esterilización.

Tabla 9: Consumo de vapor hora de las autoclaves para el área de Esterilización del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Equipos:	Autoclave 1	Autoclave 2
Datos		
Masa de instrumental quirúrgico (kg)	102	102
Tiempo de uso (hr)	0,75	0,75
Calor específico de la lana (Cp)(kJ/kg°C)	0,50	0,50
ΔT (K)	141	141
Calor específico de vaporización L (kJ/kg)	2056	2056
Masa de vapor (kg/h de vapor)	4.67	4.67

Fuente: El autor.

4.3.3.4 Determinación de la cantidad de vapor necesario para accionar los equipos del área de lavandería

A continuación se determinan los balances de calor para los equipos de lavandería según las Normas Técnicas para proyectos de Arquitectura Hospitalaria. Primero como ejemplo de aplicación se determinara la cantidad de vapor necesario para accionar un equipo y luego los resultados obtenidos de los cálculos de cada uno de los equipos del área de lavandería se los agruparán en tablas.

4.3.3.4.1. Determinación del balance de calor para las lavadoras

Según la bibliografía consultada, Normas Técnicas para proyectos de Arquitectura Hospitalaria, en Hospitales medianos se considera el uso de dos lavadoras y una adicional de 11,5 kg de capacidad. Para nuestro caso en el Hospital del IESS el dimensionamiento de las lavadoras lo haremos partiendo de la cantidad máxima de ropa que se lavó en un día (196 kg), razón por la cual se ha decidido determinar la demanda de vapor para 2 lavadoras de 25 kg de capacidad con la ayuda del balance de calor.

4.3.3.4.1.1 Determinación del balance de calor para la lavadora 1

Aplicando la ecuación (5) para encontrar la masa de vapor, se tiene:

$$m_{vapor} = \frac{\frac{m_{prendas}}{t_{uso}} \times Cp \times \Delta T}{L}$$

Masa o capacidad de la lavadora = 25 kg

Tiempo de uso = 45 min = 0,75 hr (Palacios Martínez, 2007)

Cp de la lana = 1,63 kJ/kg K (anexo 6)

T₂ = 170°C; K = °C + 273 = 170°C + 273 = 443 K

T₁ = 29°C; K = °C + 273 = 29°C + 273 = 302 K

ΔT = 443 – 302 K = 141 K

L = 2056 kJ/kg

$$m_{vapor} = \frac{\frac{25 \text{ kg}}{0,75 \text{ h}} \times 1,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 141 \text{ K}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{7661 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 3,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

Tabla 10: Consumo de vapor hora de las lavadoras para el área de Lavandería del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Equipos:	Lavadora 1	Lavadora 2
Datos		
Masa o capacidad de prendas (kg)	25	25
Tiempo de uso (hr)	0,75	0,75
Calor específico de la lana (Cp) (kJ/kg°C)	1,63	1,63
ΔT (K)	141	141
Calor específico de vaporización L (kJ/kg)	2056	2056
Masa de vapor (kg/h de vapor)	3,73	3,73

Fuente: El autor.

A continuación se muestran en la tabla 10 los resultados obtenidos en la determinación del consumo de vapor hora, de las 2 lavadoras para el área de lavandería del Hospital.

4.3.3.4.2 Determinación del balance de calor para las secadoras

Según la bibliografía consultada, Normas Técnicas para proyectos de Arquitectura Hospitalaria, consideran que la ropa que no requiere ser planchada representa aproximadamente del 20 al 25% del peso total de ropa lavada y será secada en tómbolas, la cual emplea 25 minutos por carga, razón por la cual se ha decidido determinar la demanda de vapor mediante los balances de calor para 2 secadoras de iguales características. (Justo, 2009)

4.3.3.4.2.1 Determinación del balance de calor para secadora 1

Aplicando la ecuación (5) para encontrar la masa de vapor, se tiene:

$$m_{vapor} = \frac{\frac{m_{prendas}}{t_{uso}} \times Cp \times \Delta T}{L}$$

$$\text{Masa o capacidad de la secadora} = 25 \text{ kg} \times 0,8 = 20 \text{ kg}$$

$$\text{Tiempo de uso} = 35 \text{ min} = 0,58 \text{ hr}$$

$$Cp \text{ de la lana} = 1,63 \text{ kJ/kg K}$$

$$T_2 = 170^\circ\text{C}; K = ^\circ\text{C} + 273 = 170^\circ\text{C} + 273 = 443 \text{ K}$$

$$T_1 = 29^\circ\text{C}; K = ^\circ\text{C} + 273 = 29^\circ\text{C} + 273 = 302 \text{ K}$$

$$\Delta T = 443 - 302 \text{ K} = 141 \text{ K}$$

$$L = 2056 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{vapor} = \frac{\frac{20 \text{ kg}}{0,58 \text{ h}} \times 1,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 141 \text{ K}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{7925 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 3,85 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

A continuación en la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en la determinación del consumo de vapor hora, de las 2 secadoras para el área de lavandería del Hospital.

Tabla 11: Consumo de vapor hora de las secadoras para el área de Lavandería del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.		
Equipos:	Secadora 1	Secadora 2
Datos		
Masa o capacidad de prendas (kg)	20	20
Tiempo de uso (hr)	0,58	0,58
Calor específico de la lana (Cp)(kJ/kg°C)	1,63	1,63
ΔT (K)	141	141
Calor específico de vaporización L (kJ/kg)	2056	2056
Masa de vapor (kg/h de vapor)	3,85	3,85

Fuente: El autor.

4.3.3.4.3 Determinación del balance de calor para las planchadoras

Según la bibliografía consultada la ropa que requiere acabado liso (sábanas, fundas) representa del 60 al 70% del total de ropa lavada y se realiza en planchadora de rodillo o mangle (Justo, 2009). Para cubrir las necesidades del Hospital, se necesita de una planchadora de vapor con una capacidad de planchado de: $25 \text{ kg} \times 0,70 = 17,5 \text{ kg}$ por hora, para lo cual se determina la demanda de vapor mediante el balance de calor para dicho equipo de la siguiente forma:

4.3.3.4.3.1 Determinación del balance de calor para la planchadora

Para encontrar la masa de vapor, aplicando la ecuación (5), se tiene:

$$m_{vapor} = \frac{\frac{m_{prendas}}{t_{uso}} \times Cp \times \Delta T}{L}$$

Masa o capacidad de ropa para ser planchada = $17,5 \text{ kg}$

Tiempo de uso = $60 \text{ min} = 1 \text{ hr}$

Cp de la lana = $1,63 \text{ kJ/kg K}$

$T_2 = 170^\circ\text{C}; K = ^\circ\text{C} + 273 = 170^\circ\text{C} + 273 = 443 \text{ K}$

$$T_2 = 29^\circ\text{C}; K = ^\circ\text{C} + 273 = 29^\circ\text{C} + 273 = 302 K$$

$$\Delta T = 443 - 302 K = 141 K$$

$$L = 2056 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{\frac{17,5 \text{ kg}}{1 \text{ h}} \times 1,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 141 K}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{4022 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2056 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1,96 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de vapor}$$

4.3.3.5 Demanda de vapor para el sistema de agua caliente en fisioterapia

De la misma forma que para el régimen alimenticio, consideraremos para la máxima demanda que se daría con 80 personas hospitalizadas, y de acuerdo a la referencia bibliográfica anterior se debe considerar un valor de 4,5 gal/h de agua caliente por cada persona hospitalizada, para satisfacer necesidades complementarias como fisioterapia y otros usos.

Por lo tanto tendremos:

$$80 \times 4,5 \frac{\text{gal}}{\text{h}} = 360 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \times \frac{0,065 \text{ HP}}{1 \frac{\text{gal}}{\text{h}}} = 23,4 \text{ HP}$$

$$23,4 \text{ HP} \times \frac{34,5 \text{ lb/h}}{1 \text{ HP}} = 807,3 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \text{ de vapor requerido}$$

De esta forma el balance térmico lo obtendremos en base a la demanda total de vapor (lb/h) requerido, información que la resumimos en la siguiente tabla.

Sección	Equipos-Necesidad	Demanda de vapor (lb/h)
Quirófano	2 Equipos Esterilizadores	325,95
Lavandería	2 Lavadoras 25 kg	16,412
	2 Secadoras 20 kg	16,94
	1 Rodillo Planchador 17,5 kg	4,312
Cocina	4 Marmitas	54,22
	Régimen alimenticio	717,6
Fisiatría-Varios	Agua caliente	807,3
Demando total		1616,784

Fuente: El autor.

De la información obtenida en la tabla 12, el requerimiento total de vapor que se va a tener en las diferentes áreas del Hospital es de 1616,78 lb/h de vapor, pero sin embargo de acuerdo a los equipos seleccionados para las diferentes áreas del Hospital, hemos tomado los consumos en lb/h de vapor que vienen especificados por los fabricantes en los catálogos de cada equipo valores que los presentamos en la tabla 13, lo cual nos da un requerimiento de vapor de 2117,9 lb/h y de acuerdo a este consumo dimensionaremos la capacidad de la caldera industrial ya que es el consumo total de los equipos seleccionados para el Hospital.

Área	Descripción	Consumo de vapor (lb/h)	Cantidad	Total
Alimentación y Dietética	Marmitas de 25 litros	57,2	4	228,8
	Régimen alimenticio	717,6		717,6
Esterilización	Autoclave de 109 kg	55	2	110
Lavandería	Lavadora de 30 kg	60	2	120
	Secadora de 20 kg	35		70
	Planchador de rodillo de 20kg	64	1	64
Fisiatría-Varios	Intercambiador de calor	807,3		807,3
Total de consumo				2117,9

Fuente: El autor.

Expresado en otra forma:

$$2117,9 \frac{lb}{h} \times \frac{1 HP}{34,5 lb/h} = 61,38 BHP$$

Ahora bien, si suponemos que la instalación y las tuberías están correctamente aisladas, las pérdidas que pueden existir por radiación y convección podemos considerarlas que serán aproximadamente del 10% de la carga térmica, por lo tanto se requerirán:

$$61,38 BHP + 0,1 \times 61,38 BHP = 67,53 BHP$$

Multiplicamos por el factor de evaporación, encontrado por medio de la interpolación (anexo 8), dada la presión de trabajo de la caldera y la temperatura de alimentación del agua.

$$67,53 BHP \times 1,0607 = 71,63 BHP$$

Este valor de 71,63 BHP sería el requerimiento total para la selección de las calderas.

Con el propósito de tener siempre vapor y agua caliente disponible, los servidores públicos de salud recomiendan que en Hospitales se tenga 2 calderas de 66% de capacidad de la demanda pico, o 3 calderas que satisfagan el requerimiento con suficiente seguridad.

Tomando en cuenta esta recomendación y considerando la primera alternativa, es decir utilizando 2 calderas se tiene:

$$71,63 BHP \text{ para 2 calderas} = 35,815 BHP \text{ cada una}$$

$$35,815 BHP \text{ (a 66\% de capacidad pico)} = 33,76 BHP / 0,66 = 54,26 BHP$$

Por lo tanto como primera alternativa seleccionaríamos 2 calderas que cumplan cada una con el requerimiento calculado y que a la vez existan en el mercado. Si se tratase de adquirir calderas nuevas se seleccionaría calderas pirotubulares York Shipley serie 542, de 60 BHP, considerando que los cálculos fueron hechos con suficientes factores de seguridad.

Pero en nuestro caso, en el Hospital del IESS están ya instaladas 2 calderas pirotubulares y sirviendo por más de 6 años, las cuales se encuentran sin ningún

inconveniente, por lo tanto no existiría la urgencia de adquirir nuevas por lo que nos corresponde comprobar si abastecen la demanda de los 71,63 BHP requeridos.

Utilizando las 2 calderas Bryan Boilers instaladas actualmente, de 64 BHP cada una, con presión de vapor de 150 PSI, con una capacidad de producción de 2583 lb/h de vapor cada una, se cumplirán los requerimientos del balance térmico con suficiente seguridad pues $64 \times 2 = 128$ BHP, habrá un rango de 56,37 BHP disponibles, ya que para una máxima demanda de vapor se comprobó que se requieren 71,63 BHP.

Así con 2 calderas de 64 BHP cada una ($64 \times 2 = 128$ BHP) se cumplirá con suficiente margen los 71,63 BHP requeridos, aun si el Hospital estuviera a su máxima capacidad (totalmente lleno) y las necesidades de quirófano, fisioterapia, alimentación y lavandería fueran máximas.

Para futuros análisis consideraremos esta segunda alternativa (3 calderas de 64 BHP cada una), y comprobaremos la correcta selección de las mismas y sus accesorios.

4.3.3.6 Análisis con los diversos factores de selección

Si bien de acuerdo al balance térmico y cumpliendo las recomendaciones para las calderas instaladas en Hospitales se llegó a determinar en primera instancia que es correcta la selección instalada actualmente de 2 calderas de 64 BHP cada una, existen otros factores importantes que deben cumplirse para una correcta selección, estos son los siguientes:

4.3.3.6.1 El agua de alimentación disponible

Este factor tiene que ver con la disponibilidad de agua con que se cuenta para la operación de las calderas, así como la calidad de la misma. De acuerdo con las instalaciones existentes en el Hospital del IESS, la disponibilidad de agua no constituye un obstáculo ya que se dispone de 2 cisternas de (40 m³ cada una), las cuales son alimentadas directamente por la red principal de tubería de agua. La calidad del agua se la controla por medio de una limpieza y tratamiento permanente de las cisternas.

4.3.3.6.2 Tiempo de operación diaria de la caldera

Este factor influye en la cantidad de vapor que se requiera, así como en la elección del combustible a utilizarse. De acuerdo con el tipo de combustible a usar (diesel oil) y considerando los requerimientos actuales en el Hospital del IESS, es necesario la operación de la caldera desde las 07:00 hasta las 19:00, es decir un tiempo de operación diario de 12 horas entre semana, los fines de semana disminuye el tiempo de operación a aproximadamente 4 horas.

4.3.3.6.3 Número de unidades

Este factor depende directamente de la demanda de vapor y es recomendable seleccionar 2 o 3 calderas de la misma capacidad y de la misma marca, con ello obtenemos flexibilidad con respecto al mantenimiento y poder contar con una caldera como mínimo para cualquier situación crítica. De acuerdo al balance térmico y a la demanda de vapor se requerirá de 2 calderas de la misma capacidad y de la misma marca con lo que se obtendrá las ventajas antes mencionadas.

4.3.3.6.4 Selección del combustible

Para la selección de este factor debemos considerar además del costo de adquisición del combustible, el costo de operación el cual dependerá de la facilidad de almacenamiento y del mantenimiento del quemador así como de los demás componentes del sistema de combustible.

Considerando el tiempo de operación diaria (máxima 12 horas) de la caldera es recomendable el uso de diesel oil, que es un combustible relativamente limpio y fácil de almacenar, no requiriendo de gran cantidad de equipo para su manipulación.

Considerando la producción de vapor se recomienda que para calderas de hasta 60 BHP se utilice como combustible diesel oil, para valores mayores que este, es decir, en nuestro caso 64 BHP cada caldera, se deberá utilizar como combustible el fuel oil conocido también como bunker No. 6 por ser más barato pero se necesitaría de un sistema adicional para su manipulación por su alta viscosidad. (Ortiz Tulcán, 2003)

4.3.3.6.5 El espacio disponible

Es otro factor que puede causar inconvenientes, especialmente si el area destinada para instalar la caldera es reducida respecto a las dimensiones de la caldera. En el Hospital del IESS, se cuenta con un espacio para el cuarto de calderas y bodega de repuestos. Sin embargo, este espacio asignado resulta un tanto incomodo para la realizacion de trabajos de mantenimiento, para extraer y reemplazar tubos, etc..., por lo que a futuro cuando las calderas hayan cumplido su tiempo de servicio y se requiera reemplazarlas, seria recomendable adquirir calderas del tipo vertical con las mismas características técnicas que si existen en el mercado, con ello se resolveria las limitaciones para este factor de selección, para el actual espacio asignado de instalación.

4.3.3.6.6 La disponibilidad de energía eléctrica

De acuerdo con los requerimientos de las calderas Bryan Boilers de la serie CL270, en el sector asignado para la instalación de las calderas se tiene corriente trifásica, 230 V (para las calderas), y monofásica, 120 V (para los controles), quemadores y bombas. Por lo tanto no existe inconveniente en instalar este tipo de calderas.

4.3.3.6.7 Calderas instaladas y sus características

Tabla 14: Características de la caldera del Hospital del IESS.

Marca	Bryan Boilers	
Modelo	CL270-S-150-FDO	
Potencia	(BHP)	64
Combustible	Diesel oil #2	
Número de tubos	81	
Capacidad	(lb/h)	2583
Presión de diseño	(PSI)	150

Fuente: El autor.

4.3.4 Cálculos y diseño del sistema de agua de alimentación

Al constituir el agua de alimentación para las calderas, la materia prima para la producción del vapor, es necesario el suministro permanente de este líquido para mantener la generación constante del vapor requerido.

De manera general, el sistema de agua de alimentación lo conforman los siguientes elementos:

- Tanque de almacenamiento
- Equipo de bombeo
- Equipo de control

4.3.4.1 Diseño del tanque de agua de alimentación

La generación de vapor en las calderas dependerá de la cantidad de agua que se les suministre a estas, y es recomendable que la capacidad del tanque de alimentación sea tal que almacene una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación de las calderas por lo menos durante 20 minutos.

De acuerdo con datos experimentales para satisfacer la demanda de 1 BHP se requieren 0,069 galones americanos por minuto o 0,261 litros/minutos de agua de alimentación.

Además el tanque de agua de alimentación nunca debe estar el 100% lleno, sino que solamente el nivel del agua debe cubrir el 70% del volumen del tanque, con el fin de considerar el aumento de presión cuando hay incremento de temperatura en el agua con tendencias a su evaporación. (Ortiz Tulcán, 2003)

Con las recomendaciones anteriores y considerando 2 calderas de 60 BHP cada una, el tanque de agua de alimentación será diseñado de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad del tanque} = \frac{\text{Reserva mínima de agua}}{0,7} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\# \text{ cald.} \times P. \text{ calderas} \times \frac{0,069 \text{ Gal}}{\text{min}} \times \text{tiempo mín en min} / 0,7 \quad (\text{Ec. 6})$$

Número de calderas = 2 calderas

Pot. Calderas = 60 BHP cada una

Tiempo mínimo = 20 min

$$\text{Capacidad del tanque} = \frac{2 \times 60 \text{ BHP} \times \frac{0,069 \text{ Gal}}{\text{min}} \times 20 \text{ min}}{0,7} = 236,57 \text{ gal}$$

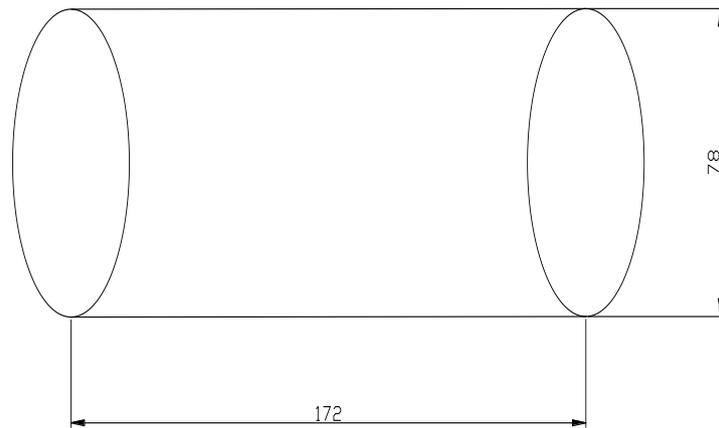
$$\text{Capacidad del tanque} = 236,57 \text{ gal} \cong 895,52 \text{ lt} \cong 0,89 \text{ m}^3$$



Figura 30: Tanque existente para el agua de alimentacion.

El tanque de agua de alimentación existente en el Hospital del IESS, lo podemos apreciar en la figura 29.

Este tanque está construido en forma de un cilindro horizontal, ubicado a una altura de 1,98 m desde el piso y tiene las siguientes dimensiones:



Longitud (l) = 1,72 m

Diámetro (d) = 0,78 m

Figura 31: Dimensiones del tanque de agua de alimentación.

Con estas dimensiones tenemos que la capacidad del tanque de agua de alimentación será de:

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A = \frac{3,1416 \times 0,78 \text{ m}^2}{4} = 0,47 \text{ m}^2$$

$$V = A \times l = 0,47 \text{ m}^2 \times 1,72 \text{ m}$$

$$V = 0,82 \text{ m}^3$$

Lo cual no abastece a la reserva mínima recomendada de $0,89 \text{ m}^3$ (236,57 galones), en el caso de utilizar las 2 calderas dimensionadas de 60 BHP.

Al operar las 2 calderas de 64 BHP instaladas en el Hospital del IESS (capacidad del tanque = $0,96 \text{ m}^3$) es notorio la diferencia de volumen que le hace falta al tanque de alimentación, pues sería necesario el permanente control del nivel para evitar contracciones y desgaste del material.

Alternativas de diseño para la construcción de un tanque de alimentación: para el caso de nuestra caldera de 60 BHP, asumiremos para el cálculo del tanque una longitud cualquiera:

$$l = 1,7 \text{ m}$$

$$Volumen_{cilindro} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times l \quad (Ec. 7)$$

$$0,89 \text{ m}^3 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times 1,4 \text{ m}$$

$$D = \frac{\sqrt{0,89 \text{ m}^3 \times 4}}{1,7 \text{ m} \times \pi}$$

$$D = 0,82 \text{ m}$$

Una selección estandarizada para cumplir con la mínima capacidad del tanque para agua de alimentación calculado (896 litros = 237 galones) sería seleccionarlo de las capacidades estandarizadas por los fabricantes.

Tabla 15: Tanques para agua de alimentación.

BOILER HP	TANK CAPACITY (GAL)	(A) LENGTH	(B) WIDTH	*(C) HEIGHT 15-150 PSI	*(C) HEIGHT 200-250 PSI	*(C) HEIGHT 300 PSI	** (D) WATER SUPPLY	(E) COND. RETURN	(F) VENT	(G) OVER FLOW	(H) DRAIN	150 PSI WEIGHT
15-30	30	30	19	60	68	69	.5	2	2	1.5	.75	625
40-60	60	36	25	67	73	86	.5	2	1.5	1.25	.75	800
70-80	80	46	24	67	75	86	.5	2	1.5	1.25	.75	825
100	100	48	26	74	76	87	.75	2	1.5	1.25	.75	1000
125-150	150	48	31	79	90	93	.75	2	1.5	2	1	1100
200	200	60	34	88	93	96	.75	2.5	1.5	2	1	1385
250	250	72	35	89	93	96	.75	2.5	1.5	2	1	1500
300	300	72	38	92	96	99	.75	2.5	2	2	1	1730
350	350	84	38	92	96	99	.75	2.5	2.5	2	1	1835
400	400	72	44	98	102	114	.75	3	2.5	2	1.25	1950
500	500	84	44	104	110	114	.75	3	2.5	2	1.25	2035
600	600	84	48	108	114	118	.75	3	2.5	2	1.25	2300
700-800	800	114	48	120	118	125	.75	3	2.5	2	1.25	2940
900-1000	1000	96	58	130	135	135	(2) .75	3	4	3	1.5	4200

Fuente de datos: Fabricantes Donlee – Technologies Inc.

Así por ejemplo los fabricantes de tanques “Hurst Boiler”, presentan una lista de tanques construidos y con sus accesorios respectivos, los cuales los podemos observar en la tabla 15, y en la figura 31.

De esta lista seleccionamos el tanque de tamaño 250 (capacidad de 250 galones), con las características indicadas en la tabla anterior.

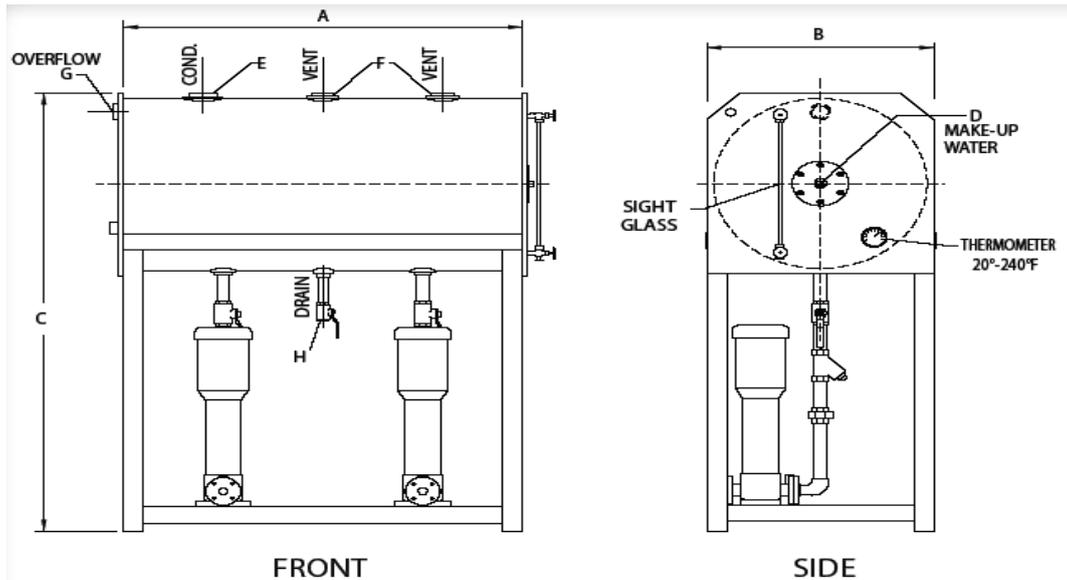


Figura 32: Tanque seleccionado para agua de alimentación.

Fuente de datos: Fabricantes Donlee – Technologies Inc.

El tanque de agua de alimentación existente recibe retornos de condensado para compensar pérdidas a través de todo el sistema y continuar con la alimentación hacia la caldera, existen dos circuitos para el ingreso de agua al tanque de alimentación.

1. Un primer circuito que proviene de la conexión entre un tramo de agua fría desde la cisterna, con otro tramo de agua caliente y vapor desde un sistema intercambiador de calor.
2. Un segundo circuito que proviene de la conexión del retorno de condensado del área de lavandería y del colector de vapor.

Estos circuitos los podemos apreciar en las siguientes tomas fotográficas (figura 33 y figura 34).



Figura 33: Circuito de ingreso del agua de alimentación 1.



Figura 34: Circuito de ingreso del agua de alimentación 2.

4.3.4.1.1 Cálculos y selección de la bomba de alimentación

A fin de lograr una correcta selección de las bombas para la alimentación del agua hacia cada caldera se deberán analizar diferentes parámetros como los siguientes:

- a) Operación continua o intermitente
- b) Temperatura del agua a la succión
- c) Capacidad
- d) Presión de descarga
- e) Carga neta de succión positiva requerida (NPSH)

Existen dos tipos de bombas usadas para el agua de alimentación a las calderas, por lo cual necesitamos conocer el caudal que cada bomba puede proveer, pero siempre dependiendo también de la presión de descarga y de la carga neta de succión requerida.

