

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“IDENTIFICACION DE OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA
PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE VAPOR EN LA RED DEL
HOSPITAL ROSALES”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO MECÁNICO

Presentan:

DANIEL LEONARDO AYALA CASTILLO
EDUARDO ERNESTO FLORES SERRANO
JOSÉ GUILLERMO MORENO ALFARO

CIUDADELA DON BOSCO, JULIO DE 2006, EL SALVADOR.

UNIVERSIDAD DON BOSCO



RECTOR:

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA.

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MARIO OLMOS, SDB.

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA:

ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN.

ASESOR:

ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO.

JURADOS:

ING. EDWIN ZEPEDA.

ING. MARIO MOLINA.

ING. AGUSTIN BARRERA CARPIO.

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“IDENTIFICACION DE OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA
PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO DE VAPOR EN LA RED DEL
HOSPITAL ROSALES”**

ING. EDWIN ROMEO ZEPEDA.
JURADO

ING. MARIO ARNOLDO MOLINA.
JURADO

ING. AGUSTÍN BARRERA CARPIO.
JURADO

ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO.
ASESOR

INDICE

INTRODUCCION.....	i
OBJETIVOS.....	iii
OBJETIVO GENERAL.....	iii
OBJETIVO ESPECIFICO.....	iii
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.	
1.1 CONCEPTOS TERMODINÁMICOS.....	4
1.1.1 ENERGÍA.....	4
1.1.2 CALOR.....	4
1.1.2.1 TRANSMISIÓN DEL CALOR.....	4
1.1.2.1.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	4
1.1.2.1.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.....	5
1.1.2.1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN.....	6
1.1.3 CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA.....	6
1.1.3.1 LICUEFACCIÓN O FUSIÓN.....	7
1.1.3.2 EBULLICIÓN.....	8
1.1.3.3 EVAPORACIÓN.....	8
1.1.3.4 VAPORIZACIÓN.....	9
1.1.4 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MATERIA.....	9
1.1.4.1 CAPACIDAD TÉRMICA.....	9
1.1.4.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K).....	9
1.1.4.3 CAPACIDAD CALORÍFICA (C_p).....	9
1.1.4.4 CAPACIDAD TÉRMICA VOLUMÉTRICA.....	10
1.1.4.5 DIFUSIVIDAD TÉRMICA.....	10
1.1.4.6 CALOR ESPECÍFICO.....	10
1.1.4.7 CALOR LATENTE.....	10
1.1.4.7.1 CALOR LATENTE DE FUSIÓN.....	10
1.1.4.7.2 CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN.....	11
1.1.4.7.3 CALOR TOTAL DE EVAPORACIÓN.....	11
1.1.4.8 CALOR SENCIBLE.....	11
1.2 VAPOR DE AGUA.....	11
1.2.1 VARIABLES DE ESTADO DEL VAPOR.....	12

1.2.1.1	TEMPERATURA.....	12
1.2.1.2	PRESIÓN.....	12
1.2.1.3	ENTALPÍA.....	13
1.2.1.3.1	ENTALPÍA ABSOLUTA.....	13
1.2.1.3.2	ENTALPÍA ESPECIFICA.....	13
1.2.1.3.3	ENTALPÍA DE LIQUIDO.....	13
1.2.1.3.4	ENTALPÍA DE VAPORIZACION.....	13
1.2.1.3.5	ENTALPÍA DE VAPOR.....	13
1.2.1.4	CALOR TOTAL DEL VAPOR.....	13
1.2.1.5	ENTROPÍA.....	14
1.2.1.6	CALIDAD DEL VAPOR.....	14
1.2.2	TABLAS DE VAPOR.....	14
1.2.2.1	CONCEPTOS UTILIZADOS PARA EL USO DE LAS TABLAS DE VAPOR..	15
1.2.2.2	DIAGRAMA DE MOLLIER.....	15
1.2.3	FLUIDOS EN TUBERÍAS.....	17
1.2.3.1	EL VAPOR COMO FLUIDOS.....	19
1.2.3.2	EL VAPOR COMO MEDIO DE TRANSPORTE DE ENERGÍA.....	21
1.3	GENERADOR DE VAPOR.....	21
1.3.1	COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR.....	22
1.3.2	CLASIFICACION DE LOS GENERADORES DE VAPOR.....	24
1.3.2.1	CALDERAS TUBOS DE AGUA.....	25
1.3.2.1.1	DE TUBOS INCLINADOS.....	26
1.3.2.1.2	DE TUBOS DOBLADOS Y PAREDES DE AGUA.....	27
1.3.2.2	CALDERAS TUBOS DE FUEGO.....	30
1.3.2.2.1	CALDERA TUBULAR HORIZONTAL.....	31
1.3.2.2.2	CALDERA TUBULAR VERTICAL.....	31
1.3.2.3	CALDERAS SIN TUBOS.....	32
1.3.3	SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	33
1.3.3.1	RESERVA MÍNIMA DE AGUA.....	33
1.3.3.2	EQUIPO DE BOMBEO.....	34
1.3.3.3	CONTROL NIVEL DE AGUA.....	34
1.3.3.4	AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS.....	35
1.3.3.4.1	PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA EN CALDERAS.....	38

1.3.4 APARATOS DE CONTROL Y MONITOREO.....	40
1.3.4.1 CONTROL PROGRAMADOR.....	40
1.3.5 COMPONENTES DE SEGURIDAD DE UN GENERADOR DE VAPOR.....	41
1.4 DISTRIBUCION DE VAPOR.....	44
1.4.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR (TUBERÍAS).....	44
1.4.1.1 MATERIALES DE LAS TUBERÍAS DE VAPOR.....	45
1.4.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS.....	45
1.4.2 AISLAMIENTO TÉRMICO.....	46
1.4.2.1 INCIDENCIA Y NECESIDAD DEL AISLAMIENTO EN EL TRANSPORTE DE FLUIDOS.....	46
1.4.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES.....	47
1.4.2.2.1 MONTAJE DEL MATERIAL AISLANTE.....	52
1.4.3 DILATACIÓN DE TUBERÍAS.....	53
1.4.3.1 FLEXIBILIDAD DE LA TUBERÍA.....	53
1.4.3.2 JUNTAS DE DILATACIÓN.....	54
1.4.4 SOPORTE DE TUBERÍAS.....	55
1.4.5 LINEAS DE DISTRIBUCIÓN.....	56
1.4.6 CONEXIÓN DE DERIVACIONES.....	58
1.4.7 VÁLVULAS.....	59
1.4.7.1 VÁLVULAS DE SEGURIDAD.....	59
1.4.7.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD.....	60
1.4.7.2 VÁLVULA ANTIRRETORNO.....	61
1.4.7.3 VÁLVULAS EN ÁNGULO.....	62
1.4.7.4 VÁLVULA DE COMPUERTA.....	62
1.4.7.5 VÁLVULAS UNIDIRECCIONALES.....	63
1.4.8 TRAMPAS DE VAPOR.....	64
1.4.8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR.....	64
1.4.8.1.1 TRAMPAS DE VAPOR TERMOSTÁTICAS.....	65
1.4.8.1.2 TRAMPAS DE VAPOR DE TIPO MECÁNICO.....	65
1.4.8.1.3 TRAMPA DE IMPULSO.....	66
1.4.8.1.4 TRAMPA TERMODINÁMICA.....	67
1.4.8.2 LOCALIZACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR.....	67
1.5 SEGURIDAD PARA INSTALACIONES DE SISTEMAS DE VAPOR.....	68

CAPITULO II: ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VAPOR HOSPITAL NACIONAL
ROSALES

2.0 SISTEMA VAPOR DEL HOSPITAL NACIONAL ROSALES.....	71
2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR.....	71
2.1.1 ELEMENTOS DE PRODUCCIÓN.....	71
2.1.2 ELEMENTOS DE DISTRIBUCIÓN.....	75
2.1.3 ELEMENTOS DE CONSUMO.....	75
2.2 CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA DE VAPOR.....	75
2.2.1 VIDA PROMEDIO DE EQUIPOS.....	78
2.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE VAPOR.....	79
2.3.1 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL POR EQUIPO.....	81
2.3.2 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL POR ÁREA.....	82
2.3.3 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL Y TIEMPO DE OPERACIÓN POR ÁREAS..	82
2.3.3.1 DEMANDA DE VAPOR EN COCINA.....	83
2.3.3.2 DEMANDA DE VAPOR EN FÁBRICA DE SUERO.....	85
2.3.3.3 DEMANDA DE VAPOR EN LAVANDERÍA.....	88
2.3.3.4 DEMANDA DE VAPOR EN CENTRAL DE EQUIPOS.....	93
2.3.4 CÁLCULO DEMANDA REAL DE VAPOR.....	95
2.3.4.1 DEMANDA REAL EN COCINA.....	96
2.3.4.2 DEMANDA REAL DE FÁBRICA DE SUERO.....	97
2.3.4.3 DEMANDA REAL DE LAVANDERÍA.....	98
2.3.3.4 DEMANDA REAL DE CENTRAL DE EQUIPOS.....	99
2.4 TIEMPO CRÍTICO DE DEMANDA DE VAPOR REAL.....	99
2.5 DETERMINACIÓN DE VAPOR GENERADO (RENDIMIENTO DE LA CALDERA).....	102
2.5.1 AGUA DE REPOSICIÓN EN CALDERA.....	105
2.6 CÁLCULO EFICIENCIA CALDERA.....	105
2.7 ANÁLISIS GASES DE COMBUSTIÓN DE CALDERAS.....	106
2.8 COSTO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR.....	108
2.9 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS POR FUGAS.....	113
2.10 PÉRDIDAS EN TUBERÍAS.....	117
2.11 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO.....	119
2.12 RECURSO HUMANO Y SU COMPETENCIA EN EL ÁREA DE VAPOR.....	120
2.13 PRESUPUESTO ASIGNADO AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	121

CAPÍTULO III: PROPUESTA TÉCNICA

3.0 PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE VAPOR ACTUAL	
RECOMENDACIONES DE AHORRO.....	123
3.1 ELIMINACIÓN DE TRAMOS Y REDISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA.....	124
3.1.1 ELIMINACIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍA.....	124
3.1.2 REDISTRIBUCIÓN.....	125
3.1.3 DIMENSIONAMIENTO PROPUESTO PARA LA RED DE TUBERÍAS DE VAPOR.....	126
3.1.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS POR ÁREAS.....	127
3.1.3.2 CAÍDAS DE PRESIÓN EN LÍNEAS DE VAPOR.....	131
3.2 PROPUESTA DE SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR.....	131
3.2.2 PROPUESTA DE DIMENSIONAMIENTO TUBERÍA RETORNO DE CONDENSADO.....	140
3.3 PROPUESTA DE AISLAMIENTO TÉRMICO PARA LÍNEAS DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO.....	142
3.3.1 LÍNEAS DE VAPOR.....	144
3.3.2 LÍNEAS DE CONDENSADO.....	146
3.4 SOPORTES.....	148
3.5 PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE NUEVOS EQUIPOS EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA.....	150
3.5.1 DEMANDA TEÓRICA DE VAPOR DEL SISTEMA.....	153
3.6 PROPUESTA DE SELECCIÓN DE MATERIAL Y MONTAJE DE TUBERÍA PARA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO.....	155
3.7 COMPARACIÓN ENERGETICA DE LOS DOS SISTEMAS (ACTUAL Y PROPUESTO).....	156
3.8 CONCLUSIONES DE PROPUESTA TECNICA.....	158

CAPÍTULO IV: PROPUESTA ECONÓMICA

4.0 PROPUESTA ECONÓMICA.....	160
4.1 COSTOS DEL PROYECTO.....	161
4.1.1 COSTO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS.....	161
4.1.2 COSTO DE MANO DE OBRA.....	163
4.1.3 COSTO DE EQUIPO.....	166

4.1.4 COSTO TOTAL.....	166
4.2 FINANCIAMIENTO DE LA INVERSION.....	167
4.2.1 AMORTIZACION.....	167
4.2.2 DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS.....	168
4.3 INGRESOS ESTIMADOS.....	170
4.3.1 COSTOS DE OPERACIÓN.....	170
4.4 FLUJO DE FONDOS.....	170
4.5 CONCLUSIONES DEL ANALISIS FINANCIERO.....	172
4.6 IMPACTO DEL PROYECTO.....	173
CONCLUSIONES.....	174
BIBLIOGRAFIA.....	176
GLOSARIO.....	178
ANEXOS.....	180

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Punto de ebullición del agua a Diferentes Presiones.....	37
Tabla. 2.1 Longitudes de tubería de vapor.....	73
Tabla 2.2. Válvulas del sistema de vapor.....	74
Tabla 2.3 Accesorios del Sistema de vapor.....	74
Tabla 2.4 Costo anual de tratamiento de agua.....	76
Tabla 2.5. Vida promedio de equipo.....	78
Tabla 2.6. Demanda de vapor nominal por equipos.....	81
Tabla 2.7. Demanda de vapor nominal por área.....	82
Tabla 2.8. Demanda de vapor nominal en área de cocina.....	83
Tabla 2.9. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.....	84
Tabla 2.10. Equipos y demanda de vapor nominal en de fábrica de suero.....	85
Tabla 2.11. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.....	86
Tabla 2.12. Capacidades y demanda de vapor nominal de lavadoras.....	88
Tabla 2.13. Equipo de secado.....	89
Tabla 2.14. Porcentajes de ropa secada en cada equipo.....	89
Tabla 2.15. Planchado.....	90
Tabla 2.16. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.....	91
Tabla 2.17. Capacidad y demanda de vapor por equipo.....	93
Tabla 2.18. Demanda de vapor nominal de autoclaves en función del tiempo...	94
Tabla 2.19. Factores de uso por área.....	95
Tabla 2.20. Demanda real de vapor en función del tiempo.....	96
Tabla 2.21. Demanda real de vapor en función del tiempo.....	97
Tabla 2.22. Demanda real de vapor en función del tiempo.....	98
Tabla 2.23. Demanda real de vapor en función del tiempo.....	99
Tabla 2.24. Demanda real de vapor por área y total del sistema en función del tiempo.....	100
Tabla 2.25 Análisis gases de combustión caldera 1.....	107
Tabla 2.26. Análisis gases de combustión caldera 2.....	107
Tabla 2.27. Costo de vapor por energía eléctrica.....	111
Tabla 2.28. Costo de tratamiento químico.....	112

Tabla 2.29. Costo de vapor producido en un día.....	113
Tabla 2.30. Fugas en el sistema de vapor.....	114
Tabla 2.31. Costo anual de fugas.....	115
Tabla 2.32. Características de tubería sin aislamiento.....	117
Tabla 2.33 Presupuesto asignado al Departamento de Mantenimiento.....	121
Tabla 3.1. Tramos a eliminar.....	125
Tabla 3.2. Reducción de longitudes.....	125
Tabla 3.3 Demanda de vapor nominal en lavandería.....	127
Tabla 3.4 Demanda de vapor nominal en cocina.....	128
Tabla 3.5 Demanda de vapor nominal en central de equipos y fabrica de sueros.....	129
Tabla 3.6. Diámetros de tubería de vapor por áreas.....	130
Tabla 3.7 Caídas de presión en tuberías de vapor.....	131
Tabla 3.7. Longitudes a trampear.....	133
Tabla 3.8. Resumen de trampas de vapor.....	139
Tabla 3.9 Capacidad de líneas de retorno de condensado a 82.02 ft/s (25m/s).....	141
Tabla 3.10. Diámetros de líneas de retorno de condensado de equipo y estaciones de trampeo.....	142
Tabla 3.11. Resumen de pérdidas de calor en tuberías aisladas.....	145
Tabla 3.12 Aislante térmico para líneas de retorno de condensado.....	147
Tabla 3.13 Soportes recomendados para tubería.....	148
Tabla 3.14 Soportes recomendados y expansión térmica por tramos de tubería.....	149
Tabla 3.15. Capacidades y demanda de vapor nominal de lavadoras.....	150
Tabla 3.16. Equipo de secado.....	151
Tabla 3.17 Demanda de vapor teórica del sistema.....	153
Tabla 3.18. Tramos de tuberías de vapor a cambiar.....	156
Tabla 3.19. Comparación cuantitativa de situación actual y propuesta de mejora.....	156
Tabla 3.20. Comparación cualitativa de situación actual y propuesta de mejora.....	157

Tabla 4.1 Costo de accesorios.....	162
Tabla 4.2 Costo de mano de obra.....	166
Tabla 4.3 Costo de equipo a instalar.....	166
Tabla 4.4 Costo del proyecto.....	166
Tabla 4.5 Amortización del proyecto.....	167
Tabla 4.6 Depreciación de secadoras.....	168
Tabla 4.7 Depreciación de lavadoras.....	169
Tabla 4.8 Depreciación total de equipos.....	169
Tabla 4.9 Ingresos proyectados.....	170
Tabla 4.10 Flujo de fondos.....	172

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 2.1. Demanda de vapor nominal vrs. Tiempo en el área de cocina.....	85
Gráfico 2.2. Demanda de vapor nominal vrs. Tiempo de uso del equipo.....	87
Grafica 2.3 Demanda de vapor nominal en lavandería.....	92
Gráfica 2.4. . Demanda de vapor nominal vrs tiempo de uso en el área de central de equipos.....	95
Gráfica 2.5. Tiempo crítico de demanda de vapor real.....	101
Grafico 2.6. Costo anual de energía por fugas de vapor.....	116
Gráfica 3.1 Demanda de vapor teórica del sistema vrs. tiempo de uso.....	154

INTRODUCCION

El presente documento de tesis trata sobre la identificación de oportunidades de ahorro energético en el sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales, en cuya institución este tiene un papel de mucha importancia, pues al presentarse problemas en este sistema se ven afectadas prácticamente todas las actividades de este importante nosocomio de la red nacional, que posee categoría de nivel tres. El sistema de vapor del Hospital Rosales presenta una serie de oportunidades potenciales de ahorro energético, que al ser reducidas se demuestra llegan a representar un considerable beneficio económico.

El documento se divide en cuatro capítulos, estructurados de forma secuencial, en el primero se definen aspectos generales de los sistemas de vapor como: formación de vapor, variables de estado, comportamiento de vapor en tuberías, elementos constitutivos de los sistemas de vapor y distribución. En el segundo se presenta el análisis y las oportunidades de ahorro energético, se presenta la cuantificación de las áreas y equipos que utilizan vapor, así como las horas del día en que se requiere el recurso, determinando de este modo las horas críticas de demanda, se calculan además la cantidad de energía térmica perdida por diferentes causas como: fugas, perdidas por radiación y tuberías innecesarias, finalmente se presenta un consolidado de perdida de energía, estableciendo su equivalencia en términos económicos. El tercer capítulo trata sobre la propuesta de mejoras, para el aprovechamiento del vapor, retomando las oportunidades establecidas en el capítulo dos y desarrollando cada una ellas se determinan: material de tuberías, nuevos diámetros, caídas de presión, sistema de retorno de condensado, selección de aislamiento térmico, redistribución de red, supresión de tramos de tubería e instalación de nuevo equipo en lavandería, que reduce el tiempo de operación del sistema, obteniéndose un cuadro de comparación entre el sistema actual y el propuesto. El último capítulo presenta el análisis de factibilidad económica, para la puesta en marcha de las propuestas planteadas, para ello se estima el monto de la inversión, tomando en consideración costos de mano de obra, compra de equipos y accesorios. En los cálculos se establece

que la vía de adquisición del monto de la inversión, se efectúa con fondos propios de la institución en un 40% y el restante 60% por medio de financiamiento. El parámetro de rentabilidad se establece por comparación de la TIR y TMAR, de la cual se realizan las conclusiones correspondientes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Identificar y cuantificar las oportunidades de ahorro energético para reducir los costos de producción, distribución y consumo de vapor en el sistema del Hospital Rosales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una evaluación de las condiciones energéticas actuales en la red de vapor del Hospital Rosales.
- Cuantificar las pérdidas de energía que se identifiquen en la producción, distribución y consumo de vapor.
- Elaborar una propuesta de mejora para las condiciones actuales de toda la red de vapor.
- Elaborar un estudio de inversión para la propuesta, detallando los costos de los productos que se proponen utilizar.
- Establecer una comparación energética y económica entre los dos sistemas, el actual y el propuesto.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. CONCEPTOS TERMODINÁMICOS

1.1.1 ENERGÍA

El término de energía en forma general no se puede definir, sin embargo, la energía es inherente a la materia y se pueden medir sus manifestaciones, existen varias formas de energía: química, térmica, mecánica, potencial, eléctrica, etc.

1.1.2 CALOR

Es una manifestación de la energía térmica (Energía cinética y Potencial). El movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos da lugar a varios fenómenos, uno de ellos es el calor. Este se manifiesta en un cuerpo por un aumento de temperatura, debido a la mayor rapidez del movimiento vibratorio de sus moléculas.

El calor es causa de sensaciones apreciables en nuestro sistema. Sensaciones que en el lenguaje cotidiano se llama frío y calor, siendo estas distintas representaciones de un mismo fenómeno de energía que se llama calor.

El calor siendo una forma de energía se mide en unidades térmicas. La unidad térmica más importante es la unidad térmica británica (B.T.U).

1.1.2.1 TRANSMISIÓN DEL CALOR

El calor es energía en tránsito, debido a diferencia de temperaturas, se puede transmitir a través de los siguientes mecanismos: radiación, conducción, convección o una combinación de los anteriores.

1.1.2.1.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, hay una transferencia de energía desde la región a mayor temperatura hacia la región de menor temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.

La ecuación que describe el comportamiento de la transferencia de calor por conducción se le conoce con el nombre de ecuación de Fourier:

Ecuación de Fourier:

$$q = -k A \Delta T / \Delta X \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde:

q: Flujo de calor (BTU/h).

k : Conductividad térmica del material (BTU/ h ft °F).

A: Área de contacto entre los cuerpos (ft²).

$\Delta T / \Delta X$: Gradiente de temperatura en la dirección de calor (°F)

El signo negativo se coloca para satisfacer la segunda ley de la termodinámica, que establece la dirección de los procesos, donde el calor debe fluir hacia las temperaturas decrecientes.

1.1.2.1.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Mecanismo de transferencia de calor entre paredes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción más fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto es convección natural o convección libre. Si se produce cualquier otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito por la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = h A T \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Donde:

q: Calor (BTU/h).

h: Coeficiente de transferencia de calor (BTU/ h. ft²).

A: Superficie de transferencia de calor (in²).

T: Temperatura (°F).

La constante de proporcionalidad "h" es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación.

1.1.2.1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite, parte de la energía se absorbe por el receptor y la restante es reflejada. La velocidad con que una fuente emite calor está establecida por la ecuación de Boltzmann:

$$q = \sigma \epsilon A T^4 \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Donde:

q: Flujo de calor (BTU/h)

A: área de la superficie emisora (ft²).

T: Temperatura absoluta (R).

σ : Constante de Stefan Boltzmann (0.1714x10⁻⁸ BTU/h ft² R⁴)

ϵ : Emisividad.

1.1.3 CAMBIOS DE ESTADO DE LA MATERIA

La materia se encuentra en la naturaleza en tres estados: Sólido, líquido y gaseoso, sin embargo una sustancia puede cambiar su estado, al modificar sus variables, de presión y temperatura o incluso coexistir en los tres estados bajo condiciones específicas, de lo dicho anteriormente se puede concluir que la materia puede existir

en cualquiera de los tres estados al alterar sobre ella sus variables de estado.

Los procesos de cambio de fase reciben nombres específicos, se clasifican en dos grupos atendiendo si en el proceso de transformación, se absorbe o desprende energía. Los procesos que absorben energía se denominan endotérmicos: fusión, evaporación y sublimación.

Los que desprenden o ceden energía se denotan exotérmicos: condensación, solidificación y sublimación inversa.

1.1.3.1 LICUEFACCIÓN O FUSIÓN

El calor tiende a separar más las moléculas de los cuerpos. La cohesión es una fuerza que mantiene unidas las moléculas de la materia en un mismo cuerpo. Si en éste predomina la cohesión sobre la fuerza que por efecto del calor tiende a separar las moléculas, resulta la forma sólida. Pero si el calor vence y desaparece la cohesión, el cuerpo pasa del estado sólido al líquido, o se verifica la fusión o licuefacción del cuerpo sólido.

La temperatura de la sustancia sometida al calor permanece constante desde el comienzo de la fusión hasta que se alcanza la transformación total del estado sólido al líquido, es conocida como “temperatura de fusión”.

En el proceso de fusión se cumple lo siguiente:

1. Todo cuerpo sólido empieza a fundirse a cierta temperatura, y esta no varía, para una misma sustancia dada, si la presión a que está sometido el cuerpo permanece constante.
2. Si el mismo cuerpo fundido se deja enfriar, se solidifica cuando llega a tener la misma temperatura a la cual empezó a fundirse. El agua pasa del estado líquido al sólido a los 32 °F (0° C), si se encuentra a la presión de una atmósfera.

1.1.3.2 EBULLICIÓN

Se llama a sí al fenómeno físico que tiene lugar en la masa de un líquido de manera que el líquido pasa al estado de vapor.

Si se coloca un recipiente conteniendo agua sobre una fuente de calor, aumenta progresivamente la temperatura. Al principio el aire que contiene el agua es lanzado fuera en forma de pequeñas burbujas que llegan a la superficie libre del agua. Después las moléculas de agua en contacto con el fondo del recipiente adquieren mayor temperatura, el calor vence en ellas la fuerza de cohesión y la presión y se elevan a través del agua, desapareciendo en la masa líquida por condensarse otra vez al contacto con las más frías.

Al incrementarse la temperatura, las burbujas aumentan en número y tamaño, rompiendo la superficie libre del agua y desapareciendo en la atmósfera. Toda la masa del líquido se agita y disminuye al convertirse en vapor.

El vapor arrastra pequeñas partículas de líquido, resultando vapor húmedo. También en determinadas circunstancias se condensa parte del vapor, formando pequeñas partículas líquidas que se mantienen envueltas en el vapor mismo.

En el proceso de ebullición se cumple lo siguiente:

- Todo el líquido empieza a ebullición a determinada temperatura, que permanece invariable hasta que el líquido queda completamente vaporizado, considerando que la presión permanece constante.
- Si el vapor de un líquido se deja enfriar, se condensa cuando llega a una temperatura igual a la que produjo el cambio de fase.
- La temperatura es directamente proporcional a la presión ($T \propto P$).

1.1.3.3 EVAPORACIÓN

Se conoce así al cambio de estado líquido a gaseoso y que tiene lugar en la superficie libre del líquido. La evaporación será mayor cuando la superficie libre del líquido que evapora sea más grande

Si la presión sobre la superficie del líquido aumenta, la evaporación disminuye y por

consiguiente aumenta la evaporación con menor presión sobre la superficie de evaporación o superficie libre del líquido.

Si la atmósfera que pesa sobre la superficie libre del líquido está cargada de vapor (agua), la evaporación es menor que si la atmósfera está seca o menos cargada de humedad. Sobre una superficie de líquido al aire libre, la evaporación aumenta si el aire se renueva.

1.1.3.4 VAPORIZACIÓN

Si un cuerpo en estado líquido se somete a un aumento de temperatura, hasta llegar a su temperatura de saturación este se convierte en gas. Durante el cambio de estado la temperatura del líquido permanece constante, si la presión que experimenta no varía. Por efecto del calor es vencida la fuerza de cohesión y la presión que mantiene al cuerpo en estado líquido y el cuerpo pasa al estado gaseoso.

Este fenómeno físico o paso de los cuerpos de estado líquido a gaseoso por efecto del calor, se llama vaporización.

1.1.4 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MATERIA

1.1.4.1 CAPACIDAD TÉRMICA (C)

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un cuerpo desde T a T_1 .

1.1.4.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)

Es una propiedad de transporte que proporciona una medida de la velocidad a la que se transfiere energía mediante el proceso de difusión, y depende de la estructura física de la materia atómica y molecular, que se relaciona con su estado físico.

1.1.4.3 CAPACIDAD CALORÍFICA (C_p):

Cantidad de energía necesaria para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de sustancia.

1.1.4.4 CAPACIDAD TÉRMICA VOLUMÉTRICA (C_v)

Mide la capacidad de un material para almacenar energía térmica y es igual al producto de la densidad por la capacidad calorífica.

1.1.4.5 DIFUSIVIDAD TÉRMICA (Σ)

Mide la capacidad de un material para conducir energía térmica en relación con su capacidad para almacenar energía térmica y se define como la relación entre la conductividad y la capacidad térmica volumétrica. Materiales de Σ pequeño responden lentamente a los cambios térmicos en su medio y tardan más en alcanzar una nueva condición de equilibrio en comparación con los materiales de Σ grandes.

1.1.4.6 CALOR ESPECÍFICO

Es el calor necesario para elevar la temperatura de la unidad de peso de la sustancia un grado y la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura del mismo peso de agua un grado de temperatura.

1.1.4.7 CALOR LATENTE

Puede definirse como el calor que debe transmitirse a un cuerpo en un estado determinado para que pase a otro estado sin alterar su temperatura.

1.1.4.7.1 CALOR LATENTE DE FUSIÓN

Cuando un cuerpo pasa de estado sólido a líquido, su temperatura permanece casi invariable, a cierto punto de fusión, durante toda la operación en que se verifica la fusión una cantidad de calor tiene que ser suministrada al cuerpo en estado de licuefacción necesitando cierta cantidad de calor por unidad de peso, se llama calor latente de fusión.

Durante el proceso de solidificación una cantidad igual a la del calor latente de fusión es cedida por el cuerpo, cuyo calor pasa a la atmósfera o a otros cuerpos que se encuentren a su alrededor.

1.1.4.7.2 CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN

Cuando un cuerpo pasa del estado líquido al estado gaseoso, su temperatura permanece casi invariable a cierto punto de ebullición, dependiendo de la presión; para que la evaporación se produzca, una cantidad de calor tiene que ser suministrada a la sustancia. Este calor no eleva la temperatura de la sustancia; pero provoca la transformación al estado gaseoso, y es llamado calor latente de evaporación.

Cuando un cuerpo pasa del estado gaseoso al estado líquido o al estado sólido, su temperatura permanece casi invariable, durante la operación, en el punto de ebullición correspondiente a la presión del vapor; una cantidad de calor igual al calor latente de evaporación en aquella temperatura es cedida por el cuerpo.

1.1.4.7.3 CALOR TOTAL DE EVAPORACIÓN

Es la sumatoria del calor sensible y calor latente. Expresado en kcal o BTU.

1.1.4.8 CALOR SENSIBLE

Se define como el calor necesario para elevar la temperatura, antes de la evaporación, desde una temperatura inicial a la temperatura de evaporación

1.2.0 VAPOR DE AGUA

Es un gas real que no cumple con la ley de los gases ideales, se genera cuando se añade energía calorífica al agua en una caldera. Se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura.

La cantidad requerida de calor es diferente para cada combinación de presión/ temperatura.

1.2.1 VARIABLES DE ESTADO DEL VAPOR

1.2.1.1 TEMPERATURA

Temperatura de un cuerpo es un estado con relación a su capacidad para transmitir o recibir calor. La temperatura de un cuerpo indica su estado de calor con relación a otros y no el calor que posee.

- Temperatura Relativa:

Es la que se obtiene a través de termómetros y se expresa en grados Celsius (°C) y en grados Fahrenheit (°F).

- Temperatura Absoluta:

Es la relativa más una constante y se mide en grados Kelvin (K) y Rankin (R).

$$T (^{\circ}\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$T (^{\circ}\text{R}) = T (^{\circ}\text{F}) + 460$$

1.2.1.2 PRESIÓN

Es la fuerza ejercida sobre la unidad de superficie.

$$P = F / A \quad (\text{Ec. 1.4})$$

Donde: P : Presión (lb/in²)

F: Fuerza (lb)

A: Área (in²)

-Presión Absoluta:

Es la presión medida con respecto al vacío perfecto.

-Presión Relativa o Manométrica:

Es la presión medida con respecto a la presión atmosférica, la cual es igual a 1.01 bar absoluta. Presión Relativa más 1.01 bar es igual a la Presión Absoluta. Igualmente, Presión Absoluta menos 1.01 bar es igual a la Presión Relativa.

1.2.1.3 ENTALPÍA

Es la unidad de medida de la energía térmica de los fluidos. La entalpía puede ser entalpía absoluta o específica.

1.2.1.3.1 ENTALPÍA ABSOLUTA (H)

Es el calor total de un fluido y se denota por la letra “H” y su unidad de medida es el BTU o kcal.

1.2.1.3.2 ENTALPÍA ESPECÍFICA (h)

Es el calor de un fluido por unidad de masa y se denota por la letra “h” y su unidad de medida es BTU / lbm o kcal / kg.

1.2.1.3.3 ENTALPÍA DEL LÍQUIDO (h_f)

Es la cantidad de energía en BTU o kcal necesario para elevar la unidad de medida de masa de agua desde una temperatura de 32 °F (0 °C) hasta su temperatura de ebullición, a una presión determinada. Se denota con las letras “ h_f ”.

1.2.1.3.4 ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN (h_{fg})

Es la cantidad de energía medida en BTU o kcal necesaria para convertir la unidad de medida de masa de agua a vapor seco, a la misma temperatura y presión. Se denota por “ h_{fg} ”.

1.2.1.3.5 ENTALPÍA DE VAPOR (h_g)

Es la suma de las entalpías de líquido saturado y la entalpía de vapor seco. Se denota por “ h_g ”. Sus unidades son BTU / lbm o kcal / kg.

1.2.1.4 CALOR TOTAL DEL VAPOR

Es el calor total en vapor arriba de 0°C. Es igual a la suma del Calor del Líquido Saturado y el Calor Latente, expresado en BTU / lbm o kcal / kg.

1.2.1.5 ENTROPÍA

Es una medida del orden molecular. Un cambio en la entropía corresponde a un cambio en el orden molecular, u organización de un sistema. Si la entropía aumenta, las moléculas se mueven con libertad, por ejemplo cuando un sólido se funde para pasar a líquido, o cuando un líquido se evapora para pasar a gas.

1.2.1.6 CALIDAD DEL VAPOR

En la práctica, el vapor suele llevar pequeñas gotitas de agua y no es totalmente vapor saturado seco, este se denota como “vapor húmedo”. Si se sigue aportando calor después de haber evaporado toda el agua, la temperatura del vapor volverá a elevarse. A este se le llama “vapor recalentado”.

La calidad del vapor se define por su porcentaje de vapor seco. La proporción de vapor completamente seco presente en la muestra bajo consideración. Si se dice que el porcentaje de vapor seco es de 0.95, el 95% de su masa será vapor saturado seco y el 5% será agua.

La calidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$X = \frac{h_x - h_f}{h_g - h_f} \times 100 \quad (\text{Ec.1.5})$$

Donde:

x: Calidad

h_f : Entalpía de líquido saturado (BTU / lb_m)

h_g : Entalpía de vaporización (BTU / lb_m)

h_x : Entalpía de la mezcla (BTU / lb_m)

1.2.2 TABLAS DE VAPOR

Las tablas de vapor muestran propiedades del vapor saturado seco. Se trata de agua que ha sido completamente evaporada y convertida en vapor, sin que contenga gotas de agua líquida.

1.2.2.1 CONCEPTOS UTILIZADOS PARA EL USO DE LAS TABLAS DE VAPOR

Vapor Saturado

Es vapor seco a una temperatura igual a la temperatura a que ebulle el agua a una presión dada.

Volumen Específico de Líquido

Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo (m^3/kg).

Volumen Específico de Vapor

Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo (m^3/kg).

1.2.2.2 DIAGRAMA DE MOLLIER

Un diagrama de Mollier de vapor, es otra manera de registrar las propiedades del vapor y condensado bajo varias condiciones. Éste muestra las propiedades del vapor y condensado bajo cualquier condición específica o estado. Si los puntos de estado inicial y final de un proceso son conocidos, una línea que una estos puntos de estado puede representar esa parte del proceso.

Características del diagrama de Mollier:

Valores de entalpía específica (h) y entropía específica (s) trazados en los ejes del diagrama.

Una línea de saturación de vapor divide el gráfico en la región de vapor recalentado y la región de vapor húmedo. La línea representa el vapor saturado seco.

El porcentaje de vapor seco (x) en la zona húmeda del diagrama.

Líneas de presión constante (p), por tanto en la zona seca como húmeda del diagrama.

Línea de temperatura constante (t) en la región de recalentado. En la zona húmeda, las líneas de presión y temperatura son paralelas.

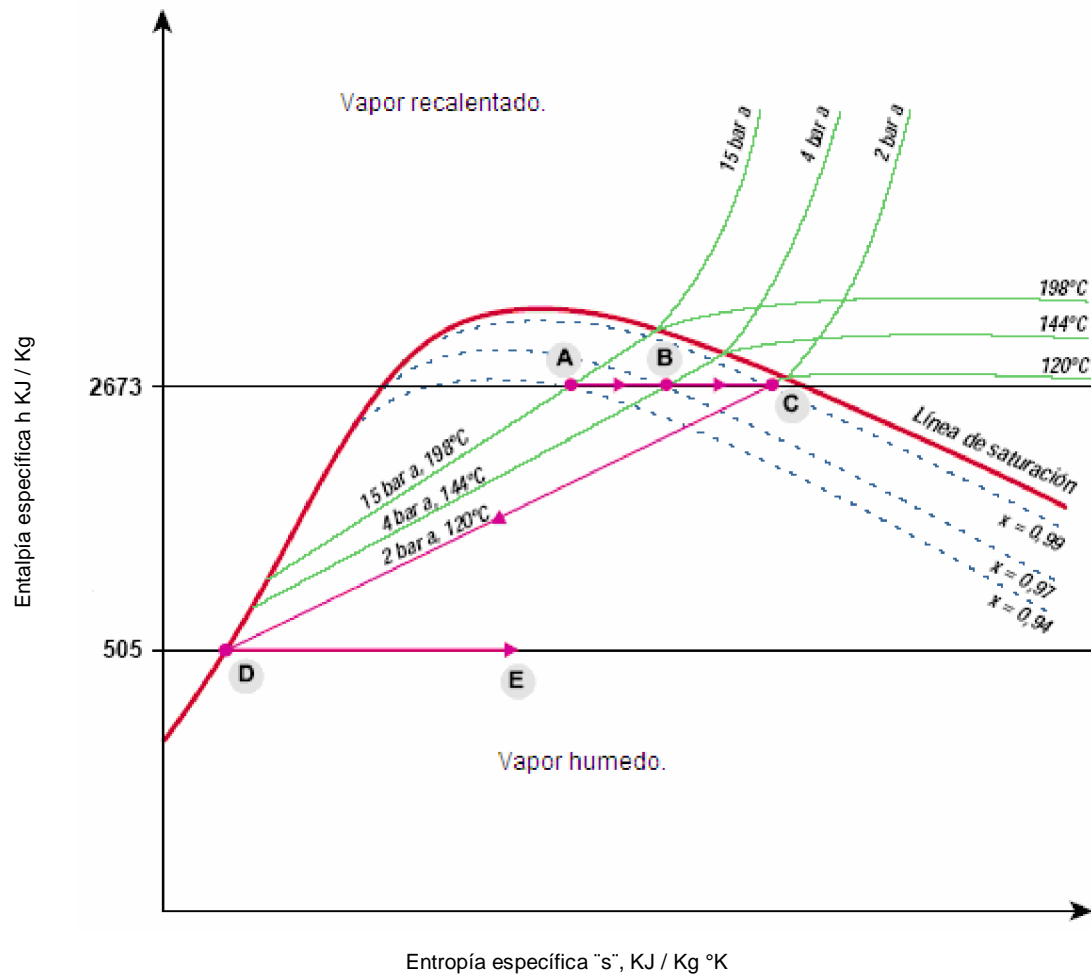


Figura 1.1. Diagrama de Mollier.

1.2.3 FLUÍDOS EN TUBERÍAS

Los factores que afectan el flujo de un fluido en una tubería incluyen:

- § Velocidad del fluido (velocidad media).
- § Viscosidad del fluido.
- § Densidad del fluido.
- § Rozamiento del fluido con las paredes de tubería.

En condiciones ideales, donde se pueden despreciar la viscosidad y el rozamiento, el perfil de flujo en la tubería es uniforme, es decir en todos los puntos de una sección transversal de tubería la velocidad es la misma. Figura 1.2

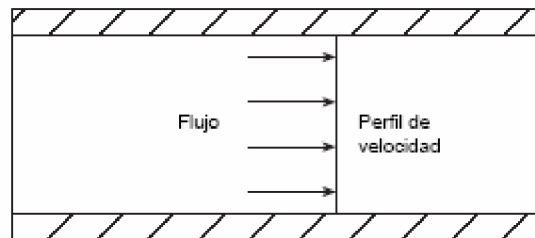


Figura 1.2

En condiciones reales, la viscosidad afecta al caudal, el flujo cerca de la superficie de la tubería es menor que en el centro de la misma. La velocidad del flujo describe una forma convexa. Figura 1.3

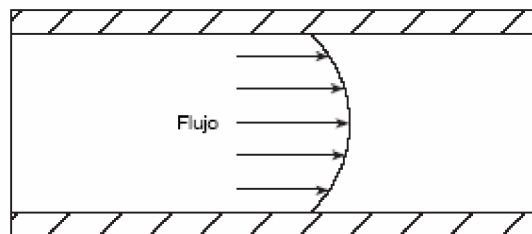


Figura 1.3

La ecuación de Reynolds tiene en cuenta todos los factores que afectan el flujo y genera un factor que expresa la relación entre las fuerzas dinámicas y las de viscosidad.

Ecuación de Reynolds:

$$Re = \rho V_d D / \mu \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Donde:

ρ = Densidad (lbm/ft³)

V_d = Velocidad media del fluido (ft/s)

D = Diámetro interior de la tubería (ft)

μ = Viscosidad dinámica (lbm/ft*s)

El número de Reynolds establece una razón entre la fuerza dinámica y la fuerza de viscosidad.

