

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE AGUA
CALIENTE CON RECIRCULACIÓN PARA EL EDIFICIO “CRYOM”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**LUIS PAÚL FARINANGO MORALES
STALIN FERNANDO TIPÁN PAGUAY**

**DIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA
CODIRECTOR: ING. FRANCISCO TERNEUS**

Sangolquí, 2007 - 05

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN PARA EL EDIFICIO “CRYOM” fue realizado en su totalidad por los señores Luis Paúl Farinango Morales y Stalin Fernando Tipán Paguay, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Ernesto Soria
DIRECTOR

Ing. Francisco Terneus
CODIRECTOR

Sangolquí, 2007 - 04

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
CENTRALIZADO DE AGUA CALIENTE CON
RECIRCULACIÓN PARA EL EDIFICIO “CRYOM”**

ELABORADO POR:

Luis P. Farinango M.

Stalin F. Tipán P.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**Ing. Juan Díaz T.
COORDINADOR**

Sangolquí, 2007-05

DEDICATORIA

A mi padre Luis, ejemplo de sabiduría, trabajo y apoyo, gracias a quien pude lograr todo lo que me he planteado en la vida. Gracias por cultivar en mí, el desempeño y el deseo de ser mejor día a día.

A mi madre Mariana, lo más sublime que Dios me entregó, que con su dulzura y entendimiento hizo de mí, una persona luchadora y firme en mis convicciones.

A mis hermanos Danny y Kevin, quienes son el sustento de mis alegrías y mis tristezas. Ustedes cultivaron en mí el deseo de triunfar y son mi fuente de inspiración.

A mis amigos Luis Felipe, Luis Paúl, Paúl, Daniel y Luis Eduardo, compañeros inseparables, con quienes compartí una de las mejores etapas de mi vida, la universidad.

A mis amigos David y William que me han brindado su apoyo incondicional para ser quien soy. Gracias por estar junto a mí.

Stalin Típán

DEDICATORIA

A mi madre María quien es a sido y será lo mejor y más grande en la vida, por estar siempre ahí, en los momentos difíciles quien con sus consejos y palabras sabias me ayudaba a vencer los obstáculos alegrando mi existencia.

A mi padre Luis quien con su ejemplo de trabajo, constancia y con el deseo de que su hijo sea mejor, ayudo a lograr un objetivo mas mi vida.

A mis hermanas María, Carmen, Wilma, quienes siempre me apoyaron a seguir adelante con sus sabios consejos y con el anhelo de que triunfe la vida.

A mis primos quienes fueron un apoyo y ejemplo a seguir en la consecución de las metas propuestas.

A mis amigos Paúl, Daniel, Eduardo, Carlos, Stalin, Felipe con quienes compartimos una época muy importante en la formación profesional y a todas aquellas personas que con su apoyo incondicional fueron las gestoras de un logro más en mi vida.

Luis Farinango (L.F)

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos agradecer principalmente a Dios, a nuestros padres familiares cercanos y amigos. A la Escuela Politécnica del Ejército y sus profesores por habernos brindado las herramientas necesarias para adquirir el conocimiento. A Master Control Engineering por darnos la oportunidad de ejecutar nuestro proyecto y a todas las personas que nos facilitaron el desarrollo del mismo principalmente al Sr. Peña, Ing. Holguer Ortiz, Ing. Ernesto Soria, Ing. Francisco Terneus, Ing. German Huebla y finalmente al Ing. Juan Díaz.

Luis Farinango – Stalin Tipán

ÍNDICE GENERAL

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	V
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTO	xi
ÍNDICE GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xxii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xxii
ÍNDICE DE TABLAS	xxiii
ÍNDICE DE TABLAS	xxiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxvi
RESUMEN.....	xxvii
CAPITULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO	3
CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1 DEFINICIONES BÁSICAS.....	5
2.1.1 Energía y temperatura	5
2.1.2 Medición de calor.....	5
2.1.3 Presión	5
2.1.4 Caudal	6
2.1.5 Densidad	6
2.1.6 Combustión	6
2.1.7 Potencia.....	7
2.2 CONCEPTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	7

2.2.1	Conducción	7
2.2.2	Convección	7
2.2.3	Radiación	8
2.3	CALDERAS.....	8
2.3.1	Definición	8
2.3.2	Características	8
2.3.3	Partes principales de una caldera	9
2.3.4	Tipos de calderas.....	10
2.3.5	Parámetros de funcionamiento	11
2.3.5.1	Caldera por el tipo de combustible utilizado	11
2.3.5.2	Caldera por el tipo de material utilizado para su construcción.....	14
2.3.5.3	Caldera basada en la tecnología de funcionamiento	16
2.3.6	Aplicaciones.....	20
2.3.6.1	Caldera por el tipo de combustible utilizado	20
2.3.6.2	Caldera por el tipo de material utilizado para su construcción.....	20
2.3.6.3	Caldera basada en la tecnología de funcionamiento	21
2.3.7	Equipos Auxiliares.....	22
2.3.7.1	Dispositivo de seguridad.....	22
2.3.7.2	Accesorios en general	22
2.3.7.3	Accesorios de Seguridad.....	22
2.3.7.4	Accesorios de limpieza	23
2.4	CALEFONES	23
2.4.1	Definición	23
2.4.2	Características	23
2.4.3	Tipos de calefones	24
2.4.4	Parámetros de funcionamiento	28
2.4.4.1	Caudal de agua	28
2.4.4.2	Presiones de trabajo (agua y gas).....	28
2.4.4.3	Llama piloto (automático) o termocupla.....	28
2.4.4.4	Aire de combustión	28
2.4.4.5	Temperatura	28
2.4.4.6	Potencia del calefón	29
2.4.4.7	Eficiencia del calefón	29
2.4.4.8	Seguridades de funcionamiento	29

2.4.5	Aplicaciones	29
2.4.5.1	Por el caudal de agua	29
2.4.5.2	Por la manera de evacuación de los gases de escape	30
2.4.5.3	Por la tecnología	30
2.4.6	Equipos Auxiliares	30
2.4.6.1	Válvulas de paso	30
2.4.6.2	Llaves de gas	30
2.4.6.3	Dispositivo de seguridad de encendido y apagado	31
2.4.6.4	Dispositivo de encendido	31
2.4.6.5	Regulador de presión de gas	31
2.4.6.6	Limitador de presión de agua	31
2.4.6.7	Dispositivo de regulación de caudal de agua	31
2.4.6.8	Dispositivo de encendido progresivo	32
2.5	SISTEMAS DE CONTROL	32
2.5.1	Termostato	32
2.5.2	Válvulas	33
2.5.2.1	Control de caudal	33
2.5.2.2	Control de presión	35
2.5.2.3	Control de dirección	37
2.5.3	Termocuplas	39
2.5.4	Controlador de temperatura digital	39
CAPITULO 3. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA.....		41
3.1	INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	41
3.2	DEMANDA DE AGUA CALIENTE	41
3.2.1	Demanda por tipo de edificio	41
3.2.2	Demanda por unidades de consumo de agua caliente	43
3.2.3	Selección de la demanda crítica	44
3.2.4	Estudio de la demanda energética	45
3.3	DEMANDA DE AGUA DE RECIRCULACIÓN	46
3.4	TEMPERATURA DE DISEÑO	46
3.5	DETERMINACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS	48
3.5.1	Velocidad del viento y temperatura ambiente	48
3.5.1.1	Velocidad del viento	48

3.5.1.2	Temperatura ambiente	49
3.6	CALDERO.....	50
3.6.1	Tipo de quemador	50
3.6.2	Requerimientos de instalación	51
3.6.3	Sistema de regulación de carga.....	53
3.6.4	Eficiencia.....	54
3.6.5	Inspección inicial para la puesta en marcha del equipo	54
3.6.6	Mantenimiento requerido.....	55
3.6.7	Sistemas de seguridad y control	56
3.6.8	Aspecto económico	57
3.7	CALEFONES	57
3.7.1	Tipo de quemador	58
3.7.2	Requerimientos de instalación	58
3.7.3	Sistema de regulación de carga.....	59
3.7.4	Eficiencia.....	59
3.7.5	Inspección inicial para la puesta en marcha del equipo	60
3.7.6	Mantenimiento requerido.....	60
3.7.7	Sistemas de seguridad y control	60
3.7.8	Aspecto económico	61
3.8	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	62
CAPITULO 4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA.....		69
4.1	DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA.....	69
4.1.1	Parámetros de selección.....	69
4.1.2	Análisis de carga térmica	69
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	71
4.2.1	Selección del material para tubería	71
4.2.2	Dimensionamiento del sistema de la tubería de abastecimiento.....	74
4.2.3	Dimensionamiento de la tubería de recirculación.....	75
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA ACUMULADOR	76
4.4	DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	77
4.4.1	Diseño con acero inoxidable AISI 302	78
4.4.2	Diseño con acero A36 galvanizado por inmersión	83
4.5	DISEÑO Y SELECCIÓN DE AISLANTES.....	86

4.5.1	Aislamiento en la tubería	86
4.5.1.1	Pérdidas de calor en la tubería	86
4.5.1.2	Analogía eléctrica de la tubería.....	89
4.5.1.3	Flujo interno	89
4.5.1.4	Flujo externo	91
4.5.1.5	Cálculo del aislamiento en la tubería.....	92
4.5.1.6	Cálculo del espesor del aislamiento en tubería de abastecimiento.....	93
4.5.1.6.1	Poliuretano	93
4.5.1.6.2	Lana de vidrio.....	96
4.5.1.7	Aislamiento en la tubería de recirculación.....	100
4.5.1.7.1	Poliuretano	100
4.5.1.7.2	Lana de vidrio.....	102
4.5.1.8	Resultados	105
4.5.2	Aislamiento del tanque de almacenamiento	106
4.5.2.1	Análisis	106
4.5.2.1.1	Flujo interno	107
4.5.2.1.2	Flujo externo	108
4.5.2.2	Resultados.....	110
4.5.2.2.1	Acero inoxidable.....	110
4.5.2.2.2	Acero A36 galvanizado	110
4.6	SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBAS A UTILIZARSE	112
4.7	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	115
4.7.1	Tipo de instalación.....	115
4.7.2	Demanda eléctrica.....	115
4.7.3	Características de la red y esquema de control.....	115
4.7.4	Protección de los centros de transformación y circuitos cerrados	117
4.8	RESULTADOS	117
CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS		119
5.1	INSTALACIÓN DEL TRAZADO DE TUBERÍA	119
5.1.1	Instalación del sistema de abastecimiento	119
5.1.2	Instalación del sistema de recirculación	120
5.2	ESPECIFICACIONES DEL CUARTO DE MAQUINAS.....	122
5.3	INSTALACIÓN DE ELEMENTOS.....	124
5.3.1	Instalación del tanque acumulador	124

5.3.2	Instalación de los calefones	126
5.3.3	Instalación del sistema de bombas	127
5.3.4	Conexiones hidráulicas	128
5.4	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	130
5.5	PRUEBAS	132
5.5.1	Pruebas de instalación	132
5.5.2	Pruebas de funcionamiento.....	133
5.5.3	Graficas y análisis	135
CAPITULO 6. MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS DEL SISTEMA A IMPLEMENTARSE		137
6.1	MANTENIMIENTO Y TIPOS DE MANTENIMIENTO A APLICARSE	137
6.1.1	Mantenimiento preventivo	138
6.1.1.1	Fichas técnicas de Mantenimiento	138
6.1.1.1.1	Tanque acumulador	138
6.1.1.1.2	Bomba de recirculación	139
6.1.1.1.3	Calefones	141
6.1.1.1.4	Válvulas y accesorios de seguridad.....	143
6.1.1.1.5	Instalaciones de control	143
6.1.2	Mantenimiento correctivo	143
6.1.2.1	Bombas.....	143
6.1.2.2	Calefones	144
6.1.2.3	Accesorios y demás elementos tomados dentro del mantenimiento correctivo	145
6.2	SISTEMA DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS	146
6.2.1	Fuente de ignición (encendido)	146
6.2.2	Tipos de calor causante	146
6.2.3	Tipos de materiales inflamables.....	147
6.2.4	Lugares donde se pueden iniciar los incendios.....	147
6.2.5	Equipo de seguridad industrial	147
6.2.6	Normas de seguridad industrial.....	148
6.2.6.1	Señalización.....	148
6.2.6.2	Salidas de emergencia.....	149
6.2.6.3	Recomendaciones	149
6.2.6.4	Aspectos Referenciales.....	150

6.2.6.4.1	Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 8: 1986.....	150
6.2.6.4.2	Norma NTE INEN 2 124:98.....	150
6.2.6.4.3	Norma NTE INEN 2 187:99.....	151
6.2.7	Implementación de la seguridad industrial al sistema.....	152
CAPITULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.....		153
7.1	DETERMINACIÓN DE COSTOS.....	153
7.1.1	Materiales.....	153
7.1.2	Mano de obra.....	155
7.1.3	Otros costos.....	156
7.2	CÁLCULO DE PARÁMETROS FINANCIEROS.....	157
7.2.1	Flujo de caja.....	159
7.2.2	TIR Y VAN.....	161
7.2.3	Recuperación de la inversión.....	161
CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		163
8.1	CONCLUSIONES.....	163
8.2	RECOMENDACIONES.....	165
ANEXOS.....		166
ANEXO A: PLANOS.....		167
ANEXO B: DIAGRAMA DE OPERACIONES.....		168
ANEXO C: DIAGRAMA DE PROCESOS.....		169
ANEXO D: NORMAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		170
ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS.....		171
CATÁLOGOS.....		171
ANEXO F: MANUAL DE USUARIO.....		172
ANEXO G: FOTOGRAFÍAS.....		173
BIBLIOGRAFÍA.....		174
MATERIALES CONSULTADOS.....		174
TESIS.....		174
DIRECCIONES DE INTERNET.....		175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Descripción de las partes de una caldera.....	9
Figura 2.2 Esquema de caldera de combustible sólido	12
Figura 2.3 Esquema de una caldera de combustible líquido	13
Figura 2.4 Descripción de las partes de una caldera de combustible gaseoso	14
Figura 2.5 Caldera de fundición.....	15
Figura 2.6 Caldera de acero	16
Figura 2.7 Partes de la caldera mural.....	17
Figura 2.8 Foto caldera clásica.....	17
Figura 2.9 Esquema de caldera de grupo térmico.....	18
Figura 2.10 Esquema de caldera de condensación.....	19
Figura 2.11 Esquema de pasos de humo para una caldera de alto rendimiento..	19
Figura 2.12 Calefón de tiro forzado	24
Figura 2.13 Calefón de tiro natural	25
Figura 2.14 Calefón de cámara abierta	25
Figura 2.15 Esquema de un calentador de paso continuo (seguridad termocupla)	26
Figura 2.16 Esquema de un calentador de paso continuo (control electrónico)	26
Figura 2.17 Esquema de un calentador acumulativo.....	27
Figura 2.18 Esquema de termostato	32
Figura 2.19 Válvula de compuerta.....	33
Figura 2.20 Válvula de macho	34
Figura 2.21 Válvula globo	34
Figura 2.22 Válvula de bola	34
Figura 2.23 Válvula de alivio.....	35
Figura 2.24 Esquema válvula de seguridad de acción directa.....	35
Figura 2.25 Esquema válvula de seguridad accionada por piloto.....	36
Figura 2.26 Válvula de seguridad equilibrada por fuelle y por pistón	37
Figura 2.27 Válvula check de columpio	38
Figura 2.28 Válvula check de elevación	38
Figura 3.1 Funcionamiento del quemador de las calderas.	51
Figura 3.2 Requerimientos de espacio de cuarto de máquinas.....	52

Figura 3.3 Rendimiento de acuerdo a la temperatura media en la caldera	54
Figura 3.4 Sellos de entidades certificadoras de construcción de calderos	57
Figura 3.5 Esquema de quemador atmosférico	58
Figura 4.1 Esquema básico del sistema de distribución y recirculación de agua caliente.....	71
Figura 4.2 Perdida por fricción en tubería de cobre (Tipo K, L, M) para agua ..	74
Figura 4.3 Cuadro para determinar la dimensión óptima del tanque sometido a presión interna (Acero Inoxidable)	80
Figura 4.4 Cuadro para determinar la dimensión óptima del tanque sometido a presión interna (Acero A36 Galvanizado por inmersión).....	84
Figura 4.5 Esquema de la tubería de cobre con Aislamiento.....	89
Figura 4.6 Analogía eléctrica de transferencia de calor en la tubería de cobre	89
Figura 4.7 Esquemas de referencia para el cálculo del espesor del aislante. Diferentes materiales.	96
Figura 4.8 Esquema del tanque con aislamiento	106
Figura 4.9 Analogía eléctrica de transferencia de calor en el tanque.....	106
Figura 4.10 Curva de funcionamiento de las bombas Pedrollo.....	114
Figura 4.11 Esquema eléctrico del control automático del sistema.....	116
Figura 5.1 Esquema de ventilación del cuarto de maquinas.....	124
Figura 5.2 Esquema de funcionamiento del sistema de agua caliente	129

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1 Instalación del sistema de tuberías	121
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Presión de agua de acuerdo al caudal	23
Tabla 2.2 Tipos de termocuplas y rangos de aplicación	39
Tabla 3.1 Demanda de agua caliente en hoteles y restaurantes (60 °C)	42
Tabla 3.2 Agua caliente (60 °C) del hotel.....	43
Tabla 3.3 Demanda de agua caliente por unidades de consumo (60 °C)	43
Tabla 3.4 Demanda de Agua Caliente por unidades de consumo en el edificio “CRYOM”	44
Tabla 3.5 Temperaturas representativas de agua caliente	47
Tabla 3.6 Velocidad del viento en la ciudad de Quito	48
Tabla 3.7 Temperatura media mínima en la ciudad de Quito	49
Tabla 3.8 Consumos nominales de gas	59
Tabla 3.9 Consumos nominales de gas	61
Tabla 3.10 Parámetros característicos de los equipos a seleccionarse	62
Tabla 3.11 Cálculo del Factor de peso.....	64
Tabla 3.12 Determinación del Factor de evaluación (RF)	65
Tabla 3.13 Factor de evaluación en base el nivel de seguridad	65
Tabla 3.14 Factor de evaluación en base al precio.....	65
Tabla 3.15 Factor de evaluación en base al espaciamiento en el cuarto de máquinas	66
Tabla 3.16 Factor de evaluación en la eficiencia del equipo	66
Tabla 3.17 Factor de evaluación de acuerdo a la facilidad de mto.	66
Tabla 3.18 Factor de evaluación de acuerdo a la facilidad de puesta en marcha	67
Tabla 3.19 Matriz de decisión para la selección de la mejor alternativa	67
Tabla 4.1 Cálculo del Factor de peso.....	72
Tabla 4.2 Determinación del Factor de evaluación (RF)	73
Tabla 4.3 Matriz de decisión para la selección del material de tubería	73
Tabla 4.4 Tanto por ciento, a tomar del gasto, en tramos de columnas.....	76
Tabla 4.5 Dimensiones del tanque. Diferentes materiales.	86
Tabla 4.6 Pérdidas de calor en tuberías de abastecimiento y recirculación de agua caliente sin aislamiento	87

Tabla 4.7 Constantes de la ecuación 4.14 para el cilindro circular en flujo cruzado.....	92
Tabla 4.8 Espesores de aislamiento requeridos para la tubería.....	105
Tabla 4.9 Pérdidas de calor en tubería de acuerdo a espesores comerciales	106
Tabla 4.10 Espesores de poliuretano requeridos para tanque de almacenamiento	111
Tabla 4.11 Pérdida de calor en tubería (Temperatura Interna 60°C y Ambiente de 20 °C)	112
Tabla 4.12 Lista de materiales.....	117
Tabla 5.1 Materiales para instalación hidráulica del sistema de abastecimiento	120
Tabla 5.2 Materiales para instalación hidráulica del sistema de recirculación	122
Tabla 5.3 Ventilaciones para la instalación de calentadores de agua de paso continuo y acumulativo	123
Tabla 5.4 Materiales utilizados para instalación tanque acumulador.....	125
Tabla 5.5 Materiales utilizados para la instalación de los calefones.....	126
Tabla 5.6 Materiales utilizados para instalación de las bombas de recirculación	127
Tabla 5.7 Materiales utilizados para instalación del sistema hidráulico	129
Tabla 5.8 Materiales utilizados para instalación del sistema de control.....	131
Tabla 5.9 Parámetros de programación del controlador de temperatura simple	132
Tabla 5.10 Resultados de las pruebas de funcionamiento del sistema	134
Tabla 6.1 Actividades de mantenimiento del tanque acumulador.....	139
Tabla 6.2 Actividades de mantenimiento de la bomba	140
Tabla 6.3 Actividades de mantenimiento del calefón.....	142
Tabla 6.4 Actividades de mantenimiento correctivo de la bomba	144
Tabla 6.5 Actividades de mantenimiento correctivo de los calefones.....	145
Tabla 6.6 Actividades de mantenimiento correctivo de los accesorios	146
Tabla 6.7 El agente extintor según clases de fuego	148
Tabla 6.8 Señalización requerida para el cuarto de maquinas que opera con calentadores a gas	149
Tabla 7.1 Costo de materiales para instalación de calefones con sus entradas y salidas	153

Tabla 7.2 Costo de materiales para instalación de las bombas de recirculación	153
Tabla 7.3 Costo de materiales para instalación del tanque de almacenamiento	154
Tabla 7.4 Costo de materiales para instalación del sistema de agua caliente	154
Tabla 7.5 Costo de Mano de Obra para instalación del sistema	156
Tabla 7.6 Costo de mantenimiento del Sistema	156
Tabla 7.7 Otros costos relacionados al Diseño e instalación del Sistema	157
Tabla 7.8 Costo de GLP necesario para calentar el agua durante un año	158
Tabla 7.9 Costo Total de Implementación	159
Tabla 7.10 Flujo Neto de Caja	160
Tabla 7.11 Determinación del TIR y VAN	161

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 Consumo de GLP vs Tiempo	135
Gráfico 5.2 Temperatura (calefón) vs Tiempo	136
Gráfico 7.1 Recuperación de inversión.....	162

RESUMEN

En los momentos actuales de crecimiento demográfico y por ende como consecuencia de este crecimiento se da también el crecimiento de la construcción de espacios de vivienda que brinden a demás de los servicios básicos, servicios adicionales que mejoren la calidad de vida de las personas, dentro de estos servicios consta, el aprovisionamiento de agua caliente que a nuestra manera de ver tiene que ser totalmente económico y eficiente en el aprovechamiento de recursos.

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema de agua caliente centralizado para el edificio “CRYOM” el cual consta de 8 pisos divididos de la siguiente manera:

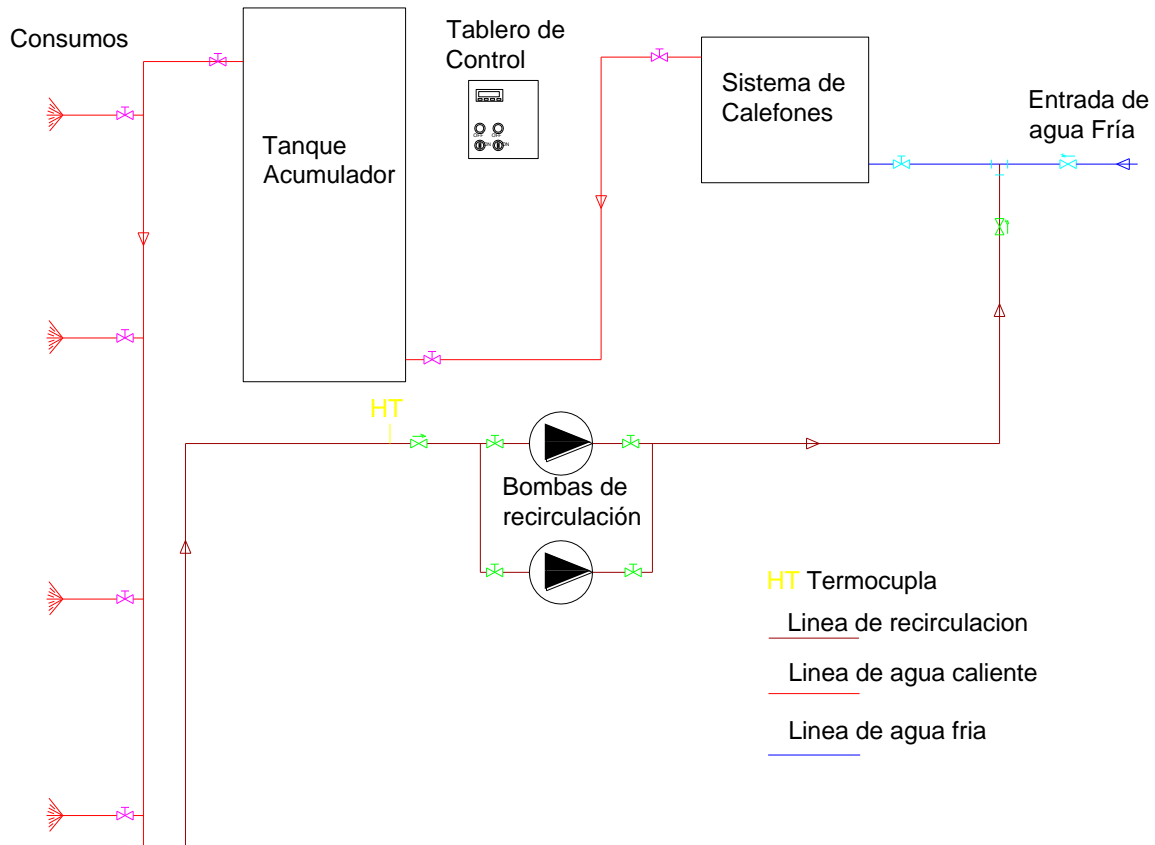
Los pisos del 1 al 4 son oficinas las cuales no van a estar provisto de este servicio y los pisos del 5 al 8 constan de trece departamentos en los que es necesario dotar del servicio de agua caliente.