Los fabricantes de bombas recomiendan el valor de la capacidad de acuerdo al tipo de bomba seleccionada, así la recomendación dice:

- Bombas tipo turbina: de 1,5 a 2,0 veces la capacidad de evaporación de la caldera.
- Bombas tipo centrifuga: de 1,10 a 1,15 veces la capacidad de evaporación de la caldera (la más apta). (Ortiz Tulcán, 2003)

4.3.4.1.1.1 Capacidad de la bomba

Como se seleccionó una bomba tipo centrifuga, elijo el 1,15 de exceso de agua evaporada como factor de seguridad, la capacidad de la bomba viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad} = 60 \text{ BHP} \times \frac{0,069 \text{ GPM}}{1 \text{ BHP}} \times 1,15 = 4,76 \text{ GPM} \cong 5 \text{ GPM}$$

$$5 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{3,7854 \text{ lt}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

4.3.4.1.1.2 Altura total dinámica, presión de descarga (THD)

La bomba que alimenta de agua al caldero debe desarrollar una presión superior a la presión de trabajo del caldero, para esto se debe tomar en cuenta que:

- Para bombas donde la línea de descarga va directamente al caldero se añade a la presión de operación de 5 a 20 PSI.
- Para bombas donde se interpongan válvulas controladoras de presión, se añade a la presión de operación de 20 a 30 PSI. (García Saavedra, 1982)

Para este caso:

Presión de descarga: 120 PSI

Presión en la línea de descarga directa: 20 PSI

Presión total = Presión de descarga + Presión en la línea de descarga directa

$$Presión\ total = 120\ PSI + 20\ PSI = 140\ PSI$$

La temperatura del agua de alimentación: 90°C

La gravedad específica de acuerdo a la temperatura del líquido (sp.gr) es: 0,967 (encontrado por interpolación en el Anexo 3)

Entonces para encontrar la altura total dinámica nos valemos de la siguiente fórmula:

$$THD = \frac{P_{total} \times 2,31}{sp.\ gr} \quad (Ec. 8)$$

$$THD = \frac{140\ PSI \times 2,31}{0,967} = 334,44\ pies$$

$$334,44\ pies \times \frac{0,3048\ m}{1\ pie} = 101,94\ m$$

4.3.4.1.1.3 Datos técnicos de la bomba seleccionada

Con la ayuda del catálogo de bombas centrífugas GOULDS PUMPS, (anexo 11) seleccionamos la bomba con las siguientes características.

- Marca: GOULDS PUMPS
- Modelo: 3935
- Tamaño: BP 20 – 12
- Número de etapas: 12
- Caudal: 5 GPM
- Eficiencia: 19 %
- NPSHR: $1\ pie \times \frac{0,3048\ m}{1\ pie} = 0,3048\ m$

4.3.4.1.1.4 Cálculo de la carga neta de succión positiva (NPSH_A)

Todas las bombas requieren determinada carga neta positiva de succión NPSH, para permitir que el líquido fluya a la carcasa de la bomba. Este valor lo determina el diseñador de bombas y se basa en la velocidad de rotación, la superficie de admisión o

el ojo del impulsor en una bomba centrífuga, el tipo y número de alabes en el impulsor, etc.

Cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente NPSH disponible en el sistema en que va a funcionar, se reducirá la capacidad para la cual fue diseñada, es decir, en el punto de capacidad requerida la bomba producirá menos carga que la calculada. Esto causará cavitación, se producirán burbujas de vapores en el líquido, que se aplastan con rapidez y liberan energía que atacará los alabes del impulsor o el alojamiento del impulsor.

Ahora bien, se tiene por un lado la carga neta positiva de succión requerida ($NPSH_R$) que es una característica del diseño propio de la bomba, es la energía en pies de carga de líquido que se necesita en la succión de la bomba por arriba de la presión de vapor del líquido a fin de que la bomba entregue una capacidad a una velocidad dada. Se puede decir que representa el margen mínimo requerido entre la carga de succión y la presión de vapor.

Por otro lado tenemos la carga neta positiva de succión disponible ($NPSH_A$) que es característica del sistema en el cual vamos a emplear la bomba y representa la diferencia entre la carga absoluta de succión existente y la presión de vapor a la temperatura prevaleciente.

Debemos tomar en cuenta para la selección de las bombas de alimentación, que los cambios en el ($NPSH_A$) no alteran el rendimiento de la bomba, siempre y cuando el ($NPSH_A$) sea mayor que él ($NPSH_R$). Sin embargo, cuando el ($NPSH_A$) cae por debajo del valor del ($NPSH_R$), la bomba empieza a tener cavitación y pierde eficiencia. El ($NPSH_A$) indica si el agua se vaporizara o no en el punto de menor presión de la bomba.

Debido a que el ($NPSH_R$) está determinado en función del diseño de la bomba y se indica en las curvas características de la bomba adquirida, nuestro objetivo será la determinación del ($NPSH_A$) y el cumplimiento de la relación antes mencionada. (Ortiz Tulcán, 2003)

A continuación se presenta un esquema que representa el tanque de agua de alimentación y la línea de conexión hasta la bomba de alimentación.

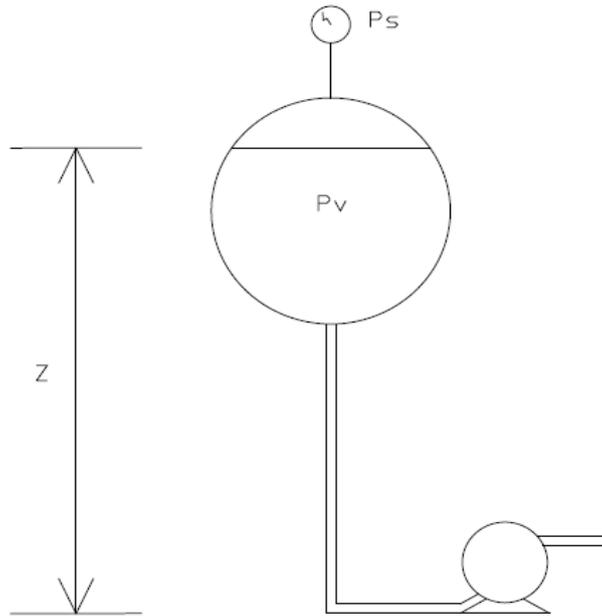


Figura 35: Conexión del tanque de agua de alimentación y bomba.

Ahora calculamos la carga neta positiva de succión disponible ($NPSH_A$), con la siguiente expresión:

$$NPSH_A = \frac{P_1 - P_v \times 2,31}{sp. gr} + Z_1 - Hfs \quad (Ec. 9)$$

Dónde:

P_1 = Presión de la ciudad de Machala

P_v = Presión de vapor del líquido

$sp. gr$ = Gravedad específica de acuerdo a la temperatura del líquido

Z_1 = Altura de succión

Hfs = Fricción en la succión

Para nuestro caso tenemos los siguientes datos:

P_1 a 4 msnm = 14,68 PSI

P_v = a 90 °C : 10,214 PSI (encontrado por interpolación en el Anexo 2)

$sp. gr$ = a 90 °C : 0,967 (encontrado por interpolación en el Anexo 3)

Como recomendación práctica y de forma general, el depósito de alimentación de agua debe situarse por encima del nivel de la bomba y como mínimo a 2.50 m de altura para evitar los problemas de falta de aspiración en el caso de alimentar con agua caliente (aprovechamiento de condensados). (Ortiz Tulcán, 2003)

$$Z_1 = 2,50 \text{ m} \times \frac{1 \text{ pie}}{0,3048 \text{ m}} = 8,20 \text{ pies}$$

Sabiendo la capacidad de la bomba, 5 GPM, se encuentra el diámetro de la tubería de succión, y la fricción en la succión (de acuerdo al Anexo 7):

Diámetro: 1 pulgada

$$Hfs = 1,93$$

La longitud de la tubería de succión: asumimos la misma longitud ya instalada que llega a 2,60 m.

$$2,60 \text{ m} \times \frac{1 \text{ pie}}{0,3048 \text{ m}} = 8,53 \text{ pies}$$

Con todos los datos anteriores, estamos en condiciones de evaluar la carga neta positiva de succión disponible ($NPSH_A$), la misma que será:

$$NPSH_A = \frac{P_1 - P_v \times 2,31}{sp. gr} + Z_1 - Hfs$$

$$NPSH_A = \frac{14,68 - 10,214 \text{ PSI} \times 2,31}{0,967} + 8,20 \text{ pies} - \frac{1,93}{100} \times 8,53$$

$$NPSH_A = 10,67 + 8,20 - 0,16$$

$$NPSH_A = 18,71 \text{ pies} \times \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = 5,7 \text{ m}$$

$$NPSH_A > NPSHR$$

$$5,7 \text{ m} > 0,3048 \text{ m}$$

4.3.4.1.1.5 Potencia y eficiencia de la bomba

La potencia desarrollada por la bomba es la potencia entregada al eje de la bomba (potencia al freno), calculado con la siguiente expresión:

$$BHP = \frac{sp. gr \times Q \times TDH}{3960 \times efic} \text{ HP}$$

$$BHP = \frac{0,967 \times 5 \text{ GPM} \times 334,44 \text{ pies}}{3960 \times 0,19} = 2,15$$

Como se requiere un valor disponible y estándar en el mercado seleccionamos un requerimiento de un motor eléctrico de 2 HP acoplado a la bomba de agua de alimentación.

Potencia de salida de la bomba, o potencia del líquido entregado por la bomba:

$$WHP = \frac{sp. gr \times Q \times TDH}{3960}$$

$$WHP = \frac{0,967 \times 5 \text{ GPM} \times 334,44 \text{ pies}}{3960} = 0,41 \text{ WHP}$$

En donde $BHP > WHP$

La eficiencia de la bomba se expresa por:

$$\% \text{ efic} = \frac{WHP}{BHP} = \frac{0,41}{2,15} = 0,19 \times 100 = 19\%$$

4.3.5 Cálculo y diseño del sistema de combustible

Si partimos de la consideración que el costo del vapor producido viene dado en un 80% por el combustible y un 20% por el agua y el tratamiento químico, comprenderemos la importancia de una correcta selección del combustible y un correcto diseño del sistema de combustible para una operación eficaz y sin desperdicio económico.

Como ya se explicó anteriormente, la razón económica para el uso del diesel oil N° 2 como combustible, que aunque sigue siendo alta en comparación al fuel oil N° 6, presenta notables ventajas por ser un combustible relativamente limpio y fácil de almacenar, no requiriendo de gran calentamiento para su manipulación.

A continuación presentamos la Tabla 16, en la que se indica ciertas propiedades de los combustibles en referencia y se puede comprobar las ventajas que presenta el diesel oil N° 2 sobre el fuel oil N° 6.

Tabla 16: Propiedades de los combustibles.

PROPIEDADES DEL DIESEL OIL No. 2 y FUEL OIL No.6		
PROPIEDADES	DIESEL OIL No. 2	FUEL OIL No. 6
Viscosidad SS a 100 F	36 a 45	3714 a 3805
Gravedad especifica	0.849 a 0.86	0.9503 a 0.9535
Grados API	33 a 35	16.9 a 17.4
Punto de Inflamación (F)	180	285
Punto de Fluidez (F)	44	30
Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	10700	10900
Porcentaje agua - sedimentos %	trazas	trazas
Contenido de azufre %	0.49	1.5
Contenido de vanadio (ppm)	1.5	120
Contenido de cenizas %	...	0.04 a 0.15
Contenido de sodio (ppm)	...	trazas

Fuente de datos: Tesis Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval.

El sistema de combustible abarca todo el conjunto de componentes requeridos para proveer de combustible a la caldera. Los principales componentes son:

- Tanque de almacenamiento de uso diario
- Tuberías de combustible y accesorios (filtros, válvulas, etc.)
- Bombas de alimentación de combustible
- Quemadores (Ortiz Tulcán, 2003)

El tanque de almacenamiento o de reserva del Hospital del IESS fundamentalmente es un tanque horizontal cilíndrico instalado sobre el piso y con una capacidad de 3000 galones, cantidad de combustible que sirve de autonomía en el Hospital para aproximadamente 3 meses. Sin embargo por seguridad no se lo mantiene con niveles superiores al 80% del tanque para prevenir dilataciones, fisuras u otros peligros.



Figura 36: Tanque de almacenamiento de combustible.

En cuanto a la capacidad mínima de este tanque de almacenamiento o reserva, existe una capacidad recomendada en base a experiencias, capacidades de acuerdo a la potencia requerida por las calderas y que se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17: Capacidades mínimas para el tanque de almacenamiento.

Litros	Galones U.S	Caballos Caldera (CC)
1500	396.3	hasta 50
2000	528.4	60 - 70
3000	792.6	80 - 100
4000	1056.8	125
5150	1360.6	150
6000	1585.2	200
7300	1928.7	250
10000	2642	300

Fuente de datos: Tesis Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval.

Tenemos que para el caso de calderas de 60 – 70 BHP, por lo que se tiene una capacidad mínima de $528,4 \times 2 = 1056,8$ galones, pero como son dos calderas que

existen en el Hospital del IESS de 64 BHP cada una, se tiene igualmente $2 \times 528,4 = 1056,8$ galones.

Lo que indica que los 3000 galones del tanque existente, constituye suficiente capacidad para ambos casos.

4.3.5.1 Consumo de combustible

El consumo de combustible por caballo caldera (anexo 9) dado en galones americanos por hora para calderas de tubos de fuego es el siguiente:

Diesel N° 2: 0,295 GPH/BHP

Para la caldera de 60 BHP:

$$GPH = \frac{0,295 \text{ GPH}}{1 \text{ BHP}} \times 60 \text{ BHP} = 17,7 \text{ GPH}$$

4.3.5.1.1 Dimensionamiento del tanque de servicio diario

Como su nombre lo indica sirve para almacenar la cantidad de combustible necesario para el consumo diario.

El tanque de servicio diario es necesario debido a las siguientes razones:

- a) Permite medir la cantidad de combustible consumido diariamente.
- b) Provee de un lugar apropiado para retorno del exceso de combustible del quemador.
- c) Proporciona un abastecimiento continuo, mientras se da mantenimiento a otros equipos.

Se recomienda que sea un tanque de gravedad (instalado a una altura superior a la que se encuentran los quemadores de las calderas), que sea fabricado en plancha de acero (nunca hierro galvanizado) (Ortiz Tulcán, 2003). Estas recomendaciones no son cumplidas por el tanque de servicio diario del Hospital del IESS, ubicado en el interior de la sala de calderas a una altura de 0,5 metros desde el piso.

Las dimensiones del tanque diario existente son de 2 m de largo y 1,15 m de diámetro, lo cual da una capacidad de 550 galones para combustible, capacidad que no cumple la

recomendación dada por los fabricantes de calderas, que manifiestan que el tanque de gravedad, no deberá exceder de 275 galones americanos.



Figura 37: Tanque diario de combustible.

Para el caso de nuestra caldera de 60 BHP el dimensionamiento del tanque diario de combustible viene dado por la ecuación (7):

$$Tanque_{diario} = 17,7 \frac{gal}{h} \times 24h = 424,8 gal \times \frac{3,785 lt}{1 gal} \times \frac{1 m^3}{1000 lt} = 1,61 m^3$$

$$Volumen_{cilindro} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times l$$

Asumiremos para el cálculo del tanque una longitud cualquiera:

$$l = 2 m$$

$$1,61 m^3 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times 2 m$$

$$D = \frac{\sqrt{1,61 m^3 \times 4}}{2 m \times \pi}$$

$$D = 1,02 \text{ m}$$

4.3.5.1.2 Cálculos y selección de la bomba de combustible

Todas las calderas vienen provistas de bombas de combustible, y estas serán generalmente del tipo desplazamiento positivo: rotativas o de engranajes. Son pequeñas, de bajo peso y con una eficiencia mecánica entre 75 al 85%. (Ortiz Tulcán, 2003)

Para saber la potencia necesaria para impulsar la bomba de combustible se puede hacer uso de la siguiente fórmula:

$$Potencia_{motor} = \frac{8.33 \times Q \times TDH \times sp. ge}{33000 \times \eta} \quad (Ec. 10)$$

En donde:

$$Q = \text{Caudal en GPM} = 17,7 \text{ GPH}$$

$$17,7 \frac{gal}{h} \times \frac{1h}{60 \text{ min}} = 0,295 \frac{gal}{min}$$

TDH = Cabezal de presión de descarga (en pies de columna da agua)

La presión de descarga de la bomba puede fluctuar de 40 a 175 lb/plg², promediando se tiene una presión de 107,5 lb/plg² (Roldan Erazo, 2007)

$$107,5 \frac{lb}{plg^2} \times \frac{2,31 \text{ pies de H}_2\text{O}}{1 \text{ lb/plg}^2} = 248,325 \text{ pies de H}_2\text{O}$$

$sp. ge$ = Gravedad específica del combustible, promediando para diesel se tiene 0,8545 (anexo 9)

η = Eficiencia de la bomba, en este caso 0,75

Con estos datos la potencia del motor eléctrico para la bomba sería.

$$Potencia_{motor} = \frac{8,33 \times 0,295 \text{ GPM} \times 248,325 \text{ pies de H}_2\text{O} \times 0,8545}{33000 \times 0,75}$$

$$Potencia_{motor} = 0,021 \text{ HP} \approx 1/47 \text{ HP}$$

4.3.5.1.3 Selección del tipo de quemador

La atomización del combustible permite dividirlo al combustible en partículas extremadamente finas lo cual facilita un mejor contacto con el oxígeno comburente. Este proceso de atomización se lleva a cabo en el quemador, el cual tiene como función primordial el formar una mezcla aire-combustible lo más homogénea posible, de tal manera que la proporción de estos dos elementos suministre al máximo de eficiencia térmica. (Ortiz Tulcán, 2003)

Las calderas York Shipley serie 542, de 60 BHP, vienen con su quemador típico, es decir, al seleccionar la caldera de la marca York Shipley, indirectamente estamos seleccionando el quemador requerido, ya que los fabricantes incluyen al quemador y la bomba de combustible integrados a la caldera, así como también el panel de control, control de la llama, y otros.

4.3.6 Cálculo del diámetro de la tubería de vapor

En el dimensionamiento de tuberías de vapor, lo ideal es que no se produzcan caídas de presión elevadas, ni temperaturas elevadas en cada uno de los tramos, así como en la tubería principal. (Palacios Martínez, 2007)

De una manera muy general, y con el fin de proceder con el dimensionamiento de los tramos de tuberías, se puede esquematizar una distribución de puntos de consumo, conforme lo indica la figura 38.

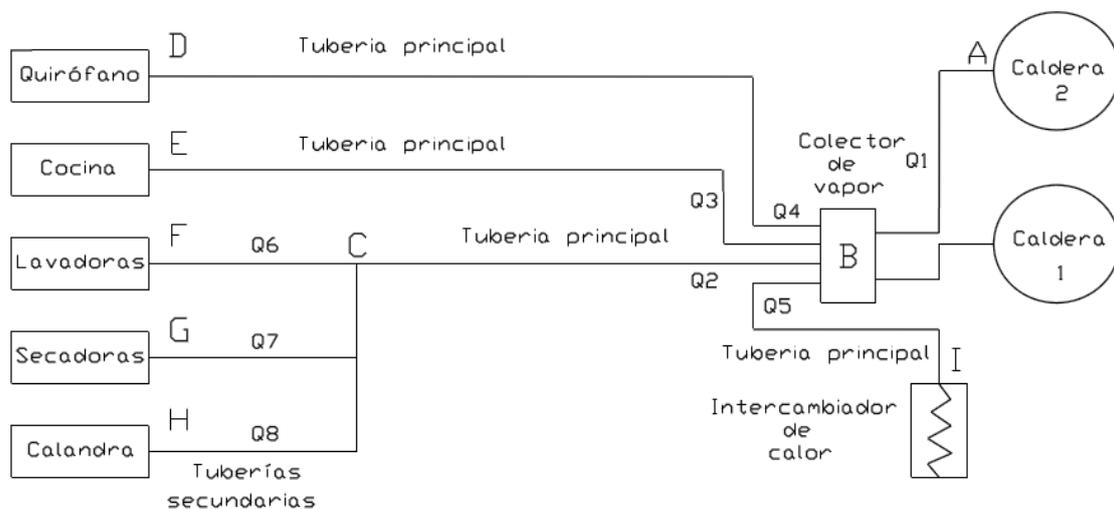


Figura 38: Esquema general de la distribución de vapor en el Hospital del IESS.

La distancia de los tramos entre las calderas al tanque colector de vapor son respectivamente 13,78 pies y 28,37 pies. Si consideramos el tramo de mayor longitud y considerando el caudal de vapor nominal que genera cada caldera (2070 lb/h), podemos evaluar la pérdida de presión en el tramo y encontrar entonces un valor aproximado de la presión a la que se presentara el vapor en el colector de vapor (punto B).

Tabla 18: Distancias a puntos de consumo de vapor.

Distancias entre el colector de vapor y puntos de consumo			
Distancias del colector de vapor a puntos de consumo	Tramo de tubería principal	Tramo de tubería secundaria	Distancia total a equipos
1. Al quirófano	B – D: 210 pies	210 pies
2. A la cocina	B – E: 73,5 pies	73,48 pies
3. A las lavadoras	B – C: 89,87 pies	C – F: 39,36 pies	129,23 pies
4. A las secadoras	B – C: 89,87 pies	C – G: 29,52 pies	119,39 pies
5. A la calandra	B – C: 89,87 pies	C – H: 62,32 pies	152,19 pies
6. A varios usos	B – I: 32,8 pies	32,8 pies

Fuente: El autor.

A partir de este punto, se distribuirá el vapor a los diferentes equipos mediante tuberías principales y secundarias que deben cubrir las distancias que se presentan en la tabla 18.

Tabla 19: Caudales de vapor.

Caudales de vapor para el Hospital del IESS		
Sección	Demanda de vapor (lb/h)	Caudal de vapor (lb/h)
Quirófano	$110 + 10\% = 121$	121
Lavadoras	$120 + 10\% = 132$	132
Secadoras	$71 + 10\% = 78$	78
Rodillo planchador	$64 + 10\% = 70,4$	70,4
Marmitas	$229 + 10\% = 252$	252
Régimen alimenticio	$717,6 + 10\% = 789,36$	789,36
Fisiatría-Varios	$807,3 + 10\% = 888$	888
Total		2330,76

Fuente: El autor.

De acuerdo con la máxima demanda de vapor requerida por el Hospital del IESS, que fue presentado en la tabla 8, y considerando un 10 % adicional para vencer las perdidas, se concluyó que se requieren en total 60 BHP. Es decir, los caudales a los distintos puntos de consumo, a partir de los cuales se realizara el dimensionamiento de las tuberías de vapor, serían los presentados en la tabla 8 más un 10% adicional. Estos caudales los presentamos en la tabla 19.

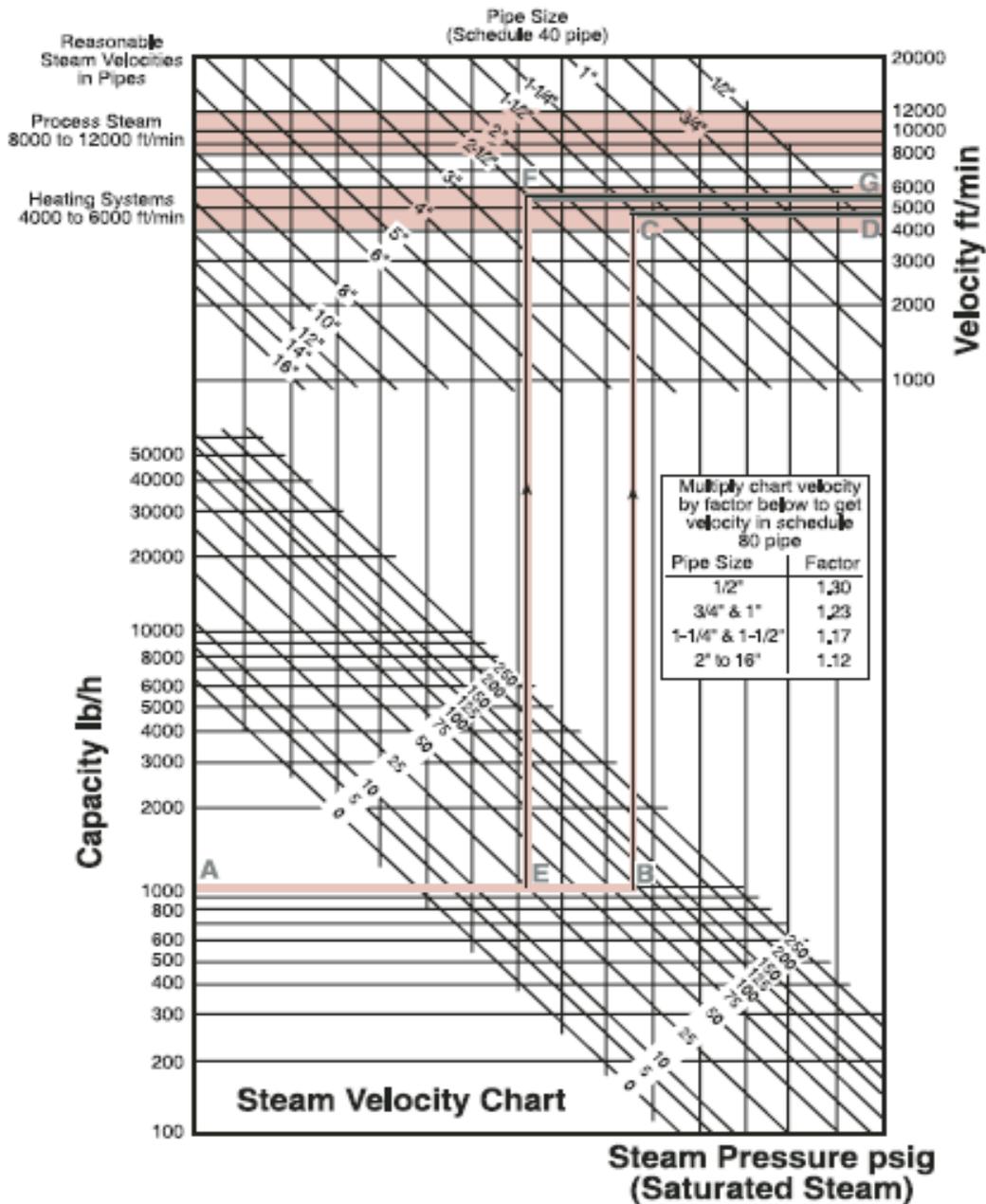


Figura 39: Dimensionamiento de tuberías para vapor.