Re = fuerza dinámica / fuerza de viscosidad.

Por tanto es un número adimensional.

Las fuerzas de viscosidad reducen la velocidad en las paredes de la tubería y la velocidad mayor se encuentra en el centro de la misma. El perfil de velocidad es de forma parabólica. Figura 1.4

Los flujos laminares se obtienen normalmente con números de Reynolds menores a 2000

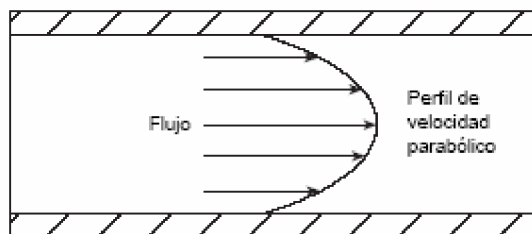


Figura 1.4. Flujo con comportamiento parabólico

Para números de Reynolds mayores de 2000, es decir a velocidades altas o viscosidades bajas, el flujo se convierte en turbulento.

En el caso del vapor los números de Reynolds son superiores a 2000, por lo tanto se está en presencia de un flujo turbulento. Fig. 1.5

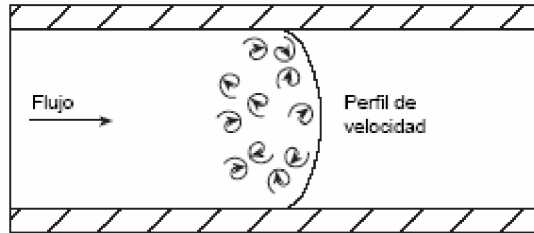


Figura 1.5 Flujo en régimen turbulento

1.2.3.1 EL VAPOR COMO FLUÍDO

Generalmente el vapor se considera como un fluido en dos fases, ya que puede existir como gas (vapor) y líquido (agua) de forma simultánea en su estado de vapor saturado. El vapor sobrecalentado puede tratarse como un verdadero gas, por que se ha evaporado toda la humedad.

Casi todo el vapor que se utiliza para procesos industriales es vapor saturado. Al flujo en las tuberías con dos fases se le conoce como régimen.

Se establecen cuatro tipos de regímenes:

Flujo con olas.

Su característica es que se alterna el vapor y el agua. Las olas viajan a la misma velocidad que el vapor y es perjudicial para cualquier tipo de medidor de vapor. Los golpes de ariete, dañan cualquier válvula o accesorio que se encuentre en la tubería de distribución. Figura 1.6

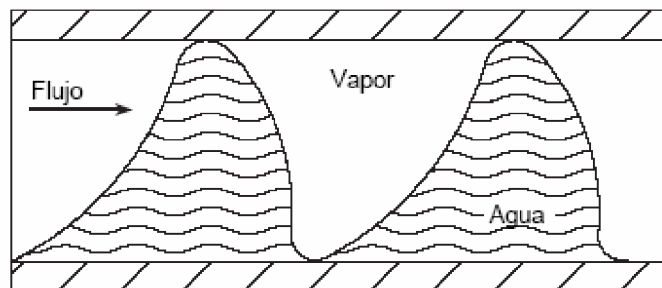


Figura 1.6. Flujo con olas

Flujo anular.

Consiste en una película de agua anular alrededor de la pared de la tubería con el centro de vapor. El centro de vapor se mueve a una velocidad superior a la película de agua. En una tubería horizontal, la película de agua en la parte inferior será generalmente más gruesa que la de la parte superior debido al efecto de la gravedad. Figura 1.7

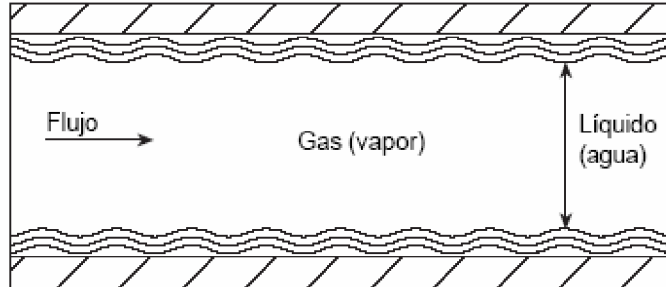


Figura 1.7. Flujo anular

Flujo anular disperso

Es el comportamiento más común del flujo de vapor húmedo, es similar al flujo anular solo que también contiene humedad arrastrada en forma de una suspensión de gotas líquidas. El purgado adecuado del vapor ayuda a reducir la película anular de agua, para que el vapor esté lo más seco posible. Figura 1.8

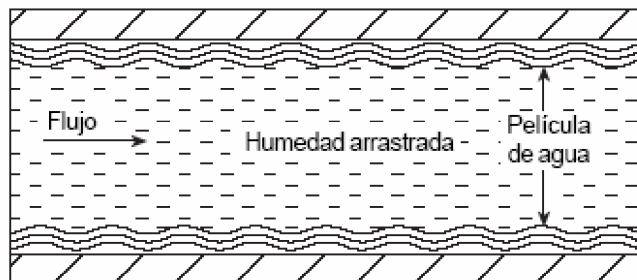


Figura 1.8. Flujo anular disperso

Flujo disperso

Consiste en un flujo de vapor que arrastra pequeñas gotas de agua dispersas en el flujo, es el resultado del flujo anular disperso, después de haber sido filtrado y purgado por los accesorios del sistema. Figura 1.9

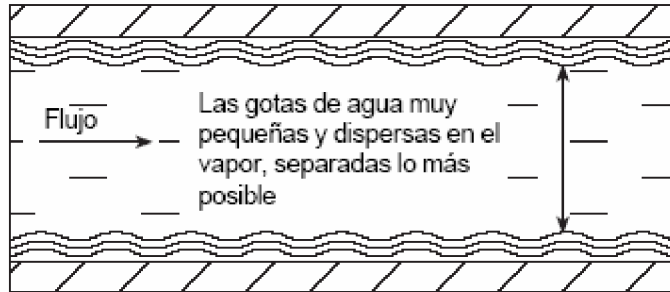


Figura 1.9. Flujo disperso

1.2.3.2 EL VAPOR COMO MEDIO DE TRANSPORTE DE ENERGÍA

El calor fluye de un punto a alta temperatura a un punto a temperatura menor, esto es lo que se conoce como transferencia de calor. Empezando en la cámara de combustión de la caldera, el calor fluye a través de la pared de los tubos de la caldera hasta el agua.

Cuando la presión más alta de la caldera empuja el vapor hacia afuera de la caldera, los tubos de distribución se calientan. Entonces el calor fluye, a través de la pared de los tubos, hacia el aire a temperatura menor alrededor de la tubería. Esta transferencia de calor transforma una cierta cantidad de vapor en agua nuevamente (condensado); esta es la razón por que las tuberías de distribución están aisladas, ya que así se minimiza el desperdicio de energía de esta transferencia de calor indeseable.

La historia es diferente cuando el calor llega a los intercambiadores de calor del sistema. En este caso se desea la transferencia de calor del vapor. El calor fluye hacia el aire en un calentador de aire o hacia el agua en un calentador de agua, o a los alimentos en una olla de cocido. Nada debe de interferir con esta transferencia de calor.

1.3 GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor es la parte más importante en el sistema de vapor, por ser donde se genera. Puede definirse como un recipiente en el que se transfiere la energía calorífica de un combustible a un líquido. En el caso de vapor saturado la

caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor.

Un generador es a menudo el equipo más grande que se encuentra en un sistema de vapor. Su tamaño puede depender de la aplicación en la que se usa. En un sistema grande, donde existen cargas de vapor variables, puede utilizarse varios generadores de vapor.

1.3.1 COMPONENTES DE UN GENERADOR DE VAPOR

Caldera:

Es la parte del generador de vapor donde se inyecta el combustible y se genera el vapor saturado.

Pre calentador de aire:

Es el componente del generador de vapor que precalienta el aire secundario antes de entrar al hogar de la caldera, aprovechando sus gases de combustión su instalación es después del economizador.

Economizador:

Es la parte del generador de vapor que aprovecha el calor de los gases de combustión para precalentar el agua de alimentación que se inyectará a la caldera. Su instalación es después del sobrecalentador y del recalentador de vapor.

Sobrecalentador de vapor:

Componente que permite elevar la temperatura del vapor saturado que produce la caldera. Su instalación es a la salida de vapor de la caldera.

Recalentador de vapor:

Permite elevar la temperatura del vapor residual de un proceso y a una presión menor. Su instalación es posterior al sobrecalentador de vapor.

Hogares

Un hogar es una cámara donde se efectúa la combustión. La cámara confina el producto de la combustión y puede resistir las altas temperaturas que se presentan y las presiones que se utilizan. Sus dimensiones y geometría se adaptan a la velocidad de liberación del calor, el tipo de combustible y al método de combustión, de tal manera que se haga lo posible por tener una combustión completa.

Los hogares enfriados por agua se utilizan con la mayor parte de unidades de calderas, es decir en su gran mayoría, y para todos los tipos de combustible y métodos de combustión. El enfriamiento por agua de las paredes del hogar reduce la transferencia de calor hacia los elementos estructurales y en consecuencia, puede limitarse su temperatura a satisfacer los requisitos de resistencia mecánica y resistencia a la oxidación. Las construcciones de tubos enfriados por agua facilitan el logro de grandes dimensiones del hogar y optimas de techos, tolvas, arcos y montajes de los quemadores, así como el uso de pantallas tubulares, planchas o paredes divisoras, para aumentar la superficie absorbente del calor en la zona de combustión. El uso de hogares con enfriamiento por agua reduce las pérdidas de calor al exterior.

Las superficies absorbentes del calor en el Hogar, lo reciben de los productos de combustión, en consecuencia, contribuyen directamente a la generación de vapor, bajando al mismo tiempo la temperatura de los gases que salen del mismo. Los principales mecanismos de transferencia de calor se efectúan en forma simultánea. Estos mecanismos incluyen la radiación entre sólidos que proviene del lecho de combustible o de las partículas de combustible, la radiación no luminosa de los productos de la combustión, la transferencia de calor por convección de los gases del hogar y la conducción de calor a través de los materiales metálicos de los depósitos y tubos. La eficacia de la absorción de las superficies del hogar es influida por los depósitos de ceniza o escoria.

Los hornos difieren en tamaño y forma, en la localización y esparcimiento de los quemadores, en la disposición de la superficie absorbente del calor y de la distribución de los arcos y tolvas. La forma de la llama y su longitud afectan la geometría de la radiación, la velocidad y distribución de absorción del calor por las superficies enfriadas por agua.

Las soluciones analíticas de la transferencia de calor en los hogares de las unidades generadoras de vapor son extremadamente complejas, y es muy difícil calcular la temperatura de los gases a la salida del hogar por métodos teóricos. Sin embargo, se debe predecir la temperatura de estos gases en forma precisa, ya que esta temperatura determina el diseño del resto de la unidad de la caldera, en particular del sobrecalentador y del recalentador. Los cálculos deben de basarse en resultados obtenidos en pruebas, complementados por datos acumulados por la experiencia en operación y juicios, basándose en el conocimiento de los principios de la transferencia de calor y de las características de los combustibles y escorias

Superficie de calefacción (sc).

Es la superficie de metal de la caldera que se encuentra en contacto al mismo tiempo con los gases de combustión y con el agua o vapor. Se mide del lado de los gases en las calderas tubos de fuego y por el lado del agua en las calderas tubos de agua.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE VAPOR

Las calderas se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes aspectos¹:

- § Por el tipo de diseño estructural.
- § Por aspectos de seguridad.
- § Por su geometría.
- § Por el tipo de fuente de energía.
- § Por el tipo de ventilación para la combustión.
- § Por el tipo de atomización.
- § Por la presión de trabajo.
- § Por el fluido térmico.

¹ Anexo 1.1. Clasificación de generadores de vapor.

De acuerdo a su diseño estructural, las calderas se pueden clasificar como: calderas de tubos de agua, calderas de tubos de fuego y calderas sin tubos.

1.3.2.1 CALDERAS DE TUBOS DE AGUA

También son denominadas como acuatubulares, se definen así por ser el agua el fluido que circula por el interior de los tubos y los gases de combustión se encuentran a su alrededor, figura 1.10. Una caldera acuatubular consta, básicamente, de tambores acumuladores de agua y de tubos por los cuales circula el agua y el vapor, encerrando los contornos de la caldera con paneles de tubo que forman el horno, los tubos a través de los cuales circula el agua y/o vapor tienen distintas características: los tubos que manejan agua-vapor son de acero al carbono, mientras que los tubos que manejan vapor sobrecalentado o recalentado deben ser de una aleación austenítica, por lo que estos tubos son de menor diámetro que los de agua – vapor y son llamados tubos de vapor saturado.

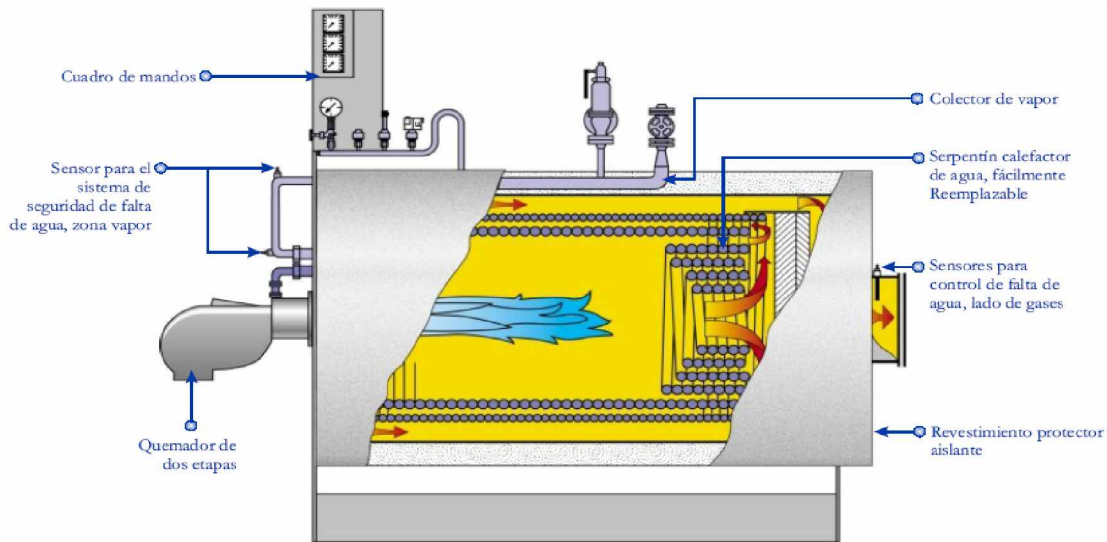


Figura 1.10. Caldera tubos de agua o acuatubular.

Algunas ventajas de las calderas de tubos de agua o acuatubular son:

- § Que debido al pequeño volumen de agua que contienen y una mayor superficie de calefacción la capacidad de generación de vapor es alta, siendo ideal para cubrir las demandas picos.

- § Esta caldera es inexplosiva, debido a que es menos crítico que el domo superior quede al descubierto, alguna rotura en domos o en la soldadura de la tubería de agua podría producir fuga de vapor y agua sin que produzca una explosión excesiva debido a que la presión liberada se disipa en todo el volumen de la cámara de combustión.
- § La Caldera de tubos de agua tiene la ventaja de poder trabajar a altas presiones dependiendo del diseño hasta 350 psi.

Las calderas tubos de agua o acuatubulares son de dos tipos:

- § Tubos Inclinaados.
- § Tubos doblados y paredes de agua.

1.3.2.1.1 DE TUBOS INCLINADOS

Las calderas de tubos inclinados están construidas por bancos de tubos en zigzag con una inclinación de 15° a 25° para favorecer la inclinación y propiciar el drenaje libre de lodos, formados como consecuencia de los tratamientos químicos internos del agua en la caldera.

Este tipo de caldera fue muy popular en la industria, era utilizada para producir vapor de proceso y ocasionalmente para generar calentamiento en edificios. Su construcción propiciaba rápidos tiempos de arranque y su alta confiabilidad respecto al manejo de los lodos que se generaban la hacían importante en el proceso energético. En la figura 1.11, se muestra un corte seccional de este tipo de caldera

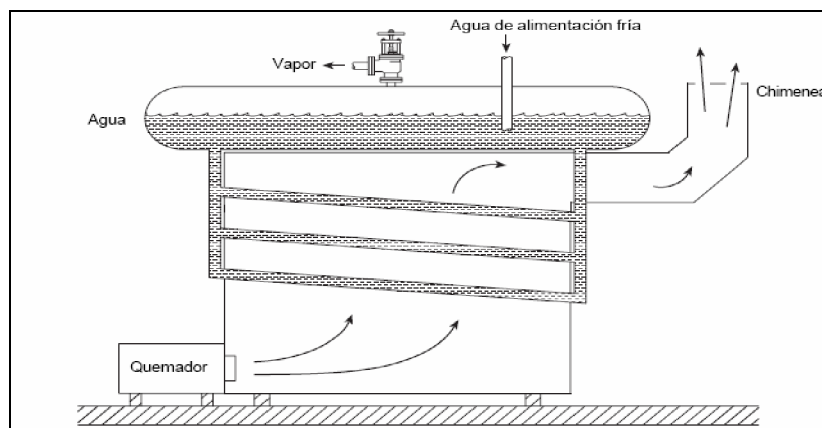


Figura 1.11, Caldera de tubos inclinados.

Su principal desventaja consistía en su limitada capacidad para una separación adecuada del vapor y del agua y una pobre distribución de la circulación dentro de la caldera.

1.3.2.1.2 DE TUBOS DOBLADOS Y PAREDES DE AGUA

Este tipo de diseño ofrece una mayor flexibilidad para lugares donde la altura libre sea limitada, ya que el doblar de la tubería permite una mayor longitud equivalente de calor, que compensa la reducción de la altura. La caldera puede hacerse ancha y baja o puede ser alta y estrecha, en los sitios donde la limitante sea la amplitud. Los principales elementos de una caldera de este tipo son esencialmente los tambores conectados por tubos doblados. Las primeras unidades se construyeron de 4 tambores y aunque era un diseño aceptable se fue mejorando por el de 3 (figura 1.12) y luego por el de 2 tambores.

Algunas ventajas de las calderas de tubos doblados sobre las de tipo inclinado:

- § Respuesta rápida a fluctuaciones de carga.
- § Gran economía en la construcción y operación.
- § Mayor accesibilidad para limpieza y mantenimiento.
- § Producción de un vapor de mejor calidad.

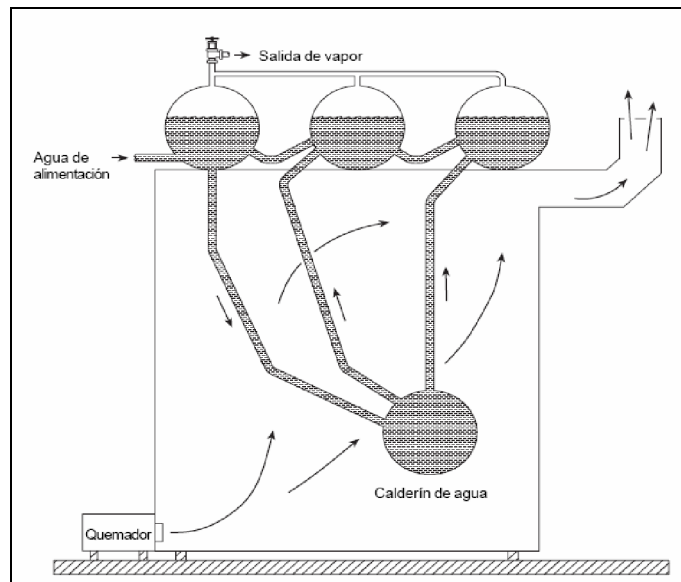


Figura 1.12, caldera de tubos doblados y paredes.

Cuando se necesitaron calderas de mayor capacidad, se hizo necesario aumentar el tamaño de los hornos, lo que incrementó la temperatura en ellos. Esto trajo como consecuencia un excesivo mantenimiento en el refractario del horno. Dentro de los esfuerzos por producir calderas más eficientes y económicas, se desarrolló un horno virtualmente rodeado por una superficie de transferencia en forma de jaula de tubos o paredes de enfriamiento con agua. Estas paredes, constituidas por bancos o paquetes de tubos se denominaron paredes de agua o de tubos de agua y además de evitar las excesivas temperaturas por ensuciamiento, aumentaron la capacidad de generación.

A partir del desarrollo de de este tipo de caldera, los diseños se estandarizaron en tres tipos básicos: calderas tipo A, tipo O y tipo D.

Calderas tipo A.

Como su forma lo muestra la figura 1.13, constan de un tambor de vapor en la parte superior y dos tambores de lodo, arreglados de forma que se asemejan a una A, con el tambor de vapor en el vértice superior y los tambores de lodo en el fondo, a cada lado. Cada uno de los haces de tubos laterales conforman el horno de la caldera. Este tipo desbalanceaba la llama hacia uno u otro lado dependiendo del estado de circulación natural de cada extremo.

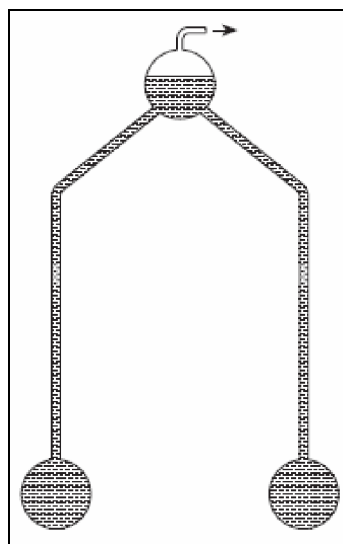


Figura 1.13, Caldera tipo A.

Calderas tipo O.

Constan de un tambor localizado directamente encima del tambor de lodos, pero de manera que ambos se encuentran en el centro de la caldera y los tubos que los unen asemejan una O, figura 1.14. En este tipo el horno es un tubo por el cual, como lo muestra la figura, la llama recorre toda su extensión, propiciando condiciones de limpieza de las tuberías, puesto que los gases avanzan paralelos alas tuberías de convección.

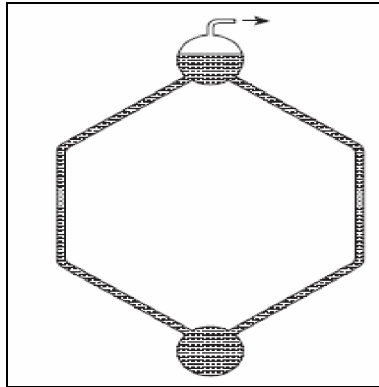


Figura 1.14, Caldera tipo O.

Calderas tipo D.

El tambor de vapor de estas calderas, figura 1.15, está directamente encima del tambor de lodo, pero hacia un lado del horno; una serie de tubos une los tambores verticalmente. Esta es la clásica conformación geométrica para hacer circulación natural. El resto de tubos se extiende horizontalmente desde los tambores de vapor y lodo hasta las paredes del horno, donde se convierten en tubos de pared de agua.

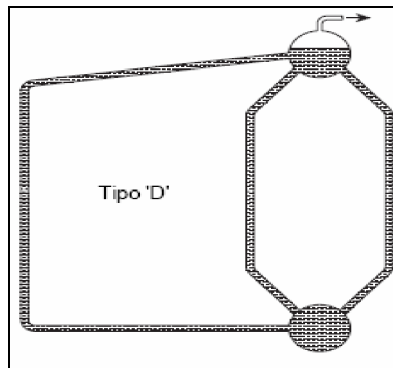


Figura 1.15, Caldera tipo D.

1.3.2.2 CALDERAS TUBOS DE FUEGO

Llamadas también Piro-tubulares, este tipo es el más utilizado en la industria para aplicaciones pequeñas, como energía de calor. En estas calderas el fuego o los gases de combustión circula por dentro de los tubos y el fluido frío, el agua, a su alrededor, figura 1.16, siendo esta su principal característica. El calor es transferido desde el interior de los tubos, donde circulan los gases de combustión, hacia el agua a su alrededor.

El combustible quemado debajo del recipiente y los gases proyectados y orientados por dentro de los tubos, en el interior del tambor acumulador de agua, hacen un recorrido en uno o más pasos. Este número de pasos define la nominación de la caldera como piro-tubular de dos o tres pasos, según las rutas horizontales. El vapor generado en una caldera piro-tubular, sale por la parte superior del tambor; la entrada de agua fría de alimentación, está generalmente 2 pulgadas por encima de la hilera de tubos más alta, con el fin de evitar el choque térmico sobre el agua que esta más fría a esa altura.

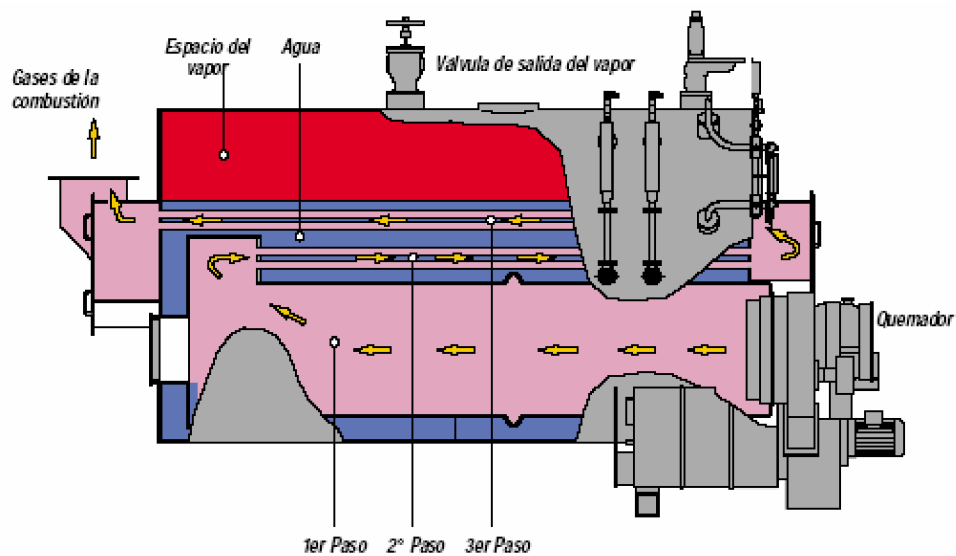


Figura 1.16, Caldera tubo de fuego o piro-tubular.

Las calderas pirotubulares, debido al volumen de agua que contiene la tubería de fuego se mantiene a baja temperatura relativamente, siendo esto una ventaja. El problema es que dificulta su evaporación para cubrir demandas picos; otro riesgo es el ser del tipo explosiva, debido a que pueden quedar al descubierto la tubería de la parte superior y esto produciría pandeo en la tubería de fuego y deformación del tubo central hasta el punto de romperse. La magnitud de la explosión es tan grande debido a que la cámara de vapor está confinada en todo el recipiente de la caldera, lo que significaría una gran masa de vapor liberado en un instante en caso de rotura.

Las calderas tubos de fuego o pirotubulores se clasifican en:

- § Caldera tubular horizontal
- § Caldera tubular vertical

1.3.2.2.1 CALDERA TUBULAR HORIZONTAL

Estas calderas constan de una envolvente cilíndrica, hoy en día normalmente soldadas, con tubos de igual diámetro que corren a lo largo de la envolvente y a través del volumen ocupado por el agua. El espacio o volumen por encima del nivel del agua sirve como separación y almacenaje de vapor. Una chapa separadora es instalada normalmente cerca de la salida de vapor para obtener sequedad en el vapor. La caldera tubular horizontal es de construcción sencilla y es un buen generador de vapor.

Algunas desventajas de la caldera tubular horizontal son:

- § El peligro de quemado de las chapas que están justo encima de la llama, si hay depósitos o capas espesas de lodo sobre esta chapa de caldera, esta dificulta la limpieza de incrustaciones de lodo que es común en todas las calderas pirotubulares.
- § No son muy practicas en tamaños de chapas exterior de más de 96" de diámetro o para presiones que excedan de los 200 psi.

1.3.2.2.2 CALDERA TUBULAR VERTICAL

La caldera vertical de tubos de humo se utiliza cuando apremia y es precaria la

superficie en la planta y los requisitos de presión y capacidad entran dentro del alcance de este tipo de caldera. Esta caldera es una unidad caldeada interiormente por tubos de gases. Al necesitar poco espacio es muy popular para servicios portátiles y transportables, se utilizan para servicio estacionario que requiere presiones y capacidades de producción media para procesos tales como prensas, aplicaciones de secado y planchado en lavandería y en la industria del plástico. La caldera tubular vertical esta limitada en capacidad y presión.

Ventajas de las calderas pirotubulares:

- § Compactas y facilidad de transporte.
- § Bajo costo inicial.
- § Muy poca superficie requerida por HP de caldera.
- § No se precisa un asentamiento especial.
- § Instalación rápida y sencilla.

Desventajas:

- § El interior no es muy accesible para la limpieza, inspección o reparación.
- § La capacidad de agua es pequeña, haciéndola difícil mantener una correcta presión de vapor bajo variaciones de carga.
- § La caldera es propensa a los arrastres (llevados por el vapor) cuando se trabaja a plena carga a causa del pequeño espacio de vapor.
- § La eficiencia o rendimiento es bajo en los tamaños pequeños porque los gases o humos tienen un corto recorrido, y directo, a la chimenea, de forma que se desperdicia mucho calor.

1.3.2.3 CALDERAS SIN TUBOS

Estas calderas también son denominadas "Tubless", su característica principal es que no poseen tubería de fuego ni tubería de agua por lo tanto la manera de

transferir el calor de los gases de combustión al agua es a través de dos cilindros concéntricos en donde se forma una cámara de agua en el interior del cilindro interno y en el exterior del cilindro externo se encuentran los gases de combustión.

Debido al pequeño volumen de agua que contiene y una mayor superficie de calefacción, la capacidad de generación de vapor es rápida, siendo esto una ventaja debido a que facilita su evaporación para cubrir demandas pico pero para demandas pequeñas de vapor.

Las calderas sin tubos son del tipo explosivas, debido a que la presión de vapor se encuentra en una cámara la cual es parte de todo el cuerpo cilíndrico de la caldera.

1.3.3 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Uno de los factores principales por la operación óptima de una caldera es el contar con un sistema de suministro de agua que sea adecuado, ya que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera.

Para que el sistema sea completo, requiere de las siguientes partes:

- § Tanque de reserva mínima de agua.
- § Equipo de bombeo.
- § Control del sistema.

1.3.3.1 TANQUE DE RESERVA MÍNIMA DE AGUA

La cantidad de agua que consume una caldera, dependerá de la cantidad de vapor que se genere.

El almacenamiento de agua se realiza en un tanque de uso diario, el cual además de mantener la reserva mínima de agua, sirve para recibir los condensados que retornan y por lo cual se conoce como tanque de condensado. Figura 1.17

El agua de reposición que entra al tanque de condensado es controlada por medio de una válvula de flotador que debe mantener un nivel que deje libre el 30% del volumen del tanque.



Figura 1.17. Tanque de condensado.

1.3.3.2 EQUIPO DE BOMBEO

La bomba de alimentación de agua a la caldera debe ser capaz de vencer la presión de vapor que se tiene en la caldera, además debe tener la capacidad de abastecer la caldera con la cantidad de agua requerida en un corto tiempo.

1.3.3.3 CONTROL DE NIVEL DE AGUA

Las calderas de operación automática deben estar provistas de un interruptor de bajo nivel de agua, el cual realiza las siguientes funciones:

- § Impide el funcionamiento del quemador mientras no exista suficiente agua en la caldera.
- § Controla la bomba de alimentación de agua.

El control de bajo nivel está constituido por un flotador dentro de un receptáculo que se conecta por su parte superior a la cámara de vapor y por su parte inferior a la cámara de agua. Además debe estar equipado con un visor de nivel que permite observar la cantidad de agua que contiene la caldera.

El control de nivel considera tres niveles fundamentales:

EL NIVEL A:

Indica alto nivel de agua, la bomba de alimentación de agua de la caldera se apaga en ese punto, el quemador está en condiciones de trabajar (la caldera deberá llenarse hasta ese nivel).

EL NIVEL B:

La bomba de alimentación arranca cuando el nivel llega a ese punto y el quemador aún está en condiciones de trabajar si no existe otra causa que lo impida.

NIVEL C:

Indica el mínimo nivel de agua permisible, el quemador se apaga y suena la alarma.

1.3.3.4 AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS

El agua a ocuparse en la alimentación de la caldera es comúnmente llevada a unos suavizadores (Figura 1.18), los cuales sirven para quitarle ciertos minerales al agua que producen daños a la caldera, esta agua tratada es luego llevada a un tanque, con capacidad suficiente para atender la demanda de la caldera, una válvula de control de nivel mantiene el tanque con agua, una bomba de alta presión empuja el agua hacia adentro de la caldera, se emplean bombas de alta presión debido a que generalmente las calderas operan a presiones mucho más elevadas que las que encontramos en los tanques de agua.



Figura 1.18. Suavizadores de agua

Vapor limpio es agua pura en forma de gas, cuando el vapor de retorno se enfría, este se condensa para ser agua pura, conocida como condensado. Normalmente estos contienen una gran cantidad de calor que puede aún ser empleado, utilizados como agua de alimentación a la caldera.

Esto es posible siempre y cuando los condensados son retornados a la caldera y colectados en tanques con el agua de alimentación conocidos como tanques de condensado. En algunas instalaciones, el retorno de condensados puede llegar a ser del 99% casi supliendo el agua de alimentación a la caldera. A mayor porcentaje de recuperación de condensados será menor el agua de alimentación a la caldera. Hay otras instalaciones que probablemente requieran emplear el 100% de alimentación, esto puede ser por varias razones, como que el condensado no se puede recuperar o que el condensado está contaminado por alguna parte del proceso.

Según los elementos que acompañan al agua, se pueden considerar como: “Elementos Disueltos” y “Elementos en Suspensión”, esto lo constituyen los minerales finamente divididos, como las arcillas y los restos de organismos vegetales o animales; y la cantidad de sustancias suspendidas, que son mayor en aguas turbulentas que en aguas quietas y de poco movimiento.

Constituyen los elementos disueltos en el agua, las sustancias orgánicas, las sales minerales, los gases disueltos y la sílice, aunque ésta también suele aparecer como elemento en suspensión en forma de finísimas partículas o coloides.

Las aguas pueden clasificarse según la composición de sales minerales presentes en:

- Aguas Duras

Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

- Aguas Neutras

Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.

- Aguas Alcalinas

Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH presente.

Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, de desprendimientos gaseosos de determinados subsuelos, y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales. Los gases disueltos que suelen encontrarse son el oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico.

Presiones en la Caldera

La temperatura y la presión en la operación de cada caldera definitivamente están relacionadas, como se muestra en la tabla 1.1:

Temperatura		Presión
°F	°C	P. S. I.
212	100	0
300	149	52
400	204	232
500	260	666
600	316	1529
700	371	3080
800	374	3200

Tabla 1.1. Punto de ebullición del agua a Diferentes Presiones

A la presión atmosférica normal el agua tiene un punto de ebullición a 100 °C, a mayor presión el punto de ebullición se incrementa, hasta alcanzar un máximo de ebullición a 374 °C a una presión de 3200 lb/ in². Por encima de esta temperatura el agua no existe como líquido.

1.3.3.4.1 PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CALDERAS

Los problemas mas frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- § Problemas de corrosión.
- § Problemas de incrustaciones.
- § Problemas de ensuciamiento y/o contaminación.

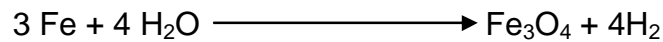
- Problemas de corrosión.

Para que esta aparezca, es necesario que exista presencia de agua en forma líquida, el vapor seco con presencia de oxígeno, no es corrosivo, pero los condensados formados en un sistema de esta naturaleza son muy corrosivos.

El ataque corrosivo más intenso se produce en las zonas donde se acumula agua condensada. La corrosión que produce el oxígeno, suele ser severa, debido a la entrada de aire al sistema, a bajo valor de pH, el bióxido de carbono abarca por si mismo los metales del sistema y acelera la velocidad de corrosión del oxígeno disuelto cuando se encuentra presente en el oxígeno.

El oxígeno disuelto ataca las tuberías de acero al carbono formando montículos o tubérculos, bajo los cuales se encuentra una cavidad o celda de corrosión activa: esto suele tener una coloración negra, formada por un óxido ferroso-férrico hidratado.

Una forma de corrosión que suele presentarse con cierta frecuencia en calderas, corresponde a una reacción de este tipo:



Esta reacción se debe a la acción del metal sobrecalentado con el vapor.

- Problemas de Incrustación

El origen de la formación de incrustaciones en el interior de las calderas mismas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura.

Por esto, las calderas incrustadas requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica que las calderas con las paredes limpias.

Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura. Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover.

Algunas de las causas más frecuentes de este fenómeno son las siguientes:

- § Excesiva concentración de sales en el interior de la unidad
- § Contaminación de algún tipo del vapor o condensado.
- § Transporte de productos de corrosión a zonas favorables para su precipitación.
- § Aplicación inapropiada de productos químicos.

- Problemas de ensuciamiento y/o contaminación.

Se consideran como contaminantes, distintas grasas, aceites y algunos hidrocarburos, ya que este tipo de contaminación son las más frecuentes en la industria.

Dependiendo de la cantidad y características de los contaminantes existentes en el agua de aporte a la caldera, generará en su interior depósitos, formación de espuma con su consecuente arrastre a la línea de vapor y condensado, siendo causante de la formación de incrustaciones y depósitos en la sección post-caldera.

La formación de espuma, suele ocurrir por dos mecanismos:

1. Aumento de sólidos disueltos en el interior de la unidad, los que sobrepasan los límites aceptados de trabajo.
2. Presencia de algunos tipos de grasas y/o aceites (como ácidos orgánicos) produciendo una saponificación de las mismas dada la alcalinidad, temperatura y presión existentes en el interior de la caldera.

La contaminación por hidrocarburos agrega la formación de una película aislante dificultando la transferencia térmica entre los tubos y el agua del interior de la unidad, agravándose esto con las características adherentes de esta película que facilita y promueve la formación de incrustaciones y la formación de corrosión bajo depósito, proceso que generalmente sigue al de formación de depósitos sobre las partes metálicas de una caldera. Luego de un tiempo, las características físicas de la película formada cambian debido a la acción de la temperatura que reciben a través de las paredes metálicas del sistema, haciendo que sufra un endurecimiento y “coquificación”, siendo difícil de remover por procedimientos químicos simples.

1.3.4 APARATOS DE CONTROL Y MONITOREO

1.3.4.1 EL CONTROL PROGRAMADOR

La secuencia de operación del quemador desde que arranca hasta que finaliza, está gobernada por el control programador, que es el centro del sistema de control que recibe y envía señales a los diferentes dispositivos de operación en la caldera.

SECUENCIA BASICA DEL PROGRAMADOR:

- Prepurga.

Es el período de tiempo en que el motor ventilador produce un barrido de gases residuales existentes dentro del tubo central, los tubos de fuego y la chimenea de la caldera. Este paso asegura evitar una explosión o incendio cuando arranque el quemador.

- Encendido de la llama piloto.

Inmediatamente después de haber finalizado la prepurga es energizado el transformador de ignición y la válvula de combustible, para producir la llama piloto.

- Encendido de llama principal.

Habiéndose formado la llama piloto en el paso anterior, se detecta y se envía la señal al programador para que éste a su vez mande la señal eléctrica a las válvulas principales de combustible, permitiendo con ello encender la llama principal.

- Período de trabajo.

La llama principal se mantiene encendida, la caldera genera vapor hasta llegar a la presión de operación, luego el control programador cierra las válvulas del combustible y el quemador se apaga.

- Post-purga.

En este período la llama ya se ha apagado y el ventilador se encarga de evacuar los gases de combustión que han quedado en la caldera.

1.3.5 COMPONENTES DE SEGURIDAD DE UN GENERADOR DE VAPOR

Válvulas de seguridad:

Todo generador de vapor debe tener una o varias válvulas que permitan el desalojo de vapor con una capacidad igual o mayor de la capacidad generación nominal del equipo. En algunos casos se requiere un 10-15 % por encima de la capacidad.

Las válvulas de seguridad deben ser accionadas manualmente con regularidad, mínimo una vez al mes para asegurar su buen funcionamiento, sedimentos retenidos en el asiento de la válvula podrían pegarla o impedirle el cierre total, generando fugas.

Cada seis meses o cuando lo recomiende un inspector de caldera, se deberá realizar una prueba de disparo automático de las válvulas incrementando la presión hasta el límite de diseño o límite de disparo. En caso de fallo la válvula sustituta deberá tener la misma capacidad de desalajo que la original y respetar el diámetro.

No es seguro y nadie puede garantizar el ajuste o reparación de una válvula de seguridad; al romper el marchamo, se pierde la garantía de seguridad.

Las válvulas de seguridad debidamente calibradas y funcionando adecuadamente previenen la explosión de la caldera en caso de condiciones de presión excesiva.

Detector de llama o foto celda:

Este es el control principal de operación del quemador. Sin detectar la llama, automáticamente cierra el proceso en el quemador. Mientras exista llama mantiene operando el quemador.

Actúa como la llama piloto para establecer la llama principal; 10 segundos después de la llama piloto, el quemador inicia la operación normal, 15 segundos adicionales permite detectar una mala combustión o combustión errática

Control de presión de seguridad límite:

Este dispositivo bloquea totalmente la operación de la caldera cuando se excede la presión normal de operación, por esta razón es llamado control límite.

Control de nivel de agua:

Los controles de nivel en la caldera se usan para ver y monitorear lo que sucede en el interior de la caldera. La revisión diaria y semanal de los controles puede ayudar a la caldera a operar de una manera segura y confiable. Las mirillas de calibración deben estar siempre limpias para indicar el nivel de agua de la caldera.