El estudio consiste en realizar un análisis comparativo entre el uso de un caldero y un sistema de calefones para determinar cual de estas dos opciones resulta más eficiente económicamente hablando, sin dejar de lado aspectos como tiempo de vida del sistema, instalaciones, mantenimiento y seguridad.

Para el presente diseño se observaron normas tanto nacionales (NTE INEN) como internacionales (ASHRAE) las cuales establecen lineamientos que se deben tomar en cuenta tratando en lo posible de mantener los mas altos niveles de seguridad y salubridad lo que garantiza su uso, de esta investigación se pudo determinar que no existen normas nacionales que rijan el diseño, construcción y uso de agua caliente sanitaria con lo cual esperamos que este trabajo sirva de apoyo para la elaboración de una norma que de las premisas básicas para los aspectos antes mencionados.

El diseño y construcción del sistema de agua caliente a más de determinar un sistema económico se trata de aprovechar los recursos por medio de la construcción de un sistema de recirculación el cual tiene el objetivo de mantener el agua caliente a una temperatura optima para el uso sin sobrepasar los limites máximos y mínimos recomendados.

En el siguiente esquema se muestra el funcionamiento del sistema construido.



Para la instalación del sistema de tuberías se utilizó un material que resista las condiciones impuestas por el servicio, este material es el cobre tipo “M” el cual es recomendado para realizar este tipo de instalaciones.

El sistema construido consta de un sistema de seis calefones conectados en paralelo que calientan el agua, una vez calentada el agua esta pasa a un tanque acumulador que almacena el agua para su posterior uso en los departamentos que lo requieran, además el sistema cuenta con dos bombas conectadas en paralelo las cumplen con el objetivo de hacer recircular el agua del tanque y del sistema de tuberías cuando esta se ha experimentado una baja de temperatura, para el funcionamiento de esto es necesario estar apoyado de un tablero de control el cual tiene la función de controlar los límites mínimos y máximos de temperatura por medio de una termocupla ubicada en el último punto de consumo cuya información es recibida en un controlador diferencial, que compara con los valores programados y si este valor sale de límites este controlador da la señal de encendido o apagado de la o las bombas.

Es de importancia destacar que a pesar que el proyecto es rentable, la recuperación de la inversión requiere de un largo tiempo, por ser un sistema que provee un servicio, el cual va encaminado a mejorar la calidad de vida de los habitantes de cada uno de los departamentos provistos de este servicio.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En el diseño y construcción de viviendas a más de los servicios básicos con los que estas deben poseer se hace indispensable el uso de agua caliente, por lo que las organizaciones vinculadas con este servicio y a fin contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, MASTER CONTROL ENGINEERING no ha descuidado este servicio por lo que en la construcción del edificio “CRYOM” se ha implementado la instalación de este sistema, el cual, siendo centralizado, debe ser totalmente eficiente y efectivo en el uso de los recursos disponibles.

En el mercado existen diferentes alternativas para el suministro de agua caliente, en este proyecto se realizó un estudio comparativo entre el uso de calderos y calefones con la finalidad de determinar cual de las ofertas es la más conveniente de acuerdo a los requerimientos de sus habitantes, sin dejar de lado el aspecto medioambiental.

El desarrollo del proyecto tuvo su aplicación en el edificio antes mencionado, el cual se encuentra ubicado en el sector residencial de La Mariscal de la ciudad de Quito. El edificio con un total de ocho pisos, 4 pisos corresponden a oficinas que no dispondrán del servicio de agua caliente; y los 4 pisos siguientes, que son Departamentos de Lujo contarán con los servicios de primera categoría.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El adecuado estudio, análisis y comparaciones de ofertas en el mercado, para este servicio, será preponderantemente el disminuir los costos de construcción del sistema de suministro de agua caliente mediante la selección adecuada de el/los equipo(s) a utilizarse para el abastecimiento de este servicio, ya que este es el factor predominante que interesa a la empresa como proveedora del servicio.

Es importante destacar que el proceso de construcción de este sistema depende de varios factores, que determinan el costo del mismo. Entre estos podemos citar:

- Proveedores de equipos.
- Técnicos de instalación.
- Costo de materiales.
- Normas ambientales
- Mantenimiento

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un sistema centralizado de agua caliente con recirculación para el edificio “CRYOM”.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio comparativo entre la utilización de un caldero y un sistema de calefones para que el proyecto sea eficiente.
- Definir normas que garanticen que el sistema cumpla con los requerimientos de seguridad y medioambientales.
- Implementar el control automático de funcionamiento del sistema apoyado por un correcto plan de mantenimiento.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto diseña y construye un sistema de calentamiento de agua mediante el uso adecuado y económico de G.L.P¹ como fuente energética principal.

Parte de este proyecto consiste en el Diseño Hidráulico que consta de las siguientes partes:

- Sistema de abastecimiento principal de agua caliente.- Trazado e instalación de tubería desde el cuarto de máquinas hasta las entradas para distribución a cada departamento.

¹ G.L.P. Gas Licuado de Petróleo comercial.

- Sistema de recirculación.- A fin de disponer de agua caliente de manera inmediata en cada punto de consumo; se procederá de igual forma que en el sistema anterior, es decir lo referente al trazado e instalación, con la diferencia que irá a continuación de la tubería de abastecimiento principal hasta llegar, nuevamente, al cuarto de máquinas.

Posteriormente se seleccionarán e instalarán los equipos necesarios para el calentamiento y recirculación del agua, resultado de un estudio entre calefones a gas y calderos, el mismo que disponiendo de un tanque acumulador ayudará a abastecer de agua caliente de forma continua, con control automático.

El sistema se lo ubicará en un cuarto totalmente adecuado para su funcionamiento.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

En la actualidad la gran demanda de construcción de viviendas en áreas residenciales, implican también la demanda de servicios complementarios que mejoren la calidad de vida de los usuarios; uno de estos servicios es la provisión de agua caliente, cumpliendo requerimientos técnicos y medio ambientales que conlleven a la instalación, operación y control adecuados, proporcionando de esta manera el ahorro de recursos.

Este trabajo va encaminado a solucionar la necesidad, en el campo de la vivienda, del diseño y construcción de un sistema centralizado de agua caliente. El edificio "CRYOM", dispondrá de un sistema totalmente eficiente y efectivo a la altura de la sociedad moderna.

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIONES BÁSICAS

2.1.1 ENERGÍA Y TEMPERATURA

Tanto la energía como la temperatura son dos conceptos que en el desarrollo de este proyecto estarán directamente relacionados. El uso adecuado y racional de las energías involucradas en el calentamiento del agua serán las que determinen la eficiencia del sistema.

Normalmente, la temperatura del agua para aplicaciones domésticas, oscila entre los 40 y 60 °C.

2.1.2 MEDICIÓN DE CALOR

Las dimensiones básicas para la medida de la transferencia de calor son: La longitud [L], Masa [M], Tiempo[t] y Temperatura [T], y las demás cantidades son simplemente una derivación de estas cuatro dimensiones básicas.

La unidad de medida de la transferencia del calor en el sistema internacional de unidades es el joule (J) que dimensionalmente se expresa como:

$$J = [M \cdot L^2 \cdot t^{-2}]$$

Así entonces 4186 (J) son necesarios para elevar la temperatura en un grado centígrado (°C) de una libra de agua.

Para los cálculos de diseño y selección se utilizará el sistema internacional así como también el sistema Ingles por tener todavía vigencia el mercado comercial.

2.1.3 PRESIÓN

Es la fuerza ejercida por un cuerpo en una unidad de superficie. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal (Pa) que equivale a la fuerza de Newton (N) ejercida sobre un metro cuadrado (m²). A su vez un Newton es la fuerza capaz de provocar en un kilogramo (kg), una aceleración de un metro por segundo al cuadrado (m/seg²).

- a) Presión Atmosférica.- Es la presión que ejerce el peso del aire sobre los cuerpos. A medida que es mayor la altitud la presión disminuye.
- b) Presión Relativa.- Es la diferencia de presión en un recipiente con respecto a la atmosférica.

2.1.4 CAUDAL

Es el volumen de un fluido (líquido o gaseoso) que circula por un conducto en una unidad de tiempo. La unidad de uso más común en lo que respecta a los gases es el metro cúbico por hora (m^3/h), para los líquidos es el litro por minuto (l/min).

El caudal tiene una importancia relevante para cálculo en redes de distribución y la selección del tamaño del calentador de agua.

2.1.5 DENSIDAD

Es la cantidad de masa que tiene un cuerpo por unidad de volumen. La unidad de densidad en el Sistema Internacional es el kg/m^3 .

Para los líquidos y sólidos se toma como unidad de comparación la densidad del agua, en tanto que para los gases la base comparativa es el aire, (su densidad absoluta es $1,293 kg/m^3$). La comparación con respecto al agua de un sólido o líquido es más o menos pesado que este, se conoce como densidad relativa.

2.1.6 COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro llamado comburente (generalmente oxígeno en forma de O_2 gaseoso), desprendiendo calor y gases de combustión típicos como el vapor de agua, CO_2 entre otros; dependiendo del tipo de combustible quemado, la combustión es una reacción exotérmica debido a que en su descomposición se libera calor y luz.

Para que se lleve a cabo la combustión es necesario disponer de tres elementos:

- a) Combustible.- es cualquier materia capaz de liberar energía cuando su estructura física o química es cambiada, desprendiendo al mismo tiempo energía de su forma potencial a una forma utilizable.

- b) Comburente.- es una mezcla de gases en donde el oxígeno se encuentra en una proporción tal que se pueda producir la combustión.
- c) Llama.- es el factor que inicia la combustión, en otras palabras es el foco calórico.

2.1.7 POTENCIA

Es la cantidad de energía (térmica) absorbida por el agua durante un tiempo determinado, se mide en kilowatios (Kw).

2.2 CONCEPTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es una Ciencia que forma parte de la Termodinámica, esta nos permite realizar cuantificaciones de transiciones de energía que se dan entre diferentes sistemas térmicos, entre si o con el ambiente.

El calor (energía Térmica) puede ser transferido de un sistema a otro por tres formas diferentes:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.

2.2.1 CONDUCCIÓN

Es una forma de transferencia de calor que se da por el contacto de cuerpos sólidos que se encuentran a diferentes temperaturas, es decir que existe la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas por una interacción entre las mismas, la cantidad de energía que se puede transferir por esta forma esta directamente relacionada con:

- El área de contacto.
- La diferencia de temperatura.
- El Coeficiente de conductividad térmica propio de cada material.

2.2.2 CONVECCIÓN

Es una forma de transferencia de calor que se da entre una superficie limitante sólida en contacto con un fluido en movimiento cuando están a diferentes

temperaturas, además por la necesidad del hombre en mejorar o hacer mas eficientes los sistemas, este utiliza dos formas de convección.

La convección libre que ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por una agitación mecánica, es decir es producida por medios naturales. Y la convección forzada donde el fluido es agitado por una acción mecánica que obliga a este a pasar por zonas que requieren ser calentadas o enfriadas de acuerdo a los requerimientos.

La energía que se transmite por cualquiera de estos dos métodos de convección depende de:

- El área de contacto.
- La diferencia de temperatura.
- Velocidad del fluido.

2.2.3 RADIACIÓN

La radiación térmica es una forma de energía que se emite por un cuerpo que se encuentra a una temperatura finita en forma de ondas electromagnéticas, esta forma de transferencia a diferencia de las dos anteriores siempre existe en presencia o ausencia de un medio que lo transporte.

2.3 CALDERAS

2.3.1 DEFINICIÓN

Es un aparato a presión que dentro de sus capacidades genera y entrega agua o vapor en la cantidad, calidad y condiciones requeridas por el usuario final, aquí el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en calor utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS

Las Calderas o Generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan o calientan el agua para aplicaciones industriales, comerciales o domesticas.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas

en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

2.3.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA

El esquema de la figura 2.1 describe las partes de una caldera.

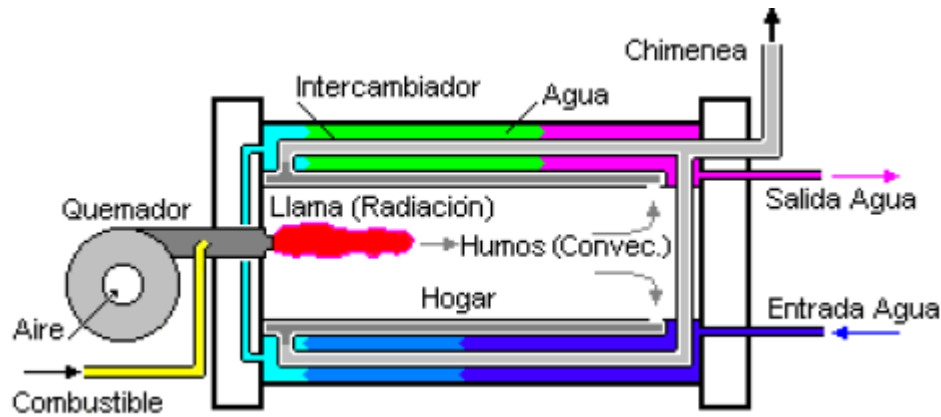


Figura 2.1 Descripción de las partes de una caldera
Fuente: www.diee.unican.es/pdf/007%20Calderas.pdf

Cuerpo: Dependiendo del modelo, tipo y marca, el tamaño del cuerpo de una caldera varía. El cuerpo puede ser cilíndrico o rectangular, las más comunes de encontrar tienen un cuerpo cilíndrico, hecho de chapa de acero, herméticamente cerrado con el objeto de almacenar agua y vapor, se complementa con espejos, envolventes y mamparas². En el caso de una caldera tubos de agua, el cuerpo lo forman los domos y la envolvente, de manera que adquiere una forma rectangular.

Hogar: Es la parte de la caldera donde se produce la combustión. El hogar en las calderas pirotubulares es un tubo de gran diámetro con perfil corrugado o liso. En las calderas acuotubulares el hogar se ubica en la cavidad que forman los tubos que comunican a los domos.

Chimenea: Es un ducto por el cual se desalojan los gases de combustión a un lugar conveniente y seguro. Además cumple con ser un sistema efectivo de dispersión de contaminantes.

Accesorios: Los accesorios de una caldera son todos los dispositivos de operación, control y sobre todo seguridad que hacen posible un funcionamiento confiable y sencillo del equipo.

² Mampara: Puerta interior ligera, de la misma estructura.

2.3.4 TIPOS DE CALDERAS

El término "caldera" es muy general, y va desde la caldera de pared de usos particulares (de algunos Kilovatios) a la central térmica (de varios cientos de megavatios). A continuación presentamos la clasificación de las calderas teniendo en cuenta sus parámetros más representativos.

Según la tecnología utilizada para su funcionamiento:

- Murales.
- Clásica (caldera y quemador).
- Grupo térmico (caldera y acumulador).
- De condensación.
- De alto rendimiento.

Según La Situación del Hogar:

- Interna
- Externa

Según los Materiales:

- Acero especiales (Fuentes).
- Hierro colado (Calefacción).

Según su Diseño:

- Pirotubulares.
- Acuatubulares.

Según el Combustible:

- Sólido.
- Líquido.
- Gaseoso.

Según la Combustión:

- Fuego.
- Nuclear.
- Eléctrica.

Según La Potencia:

- Baja (<10 Tn/h)
- Media (10-50 Tn/h)
- Alta (50-150 Tn/h)
- Muy Alta (>150 Tn/h)

Según Forma y Posición de los Tubos:

- Rectos.
- Curvos.
- Horizontales.
- Verticales.
- Inclínados.

Según la Circulación:

- Natural.
- Forzada.

De la clasificación realizada las más importantes son las que corresponden al: *Tipo de combustible utilizado, la del material utilizado para su construcción y la basada en la tecnología de la caldera*, las demás se consideran a nivel de estudio como una subdivisión de los grupos que se han mencionado.

2.3.5 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

2.3.5.1 Caldera por el tipo de combustible utilizado

Sólidos.- Son notablemente diferentes a las calderas de combustibles automáticos (líquido y gas) puesto que el combustible sólido se quema mucho más lento que el combustible líquido o gaseoso, por tanto se requiere de una zona de combustión grande para una misma producción de calor.

En las de combustibles sólidos, el hogar consta de dos compartimentos superpuestos. En el superior, se coloca el combustible sobre una parrilla. El inferior, cenicero, recibe las cenizas del combustible. Por la puerta de éste entra el aire necesario para la combustión y los humos se extraen por un conducto (humero o chimenea) vertical, por tiro térmico. El propio tiro térmico

es que crea en el hogar una falta de presión que aspira el aire de la combustión. La regulación de la potencia se hace abriendo o cerrando la entrada del aire, la figura 2.2 muestra el esquema de la caldera de combustible.

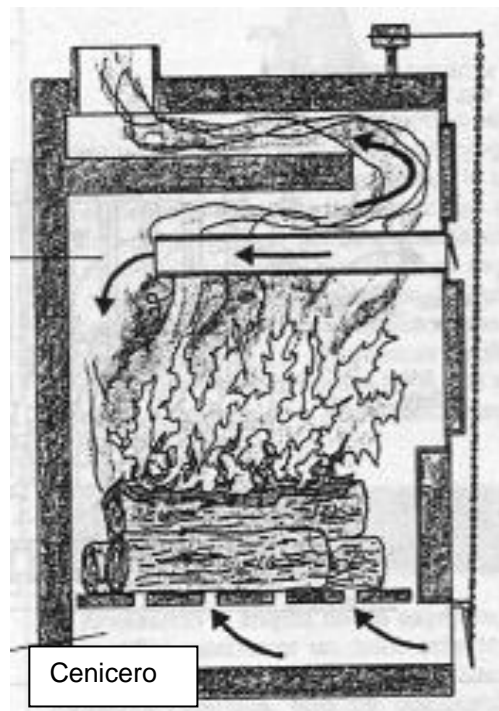


Figura 2.2 Esquema de caldera de combustible sólido
Fuente: Biblioteca Atrium de las Instalaciones Vol. 4

Para asegurar la combustión completa del combustible se aporta con una mayor cantidad de aire creando mayores zonas de flujo de gases de combustión, además los combustibles sólidos requieren de una temperatura superior en la zona de combustión para facilitar el quemado completo del combustible.

Líquidos (figura 2.3).- Para este tipo de combustible se utiliza un quemador mecánico donde el combustible debe ser pulverizado o vaporizado para conseguir que la mezcla reaccione con el aire y produzca el efecto deseado. En resumen, una caldera de gasóleo (combustible líquido) consiste en un quemador cerrado rodeado de tuberías por las que circula el agua. Al encender la caldera, el gasóleo entra pulverizado a la cámara de combustión, se quema, y el calor así generado calienta el agua que circula por las tuberías en contacto con la cámara. Los gases producidos por la combustión salen directamente del quemador hacia la chimenea de evacuación y no se escapan hacia el aire de la

habitación. En ese sentido, son más seguras que una caldera de gas de combustión abierta. De todas formas, es necesario que el local en el que estén instaladas tenga ventilación. Estos aparatos pueden proporcionarnos calefacción sola o combinada con producción de agua caliente.

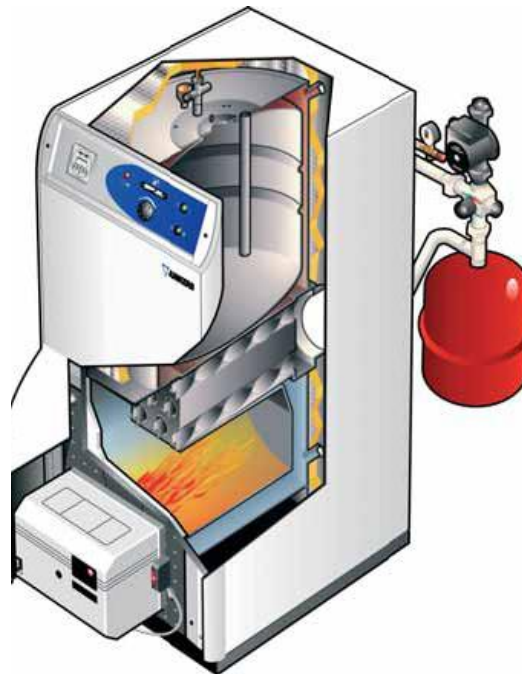


Figura 2.3 Esquema de una caldera de combustible líquido
Fuente: www.junkers.es

Gaseosos.- De combustión más fácil pero más peligrosa que los líquidos. Pueden utilizar indistintamente los tres tipos de gases: GLP, Gas natural y Propano. Los quemadores para este tipo de caldera pueden ser atmosféricos y mecánicos esto depende de la aplicación de que se le vaya a dar a la caldera, si es para servicio doméstico el quemador será simplemente atmosférico pero si la aplicación es industrial este tendrá que ser mecánico, la siguiente figura muestra un esquema de las partes de una caldera de combustible gaseoso.

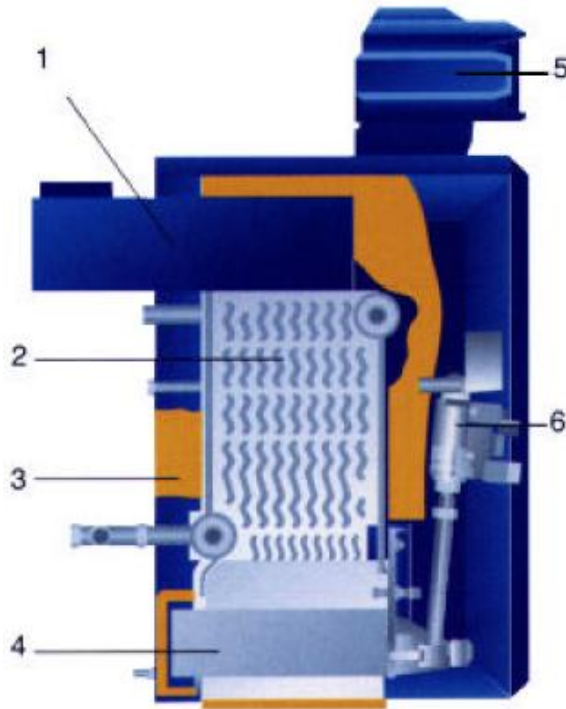


Figura 2.4 Descripción de las partes de una caldera de combustible gaseoso
Fuente: www.buderus.net

- 1 Tiro con desviador integral para la dilución de gases del tubo de chimenea.
- 2 Sección de la caldera: Hierro fundido flexible con aletas contorneadas.
- 3 Camisa esmaltada para aislar la caldera.
- 4 Quemadores de la premezcla de acero inoxidable con fiabilidad alta.
- 5 Control Ecomatic optativo para mejor comodidad y economía de combustible.
- 6 La válvula del gas con ignición intermitente.

2.3.5.2 Caldera por el tipo de material utilizado para su construcción

Calderas de fundición.-Son unidades de calefacción de baja presión, construidas por elementos en secciones, la transmisión de calor tiene lugar en el hogar, la cual posee un área de intercambio pequeña y rendimiento bajo, tienen poca pérdida de carga en los humos y por ello suelen ser de tiro natural. Por medio de la técnica Thermostream se consigue un alto grado de protección contra la condensación y una distribución uniforme de la temperatura en la caldera. Funcionado a bajas temperaturas de retorno y con reducido caudal de recirculación por caldera, como resultado se obtiene un rendimiento normalizado del 95%.

La técnica Thermostream se basa en la mezcla del agua fría de retorno con el agua caliente de impulsión en el interior de la caldera. El aumento de la temperatura del agua de retorno tiene lugar en la zona superior de la caldera de calefacción. Por ello, el agua de retorno alcanza un nivel de temperatura más elevado antes de circular por las superficies de calefacción. Con ello se evita un brusco cambio térmico en las superficies de calefacción aunque entre repentinamente agua fría de retorno.