Fuente de información: Catálogos de Productos Spirax Sarco.

La velocidad del vapor en tuberías principales se recomienda que sea de 6000 pies/min; mientras que para tuberías secundarias se recomienda que sea de 4000 pies/min.

Antes de exponer la metodología para el dimensionamiento de la tubería se realizara una previa selección de la misma utilizando la figura 39. (sarco)

4.3.6.1 Tubería desde la caldera hasta el colector

Tramo principal A - B

Utilizando la figura 39, e ingresando por la parte inferior izquierda con el caudal ($Q_1 = 2330,76$ lb/h) nos desplazamos horizontalmente hasta cortar con una presión de 116 PSI. A partir de este punto ascendemos verticalmente hasta interceptar la línea de velocidad recomendada, donde la intersección con una diagonal caiga dentro de la banda de velocidades comprendidas entre 4000 y 6000 pies por minuto y encontraremos que la tubería requerida será de $2\frac{1}{2}$ ".

Diámetro de la tubería principal tramo A – B = $2\frac{1}{2}$ pulg.

4.3.6.1.1 Cálculo de la caída de presión desde la caldera hasta el colector

Siguiendo con este dato del caudal ($Q_1 = 2330,76$ lb/h) ingresamos en el diagrama de la figura 40, y nos desplazamos verticalmente hasta interceptar la línea correspondiente de $2\frac{1}{2}$ ". Horizontalmente a la izquierda del diagrama leemos una caída de presión de 1,6 PSI por cada 100 metros de tubería.

Como ya conocemos la longitud del tramo de tubería principal (A – B) desde la caldera hasta el colector, tomaremos la misma medida que es 28,37 pies, podemos calcular la pérdida de presión a través de este tramo y con ello conocer la presión disponible en el colector de vapor punto B (figura 41), que es el punto a partir del cual parten los tramos de tubería a las diferentes áreas de servicio.

Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

Tramo A – B:

$$\frac{1.6}{100} \times 28,37 + 2,84 = 0,5 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión que se presentaría en el colector (punto B), desde donde comienzan los tramos de tubería a las diferentes áreas será aproximadamente:

Colector de vapor (punto B): $(116 \text{ PSI} - 0,5 \text{ PSI}) = 115,5 \text{ PSI}$

4.3.6.2 Tubería desde el colector hasta el área de lavandería

Tramo principal B - C

De la misma forma utilizando la figura 39, encontramos el diámetro de la tubería de vapor.

Flujo del vapor saturado (punto C): $Q_2 = 280,4 \text{ lb/h}$

Presión del vapor saturado al área de lavandería: $115,5 \text{ PSI}$

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – C = $\frac{3}{4}$ pulg.

4.3.6.2.1 Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta el área de lavandería

Siguiendo con este dato del caudal ($Q_2 = 280,4 \text{ lb/h}$) ingresamos en el diagrama de la figura 40, y leemos una caída de presión de 5 psi por cada 100 metros de tubería.

Como ya conocemos la longitud del tramo de tubería principal (B – C) desde el colector hasta el área de lavandería, tomaremos la misma medida que es 89,87 pies (tabla17), podemos calcular la pérdida de presión a través de este tramo y con ello conocer la presión que se presentaría en el punto C (figura 41), que es el punto a partir de los cual parten los tramos de tuberías secundarias. Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

Tramo B – C:

$$\frac{5}{100} \times 89,87 + 8,99 = 4,94 \cong 5 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión que se presentaría en el área de lavandería (punto C), desde donde comienzan los tramos de tubería secundaria será aproximadamente:

Lavandería (punto C): $(115,5 \text{ PSI} - 5 \text{ PSI}) = 110,5 \text{ PSI}$

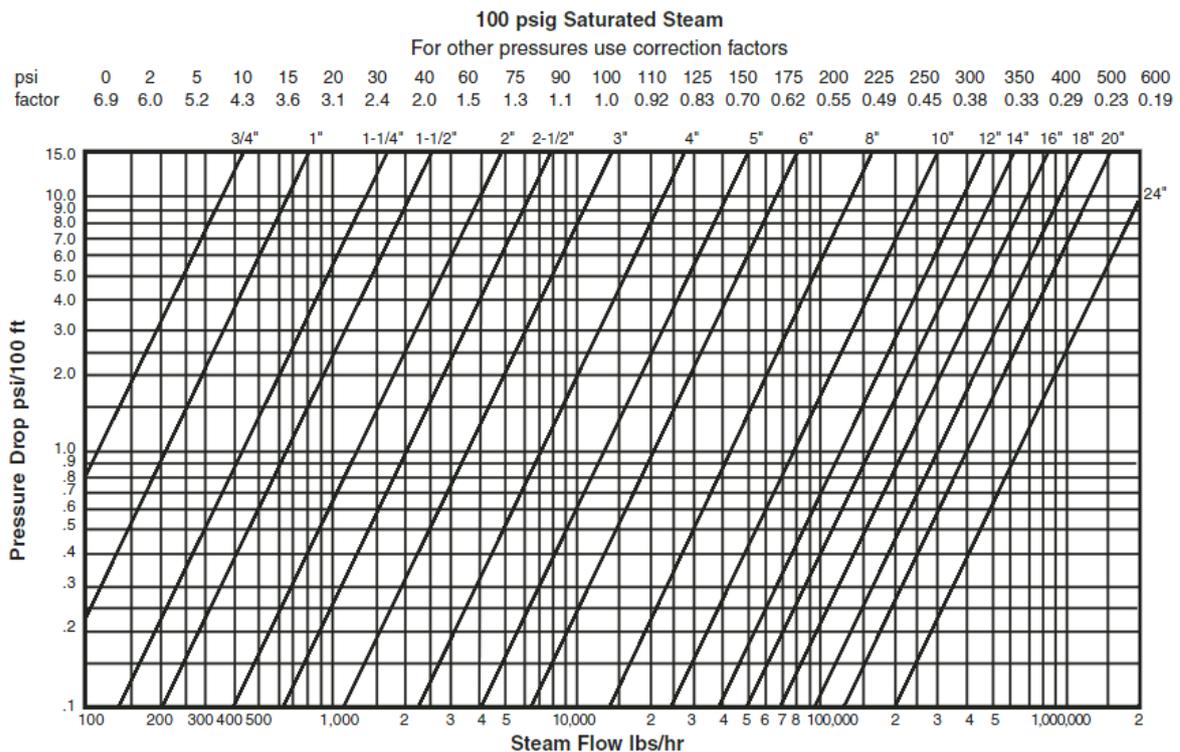


Figura 40: Caída de presión en tubería Sch-40.

Fuente de información: Catálogos de Productos Spirax Sarco.

4.3.6.3 Tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética

Tramo principal B – E

En este tramo se encuentra una reductora de presión de 115,5 PSI a 14,5 PSI

Agua arriba

Flujo del vapor saturado: $Q_2 = 252 \text{ lb/h}$

Presión del vapor saturado a la válvula reductora: 115,5 PSI

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – E = $\frac{3}{4}$ pulg.

4.3.6.3.1 Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta el área de alimentación y dietética

Caída de presión (tramo B – E): 4,3 PSI

Longitud de la tubería: 43,98 pies

Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

Tramo B – E:

$$\frac{4,3}{100} \times 43,98 + 4,4 = 2,08 \cong 2,1 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión en el punto E será aproximadamente:

Válvula reductora: (115,5 PSI – 2,1 PSI) = 113,4 PSI

Aguas abajo

Flujo del vapor saturado: $Q_2 = 252 \text{ lb/h}$

Presión del vapor saturado al área de alimentación y dietética: 14,5 PSI

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $1\frac{1}{4}$ de pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – E = $1\frac{1}{4}$ pulg.

Cálculo de la caída de presión

Caída de presión (tramo B – E): 3 PSI

Longitud de la tubería: 29,52 pies

Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

Tramo B – E:

$$\frac{3}{100} \times 29,52 + 2,95 = 0,97 \cong 1 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión en este punto será aproximadamente:

Alimentación y dietética (punto E): (14,5 PSI – 1 PSI) = 13,5 PSI

4.3.6.4 Tubería desde el colector hasta el área de esterilización

Tramo principal B – D

En este tramo se encuentra una reductora de presión de 115,5 PSI a 36 PSI

Aguas arriba

Flujo del vapor saturado: 121 lb/h

Presión del vapor saturado a la válvula reductora: 115,5 PSI

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – D = $\frac{1}{2}$ pulg.

4.3.6.4.1 Cálculo de la caída de presión desde el colector hasta la válvula reguladora de presión.

Caída de presión (B – D): 3,5 PSI

Longitud de la tubería: 231 pies

Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

$$\frac{3,5}{100} \times 231 + 23,1 = 8,89 \cong 9 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión en este punto será aproximadamente:

Válvula reductora: $(115,5 \text{ PSI} - 9 \text{ PSI}) = 106,5 \text{ PSI}$

Aguas abajo

Flujo del vapor saturado: 121 lb/h

Presión del vapor saturado al área de esterilización: 36 PSI

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – D = $\frac{3}{4}$ pulg.

Cálculo de la caída de presión

Caída de presión (B – D): 1,4 PSI

Longitud de la tubería: 9,51 pies

Consideraremos un 10% adicional debido a la presencia de accesorios. Por lo que tenemos:

$$\frac{1,4}{100} \times 9,51 + 0,95 = 0,146 \cong 0,2 \text{ PSI}$$

Con este resultado podemos considerar que la presión en este punto será aproximadamente:

Esterilización (punto D): $(36 \text{ PSI} - 0,2 \text{ PSI}) = 35,8 \text{ PSI}$

4.3.6.5 Tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor

Flujo del vapor saturado: 888 lb/h

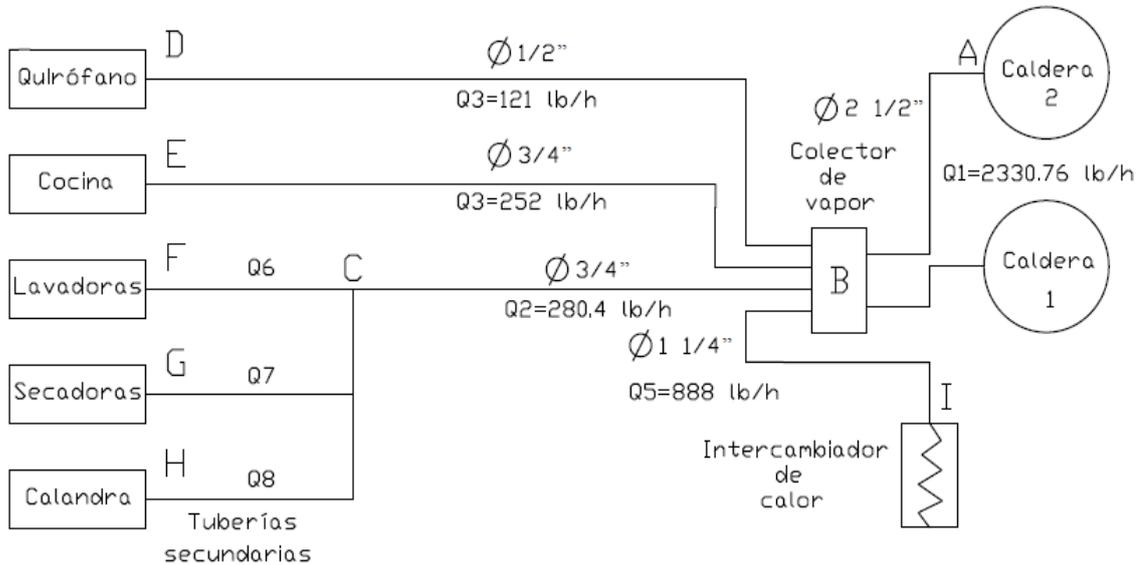
Presión del vapor saturado: 116 PSI

Para dichos datos, siguiendo la figura 39 se requiere una tubería de $1\frac{1}{4}$ de pulgada

Diámetro de la tubería principal tramo B – I = $1\frac{1}{4}$ pulg.

Este tramo de tubería conduce vapor desde el colector hasta el intercambiador de calor, con el fin de proporcionar agua caliente para varios usos, entre ellos fisioterapia. Por lo tanto no alimenta a ningún equipo que requiera una presión determinada.

A continuación, presentamos en la figura 41, un resumen de los valores obtenidos como dimensionamiento de las tuberías y presiones disponibles para los diferentes puntos de consumo.



$P_D = 106,5 \text{ PSI}$ $P_C = 110,5 \text{ PSI}$ $P_B = 115,5 \text{ PSI}$
 $P_E = 113,4 \text{ PSI}$

Figura 41: Presiones disponibles para los puntos de consumo.

Por lo tanto podemos concluir que en los diferentes puntos de consumo se tendría presiones disponibles y suficientes para cumplir los requerimientos de los diferentes equipos como esterilizadores, lavadoras, secadoras, rodillo planchador y marmitas.

Sin embargo, será necesario la utilización de válvulas reductoras de presión, para regular el vapor a las presiones requeridas por lo equipos consumidores, logrando protección de los equipos y ahorro de energía por la optimización de la eficiencia del proceso.

Al respecto se debe manifestar que al utilizar una tubería de mayor diámetro que el requerido, estamos elevando los costos, mientras que en los tramos que se emplea tubería de menor diámetro que el requerido se estaría aumentando las pérdidas al ser directamente proporcionales a la velocidad del fluido.

Además, se debe tener en cuenta que es preferible generar y distribuir vapor a una presión relativamente alta e instalar las válvulas reductoras de presión antes de los equipos que lo requieran, con ello obtendríamos dos ventajas: la primera se disminuiría considerablemente los arrastres de agua que pueden producirse, y la segunda nos daría la oportunidad de utilizar tuberías de menor diámetro (ahorro de costos) para el transporte puesto que el volumen específico del vapor disminuye cuando la presión aumenta. (Ortiz Tulcán, 2003)

4.3.6.6 Procedimiento para realizar el dimensionamiento de las tuberías de vapor en el Hospital del IESS

A continuación vamos a presentar un ejemplo de cálculo para ilustrar el procedimiento.

Ejemplo:

4.3.6.6.1 Tubería desde la caldera hasta el colector

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 116 PSI

Temperatura del vapor saturado: 168,93°C

Densidad del vapor saturado: 4 kg/m³ (ver anexo 2)

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5}$ Pa.s = 1,4643x10⁻⁵ kg/ms (ver anexo 2)

Flujo del vapor saturado: Q = 2330,76 lb/h = 0,29 kg/s

Diámetro nominal de la tubería: 2,5 pulg = 0,0635 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m (ver anexo 10)

Longitud de la tubería: 8,65 m

Área de flujo:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (Ec. 11)$$

$$A = \frac{\pi \times 0,0635^2}{4} = 0,00317 \text{ m}^2$$

Velocidad del vapor en la tubería:

$$v = \frac{Q}{A \times \rho} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$v = \frac{0,29 \text{ kg/s}}{3,17 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 4 \text{ kg/m}^3} = 0,22 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds:

$$RE = \frac{v \times D \times \rho}{\mu} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$RE = \frac{0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0635 \text{ m} \times (4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{1,4643 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 397104,1$$

Rugosidad relativa:

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{D} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$\varepsilon = \frac{0,00006 \text{ m}}{0,0635 \text{ m}} = 0,000945$$

Factor de fricción:

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{6,81}{RE}^{0,9} \right] \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left[\frac{0,000945}{3,7} + \frac{6,81}{397104,1}^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{f} = 7,02$$

$$f = 0,02025$$

Caída de presión:

$$h_p = \frac{f \times l \times v^2}{D \times 2g} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$h_p = \frac{0,02025 \times 8,65 \text{ m} \times (22,9 \text{ m/s})^2}{0,0635 \times 2(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 73,73 \text{ m}$$

$$\Delta P = h_p \times \rho \times g \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\Delta P = 73,73 \text{ m} \times 4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2893,1 \text{ kg/ms}^2$$

$$\Delta P = 2893,1 \text{ Pa} \times \frac{1 \text{ PSI}}{6894,8 \text{ Pa}} = 0,419 \text{ PSI}$$

Diámetro de la tubería de vapor

Se asume que la pérdida de presión es igual a la pérdida de presión por rozamiento (Roldan Erazo, 2007)

$$\Delta P = \Delta P_{roz} \quad (\text{Ec. 18})$$

Como la velocidad de flujo es una magnitud desconocida, la expresamos mediante el gasto volumétrico V y el diámetro buscado de la tubería.

$$\omega = \frac{V}{0,785 d^2} \quad (\text{Ec. 19})$$

Luego sustituyendo en la ecuación de la pérdida de presión por rozamiento en tubos y canales rectos tenemos:

$$\Delta P_{roz} = \frac{f \times l \times \omega^2 \times \rho}{2 \times D} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$\Delta P = \frac{f \times l \times V^2 \times \rho}{2(0,785)^2 \times D^5}$$

Despejando el diámetro en esta ecuación, obtenemos:

$$D = \sqrt[5]{\frac{f \times l \times V^2 \times \rho}{2(0,785)^2 \times \Delta P}}$$

Gasto volumétrico:

$$V = \frac{Q}{\rho} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$V = \frac{1057,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 264,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,073 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Entonces el diámetro de la tubería es igual a:

$$D = \sqrt[5]{\frac{0,02025 \times 8,65 \text{ m} \times (0,073 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^2 \times 4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2(0,785)^2 \times 2893,1 \text{ kg/ms}^2}}$$

$$D = 0,0637 \text{ m} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0,0254 \text{ m}} = 2,51 \text{ pulg}$$

Los resultados principales obtenidos de los cálculos fueron agrupados en tablas para facilitar su análisis, y se muestran a continuación de los datos para realizar dicho fin:

4.3.6.6.2 Tubería desde el colector hasta el área de lavandería

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 116 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 168,93°C

Densidad del vapor saturado: 4 kg/m³

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ Pa.s} = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$

Flujo del vapor saturado: $Q = 280,4 \text{ lb/h} = 0,035 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 3/4 pulg = 0,019 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 27,4 m

Tabla 20: Características de la tubería desde el colector hasta el área de lavandería.	
Área de flujo:	$2,87 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$30,49 m/s$
Número de Reynolds:	159070,43
Rugosidad relativa:	$3,141 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,027
Caída de presión:	3,91 PSI
Gasto volumétrico:	$8,83 \times 10^{-3} m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1 pulgada

Fuente: El autor.

4.3.6.6.3 Tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética

a).- Aguas arriba

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 116 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 168,93°C

Densidad del vapor saturado: $4 kg/m^3$

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5} Pa.s = 1,4643 \times 10^{-5} kg/ms$

Flujo del vapor saturado: $Q = 252 lb/h = 0,032 kg/s$

Diámetro nominal de la tubería: 3/4 pulg = 0,019 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 13,4 m

Tabla 21: Características de la tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética aguas arriba.	
Área de flujo:	$2,87 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$27,87 m/s$
Número de Reynolds:	144674,38
Rugosidad relativa:	$3,149 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,028
Caída de presión:	4,44 PSI
Gasto volumétrico:	$7,95 \times 10^{-3} m^3/s$
Diámetro de la tubería:	3/4 pulgada

Fuente: El autor.

b).- Aguas abajo

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 14,5 PSI

Temperatura del vapor saturado: 98,65°C

Densidad del vapor saturado: 0,572 kg/m³

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$

Flujo del vapor saturado: $Q = 252 \text{ lb/h} = 0,032 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 1 ¼ pulg = 0,032 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 8,99 m

Tabla 22: Características de la tubería desde el colector hasta el área de alimentación y dietética aguas abajo.	
Área de flujo:	$8,04 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$69,58 m/s$
Número de Reynolds:	8667,48
Rugosidad relativa:	$1,88 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,0349
Caída de presión:	1,97 PSI
Gasto volumétrico:	$0,056 m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1 ¼ pulgada

Fuente: El autor.

4.3.6.6.4 Tubería desde el colector hasta el área de esterilización

a).- Aguas arriba

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 116 PSI

Temperatura del vapor saturado: 168,93°C

Densidad del vapor saturado: 4 kg/m³

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5}$ Pa.s = $1,4643 \times 10^{-5}$ kg/ms

Flujo del vapor saturado: Q = 121 lb/h = 0,0153 kg/s

Diámetro nominal de la tubería: 1/2 pulg = 0,0127 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 70,41 m

Área de flujo:	$1,27 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	30,19 m/s
Número de Reynolds:	104753,31
Rugosidad relativa:	$4,72 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,0309
Caída de presión:	45,29 PSI
Gasto volumétrico:	$3,81 \times 10^{-3} m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1/2 pulgada

Fuente: El autor.

b).- Aguas abajo

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 36 PSI

Temperatura del vapor saturado: 126°C

Densidad del vapor saturado: 1,34 kg/m³

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$

Flujo del vapor saturado: $Q = 121 \text{ lb/h} = 0,0153 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: $3/4 \text{ pulg} = 0,01905 \text{ m}$

Rugosidad de la tubería: $0,00006 \text{ m}$

Longitud de la tubería: $2,90 \text{ m}$

Área de flujo:	$2,85 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$40,06 \text{ m/s}$
Número de Reynolds:	69835,54
Rugosidad relativa:	$3,149 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,0285
Caída de presión:	0,68 PSI
Gasto volumétrico:	$0,011 \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la tubería:	3/4 pulgada

Fuente: El autor.

4.3.6.6.5 Tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor

Datos para el cálculo:

Presión del vapor saturado: 116 PSI

Temperatura del vapor saturado: $168,93^\circ\text{C}$

Densidad del vapor saturado: 4 kg/m^3

Viscosidad del vapor saturado: $\mu = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1,4643 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$

Flujo del vapor saturado: $Q = 888 \text{ lb/h} = 0,112 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: $1 \frac{1}{4} \text{ pulg} = 0,0317 \text{ m}$

Rugosidad de la tubería: $0,00006 \text{ m}$

Longitud de la tubería: $11,7 \text{ m}$

Tabla 25: Características de la tubería desde el colector hasta el intercambiador de calor.	
Área de flujo:	$7,89 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	35,48 m/s
Número de Reynolds:	307212,45
Rugosidad relativa:	$1,89 \times 10^{-3}$
Factor de fricción:	0,0238
Caída de presión:	3,21 PSI
Gasto volumétrico:	$0,0279 m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1 ¼ pulgada

Fuente: El autor.

4.3.6.7 Cálculo y selección del aislamiento de las tuberías de vapor

El aislamiento de las tuberías por cuyo interior circula un fluido a mayor temperatura que la temperatura ambiental, es necesario para evitar las pérdidas caloríficas y por lo tanto la disminución de la eficiencia de las calderas.

Para seleccionar el aislamiento debemos tomar en cuenta entre otras las siguientes observaciones:

- a) El material aislante debe ser capaz de soportar la temperatura máxima de operación del fluido que se encuentra circulando por la tubería.
- b) El aislamiento debe estar sujeto a acoplarse adecuadamente sobre la superficie de la tubería y formar una buena unión.
- c) El aislamiento debe ser impermeable en las líneas de tuberías que se encuentren a la intemperie o enterradas, para evitar así la penetración del agua en su interior.
- d) El aislamiento térmico consistirá en una combinación de materiales de alta resistencia al flujo de calor, recubrimiento de protección y correcta instalación.
- e) La eficiencia y tiempo de duración del aislamiento depende directamente de la protección a la entrada de la humedad, y al daño mecánico o químico.
- f) El sistema debe diseñarse para permanecer inalterable en las condiciones de operación.
- g) El aislamiento no debe considerarse solamente como un medio de ahorro de combustible, sino que colabora para el control de la condensación, debido a que las elevadas pérdidas por radiación causadas por un aislamiento insuficiente o

ineficaz provocan condensación excesiva en la línea y con ello se facilita el arrastre de agua por el vapor, el cual se convierte en vapor de mala calidad.

- h) Además de ser el material aislante un medio de protección personal, debe promover la conservación ambiental, sin ser nocivo para la salud del personal que trabaja en las instalaciones. (Ortiz Tulcán, 2003)

Considerando las anteriores recomendaciones, y especialmente por la ultima debemos desechar la opción de aislamiento en los cuales se utiliza materiales que tengan como parte de sus componentes al asbesto, debido a que de acuerdo a estudios médicos es cancerígeno y por lo tanto nocivo para la salud.

A continuación se presenta el procedimiento para la selección de los materiales aislantes.

Para el aislamiento de todas las tuberías de vapor, se selecciona como material cañuelas de lana de vidrio semirígida, con una densidad de 3 lb/pie³ preformada como medias cañas, con foil ASJ traslapado y adhesivo incorporado, con un rango permisible para temperaturas de operación de hasta 454°C.

Para la selección del espesor óptimo y económico del aislante, de acuerdo a la temperatura / presión de trabajo, y para cada diámetro de tubería, los fabricantes Owens Corning, presentan unas tablas para la selección del aislante.

A continuación, presentamos parte de esta información, la misma que nos permitira seleccionar el espesor del aislante lana de vidrio.

Tabla 26: Espesores económicos para el aislante lana de vidrio.

Diámetro nominal del tubo pul (mm)	Características	Temperatura de operación del vapor Presión del vapor		
		250°F 29,8 PSI	350°F 134,6 PSI	450°F 423 PSI
½" (12,7 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1	1½
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	20	36,2	45,9
	Temp. Superficial (F)	92,9	104	102
¾" (19,1 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1	1½
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	24,2	43,7	53,3
	Temp. Superficial (K)	95,8	108	106
1" (25,4 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1½	2
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	25	45,2	49,7
	Temp. Superficial (F)	93,5	105	97,5
1½" (38 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1½	2
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	32,5	46,5	57,6
	Temp. Superficial (F)	95,6	98,2	97,2
2" (51 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1½	2
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	38,2	53	70,2
	Temp. Superficial (F)	96,5	98,7	101
3" (76 mm)	Espesor económico (pulg)	1	1½	2
	Pérdida de calor (BTU/pie/h)	51,6	70,3	91,6
	Temp. Superficial (F)	98,2	101	104

Fuente de información: Fabricantes Owens Corning.

De acuerdo a la tabla 26, presentamos en la siguiente tabla los espesores requeridos para los distintos tramos de tuberías calculados.

Tabla 27: Espesores de aislantes requeridos.