Los controles de bajo nivel de agua son diseñados e instalados para minimizar el

sobre calentamiento de las partes de la caldera. Los interruptores de corte por bajo nivel de agua están diseñados para desactivar los equipos de quemadores en caso de una caída del nivel de agua por debajo de un punto específico, evitando las explosiones.

Este elemento controla la alimentación automática de agua activando y desactivando la bomba.

Control auxiliar de bajo nivel de agua:

Este dispositivo es opcional y evita problemas de falta de agua, en caso en que fallara el control de nivel principal.

Alarmas:

Este dispositivo manifiesta una falla o corte de operación por bajo nivel de agua, falla en la llama, falla del programador, etc.

Existen en varias tipos: acústico de timbre o corneta, visual de luz en un tablero o foco local. Esta alarma alerta al operador para tomar acción correctiva inmediata.

Control de presión o termostátos:

Estos son elementos que censan y miden variables de presión o temperaturas que permiten fijar límites de operación o de proceso.

Actúan como ampollitas de mercurio o microswitch para abrir o cerrar un circuito eléctrico. Algunos cierran cuando la presión aumenta, otros abren cuando la presión aumentan o viceversa y se resetean automáticamente o manualmente.

Manómetros y termómetros:

Estos instrumentos ayudan a ajustar los controles de operación verificando visualmente los parámetros de ajuste. Se recomienda que los manómetros estén graduados al doble de la presión máxima de trabajo y en ningún caso menos del 50% en exceso de dicha presión. Los termómetros deberán tener un rango adecuado para los límites de temperatura de trabajo.

1.4 DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

1.4.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR (TUBERÍAS)

El sistema de distribución de vapor es el enlace que existe entre la sala de generación y el proceso de calentamiento de una determinada planta industrial. El dinero gastado en generar eficientemente el vapor puede ser perdido a menos que el sistema de distribución sea óptimo, conduciendo vapor de tal manera que en el lugar donde este se vaya a utilizar llegue con una correcta presión, seco y libre de aire y en la cantidad requerida.

El vapor es simplemente un conductor de calor. El calor está contenido inicialmente en un combustible. En muchos casos no es práctico extraer el calor del combustible en el punto donde se requiere un calentamiento, este proceso usualmente se lleva a cabo en un punto central en un intercambiador de calor, es decir: un generador y transferido por medio de tuberías.

Entre los factores más importantes a considerarse para un sistema de distribución de vapor se tienen:

- § Perdidas de presión.
- § Material de construcción.
- § Diámetro de tubería.
- § Espesor de pared de tubería.
- § Aislamiento térmico.
- § Dilatación de tuberías.
- § Soporte de tuberías.

De esta manera el calor es transferido al medio transportador de calor, usualmente es vapor de agua o en algunos casos aceite. De todos ellos el que más se utiliza en la mayoría de procesos industriales, es el vapor de agua, debido a su simplicidad de generarlo y usarlo.

1.4.1.1 MATERIALES DE LAS TUBERÍAS DE VAPOR

La tubería de acero ya sea soldada o sin costura es la que en la mayoría de los casos se utiliza.

En la industria las normas de tuberías de vapor que más se utilizan son: Acero al Carbono sin costura (ASTM). Sin embargo la temperatura límite para esta clase de tubos es de 750°F. Para temperaturas superiores se emplea tuberías de acero al carbono-molibdeno o al cromo-molibdeno².

1.4.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS.

Existe una tendencia natural cuando se seleccionan los tamaños de tuberías, a guiarse por el tamaño de las conexiones del equipo que van a conectarse. Si la tubería se dimensiona de este modo, es posible que no se pueda alcanzar el caudal volumétrico deseado. Para corregir esto y poder dimensionar correctamente la tubería, pueden utilizarse reductores concéntricos y excéntricos.

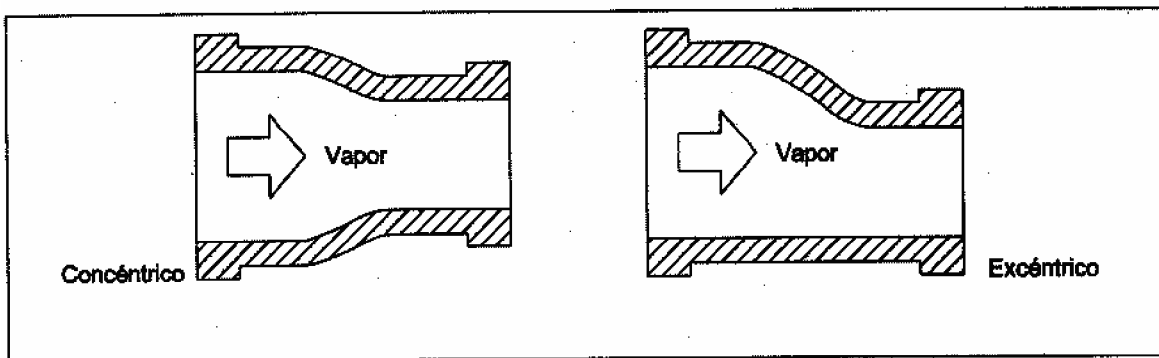


Figura 1.19 reductores concéntricos y excéntricos.

² American Standard Testing Materials.

Efectos del sobredimensionamiento de tuberías:

1. Las tuberías tendrán un precio más elevado de lo necesario.
2. Formación de un mayor volumen de condensado a causa de mayores pérdidas de calor.
3. La calidad de vapor y posterior entrega de calor será mas pobre, debido al mayor volumen de condensado que se forma.
4. Los costes de instalación serán mayores.

Subdimensionar las tuberías significa que:

1. La velocidad del vapor y la caída de presión serán mayores, generando una presión inferior a la que se requiere en el punto de utilización.
2. El volumen de vapor será insuficiente en el punto de utilización.
3. Habrá un mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruidos, a causa del aumento de velocidad.

1.4.2 AISLAMIENTO TÉRMICO.

Material aislante: es aquel que posee una baja conductividad térmica y por tanto representa una gran resistencia al paso de calor.

Con el aislamiento térmico de tuberías (de sección circular) o conductos (sección cuadrada o rectangular) para transporte de flúidos en estado líquido, gas o vapor, en todos los casos se trata de reducir las elevadas pérdidas térmicas a través de la envolvente, que debido a las sollicitaciones mecánicas y/o, a las elevadas temperaturas, se construyen de materiales metálicos con elevadas conductividades térmicas.

1.4.2.1 INCIDENCIA Y NECESIDAD DEL AISLAMIENTO EN EL TRANSPORTE DE FLUÍDOS

La reducción del flujo de calor aportado por el aislamiento, supone en primer lugar un ahorro importante en la partida correspondiente al costo energético, pero también posibilita el transporte del flúido a grandes distancias, con variaciones muy pequeñas en la temperatura del mismo.

Cuando la temperatura del fluido debe mantenerse a lo largo del recorrido de la tubería, se utilizan tuberías de acompañamiento que aporten la energía necesaria, debiéndose aislar el conjunto de las mismas para garantizar dicha temperatura, con el mínimo coste energético.

Otra parte importante a considerar como consecuencia de la reducción de las fugas térmicas, es el control de temperatura de la superficie exterior (cara fría), que puede suponer un riesgo para las personas (quemaduras), así como evitar su incidencia sobre la temperatura ambiente, cuando las tuberías circulan por locales con presencia de personas (mantenimiento u otra actividad).

1.4.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENERG-1995 los materiales aislantes se clasifican de acuerdo a sus tipos genéricos, formas de presentación y aplicación.

1. Tipos de aislantes: el tipo indica la composición, estructura interna; clasificándose en:

Fibras minerales

Materiales procesados a partir del estado de fusión de roca, escoria o vidrio y convertidos a fibra con un procedimiento de centrifugación a alta velocidad o a través de dados de estirado o la combinación de ambos. Las fibras están distribuidas de modo multidireccional y dividen finamente el espacio de aire. Pueden o no estar unidas entre si. Los más usados son: lana de roca, lana de escoria y fibra de vidrio.

Fibras celulares

Compuestos por pequeñas celdas individuales separadas entre si. El material celular puede ser vidrio o plástico espumado. Los más utilizados son: vidrio espumado, poliestireno expandido, poliuretano, elastómeros, polisocianurato y espuma fenólica.

Fibras granulares:

Compuestos por nódulos que contienen espacios vacíos. No son considerados como celulares debido a que el gas (aire) puede transitar entre los espacios individuales. Son combinados con fibras de refuerzo con lo cual consiguen rigidez, estructura y preforma, los más comúnmente usados son: vermiculita expandida, perlita expandida, tierra diatomácea y silicato de calcio.

2. La forma de presentación

Los aislantes pueden ser producidos en una variedad de forma de acuerdo a funciones y aplicaciones específicas. Las formas más comunes son:

Rígidos:

Placas y bloques en forma rectangular y preformados para tuberías (medias cañas, cuadrantes, sextantes y bloques curvos) los aislantes fibrosos, celulares y granulares son producidos en esta forma.

Flexibles:

Preformados en hojas, rollos, tubos o unidades rectangulares que tienen un alto grado de flexibilidad. Los aislantes fibrosos y elastómeros se encuentran de esta forma.

Colchonetas flexibles:

Están cubiertas con malla metálica (metal desplegado y malla de gallinero) en uno o en ambos lados. Pueden fácilmente adaptarse a superficies curvas e irregularidades, de modo que simplifican su manejo y aplicación. Los del tipo fibroso son producidos como colchonetas flexibles.

Cementos monolíticos:

Producidos con materiales fibrosos y granulares cementados con bentonita, que mezclado con agua generan una masa viscosa de gran adherencia. Se disponen a granel envasados en bolsa.

Espumado en sitio:

Espuma de poliuretano vaciada o espumada en sitio para cubrir o rellenar áreas irregulares o de difícil acceso.

Principales materiales de aislamientos:

Silicato de calcio:

Es un aislante granular hecho a partir de silicato de calcio hidratado reforzado con fibras orgánicas e inorgánicas y moldeados en formas rígidas. Su rango de servicio es de 95 – 1499 °F. Es un material que absorbe agua, por tanto, se recomienda en aplicaciones a temperaturas superiores a los 482 °F, es no combustible y debe colocarse con recubrimiento protectorio.

Fibra de vidrio:

Es hecho a partir del estado de fusión de una mezcla de arenas con alto contenido de sílice. Según su proceso de manufactura se presenta en dos formas:

- § Con aglutinante orgánico: posee estructura propia y preforma. Dan lugar a medias cañas y placas rígidas y semirígidas. Tienen baja conductividad térmica, facilidad de corte, alta capacidad para recuperar su forma, bajo costo de instalación. Se deben proteger contra la intemperie y abuso mecánico. Puede soportar temperaturas hasta 849.2 °F.
- § Con aceites minerales. Que evitan abrasión entre fibras y dan lugar a colchonetas. Tiene baja conductividad térmica, facilidad de corte, alta resiliencia, bajo costo de instalación. Debe ser protegido con recubrimiento. Puede resistir 849.2 °F.

Vidrio espumado:

Es un aislante celular, rígido sin aglutinantes ni fibras de refuerzo. Se presenta en forma de media caña, placas, segmentos curvos y preformados para accesorios de tuberías. Su temperatura de aplicación es hasta 899.6 °F. Posee una densidad media, baja resistencia a la abrasión, facilidad de corte, alta resistencia compresión

(99.93 psia). Puede instalarse sin enchaquetado metálico y en instalaciones subterráneas.

Lana de roca:

Esta hecho a partir del estado de fusión de roca de tipo basáltica o semejante, con alto contenido de aluminio-silicatos. Según su la clase puede soportar temperaturas de hasta 1799.6°F.

Perlita expandida:

Esta fabricada a partir de un mineral silicato complejo de tipo ígneo, llamada perlita, cuya forma granular se expande por la explosión que produce la humedad contenida en la molécula al exponerse a alta temperatura repentina. Se refuerza con fibras inorgánicas para dar lugar a placas, medias cañas y segmentos curvos. Es repelente al agua, otorga facilidad de corte, posee densidad media, es incombustible. Se protege con enchaquetado de aluminio. Máxima temperatura 1200.2 °F.

Elastoméricos:

Es del tipo celular producido a partir de la mezcla de resinas espumadas y hules. Disponible en tubos preformados y hojas, su temperatura máxima de aplicación es de 219.2 °F. Posee baja permeabilidad al agua y al vapor de agua, facilidad de corte e instalación, buena resistencia al ozono. Es combustible, auto extingible y económico en instalaciones a baja temperatura.

Poliestireno:

Es un aislante celular, hecho a partir del espumado de polímeros plásticos que dan lugar a un material rígido de celda cerrada. Disponible en medias cañas y placas. Su densidad comercial es 2 lb/ft³. Su temperatura máxima de aplicación es hasta 176°F. No contiene clorofluorocarbonos. Requiere barrera de vapor y protección contra la intemperie. Es económico en instalaciones a baja temperatura.

Poliuretano:

Hecho a partir del espumado de polímeros plásticos que dan lugar a un material rígido de celda cerrada. Disponible en medias cañas, placas y espumado en sitio. Su densidad comercial es 2 lb/ft³. Su temperatura máxima es hasta 230°F. Contiene clorofluorocarbonos. Es un material ligero y fácil corte. Requiere barrera de vapor y protección contra la intemperie. Es económico en instalaciones a baja temperatura.

Materiales complementarios:

- § Materiales de sujeción.
- § Materiales de acabado.
- § Barreras de vapor.
- § Otros materiales.

Variables importantes de los aislamientos, que deben tomarse en cuenta:

- § Temperatura del fluido de proceso.
- § Espesor del aislamiento.
- § Tipo del material aislante.
- § Conductividad térmica del aislante.
- § Tipo de recubrimiento del material aislante.
- § Temperatura de superficie.
- § Diámetro nominal de la tubería.
- § Tipo de tubería.
- § Temperatura de pared.
- § Temperatura ambiente.
- § Velocidad del viento.

1.4.2.2.1 MONTAJE DEL MATERIAL AISLANTE

Aislamiento en forma de fieltros o capas.

Se corta la manta en una dimensión igual a "diámetro exterior tubería + doble del espesor de la manta" y se coloca sobre la tubería, "cosiendo" los bordes de la manta por la malla, con alambre de acero dulce galvanizado.

Para tuberías con un diámetro superior a 9.84 in, debe reforzarse la fijación de la manta mediante lazadas de alambre, o soportes de acero galvanizado con sistema de tensado.

A partir de una temperatura superior a 392 °F, el aislamiento debe colocarse en dos o más capas, a "cubrejuntas".

Colocación del revestimiento exterior (protección del aislamiento).

Para el revestimiento del aislamiento puede utilizarse chapa de: aluminio, galvanizada y acero inoxidable.

Para diámetros de hasta 19.68 – 23.62 in, la chapa de revestimiento se ata en las juntas longitudinales y transversales, mediante tornillos de rosca chapa, presentándose los bordes de junta transversal y uno de los bordes de junta longitudinal.

Caso particular de tuberías de acompañamiento

Se reviste la tubería principal y las de acompañamiento con una malla electro soldada galvanizada o inoxidable, "cosiendo" en las juntas con alambre de acero galvanizado o inoxidable.

Como aislamiento se utiliza manta, cosiendo los bordes longitudinales y transversales, con alambre galvanizado y reforzando con amarres de alambre provistos de sistema de tensado.

Bridas y válvulas

Para el aislamiento de bridas y válvulas, se utiliza un encapsulado desmontable dividido en dos mitades, construido con chapa de aluminio. Y perfiles en U de

refuerzo de acero galvanizado o aluminio, revistiéndolo por la cara interior con manta, la cual se fija mediante platinas.

En las juntas transversales y longitudinales se intercala un fieltro de lana cerámica. Ambas piezas del "encapsulado", se fijan mediante cuatro cierres de presión.

1.4.3 DILATACIÓN DE TUBERÍAS

Las tuberías siempre se instalan a temperatura ambiente. Cuando transportan fluidos calientes, como agua o vapor, funcionan a temperaturas superiores y por lo tanto se expanden, especialmente en longitud, al pasar de la temperatura ambiente a la temperatura de trabajo. Esto creará tensiones en ciertas zonas del sistema de distribución como las juntas de las tuberías, que pueden llegar a romperse. Por tanto, la dilatación térmica de las tuberías es uno de los principales factores que debe tomarse en cuenta para seguridad de la instalación y garantía del buen funcionamiento. La dilatación puede calcularse por la siguiente ecuación:

$$\text{Dilatación} = L \times \Delta T \times \alpha \text{ [in].} \qquad \text{Ec. 1.9}$$

Donde:

L = longitud de la tubería entre anclajes (in).

ΔT = diferencia de temperatura (°F).

α = coeficiente de dilatación (in / ft .°F).

1.4.3.1 FLEXIBILIDAD DE LA TUBERÍA

La tubería debe ser suficientemente flexible para adaptarse a los movimientos de los componentes al calentarse. En la mayoría de los casos la tubería tiene suficiente flexibilidad natural, gracias a unas longitudes razonables y a la cantidad de curva. En otras instalaciones será necesario instalar medios para lograr la flexibilidad necesaria. Debido a esto se han construido ciertos dispositivos llamados "juntas de dilatación".

1.4.3.2 JUNTAS DE DILATACIÓN

Son dispositivos cuya función principal es la de absorber la expansión térmica sufrida por el material de la tubería.

Curva completa

Es simplemente una vuelta completa de la tubería y es preferible montarla horizontalmente que en posición vertical, para evitar que se acumule el condensado en su interior. Figura 1.20.

Lira o herradura

Es un dobléz en forma de “U”, se utiliza cuando se dispone de espacio, para su instalación lo mejor es montarla horizontalmente para que la curva y la tubería estén en el mismo plano para evitar que se acumule condensado. Figura 1.21

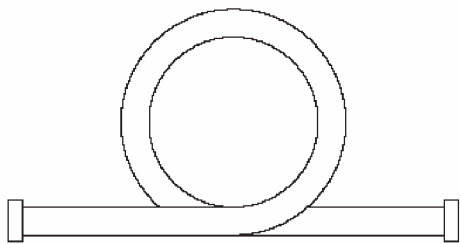


Fig. 1.20. Curva completa

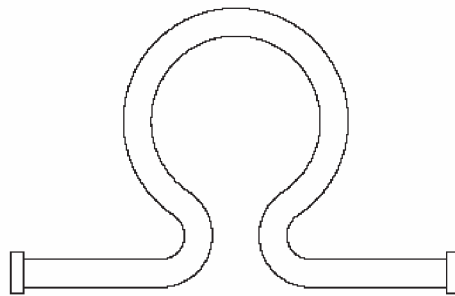


fig. 1.21. Lira o herradura.

Junta deslizante

Se usa frecuentemente por el reducido espacio que ocupan, pero es imprescindible que la tubería esté rígidamente anclada y guiada. Si no es así, la presión de vapor que actúa sobre la sección transversal del casquillo de la junta, tiende a provocar un movimiento en oposición a las fuerzas debidas a la expansión de la tubería y puede dañar la empaquetadura. Figura 1.22.

Fuelles

Es un accesorio que se monta en la línea y no requiere de empaquetadura. Los

anclajes y las guías deben ser capaces de soportar las fuerzas, que tienden a alargar el accesorio de dilatación. Los fuelles se pueden incorporar a diversos dispositivos de expansión, son capaces de absorber no solo el movimiento axial, sino que también absorben parte del desplazamiento lateral y angular, figura 1.23.

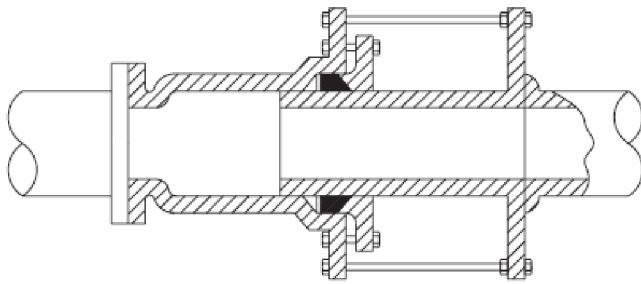


Figura 1.22. Junta deslizante.

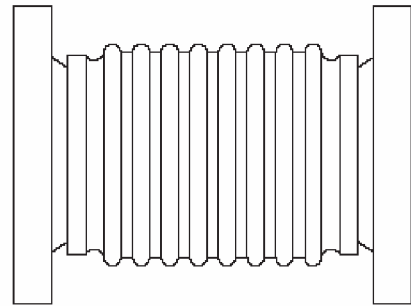


Figura 1.23. Fuelle.

1.4.4 SOPORTE DE TUBERÍAS

Son accesorios que se colocan en las tuberías, los cuales permiten el movimiento libre de la dilatación, manteniendo a la vez la alineación.

Un tipo de soporte ideal para tubería son los patines, figura 1.24, pues permiten el movimiento en dos dimensiones. Para las tuberías de acero los patines deben estar fabricados en material férnico y para tuberías de cobre, deben ser de material no férnico. Es bueno montar una abrazadera en las tuberías soportadas por patines, atornillándolas a un soporte, con una frecuencia no más de 20 ft, para mantener la tubería alineada mientras se dilata y se contrae.

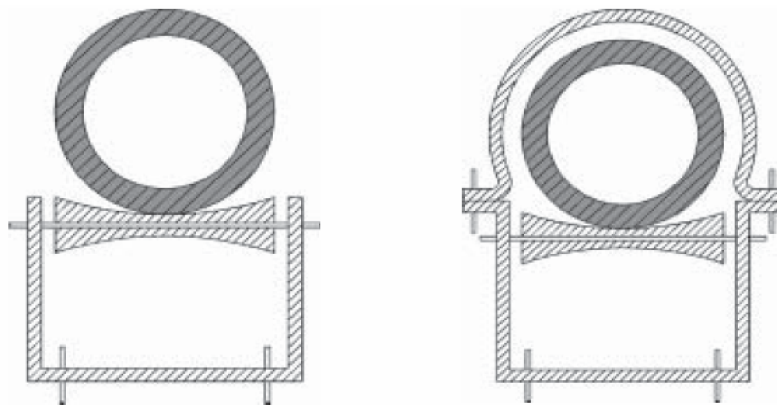


Figura 1.24. Soportes de patín.

Todos los soportes de tuberías deben estar diseñados para adaptarse al diámetro exterior de la tubería que soporta.

1.4.5 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

En cualquier tubería de vapor, parte del vapor condensara a causa de las pérdidas por radiación.

Por tanto, debe preverse la purga del condensado. Si esto no se realiza de forma efectiva, aparecerán problemas de corrosión y golpe de ariete. Además, el vapor se volverá húmedo, pues este recoge gotitas de agua, reduciendo así su potencial de transferencia de calor. Bajo condiciones extremas, sí se permite la acumulación de agua, la sección de tubería disponible para el paso del vapor se ve reducida, de manera que la velocidad del vapor superará los límites recomendados.

Siempre que sea posible, la tubería de distribución debe montarse con un descenso no inferior a $1 \frac{1}{2}$ in cada 32 ft, en la dirección del flujo. Hay una buena razón para ello. Si la tubería asciende en la dirección del flujo, el condensado tratara de volver hacia abajo. Pero el flujo de vapor en sentido contrario, que puede ir a una velocidad de hasta 50 mph, barrería el agua hacia arriba. Esto haría extremadamente difícil la recogida del agua y su evacuación. Es más, esto facilitaría que el agua se mezclase con el vapor produciendo vapor húmedo.

Montando la tubería con un descenso en la dirección del flujo, tanto el vapor como el condensado, Irán en la misma dirección y se pueden colocar puntos de drenaje en la línea para recoger y evacuar el condensado. Figura 1.25.

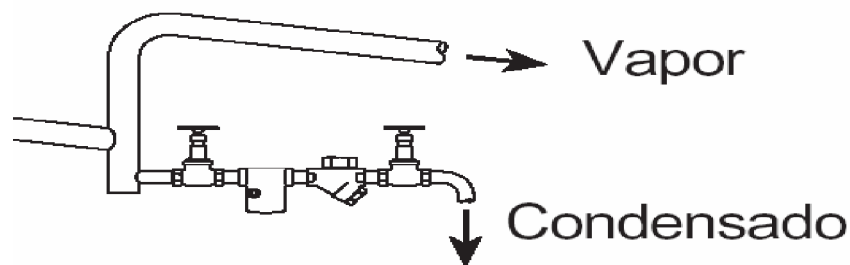


Figura 1.25 Instalación de purgadores de vapor.

El lugar de la tubería donde se purga el condensado deberá ser tal que permita recogerlo todo, por eso deben evitarse tomas con diámetros pequeños, Figura 1.26

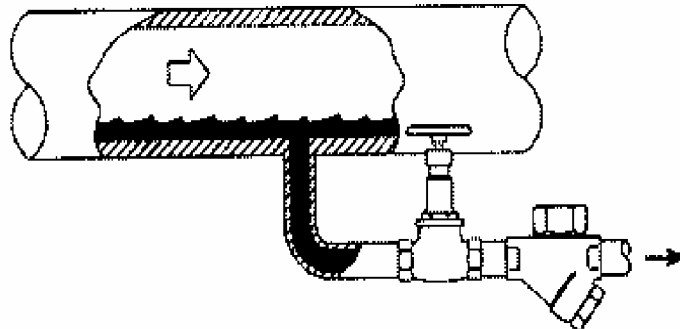


Figura 1.26 Forma incorrecta de purga de condensado.

Lo recomendado es colocar un punto de captación con una T del mismo diámetro de la tubería que actúa como un pozo de goteo Figura 1.27 o expulsarlo por medio de un dispositivo llamado trampa de vapor dispositivo del cual se hablara más adelante en este documento, sin embargo esta no es una regla general, si no nada más que una recomendación.

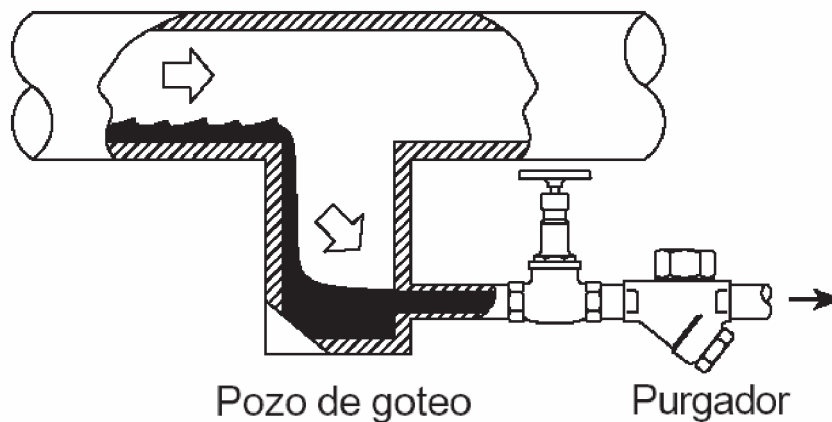


Figura 1.27 Forma correcta de purga de condensado.

1.4.6 CONEXIÓN DE DERIVACIONES

Las derivaciones transportaran el vapor mas seco siempre que las conexiones tomen el vapor de la parte superior de la tubería principal. Si la toma es lateral, o peor aun, de la parte inferior como en la Figura 1.28, transportaran el condensado, comportándose como un pozo de goteo.

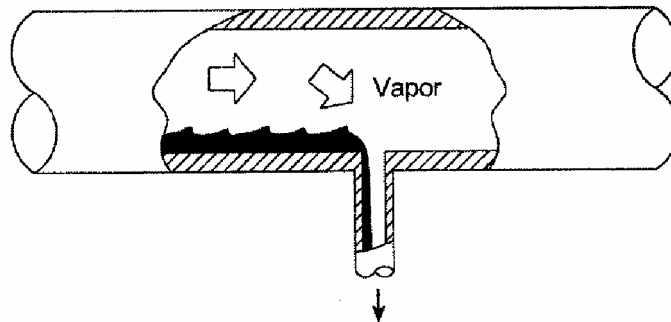


Figura 1.28 Forma incorrecta de derivaciones.

El resultado de esto es un vapor muy húmedo que llega a los equipos. La válvula de la Figura 1.29 debe instalarse tan cerca como sea posible de la derivación para evitar que el condensado se deposite en el ramal si se producen largas paradas del sistema.

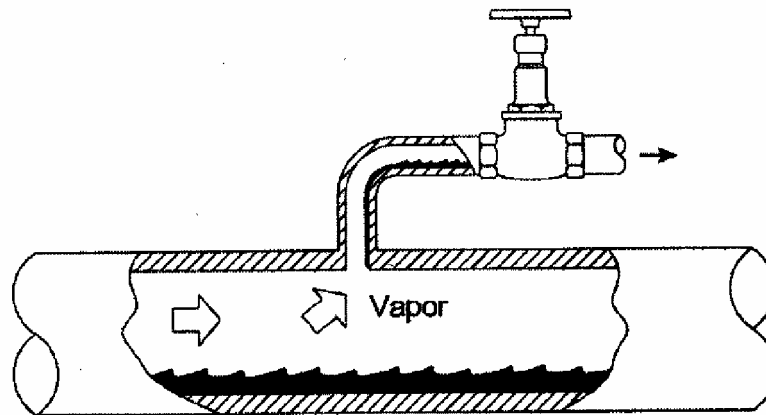


Figura 1.29 Instalación de válvulas en derivaciones.

1.4.7 VÁLVULAS

Las válvulas en las calderas comprenden válvulas de vapor en los colectores principales, válvulas de seguridad válvulas de alimentación en la alimentación de agua de la caldera; válvulas de drenaje en las columnas de agua, niveles de vidrio y conexiones de drenaje; válvulas de purga para las purgas superficial y de fondo (sedimentos); válvulas de comprobación en las líneas de alimentación; y válvulas de antirretorno en los colectores y líneas de vapor.

1.4.7.1 VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Este es el dispositivo de seguridad más importante de una caldera, y puede ser la última defensa contra una explosión por sobre presión. A continuación se presentan definiciones sobre este importante dispositivo que ayudan a diferenciar los diferentes tipos que existen:

- § Dispositivo de alivio de presión: esta diseñado para aliviar la presión y evitar una subida interna de presión de una vasija o recipiente cerrado con presión excesiva sobre la admisible de trabajo.
- § Válvula de alivio de presión: esta actuada por la presión interior que tiene un ascenso graduado proporcional al incremento de presión y se utiliza principalmente para evitar sobrepresión en el servicio de líquidos.
- § Válvula de seguridad: es un dispositivo de alivio de presión actuado por la presión ajustada pero caracterizado por una acción de apertura rápida, para trabajar y rebajar presión inmediatamente, al dejar escapar vapor de un recipiente cerrado, puede también utilizarse para servicio de alivio de la presión de aire.
- § Válvula de alivio de presión pilotada por presión: es un dispositivo de alivio donde el dispositivo principal esta actuado y controlado por un «disparador» auxiliar auto-operado de la válvula de alivio de presión.

1.4.7.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD:

Es de suma importancia que una válvula de seguridad este correctamente construida. Tal construcción puede asegurarse especificando que debe estar conforme al código ASME o Nacional Board, aprobada y registrada, siendo su funcionamiento de disparo por muelle directo cargado a resorte y adecuadamente marcada y calibrada tanto en posición como en caudal o capacidad de evacuación y equipada con una palanca de prueba. El ajuste de presión debe corresponder bien a la presión máxima admisible para la que se diseño la caldera. La capacidad de la válvula de seguridad debería ser, al menos, igual al vapor máximo que puede generarse por la caldera. Una válvula de seguridad según el código ASME lleva la siguiente información inscrita en el cuerpo de la válvula placa nominal (ver figura 1.30):

- § Nombre del fabricante marca registrada comercial.
- § Tipo de fabricante o número de diseño.
- § Tamaño, pulgadas.
- § Diámetro del asiento, pulgadas.
- § Presión a la que la válvula esta ajustada para disparar, psi o kg/cm^2 .
- § Venteo, psi o kg/cm^2 .
- § Capacidad de descarga, lb/h o kg/h .
- § Capacidad de palanca, pulgadas o milímetros.
- § Símbolo del código ASME (Estados Unidos).

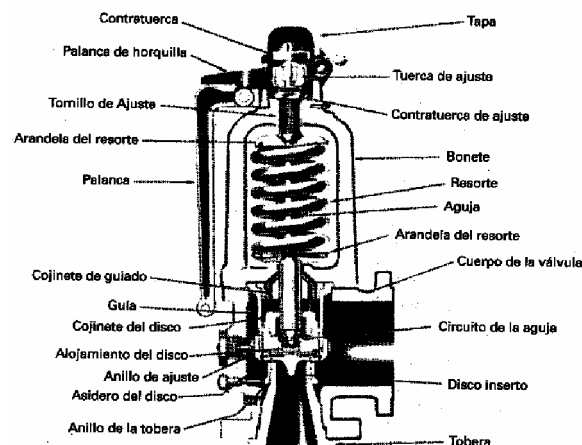


Figura 1.30 Válvula de seguridad.

Cuando una válvula de seguridad lleva el sello de ASME o National Board, es la garantía del fabricante de que las reglas y normas del código ASME han sido cumplidas en la construcción del producto.

Las válvulas de seguridad deberán conectarse directamente a la caldera sin válvulas intermedias de ningún tipo. Pueden usarse uniones roscadas.

1.4.7.2 VÁLVULA ANTIRRETORNO

Se utiliza a veces como válvula de corte (Figura 1.31) en la línea principal de vapor próxima a la caldera de vapor. La función de las válvulas de corte y comprobación o válvulas antirretorno, como frecuentemente son conocidas, es tan importante como la de las válvulas de seguridad de disparo en las calderas donde dos o más unidades están conectadas al mismo colector. Automáticamente evitan el retroceso desde el colector, lo que provocaría un fallo de caldera.

Simplifican el trabajo de desconectar una caldera o ponerla en funcionamiento. Protegen los equipos de reparación o inspección de la caldera contra un retroceso del vapor en el caso de que la válvula de corte del colector estuviese accidentalmente abierta.

Ningún sistema de vapor debería estar sin la presencia de estas válvulas. Estas presentan los siguientes modelos: paso recto, Angulo y de globo, dependiendo de la presión de trabajo.

Varios tipos de válvulas se muestran en la Figura 1.31. Como norma, la válvula de globo (Fig. 1.31b) se usa cuando se desea una estanqueidad positiva contra fugas y donde el fluido controlado esta prácticamente libre de sólidos en suspensión.

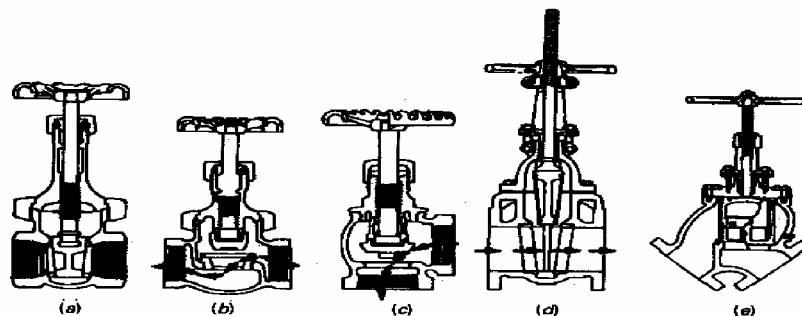


Figura 1.32.

Debe notarse en la figura que ambas, la válvula de disco (compuerta) y la de asiento, son renovables. Si se produce desgaste, todo lo que se necesita hacer es quitar presión de la línea o tubería, destornillar el bonete de la válvula y cambiar las piezas desgastadas. El cuerpo de la válvula no tiene que ser desmontado de sus conexiones en la tubería.

Cuando una válvula globo se usa en la tubería de alimentación a una caldera, es importante para el flujo de alimentación entrar bajo el disco de la válvula. Si este flujo entra desde arriba y el disco permanece saliendo del tallo o espiga, la válvula podría cerrarse automáticamente, cortándose la alimentación a la caldera. Como se muestra en la Figura 1.31b, el fluido cambia de dirección cuando pasa a través de la válvula de globo. Esta construcción del asiento incrementa la resistencia al y permite una regulación fina del flujo del fluido.

El disco y el asiento pueden ser rápida y convenientemente reajustados o cambiados. Esta disposición la hace ideal para servicios que requieren un mantenimiento de válvulas frecuente. El movimiento rápido y corto del disco ahorra a los operarios tiempo cuando las válvulas deben utilizarse frecuentemente.

1.4.7.3 VÁLVULAS EN ANGULO

Tienen las mismas características operativas que las válvulas de globo. Utilizadas cuando hay un giro de noventa grados en la línea, las válvulas en ángulo reducen el número de juntas, también proporcionan menos restricción al flujo que la válvula acodada y la de globo, a las que sustituye.

1.4.7.4 VÁLVULA DE COMPUERTA

Puede ser de uno de los siguientes tipos:

- § Tuerca.
- § Compuerta interna.
- § Tornillo y espiga sobresaliente (Fig. 1.31 a y d).

Las válvulas de compuerta son las mejores para servicios que requieren una

operación no muy frecuente de válvulas y donde el disco se mantiene o totalmente abierto o totalmente cerrado. No son prácticas para regulación. Con el tipo normal de válvula de compuerta es imposible conseguir una regulación fina. La velocidad de flujo contra el disco parcialmente abierto puede causar vibración y producir daños en las superficies de asiento. También, cuando esta regulando el disco, esta sujeto a efectos erosivos severos.

La válvula de compuerta de espiga, sin embargo, esta muy bien adaptada para el servicio de regulación. La válvula de compuerta trabaja sobre el principio de la cuña con una considerable superficie de contacto del asiento. También, ya que el flujo que la atraviesa es recto, no se ofrece un espacio que detenga los sedimentos o trozos de costra. De aquí que las válvulas de compuerta deben usarse para drenaje de columnas de agua y para servicios similares.

La válvula de espiga roscada saliente se utiliza cuando es prioritario que haya una indicación de que la válvula esta en posición abierta. Este tipo de válvula es necesario cuando se usan válvulas de corte en los tubos de unión entre columna de agua y caldera.

1.4.7.5 VÁLVULAS UNIDIRECCIONALES

Las válvulas de este tipo se utilizan, donde el flujo unidireccional es fundamental, como cuando el agua de alimentación se introduce en las calderas. El disco oscilante de la válvula (Figura 1.31) cierra contra su asiento si el flujo tiende a invertirse. Dejando la presión de la tubería y quitando la tapa y la conexión colateral, la válvula y su asiento pueden limpiarse y pulirse para alojar y presentar una cara nueva o un nuevo asiento cuando este se haya desgastado. También, todas las piezas son renovables.

Al ser válvula antirretorno se usa para evitar el retroceso en las líneas. En cuanto a principio de trabajo, todas las válvulas antirretorno se conforman con uno de los dos modelos básicos. En la Figura 1.31 se muestra el modelo oscilante. El flujo se desplaza a través de estas válvulas en aproximadamente una línea recta comparable a la que tiene la válvula de compuerta. En las válvulas de empuje o de pistón y bola

(Fig. 1.31 b y c) el flujo se mueve a través del cuerpo en un camino cambiante, como en las válvulas de globo y de ángulo. En ambos tipos, la oscilante y la de empuje, el caudal mantiene la válvula abierta mientras la gravedad e inversión de flujo la cierran automáticamente.

La precaución fundamental que ha de observarse cuando se instala una válvula unidireccional, sea oscilante o de empuje, es ver que el caudal entra y fluye correctamente; por ejemplo, que el disco se abre con el flujo.

1.4.8 TRAMPAS DE VAPOR

Una trampa para vapor es una válvula automática e isoentálpica, cuya función es eliminar el condensado, aire, y otros gases no condensables de las tuberías principales de vapor y equipos que trabajan con vapor, impidiendo al mismo tiempo la pérdida de vapor en el sistema de distribución y consumo; las trampas de vapor deben presentar las siguientes características:

- § Pérdidas de vapor mínimas.
- § Resistencia a la corrosión.
- § Venteo del aire y otros gases.
- § Funcionamiento en contrapresión.
- § Vida larga y confiable.

1.4.8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR

Las trampas de vapor se clasifican de acuerdo a su principio de funcionamiento

- § Trampas de vapor termostáticas.
- § Trampas de vapor de tipo mecánico.
- § Trampa de impulso.
- § Trampa termodinámica.

1.4.8.1.1 TRAMPAS DE VAPOR TERMOSTÁTICAS

El principio básico de funcionamiento para estos tipos de trampas, consiste en la acción de un elemento termostático, que se encuentra internamente dentro del cuerpo de la trampa; este se dilata o se contrae en función de la temperatura que le rodea y mueven la cabeza de válvula fijada al elemento.

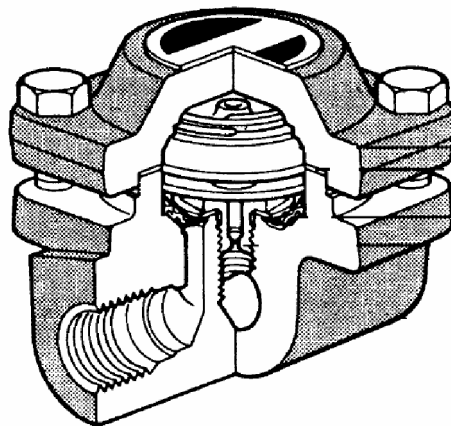


Figura 1.32 Trampa de vapor termostática.

1.4.8.1.2 TRAMPAS DE VAPOR DE TIPO MECÁNICO

El funcionamiento de estas trampas es por medio de la acción de un flotador de bola o un balde. A medida que el condensado se forma obliga al flotador a accionar la válvula abriéndose y cerrándose a la presencia del vapor.