La fotografía de la Figura 2.5 muestra un tipo de Caldera de Fundición



Figura 2.5 Caldera de Fundición
Fuente: www.buderus.es

Calderas de acero.- Pueden ser usados con combustibles líquidos o gaseosos, por lo que tienen una mayor superficie de contacto y su rendimiento es mejor en comparación con las de fundición.

En el mercado están disponibles en una capacidad de 71 hasta 19.200 Kw en muchos casos esto depende del tipo de fabricante y los requerimientos del cliente. Permite un máximo ahorro de energía y reducidas emisiones contaminantes, ofreciendo a su vez un alto confort, manejo sencillo y una larga vida útil de su caldera.

Las calderas de acero con efecto Thermostream ofrecen un eficaz diseño de su superficie de intercambio, las bajas temperaturas de gas de escape, el buen aislamiento, las óptimas condiciones de combustión permiten alcanzar un rendimiento de hasta el 95%. El gráfico de la figura 2.6 muestra este tipo de caldero.



Figura 2.6 Caldera de Acero
Fuente: www.buderus.es

2.3.5.3 Caldera basada en la tecnología de funcionamiento

Murales.- Incluyen, de manera compacta, todos los elementos requeridos en una central térmica.

Son calderas pequeñas, lo cual hace que posea limitaciones en el tamaño del intercambiador de calor (aletas, turbuladores³), la pérdida de carga en los humos es crítica, reduce el agua contenida, disminuye el tiempo de respuesta lo que hace más inestable la temperatura de salida del agua; por su diseño disminuyen las pérdidas térmicas por la envolvente.

Las calderas de este tipo han incrementando su capacidad, llegando hasta 60 kw, también se permite la asociación de varias calderas murales en paralelo, algunas presentan microacumulación para el A.C.S⁴. En la figura 2.7 se muestra las partes de una Caldera Mural

³ Turbulador: aletas que ayudan a incrementar la fricción del aire a través de la superficie por la que se mueven.

⁴ ACS: Agua de Consumo Sanitario

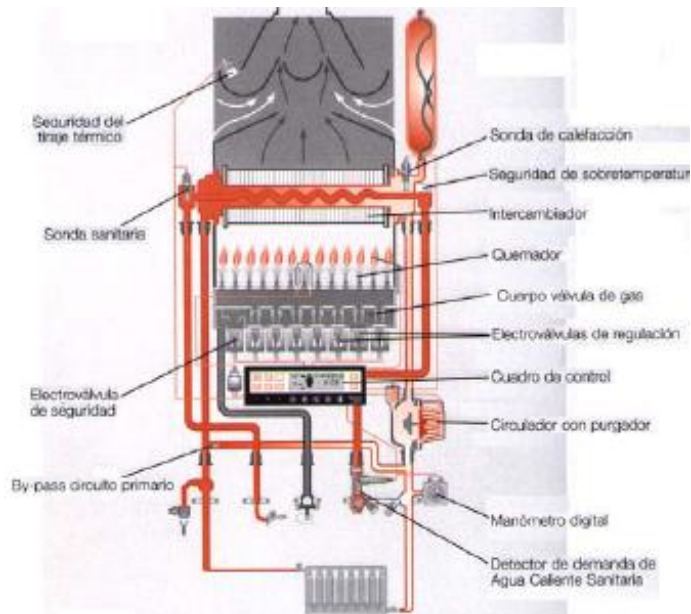


Figura 2.7 Partes de la Caldera Mural
Fuente: www.diee.unican.es/pdf/007%20Calderas.pdf

Clásica.- Es un conjunto formado por una caldera y quemador, los mismos que se pueden adquirir por separado, es decir, el usuario elige el quemador o caldera más apropiada de acuerdo a sus necesidades.

La caldera puede o no tener quemador en función del tipo de combustible utilizado, cuando se utiliza quemador la temperatura que puede alcanzar la llama y los gases de combustión en la cámara de combustión es del orden de los 1800°C y depende de varios parámetros, principalmente la relación aire combustible.

La salida de los gases producidos por la combustión dentro de la caldera tienen un recorrido sinuoso y largo por la cámara de intercambio de calor pudiendo llegar a los rangos de 200 a 260°C. La figura 2.8 muestra la caldera clásica



Figura 2.8 Foto caldera clásica
Fuente: www.buderus.es

Grupo térmico (caldera y acumulador) Figura 2.9.- Son elementos que se encuentran en el mercado formando un solo bloque. Permite conseguir un rápido calentamiento del agua de consumo, además posee un termostato que cuando se alcanza la temperatura deseada, el circulador se para automáticamente quedando independizado el servicio de ACS.

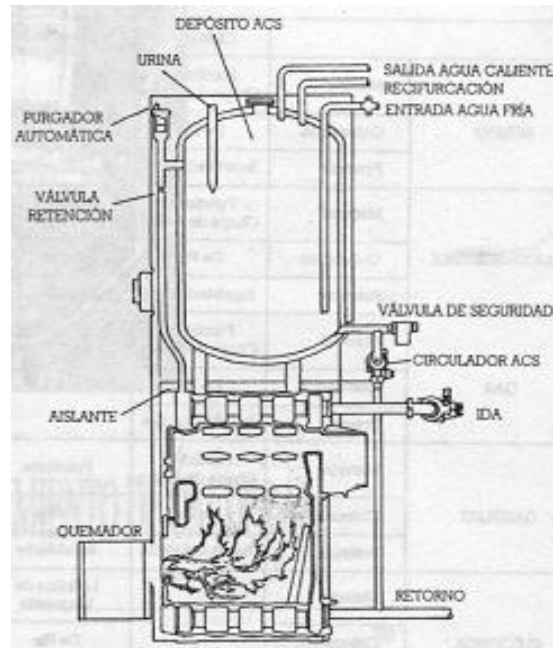


Figura 2.9 Esquema de Caldera de Grupo Térmico
Fuente: Biblioteca Atrium de las Instalaciones Vol. 4

De condensación (Figura 2.10).- Se basa en recuperar en los productos de combustión, el calor latente⁵ que corresponde al agua engendrada y vaporizada en el momento de la combustión del gas. Para conseguirlo los humos atraviesan el cambiador que irrigado por el agua de retorno (40 a 50)°C descienden su temperatura por debajo de la temperatura de rocío (53°C para el gas natural), y produce la condensación del vapor de agua contenido en los productos de combustión, estas calorías recuperadas son utilizadas para recalentar el circuito de calefacción lo cual mejora el rendimiento de la caldera. La importancia de las superficies de intercambio de calor (doble en relación con una caldera clásica) es tal, que el tiro natural es muy débil en las paradas y las pérdidas por barrido son casi nulas.

⁵ Calor latente: energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o líquido a gaseoso (calor latente de vaporización).

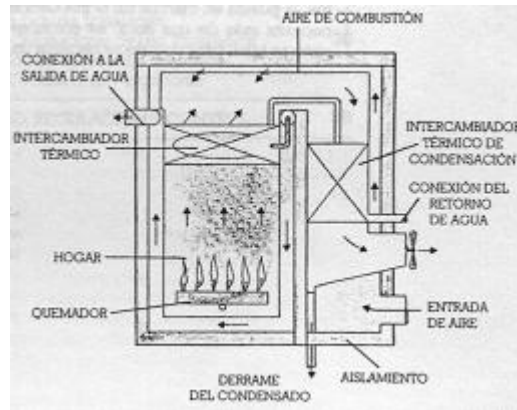


Figura 2.10 Esquema de Caldera de Condensación
Fuente: Biblioteca Atrium de las Instalaciones Vol. 4

De alto rendimiento (figura 2.11).- Son consideradas así porque su coeficiente de aprovechamiento sobrepasa el 90% sobre el poder calórico inferior, esto se logra gracias a una tecnología en las que los pasos de humos permiten retener al máximo el calor de los gases de combustión, lo cual implica tener una cámara de combustión de gran superficie. Posee además un microprocesador para adaptar automáticamente la potencia a las necesidades de confort térmico.

Este alto rendimiento se consigue implementando un sistema automático que permita controlar las temperaturas y presiones dentro de la caldera para evitar de esta manera las pérdidas de calor al ambiente.

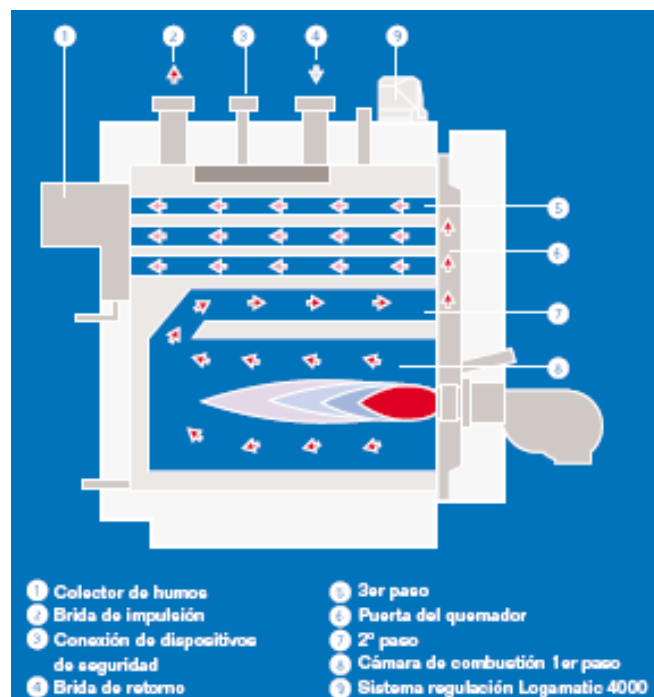


Figura 2.11 Esquema de pasos de humo para una caldera de alto rendimiento
Fuente: www.buderus.es

2.3.6 APLICACIONES

2.3.6.1 Caldera por el tipo de combustible utilizado

Sólido.- Actualmente están en desuso. Las aplicaciones que actualmente se les esta dando son mas de uso domestico, es decir para quemar maderos, funcionando mas como una especie de chimenea

Líquido.- Funcionan de forma parecida a una caldera de gas y resultan casi igual de económicas, pero hay que tener espacio para instalar el depósito de combustible.

El gasóleo no es la opción más económica según estudios sobre costes de calefacción y agua caliente sanitaria, pero puede resultar interesante en lugares donde no hay distribución de gas, especialmente, si la zona es muy fría.

Los servicios más comunes para este tipo de caldera son:

- Sólo calefacción
- Calefacción y agua caliente
- Sólo agua caliente

Gaseoso.- Las calderas tradicionales de gas pueden ser para instalaciones internas o externas, murales y de suelo, para calefacción y producción de agua caliente sanitaria (tanto con intercambiador rápido como con acumulador).

2.3.6.2 Caldera por el tipo de material utilizado para su construcción

De Hierro fundido.- Este tipo de calderas se emplea en sistemas de calefacción con vapor (1 bar. Máximo), agua caliente (2 bar. 121°C Máximo) de baja presión para viviendas y edificios públicos, comerciales e industriales pequeños e intermedios.

Sus aplicaciones son, entre otras, las de calefacción y calentamiento de agua sanitaria, tanto para instalaciones individuales como colectivas. Para la producción de agua caliente sanitaria se pueden combinar estas calderas con los acumuladores.

De Acero.- Construidas en acero inoxidable AISI⁶ 430, hace que el equipo sea menos vulnerable ante los problemas generados por la condensación. Con hogar presurizado con una presión de servicio máxima de 6 bar. y potencias útiles de 107 a 300 Kw.

Pueden estar equipadas con un quemador gas (natural o GLP), fuel (fuel o doméstico o mixto), según las necesidades.

De uso fácil, con rendimientos que oscilan entre el 91% y 94%, según la carga. Sus aplicaciones son:

- Calefacción de locales mediante el uso de gas, líquido o combinación de los dos (radiadores, aerotermas⁷)
- Recalentamiento de hidro-acumuladores mediante un intercambio de calor.
- Recalentamiento o mantenimiento en temperatura de varios fluidos.
- Producción de agua caliente sanitaria.
- Recalentamiento de agua de piscina.

2.3.6.3 Caldera basada en la tecnología de funcionamiento

Murales.- Creadas para responder a las necesidades de viviendas pequeñas y medianas. Puede proporcionar dos servicios o solo uno, según se desee, teniendo como prioridad la producción de ACS sobre el servicio de calefacción.

Clásica (caldera y quemador).- Este tipo de calderas tienen su aplicación mas amplia en el sector de generación termoeléctrica.

Grupo térmico (caldera y acumulador).- Este grupo están los productos, tanto para uso doméstico como para grandes usos civiles e industriales.

De condensación.- La caldera de condensación es un producto indicado para cualquier tipo de instalación para calefacción y/o agua caliente sanitaria, independientemente de la temperatura de trabajo, tipo de emisores, etc. Generan ahorro de energía (rendimiento superior al 99 %) siempre serán muy superiores a los de las calderas con generador de combustión tradicional y, por supuesto, la emisión de elementos contaminantes a la atmósfera mucho menor.

⁶AISI: American Institute of Steel and Iron

⁷ Aerotermas: Salas acondicionadas para favorecer el secado de los lodos aplicados sobre la piel

De alto rendimiento.- Pueden integrarse perfectamente a cualquier sistema de calefacción ya instalado, ocupando el lugar de la antigua caldera, por su avanzada tecnología permite regular el aporte de energía al caudal de agua solicitado y a la temperatura deseada, adaptándose a cada estado y logrando siempre una combustión completa.

2.3.7 EQUIPOS AUXILIARES

2.3.7.1 Dispositivo de seguridad

Las calderas incluyen normalmente:

- Un detector de llamas a nivel del quemador con parada del aparato en caso de encendido incorrecto o de apagado accidental durante el funcionamiento,
- Un control de la intensidad absorbida por el aparato y los motores eléctricos, en los aparatos que funcionan con gas:
- Un control de presión mínima y máxima de la alimentación del gas y un control de la alimentación del aire comburente.

2.3.7.2 Accesorios en general

Son todos los dispositivos de operación, control y sobre todo seguridad que hacen posible un funcionamiento confiable y sencillo del equipo.

- Manómetros
- Termómetros (sondas de temperatura)
- Líneas de seguridad
- Válvula de seguridad
- Llaves de paso y regulación.

2.3.7.3 Accesorios de Seguridad

Destinados a evitar una excesiva presión de generación del vapor en la caldera:

- De palanca y contrapeso.
- De paso directo.
- De resorte
- Tapón fusible.
- Sistemas de alarma.

2.3.7.4 Accesorios de limpieza

- Registros o tapas de limpieza
- Válvulas de purga
- Estanque de retención de purgas
- Escariadores
- Deshollinadores

2.4 CALEFONES

2.4.1 DEFINICIÓN

Los calefones son calderas del tipo Mural fabricadas con el afán de responder a las necesidades de uso residencial, estos equipos ofrecen dos servicios definidos: climatización y producción de ACS.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS

Las principales características que podemos destacar de los calefones son:

- Agua caliente en los puntos de consumo de manera inmediata.
- Bajo consumo de gas combustible en comparación con otras calderas.
- Sistemas económicos para uso residencial, por su versatilidad.
- Su eficiencia varía entre 72% y 88%.
- La presión de agua permisible varía de acuerdo al tipo de calefón y a su caudal, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Presión de agua de acuerdo al caudal

Tipo de Calefón	Regulación	Presión de agua (KPa)
Calefón de Alta Presión	Caudal de agua mínimo	60 a 1000
	Caudal de agua máximo	200 a 1000
Calefón de Baja Presión	Caudal de agua mínimo	50
	Caudal de agua máximo	---

- Circuitos herméticos de agua y gas, lo cual evitan deterioros en los equipos.
- Requieren evacuación de los gases de escape.
- Hermeticidad del circuito de gas.
- Hermeticidad del circuito de combustión y evacuación de los productos de combustión.

2.4.3 TIPOS DE CALEFONES

Por el caudal de agua:

- Calefones a presión normal y a alta presión
- Calefones a baja presión

Por el incremento de temperatura:

- De paso continuo.- son aquellos que calientan el agua un incremento de temperatura de $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Acumulativos.- son aquellos que calientan el agua un incremento de temperatura de $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Por la manera de evacuación de los gases de escape:

- De tiro forzado (Figura 2.12).- Los gases se evacuan en forma mecánica con un potente ventilador eléctrico. No utiliza el oxígeno de la habitación siendo de esta manera la solución a malas construcciones de ductos en edificios.



Figura 2.12 Calefón de tiro forzado
Fuente: www.splendid.cl/index.php

- De tiro natural (Figura 2.13).- los gases evacuan en forma natural por la diferencia de temperatura.



Figura 2.13 Calefón de tiro natural
Fuente: www.splendid.cl/index.php

Por la utilización del aire de combustión:

- De cámara abierta (Figura 2.14).- El calefón utiliza el oxígeno del lugar en donde está instalado.



Figura 2.14 Calefón de cámara abierta
Fuente: www.splendid.cl/index.php

- De cámara estanca.- en donde el calefón obtiene el oxígeno del exterior del lugar de su instalación.

Por la tecnología:

- Seguridad termocupla. Figura 2.15

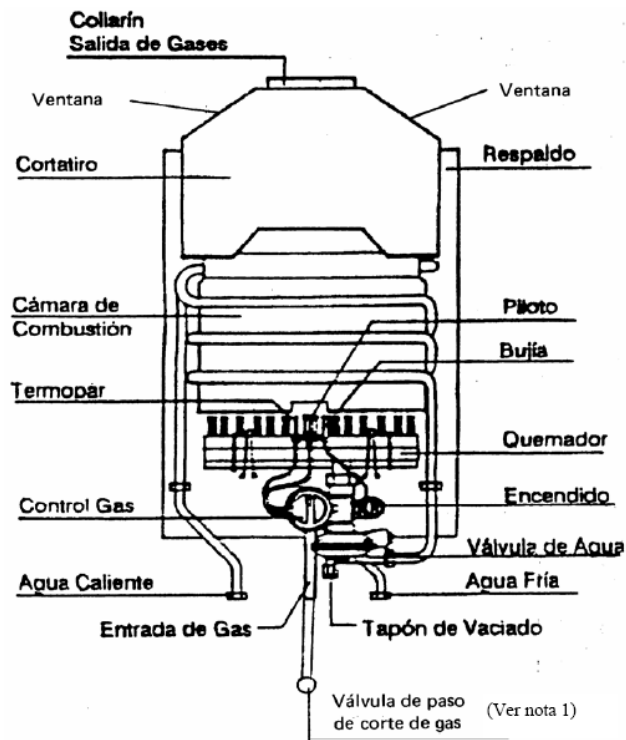


Figura 2.15 Esquema de un calentador de paso continuo (seguridad termocupla)
Fuente: NTE INEN 2124

- Control electrónico (Figura 2.16. Sin piloto permanente).- En este calentador el piloto y el calefón se encienden el momento de abrir el agua caliente y regula la temperatura de forma automática.

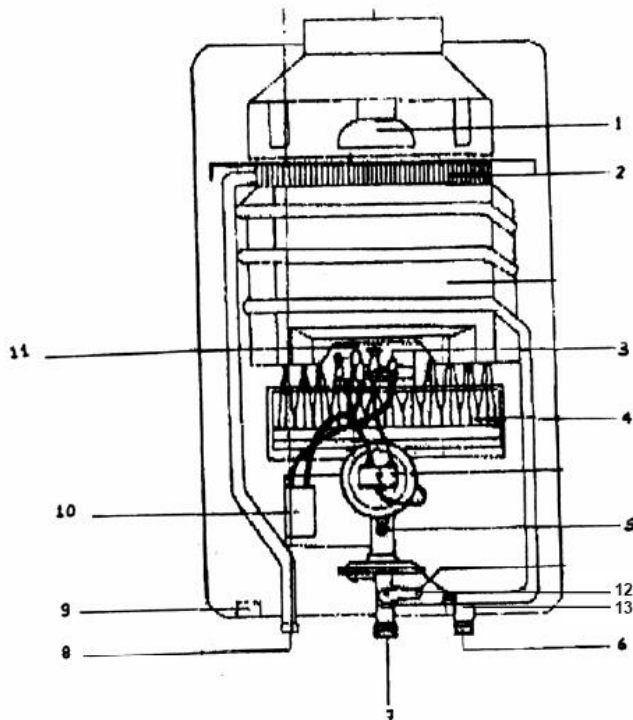


Figura 2.16 Esquema de un calentador de paso continuo (control electrónico)
Fuente: NTE INEN 2124

- 1 Chimenea
- 2 Hojas de absorción
- 3 Sensor
- 4 Quemadores
- 5 Regulador y control de gas
- 6 Agua Fría
- 7 Entrada de gas
- 8 Salida de agua caliente
- 9 Pila
- 10 Encendido electrónico
- 11 Bujía
- 12 Válvula de agua
- 13 Regulación del caudal de agua

– Acumulativo con piloto (Figura 2.17)

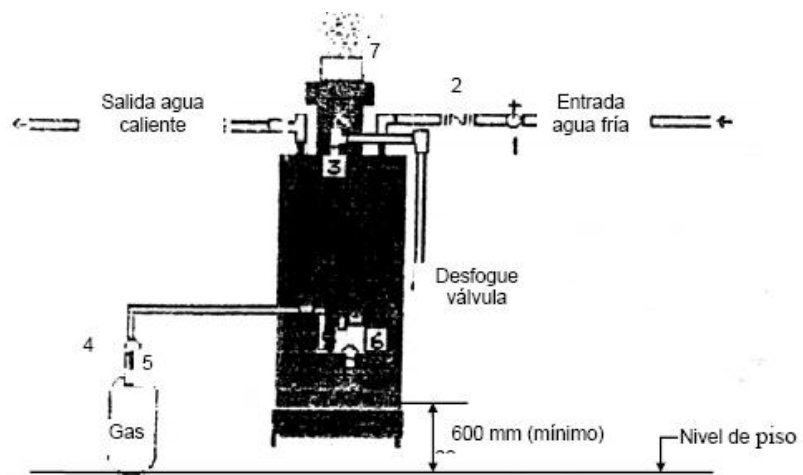


Figura 2.17 Esquema de un calentador acumulativo
Fuente: NTE INEN 2124

- 1 Válvula de corte de gas
- 2 Válvula de no retorno
- 3 Válvula de seguridad
- 4 Entrada de gas
- 5 Termostato
- 6 Salida de gases

2.4.4 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

2.4.4.1 Caudal de agua

El calefón está dotado de un dispositivo que le permite la regulación del caudal de agua, que puede estar dispuesto de dos formas:

1. Para regular la temperatura en función del caudal de agua que ha de pasar a calentarse.
2. Un tornillo de regulación

2.4.4.2 Presiones de trabajo (agua y gas)

La presión es un factor vital para aprovechar al máximo la vida útil del calefón, es por ello que dispone de un regulador de presión de gas que mediante un diafragma permite el paso de gas requerido.

2.4.4.3 Llama piloto (automático) o termocupla

El momento en que el calefón detecte el paso de agua a través del circuito correspondiente, el quemador se encenderá conjuntamente con la llama piloto, lo hace de manera silenciosa y progresiva. El piloto se mantiene encendido hasta asegurar el funcionamiento normal del calefón.

2.4.4.4 Aire de combustión

Es la cantidad de aire necesaria para lograr la combustión del gas en el calefón. Tomando en cuenta que la combustión es la oxidación rápida del gas combustible, lo que produce calor. De esta combustión además del calor también se producen gases de combustión entre ellos el monóxido de carbono y el vapor de agua.

2.4.4.5 Temperatura

Cuando existe consumo nominal⁸ de gas se puede alcanzar una elevación de temperatura de 50 °C entre la entrada y la salida del agua en un tiempo de 25 segundos en calefones de baja potencia y 35 segundos en calefones de alta potencia. Cabe destacar que en este tiempo se conseguirá una elevación aproximada del 90%.

⁸ Consumo nominal.- Es el consumo de gas especificado por el fabricante de acuerdo al tipo de calentador.

2.4.4.6 Potencia del calefón

En este caso debemos definir lo que se refiere a dos aspectos importantes:

- 1) La potencia útil, que se refiere a la cantidad de calor que absorbe el agua en un tiempo determinado.
- 2) La potencia útil nominal, que se refiere a la declarada por el fabricante.

2.4.4.7 Eficiencia del calefón

Según la NORMA NTE⁹ INEN¹⁰ 2187, el rendimiento convencional de los calefones varía de acuerdo al poder calorífico del gas combustible a utilizarse. Tomando en cuenta el poder calorífico inferior, el rendimiento es 0,84 y tomando en cuenta el poder calorífico superior, el rendimiento es 0,75.