Aislante lana de vidrio para tuberías de vapor				
Tramo de tubeía	Ø (pulg)	Presión maxima (PSI)	Temperatura F, (°C)	Espesor requerido
Conexión calderas al colector de vapor	2 ½ ”	120	353 F (178,3°C)	1,5”
Tramo colector lavandería (B – C)	¾”	110,5	333 F (167°C)	1”
Tramo colector cocina (B – E)				
Aguas arriba	¾”	113,4	334 F (168°C)	1”
Aguas abajo	1 ¼ ”	13,5	334 F (98,4°C)	1”
Tramo colector esterilización (B – D)				
Aguas arriba	½”	106,5	329 F (165°C)	1”
Aguas abajo	¾”	35,8	329 F (129°C)	1”

4.3.7 Dimensionamiento de las tuberías de retorno de condensado

Aquí estamos frente a un aspecto sumamente importante como es la recuperación del condensado, y se refiere de esta manera precisamente porque en el desarrollo de la presente tesis se ha podido comprobar que existe ausencia de tuberías de retorno de condensado para ciertos puntos de consumo. Así, en el Hospital del IESS, solamente se recupera el condensado producto del uso de vapor en el área de lavandería y cocina, mientras que en los otros lugares como en los equipos esterilizadores del quirófano, se está enviando el condensado hacia desagües, con lo cual se está desperdiciando su utilidad.

Existen diversas razones que demuestran que el condensado no debe ser enviado hacia los desagües. El condensado que se forma en las tuberías de distribución y en los equipos de proceso se puede utilizar para la alimentación de las calderas, así el vapor debe completar un ciclo, regresando el condensado al tanque de alimentación de la caldera.

Otra razón para su utilidad es el calor que contiene el condensado, incluso después de haberse aprovechado el revaporizado. Se puede utilizar como agua caliente de proceso, pero la mejor solución es devolverlo al tanque de alimentación de las calderas donde puede ser utilizado sin necesidad de tratamiento con lo que se ahorra combustible, agua de reposición y los costos del tratamiento.

Luego de haber comprendido la importancia de la recuperación del condensado, procedemos a dimensionar las tuberías de retorno del mismo.

El principal problema para el dimensionamiento de este tipo de tuberías es el efecto de revaporizado. El condensado antes de ser descargado por las trampas de vapor, es agua caliente a la presión de trabajo de la instalación.

Una vez descargado pasa a ser agua caliente a la presión de la línea de condensado, más cierta cantidad de revaporizado.

La experiencia indica que si se diseña la tubería de retorno, como si se tratara de una tubería de agua, con el caudal correspondiente a las condiciones de precalentamiento, será capaz de transportar el condensado y revaporizado de régimen.

Cuando no se conoce el caudal de puesta en marcha, en la mayoría de los casos podemos considerar que es igual al doble del régimen. (Ortiz Tulcán, 2003)

En algunos casos, especialmente con presiones altas, debemos aumentar el margen de seguridad de 2,5 a 3 veces el caudal del régimen. Para nuestro caso consideraremos solamente el doble.

Tabla 28: Caudales de condensado.

Caudales de consumo				
Punto	Sección	Flujo disponible (lb/h)	Por factor (2) (lb/h)	Por factor (2) (Kg/h)
D	Quirofano	121	242	109,75
C	Lavanderia	280,4	561	254,33
E	Cocina	252	504	228,57
I	Fisiatria	888	1776	805,44

Fuente: El autor.

Para los distintos puntos de consumo (C, D, E e I) consideraremos el doble del flujo disponible para consumo, así tendremos los siguientes resultados presentados en la tabla 28.

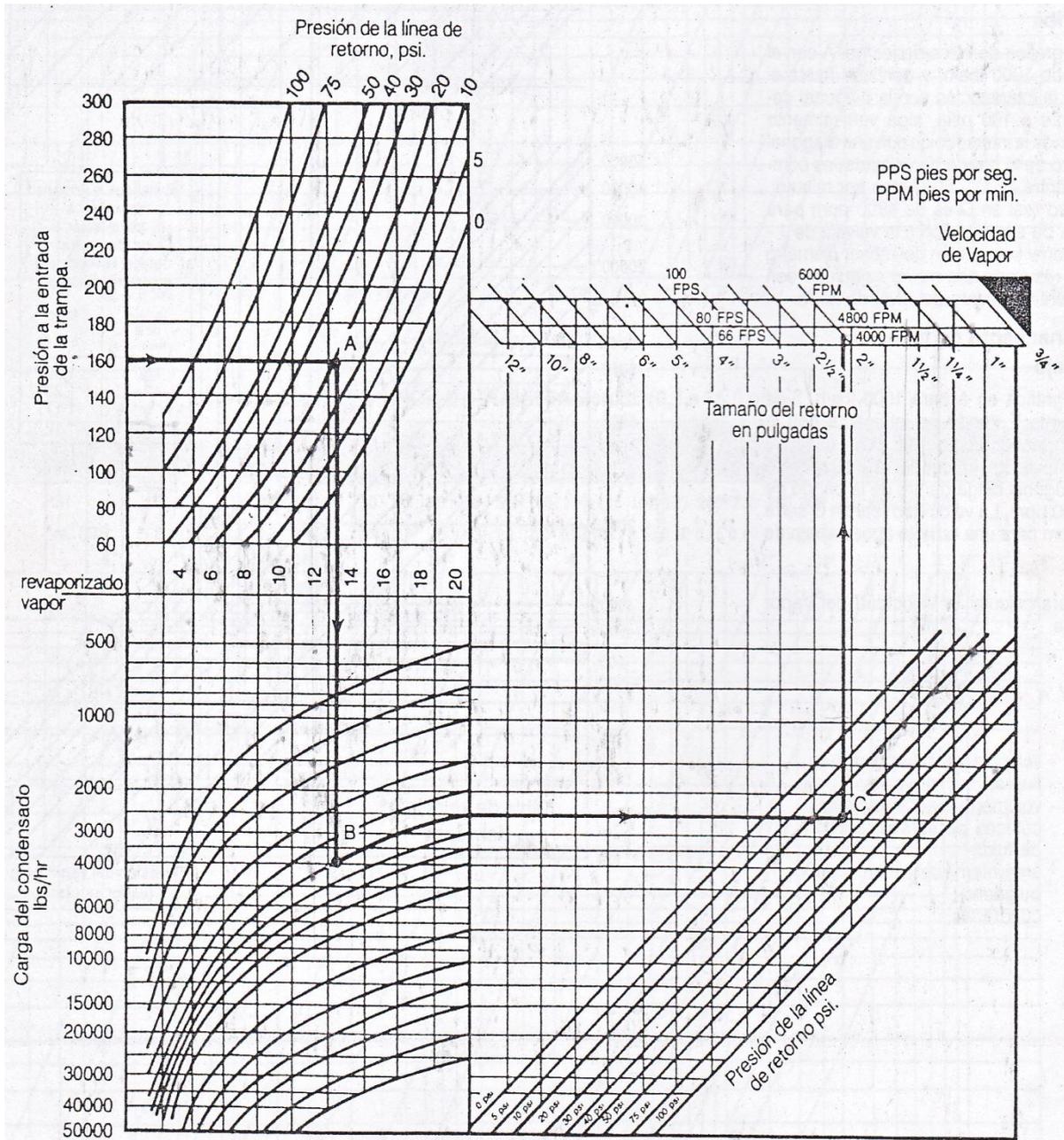


Figura 42: Diagrama para dimensionar las líneas de retorno de condensado.

Fuente de información: Catálogos de Productos Spirax Sarco.

Para el dimensionamiento de las tuberías de retorno de condensado utilizaremos la gráfica de la figura 42, la misma que relaciona el caudal de condensado con la presión a la entrada de la trampa y la presión de la línea de saturación. Para los condensados la presión está entre 5 a 10 PSI, y su velocidad nunca deberá ser mayor a 1 m/seg. (Roldan Erazo, 2007)

4.3.7.1 Tubería desde el colector hasta el tanque de agua de alimentación

Presión a la entrada de la trampa de vapor: 115,5 PSI

Caudal de condensado en la línea de saturación: 4661,52 lb/h

Presión en la línea de condensado: 10 PSI

Para dichos datos según la figura 42, la tubería recomendada para el retorno del condensado desde el punto B será de 2^{1/2} pulgadas.

4.3.7.2 Tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación

Presión a la entrada de la trampa de vapor: 115,5 PSI

Caudal de condensado en la línea de saturación: 561 lb/h

Presión en la línea de condensado: 10 PSI

Por lo tanto la tubería recomendada para el retorno del condensado desde el punto C será de 1 pulgada.

4.3.7.3 Tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación

Presión a la entrada de la trampa de vapor: 14,5 PSI

Caudal de condensado en la línea de saturación: 504 lb/h

Presión en la línea de condensado: 10 PSI

Por lo tanto la tubería recomendada para el retorno del condensado desde el punto E será de 1 pulgada.

4.3.7.4 Tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación

Presión a la entrada de la trampa de vapor: 36 PSI

Caudal de condensado en la línea de saturación: 242 lb/h

Presión en la línea de condensado: 10 PSI

Por lo tanto la tubería recomendada para el retorno del condensado desde el punto D será de 1 pulgada.

4.3.7.5 Tubería desde el intercambiador de calor hasta el tanque de agua de alimentación

Presión a la entrada de la trampa de vapor: 115,5 PSI

Caudal de condensado en la línea de saturación: 1776 lb/h

Presión en la línea de condensado: 10 PSI

Por lo tanto la tubería recomendada para el retorno del condensado desde el punto I será de 1^{1/2} pulgada.

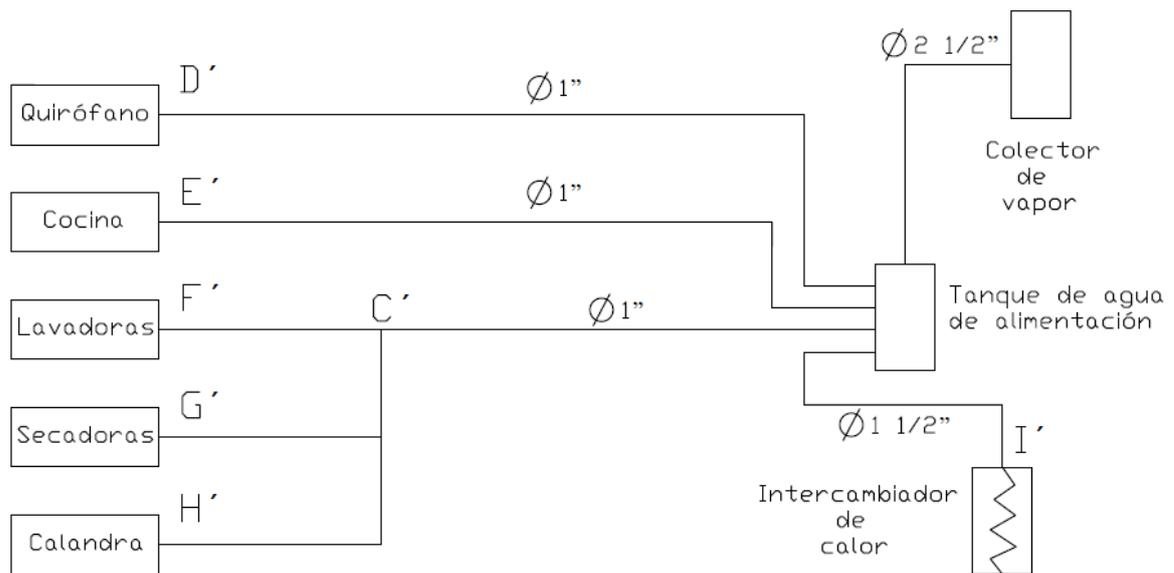


Figura 43: Esquema general de retornos de condensado.

En la figura 43, se puede observar en esquema y de manera resumida las instalaciones de retorno del condensado de los equipos a vapor, de acuerdo a los diámetros de las tuberías calculadas para cada sección.

4.3.7.6 Procedimiento para realizar el dimensionamiento del sistema de retorno de condensado en el Hospital del IESS

Se utiliza la misma metodología empleada para dimensionar las tuberías de vapor, como ya se dijo anteriormente para los condensados la presión está entre 5 a 10 PSI, y su velocidad nunca deber ser mayor a 1 m/seg.

4.3.7.6.1 Tubería desde el colector hasta el tanque de agua de alimentación

Datos para el cálculo:

Presión del agua en la línea de saturación: 10 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 90°C

Densidad del agua en la línea de saturación: 965,3 kg/m³ (ver anexo 1)

Viscosidad del agua en la línea de saturación: $\mu = 0,000315 \text{ Pa.s} = 0,000315 \text{ kg/ms}$ (ver anexo 1)

Flujo del agua en la línea de saturación: $Q = 4662 \text{ lb/h} = 0,59 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 2,5 pulg = 0,0635 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m (ver anexo 10)

Longitud de la tubería: 2,50 m

Área de flujo:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times (0,0635 \text{ m})^2}{4} = 0,00317 \text{ m}^2$$

Velocidad del vapor en la tubería:

$$v = \frac{Q}{A \times \rho}$$

$$v = \frac{0,59 \text{ kg/s}}{3,17 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 965,3 \text{ Kg/m}^3} = 0,19 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds:

$$RE = \frac{v \times D \times \rho}{\mu}$$

$$RE = \frac{0,19 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0635 \text{ m} \times (965,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0,000315 \text{ kg/ms}} = 37555,87$$

Rugosidad relativa:

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{D}$$

$$\varepsilon = \frac{0,00006 \text{ m}}{0,0635 \text{ m}} = 0,000945$$

Factor de fricción:

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{6,81}{RE}^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left[\frac{0,0126}{3,7} + \frac{6,81}{37555,87}^{0,9} \right]$$

$$\frac{1}{f} = 4,83$$

$$f = 0,0249$$

Caída de presión:

$$h_p = \frac{f \times l \times v^2}{D \times 2g}$$

$$h_p = \frac{0,0249 \times 2,50 \text{ m} \times (0,19)^2}{0,0635 \times 2(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 1,81 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta P = h_p \times \rho \times g$$

$$\Delta P = 1,81 \times 10^{-3} \text{ m} \times 965,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17,12 \text{ kg/ms}^2$$

$$\Delta P = 17,12 \text{ Pa} \times \frac{1 \text{ PSI}}{6894,8 \text{ Pa}} = 2,48 \times 10^{-3} \text{ PSI}$$

Diámetro de la tubería de vapor

Se asume que la pérdida de presión es igual a la pérdida de presión por rozamiento (Roldan Erazo, 2007)

$$\Delta P = \Delta P_{roz}$$

Como la velocidad de flujo es una magnitud desconocida, la expresamos mediante el gasto volumétrico V y el diámetro buscado de la tubería.

$$\omega = \frac{V}{0,785 d^2}$$

Luego sustituyendo en la ecuación de la pérdida de presión por rozamiento en tubos y canales rectos tenemos:

$$\Delta P_{roz} = \frac{f \times l \times \omega^2 \times \rho}{2 \times D}$$

$$\Delta P = \frac{f \times l \times V^2 \times \rho}{2(0,785)^2 \times D^5}$$

Despejando el diámetro en esta ecuación, obtenemos:

$$d = \sqrt[5]{\frac{f \times l \times V^2 \times \rho}{2(0,785)^2 \times \Delta P}}$$

Gasto volumétrico:

$$V = \frac{Q}{\rho}$$

$$V = \frac{2114,28 \frac{kg}{h}}{965,3 \frac{kg}{m^3}} = 2,19 \frac{m^3}{h} = 6,08 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Entonces el diámetro de la tubería es igual a:

$$D = \sqrt[5]{\frac{0,0249 \times 2,50 \text{ m} \times (6,08 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s})^2 \times 965,3 \frac{kg}{m^3}}{2(0,785)^2 \times 17,2 \text{ kg/ms}^2}}$$

$$D = 0,0637 \text{ m} \times \frac{1 \text{ pulg}}{0,0254 \text{ m}} = 2,51 \text{ pulg}$$

Los resultados obtenidos de los cálculos serán agrupados en tablas para facilitar su análisis, y se muestran a continuación:

4.3.7.6.2 Tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación

Datos para el cálculo:

Presión del agua en la línea de saturación: 10 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 90°C

Densidad del agua en la línea de saturación: 965,3 kg/m³

Viscosidad del agua en la línea de saturación: $\mu = 0,000315 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,000315 \text{ kg/ms}$

Flujo del agua en la línea de saturación: $Q = 561 \text{ lb/h} = 0,071 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 1 pulg = 0,0254 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 38,2 m

Tabla 29: Características de la tubería desde el área de lavandería hasta el tanque de agua de alimentación.	
Área de flujo:	$5,07 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$0,144 m/s$
Número de Reynolds:	11234,93
Rugosidad relativa:	0,00236
Factor de fricción:	0,0438
Caída de presión:	$0,096 PSI$
Gasto volumétrico:	$7,33 \times 10^{-5} m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1 pulgada

Fuente: El autor.

4.3.7.6.3 Tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación

Datos para el cálculo:

Presión del agua en la línea de saturación: 10 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 90°C

Densidad del agua en la línea de saturación: $965,3 \text{ kg/m}^3$

Viscosidad del agua en la línea de saturación: $\mu = 0,000315 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,000315 \text{ kg/ms}$

Flujo del agua en la línea de saturación: $Q = 504 \text{ lb/h} = 0,064 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 1 pulg = 0,0254 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 25 m

Tabla 30: Características de la tubería desde el área de alimentación y dietética hasta el tanque de agua de alimentación.	
Área de flujo:	$5,07 \times 10^{-4} m^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$0,13 m/s$
Número de Reynolds:	10099,26
Rugosidad relativa:	0,00236
Factor de fricción:	0,0345
Caída de presión:	$0,04 PSI$
Gasto volumétrico:	$3,16 \times 10^{-5} m^3/s$
Diámetro de la tubería:	1 pulgada

Fuente: El autor.

4.3.7.6.4 Tubería desde el área de esterilización hasta el tanque de agua de alimentación

Datos para el cálculo:

Presión del agua en la línea de saturación: 10 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 90°C

Densidad del agua en la línea de saturación: 965,3 kg/m³

Viscosidad del agua en la línea de saturación: $\mu = 0,000315 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,000315 \text{ kg/ms}$

Flujo del agua en la línea de saturación: $Q = 242 \text{ lb/h} = 0,03 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 1 pulg = 0,0254 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 25 m

Área de flujo:	$5,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	$0,061 \text{ m/s}$
Número de Reynolds:	4771,3
Rugosidad relativa:	0,00236
Factor de fricción:	0,0409
Caída de presión:	0,0104 PSI
Gasto volumétrico:	$6,58 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la tubería:	1 pulgada

Fuente: El autor.

4.3.7.6.5 Tubería desde el intercambiador de calor hasta el tanque de agua de alimentación

Presión del agua en la línea de saturación: 10 PSI

Temperatura del agua en la línea de saturación: 90°C

Densidad del agua en la línea de saturación: 965,3 kg/m³

Viscosidad del agua en la línea de saturación: $\mu = 0,000315 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,000315 \text{ kg/ms}$

Flujo del agua en la línea de saturación: $Q = 1776 \text{ lb/h} = 0,22 \text{ kg/s}$

Diámetro nominal de la tubería: 1,5 pulg = 0,0381 m

Rugosidad de la tubería: 0,00006 m

Longitud de la tubería: 3,2 m

Área de flujo:	$1,14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Velocidad del vapor en la tubería:	0,20 m/s
Número de Reynolds:	23339,8
Rugosidad relativa:	0,00157
Factor de fricción:	0,0284
Caída de presión:	0,00668 PSI
Gasto volumétrico:	$2,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Diámetro de la tubería:	1,52 pulgada

Fuente: El autor.

Todas la tuberías y accesorios requeridos para este sistema de retorno de condensado, así como también las tuberías de vapor con sus respectivos accesorios serán de acero inoxidable 304 utilizados para sistemas de vapor.

4.3.7.8 Selección de aislamientos para tanque de agua de alimentación y conjunto de accesorios

Con el fin de mantener el tanque de agua de alimentación lo más aislado posible, y así evitar las pérdidas que se producen luego de ser puestas fuera de servicio diariamente las calderas aproximadamente desde las 19:00 horas hasta las 07:00 que se las pone en servicio nuevamente, es recomendable aislarlo para lo cual se puede seleccionar un material de fibra de vidrio semirrígida denominado insul quick, el cual presenta una densidad de 3 lb/pie^3 , no se desmorona, ni tampoco se cuartea o escurre cuando es sometido a altas condiciones de vibración, y es utilizado eficientemente para aislar tanques con superficies planas o cilíndricas.

En las instalaciones de vapor, existe además la necesidad de aislar otros elementos para evitar pérdidas de calor significativas y riesgo de quemaduras, por ejemplo conjunto de accesorios como válvulas de diferentes tipos, en las cuales el aislante deberá acoplarse y a la vez permitir realizar trabajos rutinarios de mantenimiento. Por tal razón los

fabricantes han puesto al mercado materiales que permiten realizar estas tareas, así debemos seleccionar chaquetas reutilizables, fabricadas a partir de textiles de fibra de vidrio, la tela exterior con silicona para volverlas impermeables y la interior resistente a la alta temperatura.

Finalmente es necesario mantener y cuidar el buen estado del aislante para que cumpla eficazmente su función.

4.3.8 Trampas de vapor

Una trampa de vapor es una “válvula automática” capaz de distinguir la diferencia entre vapor y condensado, siendo su función descargar el condensado sin permitir el escape del vapor. Esta simple pero fundamental acción permitirá evitar pérdidas de energía importantes y por lo tanto representara un ahorro económico. Adicionalmente cuando se corta el vapor, el aire ocupara todo el espacio interior de cualquier equipo utilizado, y este debe ser eliminado del sistema en el arranque; y es la trampa de vapor la que eliminara el aire indeseable como también los gases no condensables del sistema de vapor. (Ortiz Tulcán, 2003)

Para el sistema de vapor del Hospital del IESS, y debido a la importante función que desempeñan las trampas de vapor, estas deberán ser instaladas en los lugares tales como:

- a) Donde el vapor calienta directamente materiales sólidos como en los equipos esterilizadores.
- b) Donde el vapor indirectamente calienta un líquido a través de una superficie metálica, como en las marmitas.
- c) Donde el vapor calienta un sólido a través de superficies metálicas como en las secadoras-planchadoras.
- d) En lugares cruciales de la instalación, que se detallaran posteriormente en la selección y distribución de las trampas.

4.3.8.1 Selección de trampas de vapor

Brevemente señalemos que existen 4 grupos principales de trampas:

4.3.8.1.1 Grupo termostático

Estas trampas identifican el vapor y el condensado mediante la diferencia de temperatura a la cual opera sobre un elemento termostático. El condensado debe enfriarse por debajo de la temperatura del vapor antes de ser eliminado.

4.3.8.1.2 Grupo mecánico

Las trampas de este tipo operan mecánicamente por la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. El movimiento de un flotador o un balde actúa sobre la válvula de salida.

4.3.8.1.3 Grupo termodinámico

Estas trampas trabajan por la diferencia de velocidad entre el vapor y el condensado. La válvula consiste en un disco que cierra con la alta velocidad del revaporizado y abre con la baja velocidad del condensado.

4.3.8.1.4 Otros tipos

Aquí se reúnen otras trampas que no pueden ser situadas en una de las categorías anteriores, y que utilizan otros principios como por ejemplo las trampas tipo impulso, tipo laberinto, placa orificio, etc.

Cada tipo de trampa tiene sus ventajas y limitaciones que deben considerarse en la selección, y además no debemos contentarnos con que la trampa trabaje moderadamente bien, sino que debemos alcanzar la máxima eficiencia en todos los equipos que usan vapor, esto significa que debemos seleccionar una trampa para cada aplicación concreta.

Por lo tanto debemos considerar los siguientes factores en la selección de trampas para el sistema de vapor del Hospital del IESS:

- 1. Anegamiento por condensado.-** En la mayoría de los equipos es deseable y muchas veces imprescindible, descargar el condensado tan pronto como se forma. Las trampas tipo mecánico son idóneas para aplicaciones que requieran una rápida eliminación del condensado. Las trampas del tipo termostático no drenan el condensado hasta que éste se ha enfriado una cantidad de grados por

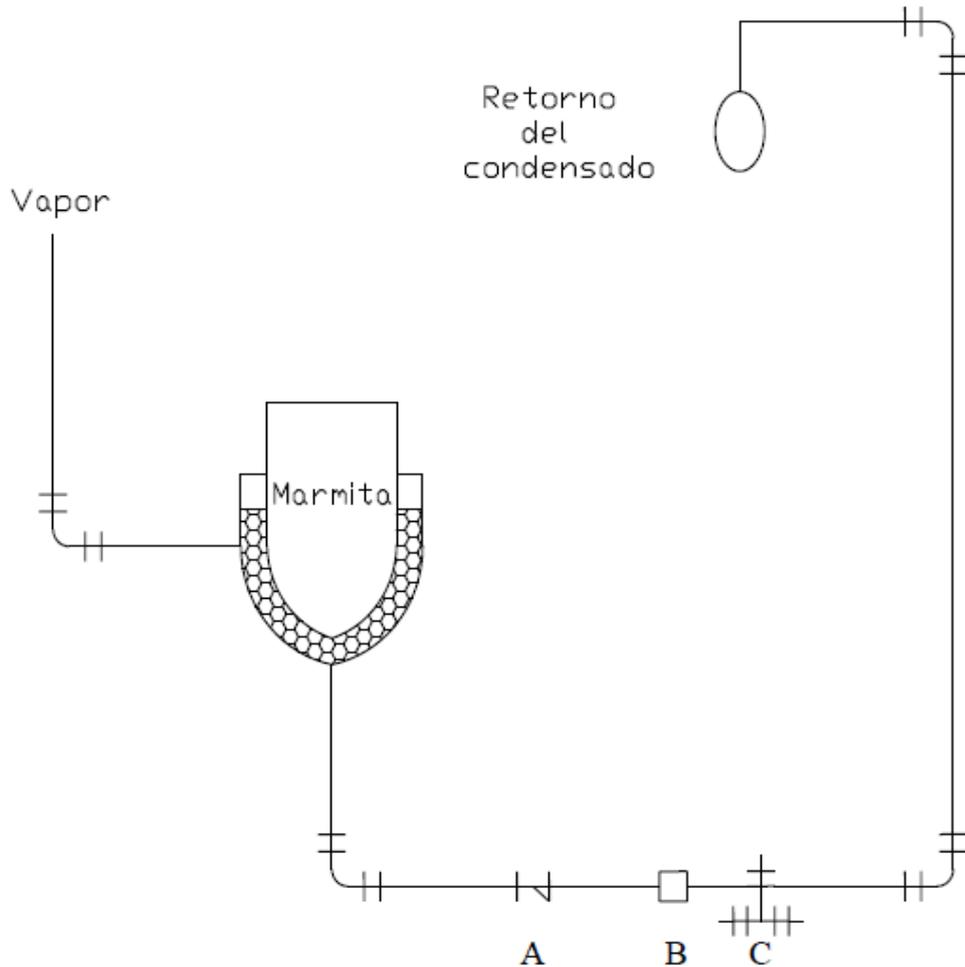
debajo de la temperatura del vapor, con lo que se produce un cierto anegamiento del espacio destinado a éste. Un ejemplo de este tipo de trampas termostáticas es el de presión balanceada.