Las mas comunes son las trampas de cubo invertido, normalmente el cuerpo de la trampa esta lleno de condensado para mantener un sello alrededor del cubo invertido, Ver figura 1.33 y el cual actúa como un flotador para operar la válvula de descarga. El vapor que entra en el cubo lo hace flotar cerrando la válvula. Mientras la válvula esta cerrada, el condensado se acumula en la tubería por el lado de entrada de la válvula hasta que el vapor que hace flotar el balde, se escapa a través de un pequeño orificio en la parte superior de este y permite que el balde baje abriendo la válvula. El condensado es descargado, seguido por el vapor el cual vuelve a accionar el mecanismo de flotador.

En las trampas de cubo abierto, el cuerpo de la trampa, esta parcialmente lleno con condensado, el cual hace flotar un cubo con la boca hacia arriba. Al entrar más condensado en la trampa, el nivel sigue subiendo, hasta que el condensado rebosa dentro del balde haciéndolo hundir y abriéndose la válvula.

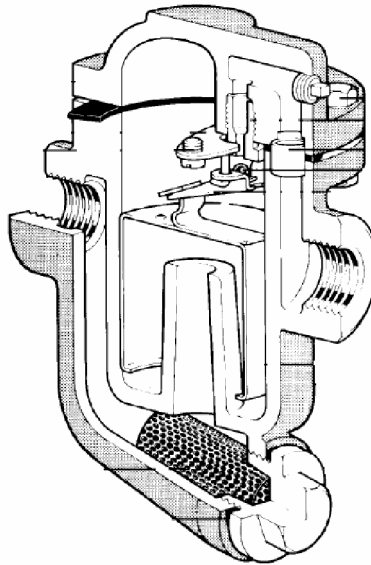


Figura 1.33 Trampa de vapor tipo mecánico

1.4.8.1.3 TRAMPA DE IMPULSO

Este tiene dos orificios en serie para crear un impulso de presión que opera la válvula de descarga.

Al llegar el condensado relativamente frío a la trampa pasa a través de los dos orificios en serie sin crear suficiente presión en la cámara de control para cerrar la válvula principal. El condensado sigue fluyendo hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 30°F por debajo de la temperatura del vapor. Cuando la presión en la cámara de control puede cerrar la trampa, el condensado es retenido y se enfría, la trampa vuelve abrirse y el ciclo se repite.

1.4.8.1.4 TRAMPA TERMODINÁMICA.

El condensado y el aire levantan el disco y fluyen libremente a través de la trampa. (Ver figura 1.34).

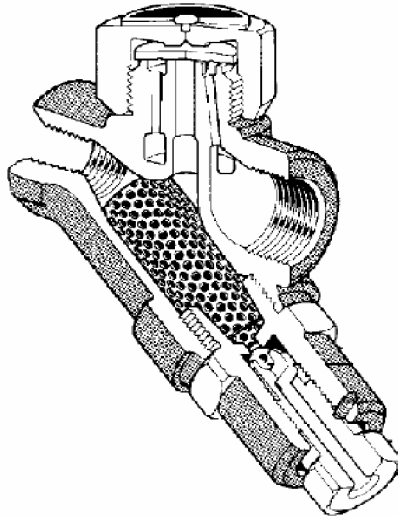


Figura 1.34 Trampa termodinámica.

Al llegar vapor a la trampa, aumenta instantáneamente la velocidad del flujo debajo del disco y la recompresión sobre el disco hace que este cierre de golpe sobre su asiento, sellando el camino del vapor, Las pérdidas de calor de la pequeña cámara de control que está llena de una mezcla de vapor y condensado, hacen que la presión en la cámara baje hasta un punto en que el disco se abre nuevamente para descargar el condensado.

1.4.8.2 LOCALIZACIÓN DE LAS TRAMPAS DE VAPOR

- § Las trampas de vapor deben colocarse debajo del equipo o de la tubería que se quiere drenar para permitir al condensado fluir por gravedad a la trampa.

- § Todas las trampas, excepto las termostáticas deben colocarse cerca de los equipos que se desea drenar.

- § Las trampas termostáticas pueden colocarse a varios pies de distancia del equipo para que el condensado se enfríe un poco, sin embargo, este "brazo de enfriamiento" tendrá poco efecto en cargas medianas y grandes.
- § Las trampas que drenan tuberías de retorno elevados, se instalan a menudo cerca del piso para facilitar su mantenimiento, es necesario evitar tramos horizontales largos antes de la tubería de la trampa, la tubería vertical de bajada debe de ser de un tamaño mayor al de la trampa.
- § Debe instalarse una trampa para cada unidad del equipo que emplea vapor, teniendo el cuidado de no instalar trampas para grupos de unidades.

1.5 SEGURIDAD PARA INSTALACIONES DE SISTEMAS DE VAPOR.

El reglamento general sobre seguridad e higiene en los centros de trabajo, en el art.55, inciso 5ª establece: " Las calderas deben estar en lugar separado del resto del establecimiento por medio de paredes de ladrillo o concreto y a tres metros como mínimo de la vía pública; deben inspeccionarse y estar dotadas de los aparatos de seguridad e implementos necesarios para evitar el humo de los escapes de vapor, según disponga el Departamento Nacional de Previsión Social (DNPS)."

El DNPS recomienda hacer por lo menos una inspección anual en los generadores de vapor, dicha inspección se realiza a solicitud de la entidad que lo requiera. Sin embargo en la actualidad se esta trabajando en un proyecto de ley, donde estas inspecciones serán de carácter obligatorio. Por lo que será determinante que las instalaciones operen bajo condiciones seguras.

Asimismo los requerimientos del espacio para una unidad generadora de vapor que vaya a ser instalada deberán tenerse en cuenta:

- 1- El volumen del espacio.
- 2- La forma del espacio.

En el volumen del espacio debe considerarse, la capacidad de la unidad generadora de vapor, los accesorios y dispositivos recuperadores de calor y el volumen requerido de la cámara de combustión.

En la forma del espacio, debe considerarse lo siguiente:

- a) altura.
- b) Ancho.
- c) Largo.

Aún cuando los criterios a considerarse en la forma del espacio se encuentren relacionados con el volumen, son de gran importancia en las instalaciones de las calderas, ya que estas dependiendo del tipo que sean:

Tubos de fuego o tubos de agua requerirán dentro del mantenimiento o reparaciones que se efectúen, espacios libres alrededor de ellas.

Las dimensiones recomendables, para las instalaciones de caldera, generalmente cada fabricante de caldera las sugiere según sean los casos que particularmente se presenten.

CAPÍTULO II
ANÁLISIS DEL SISTEMA DE VAPOR
HOSPITAL NACIONAL ROSALES

2.0 SISTEMA VAPOR DEL HOSPITAL NACIONAL ROSALES

La información que en éste capítulo se presenta es el resultado de las visitas realizadas al sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales, destacándose las condiciones actuales en que opera los elementos que lo constituyen, determinando la demanda de vapor por equipo, área y en su totalidad, así como las respectivas gráficas donde se visualiza de mejor manera su comportamiento y las horas en que se exige este recurso. Se presentan las características técnicas de los equipos de producción y consumo, datos esenciales para el cálculo de la demanda. Se hace una cuantificación de los elementos y accesorios que constituyen el sistema y además se presenta su distribución en un plano de ubicación.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR

El sistema de vapor esta constituido por elementos destinados a la producción, distribución y aprovechamiento de su energía térmica, el cual esta constituido por:

- § Elementos de Producción.
- § Elementos de Distribución.
- § Elementos de Consumo.

2.1.1 ELEMENTOS DE PRODUCCIÓN

Para la producción de vapor se tienen dos generadores de la marca Cleaver Brooks, tubos de humos horizontales, adquiridas en el año 1997, que operan con combustible pesado (fuel oil N°6), con capacidad de 125 BHP (1 BHP=34.5 lb/h) Fig. 2.1, presión de operación de 100 psi. La alimentación de agua a los generadores se lleva a cabo desde un tanque de condensado donde converge el proveniente del área de cocina y parte de lavandería, el agua de reposición para mantener el nivel en los generadores es suministrada por dos suavizadores al tanque de condensado y de este al generador. Los elementos para la producción están instalados en la sala de máquinas situados en el edificio de servicios generales. Ver plano de ubicación de equipos³.

³ anexo 3.



Figura 2.1 Caldera Cleaver Brooks.

Características técnicas de la caldera:

Equipo: Caldera
Marca: Cleaver Brooks
Modelo: CB.600.125
Tipo: Horizontal, pirotubular
Capacidad: 125 BHP
Presión Max: 150 psi
Combustible: Pesado (fuel oil N _o 6)
Superficie de calentamiento: 626.47 ft ²

Cuadro 2.1 Características técnicas de la caldera

2.1.2 ELEMENTOS DE DISTRIBUCIÓN

Los elementos de distribución son los encargados de conducir el vapor generado hasta los puntos de consumo, ubicados en las diferentes áreas que lo demandan.

Los elementos de distribución son:

Cabezal de distribución:

El vapor generado es conducido a un punto principal de distribución, del cual se alimentan todas las áreas, lo constituye un conjunto de válvulas, un manómetro y un tubo con múltiples ramificaciones (manifold Figura 2.2); carece de señalización clara y de aislamiento en buen estado.

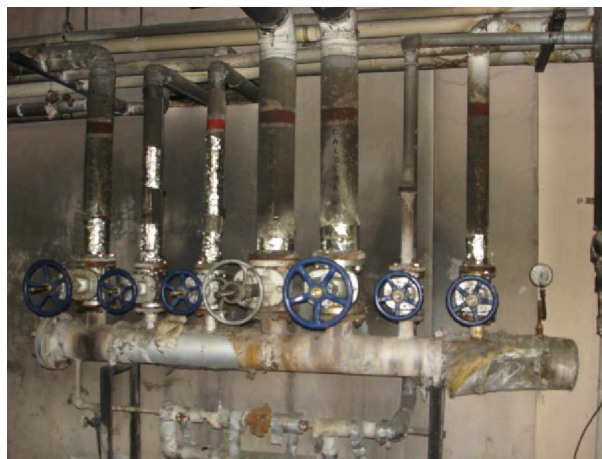


Fig. 2.2 Cabezal de distribución

Red de tubería

Es un sistema de conexiones de tuberías de hierro galvanizado que se encargan de conducir el vapor desde el cabezal de distribución hasta los puntos de consumo, la mayor parte de esta red se encuentra sin aislamiento térmico y la parte que lo posee se encuentra deteriorado.

Tramo ⁴	Diámetro (in)	Longitud (m)	Longitud equivalente(m)	Caída de presión Δpsi	ESTADO	
					Aceptable	Inaceptable
SM-L	1 1/2"	36.25	63.45	4.8	30	6.25
SM-C	1 1/2"	17.5	98.10	0.25	7.5	10
SM-CE	1 1/2"	206	225.8	11.96	-----	206
PD-FS	3/4"	64	70.40	5.77	20	44

Tabla. 2.1 Longitudes de tubería de vapor.

Se considera inaceptable aquellos tramos de tubería que no poseen aislamiento térmico y si lo poseen esta deteriorado o húmedo.

Porcentaje de tubería aceptable 17.75%

Porcentaje de tubería inaceptable 82.25%

⁴ Los tramos de tuberías están referidos al plano de ubicación. Ver anexo 3.

Válvulas.

Las válvulas utilizadas en la distribución de vapor son en su mayoría:

Válvulas de globo, de compuerta, reductoras de presión, unidireccionales y de seguridad.

Diámetro [pulg]	TIPO DE VÁLVULA				
	Globo	Check	Compuerta	Seguridad	Reductora de presión
¼	2				
½	4		3		
¾	7		34		6
1			6	2	
1 ¼			2		
1 ½	1		4		
2			4		
3			1		
4		2	4		

Tabla 2.2. Válvulas del sistema de vapor.

Accesorios.

Los accesorios los constituyen elementos que complementan el sistema de vapor; en la Tabla. 2.3 se enlista los accesorios que son parte del sistema de vapor.

Accesorio	Cantidad
Filtro	20
Trampa de vapor mecánica	10
Manómetro	14
Termómetro	3
Juntas de expansión	0
Reductor concéntrico ½-¼"	1
Reductor concéntrico 1 ¼-1"	1
Soportes	33

Tabla 2.3 Accesorios del Sistema de vapor.

2.1.3 ELEMENTOS DE CONSUMO

El sistema suministra vapor a las distintas áreas que requieren de este importante servicio, siendo las siguientes:

- § Lavandería (lavado, secado y planchado).
- § Cocina.
- § Central de equipos.
- § Central de Mezclas (Fabrica de sueros).

En total se cuenta con diecisiete equipos que demandan vapor para funcionar. Ver tabla 2.5.

2.2 CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA DE VAPOR

El sistema de vapor presenta un deterioro considerable, debido a las condiciones de trabajo en las que opera. Como consecuencia de la escasez de recursos económicos cuenta con un sistema de distribución que con el pasar del tiempo presenta fugas, así como tuberías con aislamiento térmico deteriorado o carente de él.

El sistema posee dos calderas, operando solamente con una; por períodos de cuatro a seis meses y rara vez están en condiciones de funcionar las dos calderas, lo cual se debe a que el departamento no cuenta con los repuestos a tiempo⁵ para el mantenimiento de cada caldera, por tanto, si la caldera en funcionamiento falla se debe proceder a tomar las piezas de la que se encuentra en stand-by para ponerla en marcha nuevamente, de tal manera que cuando esta en funcionamiento una, la otra esta fuera de condiciones de operación. Otro aspecto a destacar es que solo se recibe condensado de las áreas de lavandería (secado y planchado) y cocina, figura 2.3, el condensado de los departamentos de Central de Equipos y Fabrica de sueros se drena directamente a la alcantarilla de la red pública, generando pérdidas de agua tratada químicamente (Tabla 2.4) que luego debe ser compensada por el sistema de

⁵ Según el ing. David Campos, jefe departamento de mantenimiento, se solicitan los repuestos para el mantenimiento de cada caldera, en el presupuesto del departamento, pero estos llegan meses después de haber iniciado el año.

bombeo y control de nivel de agua, además se genera contaminación ambiental al descargar aguas servidas a temperaturas cercanas a los 100 °C. Figura 2.4.

Agente Químico	Cantidad por año	Precio \$	Total \$
Polímero anti-incrustante	100 gal	10.97 / gal	1097.00
Triamina evaporativa	100 gal	13.4 /gal	1340.00
Polvo de Sulfito	75 lb	2.6 / lb	195.00
Sal	100 qq	5.71 /qq	571.00
Total =			3203.00

Tabla 2.4 Costo anual de tratamiento de agua.



Figura 2.3. Tanque de condensado, recibe condensado de Cocina y Lavandería



Figura 2.4. Descarga de condensado a la alcantarilla, proveniente de la Central de Equipos.

En inspecciones realizadas en las líneas de tuberías y equipos del sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales, se determinó que dicho sistema no es eficaz debido a los factores que se detallan a continuación:

- § La sala de máquinas fue reubicada, por lo cual se incremento la longitud de tubería de distribución de vapor.
- § Existen tramos de tubería sin uso.
- § El 82.25% de tubería de distribución esta en condiciones inaceptable de operación. Ver tabla 2.1.
- § No existen accesorios de expansión en las líneas de alta presión.
- § Distribución de tuberías inadecuada. Anexo 3.2.
- § Existen pérdidas de energía por fugas.
- § No se recolecta el condensado de algunas áreas.
- § Accesorios del sistema han superado su vida útil.

2.2.1 VIDA PROMEDIO DE EQUIPOS

La vida promedio de cada uno de los equipos en el sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales se detalla en la tabla 2.5, dichos datos se obtuvieron en base a información proporcionada por el personal que labora en cada una de las áreas.

No	CODIGO	EQUIPO	MARCA	VIDA PROMEDIO AÑOS
1	HR.17.08.01.01	Lavadora de ropa	Dyna Wash	8
2	HR.17.08.01.02	Lavadora de ropa	Dyna Wash	8
3	HR.17.08.01.03	Lavadora de ropa	Dyna Wash	8
4	HR.17.08.06.02	Secadora de ropa	Cissell	8
5	HR.17.08.06.03	Secadora de ropa	Cissell	8
6	HR.17.08.09.01	Mangle	Sharper finish	8
7	HR.17.08.09.02	Mangle	Chicago Dryer	8
8	HR.17.08.10.01	Planchador de forma	Forenta	8
9	HR.13.07.28.01	Marmita	Steam Master	5
10	HR.13.07.28.02	Marmita	Steam Master	5
11	HR.13.07.28.03	Marmita	Steam Master	5
12	HR.13.07.28.04	Marmita	Steam Master	5
13	HR.38.13.105.06	Autoclave ⁶	Munchener Medizin	Más de 30
14	HR.38.13.105.07	Autoclave ⁶	AMSCO	Más de 30
15	HR.38.13.105.08	Autoclave ⁶	AMSCO	Más de 30
16	HR.105.09.84.02	Destilador ⁶	Barnstead	Más de 25
17	HR.105.13.105.14	Autoclave ⁶	American Cyclomatic	Más de 25

Tabla 2.5. Vida promedio de equipo.

⁶La edad de estos equipos se ha estimado en base al tiempo que tienen de trabajar en el Hospital algunos operarios, quienes aseguran que dichos equipos ya existían al momento de comenzar a laborar en el hospital.

2.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE VAPOR

Para el cálculo de la demanda de vapor implica conocer los datos técnicos de operación, de cada uno de los equipos que componen el sistema de vapor en el Hospital Nacional Rosales, los cuales servirán para comparar con la capacidad real de la caldera en funcionamiento y verificar de esta forma si la producción sufre la demanda de vapor.

Para calcular la demanda de vapor total del sistema es necesario conocer la demanda de cada máquina que utiliza este recurso. El proceso de determinar la demanda de vapor por equipo se realiza en base a la demanda que aparece en los datos de placa o manuales de cada máquina.

Para tener claridad en el cálculo de la demanda, se realiza un proceso que se describe a continuación:

- § Elaboración de un cuadro de demandas de vapor por equipos, para conocer la demanda de cada uno de ellos.
- § Construcción de un cuadro de demanda de vapor (nominal y real) por áreas, para establecer el consumo por departamento.
- § Establecer los horarios de trabajo de cada área e identificar los equipos que no tienen uso continuo.
- § Presentar las demandas en gráficas que reflejan el comportamiento horario de las mismas tanto por área como en conjunto.

Los criterios principales para el cálculo de la demanda son:

- § En cocina se considera que el uso de la marmita para dietas es continuo, en el período de operación de esa área.
- § En lavandería se establece que todas las lavadoras y secadoras están en buen estado y trabajan simultáneamente, a excepción de una secadora eléctrica la cual esta fuera de servicio.
- § En el área de Central de Equipos se considera que los autoclaves marca AMSCO 14 y 15, según número correlativo en la tabla 2.6, tienen uso continuo.
- § Para el cálculo de demanda real se emplea un factor de uso, el cual representa la tasa de operación por departamento en relación al tiempo de funcionamiento del sistema.

2.3.1 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL POR EQUIPO

En la tabla 2.6 se describe cada uno de los equipos que consumen vapor dentro de las instalaciones del Hospital Nacional Rosales, se le ha colocado un número correlativo, con el cual se distinguirán en todo el documento, el código designado por el hospital y otros datos de importancia como marca de equipo, capacidad, presión de trabajo y demanda de vapor de cada uno de ellos.

No	CODIGO	EQUIPO	MARCA	CAPACIDAD	PRESIÓN (psig)	DEMANDA DE VAPOR (lb/h)
1	HR.17.08.01.01	Lavadora de ropa	Dyna Wash	300 lb/ciclo	100	275.50
2	HR.17.08.01.02	Lavadora de ropa	Dyna Wash	400 lb/ciclo	100	367.40
3	HR.17.08.01.03	Lavadora de ropa	Dyna Wash	150 lb/ciclo	100	132.47
4	HR.17.08.06.02	Secadora de ropa	Cissell	150 lb/ciclo	100	431.25
5	HR.17.08.06.03	Secadora de ropa	Cissell	150 lb/ciclo	100	431.25
6	HR.17.08.09.01	Mangle	Sharper finish	200 lb/ciclo	100	70.00
7	HR.17.08.09.02	Mangle	Chicago Dryer	200 lb/ciclo	100	146.62
8	HR.17.08.10.01	Planchador de forma	Forenta	22 lb/ciclo	100	34.50
9	HR.13.07.28.01	Marmita	Steam Master	40 gal	35	88.18
10	HR.13.07.28.02	Marmita	Steam Master	40 gal	35	88.18
11	HR.13.07.28.03	Marmita	Steam Master	40 gal	35	88.18
12	HR.13.07.28.04	Marmita	Steam Master	20 gal	35	57.32
13	HR.38.13.105.06	Autoclave	Munchener Medizin	1231.4 gal	20	414.00
14	HR.38.13.105.07	Autoclave	AMSCO	142.6 gal	20	260.00
15	HR.38.13.105.08	Autoclave	AMSCO	142.6 gal	20	260.00
16	HR.105.09.84.02	Destilador	Barnstead	15 gal/hr	40 -60	60.00
17	HR.105.13.105.14	Autoclave	American Cyclomatic	142.6 gal	20	260.00

Tabla 2.6. Demanda de vapor nominal por equipos.

2.3.2 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL POR ÁREA

Para la demanda de vapor se ha tomado en cuenta la cantidad de flujo que cada equipo exige al sistema y se ha clasificado por área donde el sistema suministra vapor.

Área	Equipo	Cantidad	Presión (psig)	Demanda (lb/h)	
				Equipo	Área
Lavandería	Lavadora	3	100	775.87	1888.99
	Secadora	2	100	862.5	
	Mangle	2	100	216.62	
	Planchador	1	100	34.5	
Cocina	Marmita	4	35	321.86	321.86
Central de Equipo	Autoclave	3	20	934	934
Fabrica de sueros	Autoclave	1	20	260	320
	Destilador	1	40-60	60	
				DEMANDA	3464.85

Tabla 2.7. Demanda de vapor nominal por área.

2.3.3 DEMANDA DE VAPOR NOMINAL Y TIEMPO DE OPERACIÓN POR AREAS

Para conocer el consumo de vapor diario de los equipos se entrevistó a los encargados de cada área acerca del horario de trabajo por equipo; con estos datos se tabularán los procedimientos de operación y se determinará el tiempo de consumo de vapor.

Se conoce el consumo diario de vapor por equipo y las horas de máxima demanda durante el día lo cual se refleja en las respectivas gráficas.

2.3.3.1 DEMANDA DE VAPOR EN COCINA

Los equipos del área de cocina son los que se detallan a continuación:

No	Equipo	Cantidad	Demanda de vapor lb/h	Demanda total lb/h
1	Marmitas de 40gal	3	88.18	264.54
2	Marmita de 20gal	1	57.32	57.32
			Total	321.86

Tabla 2.8. Demanda de vapor nominal en área de cocina.

Las marmitas no se utilizan todas al mismo tiempo, ya que depende del proceso de preparación de comida y del número de dietas a servir. Para efectos de cálculos se consulto con la encargada de dietas⁷ las horas en las cuales se utilizan las marmitas.

El horario de cocción diario es de 6:00am – 4:00pm.

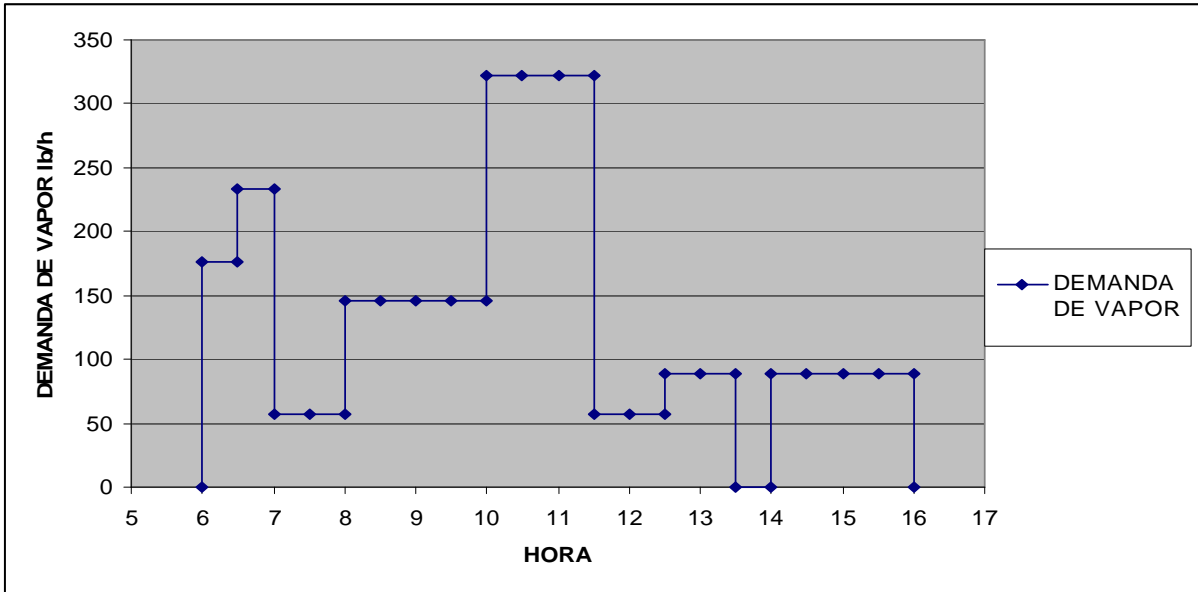
En la tabla 2.9 se describe las horas de uso de cada marmita, así, como la cantidad de vapor que demandan al sistema.

⁷ Lic. Olga de Tomasino, encargada de dietas.

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO				DEMANDA DE VAPOR TOTAL lb/h
	MARMITA 1	MARMITA 2	MARMITA 3	MARMITA 4	
6:00-6:30	0	88.18	88.18	0.0	176.36
6:30-7:00	0	88.18	88.18	57.32	233.68
7:00-7:30	0	0	0	57.32	57.32
7:30-8:00	0	0	0	57.32	57.32
8:00-8:30	0	88.18	0	57.32	145.5
8:30-9:00	0	88.18	0	57.32	145.5
9:00-9:30	0	88.18	0	57.32	145.5
9:30-10:00	0	88.18	0	57.32	145.5
10:00-10:30	88.18	88.18	88.18	57.32	321.86
10:30-11:00	88.18	88.18	88.18	57.32	321.86
11:00-11:30	88.18	88.18	88.18	57.32	321.86
11:30-12 m	0	0	0	57.32	57.32
12:00-12:30	0	0	0	57.32	57.32
12:30-1:00	0	88.18	0	0	88.18
1:00-1:30	0	88.18	0	0	88.18
1:30-2:00	0	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	88.18	0	88.18
2:30-3:00	0	0	88.18	0	88.18
3:00-3:30	0	0	88.18	0	88.18
3:30-4:00	0	0	88.18	0	88.18
4:00-4:30	0	0	0	0	0

Tabla 2.9. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.

La gráfica 2.1 representa el comportamiento horario de la demanda de vapor total de los equipos en el área de cocina. En esta gráfica se puede observar que la hora de 10:00 - 11:30 am es el período de mayor demanda de vapor en esta área.



Gráfica 2.1. Demanda de vapor nominal vrs. Tiempo en el área de cocina.

2.3.3.2 DEMANDA DE VAPOR EN FÁBRICA DE SUERO

En el área de fabricación de sueros se cuenta con los siguientes equipos⁸:

No	Equipo	Cantidad	Demanda de vapor (lb/h)	Demanda total (lb/h)
1	Autoclave 142.6 gal	1	260	260
2	Destilador 15gal/h	1	60	60
Total				320

Tabla 2.10. Equipos y demanda de vapor nominal en de fábrica de suero.

Consultando con el personal que trabaja en esta área se logro determinar las horas de funcionamiento de los equipos que consumen vapor. Para el caso del destilador este permanece demandando vapor durante las horas que la caldera esta en funcionamiento. Con el uso del autoclave se da dos casos, el primero: es utilizado una vez al día, por la mañana. El segundo: cuando funciona dos veces durante el

⁸ En esta área se cuenta con equipos que consumen corriente eléctrica y vapor. En este documento solo se detallan los que consumen vapor.

día. Para efectos de cálculo se tomara el segundo caso, que es donde se demanda mayor cantidad de vapor, dos veces por día. Las horas de funcionamiento de estos equipos se detallan en la tabla 2.11.

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO		DEMANDA TOTAL DE VAPOR (lb/h)
	AUTOCLAVE	DESTILADOR	
6:00-6:30	0	60	60
6:30-7:00	0	60	60
7:00-7:30	260	60	320
7:30-8:00	260	60	320
8:00-8:30	260	60	320
8:30-9:00	260	60	320
9:00-9:30	260	60	320
9:30-10:00	0	60	60
10:00-10:30	0	60	60
10:30-11:00	0	60	60
11:00-11:30	260	60	320
11:30-12 m	260	60	320
12:00-12:30	260	60	320
12:30-1:00	260	60	320
1:00-1:30	260	60	320
1:30-2:00	0	60	60
2:00-2:30	0	60	60
2:30-3:00	0	60	60
3:00-3:30	0	60	60
3:30-4:00	0	60	60
4:00-4:30	0	60	60
4:30-5:00	0	60	60
5:00-5:30	0	60	60
5:30-6:00	0	60	60
6:00-6:30	0	60	60
6:30-7:00	0	60	60
7:00-7:30	0	60	60
7:30-8:00	0	60	60
8:00-8:30	0	60	60
8:30-9:00	0	60	60
9:00-9:30	0	60	60
9:30-10:00	0	60	60
10:00-10:30	0	60	60
10:30-11:00	0	60	60
11:00-11:30	0	60	60

Tabla 2.11. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.

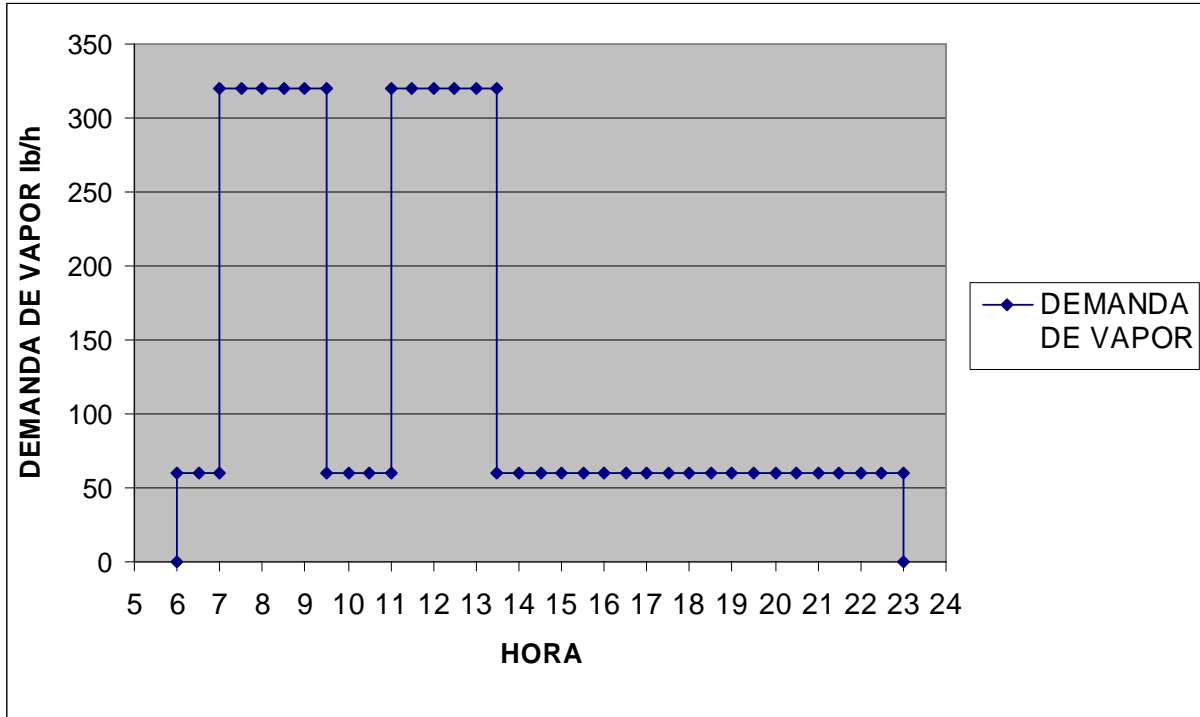


Gráfico 2.2. Demanda de vapor nominal vrs. Tiempo de uso del equipo.

El grafico 2.2, representa el comportamiento horario de la demanda de vapor total de los equipos en el área de la fábrica de suero. De este gráfico se obtiene que la hora en la que existen mayor demanda de vapor es de 7:00 – 9:30am y 11:00am - 1:30pm.

2.3.3.3 DEMANDA DE VAPOR EN LAVANDERÍA

Las capacidades y demanda de vapor de las máquinas lavadoras son las siguientes:

No	Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (lb/ciclo)	Demanda de vapor (lb/h)
1	Lavadora dyna-wash	1	400	367.4
2	Lavadora dyna-wash	1	300	275.5
3	Lavadora dyna-wash	1	150	132.47
		Capacidad Total=	850 lb/ciclo	775.87

Tabla 2.12. Capacidades y demanda de vapor nominal de lavadoras.

Calculo de tiempo para lavado de ropa:

Se considera que la duración del ciclo de lavado es de 2 horas.

Total de ropa a lavar:

En base a los registros llevados en esta área⁹, se tiene un promedio de ropa a lavar de 4900 lb/día.

Capacidad del Hospital: 494 camas.

Capacidad de lavado por hora: 425 lb/h

Factor de consumo de ropa (F_{cons}):

$F_{\text{cons}} = \text{Cantidad de ropa a lavar por día} / \text{Numero de camas.}$

$F_{\text{cons}} = 4900 \text{ lb por día} / 494 \text{ camas} = 9.92 \text{ lb} / \text{Cama} \cdot \text{día}$

Total de tiempo de lavado (t):

La siguiente ecuación será utilizada para calcular el tiempo

$$t = \frac{C_{\text{lavar}}}{C_{\text{lavado}} * \eta} \quad \text{Ec. 2.1}$$

⁹ Jefe del área de lavandería: Domingo Murcia.

Donde:

C_{lavar} = Cantidad de ropa a lavar.

C_{lavado} = Capacidad de lavado.

n = Rendimiento de operación.

Sustituyendo en Ec.2.1:

$$t = \frac{4900}{425 * 0.75} = 15.37 \text{ horas/día}$$

Para este caso se asumió una eficiencia de operación del 75%.

Cálculo de tiempo para secado de ropa:

Por las condiciones actuales que se encuentran los equipos de secado, no satisfacen la demanda requerida, por tanto se ven en la necesidad de utilizar los planchadores de rodillo para el secado de ropa.

No	Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (lb/h) c/u	Demanda de vapor (lb/h)
1	Secadora Cissell	2	100	862.5
2	Planchador de rodillo	1	200	70.00
3	Planchador de rodillo	1	200	146.62
Total=			600	1079.12

Tabla 2.13. Equipo de secado.

Cada ciclo tiene una duración de 1 hora.

Los datos proporcionados por el personal de lavandería se tiene que toda la ropa lavada es secada (4900 lb/día); en esta área se cuenta con dos secadoras eléctricas con capacidad de 50 lb/h cada una, en la actualidad una de ellas está fuera de servicio.

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de ropa a secar por tipo de máquina:

Equipo	Cantidad (lb)	Porcentaje %
Secadora Cissell	2375	48.5
Secadora eléctrica	594	12.1
Planchador de rodillo	1931	39.4
Total	4900	100

Tabla 2.14. Porcentajes de ropa secada en cada equipo

Tiempo de secado en secadoras:

Para este caso se puede utilizar la Ec.1 y tomando una eficiencia de secado del 80% se tiene:

$$t = 2375 / 200 * 0.8 = 8.66 \text{ horas.}$$

Tiempo secado en planchador de rodillo:

En este caso los planchadores son utilizados como secadores donde se repite 2 veces el ciclo de secado.

Utilizando la Ec.1 y sustituyendo los datos de tablas 2.13 y 2.14:

Capacidad de planchadores de rodillo:

$$2 \text{ planchadores} * 200 \text{ lb/ciclo} = 400 \text{ lb/h.}$$

$$t = 1931 / 400 * 0.80 = 6.03 \text{ Horas.}$$

Planchado de ropa:

Equipo	Cantidad	Cantidad a planchar (lb/día)	Capacidad (lb/h)	Demanda de vapor (lb/h)
Planchador de forma	1	35	22	34.5

Tabla 2.15. Planchado.

Debido a que los planchadores de rodillo son utilizados para el secado de la ropa, solamente el planchador de forma es utilizado para el planchado, procesando aproximadamente el 1% de la ropa a lavar.

Tiempo de planchado:

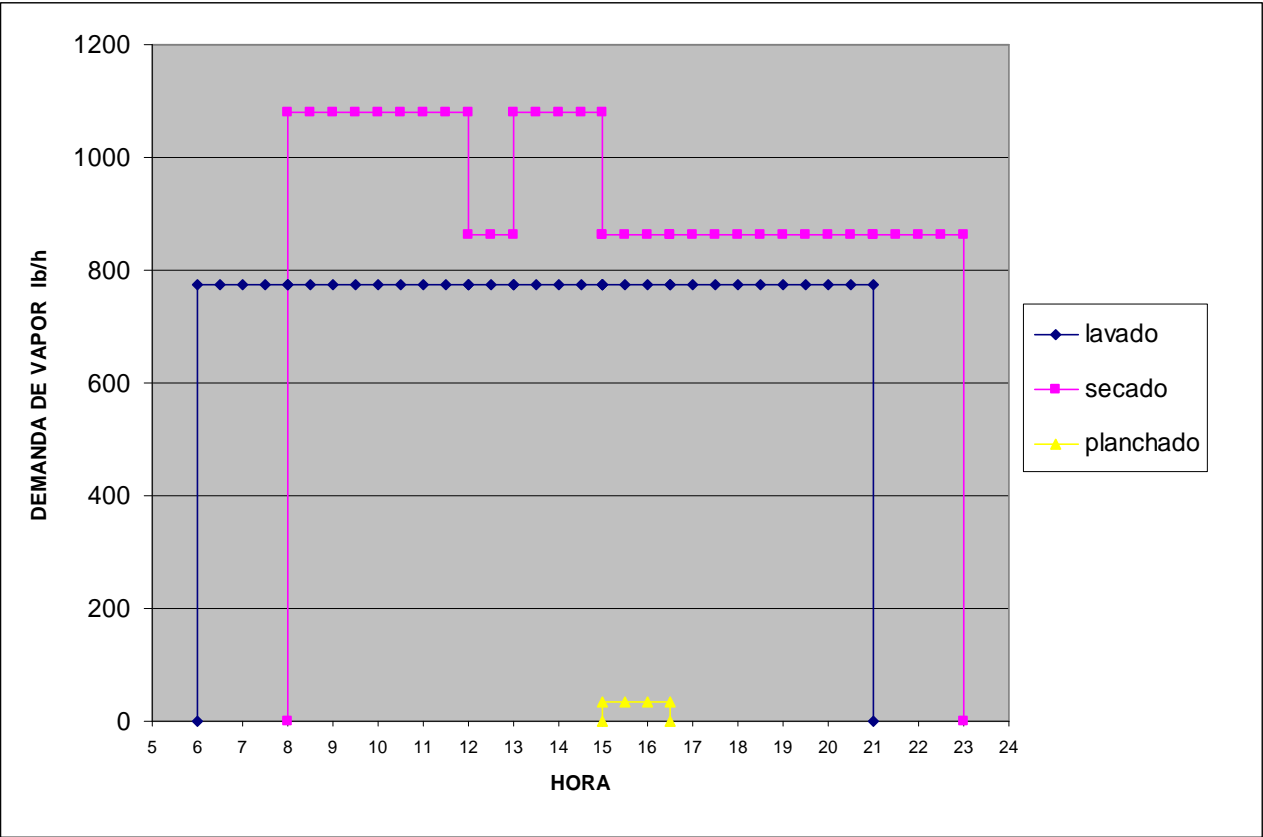
Dado que este es un proceso manual se toma una eficiencia del 80%

$$t = 35 / 22 * 0.8 = 1.99 \text{ horas.}$$

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO								DEMANDA TOTAL DE VAPOR (lb/h)
	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3	Secadora 1	Secadora 2	Planchador rodillo 1	Planchador rodillo 2	Planchador forma	
5:30-6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-6:30	367.40	275.50	132.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	775.37
6:30-7:00	367.40	275.50	132.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	775.37
7:00-7:30	367.40	275.50	132.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	775.37
7:30-8:00	367.40	275.50	132.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	775.37
8:00-8:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
8:30-9:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
9:00-9:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
9:30-10:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
10:00-10:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
10:30-11:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
11:00-11:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
11:30-12 m	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
12:00-12:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
12:30-1:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
1:00-1:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
1:30-2:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
2:00-2:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
2:30-3:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	70.00	146.62	0.00	1854.49
3:00-3:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	34.50	1672.37
3:30-4:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	34.50	1672.37
4:00-4:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	34.50	1672.37
4:30-5:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	34.50	1672.37
5:00-5:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
5:30-6:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
6:00-6:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
6:30-7:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
7:00-7:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
7:30-8:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
8:00-8:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
8:30-9:00	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
9:00-9:30	367.40	275.50	132.47	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	1637.87
9:30-10:00	0.00	0.00	0.00	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	862.50
10:00-10:30	0.00	0.00	0.00	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	862.50
10:30-11:00	0.00	0.00	0.00	431.25	431.25	0.00	0.00	0.00	862.50
11:00-11:30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 2.16. Demanda de vapor nominal por equipo en función del tiempo.

El área de lavandería se subdivide en tres sectores: lavado, secado y planchado, por lo cual en la gráfica 2.3 se presenta la demanda de vapor de todos los equipos utilizados en cada uno de estos sectores, lográndose constatar que la mayor demanda de vapor se da en el sector de secado durante las horas de 7:30-11:30am y de 1:00-4:00pm.