2.4.4.8 Seguridades de funcionamiento

Para asegurar el correcto funcionamiento del calefón se cuenta con varios dispositivos y sistemas que evitan cualquier deterioro y precautelan la seguridad en el equipo de calentamiento, entre ellos se pueden destacar:

- Resistencia al sobrecalentamiento.- lo cual se mide en base al deterioro que sufren los quemadores en comparación con la alteración superficial propia de la combustión.
- Temperatura de los mandos.- los mismos que tienen límites específicos según la norma NTE INEN 2187.
- Estabilidad de la llama.- la misma que debe cumplir ciertos lineamientos que aseguren la combustión adecuada del gas.

2.4.5 APLICACIONES

2.4.5.1 Por el caudal de agua

- Calefones a presión normal y a alta presión.- Su uso se limita a instalaciones de tipo industrial donde su potencia nominal exceda de 28 (kw)
- Calefones a baja presión.- Su uso es exclusivo para el uso de agua caliente en residencias y viviendas. Además su potencia nominal es menor a 28 (kw)

⁹ NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

¹⁰ INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

2.4.5.2 Por la manera de evacuación de los gases de escape

- De tiro forzado.- Son comúnmente utilizados en edificios, sin embargo requieren de ductos de ventilación para evitar problemas de intoxicación por los productos provenientes de la combustión. Esta aplicación es válida también para calefones de cámara cerrada.
- De tiro natural.- El uso de estos calefones es similar al anterior, la diferencia radica en que estos deben ser colocados en un lugar que garantice el cambio permanente de aire para la combustión y la evacuación de los gases (terrazas, cuarto de máquina, etc.). Es también viable para calefones de cámara abierta.

2.4.5.3 Por la tecnología

- Seguridad termocupla.- Utilizado principalmente para viviendas unifamiliares.
- Control electrónico (sin piloto permanente).- Se lo utiliza en edificios donde el requerimiento de obtener agua caliente es instantánea, por ejemplo hoteles, moteles, departamentos, casas residenciales para estudiantes, etc.
- Acumulativo con piloto.- Utilizados especialmente en edificios en donde la demanda de agua caliente es el factor predominante, para ello se utiliza también un tanque acumulativo que asegure la disponibilidad de agua caliente en caso de la demanda máxima. Su uso se limita a edificios inteligentes, hoteles, restaurantes.

2.4.6 EQUIPOS AUXILIARES

2.4.6.1 Válvulas de paso

Los calefones disponen de una válvula de paso que se acciona de forma manual y debe ser ubicada aguas arriba desde la salida de gas y entrada del artefacto. Estas válvulas son visibles y accesibles en caso de daño.

2.4.6.2 Llaves de gas

Permite el paso o bloqueo del gas en el piloto y en el quemador, su manejo es fácil. La manipulación de llave de gas se la realiza mediante una perilla comando, la cual indica cuatro posiciones definidas:

- Cerrado
- Encendido del piloto
- Gasto nominal y
- Gasto reducido.

2.4.6.3 Dispositivo de seguridad de encendido y apagado

Este dispositivo no permite la entrada de gas al quemador principal, si no se encuentra activada la fuente de ignición del dispositivo de encendido.

2.4.6.4 Dispositivo de encendido

Es en algunos casos conformado por un piloto, el cual es de fácil encendido y está dispuesto de manera que permite la evacuación inmediata de los productos de combustión que salen del quemador principal. Otra particularidad del dispositivo de encendido es que los pilotos son desmontables para asegurar su mantenimiento.

2.4.6.5 Regulador de presión de gas

Permite regular el paso de gas combustible, su posición es fija y los dispositivos del sistema de regulación están dispuestos de manera que no se realicen regulaciones no autorizadas.

2.4.6.6 Limitador de presión de agua

Evita que existan sobrepresiones en el circuito de agua, debido a un aumento excesivo de presión en la red de abastecimiento. Sin embargo es posible colocar accesorios capaces de controlar la presión antes de su ingreso al calefón.

2.4.6.7 Dispositivo de regulación de caudal de agua

Dispositivo que permite dar al caudal del agua un valor determinado en función de las condiciones de alimentación. Los reguladores de caudal de agua pueden ser: 1) un selector de temperatura o 2) un tornillo de regulación dispuesto en la tubería de entrada.

2.4.6.8 Dispositivo de encendido progresivo

Todos los calefones disponen de un dispositivo que asegure un encendido progresivo del piloto, esto lo realiza a medida que el caudal de agua que circula por el calefón aumenta, sin embargo impide el corte brusco de la llegada de gas en el momento del apagado.

2.5 SISTEMAS DE CONTROL

2.5.1 TERMOSTATO

Entre los componentes a utilizarse en los sistemas de control, existe uno que es de vital importancia al momento de brindar el servicio de agua caliente. El termostato (figura 2.18) es un dispositivo encargado de mantener la temperatura en un punto o rango predeterminado de un sistema o ambiente. Estos dispositivos permiten el paso de líquido o lo restringen según la temperatura del circuito, con ello se asegura que la temperatura se mantenga estable (regular) y por lo general se utilizan en sistemas de calentamiento o calefacción.

Los termostatos pueden ser de distintas clases, entre ellas:

- Digital
- Analógico
- Mecánico
- Electrónico
- Proporcional

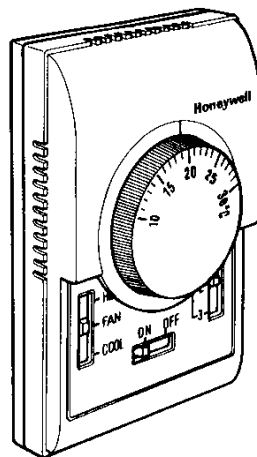


Figura 2.18 Esquema de Termostato
Fuente: www.honeywellsp.com/hw_productos.htm

2.5.2 VÁLVULAS

En un sistema de calentamiento de agua es indispensable disponer de elementos de control, que permitan el correcto funcionamiento del sistema y el mantenimiento del mismo. Para ello se utilizan válvulas, tanto para el control del caudal en las líneas de flujo y para el control de presión en el tanque de almacenamiento.

2.5.2.1 Control de Caudal

Entre las válvulas existentes para el control de caudal de flujo existen las siguientes:

- Válvula de compuerta (Figura 2.19).- la cual obstruye el paso de líquido a medida que un disco vertical de cara plana se desliza hacia abajo. Estas válvulas son comúnmente utilizadas en casos donde su funcionamiento es limitado y se tienen cantidades mínimas de fluido.

Cabe destacar que el uso de ellas produce cavitación¹¹ y requiere de grandes fuerzas para accionarla, además que su estrangulación producirá un deterioro de la pared interna de la válvula y del disco.

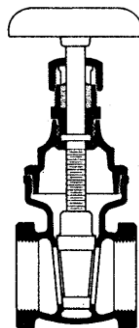


Figura 2.19 Válvula de Compuerta

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

- Válvula de macho (Figura 2.20).- Controla la circulación del fluido por medio de un macho cilíndrico que tiene un agujero en el medio y permite el paso del líquido mediante un giro de $\frac{1}{4}$ de vuelta (90°). Estas válvulas son utilizadas en casos en los que se requiere apertura constante de las líneas

¹¹ Cavitación: es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido pasa a gran velocidad por una superficie determinada en una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido en la zona de la arista

de flujo, sin embargo están limitadas a bajas caídas de presión y requieren de alta torsión para su accionar.

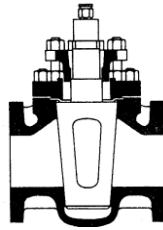


Figura 2.20 Válvula de Macho

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

- Válvula globo (Figura 2.21).- permite el bloqueo de fluido mediante un disco que obstruye el paso mediante varias vueltas. Este tipo de válvula permite un estrangulamiento eficiente mediante control preciso de la circulación, sin embargo se obtienen grandes caídas de presión y su costo es elevado.

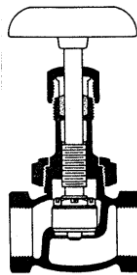


Figura 2.21 Válvula globo

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

- Válvula de bola (Figura 2.22).- permite la apertura o bloqueo de flujo de manera rápida mediante el giro de un cuarto de vuelta, para ello dispone de una esfera taladrada que al girar permite el libre flujo sin estrangulación. Es muy utilizada debido a que permite un accionar rápido, requiere poco mantenimiento, es hermética y de alta capacidad a bajo costo. Por otro lado no permite estrangulación, necesita gran torsión y es propensa a cavitación.

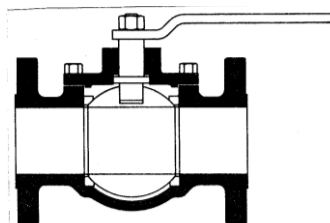


Figura 2.22 Válvula de bola

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

2.5.2.2 Control de Presión

- Válvula de desahogo (alivio) (Figura 2.23).- permite controlar la presión de manera automática. Su uso se limita para servicio de fluido no comprimible. En el caso de existir una sobrepresión, se abre de manera repentina para descargar la excesiva presión ocasionada por el fluido.

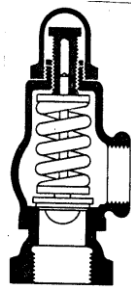


Figura 2.23 Válvula de alivio

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

Las válvulas de alivio pueden ser de tres tipos:

- **Válvulas de seguridad de acción directa** (Figura 2.24).- las cuales son cargadas axialmente con una presión determinada y se abren automáticamente debido a la acción del fluido sobre el disco de cierre de la válvula. Normalmente son diseñadas para soportar una sobrepresión del 10% para gases y vapores y del 10% al 25% para líquidos.

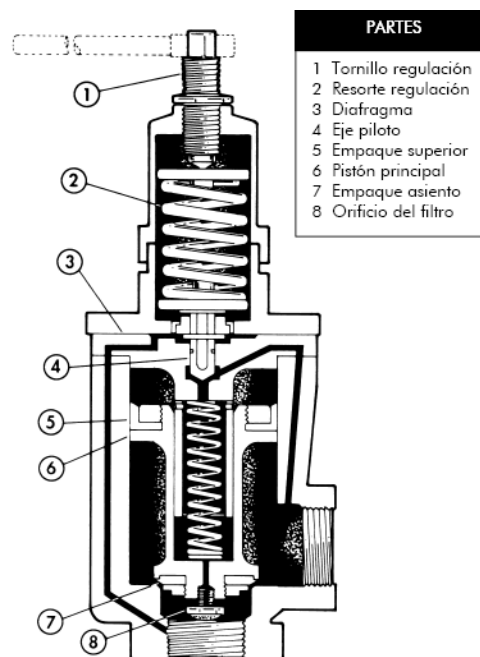


Figura 2.24 Esquema válvula de seguridad de acción directa

Fuente: www.mtas.es/insht/ntp

- **Válvula de seguridad accionada por válvula piloto o de acción indirecta** (Figura 2.25).- es accionada por una válvula piloto, la cual se acciona por la presión del fluido que ejerce su acción sobre el asiento de la misma.

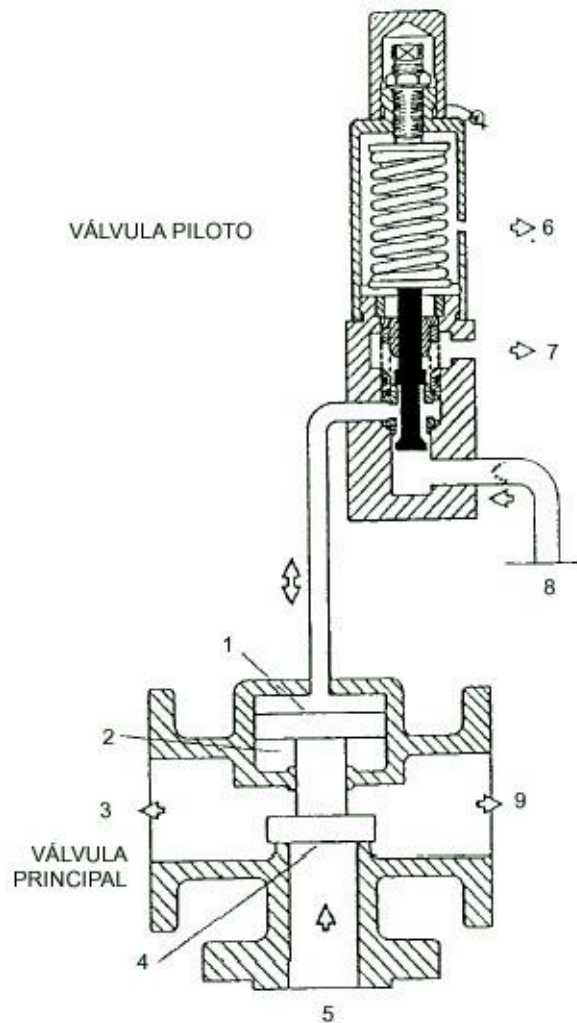


Figura 2.25 Esquema válvula de seguridad accionada por piloto

Fuente: www.mtas.es/insht/ntp

1. Área mayor
2. Conducto de alivio
3. Descarga
4. Área menor
5. Orificio de entrada
6. Venteo
7. Escape
8. Conexión al recipiente de proceso
9. Descarga al conducto

- **Válvulas de seguridad equilibrada** (Figura 2.26).- son aquellas en las que se consigue equilibrar el efecto de la contrapresión mediante un fuelle o pistón.

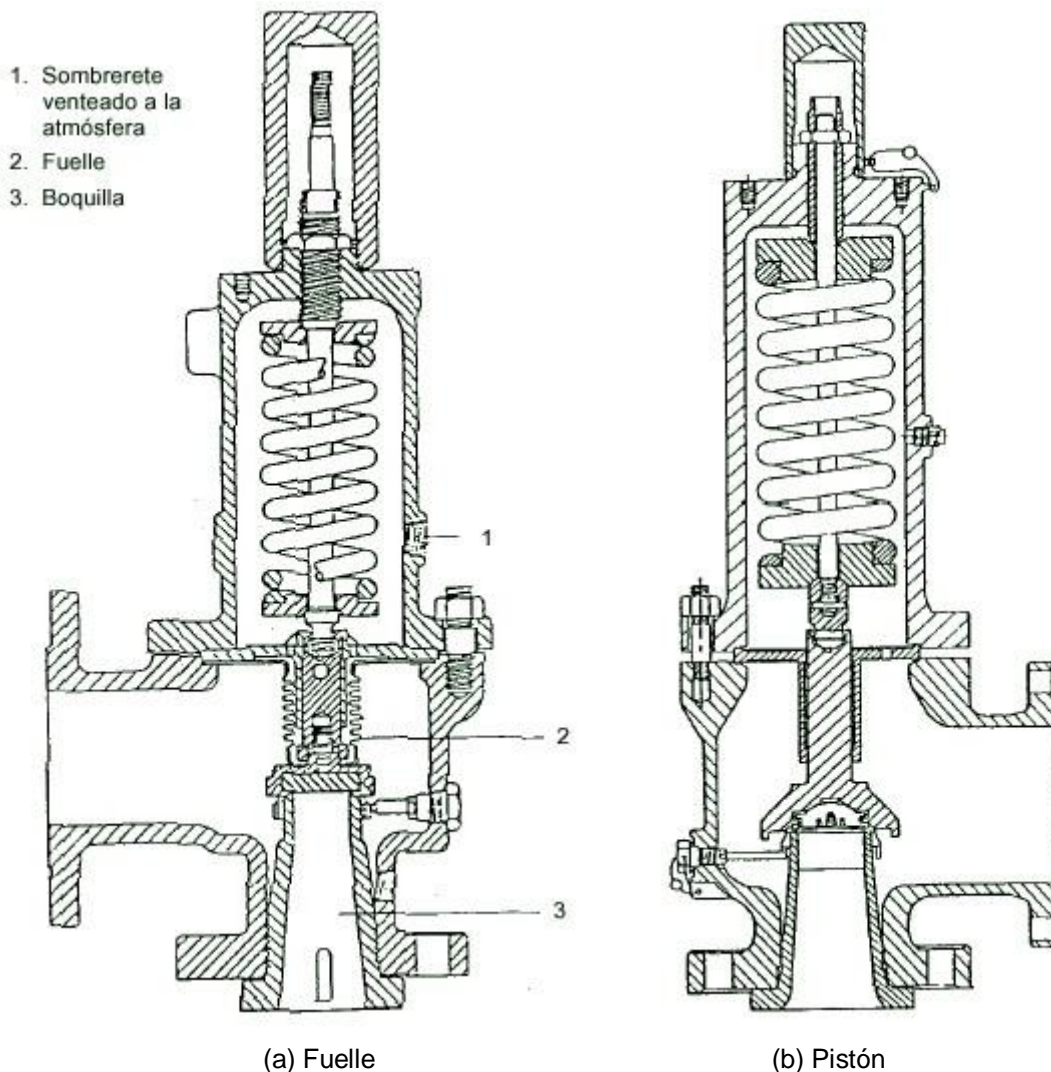


Figura 2.26 Válvula de seguridad equilibrada Por Fuelle y Por pistón

Fuente: www.mtas.es/insht/ntp

2.5.2.3 Control de Dirección

Válvula Check.- Este tipo de válvula está diseñada para impedir el retorno del flujo de líquido. La válvula permite el libre flujo solo en un sentido, cuando la dirección del fluido se invierte se cierra. Existen tres tipos básicos de válvulas de retención:

- De columpio (Figura 2.27).- posee un disco embisagrado que llega a su apertura con la presión de la tubería y bloquea el paso cuando se suspende la presión y se invierte el flujo. Es aplicable cuando existe resistencia

mínima a la circulación, cuando se utilizan válvulas de compuerta y cuando el flujo es ascendente.

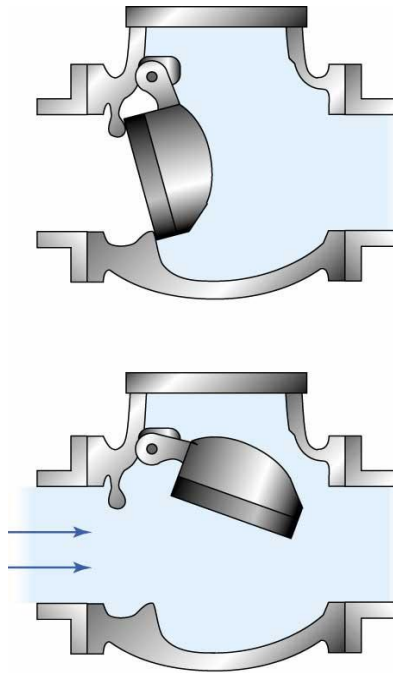


Figura 2.27 Válvula check de columpio

Fuente: www.versa-gpo.com.mx/fdi_valv_accesorios.htm

- De elevación (Figura 2.28).- es similar a la válvula globo, el disco se abre por presión y se cierra por gravedad y por flujo invertido. Se la utiliza con válvulas globo y angulares y la caída de presión es imperceptible. Son de rápido accionar.

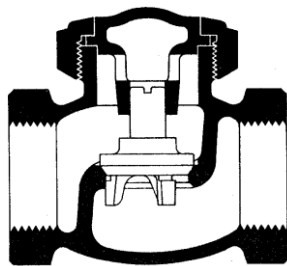


Figura 2.28 Válvula check de elevación

Fuente: www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml

- De mariposa.- posee un disco dividido embisagrado en un eje en el centro del disco, que modo que un sello flexible sujeto al disco esté a 45° con el cuerpo de la válvula cuando esta se encuentre cerrada. Se lo utiliza regularmente cuando existe cambios frecuentes de sentido y se necesita resistencia mínima a la circulación.

2.5.3 TERMOCUPLAS

Es importante en los sistemas de calefacción y de servicio de agua caliente el control de la temperatura, parámetro que debidamente controlado nos permitirá ser más eficientes en el uso de los recursos disponibles.

En el capítulo 4 se define el circuito eléctrico que comanda el control automático del sistema.

Por lo tanto, es necesario conocer qué tipo de termocuplas existen y cuál es su rango de aplicación, para de esta manera seleccionar la correcta.

Los tipos de termocuplas existentes y su rango de temperaturas aplicables se detallan en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Tipos de termocuplas y rangos de aplicación

Tipo	Denominación	Rango de Temperatura
B	Platino-rodio 30% vs Platino-rodio 6%	0 a 1800° C
R	Platino-rodio 13% vs Platino	0 a 1700°C
S	Platino-rodio 10% vs Platino	0 a 1600°C
J	Hierro vs constantan	-200 a 700° C
K	Níquel-cromo vs níquel	0 a 1300° C
T	Cobre vs constantan	-200 a 900° C
E	Níquel-cromo vs constantan	-200 a 800° C

2.5.4 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DIGITAL

La medición de temperatura para los sistemas de calentamiento de agua se lo realiza mediante una termocupla, la cual emite una señal (variación de voltaje) de acuerdo a la intensidad de calor captada y cuya salida (tensión, corriente, variación de resistencia) guarda relación con la magnitud de la temperatura medida.

Un controlador de temperatura es, básicamente, un medidor al que se le agrega la posibilidad de fijar un "set" (temperatura deseada) para comparar la diferencia de temperatura real y la programada.

CAPITULO 3

PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

3.1 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema de calentamiento de agua se basa en la utilización del GLP como fuente energética principal en el calentamiento de agua para el edificio. Para el diseño del sistema antes mencionado se realizó un estudio tomando en cuenta los requerimientos de la empresa en función al número de usuarios.

De acuerdo a las opciones existentes en el mercado es posible realizar el calentamiento del agua utilizando calefones o calderas. A continuación se realiza un análisis de los parámetros mandatorios en la selección del equipo y posteriormente se hará la comparación entre las dos opciones y se elegirá la más idónea para el servicio en el edificio.

3.2 DEMANDA DE AGUA CALIENTE

3.2.1 DEMANDA POR TIPO DE EDIFICIO

En el Ecuador no existen estudios ni normas que reglamenten el consumo de agua caliente en edificios, casas, hoteles, es por ello que para realizar los estudios respecto a la demanda de agua caliente de uso doméstico nos basamos en el capítulo 45 del ASHRAE¹² Application Handbook (Service Water Heating). En este capítulo se indica la cantidad de agua caliente a utilizarse de acuerdo al tipo de edificio, a continuación la tabla 3.1 presenta los gastos de agua caliente referido al tipo de uso y vivienda.

¹² ASHRAE American Society for Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers.

Tabla 3.1 Demanda de agua caliente en hoteles y restaurantes¹³ (60 °C)

Tipo de edificio	Máximo por hora	Máximo al día	Promedio al día
Dormitorios de hombre	3,8 gal/estudiante	22,0 gal/estudiante	13,1 gal/estudiante
Dormitorios de mujer	5,0 gal/estudiante	26,5 gal/estudiante	12,3 gal/estudiante
Moteles: Número de unidades			
20 o menos	6,0 gal/unidad	35,0 gal/unidad	20,0 gal/unidad
60	5,0 gal/unidad	25,0 gal/unidad	14,0 gal/unidad
100 o más	4,0 gal/unidad	15,0 gal/unidad	10,0 gal/unidad
Asilos	4,5 gal/cama	30,0 gal/cama	18,4 gal/cama
Edificios para oficinas	0,4 gal/persona	2,0 gal/persona	1,0 gal/persona
Establecimientos de comida			
Tipo A - Restaurantes de comida y cafeterías	1,5 gal/comida/hora	11,0 gal/comida/día	2,4 gal/comida/día
Tipo B - Restaurantes pequeños, sandwiches y tiendas de bocadillos	0,7 gal/comida/hora	6,0 gal/comida/día	0,7 gal/comida/día
Hoteles: Número de departamentos			
20 o menos	12,0 gal/departamento	80,0 gal/departamento	42,0 gal/departamento
50	10,0 gal/departamento	73,0 gal/departamento	40,0 gal/departamento
75	8,5 gal/departamento	66,0 gal/departamento	38,0 gal/departamento
100	7,0 gal/departamento	60,0 gal/departamento	37,0 gal/departamento
200 o más	5,0 gal/departamento	50,0 gal/departamento	35,0 gal/departamento
Instituciones educativas elementarías	0,6 gal/estudiante	1,5 gal/estudiante	0,6 gal/estudiante
Instituciones secundarias básicas y especializadas	1,0 gal/estudiante	3,6 gal/estudiante	1,8 gal/estudiante
a Interpolar para valores intermedios			
b Por día de operación			

Fuente: ASHRAE Capítulo 45 (Service Water Heating)

Para los cálculos se asume que el hotel esta lleno, por lo que deberán considerarse los valores máximos de consumo al día. En el edificio “CRYOM” existe 13 departamentos y el consumo de agua caliente en el hotel se indica en la tabla 3.2.

¹³ Tomado de ASHRAE Application Handbook, Capítulo 45 (Service Water Heating), Tabla 7 – Demanda y uso de agua caliente para diferentes tipos de edificios.