- 2. Elevación del condensado.-** La velocidad a la cual la trampa puede descargar el condensado depende del tamaño del orificio de la válvula y de la presión diferencial o diferencia de presión entre la entrada y la salida de la trampa. Si una trampa descarga a la atmósfera, la presión diferencial a través de la misma es igual a la presión de entrada, lo mismo sucede si la trampa descarga en una línea de retorno situada a nivel inferior y que permite al condensado llegar, por gravedad, hacia el tanque de alimentación de las calderas (sería el caso de las trampas a ser instaladas en los equipos esterilizadores de quirófano, que está situado en el segundo piso).

Siempre es preferible instalar la trampa por debajo del punto de drenaje de la unidad en cuestión, como se indica en la figura 44.

A demás la trampa se la instalara cerca de la unidad a drenar, precedida de un filtro y seguida de una válvula de retención, para evitar que el condensado llene la parte destinada al vapor durante las paradas.

- 3. Golpes de ariete.-** La energía liberada en los golpes de ariete puede ser suficiente como para romper algún elemento de la instalación. Así, es aconsejable instalar una trampa robusta como la termodinámica, la de balde invertido o la bimetálica cuando existan riesgos para producirse golpes de ariete.



A.- Filtro

B.- Trampa de vapor: tipo flotador – termostática

C.- Válvula de retención

Figura 44: Ubicación del conjunto trampa – filtro en las unidades a drenar.

4. Condensado corrosivo.- El agua no es suficientemente pura como para poderla usar directamente en la alimentación de las calderas, por lo tanto se requiere cierto tipo de tratamiento químico.

Esto puede facilitar la presencia de sólidos disueltos y gases tales como el oxígeno y dióxido de carbono, los cuales a una determinada concentración pueden disolverse en el condensado, convirtiéndolo en corrosivo.

La mejor manera de eliminar la corrosión es su origen, por esta razón una trampa de vapor que permita una correcta eliminación del aire y que drene el condensado a la temperatura del vapor, no permitirá daños por corrosión en el

sistema. Este requerimiento lo cumple la trampa tipo mecánico de flotador con eliminador termostático de aire. (Ortiz Tulcán, 2003)

Se puede resumir los factores de selección antes mencionados presentando una guía de selección de trampas de vapor, la cual nos servirá para comprobar el requerimiento de 2 tipos de trampas para la instalación de vapor en el Hospital del IESS:

1. Trampas tipo termodinámicas para los tramos de tuberías de vapor principales.
2. Trampas tipo mecánico de flotador con eliminador termostático de aire (flotador-termostático) para los equipos como marmitas, esterilizadores, maquinas lavadoras, secadoras y planchas.

Para poder seleccionar una trampa de vapor se deben conocer los siguientes datos del sistema de retorno de condensado:

- Factor de seguridad recomendado
- Caudal de condensado que va a separar
- Presión máxima permitida
- Presión diferencial entre la entrada y la salida de la trampa

La tabla 33 presenta una guía para la selección de trampas de vapor:

Tabla 33: Guía de selección de trampas de vapor.

APLICACIÓN	PRIMERA ALTERNATIVA	SEGUNDA ALTERNATIVA
Línea de vapor		
Hasta 30 PSIG	Flotador y termostática	Balde invertido
30-400 PSIG	Termodinámica	Balde invertido
En separadores de vapor		
0 – 15 PSIG	Flotador y termostática
16 – 125 PSIG	Termostática	Flotador y termostática
126 – 600 PSIG	Termodinámica	Balde invertido
Calentador de agua		
Instantáneo	Flotador y termostática
Almacenamiento	Flotador y termostática
Esterilización		
Autoclaves	Flotador y termostática	De impulso
Autoclaves de colchones	Termostática	Balde invertido
Esterilizador de agua	Termostática	De impulso
Destilador de agua	Termostática	De impulso
Lavandería		
Lavadoras	Flotador y termostática	Balde invertido
Preparadores de jabón y almidón	De impulso	Balde invertido
Secadoras	Flotador y termostática	De impulso
Planchadoras tipo prensa	Balde invertido	De impulso
Planchadoras tipo rodillo	Flotador y termostática	Balde invertido
Equipos para procesos		
Marmitas	Flotador y termostática	De impulso
Baño de maría	Balde invertido	De impulso
Cafeteras	Balde invertido	De impulso
Horno de cocción	Balde invertido	De impulso
Mesa caliente	Balde invertido	De impulso
Lavaplatos	Impulso invertido	Termodinámica

Fuente de información: Catálogo de productos Spirax Sarco.

Para el área de Lavandería, según la tabla 33 lo más apropiado sería una trampa de Flotador y Termostática para las lavadoras, las secadoras y para el planchador tipo rodillo.

Para el área de cocina, lo más apropiado sería el caso de marmitas, en este caso la trampa recomendada sería la de Flotador y Termostática.

Para el área de Esterilización, lo más apropiado sería el caso de Autoclaves, para esto la trampa recomendada sería la de Flotador y Termostática.

Para el caso de la trampa que se desea colocar en el colector de vapor, según la tabla 33 lo más apropiado sería una trampa Termodinámica, ya que esta es la que se emplea para drenar líneas principales de vapor.

A continuación se dimensionan las trampas de vapor que se necesitan instalar a la salida de cada equipo y en el colector de vapor. Con respecto a la cantidad de condensado que se desea descargar, se debe tener en cuenta que el vapor se condensara más rápidamente en el arranque, es decir cuando el sistema esta frio, por esta razón es una práctica común dimensionar la trampa para descargar el doble del condensado presente en la marcha normal. Estos valores ya los conocemos fueron calculados y presentados en la tabla 28, para las diferentes secciones:

Quirófano : 242 lb/h

Lavandería : 561 lb/h

Cocina : 504 lb/h

Para la selección de las trampas requeridas para los diferentes equipos como esterilizadores, marmitas de la cocina, máquinas para lavar y planchar, utilizaremos por un lado la tabla 63 del anexo 16 y por otro la figura 45 que viene a ser una representación gráfica de las capacidades de condensado vs la presión diferencial.

Se puede evaluar la presión diferencial como la presión necesaria para vencer las perdidas hasta llegar al destino del condensado (tanque de condensado), y además considerar un cierto factor de seguridad. (Ortiz Tulcán, 2003)

Para la sección de los esterilizadores del quirófano, el caudal de condensado será de 242 lb/h, la máxima presión de operación será 36 PSI como el tanque de condensados operara a una presión de 10 PSI, entonces la presión diferencial debe ser como máximo 26 PSI para la trampa que se colocara en esterilización.

Utilizando la figura 45 con caudal de condensado 242 lb/h y presión diferencial 26 PSI, tenemos una selección de una trampa de flotador termostática modelo FT 14-14 que puede soportar presiones de hasta 200 PSI.

Para la sección de las marmitas, el caudal de condensado será de 504 lb/h, la máxima presión de operación será 14,5 PSI como el tanque de condensados operara a una presión de 10 PSI, entonces la presión diferencial debe ser como máximo 4,5 PSI para la trampa que se colocara en las marmitas.

Utilizando la figura 45 con caudal de condensado 504 lb/h y presión diferencial 4,5 PSI, tenemos una selección de una trampa de flotador termostática modelo FT 14-10 que puede soportar presiones de hasta 145 PSI.

Para la sección de las maquinas lavadoras, el caudal de condensado será de 240 lb/h, la máxima presión de operación será 58 PSI, como el tanque de condensados operara a una presión de 10 PSI, entonces la presión diferencial debe ser como máximo 48 PSI para la trampa que se colocara en las lavadoras.

Utilizando la figura 45 con caudal de condensado 240 lb/h y presión diferencial 48 PSI, tenemos una selección de una trampa de flotador termostática modelo FT 14-14 que puede soportar presiones de hasta 200 PSI.

Para la sección de las maquinas secadoras, el caudal de condensado será de 142 lb/h, la máxima presión de operación será 72,5 PSI, como el tanque de condensados operara a una presión de 10 PSI, entonces la presión diferencial debe ser como máximo 62,5 PSI para la trampa que se colocara en las secadoras.

Utilizando la figura 45 con caudal de condensado 142 lb/h y presión diferencial 62,5 PSI, tenemos una selección de una trampa de flotador termostática modelo FT 14-14 que puede soportar presiones de hasta 200 PSI.

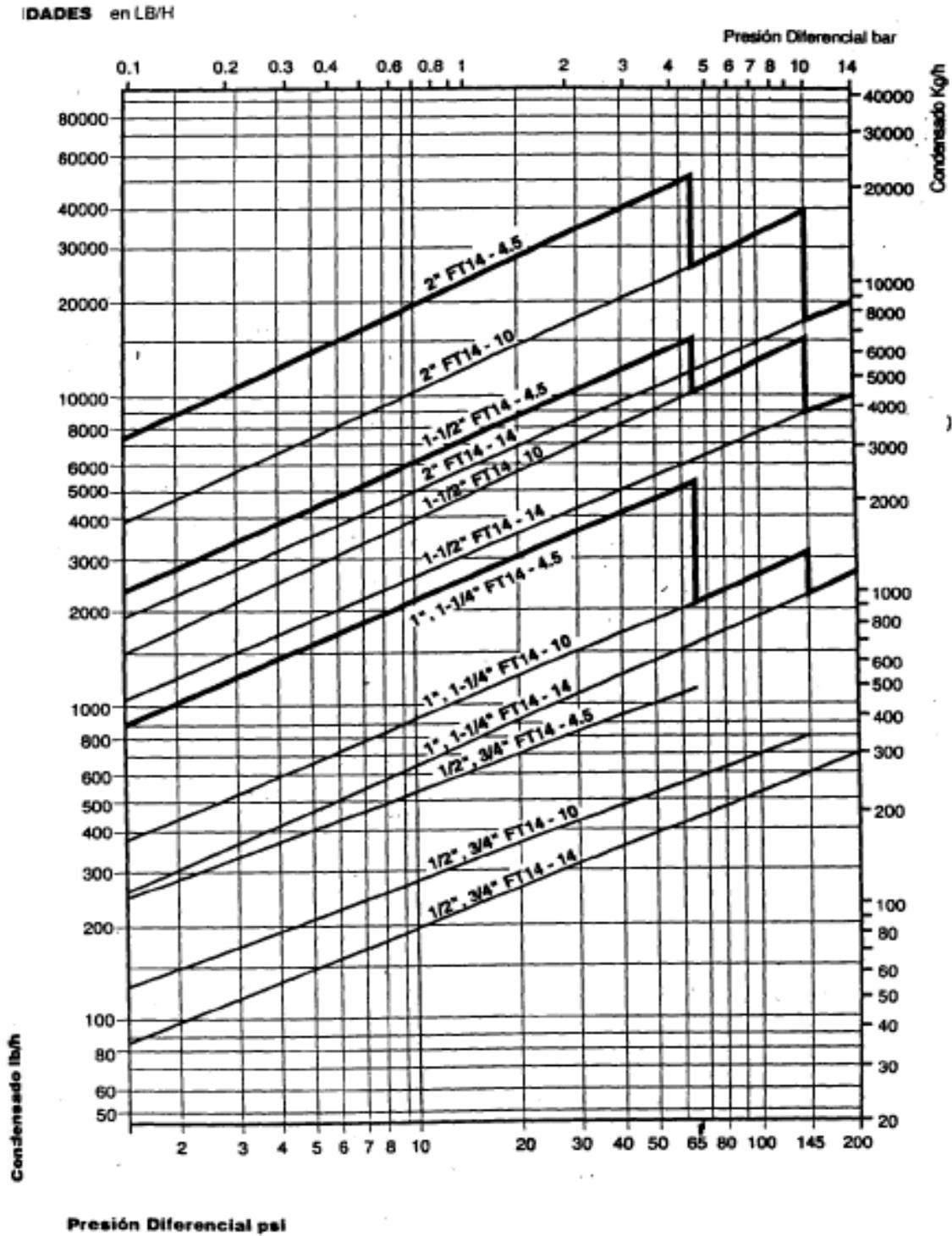


Figura 45: Trampas de vapor de Flotador y Termostáticas.

Fuente de información: Catálogo de productos Spirax Sarco.

A continuación se seleccionarán las trampas que se instalarán en los tramos de tuberías principales con el fin de eliminar la posibilidad de acumulación de agua. Existe en el

mercado una trampa termodinámica TD52 que tiene como aplicación típica el drenaje de líneas principales, mediante una pierna colectora de condensado conectada a la tubería principal.

Esta trampa termodinámica TD52 tiene importantes características y beneficios. Seleccionaremos la trampa TD52 de 1 pulgada, de acuerdo a la tabla 34 es decir considerando una presión de 150 psi tendrá una capacidad de descarga de condensado de 2200 lb/h, que constituye una alta capacidad si consideramos que cada caldera producirá en su máxima potencia 2070 lb/h de vapor.

Tabla 34: Selección de trampas Termodinámicas.

TRAMPA TERMODINÁMICA TD – 52				
Capacidades en lb/h de condensado caliente				
Presión de entrada (PSI)	3/8" TD52 1/2" TD52L	1/2" TD52 3/8" TD52L	TD52 3/4"	TD52 1"
3,5	180	300	405	640
5	185	310	420	670
10	190	345	470	725
20	200	410	560	865
30	215	465	640	980
50	245	575	810	1200
75	305	700	1000	1470
100	370	810	1160	1750
150	500	1000	1450	2200
200	610	1140	1670	2600
250	700	1270	1900	2900
300	790	1410	2100	3250
350	880	1530	2250	3500
400	960	1630	2430	3780
450	1050	1730	2600	4020
500	1100	1830	2750	4250
550	1160	1910	2900	4450
600	1250	2000	3050	4700

Fuente de información: Tesis Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval.

4.3.8.2 Distribución de accesorios

La distribución de las trampas de vapor y de los accesorios en el sistema de vapor del Hospital del IESS, y seleccionadas en el numeral anterior, se las puede agrupar en tres grupos básicos:

- a) En los tramos de tuberías principales que salen de las calderas.
- b) A lo largo de las tuberías de vapor.
- c) En los equipos.

A continuación se pone a consideración el esquema de instalación de uno de los equipos existentes en el proceso (autoclave), los demás esquemas por ser parecidos, se los puede observar a partir del anexo 33 del presente trabajo de investigación, se detallara la distribución en cada sección, y además se indicara los diferentes tipos de accesorios requeridos como válvulas y filtros, que deberán formar un conjunto con las trampas seleccionadas.

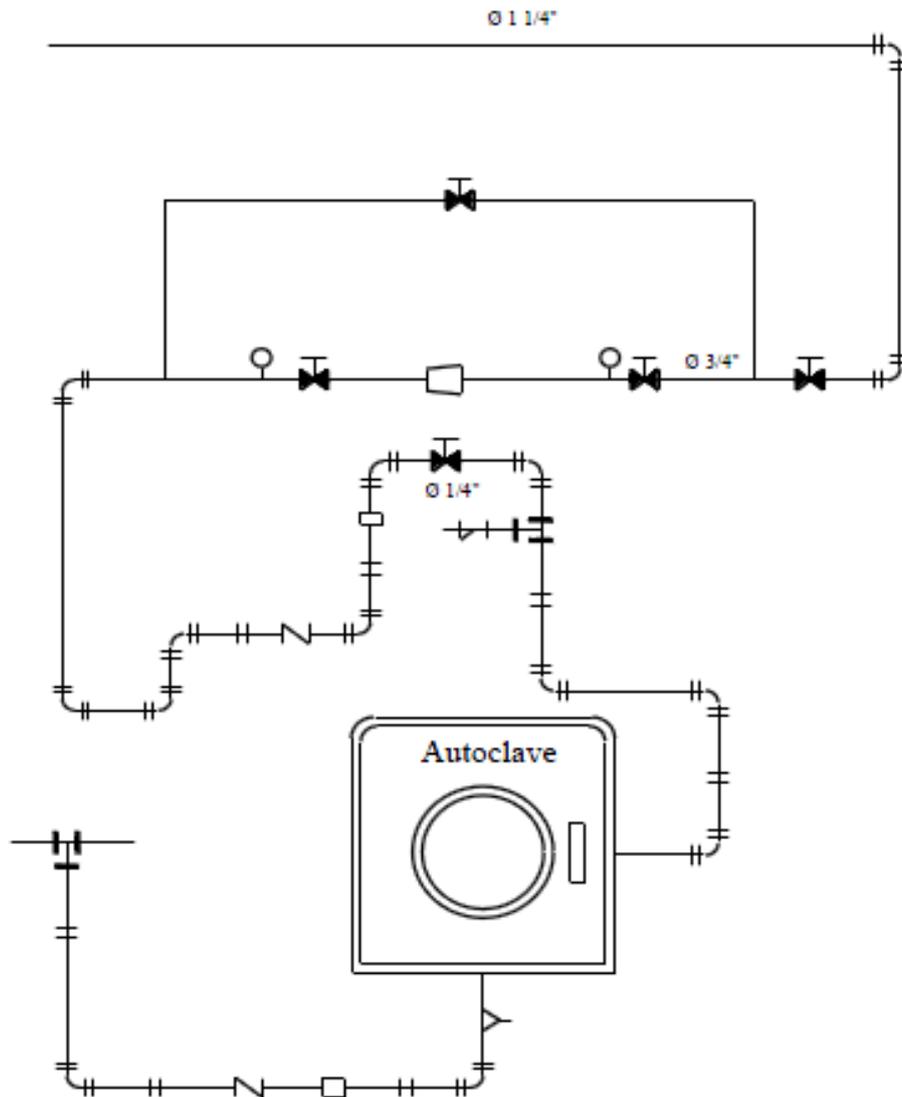


Figura 46: Instalación de la autoclave existente en el Hospital del IESS.

4.3.9 Cálculo y selección del ablandador de agua

El ablandamiento, es un tratamiento externo del agua a ser utilizada en las calderas, y tiene como objetivo evitar la presencia de impurezas provenientes de sales de calcio y magnesio, que además producen incrustaciones que son indeseables en las calderas. La presencia de incrustaciones causa muchos problemas en las calderas y tuberías, así entre los principales podemos señalar a los siguientes:

- Pérdida de eficiencia de las calderas, debido a que en las superficies de calentamiento, las incrustaciones reducen la cantidad de calor transmitido, lo que representa un aumento de la resistencia a vencer por parte del calor.

- Mayor consumo de combustible, se ha llegado a determinar que por ejemplo 25 mm de incrustaciones ocasiona un 16% adicional de combustible gastado.
- Recalentamiento de los tubos, con el consiguiente debilitamiento del material de los mismos.
- Corrosión acentuada bajo las incrustaciones.

Para seleccionar un ablandador de agua se debe considerar dos parámetros fundamentales que son la capacidad de retiro de la dureza y el sistema de control de la regeneración.

En cuanto a la capacidad del retiro de la dureza, entre las regeneraciones, esta depende de la cantidad de agua requerida diariamente para producir el vapor en las calderas y de la dureza del agua utilizada. Los ablandadores con capacidades pequeñas deben regenerar más a menudo.

Para determinar la necesidad diaria del retiro de la dureza, se debe multiplicar la cantidad de agua requerida diariamente por las calderas (medida en galones) por la dureza del agua utilizada (medida en granos por galón). (Ortiz Tulcán, 2003)

Este cálculo se lo realiza en base a los siguientes datos conocidos:

- 2 calderas de 60 BHP (considerando al máximo requerimiento).
- Pruebas de dureza para el agua que ingresa al ablandador:
Los datos obtenidos por parte del jefe de mantenimiento del Hospital indican que la dureza del agua se encuentra alrededor de 120 ppm.
Factor de conversión 1 ppm = 0,058 granos por galón.
- Horas diarias de operación de la caldera: 12 horas (máximo).
- Se conoce que se requieren 0,069 GPM de agua por cada HP.

Considerando un retorno de condensado del 100%:

$$1 \times 2 \text{ cald.} \times 60 \text{ BHP} \times 0,069 \text{ GPM} \times 12 \text{ h} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times 120 \text{ ppm} \times \frac{0,058 \text{ gPG}}{1 \text{ ppm}}$$

= 41493 granos

Es decir la capacidad de remoción requerida de dureza diaria $\approx 41 \text{ K}$

Con estos resultados se puede seleccionar el ablandador, de acuerdo a los catálogos seleccionados. Por ejemplo una alternativa sería un ablandador E-watertechnologies modelo Scws – 60 – 1,5: con una capacidad máxima para remoción de dureza de 60 K (60000 granos), un flujo de agua de 27 GPM continuo y un pico de 40 GPM suficiente para abastecer a las 2 calderas.

Los ablandadores E-watertechnologies tienen controles electrónicos o mecánicos, reloj de tiempo para programar (timer), y contador del agua o control de agua – sensor.

En la tabla 35, se presenta los diferentes modelos de ablandadores de los fabricantes E-watertechnologies, y señalamos el ablandador Scws 60 – 1,5 seleccionado.

Tabla 35: Modelos de ablandadores E-watertechnologies para agua.

E-watertechnologies								
Modelo #	Max. Grains Removal	Tamaño del Tanque	Medios (Cu pie)	Sal libras	Tamaño de la Pipa	Tamaño del Tanque de la Salmuera	Caudal Continuo (1)	Caudal Max. (2)
Scws-60-1	60K	12x52	2	30	1	18x40	16	21
Scws-60-1,5	60K	12x52	2	30	1,5	18x40	27	40
Scws-60-2	60K	12x52	2	30	2	18x40	32	50
Scws-90-1	90K	14x65	3	45	1	18x40	17	22
Scws-90-1,5	90K	14x65	3	45	1,5	18x40	31	43
Scws-90-2	90K	14x65	3	45	2	18x40	39	53
Scws-120-1	120K	16x65	4	60	1	24x40	18	23
Scws-120-1,5	120K	16x65	4	60	1,5	24x40	35	45
Scws-120-2	120K	16x65	4	60	2	24x40	48	65
Scws-150-1	150K	21x62	5	75	1	24x40	20	25
Scws-150-1,5	150K	21x62	5	75	1,5	24x40	42	57
Scws-150-2	150K	21x62	5	75	2	24x40	68	85
Scws-180-1	180K	21x62	6	90	1	24x54	19	24
Scws-180-1,5	180K	21x62	6	90	1,5	24x54	41	54
Scws-180-2	180K	21x62	6	90	2	24x54	64	81

Fuente de información: (Ortiz Tulcán, 2003).

4.3.10 Cálculo de pérdidas energéticas

Para el cálculo se secciona por líneas de distribución, esto es la línea que alimenta desde el caldero de 64 BHP hasta el colector, y desde el colector en 3 redes que distribuyen el vapor hacia Cocina, Lavandería y Central de Esterilización. En los planos están representadas las distribuciones de las tuberías así como los tramos que nos ha

permitido realizar una evaluación pormenorizada del estado en que se encuentran cada una de ellas.

4.3.10.1 Pérdida en la red caldero 1 64 BHP – colector

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 101.6 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 8,6 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud (anexo 13)

Bridas: 7 → 2 m

Codos: 3 → 4,32 m

Cortadora: 1 → 0,958 m

Codo normal con bridas: 1 → 0,75 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 2 + 12,96 + 0,958 + 0,75 = \mathbf{16,668 \text{ m}}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 158,37^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 128,37^\circ\text{C} \rightarrow 263,066 \text{ F}$$

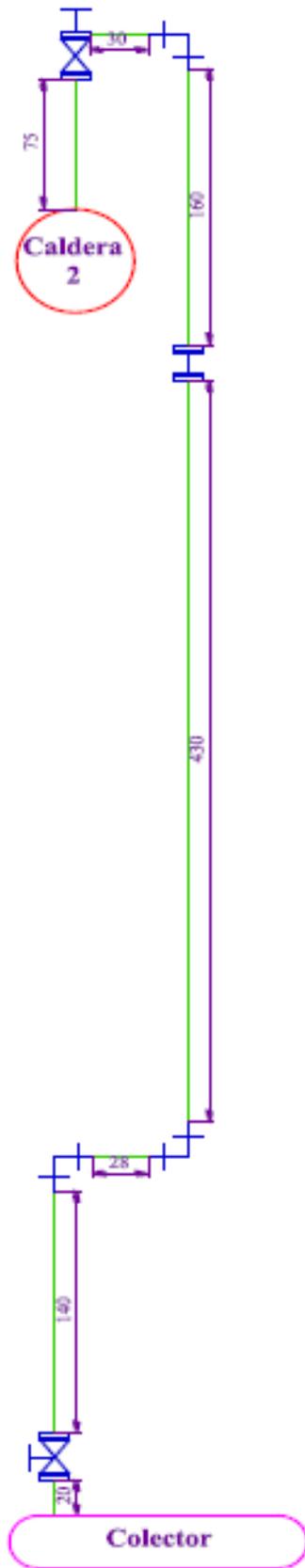


Figura 47: Red caldero 1 de 64 HP – colector.

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 1025 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2177,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

m = Tasa de condensación (kg / h)

Q = Emisión de calor (W / m)

L = longitud de la tubería, considerando las bridas y accesorios (m)

hfg = entalpía específica de evaporación (kJ / kg) (anexo 2)

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada:

$$m = \frac{1025 \text{ W/m} \times 8,6 \text{ m} \times 3,6}{2177,64 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 1,46 \text{ kg/h}$$

Accesorios sin aislar:

$$m = \frac{1025 \text{ W/m} \times 16,668 \text{ m} \times 3,6}{2177,64 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 28,24 \text{ kg/h}$$

Total de la tasa de condensación:

$$m_T = 1,46 + 28,24 = 29,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 65,4 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

4.3.10.2 Pérdida en la red caldero 2 64 BHP – colector

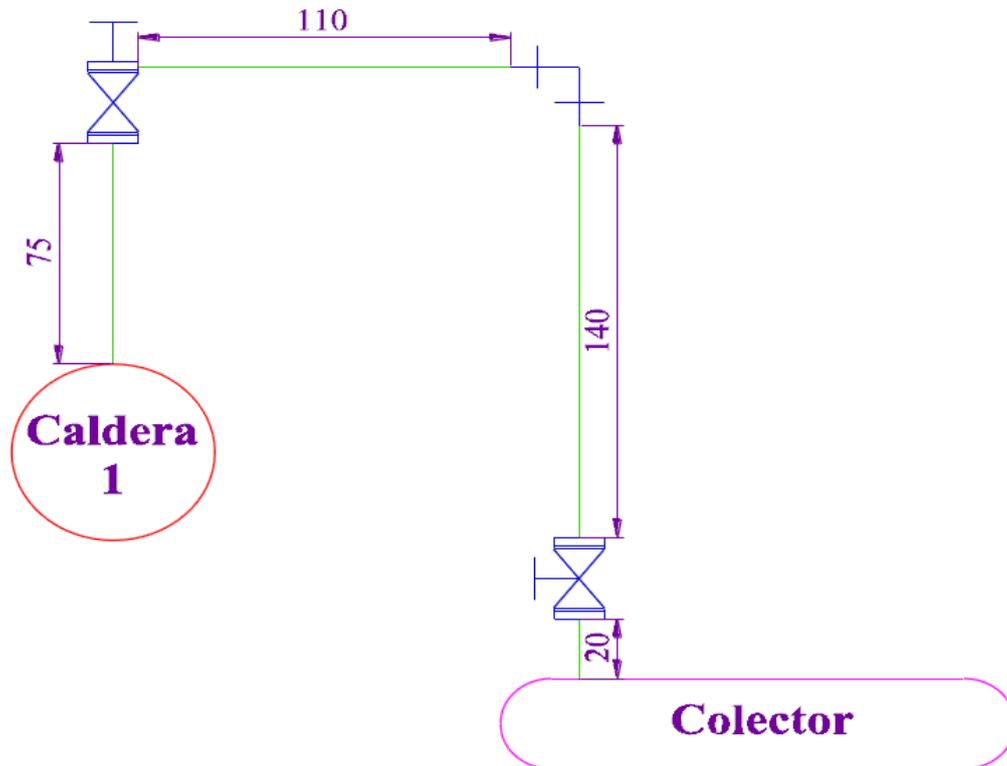


Figura 48: Red caldero 2 de 64 HP – colector.