Gráfica 2.3 Demanda de vapor nominal en lavandería.

2.3.3.4 DEMANDA DE VAPOR EN CENTRAL DE EQUIPOS

El equipo utilizado en esta área de central de equipo se detalla en la tabla 2.17, así como la cantidad de vapor que estos demandan:

No	Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (lb/ciclo)	Demanda de vapor (lb/h)
1	Autoclave AMSCO	2	142.6	520.00
2	Autoclave Munchener Medizin	1	1231.4	414.00
		Total	850	934.00

Tabla 2.17. Capacidad y demanda de vapor por equipo.

Consultando con el personal que labora en esta área se logró constatar que los autoclaves de menor Capacidad (142.6 lb/ciclo) se usan durante toda la mañana, todos los días.

El tiempo de esterilización que se da es muy variado. Este depende del tipo de instrumento o material que se tenga ya listo para esterilizar. Por tanto, se tomará para los efectos de cálculo una demanda de vapor constante, es decir, se asume que existe un funcionamiento continuo de dichos autoclaves.

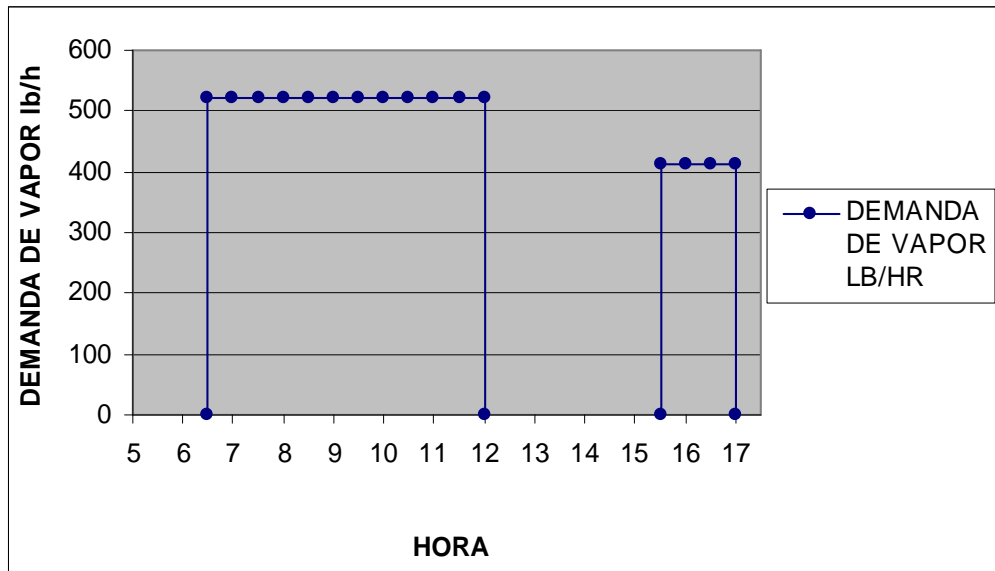
Para el caso del autoclave de mayor capacidad (1231.4 lb/ciclo), se espera a recolectar todos los instrumentos y material a esterilizar, durante la mañana, siendo utilizado por la tarde, se usa solamente una vez al día durante una hora y media.

Los horarios de uso de cada uno de los autoclaves se presentan en la tabla 2.18, así como la cantidad de vapor demandada, por cada treinta minutos, en esta área.

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO			DEMANDA TOTAL DE VAPOR (lb/h)
	autoclave 1	autoclave 2	autoclave 3	
6:00-6:30	0	0	0	0
6:30-7:00	260	260	0	520
7:00-7:30	260	260	0	520
7:30-8:00	260	260	0	520
8:00-8:30	260	260	0	520
8:30-9:00	260	260	0	520
9:00-9:30	260	260	0	520
9:30-10:00	260	260	0	520
10:00-10:30	260	260	0	520
10:30-11:00	260	260	0	520
11:00-11:30	260	260	0	520
11:30-12 m	260	260	0	520
12:00-12:30	0	0	0	0
12:30-1:00	0	0	0	0
1:00-1:30	0	0	0	0
1:30-2:00	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	0	0
2:30-3:00	0	0	0	0
3:00-3:30	0	0	0	0
3:30-4:00	0	0	414.00	414
4:00-4:30	0	0	414.00	414
4:30-5:00	0	0	414.00	414

Tabla 2.18.Demanda de vapor nominal de autoclaves en función del tiempo.

En la gráfica 2.4, se puede observar la demanda de vapor que tienen los tres autoclaves en el área de central de equipos, también, se puede obtener la horas en las cuales se exige mayor cantidad de vapor al sistema, siendo esta de 6:30am - 12:00m.



Gráfica 2.4. . Demanda de vapor nominal vrs tiempo de uso en el área de central de equipos.

2.3.4 CÁLCULO DEMANDA REAL DE VAPOR

Para determinar la demanda real se utilizó el factor de uso, el cual es propio de cada área, dicho factor se multiplica por el dato de demanda nominal (sección 2.3.3) de cada equipo. Los factores utilizados son:

ÁREA	FACTOR DE USO
Cocina	0.25
Fabrica de suero	0.79
Lavanderia	0.66
Central de equipo	0.24

Tabla 2.19. Factores de uso por área.

2.3.4.1 DEMANDA REAL DE COCINA

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO				DEMANDA DE VAPOR TOTAL lb/h
	MARMITA 1	MARMITA 2	MARMITA 3	MARMITA 4	
6:00-6:30	0	22.05	22.05	0	44.09
6:30-7:00	0	22.05	22.05	14.33	58.42
7:00-7:30	0	0	0	14.33	14.33
7:30-8:00	0	0	0	14.33	14.33
8:00-8:30	0	0	0	14.33	14.33
8:30-9:00	0	22.05	0	14.33	36.38
9:00-9:30	0	22.05	0	14.33	36.38
9:30-10:00	0	22.05	0	14.33	36.38
10:00-10:30	22.05	22.05	22.05	14.33	80.47
10:30-11:00	22.05	22.05	22.05	14.33	80.47
11:00-11:30	22.05	22.05	22.05	14.33	80.47
11:30-12 m	0	0	0	14.33	14.33
12:00-12:30	0	0	0	14.33	14.33
12:30-1:00	0	22.05	0	0	22.05
1:00-1:30	0	22.05	0	0	22.05
1:30-2:00	0	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	22.05	0	22.05
2:30-3:00	0	0	22.05	0	22.05
3:00-3:30	0	0	22.05	0	22.05
3:30-4:00	0	0	22.05	0	22.05
4:00-4:30	0	0	0	0	0

Tabla 2.20. Demanda real de vapor en función del tiempo.

2.3.4.2 DEMANDA REAL DE FÁBRICA DE SUERO

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO		DEMANDA TOTAL DE VAPOR lb/h
	AUTOCLAVE	DESTILADOR	
6:00-6:30	0	47.40	47.40
6:30-7:00	0	47.40	47.40
7:00-7:30	205.40	47.40	252.80
7:30-8:00	205.40	47.40	252.80
8:00-8:30	205.40	47.40	252.80
8:30-9:00	205.40	47.40	252.80
9:00-9:30	205.40	47.40	252.80
9:30-10:00	0	47.40	47.40
10:00-10:30	0	47.40	47.40
10:30-11:00	0	47.40	47.40
11:00-11:30	205.40	47.40	252.80
11:30-12 m	205.40	47.40	252.80
12:00-12:30	205.40	47.40	252.80
12:30-1:00	205.40	47.40	252.80
1:00-1:30	205.40	47.40	252.80
1:30-2:00	0	47.40	47.40
2:00-2:30	0	47.40	47.40
2:30-3:00	0	47.40	47.40
3:00-3:30	0	47.40	47.40
3:30-4:00	0	47.40	47.40
4:00-4:30	0	47.40	47.40
4:30-5:00	0	47.40	47.40
5:00-5:30	0	47.40	47.40
5:30-6:00	0	47.40	47.40
6:00-6:30	0	47.40	47.40
6:30-7:00	0	47.40	47.40
7:00-7:30	0	47.40	47.40
7:30-8:00	0	47.40	47.40
8:00-8:30	0	47.40	47.40
8:30-9:00	0	47.40	47.40
9:00-9:30	0	47.40	47.40
9:30-10:00	0	47.40	47.40
10:00-10:30	0	47.40	47.40
10:30-11:00	0	47.40	47.40
11:00-11:30	0	0.00	0.00

Tabla 2.21. Demanda real de vapor en función del tiempo.

2.3.4.3 DEMANDA REAL DE LAVANDERÍA

HORA DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO								DEMANDA TOTAL DE VAPOR lb/h
	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3	Secadora 1	Secadora 2	Planchador rodillo 1	Planchador rodillo 2	Planchador forma	
5:30-6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-6:30	242.48	181.83	87.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	511.74
6:30-7:00	242.48	181.83	87.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	511.74
7:00-7:30	242.48	181.83	87.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	511.74
7:30-8:00	242.48	181.83	87.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	511.74
8:00-8:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
8:30-9:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
9:00-9:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
9:30-10:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
10:00-10:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
10:30-11:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
11:00-11:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
11:30-12 m	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
12:00-12:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
12:30-1:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
1:00-1:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
1:30-2:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
2:00-2:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
2:30-3:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	46.20	96.77	0.00	1223.96
3:00-3:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	22.77	1103.76
3:30-4:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	22.77	1103.76
4:00-4:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	22.77	1103.76
4:30-5:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	22.77	1103.76
5:00-5:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
5:30-6:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
6:00-6:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
6:30-7:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
7:00-7:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
7:30-8:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
8:00-8:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
8:30-9:00	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
9:00-9:30	242.48	181.83	87.43	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	1080.99
9:30-10:00	0.00	0.00	0.00	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	569.25
10:00-10:30	0.00	0.00	0.00	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	569.25
10:30-11:00	0.00	0.00	0.00	284.63	284.63	0.00	0.00	0.00	569.25
11:00-11:30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 2.22. Demanda real de vapor en función del tiempo.

2.3.4.4 DEMANDA REAL DE CENTRAL DE EQUIPOS.

HORAS DE USO	DEMANDA DE VAPOR POR EQUIPO			DEMANDA TOTAL DE VAPOR lb/h
	AUTOCLAVE 1	AUTOCLAVE 2	AUTOCLAVE 3	
6:00-6:30	0	0	0	0
6:30-7:00	62.40	62.40	0	124.80
7:00-7:30	62.40	62.40	0	124.80
7:30-8:00	62.40	62.40	0	124.80
8:00-8:30	62.40	62.40	0	124.80
8:30-9:00	62.40	62.40	0	124.80
9:00-9:30	62.40	62.40	0	124.80
9:30-10:00	62.40	62.40	0	124.80
10:00-10:30	62.40	62.40	0	124.80
10:30-11:00	62.40	62.40	0	124.80
11:00-11:30	62.40	62.40	0	124.80
11:30-12 m	62.40	62.40	0	124.80
12:00-12:30	0	0	0	0
12:30-1:00	0	0	0	0
1:00-1:30	0	0	0	0
1:30-2:00	0	0	0	0
2:00-2:30	0	0	0	0
2:30-3:00	0	0	0	0
3:00-3:30	0	0	0	0
3:30-4:00	0	0	99.36	99.36
4:00-4:30	0	0	99.36	99.36
4:30-5:00	0	0	99.36	99.36

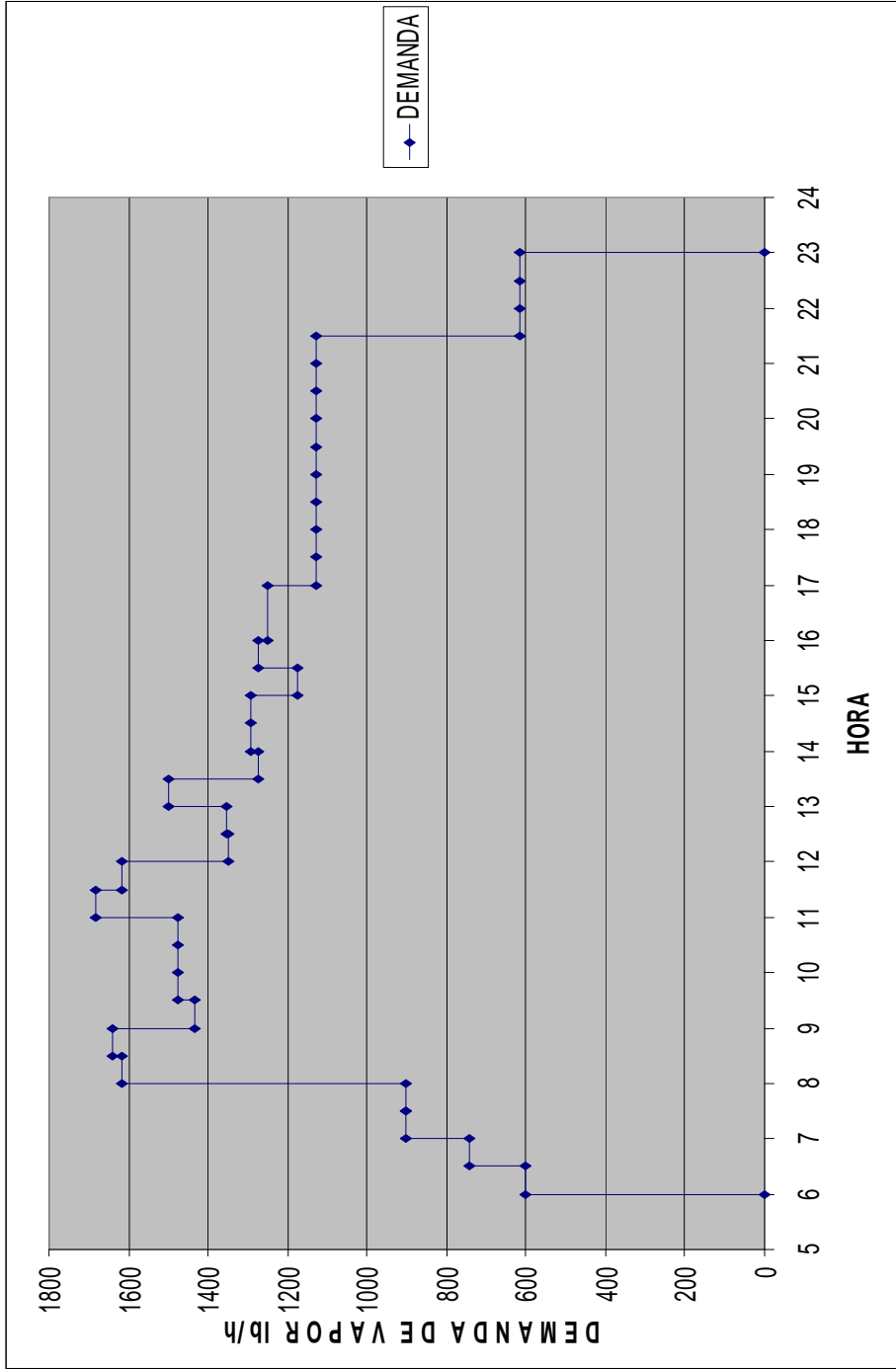
Tabla 2.23. Demanda real de vapor en función del tiempo.

2.4 TIEMPO CRÍTICO DE DEMANDA DE VAPOR REAL

Después de determinar el consumo de vapor de cada una de las áreas que lo demandan, se obtiene la demanda total del sistema, el cuál representa la sumatoria de las demandas parciales. En la tabla 2.19 y el gráfico 2.5 se observa el comportamiento horario del consumo total de vapor de los equipos y se obtiene que la hora crítica es 11:00-11:30 a.m. y se demanda a la caldera 1682.03 lb/h de vapor.

HORAS DE USO	COCINA	FABRICA DE SUEROS	LAVANDERIA	CENTRAL DE EQUIPOS	DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA
5:30-6:00	0	0	0	0	0
6:00-6:30	44.09	47.40	511.74	0	603.23
6:30-7:00	58.42	47.40	511.74	124.80	742.36
7:00-7:30	14.33	252.80	511.74	124.80	903.67
7:30-8:00	14.33	252.80	511.74	124.80	903.67
8:00-8:30	14.33	252.80	1223.96	124.80	1615.89
8:30-9:00	36.38	252.80	1223.96	124.80	1637.94
9:00-9:30	36.38	252.80	1223.96	124.80	1637.94
9:30-10:00	36.38	47.40	1223.96	124.80	1432.54
10:00-10:30	80.47	47.40	1223.96	124.80	1476.63
10:30-11:00	80.47	47.40	1223.96	124.80	1476.63
11:00-11:30	80.47	252.80	1223.96	124.80	1682.03
11:30-12 m	14.33	252.80	1223.96	124.80	1615.89
12:00-12:30	14.33	252.80	1080.99	0	1348.12
12:30-1:00	22.05	252.80	1080.99	0	1355.84
1:00-1:30	22.05	252.80	1223.96	0	1498.81
1:30-2:00	0	47.40	1223.96	0	1271.36
2:00-2:30	22.05	47.40	1223.96	0	1293.41
2:30-3:00	22.05	47.40	1223.96	0	1293.41
3:00-3:30	22.05	47.40	1103.76	0	1173.21
3:30-4:00	22.05	47.40	1103.76	99.36	1272.57
4:00-4:30	0	47.40	1103.76	99.36	1250.52
4:30-5:00	0	47.40	1103.76	99.36	1250.52
5:00-5:30	0	47.40	1080.99	0	1128.39
5:30-6:00	0	47.40	1080.99	0	1128.39
6:00-6:30	0	47.40	1080.99	0	1128.39
6:30-7:00	0	47.40	1080.99	0	1128.39
7:00-7:30	0	47.40	1080.99	0	1128.39
7:30-8:00	0	47.40	1080.99	0	1128.39
8:00-8:30	0	47.40	1080.99	0	1128.39
8:30-9:00	0	47.40	1080.99	0	1128.39
9:00-9:30	0	47.40	1080.99	0	1128.39
9:30-10:00	0	47.40	569.25	0	616.65
10:00-10:30	0	47.40	569.25	0	616.65
10:30-11:00	0	47.40	569.25	0	616.65
11:00-11:30	0	0	0	0	0

Tabla 2.24. Demanda real de vapor por área y total del sistema en función del tiempo.



Gráfica 2.5. Tiempo crítico de demanda de vapor real.

2.4 RENDIMIENTO DE LA CALDERA

Rendimiento de una caldera es la relación del vapor generado que se demanda y la producción nominal de la misma.

§ Rendimiento = vapor generado / producción nominal

2.4.1 DETERMINACIÓN DE VAPOR GENERADO

Para determinar el vapor generado, es necesario conocer la cantidad de agua de reposición a la caldera. Realizando un balance de masa entre: suavizador, tanque de condensado y caldera se establece este valor (diagrama 2.1)

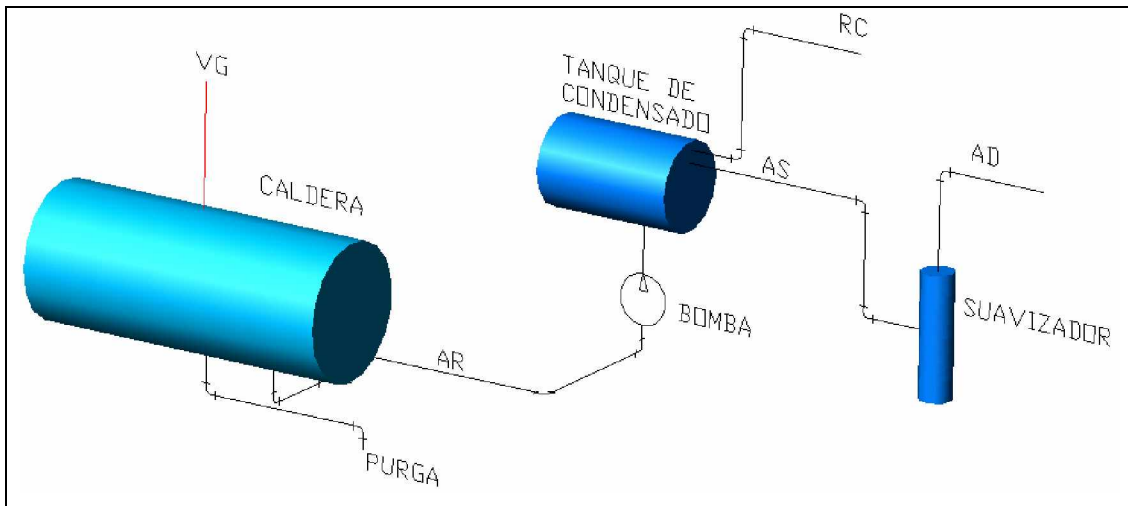


Diagrama 2.1. Alimentación de agua a la caldera.

Donde:

AR : Agua de reposición

VG : Vapor generado.

P : Purga.

AS : Agua del suavizador.

RC : Retorno de condensado.

Haciendo el balance de masa en el sistema se tiene:

$$AR = VG + P$$

Ec. 2.2

$$AR = AS + RC \quad \text{Ec. 2.3}$$

Igualando 2.2 y 2.3

$$VG + P = AS + RC \quad \text{Ec. 2.4}$$

Siendo el vapor generado la variable a despejar

Purga:

El valor de purga se obtiene a partir de los ciclos de concentración, que es la relación entre el total de sólidos disueltos (*TDS*) del agua de la caldera y agua de alimentación. Los datos de *TDS* son proporcionados por las empresas que suministran los insumos para el tratamiento del agua.

$$\text{Ciclos de concentración} = CC = \frac{TDS_{\text{agua caldera}}}{TDS_{\text{agua a alimentación}}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

$$TDS_{\text{agua caldera}} = 2400 \text{ ppm}$$

$$TDS_{\text{agua a alimentación}} = 225 \text{ ppm}$$

$$CC = \frac{2400}{225} = 10.67$$

$$\text{tasa de purga} = \frac{1}{CC - 1} (\% \text{ de vapor generado}) \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$\text{tasa de purga} = \frac{1}{10.67 - 1} = 0.103$$

Por tanto:

$$P = 0.103VG = 10.3\%VG \quad \text{Ec. 2.7}$$

Volumen de agua del suavizador (V_{AS}):

Para conocer la cantidad de agua suavizada que entra al tanque de condensado por ciclo de regeneración, se utiliza el volumen del suavizador y la ecuación 2.8

$$V_{AS} = \frac{V_{sua} * 30000 \frac{\text{grano}}{\text{ft}^3} * 17.1 \frac{\text{ppm}}{\text{grano/gal}}}{Dureza_{\text{Agua de Su min istro}}} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

V_{AS} : Volumen de agua de suavizador, por ciclo de regeneración.

Dureza = 300 ppm

$$V_{AS} = \frac{3 \text{ft}^3 * 30000 \frac{\text{grano}}{\text{ft}^3} * 17.1 \frac{\text{ppm}}{\text{grano/gal}}}{300 \text{ppm}} = 5130 \text{gal} = 19.42 \text{m}^3$$

Por tanto:

$$AS = \frac{V_{AS}}{\text{Ciclo reg}}$$

Ciclo regeneración¹⁰: 48 horas.

$$AS = \frac{19.42}{48} = 0.40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

RC : Retorno de condensado es el porcentaje de agua que regresa al tanque de condensado después de su ciclo de trabajo para repetirlo nuevamente, una manera de obtenerlo es mediante un análisis químico que involucra los TDS de: agua de alimentación, agua suave y condensado. El porcentaje de retorno de condensado en los cálculos presentados es tomado de reportes presentados al departamento de mantenimiento por proveedores de los productos químicos (CHEMICAL TECHNOLOGY S.A.)

$RC = 24.8 \% VG$

Sustituyendo en Ec. 2.4:

$$VG + 0.103VG = 0.40 + 0.248VG$$

$$VG + 0.103VG - 0.248VG = 0.40$$

$$(1 + 0.103 - 0.248)VG = 0.40$$

$$VG = \frac{0.40}{0.855} = 0.468 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

¹⁰ Ciclo de regeneración: es el tiempo que el suavizador entrega agua al tanque de condensado.

$$VG = 0.468 \frac{m^3}{h} * \frac{264.17 \text{ gal}}{m^3} * \frac{8.33 \text{ lb}}{\text{gal}}$$

$$VG = 1032 \frac{\text{lb}}{h}$$

$$\approx 29.42 \text{ BHP}$$

Rendimiento de la caldera.

$$\text{Rendimiento} = \frac{29.42}{125} \times 100 = 23.54\%$$

2.4.2 AGUA DE REPOSICIÓN EN CALDERA

Es el total de agua suministrada a la caldera.

$$AR = VG + P$$

$$AR = VG + 0.103VG = 1.103VG$$

Sustituyendo VG :

$$AR = 1.103(1032.32)$$

$$AR = 1138.65 \frac{\text{lb}}{h}$$

2.5 CÁLCULO EFICIENCIA CALDERA

Eficiencia: cantidad de energía necesaria para convertir el agua de alimentación en vapor, en relación a la cantidad de energía correspondiente al combustible utilizado.

$$\eta = \frac{W_s (h_v - h_l)}{W_f * F} \times 100\% \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

W_s : Masa de vapor.

W_f : Masa de combustible quemado en galones.

F : Poder calorífico del combustible (Fuel Oil N° 6 $F = 0.15 \frac{MBTU}{gal}$)¹¹.

h_v : Entalpía de vapor ($1190.43 \frac{BTU}{lb}$ para $T_{vapor} = 338^\circ F$)

h_l : Entalpía de líquido ($100.79 \frac{BTU}{lb}$ para $T_{liquido} = 132.8^\circ F$)

$$W_F = 10.12 \frac{gal}{h}$$

$$W_s = 1138.65 \frac{lb}{h}$$

Sustituyendo:

$$\eta = \frac{1138.65 \frac{lb}{h} * (1190.43 - 100.79) \frac{BTU}{lb}}{10.12 \frac{gal}{h} * 0.15 \frac{MBTU}{gal}} \times 100 = 81.7\%$$

$$\eta = 81.7\%$$

El rango de eficiencia para calderas pirotubulares oscila entre 80% y 86%, por tanto el generador opera dentro del parámetro aceptable.

2.6 ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN EN CALDERAS

Se realizó la prueba de análisis de gases de combustión a las calderas¹² para determinar las condiciones de operación de estas y establecer si están trabajando dentro de los parámetros establecidos por código ASME referente a emisiones de calderas pirotubulares.

A continuación se presentan los resultados obtenidos y la interpretación de dicho análisis:

¹¹ Anexo 1.2

¹² Anexo 2.11

Caldera №1	Símbolo	Fuego Bajo	Fuego Alto	Standard
Dióxido de carbono	CO ₂	7.7%	N/D	11.5-12.5
Exceso de aire	λ	111.5%	N/D	15-25
Oxígeno	O ₂	11.1%	N/D	2.5–3.5
Temperatura en sala de maquinas	T _{amb}	82.2°F	N/D	82-90
Temperatura de gases de chimenea	T _{ch}	139°F	N/D	350-700°F
Eficiencia de combustión	E _n	92.7%	N/D	87%
Monóxido de carbono	CO		N/D	75 ppm
Monóxido de carbono total CO	μ CO		N/D	Reportar

Tabla 2.25 Análisis gases de combustión caldera 1.

Caldera №2	Símbolo	Fuego Bajo	Fuego Alto	Standard
Dióxido de carbono	CO ₂	11.7%	9.8%	11.5-12.5
Exceso de aire	λ	39.5%	66.2%	15-25
Oxígeno	O ₂	6.0%	8.4%	2.5–3.5
Temperatura en sala de maquinas	T _{amb}	82.2°F	82.2°F	82-90
Temperatura de gases de chimenea	T _{ch}	441.2°F	617°F	350-700°F
Eficiencia de combustión	E _n	86%	79.4%	87%
Monóxido de carbono	CO	7ppm	27ppm	75 ppm
Monóxido de carbono total CO	μ CO	10ppm	45ppm	Reportar

Tabla 2.26. Análisis gases de combustión caldera 2.

Interpretación de resultados:

Caldera 1:

- § Solo se obtuvieron los datos en fuego bajo, ya que la caldera recibió mantenimiento recientemente y se puso en operación únicamente para realizar la prueba. Sin embargo, no son representativos por los valores obtenidos.

Caldera 2:

- § Exceso de aire alto fuera de Standard y como consecuencia existen pérdidas de calor hacia el ambiente debido a que la masa de aire excedente es calentada y esta energía se pierde hacia la atmósfera, por el incremento de la temperatura de los gases de combustión, lo que contamina el ambiente por calor.

- § Contenido de monóxido de carbono esta dentro del estándar, no se produce contaminación por hollín.

2.7 COSTO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR

Para determinar el costo total de la producción de vapor se toma en consideración los siguientes insumos:

- § Combustible.
- § Electricidad.
- § Tratamiento de agua.
- § Agua.

Costo por combustible (Fuel Oil N6):

El combustible que consumen los generadores de vapor, es adquirido mediante licitaciones públicas. El cálculo de los costos por combustible se ha realizado en base al precio de compra por parte de la institución:

Precio del Fuel Oil: US\$1.00 por galón.

Energía térmica necesaria para producir vapor (E_t):

La diferencia de entalpía de vapor y líquido representa la energía necesaria para realizar el cambio de fase de una libra de agua.

$$E_T = h_v - h_f \quad \text{Ec. 2.10}$$

Tomando datos de sección 2.6:

$$E_T = (1190.43 - 100.79) \frac{BTU}{lb} = 1089.64 \frac{BTU}{lb}$$

$$E_T = 1089.64 \frac{BTU}{lb}$$

Energía total del combustible requerida para producir vapor (E_c), se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{E_T}{\eta} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Sustituyendo:

$$E_c = \frac{1089.64}{0.817} = 1333.71 \frac{BTU}{lb}$$

$$E_c = 1333.71 \frac{BTU}{lb}$$

Costo de la energía del combustible (C_c):

C_c : representa el costo en dólares para obtener la energía equivalente a 1 MBTU.

$$C_c = \frac{\$precio}{gal} * \frac{gal}{podercalorifico} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Sustituyendo:

$$C_c = \frac{\$1.00}{gal} * \frac{gal}{0.15MBTU} = 6.67 \frac{\$}{MBTU}$$

$$C_c = 6.67 \frac{\$}{MBTU}$$

Costo de una libra de vapor producida con combustible Fuel Oil N°6 (C_{bunker}):

$$C_{bunker} = E_c * \frac{1}{10^6} * C_c \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

C_{bunker} : Costo por Fuel Oil N°6 para producir una libra de vapor

Sustituyendo:

$$C_{bunker} = 1333.71 \frac{BTU}{lb} * \frac{1}{10^6} * 6.67 \frac{\$}{MBTU} = 0.009 \frac{\$}{lb}$$

Se tiene una producción de vapor de $19357.05 \frac{lb}{dia}$ ¹³

$$C_{bunker} = 174.21 \frac{\$}{dia}$$

Costo por consumo Gas propano (C_{GP}):

Se utilizan 100 galones durante 45 días y se adquiere a un precio de US\$1.10 por galón.

$$C_{GP} = \frac{\text{Consumo} * \text{Precio} \left(\frac{gal * \$}{dia} \right)}{\text{Período de consumo}} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Sustituyendo:

$$C_{GP} = \frac{100gal * 1.10\$}{45dias}$$

$$C_{GP} = 2.44 \frac{\$}{dia}$$

Costo de energía eléctrica.

Motor ventilador (7.5 HP, $18 \frac{horas}{dia}$)

$$7.5HP * \frac{0.746kw}{hp} * 18 \frac{horas}{dia} * \frac{30dias}{mes} = 3021.3 \frac{Kw * h}{mes}$$

$$\left(3021.3 * 0.09 \frac{\$}{Kwh} \right) = 271.91 \frac{\$}{mes}$$

¹³ El tiempo de producción de vapor es 17 horas al día.

Motor bomba combustible (1Hp, $18 \frac{\text{horas}}{\text{dia}}$):

$$1\text{Hp} * 0.746 \frac{\text{Kw}}{\text{Hp}} * 18 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} = 402.84 \frac{\$ * \text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$\left(402.84 * 0.09 \frac{\$}{\text{Kwh}} \right) = 36.25 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Bomba agua (5 Hp, $15 \frac{\text{min}}{\text{hora}} = 4.25 \frac{\text{hora}}{\text{dia}}$):

$$5\text{Hp} * 0.746 \frac{\text{Kw}}{\text{Hp}} * 4.25 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} = 475.57 \frac{\$ * \text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$\left(475.57 * 0.09 \frac{\$}{\text{Kwh}} \right) = 42.80 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Calentador eléctrico (5 Kw, $1 \frac{\text{hora}}{\text{dia}}$):

$$5\text{Kw} * 1 \frac{\text{hora}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} = 150 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$\left(150 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} * 0.09 \frac{\$}{\text{Kwh}} \right) = 13.50 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Costo total por energía eléctrica (C_{elec}):

Equipo	Costo $\frac{\$}{\text{mes}}$	
Motor ventilador	271.91	
Motor bomba combustible	36.25	
Bomba de agua	42.80	
Calentador eléctrico combustible	13.50	
Total=	364.47	$12.14 \frac{\$}{\text{dia}}$

Tabla 2.27. Costo de vapor por energía eléctrica.

Costo por consumo de agua:

$$\text{Consumo} = 216 \frac{m^3}{mes}$$

$$C_A = 216 \frac{m^3}{mes} * 0.30 \frac{\$}{m^3} = 64.8 \frac{\$}{mes}$$

$$C_A = 2.16 \frac{\$}{dia}$$

Tratamiento de agua (C_{TA}):

Agente Químico	Cantidad por año	Precio \$	Total \$
Polímero anti-incrustante	100 gal	10.97 / gal	1097.00
Triamina evaporativa	100 gal	13.4 /gal	1340.00
Polvo de Sulfito	75 lb	2.6 / lb	195.00
Sal	100 qq	5.71 /qq	571.00
		Total =	3203.00

Tabla 2.28. Costo de tratamiento químico

Tomando el costo de tratamiento químico de la tabla 2.28 se tiene:

$$C_{TA} = 3203 \frac{\$}{año} = 8.78 \frac{\$}{dia}$$

Resumen costo de vapor (C_{vapor}):

Insumos	Costo $\frac{\$}{\text{día}}$
Combustible	174.21
Gas propano	2.44
Electricidad	12.14
Tratamiento de agua	8.78
Consumo de agua	2.16
Total=	199.73

Tabla 2.29. Costo de vapor producido en un día.

La generación de vapor es 1138.65 lb/h, donde la jornada de producción es 18 horas por días,

$$\text{Producción de vapor por día} = 1138.65 \left(\frac{\text{lb}}{\text{h}} \right) * 18 \left(\frac{\text{h}}{\text{día}} \right) = 20495.70 \left(\frac{\text{lb}}{\text{día}} \right)$$

Para determinar el costo de una libra de vapor se tiene el consolidado de costos y la producción de vapor por día, donde el cociente de estos equivale al costo de una libra de vapor.

$$C_{vapor} = \frac{199.73 \left(\frac{\$}{\text{día}} \right)}{20495.70 \left(\frac{\text{lb}}{\text{día}} \right)} = 0.0097 \left(\frac{\$}{\text{lb}} \right)$$

$$C_{vapor} \approx 0.01 \frac{\$}{\text{lb}}$$

2.8 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS POR FUGAS

Un considerable desperdicio de energía se encuentra en fugas de vapor en tuberías, válvulas, uniones, etc.

Un aumento considerable en los costos se debe generalmente a que se permiten pequeñas fugas, aparentemente sin importancia, las cuales no son reportadas por no considerarse importantes en términos de costo; por el tiempo necesario para su reparación, pues, antes de la alza en el precio del petróleo, se pensaba en general que estas podían eludirse y que su reparación no valía la pena.

Para el cálculo del costo por fugas de vapor se realiza por el método de la longitud de la pluma de vapor, que es la distancia aproximada a la cual el vapor se condensa en la mano (corriente mas allá de la pluma visible), con este dato y la gráfica 2.6 es utilizada para determinar el costo anual de pérdidas por fugas.

Costo por libra de vapor \$ 0.01 lb

En el sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales se detectaron las siguientes fugas:

Nº	Accesorio	Ubicación	Longitud de pluma [ft]	Horas de trabajo
1	Válvula	Cuarto de máquina	4	6205
2	Válvula	Cuarto de máquina	2.25	
3	Válvula	Lavandería	1.00	3822
4	Válvula	Lavandería	1.00	
5	Válvula	Lavandería	0.5	
6	Unión	Cocina	1.25	1638
7	Válvula	Cocina	1.25	
8	Unión	Cocina	1.00	2184
9	Válvula	Fabrica de Suero	1.00	6205
10	Válvula	Fabrica de Suero	1.00	
11	Válvula	Tramo SM-CE	1.25	6205
12	Unión	Tramo SM-CE	1.25	

Tabla 2.30. Fugas en el sistema de vapor.

Determinación del costo de 1000 libras de vapor:

$$C_{1000lb} = 1000lb * C_{vapor} \quad \text{Ec 2.15}$$

Sustituyendo en ecuación 2.15:

$$C_{1000lb} = 1000 * 0.01 = 10 \frac{\$}{1000lb}$$

En la grafica 2.6¹⁴ se presenta el costo de pérdidas por fuga de vapor en términos de gastos de combustible anuales, para 8760 horas de trabajo al año. Con la ecuación 2.15 se obtiene el costo de la pérdida para las horas de trabajo de cada fuga

$$C_{F1} = \text{costo de las pérdidas, para 8760 horas} \times \frac{\text{horas de trabajo}}{8760} \quad \text{Ec 2.16}$$

Nº	Accesorio	Longitud de pluma [ft]	Horas de trabajo	Costo de pérdida para 8760 horas. \$	Costo de pérdida \$
1	Válvula	3	6205	3800	2691.66
2	Válvula	2.25		2600	1841.66
3	Válvula	1.00	3822	890	388.30
4	Válvula	1.00		1300	567.19
5	Válvula	0.5			
6	Unión	1.25	1638	1000	187
7	Válvula	1.25		1000	187
8	Unión	1.00	2184	890	221.89
9	Válvula	1.00	6205	890	630.42
10	Válvula	1.00		890	630.42
11	Válvula	1.25	6205	1000	708.33
12	Unión	1.25		1000	708.33
				Total:	8762.20

Tabla 2.31. Costo anual de fugas.

¹⁴ Tomado de Ahorro de Energía en los Sistemas de Vapor (ICAITI)

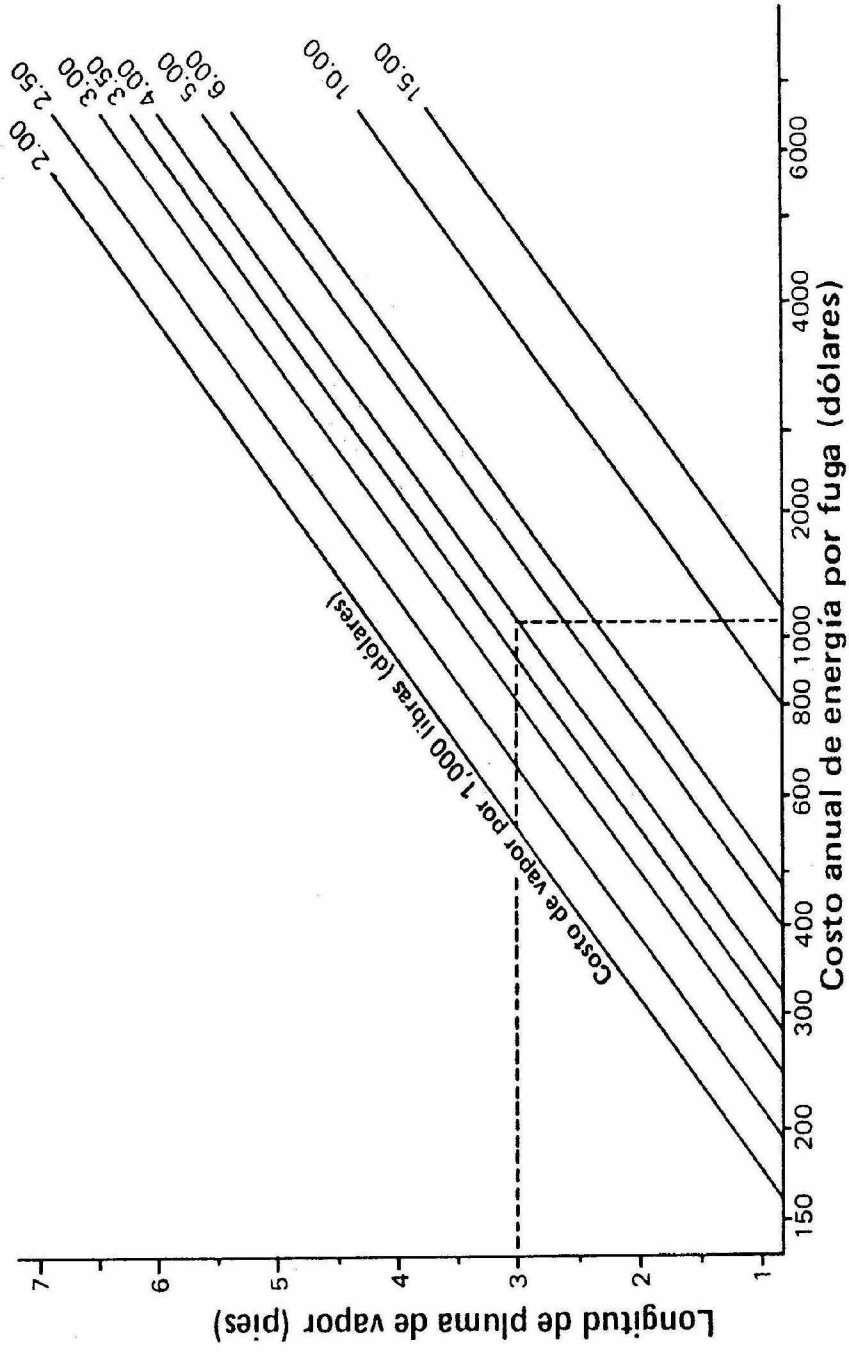


Grafico 2.6. Costo anual de energía por fugas de vapor.