Tabla 3.2 Agua caliente (60 °C) del hotel

Tipo de edificio	Consumo de agua caliente
Hotel	80 gal / departamento x 13 departamentos = 1040 galones al día

3.2.2 DEMANDA POR UNIDADES DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE¹⁴

Para realizar el estudio de acuerdo al número de unidades de consumo en el edificio, se hace referencia, nuevamente, al ASHRAE Service Water Heating (Servicio de agua caliente), la misma que establece los valores presentados en la tabla 3.3 de acuerdo al punto de consumo.

Tabla 3.3 Demanda de agua caliente por unidades de consumo (60 °C)

Orden		Departamento	Club	Gimnasio	Hospital	Hotel	Planta Industrial	Edificio de oficinas	Residencia a privada	Escuela
		(galones / hora) a una Temperatura de 140 °F								
1	Lavabo privado	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	Lavado público	4	6	8	6	8	12	6	-	15
3	Bañera	20	20	30	20	20	-	-	20	-
4	Lavaplatos	15	50 - 150	-	50 - 150	50 - 200	20 - 100	-	15	20 - 100
5	Depósito de agua	3	3	12	3	3	12	-	3	3
6	Fregadero	10	20	-	20	30	20	20	10	20
7	Lavandería	20	28	-	28	28	-	-	20	-
8	Sumidero de despensa	5	10	-	10	10	-	10	5	10
9	Ducha	30	150	225	75	75	225	30	30	225
10	Sumidero de servicio	20	20	-	20	30	20	20	15	10
11	Hidromasaje				400					
12	Coficiente de consumo máximo	0,3	0,3	0,4	0,25	0,25	0,4	0,3	0,3	0,4
13	Coficiente de almacenamiento	1,25	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	2,0	0,7	1,0

Fuente: ASHRAE Capitulo 45 (Service Water Heating)

¹⁴ Tomado de ASHRAE Application Handbook, Capítulo 45 (Service Water Heating), Tabla 9 – Demanda de agua caliente por unidad de consumo para diferentes tipos de edificios.

En caso de disponer la cantidad exacta de unidades de consumo para un edificio, se realiza un análisis de la demanda de agua caliente en base a ellos. En nuestro caso ASHRAE nos proporciona una tabla (tabla 3.4) para efectuar este análisis, la cual se detalla a continuación.

Tabla 3.4 Demanda de Agua Caliente por unidades de consumo en el edificio “CRYOM”

PLANTA	NÚMERO DE DUCHAS	NÚMERO DE LAVAMANOS	NÚMERO DE FREGADEROS	SALA DE MAQUINAS	UNIDADES DE CONSUMO	CONSUMO POR UNIDADES (gal / hora)
5	3	3	2	2	DUCHA	75
6	6	6	4	2	LAVAMANOS	2
7	6	6	4	2	FREGADEROS	30
8	5	5	3	2	CUARTO DE MAQUINAS	28

Consumo total de agua caliente en el edificio “CRYOM”

PLANTA	DUCHAS	LAVAMANOS	FREGADEROS	SALA DE MAQUINAS	galones de agua por hora y aparato a 60°C	Consumo total en el edificio coeficiente de consumo máximo máximo consumo probable
5	225	6	60	56		
6	450	12	120	56		
7	450	12	120	56		
8	375	10	90	56		
	1500	40	390	224	2154	
					0,25	
					538,5	

3.2.3 SELECCIÓN DE LA DEMANDA CRÍTICA

Debido a que el diseño debe realizarse en las condiciones más críticas posibles¹⁵, la demanda efectiva está acorde al análisis en los puntos de consumo debido a que esta opción es la que ofrece la máxima demanda en el hotel, es decir 538,5 gal/h.

¹⁵ Tomado de ASHRAE Application Handbook, A.20, Datos adicionales (departamentos)

Es importante notar que el mayor consumo en el hotel se da en horas de la mañana (de 07H00 a 09H00) y en la noche (de 18H00 a 20H00) dando de esta manera un total de cuatro horas de consumo máximo. Entonces el consumo máximo diario de agua caliente se calcula mediante la ecuación 3,1:

$$\dot{v} = \frac{V}{T} \quad \text{Ecuación (3,1)}$$

Donde:

V = volumen de agua al día.

T = tiempo.

\dot{v} = caudal de agua

$$V = 538,5 \left(\frac{\text{gal}}{\text{h}} \right) * 4(\text{h})$$

$$V = 2154(\text{gal})$$

Por lo tanto el caudal de abastecimiento requerido para la selección del calentador es:

$$\dot{v} = 538,5 \left(\frac{\text{gal}}{\text{hora}} \right) \times \frac{3,785}{60} \left(\frac{\text{hora}}{\text{gal}} \right) \left(\frac{\text{lit}}{\text{min}} \right)$$

$$\dot{v} = 33,97 \left(\frac{\text{lit}}{\text{min}} \right) = 9 \text{ (gpm)}$$

3.2.4 ESTUDIO DE LA DEMANA ENERGÉTICA

En primer lugar se debe encontrar la cantidad de energía térmica necesaria para calentar el agua en el edificio en un día, para ello se establece el tiempo de operación del sistema (ver apartado anterior). Para determinar la carga utilizamos la ecuación (3.2)

$$Q_{\text{térmica}} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Donde:

m=caudal de agua caliente requerida en el edificio.

c_p =calor específico del agua (tomado a temperatura media)

ΔT =diferencial de temperatura entre la entrada y salida del agua de la fuente energética.

La temperatura de diseño¹⁶ y la temperatura ambiente¹⁷ están definidas en los siguientes apartados (3.4 Temperatura de diseño y 3.5.1 Velocidad del viento y temperatura ambiente). Por lo tanto la demanda energética para calentar el agua en el edificio durante una hora es:

$$Q_{\text{térmica}} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{térmica}} = 33,97 \left(\frac{\text{kg}}{\text{min}}\right) \times 4,189 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) \times (60 - 10) (\text{°C})$$

$$Q_{\text{térmica}} = 118,58 \text{ (kw)} = 404611 \text{ (BTU / h)}$$

La demanda energética para calentar el agua para el edificio es 118,58 (kw). La carga energética necesaria para calentar el agua por un año está calculada con la ecuación (3.3)

$$Q = Q_{\text{térmica}} \times \text{días} \times h \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Donde:

Q=carga térmica anual

$Q_{\text{térmica}}$ = carga térmica por hora

Días=número de días de operación al año

h=horas de uso al día

$$Q = Q_{\text{térmica}} \times \text{días} \times h$$

$$Q = 118,58 \left(\frac{\text{kw}}{\text{hora}}\right) \times 365 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right) \times 4 \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}}\right)$$

$$Q = 173126,8 \left(\frac{\text{kw}}{\text{año}}\right)$$

3.3 DEMANDA DE AGUA DE RECIRCULACIÓN

Debido a que la recirculación del sistema funciona solamente cuando existe una disminución de temperatura por el uso discontinuo del agua caliente, el caudal del mismo depende de las pérdidas de calor que la tubería experimente a lo largo de su trayectoria, como lo especifica ASRHAE. El caudal de recirculación se lo determina en el apartado 4.6 (selección de la bomba).

3.4 TEMPERATURA DE DISEÑO

Uno de los principales parámetros para diseñar el sistema de agua caliente es la selección adecuada de temperatura a la cual se calentará el agua. Esta

¹⁶Temperatura de diseño: Temperatura a la cual se desea calentar el agua para el abastecimiento a cada uno de los departamentos.

¹⁷ Temperatura ambiente: Temperatura de entrada al calefón, temperatura de abastecimiento de agua fría.

temperatura depende de varios factores entre ellos la demanda de agua caliente, ya que al tener agua caliente a menor temperatura se necesitará poco agua fría para mezclarse y utilizarse en los puntos de consumo, lo contrario sucede si la temperatura del agua caliente es alta en cuyo caso necesitará mayor agua fría para su mezcla y posteriormente su uso. Otro factor, importante, es que el agua a mayor temperatura tiende a ser más corrosivo, de manera que la selección de temperatura es un factor determinante a la hora de seleccionar y dimensionar el sistema de tubería, almacenamiento y selección del calentador de agua. La temperatura se selecciona de la siguiente tabla¹⁸:

Tabla 3.5 Temperaturas representativas de Agua Caliente

Uso	Temperatura (°F)	Temperatura (°C)
Lavadero	105	40,6
Lavamanos	115	46,1
Duchas y Bañeras	110	43,3
Hidromasaje	95	35
Lavandería comerciales o institucionales	sobre los 180	
Lavandería residencial	140	60
Fregadero quirúrgico	110	43,3
Tanques simples o múltiples de rejilla o cubiertos		
Lavadero	150 mínimo	65,5 mínimo
Enguaje	180 a 195	82 a 90
Tanque transportador		
Lavadero	160 mínimo	71,1 mínimo
Enguaje	180 a 195	82 a 90
Tanque único con rejilla o compuerta		
Temperatura única para lavado y enjuaje	165 mínimo	73,9 mínimo
Purificador químico	140	60
Tanque múltiple transportador		
Lvadero	140	60
Enguaje bombeado	75 mínimo	23,9 mínimo

Fuente: ASHRAE Capitulo 45 (Service Water Heating)

Entonces, la temperatura del agua para uso residencial, es recomendable utilizar una temperatura de 140 °F (60 °C), la misma que minimiza el gasto de gas combustible en el equipo según lo establece la norma ASHRAE para Servicio de Agua Caliente)

¹⁸ Tomado de ASHRAE Application Handbook, Capítulo 45 (Service Water Heating), Tabla 3 – Temperaturas Representativas de Agua Caliente

3.5 DETERMINACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS

3.5.1 VELOCIDAD DEL VIENTO Y TEMPERATURA AMBIENTE

Para el análisis de la fuente energética es necesario tomar en cuenta algunos factores climáticos, que serán decisivos en el diseño. Estos factores determinan la cuantificación de energía necesaria para el calentamiento del agua y permiten además determinar la eficiencia del sistema.

En este caso los factores que nos interesan para el estudio de la fuente energética son la velocidad del viento y la temperatura ambiente.

3.5.1.1 Velocidad del viento

Para determinar este factor se utilizaron datos promedio, de la velocidad del viento, en la ciudad de Quito proporcionados por el INAMHI¹⁹ para diferentes meses, en los años 2002 al 2005 y se calculó un aproximado en base al comportamiento de este factor en dichos años como se indica en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Velocidad del viento en la ciudad de Quito

Velocidades en la ciudad de Quito (m/s)								
Mes	2002		2003		2004		2005	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Enero	4	1	---	1	---	3	8	---
Febrero	8	1	4	3	6	4	---	2
Marzo	4	---	---	2	12	2	---	1
Abril	4	1	6	2	4	3	6	1
Mayo	4	2	4	2	6	4	6	3
Junio	8	2	6	---	12	3	10	3
Julio	8	2	6	1	6	3	---	3
Agosto	10	4	---	---	---	5	10	4
Septiembre	---		10	2	10	2	8	4
Octubre	4	3	4	1	6	2	6	---
Noviembre	6	4	5	2	4	4	---	---
Diciembre	---	---	---	---	4	4	---	---
Valores Extremos	10	1	10	1	12	2	10	1

Fuente: Bitácora INAMHI

¹⁹ INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 3.6, para los años referidos, se determina que las velocidades máximas y mínimas preponderantes son 12 (m/s) y 1(m/s) respectivamente, sin embargo para nuestro estudio es importante indicar que las tuberías se encuentran en un ducto con lo que se reduce la velocidad del viento.

3.5.1.2 Temperatura ambiente

De manera análoga que para el viento, se han tomado valores del INAMHI para el estudio de la temperatura bajo sombra en la ciudad de Quito, los valores de temperatura media mínima correspondientes a cada mes del año respectivo se detallan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Temperatura media mínima en la ciudad de Quito

Temperatura Media Mínima en Quito (°C)				
Mes	2002	2003	2004	2005
Enero	9,7	10,9	9,6	9,5
Febrero	10,4	10,9	9,7	10,6
Marzo	10,6	9,9	10,4	10,6
Abril	9,7	10,3	9,8	11
Mayo	10,5	10,5	10	9,8
Junio	10	10,1	10	10
Julio	9,7	9,5	8,6	10,5
Agosto	10,2	---	9,8	10,3
Septiembre	9,2	9,7	9,3	10,1
Octubre	9,8	9,7	9,2	9,5
Noviembre	9,3	9,9	10,2	9,1
Diciembre	10,3	9,9	9,9	9,8
Valores Extremos	10,0	10,1	9,7	10,1

Fuente: Bitácora INAMHI

Los valores promedios en cada año están detallados en la parte inferior de la Tabla 3.7, y para los mismos corresponde un valor de Temperatura posterior de 9,975 °C, para efectos de análisis se tomará un valor de 10 °C como la temperatura mínima (crítica).

3.6 CALDERO

Primero debemos definir el uso que se le va a dar a la caldera, en este caso es para agua caliente, tomando en cuenta que el agua procesada está a temperatura inferior a 110°C.

El análisis detallado a continuación se refiere a dos marcas de calderos existentes en el mercado. La primera marca corresponde a BRADFORD WHITE CORPORATION específicamente en los modelos de calderos CB 315-500; cuyas especificaciones técnicas corresponden a calderos desde 45000 hasta 500000 BTU/h. La segunda marca, objeto de análisis, corresponde a BUDERUS HYDRONIC SYSTEMS, y el modelo que más se ajusta a nuestros requerimientos es el caldero G 334 X, el mismo que posee una gama de potencia nominal de salida de 301200 hasta 450500 BTU/h.

3.6.1 TIPO DE QUEMADOR

Para la selección del quemador es necesario tomar en cuenta que se debe superar de un modo fiable la resistencia del gas de combustión.

Las calderas en la actualidad están diseñadas con tres pasos de humos (figura 3.1) que en combinación con los quemadores presurizados a gas ofrecen condiciones óptimas para reducir las emisiones contaminantes.

La tecnología de tres pasos de humo consiste en un inyector integrado para la subida de la temperatura de retorno y el aprovechamiento de la regulación del quemador sin carga mínima, permitiendo un funcionamiento eficaz y alta seguridad de servicio. También se consigue una reducción de los arranques del quemador y existe la posibilidad del aprovechamiento del calor de los gases de escape.

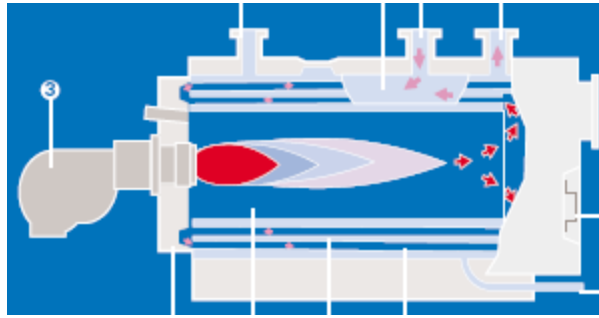


Figura 3.1 Funcionamiento del quemador de las calderas.

Fuente: www.buderus.es

El quemador ha utilizarse en el caldero a gas son del tipo mecánico (modulantes²⁰). Además de ello en quemadores presurizados deben tener indispensablemente dos etapas para el control del combustible que lo alimenta. Para disminuir los ruidos causados por la combustión, los quemadores poseen un silenciador que reduce a 10 dB²¹.

3.6.2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

Para la instalación del caldero es necesario cumplir con lo que establece el fabricante del equipo y las normas que regulan en cada país o región donde vaya a ser instalado; en caso de desconocimiento o difícil acceso a normas que regulen esto remítase a lo indicado por el fabricante.

Para instalar el caldero el lugar debe cumplir los siguientes requerimientos:

1. Debe estar instalado en lugares donde los componentes de los sistemas de inyección estén protegidos del ambiente externo (lluvia, goteras, aluviones, etc).
2. No instalar en lugares donde estén presentes combustibles o vapores inflamables.
3. Deben ser instalados en lugar donde no exista presencia de habitantes, además debe tener protecciones para evitar daños físicos.
4. No debe ser instalado en lugares alfombrados.
5. Requiere de adecuados ductos de evacuación de gases. En caso de estar instalado en el interior de una vivienda se debe colocar un ventilador.
6. Las dimensiones de ubicación del caldero respecto al cuarto de maquinas están detalladas en la figura 3.2.

²⁰ Quemador modulante: quemador que se ajusta continuamente a la relación aire/combustible.

²¹ dB: decibeles unidad de medida del a intensidad del sonido

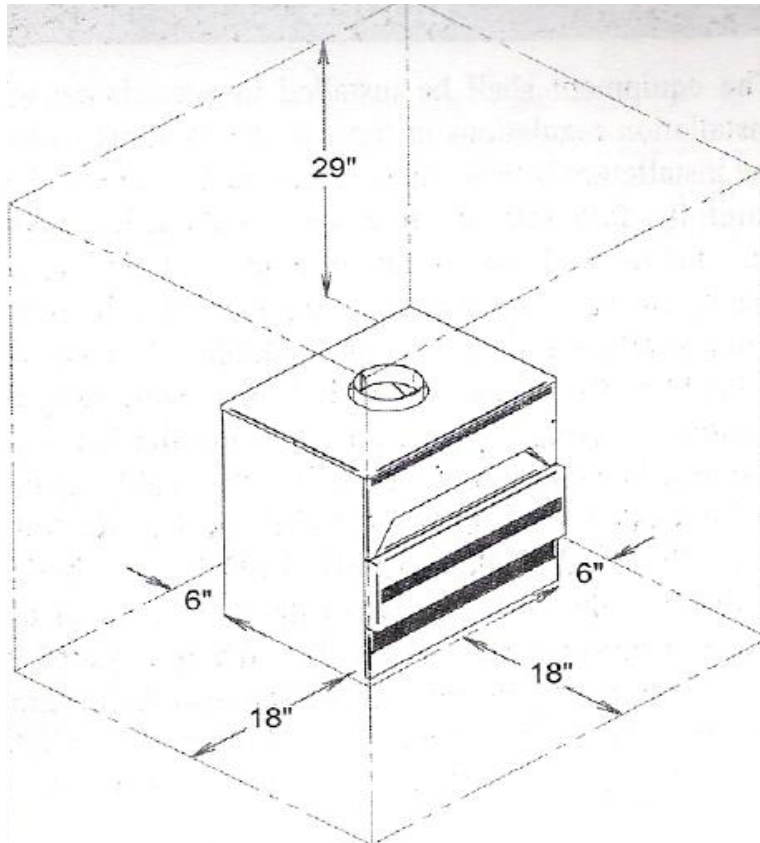


Figura 3.2 Requerimientos de espacio de cuarto de máquinas

7. Los requerimientos de ventilación y combustión del caldero varían de acuerdo a los siguientes casos:
- a. En caso de que el aire necesario para la combustión circule libremente deben existir 2 aberturas permanentes:
 - i. Ventilación inferior con un área mínima de 1 in^2 por 4000 Btu/h ($5,5 \text{ cm}^2$ por Kw) y debe localizarse a 12" (30cm) del piso.
 - ii. Ventilación superior con un área mínima de 1 in^2 por 4000 Btu/h ($5,5 \text{ cm}^2$ por Kw) y debe ubicarse a 12" (30cm) del techo.
 - b. Si el aire se toma del exterior por medio de un ducto, debe colocarse 2 aberturas de ventilación con un área mínima de 1 in^2 por 2000 Btu/h (11 cm^2 por Kw).
 - c. Si el aire es tomado de un espacio interior adecuadamente ventilado debe colocarse 2 aberturas de ventilación con un área mínima de 1 in^2 por 1000 Btu/h (22 cm^2 por Kw), pero no menos a 100 in^2 (645 cm^2).

- d. Se puede colocar una abertura simple para ingreso de aire la cual tenga un área mínima de 1in² por 3000 Btu/h (7cm² por Kw). Y debe ubicarse a 12" (30cm) del techo.

3.6.3 SISTEMA DE REGULACIÓN DE CARGA

La regulación de carga se la realiza de acuerdo a temperaturas de funcionamiento mediante el equipo regulador, para ello se deberá depender de la temperatura exterior (temperatura ambiente). Para ello se efectúan controles continuos de las válvulas mezcladoras y las bombas de circulación del circuito de calefacción con el equipo regulador. El sistema de regulación puede llevar a cabo también el control de los quemadores, independientemente de que se trate de quemadores presurizados de dos etapas o modulantes. En caso de instalaciones de varias calderas se pueden combinar diferentes tipos de quemador. El equipo regulador realiza el control mediante el uso de una fuente eléctrica de 230V.

La caldera basa su funcionamiento mediante el uso de válvulas mezcladoras, lo cual requiere que el agua que va a entrar en el circuito de calentamiento ingrese a una temperatura de 55 °C.

El consumo de combustible del caldero se lo calcula en base al caudal de agua mínima²² que proporcionan los fabricantes de los calderos. El cálculo respectivo se lo realiza utilizando las ecuaciones 3.2 y 4.1; mediante estas se analiza la cantidad de energía térmica necesaria para calentar el agua y el consumo total de combustible necesario para este calentamiento.

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

$$Q = PC \times CT$$

$$\dot{m} \times c_p \times \Delta T = PC \times CT$$

$$13 (gpm) \times 3,785 \left(\frac{kg}{gal}\right) \times 60 \left(\frac{min}{h}\right) \times 4,186 \left(\frac{kJ}{kg}\right) \times 50 (^\circ C) = PC \times CT$$

$$617916,39 \left(\frac{kJ}{h}\right) = 11000 \left(\frac{kcal}{kg}\right) \times 4,189 \left(\frac{kJ}{kcal}\right) \times CT$$

$$CT = 13,41 \left(\frac{kg}{h}\right)$$

²² Se utiliza el caudal mínimo de agua debido a que es el único valor referencial que proporcionan los fabricantes de los calderos.

3.6.4 EFICIENCIA

La perfecta combustión, la gran superficie de intercambio para bajas temperaturas de gas de escape (según carga entre 130°C y 195°C) y el gran aislamiento nos permiten conseguir rendimientos de hasta el 94%. Lo cual promueve una buena relación costo-beneficio.

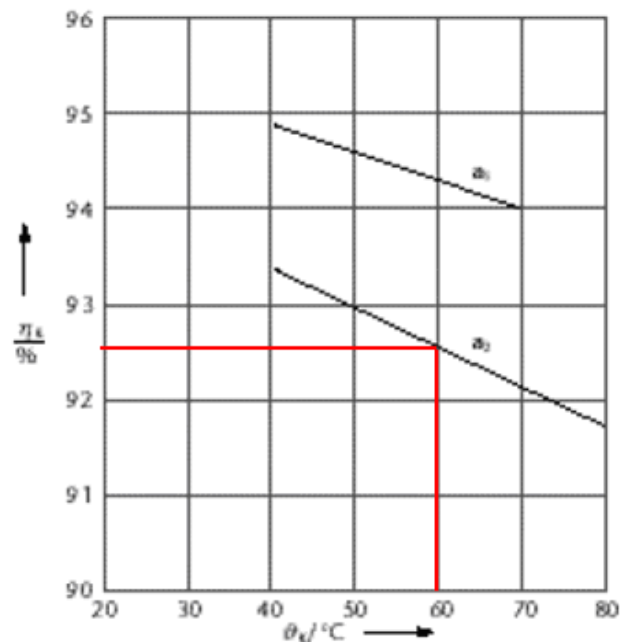


Figura 3.3 Rendimiento de acuerdo a la Temperatura media en la caldera

Fuente: Calderos Burderus

La figura 3.3 nos muestra dos curvas de rendimiento, la inferior muestra el rendimiento del caldero con carga completa y la superior el rendimiento del caldero con 60% de carga. Por lo tanto podemos encontrar que la eficiencia de la caldera a la temperatura del agua requerida (60 °C) en el tanque acumulador es 92,6% con carga total.

3.6.5 INSPECCIÓN INICIAL PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

Esta inspección se realiza una sola vez y es cuando el equipo va a empezar a funcionar, de tal manera que asegure una correcta instalación y funcionamiento. A continuación se detalla la información que se debe recopilar y registrar, de tal manera que sirva de respaldo para inspecciones anuales o cuando se haya cumplido un mantenimiento correctivo integral en el sistema.

1. Tipo de gas utilizado.
2. Verificación del aire de combustión y las aberturas de ventilación así como conexiones de la chimenea.
3. Chequeo de la placa de compensación de altura de gas en el caso de que la caldera sea instalada sobre los 2000 ft (600m) de altura sobre el nivel del mar.
4. Llenado completo de agua en el caldero y la purga del aire del sistema.
5. Medida la presión de entrada de gas.
6. Chequeo de la presión del múltiple de gas y ajuste en caso de ser necesario.
7. Revisión de las fugas de agua y gas durante la operación, verificación de las llamas del piloto y quemador y chequeo del correcto suministro de aire de combustión.
8. Las mediciones de:
 - a) Temperatura de los gases de escape (°C).
 - b) Temperatura de los gases del aire (°C).
 - c) Temperatura de los gases de escape en la chimenea (°C).
 - d) Contenido de CO₂ (%).
 - e) El tiro en la chimenea (%), refiérase al anexo E.
 - f) El contenido de CO (ppm).
9. Chequeo de los límites de operación del acuastato.