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 101,6 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 3,25 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Bridas: 1 → 0,5 m

Codos: 1 → 4,32 m

Codo normal con bridas: 1 → 0,75 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 0,5 + 4,32 + 0,75 = 5,75 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 158,37^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 128,37^{\circ}\text{C} \rightarrow 263.066 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 1025 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2177,64 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

m = Tasa de condensación (kg / h)

Q = Emisión de calor (W / m)

L = longitud de la tubería, considerando las bridas y accesorios (m)

hfg = entalpía específica de evaporación (kJ / kg)

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada:

$$m = \frac{1025 \text{ W/m} \times (3,25 + 4,32) \times 3,6}{2177,64 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 1,17 \text{ kg/h}$$

Accesorios sin aislar:

$$m = \frac{1025 \text{ W/m} \times 1,25 \text{ m} \times 3,6}{2177,64 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 2,12 \text{ kg/h}$$

Total de la tasa de condensación:

$$m_T = 1,17 + 2,12 = 3,28 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 7,24 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

4.3.10.3 Pérdidas en la red colector – central de esterilización

Tramo 1 – 2

$$P_{\text{vapor}} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{\text{tub}} = 31,75 \text{ mm}$$

$$L_{\text{aisl}} = 3,85 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 2 → 1,49 m

Válvula de compuerta: 1 → 0,958 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{\text{accs}} = 2,98 + 0,958 = 3,94 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{\text{vap}} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{amb}} = 33^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{\text{vap}} - T_{\text{amb}} = 123,89^\circ\text{C} \rightarrow 255^\circ\text{F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 301 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H2O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2190,53 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,3 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada:

Codos aislados

$$m = \frac{301 \text{ W/m} \times (3,85 \text{ m} + 2,98 \text{ m}) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 0,3 = 1,01 \text{ kg/h}$$

Accesorios sin aislar:

$$m = \frac{301 \text{ W/m} \times 0,958 \text{ m} \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 0,47 \text{ kg/h}$$

Total de la tasa de condensación:

$$m_T = 1,01 + 0,47 = 1,48 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 3,28 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 2 – 3

$$P_{\text{vapor}} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{\text{tub}} = 31,75 \text{ mm}$$

$$L_{\text{aisl}} = 64,2 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 6 → 1,49 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 8,94 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 126,89^\circ\text{C} \rightarrow 260.4 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 301 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2182,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,5 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{301 \text{ W/m} \times (64,2 \text{ m} + 8,94 \text{ m}) \times 3.6}{2182,45 \text{ kJ/kg}} \times 0,5 = 18,16 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 39,98 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 3 – 4

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 31,75 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 2,4 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 3 → 1,49 m

Válvula de compuerta: 2 → 0,958 m

Te: 1 → 0,9 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 4,47 + 1,916 + 0,9 = 7,286 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 32^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 124,89^\circ\text{C} \rightarrow 256.8 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 301 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2187,657 \frac{kJ}{kg}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{301 \text{ W/m} \times (2,4 \text{ m} + 7,286 \text{ m}) \times 3,6}{2187,657 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 0,479 \frac{kg}{h} = 1,06 \frac{lb}{h}$$

Tramo 4 – 5

$$P_{cald} = 55 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 19,05 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 4,05 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 5 → 1,2 m

Válvula de compuerta: 3 → 0,958 m

Te: 3 → 0,8 m

Bridas: 1 → 0,5 m

Antiretorno: 1 → 2 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 6 + 2,874 + 2,4 + 0,5 + 2 = 13,774 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 140,52^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 110,524^{\circ}\text{C} \rightarrow 230,943 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 181 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2216,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 1 por encontrarse las tuberías sin aislamiento:

Tubería sin aislar y accesorios sin aislar

$$m = \frac{181 \text{ W/m} \times (4,05 \text{ m} + 13,774 \text{ m}) \times 3,6}{2216,59 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 5,24 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 11,58 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 5 – 6

$$P_{cald} = 55 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 12,7 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 1,8 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 5 → 1,1 m

Válvula de compuerta: 2 → 0,958 m

Te: 1 → 0,7 m

Reductor: 1 → 0,215 m

Antiretorno: 1 → 2 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 5,5 + 1,916 + 0,7 + 0,215 + 2 = 10,331 m$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 140,52^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 110,524^{\circ}\text{C} \rightarrow 230,943 F$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 149 W/m$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2216,59 \frac{kJ}{kg}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 1 por encontrarse las tuberías sin aislamiento:

Tubería sin aislar y accesorios sin aislar

$$m = \frac{149 \text{ W/m} \times (1,8 \text{ m} + 10,337 \text{ m}) \times 3,6}{2216,59 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 2,94 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 6,47 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 6 – 7

$$P_{cald} = 55 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 12,7 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 8,2 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 10 → 1,1 m

Válvula de compuerta: 3 → 0,958 m

Te: 3 → 0,7

Antiretorno: 3 → 2 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 11 + 2,874 + 2,1 + 6 = 21,974 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 140,52^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 110,524^\circ\text{C} \rightarrow 230,943 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 149 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H2O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2216,59 \frac{kJ}{kg}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 1 por encontrarse las tuberías sin aislamiento:

Tubería sin aislar y accesorios sin aislar:

$$m = \frac{149 \text{ W/m} \times (8,2 \text{ m} + 21,974 \text{ m}) \times 3,6}{2216,59 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 7,3 \frac{kg}{h} = 16,08 \frac{lb}{h}$$

Total de la tasa de condensación desde el colector hasta el área de Esterilización:

$$m_T = 65,4 + 7,24 + 3,28 + 39,98 + 1,06 + 11,58 + 6,47 + 16,08 = 151,09 \frac{lb}{h}$$

4.3.10.4 Pérdidas en la red colector – área de lavandería

Tramo 1 – 2

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 25,4 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 3,85 \text{ m}$$

Accesorios

Pérdidas en longitud

Codos: 2 → 1,2 m

Válvula de compuerta: 1 → 0,958 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 2,4 + 0,958 = 3,358 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amb} = 33^{\circ}\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 123,89^{\circ}\text{C} \rightarrow 255 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 247 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2190,53 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,3 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada:

$$m = \frac{247 \text{ W/m} \times (3,85 \text{ m} + 2,4 \text{ m}) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 0,3 = 0,76 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1,67 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Accesorios sin aislar:

$$m = \frac{247 \text{ W/m} \times (0,958) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 0,389 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,86 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Total de la tasa de condensación:

$$m_T = 0,76 + 0,389 = 1,149 \frac{kg}{h} = 2,53 \frac{lb}{h}$$

Tramo 2 – 3

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 25,4 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 28,2 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

$$\text{Codos: } 2 \rightarrow 1,2 \text{ m}$$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 2,4 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 126,89^\circ\text{C} \rightarrow 260,4 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 247 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2182,45 \frac{kJ}{kg}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,5 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada:

$$m = \frac{247 \text{ W/m} \times (28,2 \text{ m} + 2,4 \text{ m}) \times 3,6}{2182,45 \text{ kJ/kg}} \times 0,5 = 6,234 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 13,73 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 3 – 4

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 25,4 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 7 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 1 → 1,2 m

Válvulas: 3 → 0,2 m

Tés: 4 → 0,8 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 1,2 + 0,6 + 3,2 = 5 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 126,89^{\circ}\text{C} \rightarrow 255 F$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 247 W/m$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2182,45 \frac{kJ}{kg}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,3 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{247 W/m \times (7 m + 5 m) \times 3,6}{2182,45 kJ/kg} \times 0,3 = 1,467 \frac{kg}{h} = 3,23 \frac{lb}{h}$$

Tramo 4 – 5

$$P_{cald} = 86 PSI$$

$$D_{tub} = 19,05 mm$$

$$L_{aisl} = 11,6 m$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 4 → 1,1 m

Válvula de compuerta: $1 \rightarrow 0,1 \text{ m}$

Reductor: $1 \rightarrow 0,17 \text{ m}$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 4,4 + 0,1 + 0,17 = 4,67 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 126,89^\circ\text{C} \rightarrow 255 \text{ F}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 203 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2182,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,2 por ser aislamientos que no se encuentran en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{203 \text{ W/m} \times (11,6 \text{ m} + 4,67 \text{ m}) \times 3,6}{2182,45 \text{ kJ/kg}} \times 0,2 = 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 2,4 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 5 – 6

$$P_{cald} = 78 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 12,7 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 25,95 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

$$\text{Codos: } 7 \rightarrow 1,1 \text{ m}$$

$$\text{Tés: } 3 \rightarrow 0,7 \text{ m}$$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 7,7 + 2,1 = 9,8 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 153,12^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 30^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 123,12^\circ\text{C}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 168 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2192,68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

Un codo

$$m = \frac{168 \text{ W/m} \times (13,6 \text{ m} + 1,1 \text{ m}) \times 3,6}{2192,68 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 0,69 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1,49 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tubería sin aislar y accesorios sin aislar:

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 1 por encontrarse la tubería sin aislamiento:

$$m = \frac{168 \text{ W/m} \times (12,35 \text{ m} + 8,7 \text{ m}) \times 3,6}{2192,68 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 5,80 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 12,78 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Total de la tasa de condensación desde el colector hasta el área de Lavandería:

$$m_T = 2,53 + 13,73 + 3,23 + 2,4 + 1,49 + 12,78 = 36,16 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

4.3.10.5 Pérdidas en la red colector – área de alimentación y dietética

Tramo 1 – 2

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 19,05 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 3,85 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 1 → 1,1 m

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 1,1 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 33^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 123,89^\circ\text{C}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 203 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2190,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

Un codo

$$m = \frac{203 \text{ W/m} \times (3,85 \text{ m} + 1,1 \text{ m}) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 0,17 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0,36 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 2 – 3

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 19,05 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 16,2 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

$$\text{Codos: } 3 \rightarrow 1,1 \text{ m}$$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 3,3 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 33^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 123,89^\circ\text{C}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 203 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2190,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,5 por no encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada:

$$m = \frac{203 \text{ W/m} \times (16,2 \text{ m}) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 0,5 = 2,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 5,96 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Accesorios sin aislar:

$$m = \frac{203 \text{ W/m} \times (3,3 \text{ m}) \times 3,6}{2190,53 \text{ kJ/kg}} \times 1 = 1,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 2,43 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Total de la tasa de condensación

$$m_T = 2,7 + 1,1 = 3,8 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 8,38 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 3 – 4

$$P_{cald} = 86 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 19,05 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 17,9 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

$$\text{Codos: } 8 \rightarrow 1,1 \text{ m}$$

$$\text{Válvulas de compuerta: } 2 \rightarrow 0,958 \text{ m}$$

$$\text{Tés: } 3 \rightarrow 0,8 \text{ m}$$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 8,8 + 1,916 + 0,8 = 11,52 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 156,89^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 33^{\circ}\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 123.89^{\circ}\text{C}$$

De la tabla 57 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 203 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación.

$$h_{fg} = 2190.53 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3.6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0.1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0.1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{203 \text{ W/m} * (17.9 \text{ m} + 11.52 \text{ m}) * 3.6}{2190.53 \text{ KJ/Kg}} * 0.1 = 0.98 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 2.16 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tramo 4 – 5

$$P_{cald} = 14.5 \text{ PSI}$$

$$D_{tub} = 19.05 \text{ mm}$$

$$L_{aisl} = 15.8 \text{ m}$$

Accesorios

Perdidas en longitud

Codos: 6 → 1.1 m

Válvulas de compuerta: $1 \rightarrow 0.958 \text{ m}$

Tés: $2 \rightarrow 0,8 \text{ m}$

Antiretorno: $1 \rightarrow 2,5 \text{ m}$

Total de pérdidas en longitudes de los accesorios

$$L_{accs} = 6,6 + 0,958 + 1,6 + 2,5 = 11,658 \text{ m}$$

Temperaturas:

$$T_{vap} = 98,63^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} = 33^\circ\text{C}$$

El incremento de temperatura:

$$\Delta T = T_{vap} - T_{amb} = 65,63^\circ\text{C}$$

De la tabla 59 (anexos) tomamos el inmediato superior del ΔT y del D_{tub} :

$$Q = 87 \text{ W/m}$$

Tomamos de la tabla de propiedades de vapor saturado (H₂O) (anexo 2) por interpolación:

$$h_{fg} = 2345,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calculamos la tasa de condensación:

$$m = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times F$$

F = factor de aislamiento: 1 para tuberías desnudas, 0,1 para buen aislamiento. En nuestro caso tomamos 0,1 por encontrarse el aislamiento en buenas condiciones:

Tubería aislada y accesorios aislados:

$$m = \frac{87 \text{ W/m} \times (15,8 \text{ m} + 11,658 \text{ m}) \times 3,6}{2345,35 \text{ kJ/kg}} \times 0,1 = 0,37 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,81 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Total de la tasa de condensación desde el colector hasta el aérea de alimentación y dietética:

$$m_T = 0,36 + 8,38 + 2,16 + 0,81 = 11,71 \frac{lb}{h}$$

Resumen de pérdidas totales lb/h

Tabla 36: Resumen de pérdidas totales en el Hospital del IESS.

RED	Pérdidas de calor por tuberías con aislamientos defectuosos y sin aislamientos	TOTAL lb/h
Caldero – Colector 1	65,4	65,4
Caldero – Colector 2	7,24	7,24
Colector – C. Esterilización	151,09	151,09
Colector – Alimentación	11,71	11,71
Colector – Lavandería	36,16	36,16

Fuente: El autor.

4.3.10.5 Costo del vapor con referencia al combustible utilizado

Combustible: Diesel 2

Precio \$ = 1,037 por Galón

Poder calorífico 10700 kcal/kg ó 138700 BTU/Gal (anexo 9)

Eficiencia del diesel = 84,6% (Montaño Peralta, 2010)

Temperatura del agua de alimentación a la caldera: 86°C

Calor latente total a 120 PSI = 1193 BTU/lb (anexo 2)

Cantidad de energía neta contenida en el agua de alimentación: 141,8 F

Vapor neto: 1193 BTU/lb – 141,8 BTU/lb = 1051,2 BTU/lb

$$\text{Costo del vapor a 120 PSI} = \frac{\$ 1,037/\text{Gal}}{138700 \text{ BTU}/\text{Gal}} \times 1000 \times 1051,2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{100}{84,6}$$

Costo del vapor (a 120 PSI) = \$ 9,29/1000 lb

4.3.10.6 Costo de pérdidas en USD

Red caldero – colector 1 (65,4 lb/h)

$$P_{red} = \frac{65,4 \text{ lb}}{h} \times 12h = 784, \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{9,29 \$}{1000 \text{ lb}} = 7,29 \frac{\$}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 218,72 \$/\text{mes}$$

Red caldero – colector 2 (7,24 lb/h)

$$P_{red} = \frac{7,24 \text{ lb}}{h} \times 12h = 86,88 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{9,29 \$}{1000 \text{ lb}} = 0,807 \frac{\$}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 24,21 \$/\text{mes}$$

Red colector – área de esterilización (151,09 lb/h)

$$P_{red} = \frac{151,09 \text{ lb}}{h} \times 7h = 1057,63 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{9,29 \$}{1000 \text{ lb}} = 9,83 \frac{\$}{\text{día}} \times 30 \text{ días}$$

$$P_{red} = 294,76 \$/\text{mes}$$

Red colector – lavandería (36,16 lb/h)

$$P_{red} = \frac{36,16 \text{ lb}}{h} \times 8 h = 289,28 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{9,29 \$}{1000 \text{ lb}} = 2,69 \frac{\$}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 80,62 \$/\text{mes}$$

Red colector – cocina (11,71 lb/h)

$$P_{red} = \frac{11,71 \text{ lb}}{h} \times 8 h = 93,68 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{9,29 \$}{1000 \text{ lb}} = 0,87 \frac{\$}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 26,11 \$/\text{mes}$$

Resumen de pérdidas en USD

Tabla 37: Resumen de pérdidas en USD en el Hospital del IESS.

RED	Pérdidas de calor en lb/h	Costo mensual USD
Caldero – Colector 1	65,4	218,72
Caldero – Colector 2	7,24	24,21
Colector – C. Esterilización	151,09	294,76
Colector – Alimentación	11,71	26,11
Colector – Lavandería	36,16	80,62
TOTAL	271,6	644,42

Fuente: El autor.

4.3.10.7 Análisis de pérdidas de las instalaciones si estuvieran debidamente aisladas

Si las tuberías que transportan el vapor estuvieran debidamente aisladas, ya que no hay el aislamiento ciento por ciento perfecto, las pérdidas serían las que a continuación se detallan:

Tabla 38: Análisis de pérdidas si las tuberías estuvieran debidamente aisladas.

RED	TUBERIAS lb/h	ACCESORIOS lb/h	TOTAL lb/h	TOTAL USD/MES
Caldero – Colector 1	3,22	6,22	9,44	31,56
Caldero – Colector 2	1,21	2,14	3,35	11,19
Colector – C. Esterilización	8,52	4,79	13,32	25,98
Colector - Alimentación	3,26	1,51	4,78	10,64
Colector - Lavandería	5,94	1,91	7,85	17,49
TOTAL				96,86

Fuente: El autor.

En definitiva el ahorro real que se puede lograr en las instalaciones de vapor sería $644,42 - 96,86 = 547,56$ USD por mes o 6570,72 USD anual.

5. EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA

La evaluación técnica – económica que se presenta a continuación consiste en realizar un balance con respecto a la utilización de los recursos energéticos, equipos, dispositivos y accesorios en función de factores como la seguridad, ahorro energético y de dinero, mantenimiento, factibilidad económica y funcionalidad del sistema que se encuentra en operación con respecto al sistema que se propone en el presente trabajo.

5.1 Evaluación técnica

Al comparar la instalación existente de vapor en el Hospital del IESS, con una instalación que presente los aportes y/o adecuaciones indicadas en la presente tesis, encontraremos varios beneficios que se lograrían al considerar la instalación propuesta.

5.1.1 Generador de vapor

En el rediseño del sistema de distribución de vapor detallado anteriormente se dimensiono una caldera de 60 BHP, mientras que la existente en el Hospital es de 64 BHP por lo que no habría problemas en seguir funcionando con esta misma caldera. Los datos técnicos de la nueva caldera se detallan en la tabla 39.

Tabla 39: Características técnicas de la nueva caldera.

N°	DESCRIPCIÓN	
1	Marca	York Shipley
2	Modelo	542
3	Tipo	Pirotubular
4	BHP	60
5	Presión de diseño (PSI)	150
6	Flujo de vapor nominal (lb/h)	2070

5.1.2 Tuberías de conducción de vapor

5.1.2.1 Dimensionamiento de las tuberías de vapor

Presentamos en los planos N°1 y N°2, (anexos), en los cuales se esquematizan la distribución y características de la instalación de vapor existente en el Hospital del IESS, y la instalación propuesta de acuerdo a los cálculos realizados en la presente tesis. Comparando estos planos, notaremos que en la instalación existente hay tramos de vapor que no cumplen los dimensionamientos calculados, tal es el caso que al utilizar tuberías de mayor diámetro existe una mayor posibilidad de pérdidas del vapor, como también se está elevando innecesariamente los costos de la instalación; mientras que al utilizar tuberías de menor diámetro que el requerido se estaría aumentando las pérdidas de presión en el proceso, debido a que estas son directamente proporcionales a la velocidad del vapor, además en este caso se fomenta ruidos, erosión y golpes de ariete en la tuberías.

Así un incorrecto dimensionamiento y montaje de las tuberías de vapor, impide lograr una presión y temperatura deseadas a los puntos de consumo, y también provoca fenómenos indeseables como los indicados anteriormente.

5.1.2.3 Aislamiento de las tuberías de vapor y tanques

En la instalación existente, las tuberías de vapor se encuentran parcialmente aisladas, debido a que en ciertos tramos el material aislante ha sido destruido y en otra parte de los tramos, sencillamente no existe material aislante que cubra a las mismas. Así mismo, el tanque de agua de alimentación no ha sido aislado y el sistema intercambiador de calor también se encuentra parcialmente aislado.

El correcto aislamiento no debe considerarse solamente como un medio de ahorrar combustible (ahorro económico), sino que también presenta varios beneficios de diversa índole. Por ejemplo un eficiente aislamiento facilita un control del proceso y control de la condensación, debido a que las elevadas pérdidas por radiación causadas por un aislamiento insuficiente o ineficaz provocan condensación excesiva en las líneas y en esta forma se facilitaría el arrastre de agua por el vapor, el mismo que se convierte en vapor de mala calidad. Un sistema con eficiente aislamiento es un medio de protección personal, pues evita el riesgo de quemaduras. Aislando nuestro sistema de vapor

ayudamos a conservar el medio ambiente debido a que existirá menor cantidad de combustible quemado en nuestra instalación.

Tabla 40: Pérdidas de calor en tuberías aisladas y sin aislar.

Tuberías sin aislar							
Perdidas de calor (BTU. hr. pie)							
Diámetro	Temperaturas de operación (°F)						
∅	150 °F	200 °F	250 °F	300 °F	350 °F	400 °F	450 °F
1"	34	75	124	183	254	336	437
2"	61	134	224	332	459	608	790
3"	89	197	330	489	677	897	1164

Tuberías aisladas			
Perdidas de calor (BTU. hr. pie)			
Diámetro	Temperaturas de operación (°F)		
∅	200 °F	350 °F	450 °F
1"	1" : 24	1" : 41	1" : 63
2"	1" : 36	1½" : 48	1½" : 74
3"	1" : 49	1½" : 64	1½" : 98

Fuente de información: Tesis Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval.

La tabla 40, permite comparar los beneficios energéticos que obtendremos al mantener un correcto aislamiento de acuerdo a los resultados presentados en la tabla 26.

5.1.2.4 Instalación de tuberías de retorno de condensado y trampas de vapor

El retorno de condensado es una de las formas más eficientes de ahorrar energía en las plantas a vapor, pues estos condensados se los puede retornar al tanque de alimentación de las calderas, donde puede ser utilizado sin necesidad de tratamiento con lo que se ahorra combustible, agua de reposición y productos químicos. Este es el beneficio que presentaría la instalación de vapor calculada en la presente tesis, debido a que en la instalación actual del Hospital del IEISS, existe solamente el aprovechamiento del condensado, desde dos puntos de consumo lavandería y cocina, mientras que en el área de esterilización no se aprovecha el retorno del condensado.

Así también, la presencia de trampas de vapor en la instalación calculada, permitiría descargar el condensado sin producir el escape del vapor, lo cual evitaría pérdidas de energía importantes, si comparamos con las actuales condiciones presentadas por la instalación existente.

5.1.3 Tanque para agua de alimentación

Como se demostró en la sección 4.3.4.1, el tanque existe para el agua de alimentación no satisface la reserva mínima requerida para los máximos niveles de operación de las calderas, lo cual dificultaría un suministro permanente de agua en los periodos de máxima demanda de vapor y por ende de agua de alimentación.

El tanque de agua de alimentación actual existente en el Hospital tiene una capacidad de 217 galones, mientras que el nuevo tanque calculado tiene una capacidad de 237 galones para la caldera de 60 HP, para las calderas instaladas actualmente la capacidad del tanque sería de 252 galones, por lo tanto para ambos casos sería necesario cambiarlo por un tanque con capacidad mínima de 250 galones, como el presentado en la tabla 14.

5.2 Evaluación económica

La ejecutabilidad de todo proyecto radica en el aspecto económico, razón por la cual a continuación se presenta una propuesta que justifica la inversión de capital. En esta sección, se presentaran los costos para adquisición y/o montaje de los diferentes equipos y/o materiales requeridos para adaptar las diferentes mejoras propuestas para la instalación existente en el Hospital del IESS.

Además, se desarrollara un análisis económico que permitirá conocer el costo del vapor generado, y con ello se podrá evaluar monetariamente el ahorro que se obtendría con la adaptación de los diferentes sistemas y/o adecuaciones propuestas en la presente tesis. Así podremos comprobar que los valores de adquisición y montaje de sistemas propuestos no deben ser vistos como “gastos”, ya que constituyen inversiones que en cierto tiempo permitirán recuperar los costos de los equipos y además, nos permitirá un ahorro de energía permanente a partir de su adaptación.

Costo del vapor:

Este es un valor que puede ser considerado desde diferentes puntos de vista, pues si el propósito es tener un costo real se deben incluir todos los gastos directos e indirectos de generación y distribución; para el caso del Hospital del IESS, si queremos cuantificar el costo del vapor que se genera, este se lo tendrá que hacer en referencia al costo del combustible, agua y productos químicos, necesarios para su producción.

Es así como de acuerdo a recomendaciones técnicas, se manifiesta que el costo del vapor estará dado en un 80% por el costo del combustible y el 20% restante por el costo del agua y tratamiento químico necesario para su producción.

El consumo de combustible, está dado en función de la capacidad de la caldera, y considerando que las calderas pirotubulares tipo compactas son construidas para trabajar a una eficiencia alrededor del 80%, se establece de acuerdo a los fabricantes que estas deberán consumir 0.295 galones de diesel oil/hora por cada caballo caldera desarrollado. Así, si consideramos una caldera de (60 BHP) se tendrá un consumo de combustible de:

$$60 \text{ BHP} \times \frac{0,295 \text{ GPH}}{1 \text{ BHP}} = 17,7 \cong 18 \text{ GPH}$$

Para el caso del Hospital del IESS, se tiene el combustible diesel oil a un precio aproximadamente \$ 1,037 el galón, por lo que monetariamente representaría:

$$18 \text{ GPH} \times \$ 1,037 = \$ 18,67 \text{ por hora}$$

De acuerdo con las recomendaciones anteriores, se puede presentar los costos para la generación de vapor, de la siguiente manera:

Por cada hora:

Combustible = \$ 18,67 (80%)

Agua y tratamiento químico: (20% del costo total) = \$ 4,66 (20%)

Costo total/hora = \$ 23,33 (100%)

(60 BHP = 2070 lb/h = 938,78 kg/h).