2.9 PÉRDIDAS EN TUBERÍAS

Para el cálculo de las pérdidas en tuberías se utilizará la siguiente formula:

$$Q = - U A \Delta T \text{ (Btu/h)} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

Q : Pérdida de calor en tubería sin aislamiento.

U: Coeficiente de transferencia de calor.

A: Área de la tubería.

ΔT : Diferencia de temperatura entre el ambiente y la tubería.

Los valores de U se toman de anexo 1.3.

Temperatura ambiente	81 °F
Temperatura del vapor	338 °F
Presión del vapor	100 psig
Diferencia de temperatura	257 °F

Tramo ¹⁵	Diámetro (in)	Longitud (ft)	Factor lineal (ft)	Área ft ²	Coeficiente de transferencia de calor (U)
SM-L	1 1/2"	20.5	0.498	10.21	3.24
SM-C	1 1/2"	32.81	0.498	16.34	3.24
SM-CE	1 1/2"	675.85	0.498	302.71	3.24
PD-FS	3/4"	144	0.275	39.6	3.39
Tubería sin uso	1 1/2"	41	0.498	20.42	3.24

Tabla 2.32. Características de tubería sin aislamiento.

Cálculo de pérdida de calor por tramos en uso, sustituyendo en ecuación 2.16, se tiene:

Tramo SM-L

$$Q_{SM-L} = - 10.209 * 3.24 * 257 = 8500.83 \frac{BTU}{h}$$

Tramo SM-C

$$Q_{SM-C} = - 16.34 * 3.24 * 257 = 13606 \frac{BTU}{h}$$

¹⁵ Ver anexo.3

Tramo SM-CE

$$Q_{SM-CE} = -302.71 * 3.24 * 257 = 252060.56 \frac{BTU}{h}$$

Tramo PD-FS

$$Q_{PD-FS} = -39.6 * 3.39 * 257 = 34500.71 \frac{BTU}{h}$$

Pérdida de calor total:

$$Q_{Total} = -308668.09 \frac{BTU}{h}$$

La pérdida por tubería desnuda en el sistema es de $318.12 \frac{lb}{h}$.

Costo de la pérdida de energía por tubería desnuda es de: \$3.18/h, equivalente \$54.06/día \approx \$19,731.90/año.

.

Tubería sin uso

$$Q_{SM-CE} = -20.42 * 3.24 * 257 = 17001.66 \frac{BTU}{h}$$

La pérdida por tubería sin uso es de $17.52 \frac{lb}{h}$

El costo de las tuberías sin uso equivalen a \$2.98/ día y \$1087.12/año.

2.10 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO

En un sistema de vapor se encuentran oportunidades de ahorro energético que representan ahorros económicos considerables que se pueden ejecutar realizando una inversión económica, traduciéndose en la mejora de la eficiencia del sistema.

A continuación se presenta un listado de oportunidades de ahorro energético identificadas en el sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales:

- § Instalar aislamiento térmico en líneas de vapor carente de ello y en líneas que tienen aislamiento en mal estado, actualmente representa un costo de pérdida de energía de $54.06 \frac{\$}{\text{dia}}$.
- § Dar mantenimiento continuo al aislamiento térmico de líneas de vapor y equipo, prestando mayor atención al estado del material recubridor del aislante, ya que un mal recubrimiento puede causar pérdidas energéticas, siendo estas mayores durante época de lluvia.
- § Verificar la condición de trampas y filtros de vapor.
- § Recuperación de condensado.
- § Desconectar todas las tuberías (12.5 m) que estén sin uso, las cuales se encuentran sin recubrimiento térmico originando pérdidas por un valor de $2.98 \frac{\$}{\text{dia}}$.
- § En el manifold de distribución cerrar o eliminar aquellas líneas en las que las unidades del proceso de operación estén fuera de operación o fuera de uso.
- § Reparación de 12 fugas de vapor, que representan un costo $24 \frac{\$}{\text{dia}}$.

- § Desconectar los equipos cuando ya no se requiera el uso de vapor.
- § Dar a conocer a los operadores el costo del vapor con el objeto que se visualice la operación o los cambios realizados en ella.
- § Colocar juntas de expansión y soportes adecuados en la red de distribución.
- § Realizar purga de condensado en los equipos antes de la primera operación del día.
- § Reducción de tramos de tubería.

2.11 RECURSO HUMANO Y SU COMPETENCIA EN EL ÁREA DE VAPOR

El departamento de mantenimiento cuenta con cuatro personas encargadas para operar las calderas y dar servicio de reparación a todo el sistema de vapor.

Las cuatro personas encargadas de las calderas han recibido un curso básico de operación de calderas, impartido por el Ministerio de Trabajo, con el cual están aptos para:

- § La operación de las calderas.
- § La detección de fallas.

Solamente uno de los operarios ha recibido un curso de mantenimiento de calderas, que fue impartido por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, siendo esta persona la encargada de el mantenimiento periódico a las calderas

2.12 PRESUPUESTO ASIGNADO AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El presupuesto asignado al departamento de mantenimiento varia cada año según los costos fijos y los proyectos a realizar, en el Tabla 2.20 se detalla el recurso económico asignado al departamento en el año 2005:

DISTRIBUCIÓN DE PRESUPUESTO.	CANTIDAD \$
Repuestos mayores para equipo medico.	40,000.00
Compra de materiales para diferentes áreas.	60,000.00
Compra de repuestos de equipos lavandería	30,000.00
Concesión de servicios.	80,000.00
Combustible para las calderas. ¹⁶	53,000.00
Reparaciones externas	15,000.00
TOTAL	278,000.00

Tabla 2.33 Presupuesto asignado al Departamento de Mantenimiento.

¹⁶ El consumo de combustible es de 72,000 galones/año.

CAPÍTULO III

PROPUESTA TÉCNICA

3.0 PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE VAPOR ACTUAL.

RECOMENDACIONES DE AHORRO.

En este capítulo se presenta las OAE identificadas en el apartado anterior, destacando los beneficios que se obtendrían con su implementación de tal manera que al ser cuantificadas se pueda evidenciar la magnitud del ahorro que se puede alcanzar comparado con las condiciones actuales de desaprovechamiento del recurso térmico en el sistema de vapor. Como primera parte se plantean las oportunidades potenciales de ahorro, luego se desarrollan y cuantifican mediante los procesos de cálculos necesarios, es oportuno mencionar que con las medidas consideradas a lo largo de este capítulo, se logra conseguir una eficiencia del sistema de vapor de 96.8%, situación que refleja la finalidad que se plantea en el trabajo de graduación, “optimizar los recursos de esta institución de salud de carácter público”, además se obtendría el beneficio de contar con vapor en condiciones óptimas para las distintas áreas que lo demandan. También se define la selección de: materiales adecuados para tuberías, aislamiento térmico de líneas de vapor y retorno de condensado, accesorios, trampas de vapor, soportes, así como su respectiva ubicación. Además se propone una redistribución de algunos tramos de la red, donde se ha determinado la reducción de longitudes y la eliminación de tubería sin uso, que en la actualidad conducen vapor.

Las recomendaciones que se consideran como oportunidades de ahorro energético (OAE) se presentan a continuación:

- § Eliminación de tramos y redistribución de tuberías
- § Retorno de condensado
- § Aislamiento térmico en tubería.
- § Instalación de soportes en líneas de vapor
- § Instalación de nuevo equipo en el área de lavandería (lavadora y secadoras)
- § Cambio de tubería de hierro galvanizado por acero al carbono cedula 40.

Para la puesta en marcha de las medidas de ahorro energético en las instalaciones del Hospital Nacional Rosales, se hace necesario realizar algunos cambios en el sistema de vapor, de tal manera que la solución propuesta será un conjunto global de pequeñas, medianas y considerables reformas, que conducirán a un importante ahorro energético, contribuyendo con ello a reducir los costos y obtener una producción de vapor eficaz y eficiente para las operaciones requeridas, descritas en el capítulo II de este documento.

3.1 ELIMINACIÓN DE TRAMOS Y REDISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA

Se toma esta oportunidad como punto de partida, pues, al eliminar tramos de tubería cambia la distribución de vapor.

En la eliminación de tramos se han considerado los siguientes criterios:

- § Instalar tubería de vapor con la menor longitud posible.
- § Distribuir tubería en lugares donde no se encuentre a la intemperie.
- § Eliminar tuberías que conducen vapor hacia equipos que están fuera de uso de manera permanente.

3.1.1 ELIMINACIÓN DE TRAMOS DE TUBERÍA

En el sistema se encuentran tramos de tuberías que transportan vapor y no están conectados a un equipo, ocasionando un costo económico por la pérdida de energía, estos tramos carecen de aislamiento y se encuentran a la intemperie. La medida de ahorro a tomar es la supresión de estas.

Los tramos de tubería que se deben suprimir son:

Tramo SM – CE (anexo 3.2)

Tubería con diámetro de 1 1/2'' que se encuentra contiguo a la capilla del hospital, la longitud a eliminar es 2.5 m.

Tramo PD – FS (anexo 3.2)

En el área de fábrica de suero, específicamente donde llega la tubería de vapor, que alimenta el destilador y el autoclave, se encuentra un tramo de tubería, de 10 metros, que conduce a la sala de maquinas antigua.

En la tabla siguiente se presenta el resumen de tramos a eliminar:

Tramo ¹⁷	Diámetro (in)	Longitud a eliminar (m)
SM-CE	1 ¹ / ₂ "	2.5
PD-FS	³ / ₄ "	10

Tabla 3.1. Tramos a eliminar.

3.1.2 REDISTRIBUCIÓN

En el sistema se encuentran tramos de tuberías que realizan un recorrido innecesario para transportar el vapor hasta los sectores de central de equipo y fabrica de suero, para tanto, se propone una nueva ruta en la que se disminuye considerablemente la longitud de dichos tramos de tubería. Como resultado de la consideración de criterios antes expuestos; la redistribución se hace necesaria en el tramo que conduce de la sala de maquinas (SM) al punto de distribución (PD) y de este a las áreas de central de equipo (CE) y fábrica de suero (FS).

De lo anterior surge la tabla 3.2, donde se hace una comparación de longitudes entre la distribución actual y la propuesta.

Tramo	Longitud (m) Actual ¹⁸	Longitud (m) Propuesta ¹⁹	Reducción de Longitud (m)
SM-L	36.25	36.25	-----
SM-C	17.5	17.5	-----
SM-CE	206	165.0	41
PD-FS	64	51.5	12.5

Tabla 3.2. Reducción de longitudes.

¹⁷Referidos al plano de distribución. Los tramos a eliminar se representan por líneas de trazo y punto. Anexo 3.2.

¹⁸ Ver anexo 3.2

¹⁹ Ver anexo 3.4

De la tabla se observa una reducción en la longitud de 53.5 metros, con respecto a la distribución actual, además con esta medida la tubería no estará a la intemperie.

3.1.3 DIMENSIONAMIENTO PROPUESTO PARA LA RED DE TUBERÍAS DE VAPOR

El dimensionamiento de la red de tuberías se hace de acuerdo al volumen de vapor que se transporta, con relación al diámetro de la tubería en función de la velocidad del vapor.

$$d = \sqrt{\frac{4 * \dot{V}}{\pi * C}} \quad \text{EC. 3.1}$$

Donde:

d = Diámetro de tubería.

\dot{V} = Caudal volumétrico.

C = Velocidad del flujo.

Presión de distribución	100 psig
Velocidad de flujo ²⁰	25 $\frac{m}{s}$
Volumen específico ²¹	0.24 $\frac{m^3}{kg}$

$$\dot{V} = \text{Demanda vapor} * \text{Volumen específico} \quad \text{EC. 3.2}$$

²⁰ Velocidad recomendada para diseño de líneas de vapor (ICAITI).

²¹ Tablas de vapor Para 100 psig y calidad de 0.98

3.1.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS POR ÁREAS

A continuación se presentan los cálculos de los diámetros de tuberías para las líneas de vapor. Los tramos están referidos a la distribución propuesta (anexo 3.4).

En el área de lavandería se cuenta con los siguientes equipos:

No	Equipo	Cantidad	Demanda de vapor (lb/h)
1	Lavadora dyna-wash (150 lb)	1	367.40
2	Lavadora dyna-wash (300 lb)	2	551.00
3	Lavadora dyna-wash (400 lb)	1	132.47
4	Secadora Cissell	2	862.5
5	Secadora American Dryer	2	1780.00
6	Mangle	2	216.62
7	Planchador	1	34.50
Total			3944.49

Tabla 3.3 Demanda de vapor nominal en lavandería.

TRAMO SM-P₁ (flujo total)

$$\text{Flujo total} = 3944.49 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 1789.19 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.4970 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Sustituyendo en 3.2:

$$\dot{V} = 0.4970 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 0.24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.11928 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Sustituyendo en Ecuación 3.1

$$d = \sqrt{\frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times C}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.11928}{\pi \times 25}} = 0.077941\text{m} \approx 3 \frac{1}{2} \text{ plg}$$

TRAMO P₁-P₂ (Flujo lavadoras):

$$\text{Demanda} = 1050.87 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 476.65 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.1324 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0.1324 \frac{Kg}{s} \times 0.24 \frac{m^3}{kg} = 0.03177 \frac{m^3}{seg}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.03177}{\pi \times 25}} = 0.07556 m \approx 2 \text{ plg}$$

TRAMO P₁-P₃ (flujo secadoras, mangles y planchador de forma):

$$\text{Demanda} = 2893.62 \frac{lb}{h} = 1312.52 \frac{Kg}{h} = 0.36459 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{V} = 0.36459 \frac{Kg}{s} \times 0.24 \frac{m^3}{kg} = 0.087502 \frac{m^3}{seg}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.087502}{\pi \times 25}} = 0.066756 m \approx 2 \frac{1}{2} \text{ plg}$$

TRAMO P₃-P₄ (flujo mangles y planchador de forma):

$$\text{Demanda} = 251.12 \frac{lb}{h} = 113.91 \frac{Kg}{h} = 0.0316 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{V} = 0.0316 \frac{Kg}{s} \times 0.24 \frac{m^3}{kg} = 0.007584 \frac{m^3}{seg}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.007584}{\pi \times 25}} = 0.0196 m \approx 1 \frac{1}{4} \text{ plg}$$

COCINA

No	Equipo	Cantidad	Demanda de vapor (lb/h)
1	Marmita Steam Master (40 gal)	3	88.18
2	Marmita Steam Master (20 gal)	1	57.32
Total =			321.86

Tabla 3.4 Demanda de vapor nominal en cocina.

TRAMO SM-P₅ (Demanda total)

$$\text{Demanda} = 321.86 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 146 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.04055 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0.04055 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 0.24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.00973 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.00973}{\pi \times 25}} = 0.02226 \text{ m} \approx 1 \frac{1}{4} \text{ plg}$$

CENTRAL DE EQUIPOS Y FABRICA DE SUEROS

EQUIPO	MARCA	PRESIÓN (psig)	DEMANDA DE VAPOR (lb/h)
Autoclave	Munchener Medizin	20	414.00
Autoclave	AMSCO	20	260.00
Autoclave	AMSCO	20	260.00
Destilador	Barnstead	40 -60	60.00
Autoclave	American Cyclomatic	20	260.00
Total=			1254

Tabla 3.5 Demanda de vapor nominal en central de equipos y fabrica de sueros.

TRAMO SM-PD (Demanda total)

$$\text{Demanda} = 1254 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 568.8 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.158 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0.158 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 0.24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.03792 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.03792}{\pi \times 25}} = 0.043945 \text{ m} \approx 2 \text{ plg}$$

TRAMO PD-P₆ (Autoclaves marca: Munchener Medizin y Amsco)

$$\text{Demanda} = 934 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 423.65 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.1176 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0.1176 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 0.24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.028224 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.028224}{\pi \times 25}} = 0.03791 \text{m} \approx 2 \text{ plg}$$

TRAMO PD-P₇ (destilador y autoclave, American Cyclomatic)

$$\text{Demanda} = 320 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 145.1 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.04030 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0.04030 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 0.24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.00967 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.00967}{\pi \times 25}} = 0.0222 \text{m} \approx 1 \frac{1}{4} \text{ plg}$$

De los cálculos anteriores se obtiene la siguiente tabla de diámetros de la tubería de vapor por tramos.

Tramo ²²	Diámetro (plg)	Longitud de tubería (ft)
SM-P ₁	3 ^{1/2}	20.00
P ₁ -P ₂	2	39.37
P ₁ -P ₃	2 ^{1/2}	32.80
P ₃ -P ₄	1 ^{1/4}	41.86
SM-P ₅	1 ^{1/4}	51.67
SM-PD	2	344.49
PD-P ₆	2	196.85
PD-P ₇	1 ^{1/4}	168.96

Tabla 3.6. Diámetros de tubería de vapor por áreas.

²² Ver tramos en plano de distribución. Anexo 3.4

3.1.3.2 CAÍDAS DE PRESIÓN EN LÍNEAS DE VAPOR

Para el cálculo de caídas de presión se ha considerado la longitud de tuberías y longitud equivalentes de accesorios tomando como referencia que para tuberías de vapor la caída de presión no debe exceder el 10%.²³

Haciendo uso de la tabla de longitud equivalente de accesorios (Anexo 1.4) y la longitud de tubería (tabla 3.6) se obtiene la longitud equivalente.

Una vez obtenida la longitud equivalente se hace uso de la gráfica de caídas de presión para tubería de vapor cedula 40 (Anexo 1.5) para obtener la caída de presión de cada tramo en el sistema.

Tramo ²⁴	Flujo lb/h	Longitud equivalente(ft)	Diámetro (plg)	Factor de caída de presión	Caída de presión (psi)
SM-P ₁	3944.49	46.57	3 ^{1/2}	0.60	0.279
P ₁ -P ₂	1050.83	91.86	2	0.70	0.643
P ₁ -P ₃	2893.62	113.84	2 ^{1/2}	2.1	2.390
P ₃ -P ₄	251.12	83.85	1 ^{1/4}	0.36	0.301
SM-P ₅	321.87	62.5	1 ^{1/4}	0.57	0.356
SM-PD	1253.98	412.73	2	1.00	4.127
PD-P ₆	934.00	255.91	2	0.7	1.791
PD-P ₇	320.00	317.91	1 ^{1/4}	0.53	1.684

Tabla 3.7 Caídas de presión en tuberías de vapor.

3.2 PROPUESTA DE SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

La selección y ubicación de las trampas de vapor es un factor importante en el sistema propuesto, debido a que aproximadamente el 10% de la energía del sistema es transportada por el condensado después de su utilización, además se obtienen otras oportunidades de ahorro que se enumeran a continuación:

- § Ahorro de combustible debido al calor sensible.
- § Ahorro en químicos al recuperar agua tratada
- § Ahorro en combustible debido a la reducción de purga necesario para mantener el nivel de sólidos disueltos en la caldera.

²³ Ahorro de energía en sistemas de vapor ICAITI

²⁴ Ver tramos en plano de distribución. Anexo 3.3

Criterios de ubicación y selección:

- § Como regla general se establece que las líneas de vapor deberán drenarse en intervalos regulares de 30 a 50 metros (98.42– 164 ft) con pozos de goteo dimensionados adecuadamente (anexo 1.6), además se deben drenar los puntos bajos del sistema.
- § Las trampas se eligen en función de la presión diferencial y en base a la carga de condensado.
- § Para la selección del tipo y factor de seguridad se utiliza tabla en función de la aplicación (Anexo 1.7).
- § La tubería de vapor se encuentra bajo techo y protegida de la intemperie.
- § Las caídas de presión en la red no sobrepasan los rangos de selección (anexo 1.9), por tanto, se considera el mismo diferencial de presión en todos los tramos.

PROPUESTA DE TRAMPEO

El trampeo comienza desde el manifold y se extiende a las tuberías de distribución que por efecto de pérdida de calor se generan en ellas cantidades de condensado, provocando vibraciones, golpe de ariete y como efecto daños en accesorios y tuberías.

TRAMPEO EN EL MANIFOLD

Las trampas de vapor que le dan servicio al cabezal deben ser capaces de descargar grandes cantidades de condensado y partículas en forma instantánea, la resistencia al impacto hidráulico es otro factor importante considerado.

La capacidad requerida para la trampa se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$C_R = FS \times Cc \times A_A \quad \text{Ec 3.3}$$

Donde:

C_R : Capacidad Requerida para la Trampa

FS : Factor de Seguridad

C_c : Carga Conectada

A_A : Acarreo Anticipado, típicamente 10%)

Factores de selección:

Carga conectada = 1956.2 Kg/h (125 BHP)

Factor de seguridad = 1.5 (recomendado por Armstrong)

Acarreo anticipado = 10 % (recomendado)

Capacidad Requerida para la Trampa = $1956.2 \times 1.5 \times 0.1 = 293.4$ Kg/h

Se selecciona la trampa de cubeta invertida por su capacidad de responder inmediatamente a la acumulación de condensado, la excelente resistencia a impacto hidráulico y capacidad de manejo con partículas sólidas.

Tipo: Cubeta invertida

Marca: SpiraxSarco

Modelo: B1H-125 orificio 1/8"

Presión: 100 psig

Conexión: ½ " NPT

TRAMPEO DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Se ha determinado que la sección de la red de distribución que no posee trapeo es el tramo que se extiende desde sala de máquinas hasta fabrica de sueros y central de equipos, las otras dos áreas (lavandería y cocina) poseen sus respectivas trampas y las longitudes de la red que conduce vapor desde el manifold hasta esos sectores no es mayor a la longitud que se establece como estándar para el trapeo (98.42– 164 ft).

De la tabla 3.7 se toma las dimensiones de los tramos de tubería, que se debe trapear.

Tramo ²⁵	Diámetro (in)	Longitud (ft) Propuesta
SM-PD	2"	344.50
PD-CE	2"	196.85
PD-FS	1 ¹ / ₄ "	168.96

Tabla 3.7. Longitudes a trampear

UBICACIÓN DE TRAMPAS EN TRAMO SM-PD

En este tramo se ha determinado colocar tres trampas de vapor.

Trampa 1 (Plano de Distribución Anexo 3.4)

Para la selección de la trampa se deben conocer los siguientes parámetros:

- § Presión diferencial.
- § Cantidad de condensado a drenar (C_d).

Cálculo de cantidad de condensado a drenar.

- Cálculo de factor de condensación (C):

$$C = \frac{A \times U \times (T_1 - T_2) \times E}{H} \quad \text{Ec. 3.4}$$

C = Condensado en kg/hr-m

A = Área exterior de la tubería en metros cuadrados.

U = kJ/h m² °C. Gráfica para pérdidas de calor (Anexo 1.8).

T₁ = Temperatura del vapor, en °C

T₂ = Temperatura ambiente, en °C

E = 1 - la eficiencia del aislamiento térmico.

H = Calor latente del vapor.

²⁵ Los tramos de tuberías están referidos al plano de ubicación. Ver anexo 3.3.

Luego:

$$A = 0.190 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$U = 60 \text{ KJ/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 1 - 0.9 = 0.1$$

$$C = \frac{0.190 \times 60 \times (170 - 21) \times 0.1}{2049.62} = 0.0828 \frac{\text{Kg condensado}}{\text{h. m}}$$

Condensado a drenar (C_d):

$$C_d = C \times L \times F_s \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

$$C = 0.0828 \frac{\text{Kg condensado}}{\text{h. m}}$$

L: Longitud de tubería a drenar = 27 m

Fs: Factor de seguridad = 3

Sustituyendo en Ec. 3.5:

$$C_d = 0.0828 \times 27 \times 3 = 6.71 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión: 100 psig

C_d : 6.71 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (Anexo 1.9)

Se selecciona la trampa modelo B1H-125, marca SpiraxSarco, por que se adecua a las condiciones de presión diferencial y manejo de condensado.

Trampa 2 y 3 (Plano de Distribución anexo 3.4)

Datos:

Factor de seguridad: 3

Diferencial de presión =100 psig

Longitud = 39 m

A= 0.190 m²/m

U= 60 KJ/h m² °C

T₁ = 170 °C

T₂ = 21 °C

E = 1 – 0.9 = 0.1

Cálculo de factor de condensación:

$$C = \frac{0.190 \times 60 \times (170 - 21) \times 0.1}{2049.62} = 0.0828 \frac{\text{Kg condensado}}{h * m}$$

Condensado a drenar (Ecuación 3.5).

$$C_d = 0.0828 \times 39 \times 3 = 9.7 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión: 100 psig

C_d: 9.7 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (Anexo 1.9)

Se selecciona la trampa modelo B1H-125, marca SpiraxSarco

TRAMO PD-CE

Trampa 4 (Plano de Distribución Anexo 3.4)

Datos:

Factor de seguridad: 3

Diferencial de presión =100 psig

Longitud = 30 m

A= 0.190 m²/m

$$U = 60 \text{ KJ/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 1 - 0.9 = 0.1$$

Cálculo de factor de condensación:

$$C = \frac{0.190 \times 60 \times (170 - 21) \times 0.1}{2049.62} = 0.0828 \frac{\text{Kg condensado}}{\text{h m}}$$

Condensado a drenar (Ecuación 3.5)

$$C_d = 0.0828 \times 30 \times 3 = 7.45 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión= 100 psig

C_d : 7.45 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (Anexo 1.9)

Se selecciona la trampa modelo B1H-125, marca SpiraxSarco

Trampa 5 (Plano de Distribución anexo 3.4)

Longitud = 20 m

Condensado a drenar (Ecuación 3.5).

$$C_d = 0.0828 \times 20 \times 3 = 5 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión= 100 psig

C_d : 5 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (Anexo 1.9)

Se selecciona la trampa modelo B1H-125, marca SpiraxSarco

TRAMO PD-FS

Trampa 6 (Plano de Distribución anexo 3.4)

Datos:

Factor de seguridad= 3

Diferencial de presión =100 psig

Longitud = 30 m

A= 0.133 m²/m

U= 65 KJ/h m² °C

T₁ = 170 °C

T₂ = 21 °C

E = 1 – 0.875 = 0.125

Cálculo de factor de condensación:

$$C = \frac{0.133 \times 65 \times (170 - 21) \times 0.125}{2049.62} = 0.0785 \frac{\text{Kg condensado}}{\text{h m}}$$

Condensado a drenar (Ecuación 3.5)

$$C_d = 0.0785 \times 30 \times 3 = 7.1 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión= 100 psig

C_d: 7.1 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (anexo 1.7)

Se selecciona la trampa modelo B1H-125, marca SpiraxSarco

Trampa 7 (Plano de Distribución anexo 3.4)

Longitud = 22 m

Condensado a drenar. (Ecuación 3.5)

$$C_d = 0.0785 \times 22 \times 3 = 5.2 \text{ Kg/h}$$

Datos de selección:

Diferencial de presión= 100 psig

C_d : 5.2 Kg/h

Tipo: cubeta invertida (anexo 1.9)

Se selecciona la trampa B1H-125, marca SpiraxSarco

De los cálculos anteriores se presenta la siguiente tabla resumen de las trampas de vapor seleccionadas.

Tramo	Trampa	Longitud ²⁶ (m)	Flujo a drenar Kg/h	Trampa seleccionada
manifold	0	0	293.40	B1H-125, marca SpiraxSarco
SM-PD	1	27	6.71	B1H-125, marca SpiraxSarco
	2	39	9.70	B1H-125, marca SpiraxSarco
	3	39	9.70	B1H-125, marca SpiraxSarco
PD-CE	4	30	7.45	B1H-125, marca SpiraxSarco
	5	20	5.00	B1H-125, marca SpiraxSarco
PD-FS	6	30	7.10	B1H-125, marca SpiraxSarco
	7	22	5.20	B1H-125, marca SpiraxSarco

Tabla 3.8. Resumen de trampas de vapor.

3.2.2 PROPUESTA DE DIMENSIONAMIENTO TUBERÍA RETORNO DE CONDENSADO

La selección del diámetro de tubería de condensado, presenta diferentes problemas a los que se encuentran en la selección de tuberías de vapor, el más importante de estos es el manejo de vapor instantáneo, en una línea de condensado tiene que pasar tanto condensado como vapor instantáneo.

Las áreas del sistema de las cuales se puede recuperar condensado son:

- § Lavandería (secadoras y planchadores)
- § Cocina
- § Estaciones de trampeo de vapor.

La tabla 3.9 se utiliza para la selección de diámetro de tubería bajo distintos diferenciales de presión, esta presenta los diámetros de tubería a utilizar en función del flujo y presión del sistema, además proporciona datos de caída de presión de acuerdo al flujo a manejar. Es importante que en las líneas de condensado el flujo tenga una velocidad razonable. Una velocidad de 82.02 ft/s (25 m/s) se considera el promedio de velocidades aceptables y asegura caídas de presión razonables.

Debe recordarse que existen menos problemas con tubería sobredimensionada que con tubería de menor diámetro y alta velocidad. Las altas caídas de presión pueden ocasionar contrapresión que afectaría la capacidad y la operación de las trampas de vapor, para líneas de retorno de condensado la caída de presión permitida no debe exceder el 10%.

²⁶ *Distancia entre trampas.*

Pres. Sum Ret.	5			15			30			60			100			250					
	0	5	10	0	5	10	0	5	10	20	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30	50
1 2	1425 4.0	590 5.3	1335 6.5	360 4.0	1055 6.5	1010 8.9	235 4.0	370 5.3	535 6.5	1010 8.9	180 4.0	270 5.3	370 6.5	615 8.9	955 11.3	115 4.0	165 5.3	215 6.5	325 8.9	450 11.3	760 15.9
3 4	2495 2.35	1035 3.14	2340 3.88	635 2.35	1855 3.14	1770 5.32	415 2.35	650 3.14	940 3.88	1770 5.32	310 2.35	470 3.14	645 3.88	1085 5.32	1675 6.72	200 2.35	285 3.14	375 3.88	570 5.32	795 6.72	1330 9.49
1	4045 1.53	1680 2.04	3790 2.51	1030 1.53	3005 2.04	2865 3.44	670 1.53	1055 2.04	1520 2.51	2865 3.44	505 1.53	765 2.04	1045 2.51	1755 3.44	2715 4.36	325 1.53	465 2.04	605 2.51	925 3.44	1285 4.36	2155 6.15
1 1/4	7000 95	2905 126	6565 155	1780 95	5200 155	4960 213	1155 95	1830 126	2635 155	4960 213	875 95	1320 126	1810 155	3035 213	4695 269	560 95	800 126	1050 155	1600 213	2225 269	3735 3.60
1 1/2	9570 73	3955 97	8935 120	2425 73	7080 120	6750 164	1575 73	2490 97	3585 120	6750 164	1190 73	1795 97	2465 120	4135 164	6395 207	760 73	1090 97	1430 120	2175 164	3025 207	5080 2.93
2	15710 48	6525 84	14725 108	3995 48	11670 84	11125 108	2595 48	4105 84	5910 108	11125 108	1965 48	2960 84	4060 108	6810 137	10540 137	1255 48	1800 84	2355 108	3585 137	4990 137	8375 9.3
2 1/2	22415 36	9305 48	21005 64	5700 36	16650 48	15875 64	3705 36	5855 48	8430 64	15875 64	2800 36	4225 48	5795 64	9720 81	15035 81	1790 36	2565 48	3360 64	5115 81	7120 103	11950 14.5
3	34610 26	14370 34	32435 42	8800 26	25710 42	24515 58	5720 26	9045 34	13020 42	24515 58	4325 26	6525 34	8950 42	15005 58	23220 73	2765 26	3965 34	5185 42	7900 58	10990 73	18450 24.3
3 1/2	46285 21	19220 27	43380 34	11765 21	34085 34	32785 46	7650 21	12095 27	17410 34	32785 46	5785 21	8725 27	11870 34	20070 46	31050 59	3685 21	5300 27	6940 34	10565 46	14700 59	24675 8.3
4	59595 17	24745 23	55855 31	15150 17	44275 31	42210 38	9850 17	15575 23	22415 31	42210 38	7450 17	11235 23	15410 31	25840 38	39980 49	4760 17	6825 23	8935 31	13600 38	18825 49	31770 25
5	93655 12	38890 16	87780 21	23810 12	69580 21	66335 28	15480 12	24475 16	35230 21	66335 28	11705 12	17660 16	24220 21	40610 28	62830 35	7475 12	11075 16	14040 21	21375 28	29745 35	49930 11
6	135245 10	56160 13	126760 18	34385 10	100480 18	95795 24	22350 10	35345 13	50875 18	95795 24	16905 10	25500 13	34975 18	58645 24	90735 31	10800 10	15490 13	20270 18	30865 24	42950 31	72105 10.1
6	234195 22	97245 31	219505 42	59540 22	173995 42	165880 58	38705 22	61205 31	86095 42	165880 58	29270 22	44160 31	60655 42	101550 58	157115 81	18700 22	26820 31	35105 42	53450 58	74375 81	124855 10.1

Diámetro de tubería en pulgadas

Tabla 3.9 Capacidad de líneas de retorno de condensado a 82.02 ft/s (25 m/s)

En la tabla 3.10 se presenta los diámetros seleccionados de tubería y la caída de presión, que se obtuvieron a partir de la demanda nominal de vapor a manejar por áreas y haciendo uso de la tabla 3.9.

Tramo	Flujo nominal de condensado a recuperar (lb/h)	Longitud equivalente (ft)	Diámetro (pulg.)	Factor de Caída de Presión(100ft)	Caída de presión ΔP (psi)
SM-P ₃	2893.66	160.41	3	0.26	0.42
P ₃ -P ₄	251.12	83.85	1	0.76	0.64
SM-P ₅	321.87	62.50	1	0.98	0.61
SM-PD	85.01	412.73	½	1.88	7.76
PD-P ₆	27.45	255.91	½	0.61	1.56
PD-P ₇	27.12	317.91	½	0.60	1.90

Tabla 3.10. Diámetros de líneas de retorno de condensado de equipo y estaciones de trampeo.

3.3 PROPUESTA DE AISLAMIENTO TÉRMICO PARA LÍNEAS DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO

Las tuberías serán aisladas térmicamente para disminuir las pérdidas de calor. El aislamiento propuesto es fibra de vidrio, el espesor esta en función del diámetro nominal de la tubería y de la temperatura del vapor.

Para la protección del aislamiento de las tuberías se utilizara forro de material PVC.

Toda la tubería debe tener su respectiva señalización de acuerdo al fluido que transporta y dirección del mismo.

Las pérdidas de calor en las tuberías aisladas son calculadas tomando las siguientes consideraciones:

- Presión de vapor= 100 psig.
- Temperatura vapor (T)= 338 °F.
- Temperatura ambiente (Ta)= 69.8 °F.

Para el caso de líneas de vapor y condensado se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T - T_a}{\frac{(r_s) \times \ln\left(\frac{r_s}{r_i}\right)}{k} + \frac{1}{f}} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Con la ecuación 3.6 se obtiene el calor perdido por pie lineal de tubería, por tanto, se debe multiplicar por la longitud del tramo para obtener el calor total.

Donde:

- Conductividad térmica de material aislante (k): $0.31 \frac{BTU \text{ in}}{^{\circ}F \text{ ft}^2 \text{ h}}$, este valor es función de la temperatura media. Anexo 1.10.

- Coeficiente de película convectiva (f): $1.65 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ }^{\circ}F}$, en el Anexo 1.11, se presenta una lista de valores de f con exactitud para condiciones de poca turbulencia.

- Radio hasta la superficie del aislante (r_s): $\frac{de}{2} + e$

- Radio externo de tubería (r_i): $\frac{de}{2}$

- de : Diámetro externo de la tubería

- e : Espesor del aislante, que se obtiene del Anexo 1.12.

Haciendo uso del método antes descrito se procede al cálculo del aislamiento térmico para líneas de vapor y condensado, minimizándose así las pérdidas de calor:

3.3.1 LÍNEAS DE VAPOR

Tramo SM-P₁

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(3.5) \times \ln\left(\frac{3.5}{2.0}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 70.98 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo P₁-P₂

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(2.688) \times \ln\left(\frac{2.688}{1.188}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 62.48 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo P₁-P₃

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(2.438) \times \ln\left(\frac{2.438}{1.438}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 55.91 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo P₃-P₄

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.830) \times \ln\left(\frac{1.830}{0.830}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 48.73 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo SM-P₅

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.830) \times \ln\left(\frac{1.830}{0.830}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 48.73 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo SM-PD

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(2.688) \times \ln\left(\frac{2.688}{1.188}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 62.48 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo PD-P₆

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(2.688) \times \ln\left(\frac{2.688}{1.188}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 62.48 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo PD-P₇

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.830) \times \ln\left(\frac{1.830}{0.830}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 48.73 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo ²⁷	Tubería		Espesor de aislante (in)	Pérdida de calor por pie lineal (BTU/h*ft ²)	Área / ft	Longitud de tubería (ft)	Pérdida de calor (BTU/h)
	Diámetro nominal (in)	Diámetro exterior (in)					
SM-P ₁	3.5	4	1 1/2	70.98	1.83	20	2597.868
P ₁ -P ₂	2	2.375	1	62.48	1.41	39.37	3468.371
P ₁ -P ₃	2 1/2	2.875	1 1/2	55.91	1.27	32.8	2328.987
P ₃ -P ₄	1 1/4	1.66	1	48.73	0.96	41.86	1958.2443
SM-P ₅	1 1/4	1.66	1	48.73	0.96	51.67	2417.1639
SM-PD	2	2.375	1	62.48	1.41	344.49	30348.467
PD-P ₆	2	2.375	1	62.48	1.41	196.85	17341.855
PD-P ₇	1 1/4	1.66	1	48.73	0.96	168.96	7904.084
TOTAL							68365.04

Tabla 3.11. Resumen de pérdidas de calor en tuberías aisladas.

²⁷ Ver anexo 3.3

3.3.2 LÍNEAS DE CONDENSADO

Tramo SM-P3

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(3.25) \times \ln\left(\frac{3.25}{1.75}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 64.32 \frac{BTU}{h * ft^2}$$

Tramo P₃-P₄

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.658) \times \ln\left(\frac{1.658}{0.658}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 41.94 \frac{BTU}{h * ft^2}$$

Tramo SM-P₅

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.42) \times \ln\left(\frac{1.42}{0.42}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 32.24 \frac{BTU}{h * ft^2}$$

Tramo SM-PD

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.42) \times \ln\left(\frac{1.42}{0.42}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 32.24 \frac{BTU}{h * ft^2}$$

Tramo PD-CE

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.42) \times \ln\left(\frac{1.42}{0.42}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 32.24 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo PD-FS

$$Q = \frac{338 - 69.8}{\frac{(1.42) \times \ln\left(\frac{1.42}{0.42}\right)}{0.31} + \frac{1}{1.65}} = 32.24 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2}$$

Tramo	Tubería		Espesor de aislante (in)	Pérdida de calor por pie lineal (BTU/h*ft ²)	Área / ft	Longitud de tubería (ft)	Pérdida de calor (BTU/h)
	Diámetro nominal (in)	Diámetro exterior (in)					
SM-P ₃	3	3.5	1 1/2	64.32	1.70	52	5685.888
P ₃ -P ₄	1	1.315	1	41.94	0.87	41.86	1527.37931
SM-P ₅	½	0.84	1	32.24	0.74	51.67	1232.72219
SM-PD	½	0.84	1	32.24	0.74	344.5	8218.9432
PD-P ₆	½	0.84	1	32.24	0.74	196.85	4696.36856
PD-P ₇	½	0.84	1	32.24	0.74	169	4031.9344
						TOTAL	25393.2357

Tabla 3.12 Aislante térmico para líneas de retorno de condensado.

3.4 SOPORTES

La frecuencia de soportes de tubería varía de acuerdo con el diámetro, material y la posición, generalmente los soportes de tubería deben cumplir la Norma BS 3974 Parte I 1974: " Soportes Colgados Deslizantes y de Patín²⁸ ".

Criterio de ubicación:

- § Deben ir montados en las uniones de tuberías a intervalos no mayores mostrados en la tabla 3.13.
- § Cuando hay dos o más accesorios montados por una tubería común, la distancia de los puntos de soporte debe ser la adecuada para la tubería de menor diámetro.

Diámetro nominal (mm) Acero/Cobre		Intervalo de recorrido horizontal (m)		Intervalo de recorrido vertical (m)	
∅ interior	∅ exterior	Acero suave	Cobre	Acero suave	Cobre
12	15		1,0		1,2
15	18	2,0	1,2	2,4	1,4
20	22	2,4	1,4	3,0	1,7
25	28	2,7	1,7	3,0	2,0
32	35	2,7	1,7	3,0	2,4
40	42	3,0	2,0	3,6	2,4
50	54	3,4	2,0	4,1	2,4
65	67	3,7	2,0	4,4	2,9
80	76	3,7	2,4	4,4	3,2
100	108	4,1	2,7	4,9	3,6
125	133	4,4	3,0	5,3	4,1
150	159	4,8	3,4	5,7	
200	194	5,1		6,0	
250	267	5,8		5,9	

Tabla 3.13 Soportes recomendados para tubería.

²⁸ Manual distribución de vapor, Spirax Sarco

Para las juntas de expansión se toma el criterio de que es necesario instalar una junta cuando la dilatación térmica del material excede 1.5 plg, la dilatación térmica se calcula utilizando la tabla de coeficiente de expansión térmica.