Por último, elabore un informe con firmas de responsabilidad.

Los niveles máximos de aceptación de los parámetros verificados y medidos, están detallados en el manual del fabricante ver anexo E (Record of initial inspection and Start up).

3.6.6 MANTENIMIENTO REQUERIDO

Las formas más adecuadas y recomendadas de mantenimiento son dadas por el fabricante que si son llevadas de buena forma aseguran un correcto funcionamiento y vida útil del equipo.

Se debe realizar una inspección y limpieza de forma periódica (por lo menos una vez al año) los ductos de ventilación y evacuación incluyendo las juntas de unión, en caso de que existan, para evitar que los gases de escape entren en

las habitaciones. En caso de estar instaladas en hoteles o departamentos pueden causar, en muchos casos, muerte por asfixia.

Para asegurar el buen desempeño del caldero se deben realizar las siguientes actividades siguiendo el procedimiento especificado por el fabricante (Anexo E).

1. Examinar el sistema de ventilación incluyendo la cámara de combustión y ventilación de aire.
2. Limpiar la chimenea y el quemador de la caldera por lo menos una vez al año.
3. Medir la presión de entrada del gas.
4. Verificar las fugas de gas durante la operación.
5. Verificar las llamas del quemador y piloto.
6. Verificar el damper²³ de los gases de escape.
7. Realizar mediciones:
 - a. De temperatura de los gases de escape (°C).
 - b. De la temperatura de los gases del aire (°C).
 - c. De temperatura de los gases de escape en la chimenea (°C).
 - d. Del contenido de CO₂ (%).
 - e. El tiro en la chimenea (%), refiérase al anexo E.
 - f. El contenido de CO (ppm).
8. Chequear los límites de operación del acuastato.
9. Verificar que el área este libre de combustibles u otros líquidos inflamables o corrosivos.
10. Realizar una hoja de registro y control al final del mantenimiento.

3.6.7 SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL

Por el desarrollo tecnológico las calderas hoy en día operan en forma totalmente automática su ciclo normal de funcionamiento sin precisar de acción manual alguna, salvo en su puesta inicial en servicio o en caso de haber actuado un órgano de seguridad de corte de aportación calorífica después de que éste haya sufrido un paro ocasionado por la acción de alguno de sus órganos de seguridad o de regulación.

²³ Damper: Amortiguador que evita las sobrepresiones de los gases de escape.

El caldero en cuestión tiene los siguientes sistemas de seguridad y control.

1. Termostato para el control de temperatura del agua.
2. Válvula de alivio para el caldero.
3. Válvula de flujo de agua para el caldero.
4. Controles de ajustes de temperatura.
5. Sensores de temperatura:
 - a. Sensor de entrada de agua.
 - b. Sensor de salida de aire.
6. Control para la temperatura de elevación del agua.
7. Control automático del damper.

3.6.8 ASPECTO ECONÓMICO

El precio del equipo depende de su capacidad (potencia) de calentamiento, complejidad en su sistema de control, procedencia y cumplimiento de normas ANSI²⁴, ASME²⁵ y AGA²⁶ lo que garantiza seguridad y vida útil de los equipos.

A continuación, en la figura 3.4, se muestran los sellos que certifican su diseño y manufactura.



Figura 3.4 Sellos de entidades certificadoras de construcción de calderos

De acuerdo a los requerimientos del edificio para el calentamiento del agua, es necesario, debe utilizarse un caldero de 400000 BTU/h. El mismo que se encuentra disponible en el mercado nacional a un precio de 5198 USD sin IVA²⁷.

3.7 CALEFONES

Los calefones son una subclasificación de las calderas, por la tecnología usada para su funcionamiento (Calderas Murales). Las marcas utilizadas para el

²⁴ ANSI: American

²⁵ ASME: American Society for Mechanical Engineers.

²⁶ AGA: American Gas Association

²⁷ IVA: impuesto al valor agregado

presente estudio son INSTAMATIC e YANG, las cuales se encuentran en el mercado y a disposición del cliente.

3.7.1 TIPO DE QUEMADOR

Los calefones utilizan quemadores atmosféricos, los mismos que permiten la mezcla aire-combustible en su interior.

La principal ventaja que ofrecen estos quemadores es su simplicidad de diseño y bajo costo. Se logra la activación de la energía mediante una llama piloto la cual se controla mediante un encendido electrónico.

Estos tipos de quemadores permiten el montaje y desmontaje de manera rápida sin ser necesario el desarme completo del calefón. Su posicionamiento dentro del calentador es tal que impide una mala ubicación (no se puede instalar de forma incorrecta) como se muestra en la figura 3.5.

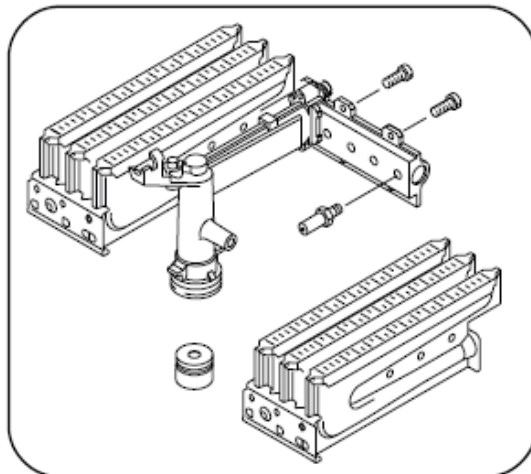


Figura 3.5 Esquema de quemador atmosférico

Fuente: Instrucciones de instalación y manejo. Calefones Neckar

3.7.2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

Este tipo de calefones, según el INEN, son clasificados como calentadores de paso continuo y acumulativo. En este caso, el ente regulador (INEN) describe las normativas que se deben cumplir en la norma NTE INEN 2124: "Uso e Instalación de Calentadores de Agua a Gas de Paso Continuo y Acumulativo". Se hará referencia únicamente a lo que se describa en la misma (Ver Anexo D).

Para realizar la instalación de los calefones para uso residencial debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Montar el calefón en un lugar bien ventilado.
2. El aire de combustión debe estar libre de materiales agresivos para evitar corrosión.
3. Para el mantenimiento deben considerarse las distancias indicadas en la norma, respecto a su empotramiento.
4. Debido a que la superficie externa del calefón está por debajo de los 85 °C, no necesita medidas de protección para materiales inflamables.
5. Los calefones no deben encontrarse en lugares bajo los 0°C.

3.7.3 SISTEMA DE REGULACIÓN DE CARGA

El sistema de regulación de carga para los calefones tiene un sistema mucho más sencillo que el de los calderos antes mencionados, en este caso solo utiliza un regulador tipo diafragma el cual permite o restringe el paso de combustible. Este sistema varía de acuerdo a los fabricantes, para mayor referencia observe la tabla 3.8:

Tabla 3.8 Consumos nominales de gas

Modelo	consumo total de gas		capacidad (litros)
	GLP (kg/hr)	NPG (m3/h)	
TW-981	1,80	1,95	26
TW-982	1,40	1,83	18
TW-920	1,50	1,88	20
TW-983	1,34	1,80	16
TW-990	2,00	2,20	28

Fuente: Calentadores de agua a gas Yang

3.7.4 EFICIENCIA

Según lo que establece la norma NTE INEN 2187 (3.1.7 Gasto nominal), los calefones tienen un rendimiento convencional que varía de acuerdo al poder calorífico del GLP, es decir, que si el poder calorífico es inferior su rendimiento será de 0,84 y si su poder calorífico es superior su rendimiento es 0,75.

Sin embargo de acuerdo a pruebas experimentales realizadas por PETROINDUSTRIAL el poder calorífico obtenido del GLP comercial es un valor promedio que cumple con los requerimientos normados. Por ello se trabajará, también, con una eficiencia promedio de las antes mencionadas. El rendimiento de los calefones es por tanto 0,795 \approx 0,80.

3.7.5 INSPECCIÓN INICIAL PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

Para la puesta en marcha del calefón deben seguirse los siguientes pasos:

1. Verificar el tipo de gas utilizado.
2. Poner en funcionamiento el piloto.
3. Permitir el flujo del gas hacia el calefón (quemador).
4. Después del encendido, verificar la llama del piloto (chequear el correcto funcionamiento del piloto²⁸) y apagar el sistema.
5. Encender el calefón.
6. Regular la temperatura del agua, mediante la apertura de agua al calefón.
7. Elaborar un informe con firmas de responsabilidad.

3.7.6 MANTENIMIENTO REQUERIDO

El mantenimiento debe ser realizado por una empresa o persona que tenga conocimientos de instalaciones de gas. Entre las principales actividades que deben realizarse para el mantenimiento de los calefones están las siguientes:

1. Después del primer año: comprobar el funcionamiento, limpiar íntegramente y descarbonizar el hogar.
2. Comprobar el bloque térmico y verificar si necesita o no descarbonización²⁹.
3. Controlar la estanqueidad del grupo de gas y agua.
4. En caso de existir deterioro en los componentes, utilizar piezas o repuestos originales.

3.7.7 SISTEMAS DE SEGURIDAD Y CONTROL

Entre los sistemas de seguridad y control que tienen los calefones es necesario destacar los siguientes:

La regulación de temperatura se la realiza mediante un mando regulador de caudal, con lo cual al girar en un sentido aumenta el caudal y disminuye la temperatura y viceversa.

Para asegurar el correcto funcionamiento del calefón se cuenta con varios dispositivos y sistemas que evitan cualquier deterioro en el sistema de calentamiento, entre ellos se pueden destacar:

²⁸ Cuando eventualmente exista aire en la red de gas, la primera puesta en marcha podrá no ser instantánea.

²⁹ Descarbonización: limpiar los residuos de CO₂ de las paredes de la chimenea o el hogar.

- Resistencia al sobrecalentamiento.- lo cual se mide en base al deterioro que sufren los quemadores en comparación con la alteración superficial propia de la combustión.
- Temperatura de los mandos.- los mismos que tienen límites específicos según la norma NTE INEN 2187.
- Estabilidad de la llama.- Debe cumplir ciertos lineamientos que aseguren la combustión adecuada del gas.

3.7.8 ASPECTO ECONÓMICO

El precio de los calefones depende de las marcas, de las casas comerciales que los distribuyen, a continuación, en la tabla 3.9 se detalla la lista de precios de los calefones de acuerdo a su capacidad.

Tabla 3.9 Consumos nominales de gas

Marca	Capacidad	Precio Unitario
YANG	26 litros	335,00
	28 litros	360,00
INSTAMATIC	26 litros	119,22
	28 litros	216,00

Cabe destacar que para satisfacer los requerimientos antes mencionados de demanda y temperatura, se necesitan seis calefones para calentar el agua. El número de calefones necesarios para este sistema se detalla en el capítulo 4 (4.1.2 Análisis de la demanda energética).

Después de haber realizado el estudio respectivo de los parámetros característicos de los equipos a seleccionar (caldera y calefones), se procede a la selección de la mejor alternativa. Este análisis debe tomarse en cuenta de acuerdo a parámetros cuantificables, es por ello que la tabla 3.10 muestra un resumen de los parámetros característicos que servirán en el posterior análisis.

Tabla 3.10 Parámetros característicos de los equipos a seleccionarse

Parámetros de evaluación	Caldera	Calefón
Tipo de quemador	Quemadores mecánicos (modulantes)	Quemadores atmosféricos
	Utilizan silenciadores	Simplicidad de diseño, instalación y mantenimiento
	Utilizan tecnología de tres pasos de humo	
Requerimientos de instalación	Necesitan gran espacio para evacuación de gases de escape (tóxico)	La adecuación no es muy exigente
	Necesitan ventilaciones adecuadas	Necesitan ventilaciones adecuadas
Sistema de regulación de carga	La regulación conlleva un operación muy compleja.	Regulación sencilla
	Utiliza válvulas mezcladoras	
Eficiencia	Promueve una buena relación costo-beneficio	Diseño específico para instalaciones residenciales
	Su eficiencia es de 92,6%	Su eficiencia es 80%
Puesta en marcha	Procedimiento técnico complejo	Procedimiento sencillo (pocos parámetros de control)
Mantenimiento requerido	Necesita personal técnico especializado	Personal técnico no muy especializado en el campo
	Costo elevado	Costo moderado
Sistemas de seguridad y control	Seguridad operacional alta	Seguridad operacional moderada
	Seguridad personal baja	Seguridad personal alta
Aspecto económico	5198 USD para la demanda energética requerida	715,32 USD para la demanda requerida

3.8 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para seleccionar cual de las dos alternativas antes descritas es la más idónea para el uso requerido, es necesario establecer diferencias entre los parámetros descritos. Cada uno de ellos debe ser calificado y para ello se deben elaborar las matrices de decisión correspondientes.

Para la elaboración de la matriz es preciso determinar los parámetros más representativos, los mismos que detallamos a continuación:

- A Seguridad del sistema.
- B Precio.

- C Acondicionamiento cuarto de máquinas.
- D Eficiencia.
- E Facilidad de mantenimiento (complejidad).
- F Facilidad de puesta en marcha (complejidad)

El primer paso para la selección de la mejor alternativa es tomar en cuenta el factor de peso, el cual se obtendrá realizando un análisis comparativo entre cada uno de los parámetros detallados y se analiza la importancia que tienen entre ellos. Este factor de peso se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Cálculo del Factor de peso

		PARAMETROS DE EVALUACION							TOTAL	%	Factor de peso (WF)
		A	B	C	D	E	F	G			
Seguridad	A	-	1	1	1	1	1	1	6	30,00%	0,30
Precio	B		-	1	1	1		1	4	20,00%	0,20
Acondicionamiento	C			-	1			1	2	10,00%	0,10
Eficiencia	D				-		1	1	2	10,00%	0,10
Facilidad de mto	E		1	1	1	-	1	1	5	25,00%	0,25
Facilidad de encendido	F						-	1	1	5,00%	0,05
								TOTAL	20	100,00%	1

Los valores de calificación son los siguientes:

El valor de 1 significa que el parámetro es más importante:

El valor de ½ significa que el parámetro es igual de importante.

El espacio vacío significa que es menos importante.

La tabla 3.12 muestra el factor de evaluación, la misma que es una comparación cuantitativa entre las alternativas propuestas (caldero y calefones). Este análisis compara cada uno de los parámetros mencionados entre las dos opciones.

Tabla 3.12 Determinación del Factor de evaluación (RF)

Orden	Material	Parámetros de Evaluación (RF)					
		A	B	C	D	E	F
1	Caldero	4	1,72	9,23	9,26	6	6
2	Calefón	8	10	10	8	10	10

El estudio detallado de cada uno de los factores de evaluación se muestra a continuación:

- La seguridad en cada una de las alternativas (caldera y calefón) se la cuantificó en una escala del 1 al 5. El máximo valor de seguridad operacional y personal que ofrezca el equipo se cuantifica con un valor de 10. Con ello se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Factor de evaluación en base el nivel de seguridad

	Caldera	Sistema de Calefones
Nivel de seguridad	2	4
RF	4	8

Calificación	Valor
muy alto	5
alto	4
medio	3
bajo	2
muy bajo	1

- Analizando el segundo parámetro (precio), tenemos que el equipo que tenga el menor precio de costo obtendrá la calificación de 10, por otro lado el equipo restante obtendrá una calificación en base al precio mandatario como se puede ver en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Factor de evaluación en base al precio

	Caldera	Sistema de Calefones
Precio (\$)	5198	894,12
RF	1,72	10

- Para encontrar el factor de evaluación analizando el acondicionamiento del cuarto de máquinas, debe tomarse en cuenta el espaciamiento que necesita cada equipo para su adecuado funcionamiento. Ver tabla 3.15.

Tabla 3.15 Factor de evaluación en base al espaciamiento en el cuarto de máquinas

	Caldera	Sistema de Calefones
Volumen m ³ (acondicionamiento)	26	24
RF	9,23	10

- La eficiencia se la califica de acuerdo al valor que el equipo disponga, es así como si la caldera tiene una eficiencia de 92,6%, el valor de factor de evaluación es 9,26. Para más detalles ver tabla 3.16.

Tabla 3.16 Factor de evaluación en la eficiencia del equipo

	Caldera	Sistema de calefones
Eficiencia	0,926	0,8
RF	9,26	8

- Para determinar el factor de evaluación en lo que respecta a la facilidad de mantenimiento debe tomarse en cuenta el personal que lo debe realizar, la complejidad que presenta y la seguridad que ofrece el equipo en caso de realizarse esta actividad. La tabla 3.17 muestra los resultados de este análisis.

Tabla 3.17 Factor de evaluación de acuerdo a la facilidad de mnto.

	Caldera	Sistema de calefones
Facilidad mantenimiento	3	5
RF	6	10

Calificación	Valor
muy alto	5
alto	4
medio	3
bajo	2
muy bajo	1

- Por último para analizar la facilidad de puesta en marcha deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos: tiempo, variables de medición, personal de ejecución. Los resultados de este análisis los muestra la tabla 3.18.

Tabla 3.18 Factor de evaluación de acuerdo a la facilidad de puesta en marcha

	Caldera	Sistema de calefones
Facilidad puesta en marcha	3	5
RF	6	10

Calificación	Valor
muy alto	5
alto	4
medio	3
bajo	2
muy bajo	1

Una vez que se conocen los factores de peso y de evaluación respectivos a cada una de las opciones, se elabora la matriz de decisión mostrada en la Tabla 3.19, la misma que determina cual de las dos opciones es la más adecuada para el uso requerido en base a la calificación de cada una de ellas.

Tabla 3.19 Matriz de decisión para la selección de la mejor alternativa

	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	Factor de Peso (WF)	ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN			
			Caldera		Sistema de Calefones	
			Factor de evaluación (RF)	Calificación	Factor de evaluación (RF)	Calificación
Seguridad	A	0,30	4,00	1,20	8	2,40
Precio	B	0,20	1,72	0,34	10	2,00
Acondicionamiento	C	0,10	9,23	0,92	10	1,00
Eficiencia	D	0,10	9,26	0,93	8	0,80
Facilidad mtto	E	0,25	6,00	1,50	8	2,00
Facilidad marcha	F	0,05	6,00	0,30	10	0,50
				5,19		8,70

El resultado que determina esta matriz de decisión es, que la segunda opción es la más adecuada y la tomamos como valedera. Por lo tanto, el sistema mas idóneo a utilizar es los calefones como fuente de calentamiento del agua para consumo domestico.

CAPITULO 4

DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

4.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA

4.1.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Los parámetros para la selección de los calefones están determinados en el capítulo anterior, los mismos que poseen los siguientes valores:

- Flujo máximo.- determinado por unidades de consumo en el hotel y el mismo que es 33,97 lts/min (9 GPM).
- Temperatura máxima.- determinada por el calentamiento del agua para almacenamiento y posteriormente para el abastecimiento a cada uno de los departamentos. La temperatura máxima para nuestro uso es 60 °C.
- Temperatura mínima.- se refiere a la temperatura ambiente considerada para el diseño, de acuerdo a los valores mínimos de temperatura en la ciudad de Quito. Este dato proporcionó el INAMHI y su valor es 10 °C. los datos son un promedio de los últimos cuatro años.

4.1.2 ANÁLISIS DE CARGA TÉRMICA

Debido a que en el mercado no existen calefones que cumplan la demanda energética, calculada en el capítulo 3, fue necesario calcular el número de calefones requeridos para satisfacer dicha demanda que equivale a un valor de 118.50 kw (405000 btu/h).

Una vez encontrada la carga térmica requerida para calentar el agua, es necesario determinar el aporte energético que cada calefón entregará para el calentamiento del agua. Para ello es indispensable conocer las características del calefón en lo que se refiere a consumo de GLP, así como del caudal de agua a calentar y el poder calorífico del combustible.

El GLP comercial está compuesto por una mezcla de 70% de butano y 30% de propano, que en nuestro caso es para alimentar un circuito de calefones bajo consumo. El poder calorífico del GLP comercial es 11000 (kcal/kg)³⁰.

³⁰ Poder Calorífico del GLP de acuerdo a pruebas experimentales realizadas en la refinería Esmeraldas. Dichas pruebas se realizaron acorde a la norma ASTM D240

Por otro lado, el calefón más adecuado a los requerimientos del hotel y el que se va a utilizar es el modelo TW-981, cuya capacidad de calentamiento de agua es de 26 litros (nominal), correspondiente a un consumo de combustible³¹ de 1,80 (kg / hr). El cálculo de la carga energética entregada por cada calefón se determina mediante la ecuación (4.1).

$$Q_{calefón} = PC \times CT \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

$$Q_{calefón} = 11000 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times 1,80 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right) \times \frac{1}{3600} \left(\frac{\text{hr}}{\text{s}} \right) \times 4186 \left(\frac{\text{J}}{\text{kcal}} \right)$$

$$Q_{calefón} = 23,023 \text{ (kW)}$$

Donde:

$Q_{calefón}$ =Carga térmica entregada por el calefón (Kw).

PC=Poder calorífico del combustible (kcal/kg).

CT=Consumo total de combustible de acuerdo al modelo de calefón utilizado (kg / hr).

El número de calefones a utilizar en el hotel de manera que se llegue a la carga térmica requerida se determina utilizando la ecuación (4.2).

$$\# \text{ calefones} = \frac{Q_{demanda}}{Q_{calefón}} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

$$\# \text{ calefones} = \frac{118,58}{23,023}$$

$$\# \text{ calefones} = 5,2$$

Por lo tanto el número de calefones a utilizar es 6 debido a que con estos se asegura que la carga térmica sea la requerida. Es necesario notar que en el análisis anterior no se toma en cuenta el agua recuperada de cada unidad de consumo, debido a que solo se toman en cuenta los valores más críticos.

Carga térmica es la cantidad de calor que se debe ceder a un caudal determinado de agua para mantenerlo en las condiciones deseadas de temperatura.

Carga energética es la velocidad a la cual se debe aportar combustible (por medio del calefón) para calentar y mantener en las condiciones de temperatura deseadas un determinado caudal de agua.

³¹ Tomado de las especificaciones técnicas de los Calefones YANG

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

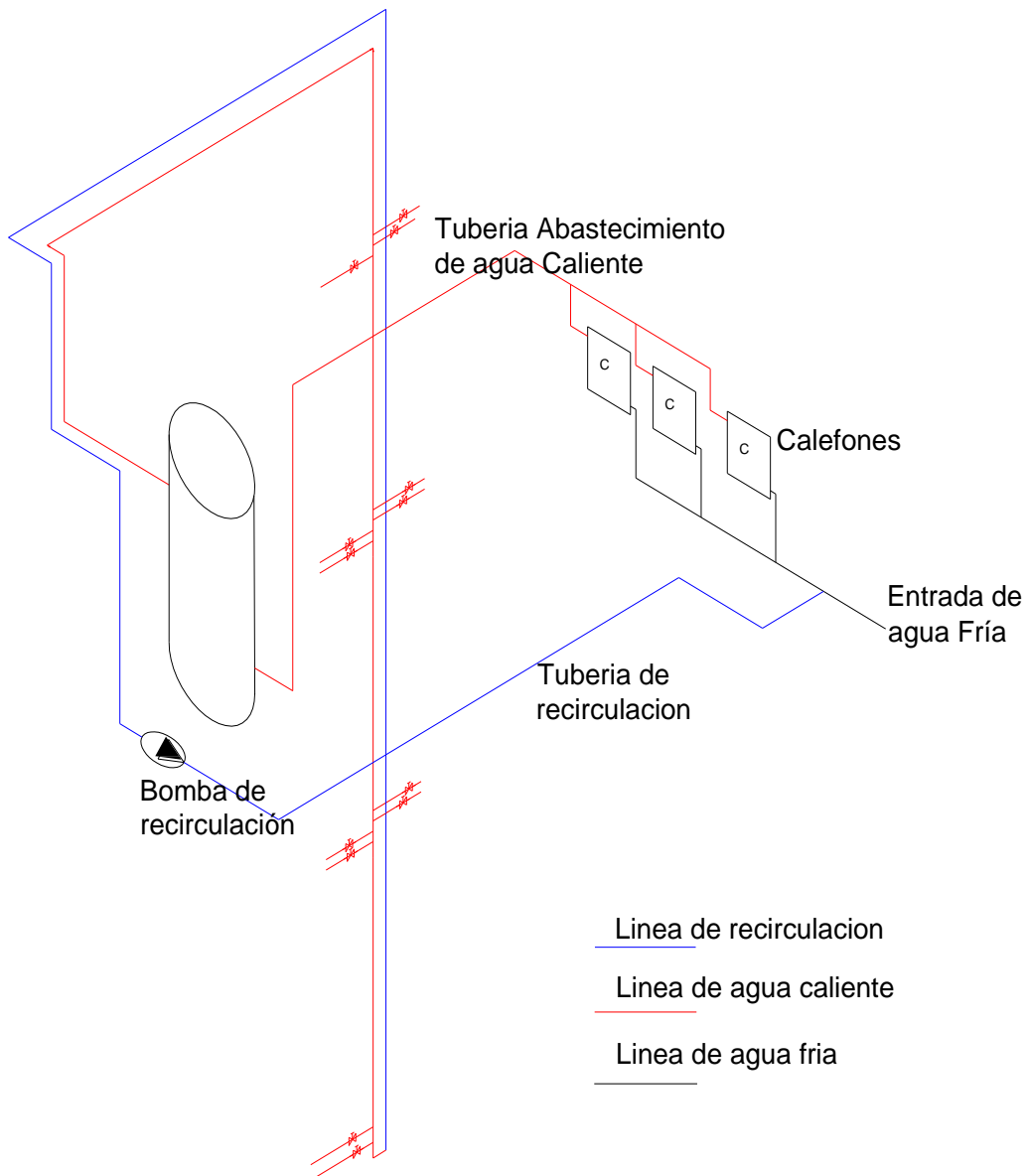


Figura 4.1 Esquema Básico del Sistema de distribución y recirculación de agua caliente

SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA TUBERÍA

En el mercado ecuatoriano existen una amplia gama de materiales para tubería, entre las cuales se encuentran disponibles el hierro, el cobre y el PVC³², los mismos que se usan para la distribución de agua tanto fría como caliente. Para la selección adecuada de la tubería se necesita, primeramente conocer las ofertas del mercado, en cuanto al material con que están construidas las tuberías, características principales y los usos recomendados.