Es decir, por cada hora gastaría \$ 23,33 para generar 939 kg/h de vapor, con lo que podemos expresar el costo del vapor como:

$$\text{\$ } 23,33/939 \text{ Kg} = \text{\$ } 0,0248/\text{Kg}$$

$$= \text{\$ } 24,845 \text{ la tonelada de vapor (1000 Kg)}$$

Dimensionamiento de las tuberías de vapor:

La instalación actual, al tener tramos de tuberías de vapor que no están correctamente dimensionados, está afectando directamente a la calidad del vapor a utilizarse en los diferentes equipos, y también a las mismas instalaciones. Estos factores o inconvenientes, son un tanto difíciles de cuantificarlos monetariamente o encontrar equivalentes con cantidad de vapor desperdiciado debido al incorrecto dimensionamiento. A continuación presentamos en la tabla 41, una descripción de los tramos de tuberías de vapor del Hospital del IESS que deben ser reemplazados, y el costo que ello representaría.

Tabla 41: Costos de los tramos de tubería para vapor.

Tramo	Longitud (m)	Ø Actual	Ø Calculado	Costo unitario (\$)	Costo Total (\$)
Colector – caldera	8,6	4"	2 ½"	63,42/m	545,41
Tramo B – D	70,45	1 ¼"	½"	8,93	629,19
	4,05	¾"	½"	8,93	36,16
	10	½"	¾"	11,90	119
Tramo B – E	15,8	¾"	1 ¼"	24,04	379,83
VALOR TOTAL					1709,56
*Todas las tuberías serán de acero inoxidable 304, cedula 40.					

Fuente: El autor.

El beneficio económico que obtendríamos de la instalación calculada se traduciría a una protección de los equipos e instalaciones, debido a que el vapor llegaría a la presión requerida, se evitarían golpes de ariete, erosiones, tensiones y vibraciones en las tuberías y accesorios.

Aislamiento de las tuberías:

Considerando los requerimientos presentados en la tabla 27, el estado actual del material aislante de los tramos, y de acuerdo a las recomendaciones técnicas, a continuación presentamos en la tabla 42, un detalle del material aislante que debe ser instalado o remplazado con sus respectivos valores.

Tabla 42: Costos del material aislante.

AISLAMIENTO REQUERIDO					
Tramo de tubería o espacio a cubrir	Ø (pulg)	Long. (m)	Esp. (pulg)	Costo materiales	
				Unitario	Total
Tramo colector lavanderia (B – C)	1”	46,8	1”	47,35/m	2215,98
Tramo colector esterilizacion (B – D)					
Aguas arriba	½”	7	1”	41,35	289,45
Aguas abajo	¾”	10	1”	45,05	450,5
Tramo colector cocina (B – E)					
Aguas arriba	¾”	7,20	1”	45,05	324,36
VALOR TOTAL					3280,29

Fuente: El autor.

En la tabla 43 se muestra un resumen de los costos del equipamiento adquirido, los cuales componen el sistema de generación y distribución de vapor. En el costo del sistema de generación de vapor están incluidos los costos actualizados de: tanque de agua de alimentación, tanque de combustible, el manifold, motobomba, equipo de tratamiento químico y accesorios entre otros.

Tabla 43: Costo de los equipos.			
Cantidad	Equipo	Costo unitario (USD)	Costo total de adquisición (USD)
2	Equipo generador de vapor	45000,00	9000,00
2	Lavadora a vapor saturado de 30 kg de capacidad	4370,00	8740,00
2	Secadora a vapor saturado de 20 kg de capacidad	2835,00	5670,00
1	Planchadora a vapor saturado tipo rodillo de 20 kg de capacidad	3250,00	3250,00
2	Autoclave a vapor saturado de 109 kg de capacidad	3620,00	7240,00
4	Marmitas a vapor saturado de 25 litros de capacidad	4561,00	18244,00
1	Sistema intercambiador de calor	3250,00	3250,00
TOTAL			55394,00

Fuente: El autor.

El costo de inversión total fija se determina utilizando el método del por ciento del costo del equipamiento adquirido.

En la tabla 44 se muestra el resultado de la estimación del costo de la inversión total fija.

Tabla 44: Costo de inversión.		
COSTOS DIRECTOS	%	COSTO
Equipo adquirido y entregado (incluido el equipo fabricado y la maquinaria de proceso)	100	55394,00
Instalación de equipo comprado	10	5539,4
Instrumentación y controles (instalada)	10	5539,4
Tubería (instalada)	8	4431,52
Parte eléctrica (instalada)	10	5539,4
Total de costos directos de la planta	138	76443,72
COSTOS INDIRECTOS		
Ingeniería y supervisión	25	13848,5
Total de costos directos e indirectos de la planta	163	90292,22
Honorarios del contratista (alrededor del 5% de los costos directos e indirectos de la planta)	5	4514,61
Contingencia (alrededor del 5% de los costos directos e indirectos de la planta)	5	4514,61
Total del capital de inversión fija	173	99321,44

Fuente: El autor.

5.2.1 Determinación del costo de operación

El costo de operación de la planta generadora de vapor al año se la encuentra por medio de la siguiente expresión:

Costo de operación = costo de agua de la caldera + costo de agua caliente sanitaria + costo de la electricidad + costo del combustible + salario + amortización

Con los resultados de los cálculos obtenidos, a continuación se desglosan cada uno de los costos mencionados anteriormente.

a).- Costo de agua de caldera

$$2,67 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 701676 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times \frac{\$ 1,05}{1000 \text{ gal}} = 736,76 \frac{\$}{\text{año}}$$

b).- Costo de agua sanitaria

$$680 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 317 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 1724480 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times \frac{\$ 1,05}{1000 \text{ gal}} = 1810,7 \frac{\$}{\text{año}}$$

c).- Costo de la electricidad

Con la ayuda de los catálogos obtenidos en el proceso de la investigación, es que se ha logrado calcular el consumo eléctrico al año de los equipos a instalar en la planta generadora y distribuidora d vapor:

- Potencia del motor de una autoclave: $0,18 \text{ kW} \times 2 \text{ autoclaves} = 0,36 \text{ kW}$

$$0,36 \text{ kW} \times 7 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 48,75 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia del motor de una lavadora: $0,50 \text{ kW} \times 2 \text{ lavadoras} = 1 \text{ kW}$

$$1 \text{ kW} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 317 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 134,41 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia del motor de una secadora: $0,56 \text{ Kw} \times 2 \text{ secadoras} = 1,12 \text{ Kw}$

$$1,12 \text{ kW} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 317 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 142,01 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia del motor de una planchadora: $0,19 \text{ kW} \times 1 \text{ planchador} = 0,19 \text{ kW}$

$$0,19 \text{ kW} \times 4 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 317 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 12,77 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia de la bomba de agua de alimentación: $0,746 \text{ kW}$

$$0,746 \text{ kW} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 173,18 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia de la bomba de combustible: $0,25 \text{ kW}$

$$0,25 \text{ kW} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 58,04 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Potencia del motor de la caldera: $1,12 \text{ kW}$

$$1,12 \text{ kW} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\$ 0,053}{\text{kW h}} = 260 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\Sigma \text{de consumo eléctrico al año} = 829,16 \frac{\$}{\text{año}}$$

d).- Consumo de combustible

$$16,82 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 73671,6 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times 1,037 \frac{\$}{\text{gal}} = 76397,45 \frac{\$}{\text{año}}$$

e).- Salario anual de un trabajador

De la fuente de consulta INEC, se tiene que el sueldo básico mensual de un operador de calderas es de \$ 400.

Entonces:

$$S \text{ anual} = S \text{ mensual} \times 12$$

$$S \text{ anual} = \$ 400 \times 12 = 4800 \frac{\$}{\text{año}}$$

f).- Costo de amortización

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Inversión fija}}{\text{años de vida útil}}$$

$$\text{Amortización} = \frac{99321,44 \$}{25} = 3972,86 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Costo de op.} = (736,76 + 1810,7 + 829,16 + 76397,45 + 4800 + 3972,86) \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Costo de operación} = 88546,93 \frac{\$}{\text{año}}$$

5.2.2 Análisis de rentabilidad

En el análisis de rentabilidad se considera los ingresos por concepto del ahorro por sustitución del equipamiento eléctrico y a gas licuado de petróleo, por el equipamiento a vapor y también por concepto del ahorro de pérdidas energéticas con el correcto aislamiento de todas las tuberías de vapor.

Determinación del ahorro anual por concepto de sustitución de equipos eléctricos por equipos a vapor en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.

Tabla 45: Lavadoras							
Cantidad	Voltaje	Intensidad	Potencia unitaria nominal	Potencia total	Energía al día	Días de trabajo al año	Energía al año
2	220 V	15 A	3000w = 3,3kW	8,65 kW	$8,65 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} = 69,2 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$	317	$\frac{69,2 \text{ kWh}}{\text{día}} \times \frac{317 \text{ días}}{\text{año}} = 21936,4 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$
							TOTAL: $21936,4 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$

Para conocer la potencia total, se multiplica la potencia de la maquinaria instalada por 1,17; que es un coeficiente referente a las pérdidas responsables al hombre y por 1,12; correspondiente al coeficiente de las pérdidas por causa de la maquinaria.

Tabla 46: Secadoras							
Cantidad	Voltaje	Intensidad	Potencia unitaria nominal	Potencia total	Energía al día	Días de trabajo al año	Energía al año
2	220 V	25 A	5500w=5,5kW	14,4 kW	$14,4 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} = 115,3 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$	317	$\frac{115,3 \text{ kWh}}{\text{día}} \times \frac{317 \text{ días}}{\text{año}} = 36554,9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$
							TOTAL: $36554,9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$

Tabla 47: Horno eléctrico

Cantidad	Potencia unitaria nominal	Potencia total	Energía al día	Días de trabajo al año	Energía al año
1	0,373 kW	0,49 kW	$0,49 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} = 3,91 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$	317	$\frac{3,91 \text{ kWh}}{\text{día}} \times \frac{317 \text{ días}}{\text{año}} = 1239,54 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$
					TOTAL: $1239,54 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$

Σ del consumo eléctrico al año, de los equipos a sustituir en el Hospital: $21936,4 + 36554,9 + 1239,54 \text{ kWh/año} = 59730,84 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$

Costo de la electricidad en Hospitales: $\frac{\$ 0,053}{\text{kWh}}$

195

Ahorro por concepto de consumo de energía eléctrica al año, de los equipos eléctricos a sustituir en el Hospital:

$$59730,84 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,053 \frac{\$}{\text{kWh}} = 3165,73 \frac{\$}{\text{año}}$$

Determinación del ahorro anual por concepto de sustitución de gas licuado de petróleo por vapor para la cocción en el Área de Alimentación y dietética del Hospital del IESS de la ciudad de Machala.

Tabla 48: Ahorro por concepto de sustitución de gas licuado de petróleo por vapor.

Cantidad de cilindros de gas	Tiempo de duración del cilindro de gas	Precio del tanque de gas de 15 kg	Días de trabajo al año	Consumo de tanques de gas al año
1	2 días	1,60 \$	365	$\frac{1 \text{ cilindro}}{2 \text{ días}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} = 182,5 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}}$
1	2 días	1,60 \$	365	$\frac{1 \text{ cilindro}}{2 \text{ días}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} = 182,5 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}}$
				TOTAL: $365 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}}$

196

Σ del consumo de tanques de gas licuado de petróleo al año, de los equipos a sustituir en el Hospital: $365 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}}$

Costo del cilindro de gas licuado de petróleo de 15 kg: $\frac{\$ 1,60}{\text{cilindro}}$

Ahorro por concepto de consumo de gas licuado de petróleo al año, de los equipos a sustituir en el área de alimentación y dietética del Hospital:

$$365 \frac{\text{cilindros}}{\text{año}} \times \frac{1,60}{\text{cilindro}} = 584 \frac{\$}{\text{año}}$$

Σ del ahorro por concepto del consumo energético al año en el Hospital del IESS de la ciudad de Machala:

Ahorro por energía eléctrica + Ahorro por gas licuado de petróleo

$$3165,73 \frac{\$}{\text{año}} + 584 \frac{\$}{\text{año}} = 3749,73 \frac{\$}{\text{año}}$$

Recuperación de la inversión.- La recuperación de la inversión realizada se la encuentra mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$R. \text{ inversión} = \frac{\text{Inversión de capital fijo}}{\text{Ahorro}}$$

$$R. \text{ inversión} = \frac{51383,85}{10320,45} = 4,98 \text{ años}$$

6. DISCUSIÓN

El sistema de generación y transporte de vapor del Hospital del IESS de la ciudad de Machala, no está siendo aprovechado a su máxima capacidad ya que el vapor solo se lo está utilizando para esterilizar equipos de quirófano, y calentamiento de agua para rehabilitación en fisioterapia, es decir se está consumiendo 1133.25 lb/h de vapor para estos procesos lo que representa que la caldera está trabajando a un 43.87% de su capacidad total.

En el área de lavandería y cocina, se están utilizando para los diferentes procesos como lavado y cocción de alimentos equipos consumidores de energía eléctrica y gas licuado de petróleo, pudiendo ser remplazados por maquinas térmicas que aprovechen el vapor generado por las calderas existentes en el Hospital, obteniendo un ahorro energético que se traduce en dinero ya que es más barato producir vapor que utilizar energía eléctrica.

De acuerdo a las necesidades de uso real del vapor en el Hospital, se realizó el cálculo para el dimensionamiento de dos calderas pirotubulares de 60 HP, con una producción de vapor de 2070 lb/h, que cumplirán los requerimientos del balance térmico con suficiente seguridad.

De las inspecciones realizadas en el Hospital se pudo comprobar que en las tuberías que conducen vapor, el aislamiento térmico se encuentra en mal estado y en ciertos tramos no existe aislamiento de las tuberías ni de los accesorios, produciéndose pérdidas por transferencia de calor. En este proyecto se realizó los cálculos para el dimensionamiento de las tuberías de vapor y retorno de condensado, dando como resultado que en ciertos tramos de la instalación existente la tubería deberá ser cambiada por la instalación propuesta en este proyecto, ya que al no ser el diámetro óptimo de la tubería se está afectando directamente a la calidad del vapor a utilizarse en los diferentes equipos, y también a las mismas instalaciones.

En la instalación actual de vapor existe solamente el aprovechamiento del condensado desde dos puntos de consumo como: lavandería y cocina, mientras que en el área de esterilización se está enviando el condensado por una cañería, por lo que se dimensiono el sistema de retorno de condensado para esta área.

De los cálculos realizados para validar los objetivos planteados, es necesario realizar los cambios y/o adecuaciones propuestas en la presente tesis para mejorar la eficiencia del sistema de vapor en los diferentes procesos, con el rediseño del sistema de generación y transporte de vapor para el Hospital del IESS de la ciudad de Machala.

7. CONCLUSIONES

- Podemos concluir, que de acuerdo a los requerimientos de vapor presentados por los diferentes puntos de consumo del Hospital del IESS, y considerando el balance térmico aportado por cada uno de ellos, las 2 calderas Bryan Boiler, serie CL270-S-150-FDO, de 64 BHP cada una, instaladas actualmente, si satisfacen la demanda pico de vapor para mantener al Hospital a su máxima capacidad de personas hospitalizadas (80).
- En la instalación existente del Hospital del IESS, existen tramos de tuberías de vapor que no se hallan correctamente dimensionados, lo cual provoca en la instalación fenómenos como golpes de ariete, erosiones, al usar tramos de menor diámetro que el requerido, o elevación de costos innecesarios por usar tuberías sobredimensionadas.
- Hemos concluido, que la adaptación del sistema de retorno de condensado para el área de esterilización a la existente instalación de vapor, permitiría tener considerables ahorros de combustible, agua y productos químicos, ya que en las condiciones actuales se está derrochando vapor y condensado.
- De la evaluación de las instalaciones de vapor determine que los aislamientos están deteriorados en algunas partes y en ciertos tramos esta sin aislar lo que origina pérdidas por transferencia de calor. Las pérdidas por transmisión de calor en las tuberías es de 271,6 lb/h y si estuvieran correctamente aisladas sería de 38,74 lb/h lo que da un ahorro de 232,86 lb/h de vapor. Las pérdidas energéticas se ven reducidas a su mínima magnitud con la utilización de un correcto aislamiento térmico en las líneas de distribución de vapor. Es importante destacar la importancia de aislar los accesorios ya que representa el 58% bajo las mismas condiciones de presión de la tubería instalada con un buen aislamiento.
- Finalmente se puede concluir, que todas las adaptaciones o sistemas propuestos en la presente tesis permitirán el uso eficiente del vapor en el Hospital del IESS con ahorros de energía y además, se ha demostrado que en un periodo máximo de 4 años se podrá recuperar la inversión económica realizada para la adquisición y montaje de los sistemas propuestos.

8. RECOMENDACIONES

- Implementar las maquinas térmicas dimensionadas y seleccionadas en la presente tesis para las áreas de lavandería y esterilización, con lo cual se obtendrá un ahorro energético en lo que se refiere al consumo de energía eléctrica y gas licuado de petróleo.
- Se recomienda aplicar el dimensionamiento del sistema de retorno de condensado para el área de esterilización, y así recuperar el vapor y condensado que se lo está enviando por las cañerías de desagüe, con lo cual se está desperdiciando su utilidad.
- Es necesario realizar el reemplazo de aislantes deteriorados y aislar los tramos de tuberías y accesorios que se encuentran desnudos, y así evitar las pérdidas energéticas por transferencia de calor, las cuales se traducen en mayor consumo de combustible.
- Se recomienda utilizar la cantidad de químicos adecuados para tratar el agua de alimentación de la caldera, con esto se logra reducir las incrustaciones dentro de las tuberías de transporte de vapor, además de las pérdidas generadas por purgas de la caldera.
- Además de los cambios propuestos en la presente tesis, con el fin de lograr un mejoramiento de la instalación de vapor existente, es necesario aplicar un permanente mantenimiento de todos sus componentes de acuerdo a los manuales y frecuencias establecidas. También es necesario el control de ciertos parámetros como por ejemplo calidad del agua para las calderas, control de niveles de agua, control de presiones y temperaturas en diferentes secciones, y otros; solo así se lograra un aprovechamiento eficiente del vapor con un mantenimiento de las instalaciones.
- Utilizar el presente informe como referencia en el rediseño futuro de la instalación de vapor y retorno de condensado en el Hospital.

9. BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Garcia Saavedra, E. (1982). *Conceptos basicos sobre selecciòn de bombas para calderos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Justo, J. B. (2009). *Norma de prevención y control de infección relacionada a la salud*. Argentina.
- Sarco, S. *Catálogo de productos*.
- Simón Andrew, L. (1986). *Hidraulica Practica*. México: Limusa.

Tesis

- Cruz Apunte, R.; Toro Arcos, Ángel. (2011). *Reingeniería del sistema de distribución de vapor al área de lavandería y cocina del Hospital Gineco Obstétrico Isidro Ayora*. Quito.
- Días Vera, D. D. (2009). *Selección e instalación de vapor para una fabrica de Yogurt y crema de leche*. Guayaquil: ESPOL.
- Herrera Ordòñez, M. A. (2009). *Selección de equipos y diseño del sistema para calentamiento de agua en un hotel cinco estrellas*. Guayaquil.
- Jimenez Chilán, C. O. (1997). *Càlculos de procesos de vapor en una Industria Textil*. Guayaquil.
- Montaña Peralta, T. (2010). *Evaluación térmica de la planta de vapor del Hospital del IESS*. Loja.
- Ortiz Tulcán, C. A. (2003). *Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval*. Guayaquil.
- Palacios Martínez, H. M. (2007). *Estudio para el reiseño de la red de vapor y retorno del condensadopara el Hospital general San Juan de Dios, Guatemala*. Guatemala.
- Roldan Erazo, F. B. (2007). *Diseño y selección de un sistema de generación y transporte de vapor para el Hospital Julius Doepener de la ciudad de Zamora*. Loja.

Páginas web

- *Aguamarket.com*. (s.f.). Recuperado el 12 de Febrero de 2012, de Aguamarket.com:

[http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=2380&nombrep
roducto=tanque+de+recuperacion+de+condensado](http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=2380&nombrep
roducto=tanque+de+recuperacion+de+condensado)

- Cristian. (31 de 03 de 2009). *Compendio de Enfermería*. Recuperado el 15 de 06 de 2012, de Compendio de Enfermería: <http://www.compendiodenfermeria.com>
- Bentancur, F. A. (4 de Septiembre de 2011). *Scribd*. Recuperado el 3 de Enero de 2012, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/52623049/21/Generacion-de-Vapor-en-Calderas>
- *Estrucplan*. (24 de Noviembre de 2011). Recuperado el 10 de febrero de 2012, de [Estrucplan: http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=2953](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=2953)
- *Wikipedia*. (s.f.). Recuperado el 10 de Enero de 2012, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Generador_de_vapor
- www.iceni.com/unlock.htm. (s.f.). Recuperado el 4 de Febrero de 2012, de www.iceni.com/unlock.htm: <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/genvap/material/Clasificacion.pdf>
- Matcalf, & Eddy. (2001). *Miliarium*. Recuperado el 3 de Mayo de 2012, de Miliarium: <http://www.miliarium.com>
- Días Tapia, N. (s.f.). *Monografias.com*. Recuperado el 6 de Enero de 2012, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos15/transf-calor/transf-calor.shtml>
- ENGINEERING, T. (s.f.). Recuperado el 15 de Febrero de 2012, de <http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>
- Perez, M. (s.f.). *Slideshare*. Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de Slideshare: <http://www.slideshare.net/mariope67/instrucurso>
- *Spirax sarco*. (s.f.). Recuperado el 9 de Febrero de 2012, de Spirax sarco: <http://www.spiraxsarco.com/es/applications/overview/steam-generation/steam-generation-applications.asp?loop=1&id=12&level=1>
- *Telstar*. (s.f.). Recuperado el 7 de Enero de 2012, de Telstar: <http://www.telstar-lifesciences.com/es/tecnologias/sistemas+de+generacion+de+agua+wfi+y+vapor+farmaceutico/steam+generators.htm>

10. ANEXOS

Anexo 1

Tabla 49: Propiedades físicas del agua.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temp. (°C)	Peso específico (kN/m³)	Densidad (kg/m³)	Módulo de elasticidad (kN/m²)	Viscosidad dinámica (N·s/m²)	Viscosidad cinemática (m²/s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m²)
0	9,805	999,8	1,98x10 ⁶	1,781x10 ⁻³	1,785x10 ⁻⁶	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05x10 ⁶	1,518x10 ⁻³	1,519x10 ⁻⁶	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10x10 ⁶	1,307x10 ⁻³	1,306x10 ⁻⁶	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15x10 ⁶	1,139x10 ⁻³	1,139x10 ⁻⁶	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17x10 ⁶	1,102x10 ⁻³	1,003x10 ⁻⁶	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22x10 ⁶	0,890x10 ⁻³	0,893x10 ⁻⁶	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25x10 ⁶	0,708x10 ⁻³	0,800x10 ⁻⁶	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28x10 ⁶	0,653x10 ⁻³	0,658x10 ⁻⁶	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29x10 ⁶	0,547x10 ⁻³	0,553x10 ⁻⁶	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28x10 ⁶	0,466x10 ⁻³	0,474x10 ⁻⁶	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25x10 ⁶	0,404x10 ⁻³	0,413x10 ⁻⁶	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20x10 ⁶	0,354x10 ⁻³	0,364x10 ⁻⁶	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14x10 ⁶	0,315x10 ⁻³	0,326x10 ⁻⁶	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07x10 ⁶	0,282x10 ⁻³	0,294x10 ⁻⁶	0,0589	101,33

Fuente de información: (Metcalf & Eddy, 2001)

Anexo 2

Tabla 50: Propiedades del vapor de agua saturado en función de la temperatura.

Temperatura °C	Presión Absoluta atm	Volumen específico m ³ /Kg	Densidad Kg/m ³	Entalpía específica del líquido KJ/Kg	Entalpía específica del vapor KJ/Kg	Calor específico de vaporización KJ/Kg
0	0.0062	206.5	0.00484	0	2493.1	2493.1
5	0.0089	147.1	0.00680	20.95	2502.7	2481.7
10	0.0125	106.4	0.00940	41.90	2512.3	2470.4
15	0.0174	77.9	0.01283	62.85	2522.4	2459.5
20	0.0238	57.8	0.01729	83.80	2532.0	2448.2
25	0.0323	43.40	0.02304	104.75	2541.7	2436.9
30	0.0433	32.93	0.03036	125.70	2551.3	2425.6
35	0.0573	25.25	0.03960	146.65	2561.0	2414.3
40	0.0752	19.55	0.05114	167.60	2570.6	2403.0
45	0.0977	15.28	0.06543	188.55	3579.8	2391.3
50	0.1258	12.054	0.0830	209.50	2589.5	2380.0
55	0.1605	9.589	0.1043	230.45	2598.7	2368.2
60	0.2031	7.687	0.1301	251.40	2608.3	2365.9
65	0.2550	6.209	0.1611	272.35	2617.5	2345.2
70	0.3177	5.052	0.1979	293.30	2626.30	2333.0
75	0.393	4.139	0.2416	314.3	2636	2321
80	0.483	3.414	0.2929	335.2	2644	2310
85	0.590	2.832	0.3531	356.2	2653	2297
90	0.715	2.365	0.4229	377.1	2662	2285
95	0.862	1.985	0.5039	398.1	2671	2273
100	1.033	1.675	0.5970	419.0	2679	2260
105	1.232	1.421	0.7036	440.4	2687	2248
110	1.461	1.212	0.8254	461.3	2696	2234
115	1.724	1.038	0.9635	482.7	2704	2221
120	2.025	0.893	1.1199	504.1	2711	2207
125	2.367	0.7715	1.296	525.4	2718	2194
130	2.755	0.6693	1.494	546.8	2726	2179
135	3.192	0.5831	1.715	568.2	2733	2165
140	3.685	0.5096	1.692	589.5	2740	2150
145	4.238	0.4469	2.238	611.3	2753	2125
150	4.855	0.3933	2.543	632.7	2765	2120
160	6.303	0.3075	3.252	654.1	2776	2089
170	8.080	0.2431	4.113	719.8	2776	2056
180	10.23	0.1944	5.145	763.8	2785	2021
190	12.80	0.1568	6.378	808.3	2792	1984
200	15.85	0.1276	7.840	852.7	2798	1945
210	19.55	0.1045	9.567	897.9	2801	1904
220	23.66	0.0862	11.60	943.2	2803	1860
230	28.53	0.07155	13.98	989.3	2802	1813
240	34.13	0.05967	16.76	1035	2799	1763
250	40.55	0.04998	20.01	1082	2792	1710
260	47.85	0.04199	23.82	1130	2783	1653
270	56.11	0.03538	28.27	1178	2770	1593
280	65.42	0.02988	33.47	1226	2754	1528
290	75.88	0.02525	39.60	1275	2734	1459
300	87.6	0.02131	46.93	1327	2710	1384
310	100.7	0.01799	55.59	1380	2682	1302
320	115.2	0.01516	65.95	1437	2650	1213
330	131.3	0.01273	78053	1498	2613	1117

Fuente de información: (Roldan Erazo, 2007).