Parámetros del sistema:

- Presión de vapor=100 psig
- Temperatura vapor (T)= 338 °F Expansión térmica por cada 100 ft = 2.683
- Temperatura ambiente (Ta)=81°F Expansión térmica por cada 100 ft = 0.514

Diferencia 2.169 plg

Factor de seguridad 10% Expansión térmica de tubería por cada 100 ft 2.386

Tramo de tubería	Tubería		Longitud de tubería (ft)	Dilatación térmica	Espaciamiento (ft)	Soportes	Juntas de expansión
	Diámetro nominal (in)	Diámetro exterior (in)					
SM-P ₁	3	3.5	20.00	0.4628	12	3	0
P ₁ -P ₂	2	2.375	39.37	0.9110218	11.15	4	0
P ₁ -P ₃	2 1/2	2.875	32.80	0.758992	12.14	3	0
P ₃ -P ₄	1/2	0.84	41.86	0.96864	6.56	7	0
SM-P ₅	1 1/4	1.660	51.67	1.195	8.85	7	1
SM-PD	2	2.375	344.49	7.97	11.15	32	6
PD-P ₆	2	2.375	196.85	4.55	11.15	18	3
PD-P ₇	1 1/4	1.660	168.96	3.909	8.85	19	3

Tabla 3.14 Soportes recomendados y expansión térmica por tramos de tubería.

3.5 PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE NUEVOS EQUIPOS EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA

Con el propósito de disminuir el tiempo de operación en el área de lavandería se propone la adquisición de nuevos equipos, reduciendo en cuatro horas diarias la operación del sistema de vapor. Los equipos propuestos son:

- § Una lavadora de 300 lb.
- § Dos secadoras de 200 lb. c/u.

En los cálculos siguientes se toma el equipo actual y propuesto, para estimar el nuevo tiempo de operación del área.

Lavado de ropa:

Las capacidades y demanda de vapor de las máquinas lavadoras son las siguientes:

No	Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (lb/ciclo)	Demanda de vapor (lb/h)
1	Lavadora dyna-wash (150 lb)	1	400	367.4
2	Lavadora dyna-wash (300 lb)	1	300	275.50
3	Lavadora dyna-wash (300 lb). Nueva	1	300	275.50
4	Lavadora dyna-wash (400 lb)	1	150	132.47
Capacidad Total=			1150 lb/ciclo	1050.87

Tabla 3.15. Capacidades y demanda de vapor nominal de lavadoras.

Cálculo de tiempo para lavado de ropa, tomando en cuenta el nuevo equipo ha adquirir:

Se considera que la duración del ciclo de lavado es de 2 horas.

Total de ropa a lavar:

En base a los registros llevados en esta área, se tiene un promedio de ropa a lavar de 4900 lb/día.

Capacidad del Hospital: 494 camas.

Capacidad de lavado por hora: 575 lb/h

Factor de consumo (F_{cons}):

$$F_{cons} = \frac{\text{cantidad de ropa a lavar por día}}{\text{número de camas}}$$

$$F_{cons} = \frac{4900 \text{ lb por día}}{\text{cama} \times \text{día}}$$

Total de tiempo de lavado (t):

Utilizando la ecuación 2.1, se calcula el tiempo de lavado:

$$t = \frac{C_{lavar}}{C_{lavado} \times n}$$

Donde:

C_{lavar} = Cantidad de ropa a lavar

C_{lavado} = Capacidad de lavado

n = Rendimiento de operación

Sustituyendo en Ec. 2.1:

$$t = \frac{4900}{575 \times 0.75} = 11.42 \text{ horas}$$

Para este caso se asumió un rendimiento de operación del 75%.

Cálculo de tiempo para secado de ropa:

Las capacidades y demanda de vapor de las secadoras son las siguientes:

No	Equipo	Cantidad	Capacidad de equipo (lb/ciclo) c/u	Demanda de vapor (lb/h)
1	Secadora Cissell	2	75	862.5
2	Secadora American Dryer (Nuevas)	2	200	1780.0
Total=			550	2642.5

Tabla 3.16. Equipo de secado.

Se considera que cada ciclo tiene una duración de 45 minutos.

De acuerdo a la información obtenida del personal de lavandería toda la ropa lavada es secada, siendo un total de 4900 lb.

Tiempo de secado:

Para encontrar el tiempo de secado, en horas, se estima la cantidad de ropa que se puede secar en una hora, que equivale a 700 lb/h.

Para este caso se puede utilizar la Ec.2.1 y tomando una eficiencia de secado del 80% se tiene:

$$t = \frac{C_{\text{secar}}}{C_{\text{secado}} \times n}$$

Donde:

C_{secar} : Cantidad de ropa a secar

C_{secado} : Capacidad de secado

n : Rendimiento de operación

$$t = \frac{4900}{700 \times 0.80} = 8.75 \text{ horas} \approx 9.0 \text{ horas}$$

Tiempo de planchado:

De toda la ropa que llega al departamento de lavandería solo una pequeña cantidad es planchada, 35 libras (ropa de quirófano) el resto solo es secado. Para esta etapa solo se utiliza el planchador de forma, quedando sin uso los planchadores de rodillos o mangles.

Dado que este es un proceso manual se toma una eficiencia del 80%, que ha sido corroborado con el personal.

$$t = \frac{35}{22 \times 0.8} = 1.99 \text{ horas} \approx 2 \text{ horas}$$

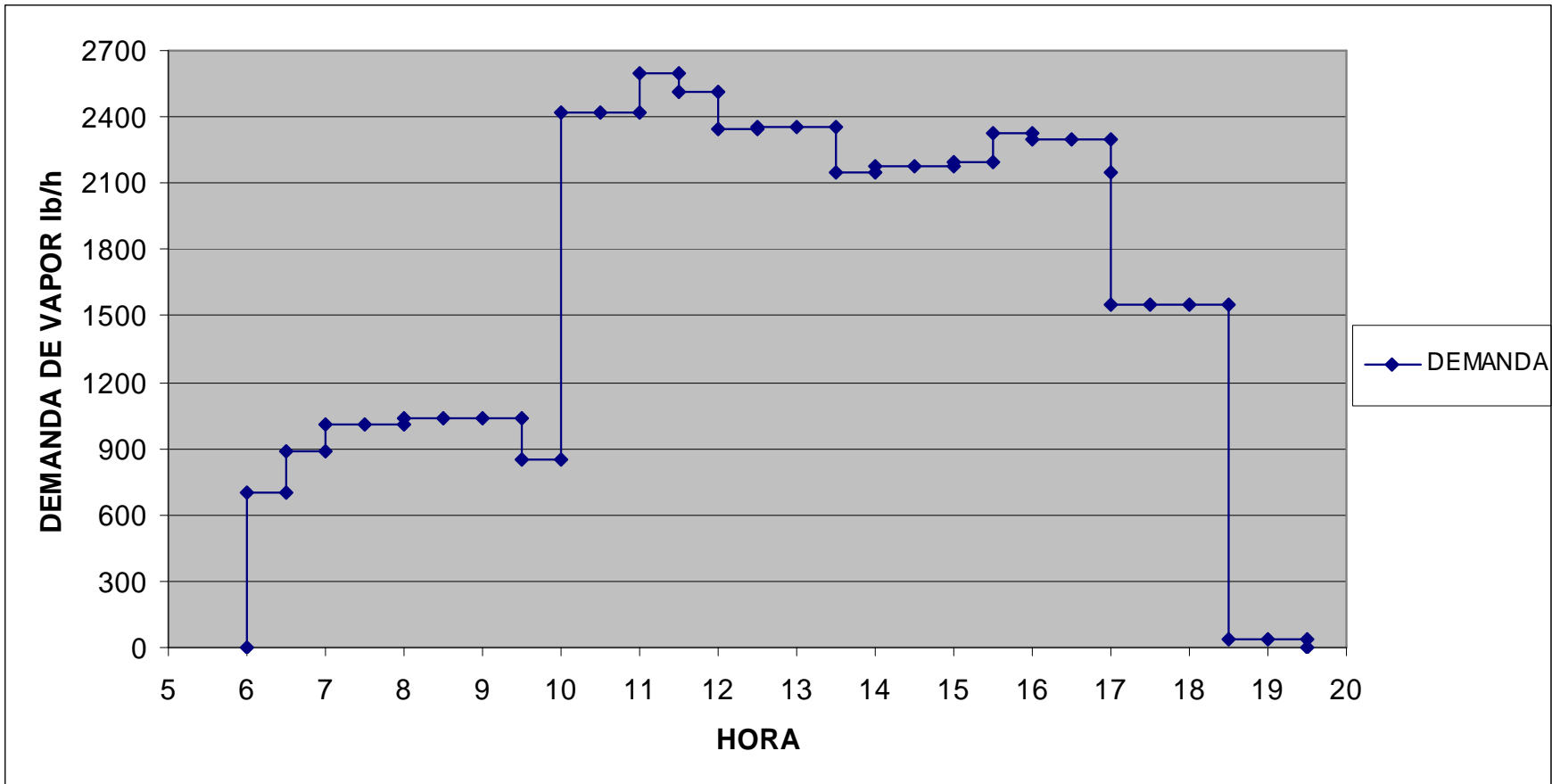
3.5.1 DEMANDA TEÓRICA DE VAPOR DEL SISTEMA

Como se mencionó en la sección anterior en el área de lavandería se ha colocado una nueva lavadora y dos secadoras, quedando fuera de operación la secadora eléctrica y los mangles, que se utilizaban para el secado de la ropa (sección 2.3.3.3). Con este nuevo equipo adquirido se reducen los tiempos de trabajo en el área de lavandería. También, se modifica la demanda de vapor por hora que se tiene en el sistema.

HORA	COCINA	FABRICA DE SUEROS	LAVANDERIA	CENTRAL DE EQUIPOS	DEMANDA TOTAL
5:30-6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00-6:30	58.20	41.40	599.00	0.00	698.59
6:30-7:00	77.11	41.40	599.00	166.40	883.91
7:00-7:30	18.92	220.80	599.00	166.40	1005.11
7:30-8:00	18.92	220.80	599.00	166.40	1005.11
8:00-8:30	48.02	220.80	599.00	166.40	1034.21
8:30-9:00	48.02	220.80	599.00	166.40	1034.21
9:00-9:30	48.02	220.80	599.00	166.40	1034.21
9:30-10:00	48.02	41.40	599.00	166.40	854.81
10:00-10:30	106.21	41.40	2105.22	166.40	2419.23
10:30-11:00	106.21	41.40	2105.22	166.40	2419.23
11:00-11:30	106.21	220.80	2105.22	166.40	2598.63
11:30-12 m	18.92	220.80	2105.22	166.40	2511.34
12:00-12:30	18.92	220.80	2105.22	0.00	2344.94
12:30-1:00	29.10	220.80	2105.22	0.00	2355.12
1:00-1:30	29.10	220.80	2105.22	0.00	2355.12
1:30-2:00	0.00	41.40	2105.22	0.00	2146.62
2:00-2:30	29.10	41.40	2105.22	0.00	2175.72
2:30-3:00	29.10	41.40	2105.22	0.00	2175.72
3:00-3:30	29.10	41.40	2124.89	0.00	2195.39
3:30-4:00	29.10	41.40	2124.89	132.48	2327.87
4:00-4:30	0	41.40	2124.89	132.48	2298.77
4:30-5:00	0	41.40	2124.89	132.48	2298.77
5:00-5:30	0	41.40	2105.22	0.00	2146.62
5:30-6:00	0	41.40	1506.23	0.00	1547.63
6:00-6:30	0	41.40	1506.23	0.00	1547.63
6:30-7:00	0	41.40	1506.23	0.00	1547.63
7:00-7:30	0	41.40	0.00	0.00	41.40
7:30-8:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.17 Demanda de vapor teórica del sistema.

La hora crítica, que se tiene la mayor demanda de vapor, es de 11:00-11:30 a.m. con un flujo de 2598.63 lb/h, equivalentes a 75 BHP.



Gráfica 3.1 Demanda de vapor teórica del sistema vrs. tiempo de uso.

3.6 PROPUESTA DE SELECCIÓN DE MATERIAL Y MONTAJE DE TUBERÍA PARA DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO

Material de tubería

Se recomienda instalar tubería de acero al carbono cedula 40 en la distribución de vapor y retorno de condensado, para evitar la corrosión, en el interior de ésta, reduciendo: la posibilidad de contaminación del vapor y la creación de fugas. Aumentando así la vida útil del sistema.

Montaje de tubería.

El montaje de la tubería de distribución de vapor debe ser con una declinación, en la dirección del flujo, de 40 mm por cada 10 metros, facilitándose el drenaje del condensado formado en el interior de la tubería, obteniéndose así un vapor mas seco.

Las conexiones de derivaciones y acometidas de vapor se deben tomar por la parte superior de las tuberías principales y secundarias.

La conexión de estaciones de trapeo de vapor, será por la parte baja de la tubería de vapor a 90° e incorporada a la tubería de condensados por la parte superior de esta.

Las uniones de los tubos serán soldados al igual que algunos accesorios como codos y Tee, para el caso de válvulas, trampas de vapor y filtros serán instalados mediante uniones universales, facilitando de esta manera un reemplazo.

TRAMOS DE TUBERÍA A CAMBIAR.

Se propone cambiar todos aquellos tramos que son de hierro galvanizado y que no están dimensionados adecuadamente según el flujo que manejan.

En la siguiente tabla se presentan los tramos de tubería a cambiar, en los cuales el material recomendado es acero al Carbono Cedula 40 ASTM-A53

Tramo ²⁹	Diámetro (plg)	Longitud de tubería (ft)
SM-P ₁	3 ^{1/2}	20.00
P ₁ -P ₂	2	39.37
P ₁ -P ₃	2 ^{1/2}	32.80
P ₃ -P ₄	1 ^{1/4}	41.86
SM-P ₅	1 ^{1/4}	51.67
SM-PD	2	344.49
PD-P ₆	2	196.85
PD-P ₇	1 ^{1/4}	168.96

Tabla 3.18. Tramos de tuberías de vapor a cambiar.

3.7 COMPARACIÓN ENERGETICA DE LOS DOS SISTEMAS (ACTUAL Y PROPUESTO)

Basados en las oportunidades de ahorro energético identificadas en el capítulo II, se procedió a buscar las alternativas ingenieriles que permiten tener un mejor aprovechamiento energético, lo que conlleva a reducir o eliminar el impacto económico de las pérdidas en el sistema de vapor del Hospital Nacional Rosales.

A continuación se presenta las tablas resumen de las OAE identificadas y su incidencia o efecto al ser implementadas por parte de la institución:

Parámetro	Situación actual	Situación proyectada
Pérdidas por fugas	\$ 8762.20/año	\$ 0.00/año
Pérdidas por radiación	\$ 19731.90/año	\$ 3471.84/año
Pérdidas por tramos de tubería sin uso	\$ 1087.12/año	\$ 0.00/año
Tramos de tubería sin uso	41.07 ft	0.00 ft
Ahorro total de tubería por redistribución	0.00 ft	175.52 ft
Aprovechamiento de energía	59.47%	96.8%

Tabla 3.19. Comparación cuantitativa de situación actual y propuesta de mejora.

Aprovechamiento de condensado de vapor de proceso recuperable ³⁰	Parcial	Completo
Sistema de trampeo	Incompleto	Completo
Soportería	Deficiente	Adecuado
Juntas de expansión	Ninguna	Adecuado

Tabla 3.20. Comparación cualitativa de situación actual y propuesta de mejora.

De los cuadros anteriores se identifican las siguientes ventajas:

- § Eliminación de pérdidas por fuga de vapor.
- § Reducción de pérdidas de calor por falta de aislamiento térmico.
- § Reajuste de longitudes de tubería, evitándose cambios de dirección innecesarios.
- § Velocidad de vapor dentro del rango recomendable.

²⁹ Ver tramos en plano de distribución. Anexo 3.3

³⁰ En base al condensado que es posible recuperar.

3.8 CONCLUSIONES DE PROPUESTA TÉCNICA

Con las OAE identificadas se prevé de acuerdo a los cálculos realizados importantes beneficios que se detallan a continuación:

Eliminación de tramos y redistribución de tuberías

Con las recomendaciones realizadas en este apartado se disminuye una longitud en la red de distribución de 216 ft, lo que representa un ahorro de 89,569.7 BTU/h. equivalente a \$4,717.16/año.

Con el diseño del sistema de retorno de condensado se estima un aumento en la recuperación de este a un 41.17%, pues se tiene pérdida de vapor en procesos en los cuales es imposible recuperarlo. Además del beneficio de ahorro en tratamiento químico del agua, la mayor recuperación de condensado contribuye a una menor adición de energía térmica debido a que un valor cercano al 10% de la energía del vapor queda en forma residual en el condensado después de haber realizado su ciclo de trabajo.

Aislamiento térmico

Esta oportunidad de ahorro es la que presenta la mayor reducción de pérdidas de energía térmica, con la situación propuesta se estima incrementar el aprovechamiento de energía térmica a un 96.8% teniéndose un incremento de energía a un 37.33%, este incremento tan sustancial se debe a que gran parte de la red carece totalmente de aislamiento térmico o se encuentra en condiciones de operación inadecuada 82.25%. El ahorro en energía térmica es de 308,668.1 BTU/h equivalente a \$19,739.35/año.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA ECONÓMICA

4.0 PROPUESTA ECONÓMICA

En esta etapa del proyecto se ha contemplado el análisis de la inversión necesaria para la implementación de la propuesta de mejora al sistema actual de vapor del Hospital Nacional Rosales. En los capítulos anteriores se ha hecho énfasis en la importancia de contar con un sistema de vapor que aproveche el máximo de energía térmica que transporta el vapor, para los distintos procesos en que se emplea.

Para la puesta en marcha de las mejoras se requiere hacer una inversión económica por la Institución, para obtener los beneficios de ahorro energéticos ya cuantificados.

El factor económico es importante en todo proyecto sea este de carácter público o privado, en forma general este determina la realización o no de un proyecto o que alternativa se debe tomar, teniéndose en algunos casos que lo que se ejecuta no es lo más recomendable de acuerdo al estudio técnico, pero si lo más económicamente viable.

Como todo proyecto los inversionistas desean recuperar su inversión y obtener beneficios en el menor tiempo posible, esto se puede establecer mediante un estudio de inversión en donde se estima las proyecciones de costos y beneficios.

La estructuración general del presente análisis económico la constituyen dos rubros en particular, el primero el costo de mano de obra, materiales, elementos, equipos a utilizar y el segundo los beneficios económicos derivados del ahorro energético al implementarse la propuesta. Como valor agregado se obtienen otros beneficios de carácter técnico, como el hecho de contar con instalaciones seguras, reduciendo la posibilidad de realizar acciones inseguras que pueden provocar un accidente.

El proyecto de propuesta de mejora del sistema de vapor, se catalogó dentro de los proyectos de inversión social, por ser el Hospital Rosales una institución Nacional de carácter público.

4.1 COSTOS DEL PROYECTO

Los costos del proyecto se dividen en dos rubros, costos de adquisición de equipos, accesorios y mano de obra.

4.1.1 COSTO DE EQUIPOS Y ACCESORIOS.

Para determinar este monto se hace la contabilización de equipos y accesorios, necesarios en la puesta en marcha de las mejoras al sistema. A continuación se presenta el detalle de la lista de elementos y sus precios en el mercado nacional.

Elemento	Dimensión	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
Codo 90	$\frac{3}{4}$	52 unidades	1.8	93.6
	$\frac{1}{2}$	47 unidades	1.65	77.55
	2	15 unidades	5.9	88.5
	1 $\frac{1}{4}$	26 unidades	2.2	57.2
	1	13 unidades	1.9	24.7
Tee	$\frac{1}{2}$	31 unidades	5.25	162.75
	$\frac{3}{4}$	17 unidades	4.25	72.25
	2	8 unidades	10.4	83.2
	1	4 unidades	3.23	12.92
	3	2 unidades	12.04	24.08
	1 $\frac{1}{4}$	9 unidades	4.43	39.87
Válvula compuerta	$\frac{1}{2}$	29 unidades	27.82	806.78
	$\frac{3}{4}$	10 unidades	35.27	352.7
	1	3 unidades	41.68	125.04
	1 $\frac{1}{4}$	6 unidades	59.81	358.86
	2	1 unidades	104.15	104.15
Válvula bola	$\frac{1}{2}$	4 unidades	35.25	141
	$\frac{3}{4}$	3 unidades	40.3	120.9
	1 $\frac{1}{4}$	2 unidades	64.67	129.34
Válvula globo	$\frac{3}{4}$	4 unidades	45.87	183.48
	1	1 unidades	92	92
Válvula seguridad	$\frac{3}{4}$	2 unidades	300	600
	1	1 unidades	350	350
	1 $\frac{1}{4}$	2 unidades	365	730
Válvula reguladora presión	$\frac{3}{4}$	2 unidades	348.6	697.2
	1	1 unidades	348.6	348.6
	1 $\frac{1}{4}$	2 unidades	373.23	746.46

Elemento	Dimensión	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
Manómetros 0 – 100 psi	Conexión ¼	11 unidades	6.3	69.3
Filtro tipo Y	½	8 unidades	17	136
	¾	10 unidades	20	200
	1	3 unidades	25	75
	1 ¼	2 unidades	29	58
Trampas de vapor	½	2 unidades	83.95	167.9
	¾	3 unidades	83.95	251.85
Unión universal	½	4 unidades	0.8	3.2
	¾	3 unidades	1.15	3.45
	1	4 unidades	1.65	6.6
	1 ¼	3 unidades	2.15	6.45
Reductores concéntricos	2 ½ - ¾	1 unidades	6.35	6.35
	1 ¼ - ¾	1 unidades	3.38	3.38
	1 ½ - ½	5 unidades	3.2	16
	2 - ½	3 unidades	4.75	14.25
	2 ½ - 1	3 unidades	7.55	22.65
	2 - ¾	4 unidades	5.25	21
Tubería acero al carbono cedula 40	½	180.38 ft	8.32/21ft	71.46
	¾	49.21 ft	17.86/21ft	41.85
	1	19.68 ft	21.51/21ft	23.9
	1 ¼	321.59 ft	29.05	444.86
	2	580.71 ft	46.72	1291.94
	2 ½	32.8 ft	70.8	110.58
	4	20 ft	115.34	109.84
Aislamiento térmico	½	254 ft	5.14	1305.56
	1	14 ft	5.14	71.96
	1 ¼	88 ft	5.14	452.32
	2	194 ft	6.5	1261
	2 ½	11 ft	14.2	156.2
	3	18 ft	14.2	255.6
	4	7 ft	14.2	99.4
			Total	\$13,380.98

Tabla 4.1 Costo de accesorios.

4.1.2 COSTO DE MANO DE OBRA

Para el cálculo del costo de la mano de obra de la instalación de accesorios propuestos en la mejora del sistema se ha tomado como referencia los costos de acuerdo a tiempos y movimientos estimados para realizar operaciones específicas por los técnicos que realizan montajes de esta naturaleza, así un técnico soldador realiza entre 7 y 8 uniones por hora en tubería de ½" y ¾", además se suma el costo del técnico montador (auxiliar) y la supervisión.

Costos por mano de obra:

Costo de mano de obra directa.

Técnico Soldador -----	\$20 / día
Técnico montador (auxiliar) -----	\$12 / día
Total mano de obra directa -----	\$ 32 / día

Costo por soldadura de ½ y ¾

$$\frac{\$32}{8 \text{ horas}} = 4 \frac{\$}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{8 \text{ uniones}} = 0.5 \frac{\$}{\text{union}}$$

Este cálculo se toma como parámetro de referencia, para estimar el costo de instalación de los demás elementos en función de sus dimensiones.

La utilidad bruta esta constituida por los siguientes aspectos:

Supervisión de proyecto -----	5%
Impuestos -----	10%
Administración -----	5%
Costos de operación -----	10%
Imprevistos -----	5%
Utilidad neta -----	30%
Total utilidad Bruta -----	65%

Elemento	Dimensión	Cantidad	Costo mano de obra directa	Total mano de obra directa	Utilidad bruta 65% costo proyecto	Costo total mano de obra
Codo 90	¾	52 unidades	0.5	26	-	74.29
	½	47 unidades	0.5	23.5	-	67.14
	1	13 unidades	1	13	-	37.14
	1 ¼	26 unidades	1	26	-	74.29
	2	15 unidades	1.5	22.5	-	64.29
Tee	½	31 unidades	0.75	23.25	-	66.43
	¾	17 unidades	0.75	12.75	-	36.43
	1	4 unidades	1.5	6	-	17.14
	1 ¼	9 unidades	1.5	13.5	-	38.57
	2	8 unidades	2.25	18	-	51.43
	3	2 unidades	3	6	-	17.14
Válvula compuerta	½	29 unidades	0.12	3.48	-	9.94
	¾	10 unidades	0.12	1.2	-	3.43
	1	3 unidades	0.19	0.57	-	1.63
	1 ¼	6 unidades	0.19	1.14	-	3.26
	2	1 unidades	0.25	0.25	-	0.71
Válvula bola	½	4 unidades	0.12	0.48	-	1.37
	¾	3 unidades	0.12	0.36	-	1.03
	1 ¼	2 unidades	0.19	0.38	-	1.09
Válvula globo	¾	4 unidades	0.12	0.48	-	1.37
	1	1 unidades	0.19	0.19	-	0.54
Válvula seguridad	¾	2 unidades	0.12	0.24	-	0.69
	1	1 unidades	0.19	0.19	-	0.54
	1 ¼	2 unidades	0.19	0.38	-	1.09
Válvula reguladora presión	¾	2 unidades	0.12	0.24	-	0.69
	1	1 unidades	0.19	0.19	-	0.54
	1 ¼	2 unidades	0.19	0.38	-	1.09
Manómetros 0 – 100 psi		11 unidades	0.1	1.1	-	3.14
Filtros roscado	½	8 unidades	0.12	0.96	-	2.74
	¾	10 unidades	0.12	1.2	-	3.43
	1	3 unidades	0.19	0.57	-	1.63
	1 ¼	2 unidades	0.19	0.38	-	1.09
Unión universal	½	4 unidades	0.12	0.48	-	1.37
	¾	3 unidades	0.12	0.36	-	1.03
	1	4 unidades	0.19	0.76	-	2.17
	1 ¼	3 unidades	0.19	0.57	-	1.63

Elemento	Dimensión	Cantidad	Costo mano de obra directa	Total mano de obra directa	Utilidad bruta 65% costo proyecto	Costo total mano de obra
Reductores concéntricos a soldar	2 ½ - ¾	1 unidades	1.25	1.25	-	3.57
	1 ¼ - ¾	1 unidades	0.75	0.75	-	2.14
	1 ½ - ½	5 unidades	1	5	-	14.29
	2 - ½	3 unidades	1	3	-	8.57
	2 ½ - 1	3 unidades	1.5	4.5	-	12.86
	2 - ¾	4 unidades	1	4	-	11.43
Soldadura Tubería acero al carbono cedula 40	½	6 unidades	0.56	3.36	-	9.6
	¾	6 Soldadura	0.56	3.36	-	9.6
	1	17 Soldadura	1.11	18.87	-	53.91
	1 ¼	17 Soldadura	1.11	18.87	-	53.91
	2	29 Soldadura	1.67	48.43	-	138.37
	2 ½	2 Soldadura	2.22	4.44	-	12.69
	4	1 Soldadura	2.22	2.22	-	6.34
Fabricación Soportería Escuadra	1/2x1/2	72 unidades	1.3	93.6	-	267.43
Soportería colgante	½	31 unidades	2	62	-	177.14
Soportería escuadra Instalación	1/2x1/2	72 unidades	1.69	121.68	-	347.66
Soportería colgante Instalación	½	31 unidades	5.07	157.17	-	449.06
Instalación Tubería cédula 40	½	9.2 unidades	0.78	7.18	-	20.5
	¾	2.5 unidades	0.78	1.95	-	5.57
	1	1 unidades	0.94	0.94	-	2.69
	1 ¼	16.3 unidades	1	16.3	-	46.57
	2	29.5 unidades	1.5	44.25	-	126.43
	2 ½	1.67 unidades	1.6	2.67	-	7.63
	4	1 unidades	3	3	-	8.57
Aislamiento térmico	½	55 unidades	0.65	35.75	-	102.14
	¾	15 unidades	0.65	9.75	-	27.86
	1	6 unidades	0.65	3.9	-	11.14
	1 ¼	98 unidades	0.65	63.7	-	182
	2	177 unidades	0.65	115.05	-	328.71
	2 ½	10 unidades	0.65	6.5	-	18.57
	4	6 unidades	0.65	3.9	-	11.14

Elemento	Dimensión	Cantidad	Costo mano de obra directa	Total mano de obra directa	Utilidad bruta 65% costo proyecto	Costo total mano de obra
Aislamiento accesorios	½, ¾, 1, 1¼, 2, 2½, 4	241 unidades	0.6	144.6	-	413.14
Trazado de tubería	½, ¾, 1, 1¼, 2, 2½, 4	367 unidades	0.95	348.65	-	996.14
Prueba hidrostática	Sistema	1 unidades	180	180	-	514.29
Construcción bodega para instalación		1 unidades	480	480	-	1371.43
Plano		6 unidades	70	420	-	1200
				Totales \$	4917	7564.62

Tabla 4.2 Costo de mano de obra.

4.1.3 COSTO DE EQUIPO.

El costo de los equipos que se ha considerado a instalar se detalla a continuación:

EQUIPO	MARCA	CANTIDAD	PRECIO \$
Lavadora		1	114000
Secadora		2	85600
		Total=	199600

Tabla 4.3 Costo de equipo a instalar.

4.1.4 COSTO TOTAL

El costo total lo conforma la sumatoria de costos de adquisición de accesorios, equipos y mano de obra, se detalla a continuación.

RUBRO	COSTO \$
Instalación	7564.62
Accesorios	9778.94
Adquisición de equipos	199600
Total=	216943.56

Tabla 4.4 Costo del proyecto.

4.2 FINANCIAMIENTO DE LA INVERSIÓN.

Al investigar con las autoridades del Hospital, sobre la forma de financiamiento del proyecto se establece que la vía sea por medio de fondos internos, estipulados en el presupuesto anual (40% del costo de la propuesta) y el 60% restante por medio de un préstamo bancario.

Para poner en marcha la propuesta de mejora es necesario contar con una fuente de financiamiento, se propone que el recurso económico se ejecute por la vía de un préstamo bancario, como se especifico anteriormente.

El monto del préstamo es por el 60% del valor total de la inversión \$130,166.14 para un plazo de 10 años con un interés del 4.5% anual.

El otro 40% de la inversión se costeara con fondos propios de la institución.

Debido a que la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) se constituye por el interés atribuido a la inflación y una tasa de interés como premio al riesgo de efectuar una inversión. Se considera para este proyecto una (TMAR) del 18%, por tratarse de una inversión social.

4.2.1 AMORTIZACIÓN

i=	4.5%
----	------

monto =	\$130,166.14
---------	--------------

TABLA DE AMORTIZACIÓN				
Pago de deudas	Intereses	Pago de fin de año	Amortización	Saldo pendiente
Año 0	\$0,00	\$0,00	\$0,00	130166.14
Año 1	5857.48	16450.24	10592.77	119573.37
Año 2	5380.80	16450.24	11069.44	108503.93
Año 3	4882.68	16450.24	11567.57	96936.36
Año 4	4362.14	16450.24	12088.11	84848.26
Año 5	3818.17	16450.24	12632.07	72216.19
Año 6	3249.73	16450.24	13200.52	59015.67
Año 7	2655.71	16450.24	13794.54	45221.13
Año 8	2034.95	16450.24	14415.29	30805.84
Año 9	1386.26	16450.24	15063.98	15741.86
Año 10	708.38	16450.24	15741.86	0.00

Tabla 4.5 Amortización del proyecto.

4.2.2 DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS

Para el cálculo de la depreciación se emplea el método de la línea recta, por la que utiliza el Ministerio de Hacienda para efectuar las depreciaciones, los equipos a depreciar son dos secadoras y una lavadora, se estipula un valor de rescate del 10 % del valor de adquisición, el período de vida útil a considerar es de 10 años.

Depreciación de dos secadoras.

Precio unitario = \$42800

Monto = \$85600

Vida útil = 10 años

Valor de rescate = 10 % del monto

Depreciación de secadoras

DEPRECIACIÓN			
Anos	Valor en Libros	Cargo Anual	Valor Recuperado
0	85600	0	0
1	77896	7704	7704
2	70192	7704	15408
3	62488	7704	23112
4	54784	7704	30816
5	47080	7704	38520
6	39376	7704	46224
7	31672	7704	53928
8	23968	7704	61632
9	16264	7704	69336
10	8560	7704	77040
		Valor de Rescate	8560

Tabla 4.6 Depreciación de secadoras.

Depreciación de lavadora.

Monto = \$114000

Vida útil = 10 años

Valor de rescate = 10 % del monto

Depreciación de Lavadora

DEPRECIACIÓN			
Anos	Valor en Libros	Cargo Anual	Valor Recuperado
0	114000	0	0
1	103740	10260	10260
2	93480	10260	20520
3	83220	10260	30780
4	72960	10260	41040
5	62700	10260	51300
6	52440	10260	61560
7	42180	10260	71820
8	31920	10260	82080
9	21660	10260	92340
10	11400	10260	102600
		Valor de Rescate	11400

Tabla 4.7 Depreciación de lavadoras.

Depreciación Total de equipos

Monto = \$199,600

Vida útil = 10 años

Valor de rescate = 10 % del monto

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS

DEPRECIACIÓN			
Anos	Valor en Libros	Cargo Anual	Valor Recuperado
0	199600	0	0
1	181636	17964	17964
2	163672	17964	35928
3	145708	17964	53892
4	127744	17964	71856
5	109780	17964	89820
6	91816	17964	107784
7	73852	17964	125748
8	55888	17964	143712
9	37924	17964	161676
10	19960	17964	179640
		Valor de Rescate	19960

Tabla 4.8 Depreciación total de equipos.

4.3 INGRESOS ESTIMADOS

Para el proyecto, los ingresos lo constituyen los ahorros en combustible que las calderas dejan de consumir al tener menor demanda de recurso energético, debido a la implementación de las mejoras técnicas identificadas anteriormente.

Para la estimación de los ingresos se toma el análisis de pérdida de energía, estos cálculos se desarrollaron en el capítulo II, de donde el consolidado de ahorro energético asciende a un monto en dinero de 29576.9 dólares por año, que constituyen el ingreso del proyecto.

RUBRO	INGRESO \$/año
Pérdidas por fugas	8760
Pérdidas por radiación	19731.9
Pérdidas por tramos de tubería sin uso	1087.7
Total=	\$29579.6/año

Tabla 4.9 Ingresos proyectados.

4.3.1 COSTOS DE OPERACIÓN

El proyecto no tiene costos de operación, debido a que no se incurrirá en costos adicionales a los que la institución maneja actualmente.

4.4 FLUJO DE FONDOS

El criterio para evaluar la viabilidad de la inversión consiste en comparar la TMAR con respecto a la TIR³¹.

Donde:

TIR = Tasa interna de rendimiento

TMAR = Tasa mínima aceptable de rendimiento.

Si la $TIR > TMAR$, el proyecto se acepta en términos económicos. En caso de que la $TIR < TMAR$, el proyecto se rechaza en términos económicos.

Si la $TIR = TMAR$ significa que el proyecto presenta iguales posibilidades de aceptación o rechazo en términos económicos.

Para el cálculo de ingresos se considera un incremento anual del 5%, debido a la alza de los precios del petróleo.

³¹ Anexo 1.13

Flujo de Fondos con Financiamiento											
RUBRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Ingresos Estimados		29579.60	31058.58	32611.51	34242.08	35954.19	37751.90	39639.49	41621.47	43702.54	45887.67
(-) Costos financieros		5857.48	5380.80	4882.68	4362.14	3818.17	3249.73	2655.71	2034.95	1386.26	708.38
Utilidad		23722.12	25677.78	27728.83	29879.95	32136.02	34502.17	36983.79	39586.52	42316.28	45179.28
Inversión											
Monto de Préstamo	130166.14										
(+) Depreciación		17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00	17964.00
(+) Valor de Rescate											19960.00
(-) Amortización de Préstamo		10592.77	11069.44	11567.57	12088.11	12632.07	13200.52	13794.54	14415.29	15063.98	15741.86
Flujo de Fondo	-130166.14	31093.36	32572.34	34125.27	35755.84	37467.95	39265.65	41153.25	43135.22	45216.30	67361.42
VAN	-130166.14	26350.30	23392.94	20769.69	18442.47	16377.58	14545.24	12919.04	11475.62	10194.29	12870.37
	37171.40										
TIR	24.87%										
TMAR	18%										
VAN	37171.40										

Tabla 4.10 Flujo de fondos.

4.5 CONCLUSIONES DE ANALISIS FINANCIERO.

- 1- Al comparar la TIR contra la TMAR se observa que es claramente mayor en un 6.87 %, con lo cual el proyecto se da como aceptable.
- 2- Si se analiza el proyecto por la VAN se determina que este es viable, pues el resultado del flujo en el tiempo es positivo, obteniéndose un valor de \$37,171.40
- 3- El proyecto incurre solo en costos de implantación, una vez puesto en marcha, no se tienen costos adicionales, pues la institución prevé en su presupuesto anual costos de mantenimiento, los cuales incluso se verían disminuidos con las mejoras hechas al sistema.
- 4- El proyecto presenta una rentabilidad aceptable, debido en gran medida a que los intereses para este tipo de proyectos es bajo, pues la finalidad del mismo no es de carácter lucrativo.

4.6 IMPACTO DEL PROYECTO

Con la implementación del proyecto, no solo se obtienen beneficios meramente económicos, como los que se evidenciaron en apartados anteriores, también se adquieren otros efectos colaterales favorables como consecuencia de contar con instalaciones en condiciones estandarizadas.

Los beneficios colaterales que se derivan del proyecto son:

- § Reducción de acciones inseguras por el personal de mantenimiento
- § Beneficios ambientales.
- § Reducción de actividades de mantenimiento correctivo en el sistema de vapor.
- § Inspección de funcionamiento de elementos del sistema de vapor.
- § Flujos y condiciones de vapor en condiciones requeridas, para el buen desempeño de las funciones de las áreas que lo utilizan.
- § Mejora la satisfacción de los empleados de la institución que están relacionados con el sistema de vapor, al desempeñar sus labores en un ambiente seguro.
- § Mejora la imagen de la institución, generando una sensación de confianza a los usuarios.

CONCLUSIONES

Después de haber realizado el documento de grado que se presenta se concluye que:

- § El sistema actual de vapor del Hospital Nacional Rosales, presenta importantes oportunidades de ahorro de energía.
- § La red de distribución de vapor, esta constituida en un 88% de materiales no recomendados para el transporte de vapor (hierro galvanizado).
- § La demanda de vapor total en las horas críticas alcanza 1,682 lb/h (48 BHP), no sobrepasando la capacidad de producción de las calderas instaladas (4,312.5 lb/h =125 BHP), por consiguiente no se recomienda cambiar las mismas.
- § En las condiciones de operación del sistema de vapor, se determino que las pérdidas por: fugas, radiación y tramos de tubería sin uso representan el 40% de la energía producida.
- § El costo por perdidas asciende a un monto de \$29,581.22 / año. Como se detalla a continuación.

Parámetro	Situación actual
Pérdidas por fugas	\$ 8762.20/año
Pérdidas por radiación	\$ 19731.90/año
Pérdidas por tramos de tubería sin uso	\$ 1087.12/año
TOTAL	\$29,581.22 /año.

- § Con la propuesta se estima obtener un aprovechamiento de energía térmica del 96.8%, comparado con un sistema ideal, teniéndose un incremento del 37% respecto al sistema actual.

§ Para incrementar el aprovechamiento de los recursos en el sistema es necesario efectuar las siguientes acciones de mejora:

- Eliminación de tramos y redistribución de tuberías
- Retorno de condensado
- Aislamiento térmico en tubería.
- Instalación de soportes en líneas de vapor
- Instalación de nuevo equipo en el área de lavandería (lavadora y secadoras)
- Cambio de tubería de hierro galvanizado por acero al carbono cedula 40.

§ Para las condiciones en las cuales se ha desarrollado el estudio, se establece que presenta indicadores económicos de factibilidad, el indicador que se usa como referencia es la comparación entre la TIR y la TMAR, arrojando un valor de TIR = 24.87% que supera en 6.87% al valor establecido a la TMAR (18%) con lo que el proyecto se da como aceptable.

§ El conjunto de Oportunidades de ahorro Energético identificadas poseen intrínsecamente un impacto económico, ambiental y social, es decir que se mejora la calidad de servicio de forma integral, mejorando la infraestructura del Hospital, reduciendo descargas térmicas al ambiente, creando un ambiente de seguridad y a la vez obteniendo un beneficio económico que puede ser destinado a otras actividades del Hospital como compra de medicamentos, contratación de personal adicional.

BIBLIOGRAFIA

1. OPERACIÓN DE CALDERAS INDUSTRIALES.
RODRÍGUEZ GUERRERO, GONZALO.
ECO E EDICIONES, COLOMBIA, 2000.
2. MANUAL DE CALDERAS VOL. I
KOHAN, ANTHONY,
MC GRAW HILL, 2000.
3. MANUAL DE CALDERAS VOL. II
KOHAN, ANTHONY,
MC GRAW HILL, 2000.
4. CALDERAS: TIPOS CARÁCTERISTICAS Y SUS FUNCIONES.
SHIELD ,CARL D.
CECSA 1965.
5. PURGADORES.
ENGINEERING EQUIPMENT USERS ASSOCIATION USA.
BARCELONA Labor 1974.
6. TRANSFERENCIA DE CALOR
HOLMAN, J. P
Mc GRAW HILL, 1998.
7. AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR.
INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL (ICAITI).
8. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS
DE VAPOR.
INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL (ICAITI).
9. ELEMENTARY SYSTEM POWER
10. DESIGN OF FLUID SYSTEMS "STEAM UTILIZATION".
SPIRAX SARCO.
11. MANUAL "DISTRIBUCION DE VAPOR".
SPIRAX SARCO.
12. CALDERAS Y ACCESORIOS.
SPIRAX SARCO.
13. MANUAL SELECCION DE TRAMPAS DE VAPOR
AMSTROMG.

14. GUÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VAPOR EN EL DRENADO DE
CONDENSADO.
AMSTROMG

15. MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS
CLAUDIO MATAIX.
II EDICION, EDICION DEL CASTILLO, S.A.

16. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA ECONOMICA.
GABRIEL BACA URBINA.
Mc GRAW HILL, II EDICION.

GLOSARIO

Acciones inseguras: son todas aquellas acciones que provoca el empleado y que puede ocasionar una pérdida en la gente, equipo, material o medio ambiente.

Accidente: es un evento no deseado que resulta en pérdida en la gente, equipo, material o medio ambiente.

Agua de alimentación: es la que se le suministra a la caldera, la cual proviene de los suavizadores y el condensado recuperado de todo el sistema.

Agua de reposición: es el agua suministrada por los suavizadores.

Autoclave: equipo utilizado para la esterilización de material y equipo quirúrgico.

Costo: es la suma de recursos que se invierten para producir un bien.

Demanda de vapor: es la cantidad de vapor que se le suministra a cada equipo para su funcionamiento.

Demanda de vapor total: es la cantidad de vapor que la caldera debe proporcionar a todo el sistema.

Depreciación: significa bajar precio, se refiere a la utilización de un activo fijo o tangible, el cual, debido a su uso, disminuye de precio.

Depreciación línea recta: es un método que consiste en recuperar el valor del activo en una cantidad que es igual a lo largo de cada uno de los años de su vida útil.

Destilador: equipo utilizado para la destilación de agua, que posteriormente es utilizada para la fabricación de suero.

Fuel oil # 6: Se denomina fuel oil o fuel pesado a una mezcla de productos basados en los residuos procedentes de los procesos de destilación y craqueo del petróleo. Como su nombre indica, corresponde a las fracciones más pesadas de dichos procesos.

Flujo de fondos: es un esquema que representa en forma sistemática cada uno de las erogaciones e ingresos líquidos registrados período a período.

Interés: es el pago que se hace al propietario del capital por el uso de su dinero.

Marmita: Equipo que aprovecha el poder calorífico del vapor para la cocción de alimentos.

Proyecto: es la búsqueda de una solución al planteamiento de un problema que busca resolver necesidades humanas.

Sistema de vapor: esta constituida por la generación, distribución y consumo de vapor.

Tanque de condensado: es donde converge el agua de reposición y todo el condensado recuperado del sistema de vapor.

Tiempo crítico: es el tiempo en el cual se tiene la mayor demanda de vapor en el sistema.

Tiempo de operación: son las horas, por día, en las cuales están funcionando cada equipo que consume vapor.

TIR: tasa interna de rendimiento, es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto sea igual a cero.

TMAR: tasa mínima aceptable de rendimiento, es la base de comparación y de cálculo en las evaluaciones económicas.

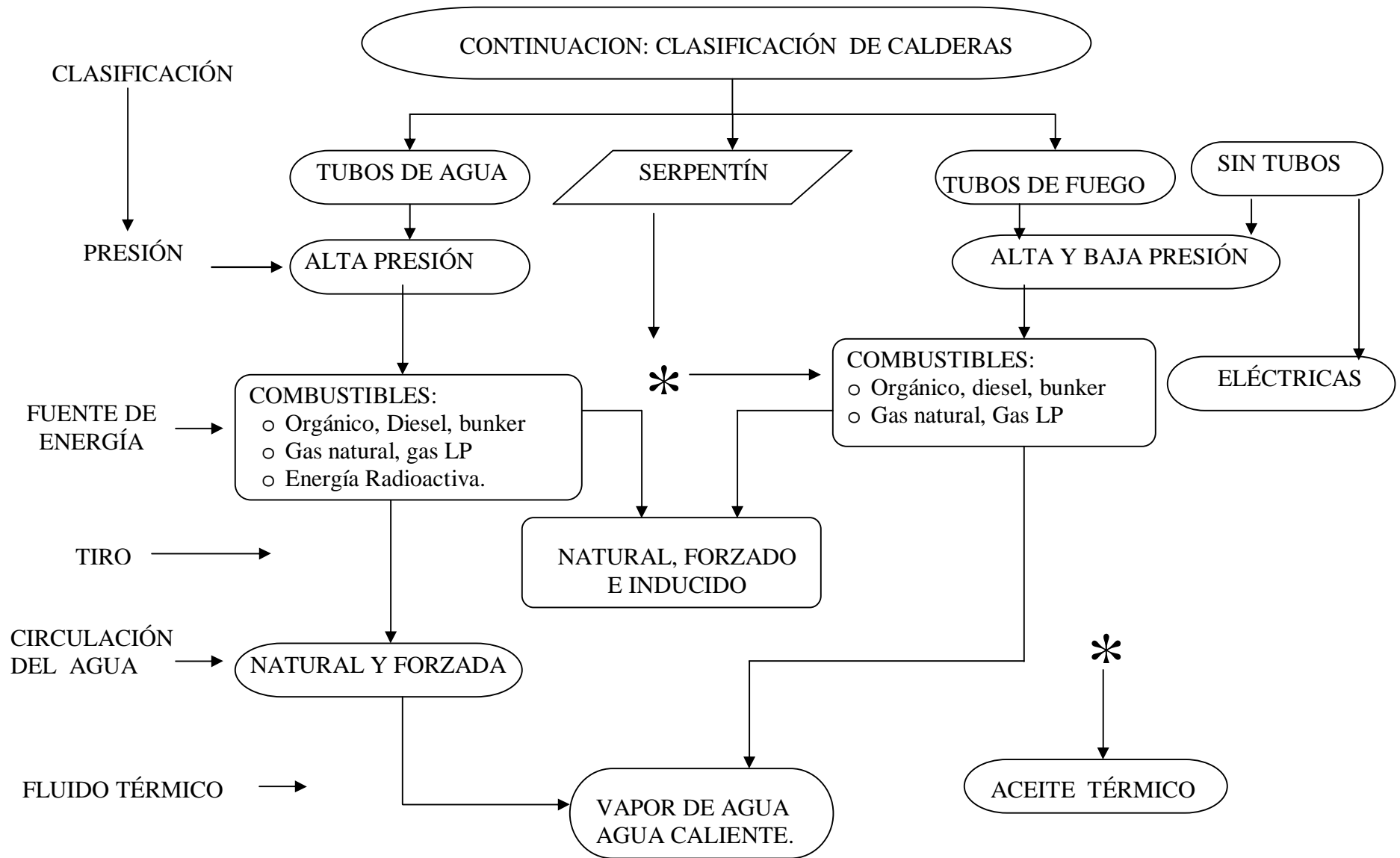
Valor de rescate: es el valor de mercado de un activo, en cualquier momento de su vida útil.

Vida útil: se puede definir simplemente como el período (expresado en usualmente en años) que un activo sirve o está disponible en la actividad para la que fue diseñado.

VPN: valor presente neto, significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente.

ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 1.2

<u>Grado</u>	<u>°F</u> <u>Punto de inflamabilidad</u>	<u>°F</u> <u>Punto de escurrimiento</u>	<u>Gravedad</u> <u>Grados API</u>	<u>Densidad</u> <u>lb/galón</u>	<u>Viscosidad</u> <u>Saybolt Univ (Seg)</u>	<u>Contenido</u> <u>Prom. de azufre %</u>	<u>Poder calorif.</u> <u>Btu/galón</u>
No. 1	100	0	38-45	6.95-6.68	28-33	.081	137,000-132,900
No. 2	100	15	30-38	7.30-6.96	33-38	0.25	141,800-137,000
No. 4	130	20	20-28	7.79-7.40	45-125	0.87	148,100-143,100
No. 5 (liviano)	130	45	17-22	7.94-7.69	150-300	1.35	150,000-146,800
No. 5 (pesado)	130	50	14-18	8.08-7.89	350-750	1.52	152,000-149,400
No. 6	150	75	8-15	8.45-8.05	900-9000	1.60	155,900-151,300

Características representativas de aceites combustibles.

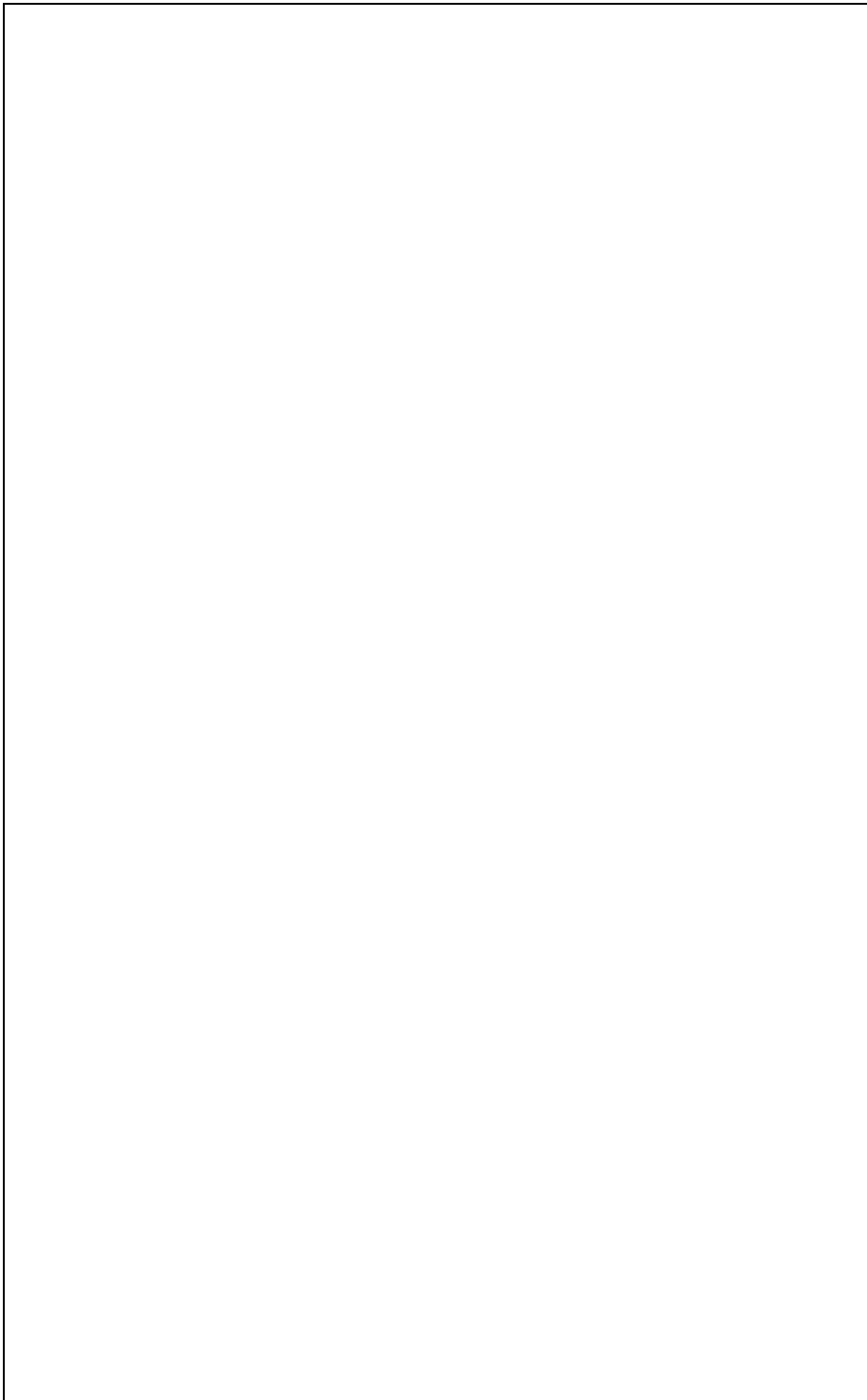
ANEXO 1.3

TAMANO TUBERIA plgs	PIES LINEALES FACTOR	DIAMETRO EXTERNO plgs	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (GRADOS FARENHEIT) ENTRE SUPERFICIE DE TUBERIA Y AIRE AMBIENTE (AIRE A 80 GRADOS FARENHEIT)																			
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
0.50	0.220	0.840	2.12	2.48	2.80	3.10	3.42	3.74	4.07	4.47	4.86	5.28	5.72	6.19	6.69	7.22	7.79	8.39	8.93	9.70	10.42	11.10
0.75	0.275	1.050	2.08	2.43	2.74	3.04	3.35	3.67	4.00	4.40	4.79	5.21	5.65	6.12	6.61	7.15	7.71	8.31	8.95	9.62	10.34	11.09
1.00	0.344	1.315	2.04	2.38	2.69	2.99	3.30	3.61	3.94	4.33	4.72	5.14	5.58	6.05	6.54	7.07	7.64	8.23	8.87	9.55	10.26	11.02
1.25	0.435	1.660	2.00	2.34	2.64	2.93	3.24	3.55	3.88	4.27	4.66	5.07	5.51	5.97	6.47	7.00	7.56	8.16	8.79	9.47	10.18	10.90
1.50	0.497	1.900	1.90	2.31	2.61	2.90	3.20	3.52	3.84	4.23	4.62	5.03	5.47	5.93	6.43	6.96	7.52	8.12	8.75	9.43	10.14	10.89
2.00	0.622	2.375	1.95	2.27	2.56	2.85	3.15	3.46	3.78	4.17	4.56	4.97	5.41	5.87	6.37	6.89	7.45	8.05	8.68	9.36	10.07	10.82
2.50	0.753	2.875	1.92	2.23	2.52	2.81	3.11	3.42	3.74	4.12	4.51	4.92	5.36	5.82	6.31	6.84	7.41	7.99	8.63	9.30	10.01	10.77
3.00	0.916	3.500	1.89	2.20	2.49	2.77	3.07	3.37	3.69	4.08	4.46	4.87	5.31	5.77	6.26	6.79	7.35	7.94	8.57	9.25	9.96	10.71
3.50	1.047	4.000	1.87	2.18	2.46	2.74	3.04	3.34	3.66	4.05	4.43	4.84	5.27	5.73	6.23	6.75	7.31	7.91	8.54	9.21	9.92	10.67
4.00	1.178	4.500	1.85	2.16	2.44	2.72	3.01	3.32	3.64	4.02	4.40	4.81	5.25	5.71	6.20	6.72	7.28	7.87	8.51	9.18	9.89	10.64
4.50	1.309	5.000	1.84	2.14	2.42	2.70	2.99	3.30	3.61	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.69	7.25	7.85	8.48	9.15	9.86	10.61
5.00	1.456	5.563	1.83	2.13	2.40	2.68	2.97	3.28	3.59	3.97	4.35	4.76	5.20	5.65	6.15	6.68	7.23	7.82	8.45	9.12	9.83	10.58
6.00	1.734	6.625	1.80	2.10	2.37	2.65	2.94	3.24	3.55	3.94	4.32	4.72	5.16	5.61	6.10	6.63	7.19	7.78	8.41	9.08	9.79	10.54
7.00	1.996	7.625	1.79	2.08	2.35	2.63	2.91	3.21	3.53	3.91	4.29	4.69	5.13	5.58	6.07	6.60	7.15	7.75	8.38	9.05	9.76	10.51
8.00	2.258	8.625	1.77	2.06	2.33	2.60	2.89	3.19	3.50	3.88	4.26	4.67	5.10	5.56	6.05	6.57	7.12	7.72	8.35	9.02	9.73	10.48
9.00	2.520	9.625	1.76	2.05	2.31	2.59	2.87	3.17	3.48	3.86	4.24	4.65	5.08	5.53	6.02	6.54	7.10	7.69	8.32	8.99	9.70	10.45
10.00	2.814	10.750	1.75	2.03	2.30	2.57	2.85	3.15	3.46	3.84	4.22	4.62	5.05	5.51	6.00	6.52	7.08	7.67	8.30	8.97	9.68	10.43
12.00	3.338	12.750	1.73	2.01	2.27	2.54	2.83	3.12	3.43	3.81	4.19	4.59	5.02	5.48	5.96	6.48	7.04	7.63	8.26	8.93	9.64	10.39
14.00	3.665	14.000	1.72	2.00	2.26	2.53	2.81	3.11	3.41	3.79	4.17	4.57	5.00	5.46	5.94	6.47	7.02	7.61	8.24	8.91	9.62	10.37
16.00	4.189	16.000	1.70	1.98	2.24	2.51	2.79	3.08	3.39	3.77	4.14	4.55	4.98	5.43	5.92	6.44	6.99	7.59	8.21	8.88	9.59	10.34
18.00	4.717	18.000	1.69	1.96	2.22	2.49	2.77	3.07	3.37	3.75	4.12	4.53	4.96	5.41	5.90	6.42	6.97	7.56	8.19	8.86	9.57	10.32
20.00	5.236	20.000	1.68	1.95	2.21	2.47	2.75	3.05	3.36	3.73	4.11	4.51	4.94	5.39	5.88	6.40	6.95	7.54	8.17	8.84	9.55	10.29
24.00	6.283	24.000	1.66	1.93	2.19	2.45	2.73	3.02	3.33	3.70	4.07	4.48	4.90	5.36	5.84	6.36	6.92	7.51	8.14	8.80	9.51	10.26
SUPERFICIE VERTICAL			1.84	2.14	2.42	2.70	3.00	3.30	3.62	4.00	4.30	4.79	5.22	5.68	6.17	6.70	7.26	7.85	8.48	9.15	9.86	10.62
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ABAJO			2.03	2.37	2.67	2.97	3.28	3.59	3.92	4.31	4.70	5.12	5.56	6.02	6.52	7.05	7.61	8.21	8.85	9.52	10.24	10.99
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSFERENCIA HACIA ARRIBA			1.61	1.86	2.11	2.36	2.64	2.93	3.23	3.60	3.97	4.37	4.80	5.25	5.73	6.25	6.80	7.39	8.02	8.69	9.39	10.14

NOTA 1 pulgada = 25.4 mm
1 Btu/hpie²°F = 5.678263 W/m²°C
1 °F = 1.8°C + 32

Pérdidas de calor en tuberías desnudas y en superficies planas (Btu/hora-ft²-°F).

ANEXO 1.4



Cáida de presión para tubería cedula 40

ANEXO 1.5

Tamaño de Tubería (in)	Longitud en Metros a Añadir				
	Codo Estándar	"T" con Salida Lateral	Válvula de Compuerta*	Válvula de Globo*	Válvula de Angulo*
1/2	0.5	0.9	0.1	5.4	2.4
3/4	0.6	1.3	0.2	7.1	3.1
1	0.8	1.6	0.2	9.1	4.0
1 1/4	1.1	2.1	0.3	11.9	5.3
1 1/2	1.2	2.5	0.3	13.9	6.1
2	1.6	3.2	0.4	17.9	7.9
2 1/2	1.9	3.8	0.5	21.3	9.4
3	2.3	4.7	0.6	26.5	11.7
3 1/2	2.7	5.4	0.7	30.6	13.5
4	3.1	6.1	0.8	34.8	15.3
5	3.8	7.7	1.0	43.6	19.2
6	4.6	9.2	1.2	52.4	23.1
8	6.1	12.2	1.6	68.9	30.4
10	7.6	15.3	2.0	86.5	38.2
12	9.1	18.2	2.4	103.1	45.5

Longitud equivalente de tubería a añadir debido a accesorios para tubería cedula 40

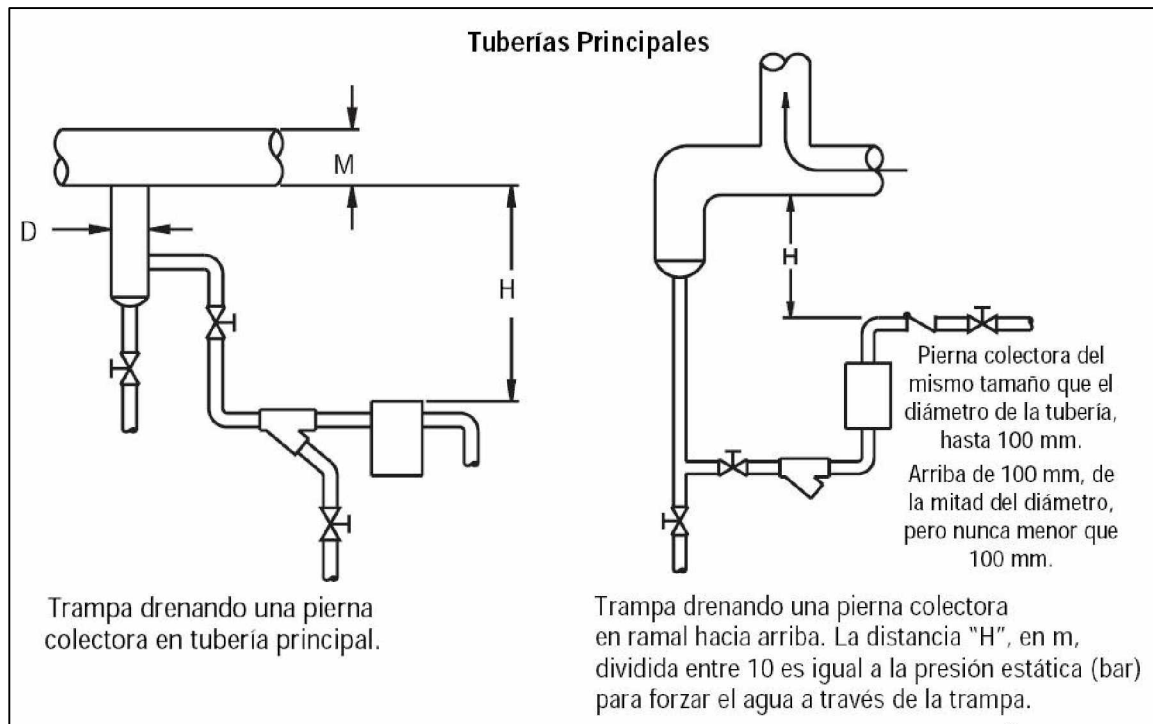
ANEXO 1.6

Dimensionamiento de piernas colectoras en tuberías principales.



Dimensiones Recomendadas para Piernas Colectoras en Tuberías Principales y Ramales.

M		D		H	
Tamaño de Tubería		Diámetro de Pierna Colectora		Longitud Mínima de Pierna Colectora (mm)	
mm	in	mm	in	Precaentamiento Supervisado	Precaentamiento Automático
15	1/2	15	1/2	250	710
20	3/4	20	3/4	250	710
25	1	25	1	250	710
50	2	50	2	250	710
80	3	80	3	250	710
100	4	100	4	250	710
150	6	100	4	250	710
200	8	100	4	300	710
250	10	150	6	380	710
300	12	150	6	460	710
350	14	200	8	535	710
400	16	200	8	610	710
450	18	250	10	685	710
500	20	250	10	760	760
600	24	300	12	915	915



Tomada de Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados (Armstrong).



ANEXO 1.7 Criterios de selección para trampas de vapor

Aplicación	1era Opción	2da Opción	Factor de Seguridad
Cabezal de la Caldera (Sobrecalentado)	IBLV	F&T	1.5
	IBCV - Pulido	Wafer	Carga al Arranque
Tuberías Principales de Vapor & Ramales de las Tuberías (Sin Congelamiento) (Congelamiento)	IB (CV si la presión varía)	F&T	2; 3 si estaría al final de la tubería, antes de la válvula, o en un ramal
	IB	Termostática o Disco	(Mismo que arriba)
Separador de Vapor Calidad del vapor del 90% o menos	IBLV	DC	3
	DC		3
Venas de Vapor	IB	Termostática o Disco	2
Unidades de Calentamiento y de Manejo de Aire (Presión Constante) (Presión Variable 0 - 1 bar) (Presión Variable 1 - 2 bar) (Presión Variable > 2 bar)	IBLV	F&T	3
	F&T	IBLV	2, a presión diferencial de 0.034 bar
	F&T	IBLV	2, a presión diferencial de 0.14 bar
Radiadores Aletados & Tubos Serpentin (Presión Constante) (Presión Variable)	IB	Termostática	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido
	F&T	IB	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido
Calentadores de Aire de Proceso (Presión Constante) (Presión Variable)	IB	F&T	2
	F&T	IBLV	3, a la mitad de la máxima presión diferencial
Máquina de Absorción de Vapor (Enfriador)	F&T	IB, con Venteador Externo	2, a presión diferencial de 0.034 bar
Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza & Serpentes de Tubo y Estampados (Presión Constante) (Presión Variable)	IB	DC o F&T	2
	F&T	DC o IBT (IBLV, a más de 2 bar)	< 1 bar: 2, a 0.034 bar; 1 - 2 bar: 2, a 0.14 bar > 2 bar: 3, a la mitad de la máxima presión diferencial
Evaporadores de Un Paso y de Pasos Múltiples	DC	IBLV o F&T	2; 3, con cargas de 22,700 kg/hr
Ollas con Camisas de Vapor (Drenado por Gravedad) (Drenado por Sifón)	IBLV	F&T o Termostática	3
	DC	IBLV	3
Secadoras Rotatorias	DC	IBLV	3, para DC; 8, para IB a presión constante; 10, para IB presión variable
Tanques de Flasheo	IBLV	DC o F&T	3

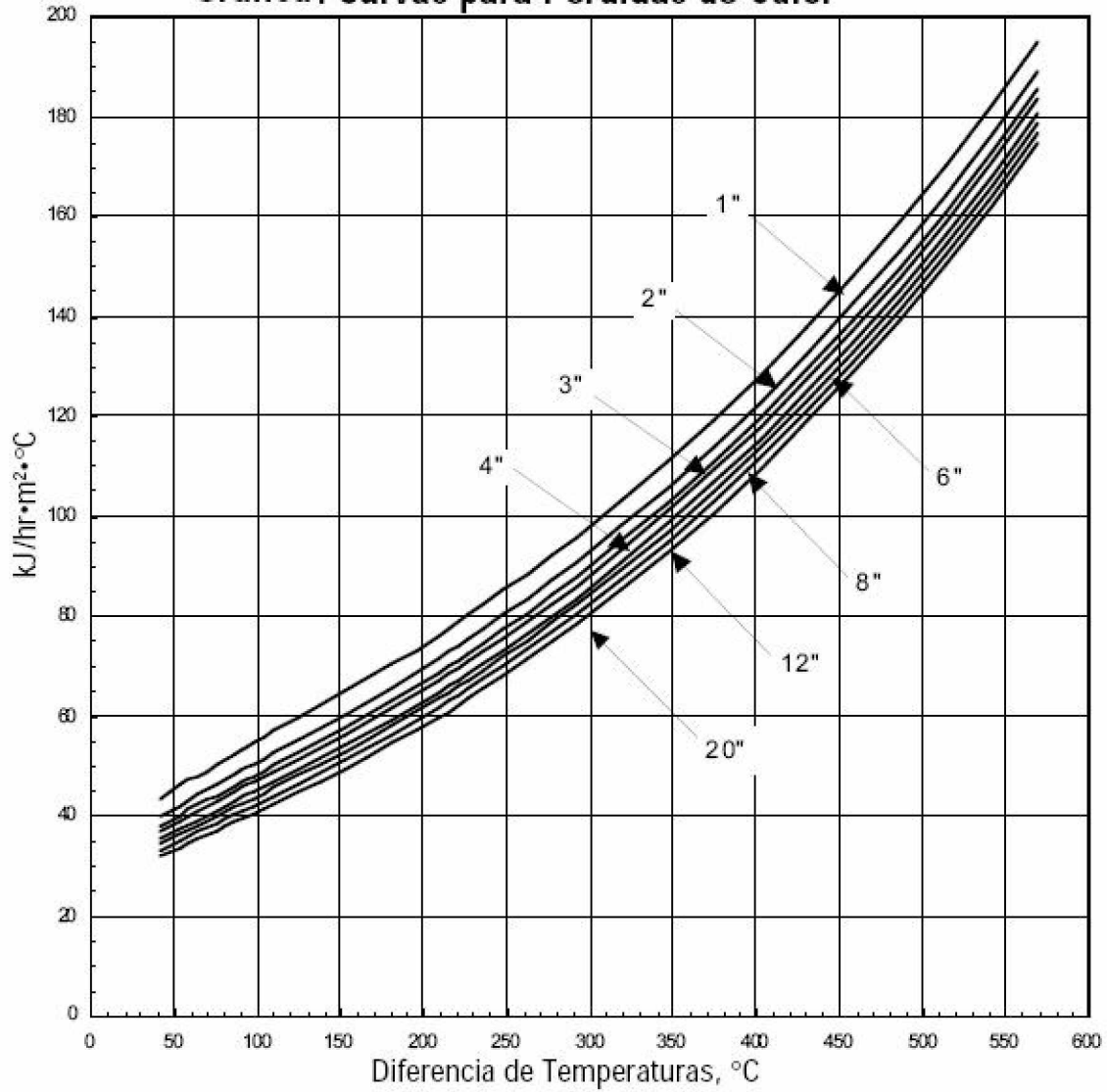
IBLV = Balde Invertido con Venteador Grande
 IBCV = Balde Invertido con Válvula Check Interna
 IBT = Balde Invertido con Venteador Termico
 F&T = Flotador y Termostática
 DC = Controlador Diferencial de Condensado
 Thermo = Termostática

Use una IB con venteador de aire externo cuando se excedan las limitaciones de presión de la F&T, o si el vapor está sucio. Todos los factores de seguridad son para la presión diferencial de operación, al menos que se indique lo contrario.

Tomada de Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados (Amstrong)



Gráfica . Curvas para Pérdidas de Calor

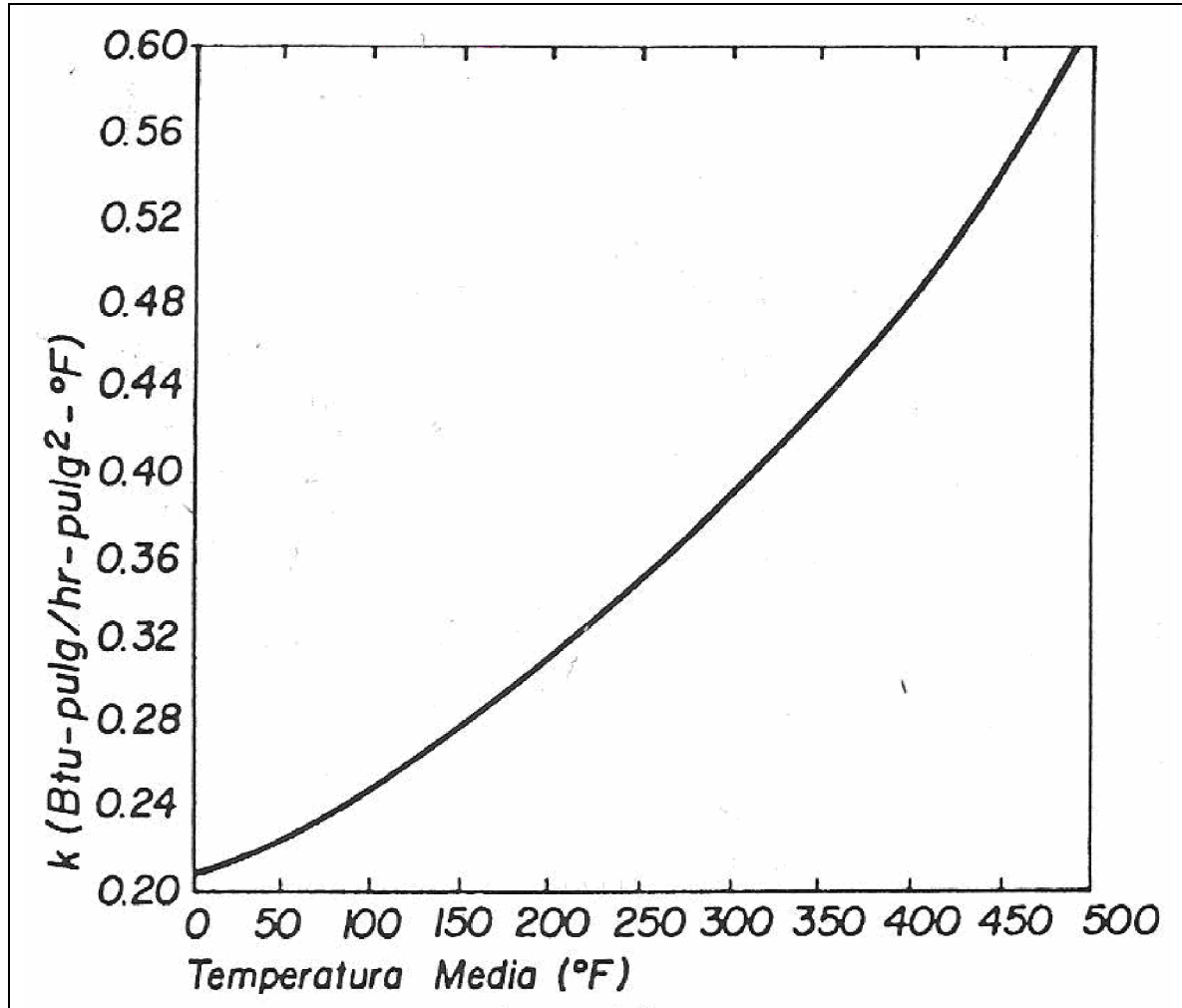


Capacidades Trampas de Balde Invertido Serie B

CAPACIDADES LB/HR para Kg/Hr, multiplicar Lb/Hr por .454

Tamaño		1/2" - 3/4"	3/4"	1"	1-1/4"	2"
Rangos de Presión Diferencial	Modelo No. →	B1H-15	B2-15	B3-15	B4-15	B5-15
	Orificio →	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	1-1/16"
	1 psi	665	1700	2140	3940	11,600
	2 psi	715	1920	2330	4090	12,100
	3 psi	755	2110	2600	4350	13,200
	5 psi	835	2370	2920	4980	14,700
	10 psi	960	2810	3590	5990	17,800
	15 psi	1040	3220	3900	6560	20,000
5 – 30 psi	Modelo No. →	B1H-30	B2-30	B3-30	B4-30	B5-30
	Orificio →	3/16"	5/16"	3/8"	1/2"	3/4"
	5 psi	615	1920	2340	4150	10,000
	10 psi	715	2260	2840	4930	12,100
	15 psi	810	2580	3230	5680	14,000
	20 psi	895	2870	3630	6200	15,600
	25 psi	945	3060	3900	6720	17,100
	30 psi	1000	3220	4120	7140	18,500
10 – 75 psi	Modelo No. →	B1H-75	B2-75	B3-75	B4-75	B5-75
	Orificio →	5/32"	1/4"	9/32"	3/8"	9/16"
	10 psi	500	1250	1970	3840	9,860
	20 psi	610	1600	2500	4720	12,400
	30 psi	705	1850	2860	5470	13,900
	40 psi	770	2000	3120	6080	15,200
	60 psi	905	2350	3640	7150	17,900
	75 psi	965	2550	3960	7570	19,200
20 – 125 psi	Modelo No. →	B1H-125	B2-125	B3-125	B4-125	B5-125
	Orificio →	1/8"	13/64"	1/4"	11/32"	1/2"
	20 psi	446	1100	2080	4450	10,800
	40 psi	600	1220	2600	5530	12,500
	60 psi	695	1700	3020	6350	15,600
	80 psi	765	1900	3380	7110	17,100
	100 psi	830	2080	3640	7750	18,900
	125 psi	920	2240	4100	8540	20,000
60 – 180 psi	Modelo No. →	B1H-180	B2-180	B3-180	B4-180	B5-180
	Orificio →	3/32"	5/32"	7/32"	9/32"	7/16"
	60 psi	585	1500	2580	4250	13,650
	80 psi	642	1700	2830	4730	15,100
	100 psi	703	1800	3070	5080	16,600
	125 psi	765	1940	3380	5680	18,400
	150 psi	816	2100	3580	5980	19,100
	180 psi	867	2220	3780	6300	20,500
125 – 250 psi	Modelo No. →	B1H-250	B2-250	B3-250	B4-250	B5-250
	Orificio →	.070"	9/64"	3/16"	1/4"	3/8"
	125 psi	562	1825	2760	4730	15,000
	150 psi	600	1940	2910	4980	16,100
	175 psi	630	2060	3120	5130	16,800
	200 psi	665	2120	3380	5500	17,800
	225 psi	695	2240	3460	5780	18,900
	250 psi	720	2300	3630	6040	19,400

ANEXO 1.10



Conductividad térmica contra temperatura media para aislamiento de fibra de vidrio para tubería.

ANEXO 1.11

SUPERFICIE	$\frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$	$\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$
Superficie vertical	1.46	8.29
Superficie horizontal Transmisión hacia abajo	1.08	6.13
Superficie horizontal Transmisión hacia arriba	1.63	9.26
Tubería	1.65	9.37

Coefficiente de conductividad (*f*)

ANEXO 1.12

Owens Corning Fiberglas® Pipe Insulation Economic thickness and thermal performance values

NOM. PIPE SIZE		PROCESS TEMPERATURE, °F (°C)							
		150°F (121°C)	250°F (177°C)	350°F (232°C)	450°F (287°C)	550°F (343°C)	650°F (399°C)	750°F (454°C)	850°F (510°C)
½" (15mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.0	1.0	1.5	2.5	2.5	2.5	3.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	7-87	18-102	31-119	40-117	44-108	60-117	80-128	96-131
	Payback, years	9.2	2.3	1.1	0.8	0.7	0.5	0.3	0.3
	Total savings, \$/ft/yr	0	4	9	15	23	33	46	63
1" (25mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.0	1.5	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	8-88	22-104	33-108	50-122	56-115	71-119	93-130	120-142
	Payback, years	5.4	1.5	0.9	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2
	Total savings, \$/ft/yr	1	7	14	24	37	53	73	99
1½" (35mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	11-89	28-107	33-100	46-105	65-116	82-120	108-131	139-144
	Payback, years	3.9	1.1	0.8	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	2	10	20	34	53	76	106	142
2" (50mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.5	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	12-90	26-99	46-113	54-110	70-115	96-126	127-139	141-135
	Payback, years	3.2	1.2	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	3	12	25	43	66	95	132	178
3" (75mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	17-92	34-102	51-109	69-114	89-120	121-133	135-130	174-142
	Payback, years	2.5	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	5	18	37	63	96	139	193	260
4" (100mm)	Economic thickness, in.	1.0	1.5	2.5	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	20-92	41-103	53-104	72-110	103-122	119-122	157-133	202-147
	Payback, years	2.2	0.8	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	6	23	48	80	123	177	246	333
6" (150mm)	Economic thickness, in.	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	29-94	46-99	70-107	96-114	111-114	151-126	200-139	257-153
	Payback, years	1.8	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	10	34	69	116	178	258	359	485
8" (200mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	26-89	57-101	83-108	113-115	133-117	182-129	240-143	309-158
	Payback, years	1.9	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	13	44	89	150	230	334	465	628
10" (250mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	31-89	67-101	101-110	136-118	159-120	216-133	286-147	368-163
	Payback, years	1.7	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	16	55	110	185	285	413	575	779
12" (300mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	36-90	77-102	101-106	127-110	181-121	246-135	325-150	318-140
	Payback, years	1.6	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	19	64	130	218	336	487	679	920
14" (350mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	41-91	87-103	113-108	136-110	194-122	265-136	350-151	340-141
	Payback, years	1.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	20	70	141	238	367	533	743	1008
16" (400mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	46-91	98-104	126-108	152-111	216-124	295-138	389-153	376-143
	Payback, years	1.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	23	80	161	271	417	606	846	1148
18" (450mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	51-91	108-105	139-109	167-112	238-124	325-138	429-154	412-144
	Payback, years	1.6	0.6	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	26	89	180	303	467	679	949	1288
20" (500mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	56-92	100-100	153-109	182-112	260-125	355-139	468-155	447-145
	Payback, years	1.6	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	28	98	198	335	517	752	1051	1427
24" (600mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	66-92	117-100	179-110	213-113	304-126	414-140	546-157	518-146
	Payback, years	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	34	117	236	400	616	897	1254	1704
30" (750mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	82-92	144-101	168-102	258-114	369-127	503-142	664-158	623-148
	Payback, years	1.7	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	42	146	296	501	771	1122	1570	2133
36" (900mm)	Economic thickness, in.	1.5	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	6.0
	Heat loss, Btu/ft/hr • Surface temp., °F	98-92	170-101	198-103	304-114	434-127	592-142	566-136	728-150
	Payback, years	1.6	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	Total savings, \$/ft/yr	51	176	356	601	926	1347	1885	2563

ANEXO 1.13

Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

TIR: es la tasa de descuento que hace que la suma de los flujos descontados sea igual a la inversión inicial.

La TIR se calcula con la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Despejando monto de la inversión (P):

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

VPN : valor presente neto

FNE : Flujo neto, para cada año

P : Monto de la inversión

i : tasa de interés

Nota: para determinar el valor numérico de la TIR, se igualan los valores conocidos de P y FNE y se despeja i , cuyo valor representa la Tasa de Interna de Rendimiento del Proyecto.

ANEXO 2



Fotografía 1. Muestra las numerosas fugas de vapor que se encuentran en el sistema de vapor



Fotografía 2. Derrames de combustible (fuel Oil) en la sala de maquinas.



Fotografía 3. Condiciones deterioradas del aislamiento.



Fotografía 4. Condiciones deterioradas del aislamiento



Fotografía 5. Cabezal de distribución sin aislamiento.



Fotografía 6. Tubería sin aislante, tramo que conduce a central de equipo y fabrica de suero



Fotografía 7. Descarga de vapor intermitente al drenaje
(Aproximadamente cada 10 segundos).



Fotografía 8. Válvula en mal estado ocasionando constante fuga.



Fotografía 9. Caldera en mantenimiento



Fotografía 10. Tanque destilador



Fotografía 11. Análisis de gases de combustión a la caldera.

ANEXO 3