³² PVC Policloruro de vinilo

A continuación se elabora una matriz de decisión para la selección de la tubería adecuada.

Para la elaboración de la matriz, primero, se determinan los parámetros más representativos de acuerdo a los requerimientos de uso en el edificio, y se han establecido los siguientes:

- A Permanencia en el mercado.
- B Facilidad de instalación y mantenimiento
- C Precio.
- D Resistencia a la exigencia del trabajo.
- E Vida útil.

Las alternativas entre las cuales se va a seleccionar el material adecuado son las siguientes:

- 1 Cobre
- 2 Hierro
- 3 PVC

Para la selección de la mejor alternativa debemos tomar muy en cuenta el factor de peso (referido al parámetro de mayor influencia en la decisión), los que ordenarán de acuerdo a la importancia que este represente sobre el resto de parámetros analizados.

Tabla 4.1 Cálculo del Factor de peso

	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN						TOTAL	%	Factor de peso (WF)
	A	B	C	D	E	F			
A	-	1	1	1	1/2	3	6,50	26,00%	0,26
B		-	½		1	3	4,50	18,00%	0,18
C		½	-			3	3,50	14,00%	0,14
D		1	1	-	1/2	3	5,50	22,00%	0,22
E	1/2		1	1/2	-	3	5,00	20,00%	0,2
TOTAL							25	100,00%	1,00

Otro factor determinante para la selección de la mejor alternativa es encontrar el factor de evaluación, mostrado a continuación:

Tabla 4.2 Determinación del Factor de evaluación (RF)

Material	Factor de evaluación (RF)				
	A	B	C	D	E
Cobre	10	10	4	10	10
Hierro	4	6	10	2	4
PVC	8	6	8	8	6

La matriz de decisión se muestra en la Tabla 4.3 en la cual se podrá observar el material más idóneo para el uso a emplearse:

Tabla 4.3 Matriz de decisión para la selección del material de tubería

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	Factor de Peso (WF)	ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN					
		Cobre		Hierro		PVC	
Descripción		Factor de evaluación (RF)	Calificación	Factor de evaluación (RF)	Calificación	Factor de evaluación (RF)	Calificación
A	0,26	10	2,6	4	1,04	8	2,08
B	0,18	10	1,8	6	1,08	6	1,08
C	0,14	4	0,56	10	1,4	8	1,12
D	0,22	10	2,2	2	0,44	8	1,76
E	0,2	10	2	4	0,8	8	1,2
			9,16		4,76		7,24

La mejor alternativa, de acuerdo a la matriz de decisión, es la opción 1 (el cobre) por tanto la escogemos como la mas adecuada.

En el mercado nacional existen tres tipos de cobre:

- Tipo “K”
- Tipo “L”
- Tipo “M”

Cada uno de ellos tiene su rango de aplicación basado en sus espesores. El Tipo “K” por sus características se recomienda usar en instalaciones de tipo industrial, conduciendo líquidos y gases en condiciones más severas de presión y temperatura. El cobre Tipo “L” es un tipo de tubería a usarse en instalaciones hidráulicas en condiciones severas de servicio en donde las presiones de trabajo y temperatura son más elevadas de lo normal. El Tipo “M” se lo utiliza para instalaciones hidráulicas de agua fría y caliente residenciales y domésticas en donde las presiones de servicio sean normales haciéndolo ideal para nuestro uso y proyecto.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA TUBERÍA DE ABASTECIMIENTO

El dimensionamiento del sistema de tubería de abastecimiento se lo realiza en base a las recomendaciones del capítulo 33³³ del ASHRAE Fundamental Handbook (ASHRAE Manual de Fundamentos).

Según los cálculos de la demanda de caudal requerido en el hotel es de 9 (gpm), y tomando en consideración las recomendaciones del ASHRAE que la pérdida de presión para diseño está entre (1–4) ft de agua por 100 ft de tubería, el valor promedio representativo es de 2.5 ft de agua/100 ft para el diseño.

$$h_L = \frac{2.5 \text{ ft}}{100 \text{ ft}}$$

Para el dimensionamiento de la tubería utilizamos la Figura 4.2 tomando en cuenta la pérdida por fricción recomendada por ASHRAE y el valor del caudal en el edificio.

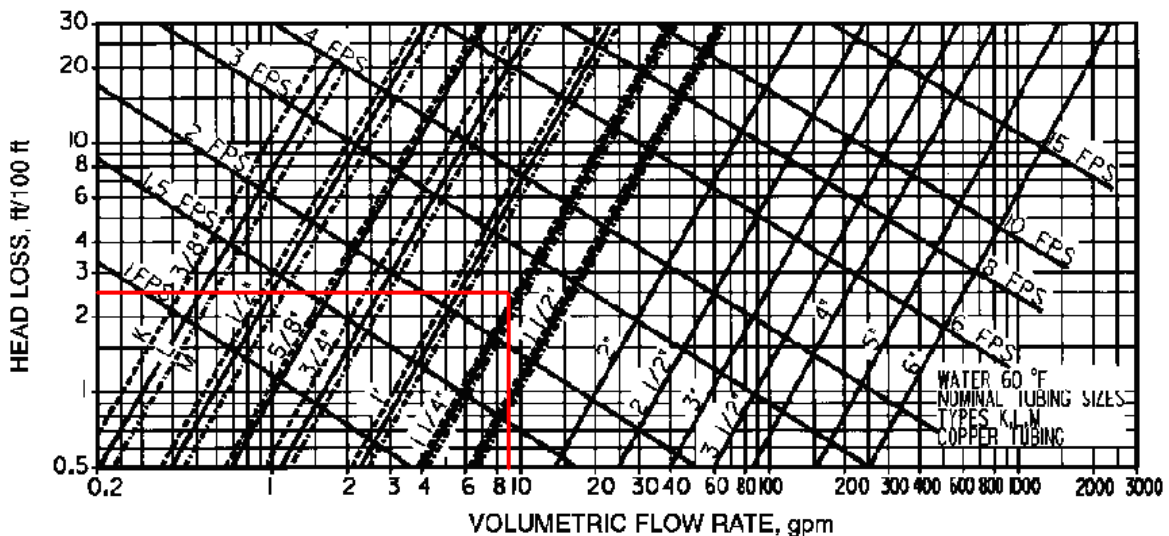


Figura 4.2 Pérdida por fricción en Tubería de cobre (Tipo K, L, M) para agua

Fuente: Tomada de ASHRAE Fundamental Handbook (Capítulo 33)

Observando la figura 4.2 se puede notar que el diámetro de la tubería requerida se encuentra entre (1" a 1½") y con una velocidad de flujo de (2 a 3) FPS³⁴.

³³ Capítulo 33 Dimensionamiento de Tubería

³⁴ FPS feet per second (Pies por segundo)

Para nuestro estudio escogemos un diámetro de tubería de 1½” ya que este es más común y fácil de encontrar comercialmente. Posteriormente al dimensionamiento de la tubería es preciso determinar la pérdida de presión y la velocidad correspondientes a dicho diámetro, para lo cual utilizamos la ecuación (4.3)

$$v = \frac{Q_{dem}}{A} \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

$$v = \frac{9 * \frac{1.33681}{60} \left(\frac{ft^3}{s}\right)}{\pi * \frac{(0.125 ft)^2}{4}}$$

$$v = 1.64(FPS)$$

Donde:

h_L = Pérdidas por fricción en la tubería por cada 100 ft de longitud.

Q_{dem} = Caudal de agua caliente requerido en el hotel (ft³/s).

v = Velocidad del fluido en la tubería (FPS).

A = Área de la sección transversal del tubo (ft²).

La pérdida por fricción es 1,5 ft por cada 100 ft de longitud y su velocidad es 1,64 FPS³⁵

DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE RECIRCULACIÓN

Tomando como referencia lo que recomienda en el libro de Rafael Pérez Carmona³⁶, quien especifica que de acuerdo a la experiencia e investigaciones realizadas, el diámetro de la tubería de retorno debe ser la mitad del diámetro de la tubería matriz y un mínimo de ¾”, con lo cual tomaríamos un diámetro de ¾” para la tubería de recirculación. Sin embargo de acuerdo al trabajo que realizan las bombas y tomando en cuenta que cierto instante el tanque puede llegar a necesitar mantenimiento, por lo cual las bombas trabajarían más, debe preverse que la tubería proporcione el suficiente caudal de agua a los calefones, por lo tanto es prudente colocar tubería de 1”.

El caudal de recirculación depende de la cantidad de energía que se pierda por efectos del ambiente externo expresado por longitud de tubería instalada según

³⁵ FPS: feet per second (pies por segundo)

³⁶ Tomado de Instalaciones Hidrosanitarias, Rafael Pérez Carmona, Agua Caliente.

las tablas del ASHRAE, y esta se va a dar solamente cuando no haya consumo de agua caliente, es decir este en estado de estanqueidad y haya perdido calor el sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA ACUMULADOR

Para establecer la capacidad del tanque es preciso determinar la demanda de agua en un instante dado, para ello es importante encontrar el factor de simultaneidad³⁷ en cada tramo de distribución y posteriormente en cada planta del hotel. Para encontrar dicho factor nos basamos en los gastos obtenidos del ASHRAE y en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Tanto por ciento, a tomar del gasto, en tramos de columnas³⁸

# de grupos de servidos por tramo	1	2	3	4	5	6	8	10	20
Tanto por ciento de simultaneidad									
Inodoros con depósito	100	90	85	80	75	70	64	55	50

A continuación se detalla la simultaneidad de demanda de agua caliente en las diferentes plantas del edificio.

Planta 5

Este tramo abastece a dos departamentos (grupos), entonces el factor de gasto total es 90%.

Planta 6 y 7

Estos tramos abastecen a cuatro departamentos, cada uno, y por ello el factor de gasto total es 80% por cada tramo.

Planta 8

Este tramo abastece a tres departamentos y el factor de gasto total es 85%.

³⁷ Tomado de Instalaciones Sanitarias para hoteles; Mariano Rodríguez Avial; Gasto en distribuidores.

³⁸ Tomado de Instalaciones Sanitarias para hoteles; Mariano Rodríguez Avial; Tanto por ciento en distribuidores

Una vez establecidos los grupos de cada tramo, encontramos el número de grupos abastecidos con agua caliente para el hotel y su correspondiente factor de simultaneidad. El número de grupos es trece y su factor de simultaneidad es 50%, este valor lo multiplicamos por la demanda de agua caliente requerida y encontramos la capacidad del tanque acumulador.

$$V = 538,5 \times 0,5$$

$$V = 270(\text{gal})$$

Sin embargo por disponibilidad en el mercado y ahorro de costos, se establece la capacidad del tanque en 250 galones, cuyo parámetro no afecta al valor del diseño ya que en visitas realizadas a otras instalaciones similares se observó, por ejemplo en el hotel "ICARO" ubicado en los Jardines del Batán que para abastecer a 30 departamentos se utiliza dos tanques con capacidad de 250 galones cada uno.

DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Los cálculos del dimensionamiento del tanque hacen referencia a la norma ASME para tanques sometidos a presión interna³⁹, la cual establece los siguientes parámetros:

- Las propiedades del material, la presión interna de trabajo y la corrosión admisible determinan la vida útil del tanque, la misma que se ha tomado como 20 años⁴⁰. Una vez establecido esto debe calcularse un factor⁴¹ que determina los factores antes mencionados.
- Para el diseño del tanque se analizó dos tipos de materiales, debido a que es preciso establecer cual de las opciones es la más idónea para el servicio requerido.
- Los cálculos realizados representan una estimación de las dimensiones del tanque, ya que debe tomarse en cuenta que el mismo no debe tener un área lateral muy grande para disminuir las pérdidas de calor. Por ello

³⁹ Tomado del Pressure Vessel Handbook (Manual de Tanques sometidos a Presión Interna).

⁴⁰ Tomado del Pressure Vessel Handbook, Corrosion.

⁴¹ Tomado del Pressure Vessel Handbook, Optimum Vessel Size

debe primar en la construcción del tanque un diámetro mayor y a su vez ajustarnos a la disponibilidad de material en el mercado.

En este caso se procura que resista la presión de la red de agua potable, la misma que es 70 psi. (Presión de operación).

DISEÑO CON ACERO INOXIDABLE AISI 302

Para el dimensionamiento del tanque es preciso conocer las propiedades del material con el cual se va a construir. En este caso es Acero Inoxidable AISI 302, debido a que es un material blando que ofrece gran resistencia a la corrosión, además junto al AISI 304 son los más comúnmente utilizados en el mercado nacional. Las propiedades de este material, según ASME, están detalladas en las propiedades de los materiales de Pressure Vessel Handbook (Manual de Recipientes a Presión)⁴². Para ello es necesario conocer la composición del material (Cr 18 – Ni 8) para el cual el esfuerzo a utilizarse es $\sigma_{\text{tensión}}=70000$ psi. Ver anexo E

ASME no define valores de corrosión para espesores de tanque mayores a $\frac{1}{4}$ ". Sin embargo se puede llegar a determinar la corrosión admisible en base al tiempo de vida útil, tomando en cuenta 5 mils⁴³ por cada año, para lo cual utilizamos la ecuación (4.4).

$$CA = 0,005 \left(\frac{mm}{año} \right) \times NA (año) \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

$$CA = 0,005 \left(\frac{mm}{año} \right) \times 20 (año)$$

$$CA = 0,1 (mm)$$

Donde:

CA=Corrosión Admisible

NA=Número de años

Este valor es muy bajo por lo cual ASME recomienda utilizar un valor aproximado de corrosión admisible de $\frac{1}{16}$ " por cada 12 años de vida útil del tanque.

⁴² Tomado de Pressure Vessel Handbook, Propiedades de los materiales (Acero Inoxidable)

⁴³ 1 mil: 1 micra

En primera instancia se debe calcular el diámetro y altura adecuados para el tanque de acuerdo a las especificaciones del material a utilizarse. Para ello debemos utilizar los valores de acuerdo a unidades sugeridas por ASME.

$$V = 250 (gal) \times \frac{3,785 (lt)}{1 (gal)} \times \frac{1 (m^3)}{1000 (lt)} \times \frac{1 (ft^3)}{0,3048^3 (m^3)}$$

$$V = 33,42 (ft^3)$$

Posteriormente a esto se diseña el tanque para lo cual se necesita encontrar un factor óptimo de longitud que se define en la ecuación (4.5), para ello es necesario conocer el máximo esfuerzo permisible del material recomendado en ASME, Sección VII división 1, de acuerdo a la composición del acero inoxidable. En nuestro caso $S = 20000$ psi.

$$F = \frac{P_{dis}}{CA \cdot S \cdot E} \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Donde:

- F=Factor óptimo de longitud (1/in).
- P_{dis} =Presión de diseño (psi).
- CA=Corrosión Admisible (in).
- S=Esfuerzo máximo permisible (psi).
- E=Eficiencia de la junta.

Antes de encontrar este factor debe determinarse la presión de diseño, la cual según recomendación de ASME debe ser mayor que la presión de operación, para ello debe añadirse a la presión de operación 30 (psi) ó el 10% de la misma (siendo mandatario el valor más alto); además debe añadirse la presión ejercida por la altura del líquido. En este caso la altura del líquido no se considera por no disponer de ese dato, por ello el primer dimensionamiento será solo una aproximación. Para este calculo es necesario también la eficiencia de la junta soldada, en este caso no se realiza radiografiado por lo que la eficiencia es 0,70

$$F = \frac{P_{dis}}{CA \cdot S \cdot E}$$

$$F = \frac{(70 + 30)(psi)}{\frac{1}{8}(in) \cdot 20000(psi) \cdot 0.7}$$

$$F = 0.057 \left(\frac{1}{in} \right)$$

Una vez encontrado el factor óptimo de longitud, utilizamos la figura 4.3 para encontrar el diámetro óptimo del tanque, así como la longitud del mismo en base al volumen requerido.

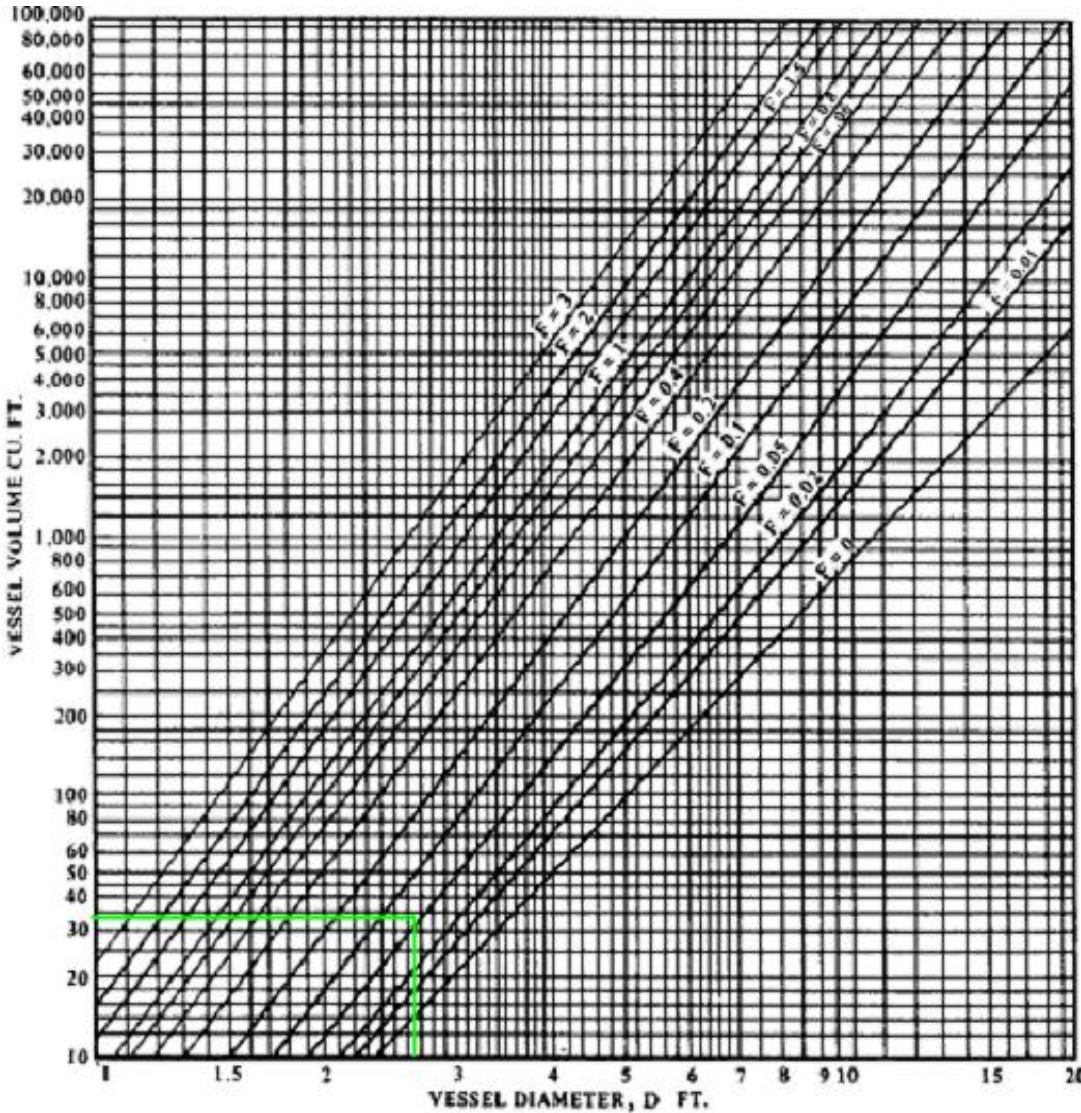


CHART FOR DETERMINING THE OPTIMUM VESSEL SIZE

Figura 4.3 Cuadro para determinar la Dimensión óptima del Tanque sometido a Presión Interna (Acero Inoxidable)⁴⁴

Fuente: Pressure Vessel Handbook

Estas medidas son tentativas, sin embargo se realiza un ajuste de ellas por facilidad de construcción y procurando que encajen según la disponibilidad de material en el mercado.

⁴⁴ Tomado del Pressure Vessel Handbook, Tamaño Óptimo del Tanque.

El diámetro obtenido del a figura 4.3 es 2.6ft (0,8m)

$$\begin{aligned}
 D &:= 2.6 && (\text{ft}) \\
 L &:= \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} && \text{Ecuación (4.6)} \\
 L &= 6.294 && (\text{ft}) \\
 D &:= D \cdot 0.3048 && D = 0.792 \quad (\text{m}) \\
 L &:= L \cdot 0.3048 && L = 1.918 \quad (\text{m})
 \end{aligned}$$

Una vez establecidas las medidas del tanque, es necesario tomar en cuenta la facilidad de construcción y la disponibilidad de los materiales en el mercado. Por tanto las medidas ajustadas se presentan a continuación.

Medidas reales

$$\begin{aligned}
 V &:= 0.946 && (\text{m}^3) \\
 D &:= 0.80 && (\text{m}) \\
 L &:= \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \\
 L &= 1.882 && (\text{m}) \\
 L &:= 1.90 && (\text{m})
 \end{aligned}$$

Donde:

- D=Diámetro interior del tanque
- L=Altura del tanque.
- V=Volumen del tanque.

Ahora encontramos los espesores requeridos tanto del cuerpo del tanque, así como de las cabezas del mismo. Los cálculos respectivos se los realizaron tomando en cuenta las medidas interiores, para ello se utilizan las ecuaciones (4.7) para el cuerpo del tanque y (4.8) para las cabezas elipsoidales.

$$t_{\text{tanque}} = \frac{P_{dis} \cdot (R + CA)}{S \cdot E - 0.6 \cdot P_{dis}} + CA \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

$$t_{cabeza} = \frac{P_{dis} \cdot (D + 2 \cdot CA)}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P_{dis}} + CA \quad \text{Ecuación (4.8)}$$

Donde:

- t tanque=espesor del tanque.
- R=radio interno del tanque.
- D=diámetro interno del tanque
- Pdis=presión de diseño.
- Pope=presión de operación.
- t cabeza=espesor de la cabeza del tanque.

Tenemos entonces el cálculo del espesor del cuerpo del tanque cilíndrico como se muestra continuación:

Espesor del cuerpo

$$P_{dis} := \text{Pope} + 30 + \left(\frac{L}{0.3048} \right) \cdot 0.433$$

$$P_{dis} = 102.699 \quad (\text{psi})$$

$$R := \frac{D \cdot 12}{0.30482}$$

$$R = 15.748 \quad (\text{plg})$$

$$t_{tanque} := \frac{P_{dis} \cdot (R + CA)}{S \cdot E - 0.6 P_{dis}} + CA$$

$$t_{tanque} = 0.242 \quad (\text{plg})$$

$$t_{tanque} := t_{tanque} \cdot 25.4$$

$$t_{tanque} = 6.146 \quad (\text{mm})$$

$$t_{comercial} := 6 \quad (\text{mm})$$

Espesor de la cabeza elipsoidal

$$t_{cabeza} := \frac{P_{dis} \cdot \left[\left(D \cdot \frac{12}{0.3048} \right) + 2 \cdot CA \right]}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 P_{dis}} + CA$$

$$t_{cabeza} = 0.242 \quad (\text{plg})$$

$$t_{cabeza} := t_{cabeza} \cdot 25.4$$

$$t_{cabeza} = 6.135 \quad (\text{mm})$$

$$t_{comcab} := 6 \quad (\text{mm})$$

DISEÑO CON ACERO A36 GALVANIZADO POR INMERSIÓN

Análogamente al Diseño del tanque con el Acero AISI 302, se realiza el estudio utilizando Acero A36 galvanizado por inmersión como resultado de un tratamiento posterior a la construcción del tanque, el mismo que comparado con el Acero AISI 302 resulta más económico. Su esfuerzo a utilizarse es $\sigma_{\text{tensión}}=36000$ psi.