Anexo 3

Tabla 51: Propiedades del agua a varias temperaturas.

Temperatura °F	Temperatura °C	Gravedad específica 60F Referencia	Presión de vapor Psi Abs
32	0	1,002	0,0885
40	4,4	1,001	0,1217
45	7,2	1,001	0,1475
50	10,0	1,001	0,1781
55	12,8	1,000	0,2141
60	15,6	1,000	0,2563
65	18,3	0,999	0,3056
70	21,1	0,999	0,3631
75	23,9	0,998	0,4298
80	26,7	0,998	0,5069
85	29,4	0,997	0,5959
90	32,2	0,996	0,6982
95	35,0	0,995	0,8153
100	37,8	0,994	0,9492
110	43,3	0,992	1,275
120	48,9	0,990	1,692
130	54,4	0,987	2,223
140	60,0	0,985	2,889
150	65,6	0,982	3,718
160	71,1	0,979	4,741
170	76,7	0,975	5,992
180	82,2	0,972	7,510
190	87,8	0,968	9,339
200	93,3	0,964	11,526
212	100,0	0,959	14,696
220	104,4	0,956	17,186
240	115,6	0,948	24,97
260	126,7	0,939	35,43
280	137,8	0,929	49,20
300	148,9	0,919	67,01
320	160,0	0,909	89,66
340	171,1	0,898	118,01
360	182,2	0,886	153,04
380	193,3	0,874	195,77
400	204,4	0,860	247,31
420	215,6	0,847	308,83
440	226,7	0,833	381,59
460	237,8	0,818	466,9
480	248,9	0,802	566,1
500	260,0	0,786	680,8
520	271,1	0,766	812,4
540	282,2	0,747	962,5
560	293,3	0,727	1133,1
580	304,4	0,704	1325,8
600	315,6	0,679	1542,9
620	326,7	0,650	1786,6
640	337,8	0,618	2059,7
660	348,9	0,577	2365,4
680	360,0	0,526	2708,1
700	371,1	0,435	3093,7
705,4	374,1	0,319	3206,2

Fuente de información: (Roldan Erazo, 2007)

Anexo 4

Tabla 52: Calor específico de algunos alimentos.

	Boniato	Frijoles	Arroz	Carne de res	Papaya
Agua	80,0%	65,0%	11,0%	53,8%	88,0%
Carbohidratos	16,0%	20,0%	79,9%	2,8%	9,5%
Fibra	2,5%	6,5%	1,3%	0%	1,8%
Proteínas	1,3%	7,0%	7,0%	31,1%	0,6%
Grasa	0,1%	0,5%	0,7%	1,94%	0,1%
Ceniza	0,1%	1,0%	0,1%	10,36%	0%
TOTAL:	100%	100%	100%	100%	100%
Temperatura	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C
Calor específico (KJ/Kg °C)	3,728	3,381	2,001	3,146	3,926
Densidad (Kg/m ³)	1034,37	1086,635	1433,802	1127,586	1002,735

Fuente de información: (Roldan Erazo, 2007).

Anexo 5

Tabla 53: Caudales de vapor, dados la presión y el diámetro de la tubería.

CAUDAL DE VAPOR (Kg / h)																
Ø (pulg)	Presión de vapor (Kg / cm ²)															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0.1
¼	64	60	56	51	47	43	40	35	30	26	21	17	13	8	4	1
½	128	120	112	105	94	86	80	70	60	52	42	34	26	16	8	2
¾	192	180	168	153	141	129	120	105	90	78	63	51	39	24	12	3
1	256	240	224	204	188	172	160	140	120	104	84	68	52	32	16	4
1¼	384	360	336	306	282	258	240	210	180	156	126	102	78	48	24	6
1½	640	600	560	510	470	430	400	350	300	260	210	170	130	80	40	10
1¾	1152	1080	1008	918	846	774	720	630	540	468	378	306	234	144	72	18
2	1536	1440	1344	1224	1128	1032	960	840	720	624	504	408	312	192	96	24
2½	2560	2400	2240	2040	1880	1720	1600	1400	1200	1040	840	680	520	320	160	40
3	3840	3600	3360	3060	2820	2580	2400	2100	1800	1560	1260	1020	780	480	240	60
4	6400	6000	5600	5100	4700	4300	4000	3500	3000	2600	2100	1700	1300	800	400	100
6	10240	9600	8960	8160	7520	6880	6400	5600	4800	4160	3430	2745	2055	1375	685	137
8	23150	21800	20100	18550	17000	15450	13900	12350	10800	9250	7700	6170	4630	3080	1545	305
10	41200	38350	35650	32900	30150	27400	24650	21900	19200	16450	13700	10950	8230	5485	2740	550
10	64000	60000	56000	51000	47000	43000	40000	35000	30000	25700	21400	17150	12850	8570	4285	860

Fuente de información: (Ortiz Tulcán, 2003).

Anexo 6

Tabla 54: Calor específico de algunos materiales sólidos para 0-100 °C (*kJ/kg K*).

Acero	0.50	Fundición de piedra	0.84
Aluminio	0.92	Goma	1.68
Amianto	0.84	Hielo	2.14
Arcilla	0.92	Hierro	0.50
Arena seca	0.80	Hormigón	1.13
Bronce	0.385	Ladrillo refractario	0.88-1.01
Caliza, cal	0.92	Ladrillo rojo	0.92
Caolín	0.92	Lana	1.63
Carbón de piedra	1.30	Latón	0.394
Celulosa	1.55	Madera (pino)	2.72
Cinc	0.38	Magnesia	0.92
Cobre	0.385	Naftaleno	1.30
Coque	0.84	Parafina	2.72
Corcho	1.68	Plástico vinílico	1.76
Creta	0.88	Plomo	0.13
Cuarzo	0.80	Textilita	1.47
Escoria	0.75	Vidrio	0.42-0.84
Fundición de hierro	0.50		

Fuente de información: (Roldan Erazo, 2007).

Anexo 7

Tabla 55: Pérdidas de fricción para agua, tubería de acero "Schedule 40".

U.S. Gallons per Minute	¾ in. (0.824" I.D.)			1 in. (1.049" I.D.)			1 ¼ in. (1.3880" I.D.)			1½ in. (1.610" I.D.)			U.S. Gallons per Minute
	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	V	$\frac{V^2}{2g}$	h_f	
4	2.41	0.090	4.21	1.48	0.034	1.29							4
5	3.01	0.141	6.32	1.86	0.053	1.93							5
6	3.61	0.203	8.87	2.23	0.077	2.68	1.29	0.026	0.70				6
7	4.21	0.276	11.8	2.60	0.105	3.56	1.50	0.035	0.93				7
8	4.81	0.360	15.0	2.97	0.137	4.54	1.72	0.046	1.18	1.26	0.025	0.56	8
9	5.42	0.456	18.8	3.34	0.173	5.65	1.93	0.058	1.46	1.42	0.031	0.69	9
10	6.02	0.563	23.0	3.71	0.214	6.86	2.15	0.071	1.77	1.58	0.039	0.83	10
12	7.22	0.810	32.6	4.45	0.308	9.62	2.57	0.103	2.48	1.89	0.056	1.16	12
14	8.42	1.10	43.5	5.20	0.420	12.8	3.00	0.140	3.28	2.21	0.076	1.53	14
16	9.63	1.44	56.3	5.94	0.548	16.5	3.43	0.183	4.20	2.52	0.099	1.96	16
18	10.8	1.82	70.3	6.68	0.694	20.6	3.86	0.232	5.22	2.84	0.125	2.42	18
20	12.0	2.25	86.1	7.42	0.857	25.1	4.29	0.286	6.34	3.15	0.154	2.94	20
25	15.1	3.54	134	9.29	1.34	37.4	5.37	0.448	9.66	3.94	0.241	4.50	25
30	18.1	5.06	187	11.1	1.93	54.6	6.44	0.644	13.6	4.73	0.347	6.26	30
35				13.0	2.62	73.3	7.52	0.879	18.5	5.52	0.473	8.38	35
40				14.8	3.43	95.0	8.58	1.14	23.5	6.30	0.618	10.8	40
45				16.7	4.33	119	9.66	1.45	29.5	7.10	0.783	13.5	45
50				18.6	5.35	146	10.7	1.79	36.0	7.88	0.965	16.4	50
60				22.3	7.71	209	12.9	2.57	51.0	9.46	1.39	23.2	60
70				26.0	10.5	283	15.0	3.50	68.8	11.0	1.89	31.3	70
80							17.2	4.58	89.2	12.6	2.47	40.5	80
90							19.3	5.79	112	14.2	3.13	51.0	90
100							21.5	7.15	138	15.8	3.86	62.2	100
120							25.7	10.3	197	18.9	5.56	88.3	120
140										22.1	7.56	119	140

Fuente de información: (Garcia Saavedra, 1982).

Anexo 8

Tabla 56: Factor de evaporación

Temperatura del agua de alimentación		Presión (Kg/cm ²) (lb/pulg ²)													
		0.35	0.7	1.41	3.52	4.92	6.33	7.03	7.73	8.44	9.14	10.5	12.0	13.4	14.1
		5	10	20	50	70	90	100	110	120	130	150	170	190	200
°C	F														
0.0	32	1.19	1.19	1.20	1.214	1.219	1.223	1.225	1.226	1.228	1.229	1.231	1.233	1.235	1.237
4.4	40	1.18	1.18	1.19	1.206	1.211	1.215	1.217	1.218	1.220	1.221	1.223	1.225	1.227	1.227
10.0	50	1.17	1.17	1.18	1.196	1.201	1.205	1.206	1.208	1.210	1.211	1.213	1.215	1.216	1.217
15.6	60	1.16	1.16	1.17	1.185	1.190	1.194	1.196	1.198	1.199	1.200	1.202	1.204	1.206	1.207
21.1	70	1.15	1.15	1.16	1.175	1.180	1.184	1.186	1.187	1.189	1.190	1.192	1.194	1.196	1.196
26.7	80	1.14	1.14	1.15	1.162	1.170	1.174	1.176	1.177	1.179	1.180	1.182	1.184	1.186	1.186
32.2	90	1.13	1.13	1.14	1.154	1.160	1.164	1.165	1.167	1.169	1.170	1.172	1.173	1.176	1.176
37.8	100	1.12	1.12	1.13	1.144	1.149	1.153	1.155	1.156	1.157	1.159	1.161	1.163	1.166	1.166
43.0	110	1.11	1.11	1.12	1.134	1.139	1.143	1.145	1.146	1.148	1.149	1.151	1.153	1.155	1.155
49.0	120	1.10	1.10	1.11	1.124	1.129	1.133	1.134	1.136	1.138	1.139	1.141	1.143	1.145	1.145
54.0	130	1.09	1.09	1.10	1.113	1.118	1.123	1.124	1.126	1.127	1.128	1.130	1.132	1.135	1.135
60.0	140	1.08	1.08	1.09	1.103	1.108	1.112	1.114	1.115	1.116	1.118	1.120	1.122	1.125	1.125
66.0	150	1.07	1.07	1.08	1.093	1.098	1.102	1.104	1.105	1.106	1.108	1.110	1.112	1.114	1.114
71.0	160	1.06	1.06	1.07	1.082	1.088	1.092	1.093	1.095	1.096	1.097	1.110	1.102	1.104	1.104
77.0	170	1.05	1.05	1.06	1.072	1.077	1.081	1.083	1.084	1.086	1.087	1.089	1.091	1.094	1.094
82.0	180	1.04	1.04	1.05	1.062	1.067	1.071	1.073	1.074	1.076	1.077	1.079	1.081	1.083	1.083
88.0	190	1.03	1.03	1.04	1.052	1.057	1.061	1.062	1.064	1.065	1.066	1.069	1.071	1.073	1.073
93.0	200	1.02	1.02	1.03	1.041	1.047	1.050	1.052	1.053	1.055	1.056	1.058	1.060	1.063	1.063
99.0	210	1.01	1.01	1.02	1.031	1.036	1.040	1.042	1.043	1.045	1.046	1.048	1.050	1.052	1.052

Fuente de información: (Días Vera, 2009).

Anexo 9

Tabla 57: Propiedades del diesel oil usado en el Ecuador.

Propiedades	Diesel oil N° 2
Consumo por caballo caldera	0.295 GPH/BHP
Viscosidad SSU a 100 °F	36 a 45
Gravedad específica	0.849 a 0.86
Grados API	33 a 35
Punto de inflamación (°F)	180
Punto de combustión (°F)	-
Punto de fluidez (°F)	44
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	10700
Porcentaje agua-sedimentos (%)	Trazas
Contenido de azufre (%)	0.49
Contenido de vanadio (ppm)	1.5
Contenido de cenizas (%)	-
Contenido de sodio (ppm)	-

Fuente de información: (Días Vera, 2009).

$$1 \text{ BTU/lb} = 0.5544 \text{ Kcal/Kg} = \text{Poder calorífico}$$

Anexo 10

Tabla 58: Rugosidad absoluta para algunos materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrífuga	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente de información: (Metcalf & Eddy, 2001)

Anexo 11

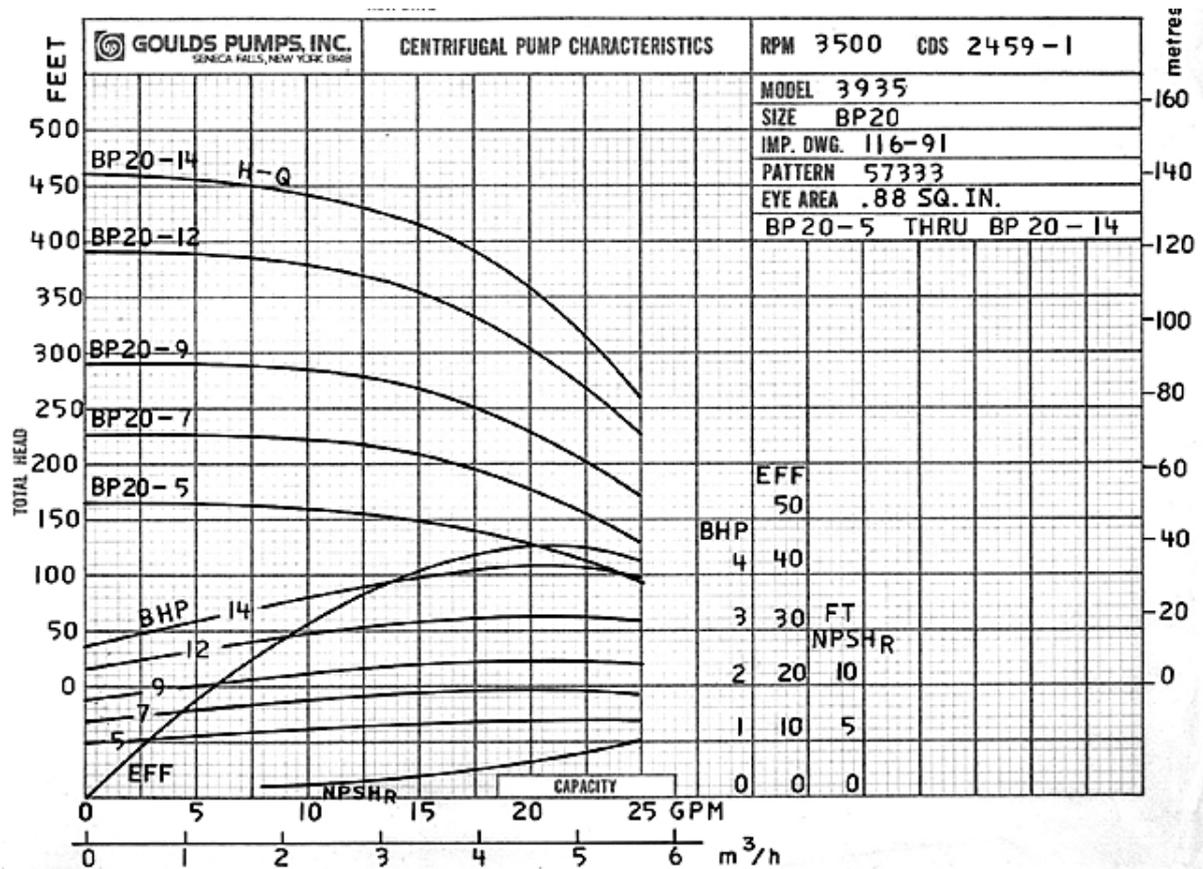


Figura 49: Curva característica de la bomba seleccionada GOULDS PUMPS.

Fuente de información: Catálogo de bombas Goulds Pumps.

Anexo 12

Tabla 59: Emisión de calor de las tuberías.

Temperature difference steam to air °C	Pipe size (DN)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	W/m									
60	60	72	88	111	125	145	172	210	250	351
70	72	87	106	132	147	177	209	253	311	432
80	86	104	125	155	171	212	248	298	376	519
90	100	121	146	180	196	248	291	347	443	610
100	116	140	169	207	223	287	336	400	514	706
110	132	160	193	237	251	328	385	457	587	807
120	149	181	219	268	282	371	436	517	664	914
130	168	203	247	301	313	417	490	581	743	1 025
140	187	226	276	337	347	464	547	649	825	1 142
150	208	250	306	374	382	514	607	720	911	1 263
160	229	276	338	413	418	566	670	794	999	1 390
170	251	302	372	455	457	620	736	873	1 090	1 521
180	275	330	407	499	497	676	805	955	1 184	1 658
190	299	359	444	544	538	735	877	1 041	1 281	1 800
200	325	389	483	592	582	795	951	1 130	1 381	1 947

Fuente de información: (Montaño Peralta, 2010).

Anexo 13

Tabla 60: Pérdidas de fricción en longitud de tubería de varios accesorios.

DIÁMETRO NOMINAL		20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA		(m)										
TEE		0.70	0.80	0.90	1.50	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.60	5.00
CODO 90°		1.10	1.20	1.50	2.00	3.20	3.40	3.70	3.90	4.30	5.40	5.50
CODO 45°		0.40	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	1.70	1.80	1.90	2.60	3.50
CODO 90° L/R		0.40	0.50	0.60	0.70	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	2.10	2.60
CODO 45° L/R		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40
VÁLVULA CHECK		2.50	2.70	3.80	4.90	6.80	7.10	8.20	9.30	10.40	13.90	17.60
VÁLVULA DE BOLA		11.10	11.40	15.00	22.00	35.80	37.90	38.00	40.00	42.30	56.70	72.10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00	1.20	1.40

Anexo 14

Tabla 61: Valores de K en función de la relación entre diámetros en un estrechamiento brusco.

D_1/D_2	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
K	0,08	0,17	0,26	0,34	0,37	0,41	0,43	0,45	0,46

Fuente de información: (Simón Andrew, 1986).

Anexo 15

Tabla 62: Rugosidad absoluta de algunas válvulas.

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Fuente de información: (Metcalf & Eddy, 2001)

Anexo 16

Tabla 63: Rango de trampas de flotador termostáticas.

Rango de Trampas de Flotador Termostáticas						
Modelo	Serie:	Máxima Presión de operación (psi)	Tamaños disponibles	Material del cuerpo	Conexiones disponibles	
FT-15 FT-30 FT-75 FT-125	Conexiones en Paralelo	15	3/4", 1", 1-1/4"	Hierro fundido	Rosca.	
FT-150 FT-200		30 75 125	1-1/2", 2"			
FTI-15 FTI-30 FTI-75 FTI-125 FTI-200	Conexiones en Línea	150 200	3/4", 1" 1-1/4", 1-1/2"		Rosca Horizontal	
FT 14-4.5 FT 14-10 FT 14-14		15 30 75 125 200	1/2", 3/4", 1"			
FT 10-4.5 FT 10-10 FT 10-14	Super Capacidad Conexiones en Paralelo	65 145 200	1/2", 3/4"		Hierro dúctil	Rosca Horizontal Vertical
FT 16-4.5 FT 16-10 FT 16-14		65 145 200	1"		Hierro fundido	Rosca Horizontal
FTB-20 FTB-30 FTB-125 FTB-175		20 30 125 175	2" 2-1/2" 1-1/2", 2", 2-1/2"			
OK150 OK300		Alta presión, Alta capacidad (3 y 4 pulg). Conexiones en línea	150 300	1/2"	Acero	Rosca, SW, Brida Horiz, Vert.
FT450-4.5 FT450-10 FT450-14 FT450-21 FT450-32	65 145 200 300 465		3/4", 1" 1-1/2", 2", 3" y 4"	Acero fundido	Rosca, SW, brida horizontal	
FT46-4.5 FT46-10 FT46-14 FT46-21	65 145 200 300		1/2", 3/4", 1" 1-1/2", 2"	Acero Inox.	Horizontal Brida	

Fuente de información: Catálogo de productos Spirax Sarco.

Anexo 17



Figura 50: Esterilizador fuera de servicio.

Anexo 18



Figura 51: Marmita fuera de servicio.

Anexo 19



Figura 52: Caldera Bryan Bolier de 64 HP existente en el Hospital.

Anexo 20



Figura 53: Colector de vapor.

Anexo 21



Figura 54: Tuberías de vapor que van a los diferentes puntos de consumo.

Anexo 22

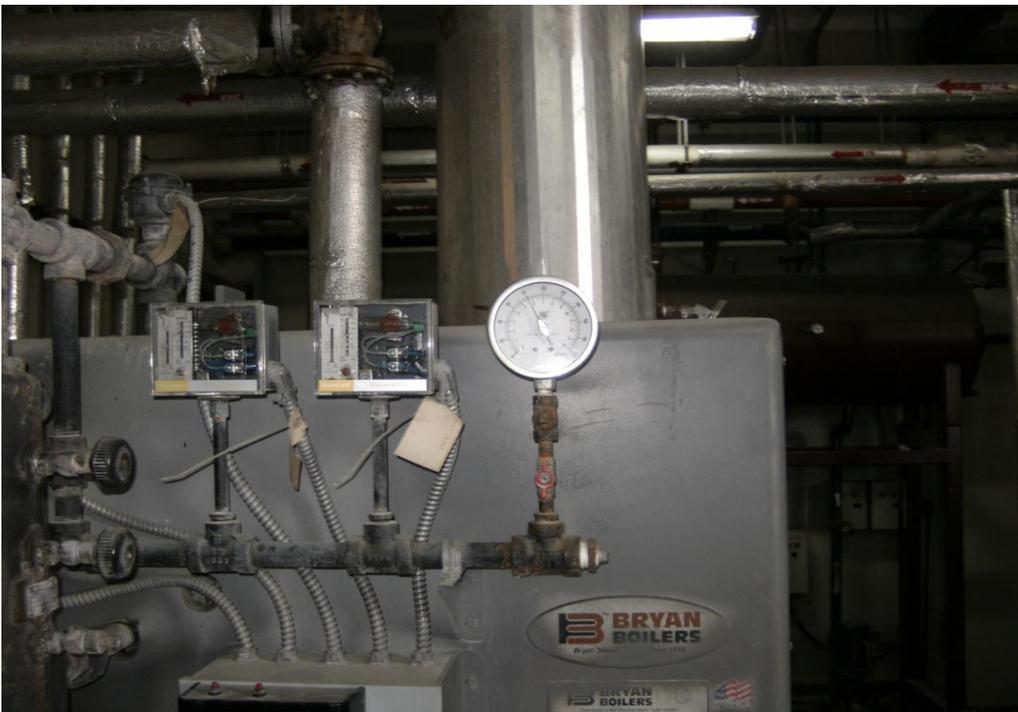


Figura 55: Presión de trabajo de la caldera.

Anexo 23



Figura 56: Accesorios sin aislar.

Anexo 24



Figura 57: Aislamiento en mal estado.

Anexo 25



Figura 58: Tubería por donde se envía en el condensado a las cañerías en el area de esterilización.

Anexo 26



Figura 59: Válvula reguladora de presión en el área de lavandería.

Anexo 27



Figura 60: Temperatura ambiente en la ciudad de Machala.

Anexo 28

por E-CHUNG MACHINERY COMPANY



Figura 61: Esterilizador de vapor.

Anexo 29



Easy Stand

EASY STAND Y EASY MOBILE

Una alternativa móvil para espacios temporales o reducidos

Marmita de cocción eléctrica - triple cámara.

Capacidad de 20 a 100 litros

Basculamiento eléctrico

Tapadera articulada y fijada sobre columna de apoyo.

Versión eléctrica:

Estándar: Autotemp 01 con regulación manual del agua y mandos digitales / simerstat digital.

Opción: Autotemp 11 con regulación automática del agua y control digital de la temperatura.

En opción: válvula de vaciado de 1 1/4" o 2".

Accesorios: tamiz, cestas de cocción, abocador, barra de medición, manguera con ducha para la limpieza, tapadera suelta.

Versión móvil con chasis de acero inox equipado con 4 ruedas, dos de ellas con freno.

Para Easy Mobile (el mismo modelo Easy Stand pero con ruedas, dos de ellas con freno para inmovilizarla), añadir 495 € al P.V.P.

Código	volumen útil-total litros	Potencia eléc. kW	Flujo vapor kg/h	Dimensiones A x L x H (mm)	P.V.P.
Easy Stand 20	20 / 25	7,5	26	935 x 713 x 900	
Easy Stand 30	30 / 28	7,5	31	920 x 753 x 900	
Easy Stand 40	40 / 48	15	34	920 x 753 x 900	
Easy Stand 50	50 / 60	15	36	965 x 778 x 900	
Easy Stand 60	60 / 70	15	38	965 x 778 x 900	
Easy Stand 80	80 / 91	15	45	995 x 793 x 900	
Easy Stand 100	100 / 113	20	52	1045 x 820 x 900	

Los precios P.V.P. indicados corresponden a las marmitas sin opciones, sistema de lavado automático, accesorios o programadores electrónicos. Para conocer el precio final deben solicitar presupuesto personalizado.

Figura 62: Marmita a vapor.

Anexo 30

por Shanghai Laundrymate Machinery Co., Ltd.



Figura 63: Rodillo planchador a vapor.

Anexo 31

por Taizhou Tongjiang Washing Machinery Factory



Figura 64: Lavadora a vapor.

Anexo 32



Figura 65: Secadora a vapor.