El tiempo de vida determina el grado de corrosión admisible del tanque, utilizando la ecuación (4.5), tenemos:

$$CA = 0,005 \left(\frac{mm}{año} \right) \times 20 (año)$$
$$CA = 0,1 (mm)$$

Este valor es muy bajo, ASME recomienda utilizar un valor de corrosión admisible de 1/16" por cada 12 años de vida útil del tanque. Por tanto tendremos una corrosión admisible de 1/8".

Calculamos las medidas del tanque siguiendo el mismo procedimiento análogo antes mencionado, en este caso $S = 16700$ (psi), y la eficiencia de la junta es 0,7; con esto encontramos el factor óptimo de longitud.

$$F = \frac{P_{dis}}{CA \cdot S \cdot E}$$
$$F := \frac{P}{CA \cdot S \cdot E}$$
$$F = 0.068 \quad \left(\frac{1}{in} \right)$$

Encontrado el factor óptimo de longitud, utilizamos la figura 4.4 para seleccionar el diámetro óptimo del tanque, así como la longitud del mismo en base al volumen requerido.

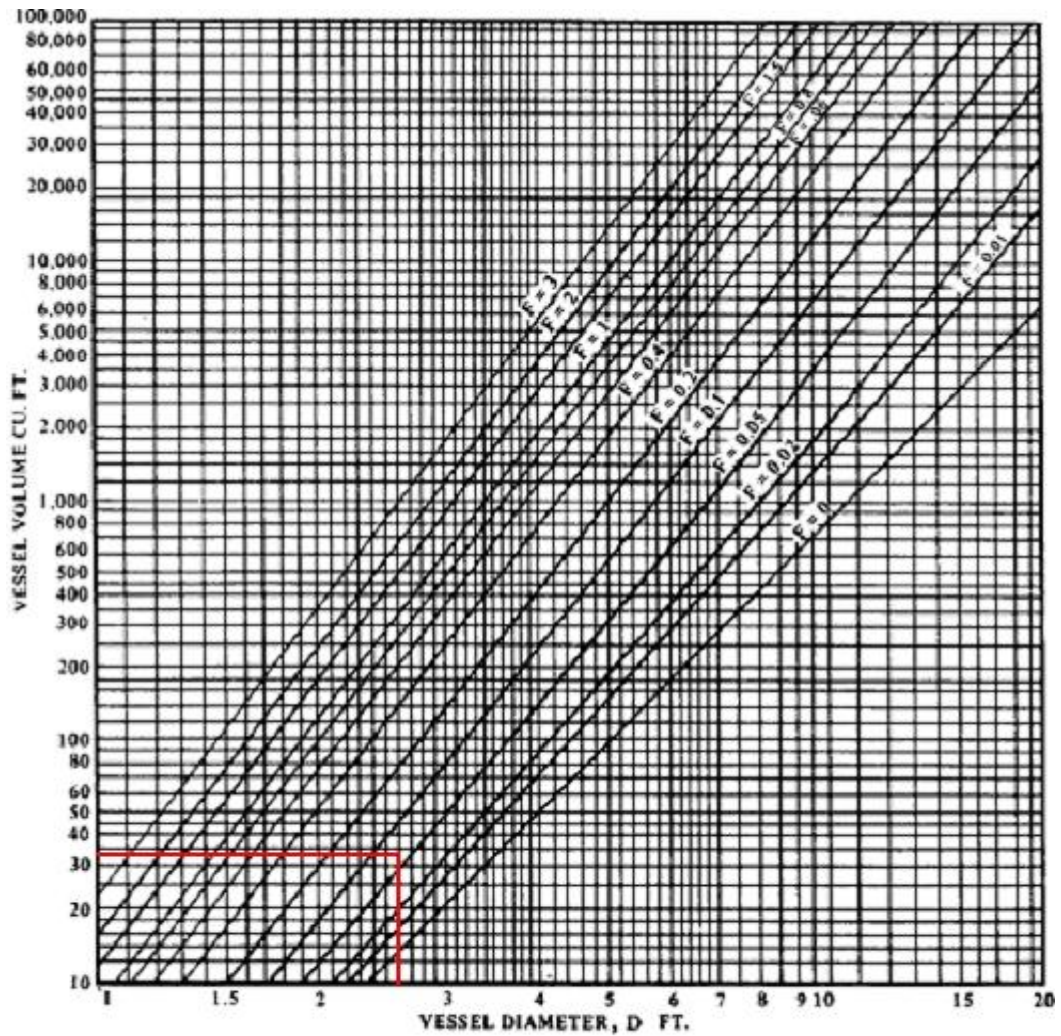


CHART FOR DETERMINING THE OPTIMUM VESSEL SIZE
(See facing page for explanation)

Figura 4.4 Cuadro para determinar la Dimensión óptima del Tanque sometido a Presión Interna (Acero A36 Galvanizado por inmersión)⁴⁵

Fuente: Pressure Vessel Handbook

El diámetro obtenido del a figura 4.4 es 2.6 ft (0,80 m)

$$D := D \cdot 0.3048$$

$$D = 0.792 \quad (\text{m})$$

$$L := L \cdot 0.3048$$

$$L = 1.918 \quad (\text{m})$$

⁴⁵ Tomado del Pressure Vessel Handbook, Tamaño Óptimo del Tanque.

Estas medidas son tentativas, sin embargo se realiza un ajuste (referido al acero A36) por facilidad de construcción y procurando que los valores de este ajuste se aproximen a los materiales disponibles en el mercado.

Medidas reales

$$V := 0.946 \quad (\text{m}^3)$$

$$D := 0.85 \quad (\text{m})$$

$$L := \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

$$L = 1.667 \quad (\text{m})$$

$$L := 1.7 \quad (\text{m})$$

Encontradas las medidas reales del tanque, se procede a encontrar los espesores requeridos tanto del cuerpo del tanque, así como de las cabezas del mismo. Tenemos entonces el cálculo del espesor del cuerpo del tanque cilíndrico como se muestra continuación:

Espesor del cuerpo

$$P_{\text{ope}} := 70 \quad (\text{psi})$$

$$P_{\text{dis}} := P_{\text{ope}} + 30 + \left(\frac{L}{0.3048} \right) \cdot 0.433$$

$$P_{\text{dis}} = 102.415 \quad (\text{psi})$$

$$R := \frac{D \cdot 12}{0.30482}$$

$$R = 16.732 \quad (\text{plg})$$

$$t_{\text{tanque}} := \frac{P_{\text{dis}} \cdot (R + CA)}{S \cdot E - 0.6 P_{\text{dis}}} + CA$$

$$t_{\text{tanque}} = 0.273 \quad (\text{plg})$$

$$t_{\text{tanque}} := t_{\text{tanque}} \cdot 25.4$$

$$t_{\text{tanque}} = 6.946 \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{comercial}} := 8 \quad (\text{mm})$$

Esesor de la cabeza elipsoidal

$$t_{\text{cabeza}} := \frac{P_{\text{dis}} \cdot \left[\left(D \cdot \frac{12}{0.3048} \right) + 2 \cdot CA \right]}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 P_{\text{dis}}} + CA$$

$$t_{\text{cabeza}} = 0.273 \quad (\text{plg})$$

$$t_{\text{cabeza}} := t_{\text{cabeza}} \cdot 25.4$$

$$t_{\text{cabeza}} = 6.929 \quad (\text{mm})$$

$$t_{\text{comcab}} := 8 \quad (\text{mm})$$

Donde:

$t_{\text{comercial}}$ =esesor del cuerpo del tanque de acuerdo a medidas comerciales.

t_{comcab} =esesor de la cabeza de acuerdo a medidas comerciales.

Una vez realizado el análisis de acuerdo al Acero A36 galvanizado por inmersión y con el Acero inoxidable AISI 302 detallamos una tabla con los valores pertinentes de diámetro, altura y espesores respectivos en la tabla 4.5

Tabla 4.5 Dimensiones del tanque. Diferentes materiales.

MATERIAL	DIMENSIONES			
	Diámetro (m)	Altura (m)	Esesor cuerpo (m)	Esesor cabezas (m)
Acero A36 galvanizado	0,85	1,70	0,008	0,008
Acero Inoxidable AISI 302	0,80	1,90	0,006	0,006

Se realiza la selección de Acero A36 galvanizado por inmersión debido a que el aspecto económico es mandatario en el diseño y selección de los elementos del sistema.

DISEÑO Y SELECCIÓN DE AISLANTES

AISLAMIENTO EN LA TUBERÍA

Pérdidas de calor en la tubería

La longitud total de la tubería, en el ramal de abastecimiento, es 18 metros y para la tubería de recirculación es 18 metros, tomando en cuenta que las dos tuberías siguen una misma trayectoria.

Los diámetros establecidos para cada uno de las tuberías son:

- Tubería de abastecimiento 1½"
- Ramales de distribución ½"
- Tubería de recirculación 1"

Según ASHRAE las pérdidas de calor en tuberías de ½" se pueden considerar como despreciables y mas cuando estas son utilizadas para uso domestico ya que muchas veces van recubiertos por hormigón que sirve como aislante térmico, razón por la cual no necesitan revestimiento adicional de ningún tipo. Las pérdidas de calor en la tubería de abastecimiento y de recirculación⁴⁶ se detallan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Pérdidas de calor en tuberías de abastecimiento y recirculación de agua caliente sin aislamiento

Denominación	Diámetro	Longitud	Longitud	Pérdida de calor unitaria	Pérdida de calor total
	(in)	(m)	(ft)	(BTU/h.ft)	(BTU/h)
Tubería de abastecimiento	1 1/2 "	18	59,05	53	3129,9
Tubería de recirculación	1 "	18	59,05	38	2244,09

Se tomará en cuenta únicamente las condiciones de temperatura del ambiente, en las horas críticas que son también las horas de mayor consumo de agua. Entonces debido a las constantes variaciones climáticas del país se considera una temperatura crítica del ambiente de 10 °C.

Para este caso, de las tuberías, se realizará un análisis entre dos tipos de aislamiento, debido a que son los más comunes en el mercado nacional.

Poliuretano⁴⁷ (k = 0,027 w/mK).

Lana de vidrio⁴⁸ (k = 0,05 w/mK).

Siendo k el coeficiente de conductividad térmica para el respectivo material aislante.

⁴⁶ Tomado de ASHRAE Application Handbook, Tabla No. 2, Calor Perdido en tubería sin aislamiento.

⁴⁷ Tomado de Incropera, Tabla A3, Propiedades Termofísicas de materiales comunes.

⁴⁸ Tomado de Incropera, Tabla A3, Propiedades Termofísicas de materiales comunes.

Para calcular el espesor del aislamiento adecuado debemos realizar un análisis de la tubería con analogía eléctrica, para lo cual necesitamos las propiedades termofísicas del fluido interno y externo.

El fluido interno es agua a 60 °C y sus propiedades⁴⁹ son:

Calor específico del agua: $C_{p\text{agua}}=4,185$ (kJ/kg⁰K)

Coefficiente de conductividad térmica del agua: $k_{\text{agua}}=653,6 \times 10^{-3}$ (w/mK)

Número de Prandtl: $Pr_{\text{agua}}=2,99$

Densidad del agua: $\delta_{\text{agua}}= 984$ (kg/m³)

Viscosidad dinámica del agua: $\mu_{\text{agua}}= 467,4 \times 10^{-6}$ (Ns/m²)

El fluido externo es aire a 10 °C (temperatura ambiente en las horas de consumo máximo) y sus propiedades⁵⁰ son:

$C_{p\text{aire}}= 1,007$ (kJ/kg⁰K)

$K_{\text{aire}}= 24,94 \times 10^{-3}$ (w/m⁰K)

$Pr_{\text{aire}}= 0,711$

Velocidad del aire : $v_{\text{aire}}= 1$ (m/s)

$\mu_{\text{aire}}= 176,1 \times 10^{-7}$ (Ns/m²)

$\delta_{\text{aire}}= 1,247$ (kg/m³)

El fluido interno en la recirculación es aire a 45 °C (por existir una variación de 15 °C para que el sistema de recirculación funcione) y sus propiedades son:

$C_{p\text{agua}}=4,180$ (kJ/kg⁰K)

$k_{\text{agua}}=637,6 \times 10^{-3}$ (w/m⁰K)

$Pr_{\text{agua}}=3,93$

$\delta_{\text{agua}}= 990$ (kg/m³)

$\mu_{\text{agua}}= 598,6 \times 10^{-6}$ (Ns/m²)

⁴⁹ Tomado de Incropera, Tabla A7, Propiedades Termofísicas del agua.

⁵⁰ Tomado de Incropera, Tabla A4, Propiedades Termofísicas de gases a presión atmosférica.

Analogía Eléctrica de la tubería

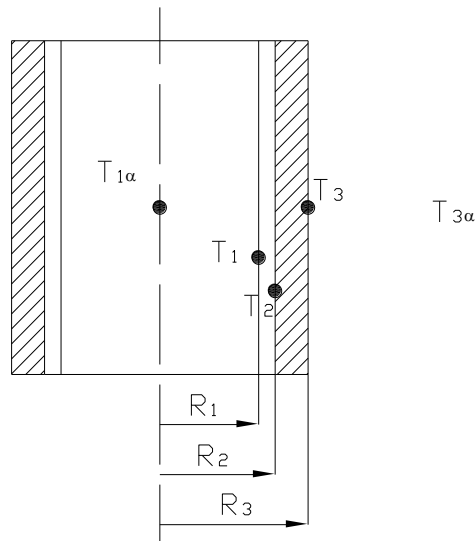


Figura 4.5 Esquema de la Tubería de cobre con Aislamiento

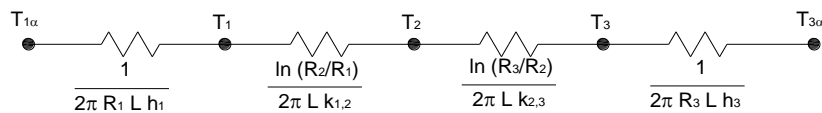


Figura 4.6 Analogía Eléctrica de Transferencia de calor en la tubería de cobre

Como se puede observar en las figuras 4.5 y 4.6 la analogía eléctrica de transferencia de calor de la tubería de cobre, trata a cada una de las formas de transferencia de calor como resistencias térmicas. En este caso lo que se desconoce de estas resistencias son los coeficientes de convección, lo cual se determina de acuerdo a cada uno de los modelos matemáticos correspondientes.

Flujo Interno

Para analizar la transferencia de calor que se da en la tubería de cobre es preciso establecer varios aspectos, para ello comenzaremos analizando qué sucede al interior de la tubería de cobre y la transferencia de calor que se da ahí. El flujo interno del agua es forzado por la bomba de recirculación; y este flujo es caracterizado por el número de Reynolds (Re) que para el modelo

matemático⁵¹ referido a este flujo (flujo forzado) está definido en la ecuación (4.9):

$$Re_{agua} := \frac{4 \cdot \text{caudal}_{agua}}{\pi \cdot D_{\text{tubería}} \cdot \mu_{agua}} \quad \text{Ecuación (4.9)}$$

Donde:

Re_{agua} = Número de Reynolds del agua.

caudal_{agua} = Caudal del agua.

$D_{\text{tubería}}$ = Diámetro interno de la tubería.

μ_{agua} = Viscosidad dinámica del agua.

Una vez encontrado el Número de Reynolds podemos determinar si el flujo del fluido que se moviliza, al interior de la tubería de cobre, se comporta como un flujo laminar o turbulento. Por lo regular se trata de un flujo turbulento, para lo cual necesitamos calcular su factor de fricción (f) mediante la ecuación (4.10).

$$f = (0,79 \cdot \ln(Re_{agua}) - 1,64)^{-2} \quad \text{Ecuación (4.10)}$$

Posteriormente calculamos el número de Nusselt, necesario para calcular el coeficiente de convección térmica del agua. De acuerdo al modelo matemático respectivo (Gnielinski), mediante la ecuación (4.11) se calcula el número de Nusselt (Nu); y para finalizar encontramos el coeficiente de convección térmica del agua (h_{agua}) al interior del tubo de cobre mediante la ecuación (4.12).

$$Nu_{agua} = \left[\frac{\frac{f}{8} \cdot (Re_{agua} - 1000) \cdot Pr_{agua}}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (Pr_{agua} - 1)^{\frac{2}{3}}} \right] \quad \text{Ecuación (4.11)}$$

Donde:

Nu_{agua} = Número de Nusselt del agua.

Pr_{agua} = Número de Prandtl del agua.

f = Factor de fricción.

⁵¹ Tomado de Incropera,, Convección de flujos turbulentos en tubos circulares (Ecuación de Gnielinski), Flujo Interno

$$h_{agua} = \frac{k_{agua} \cdot Nu_{agua}}{D_{int\ tuberia}} \quad \text{Ecuación (4.12)}$$

Donde:

h_{agua} =Coeficiente de convección del agua.

k_{agua} =Conductividad térmica.

Nu_{agua} =Número de Nusselt del agua.

Flujo Externo

De igual forma que se analizó el flujo interno, se debe analizar el flujo externo, en este caso del aire que circula libremente como flujo cruzado⁵² a través del tubo de cobre, para el cual Re y Nu , en este modelo de transferencia de calor, se resume en las ecuaciones (4.13) y (4.14).

$$Re_{aire} := \frac{\rho_{aire} \cdot v \cdot D_{ext\ tuberia}}{\mu_{aire}} \quad \text{Ecuación (4.13)}$$

Donde:

Re_{aire} = Número de Reynolds del aire.

ρ_{aire} = Densidad del aire.

v =Velocidad del aire en el ducto.

$D_{ext\ tuberia}$ = Diámetro externo de la tubería de cobre.

μ_{aire} = Viscosidad dinámica del aire.

$$Nu_{aire} := C \cdot Re_{aire}^m \cdot Pr_{aire}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación (4.14)}$$

Donde:

Nu_{aire} =Número de Nuselt del aire.

C, m =Coeficientes de flujo cruzado que dependen del número de Reynolds.

Re_{aire} =Número de Reynolds del aire.

Pr_{aire} :=Número de Prandlt del aire.

La velocidad del aire depende del medio que rodea a la tubería. Las constantes C y m , por otro lado, dependen del Número de Reynolds y sus valores están tabulados en Tabla 4.6 tomado de Incropera.

⁵² Tomado de Incropera, Convección de flujo cruzado en tubos circulares, Flujo externo

Tabla 4.7 Constantes de la ecuación 4.14 para el cilindro circular en flujo cruzado

Re	C	m
0,4 – 4	0,989	0,330
4 – 40	0,911	0,385
40 – 4000	0,683	0,466
4000 – 40000	0,193	0,618
40000 – 400000	0,027	0,805

Fuente: Incropera

Posteriormente encontramos el coeficiente de convección del aire, mediante la ecuación (4.15).

$$h_{\text{aire}} := \frac{k_{\text{aire}} \cdot N_{\text{uaire}}}{D_{\text{extubería}}}$$

Ecuación (4.15)

Donde:

h_{aire} =Coeficiente de convección del aire

k_{aire} =Coeficiente

N_{uaire} =Número de Nusselt del aire

$D_{\text{extubería}}$ =Diámetro externo de la tubería.

Cálculo del aislamiento en la tubería

Para sistemas de calentamiento de agua ASHRAE proporciona valores de pérdidas de calor en tubería de cobre (Tipo M, L o K) sin aislamiento. Estas pérdidas se detallan en la Tabla 4.5, y de esos valores obtenidos se pretende disminuir en un 70% las pérdidas de calor, mediante la utilización de aislamiento. Para el cálculo del espesor del aislamiento a utilizarse es necesario conocer el coeficiente de conductividad que ofrece cada uno de los aislantes disponibles en el mercado. Mediante analogía de resistencias térmicas, el espesor de los aislantes a utilizar se lo obtiene a partir de la ecuación (4.16), correspondiente al calor transferido por la tubería, desde el interior hasta el ambiente externo. El calor transferido debe ser el 30% del calor total (Q) dado por ASHRAE.

$$\frac{Q}{18} = \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}}{\frac{1}{\pi \cdot r_{\text{intuberia}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extuberia}}}{r_{\text{intuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{total}}}{r_{\text{extuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{total}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

Ecuación (4.16)

Donde:

Q=calor perdido (calor transferido al ambiente).

T_{agua}=Temperatura del agua.

T_{ambiente}=Temperatura ambiente (aire externo).

r_{extuberia}=radio externo de la tubería.

r_{intuberia}=radio interno de la tubería

r_{total}=radio externo incluido el espesor el aislante.

En este caso el coeficiente de conductividad térmica del tubo (k_{tubería}) es la del cobre y el calor se lo divide para 18 (metros) por que el calor obtenido de la fórmula es por unidad de longitud.

Cálculo del espesor del aislamiento en Tubería de Abastecimiento

Poliuretano

Flujo interno

$$D_{\text{intuberia}} := 38.78510^{-3} \quad (\text{m})$$

$$D_{\text{extuberia}} := 41.27510^{-3} \quad (\text{m})$$

$$\mu_{\text{agua}} := 467.410^{-6} \quad \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\delta_{\text{agua}} := 984 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} := 33.97 \quad \left(\frac{\text{Its}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} := \text{caudal}_{\text{agua}} \cdot \frac{\delta_{\text{agua}}}{60 \cdot 1000}$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} = 0.557 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Reagua} := \frac{4 \cdot \text{caudalagua}}{\pi \cdot \text{Dintuberia} \cdot \mu\text{agua}}$$

$$\text{Reagua} = 3.913 \times 10^4$$

$$\text{Pragua} := 2.99$$

$$f := (0.79 \ln(\text{Reagua}) - 1.64)^{-2}$$

$$f = 0.022$$

$$\text{Nuagua} := \frac{\left[\frac{f}{8} \cdot (\text{Reagua} - 1000) \cdot \text{Pragua} \right]}{\left[1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\text{Pragua}^{\frac{2}{3}} - 1 \right) \right]}$$

$$\text{Nuagua} = 183.883$$

$$\text{kagua} := 653.610^{-3} \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

$$\text{hagua} := \frac{\text{kagua} \cdot \text{Nuagua}}{\text{Dintuberia}}$$

$$\text{hagua} = 3.099 \times 10^3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$\text{rintuberia} := \frac{\text{Dintuberia}}{2}$$

$$\text{rintuberia} = 0.019 \quad (\text{m})$$

$$\text{rextuberia} := \frac{\text{Dextuberia}}{2}$$

$$\text{rextuberia} = 0.021 \quad (\text{m})$$

Flujo Externo

$$\mu\text{aire} := 176.110^{-7} \left(\text{N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$v := 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\delta\text{aire} := 1.247 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Reaire} := \delta_{\text{aire}} \cdot v \cdot \frac{\text{Dextuberia}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$\text{Reaire} = 1.461 \times 10^3$$

$$C := 0.683$$

$$m := 0.466$$

$$\text{Praire} := 0.711$$

$$\text{Nuair} := C \cdot \text{Reaire}^m \cdot \text{Praire}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nuair} = 25.125$$

$$k_{\text{aire}} := 24.9410^{-3} \left(\frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$$

$$Q(\text{BTU}) := 3129.90.30 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

Transferencia de calor en base al calor perdido de la tubería tomad de la tabla 4.6

$$Q := \frac{Q(\text{BTU})}{3.4123}$$

$$Q = 275.172 \quad (\text{w})$$

Given

$$\frac{Q}{18} = \frac{\text{Tagua} - \text{Tambiente}}{\frac{1}{\pi \cdot r_{\text{intuberia}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extuberia}}}{r_{\text{intuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{total}}}{r_{\text{extuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2 \pi \cdot r_{\text{total}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

$$\text{Find}(r_{\text{total}}) \rightarrow (.34086056023875112416e-139416313936587031304e)3$$

$$r_{\text{total}} := 0.033$$

$$\text{espaislante} := r_{\text{total}} - r_{\text{extuberia}}$$

$$\text{espaislante} = 0.012 \quad (\text{m})$$

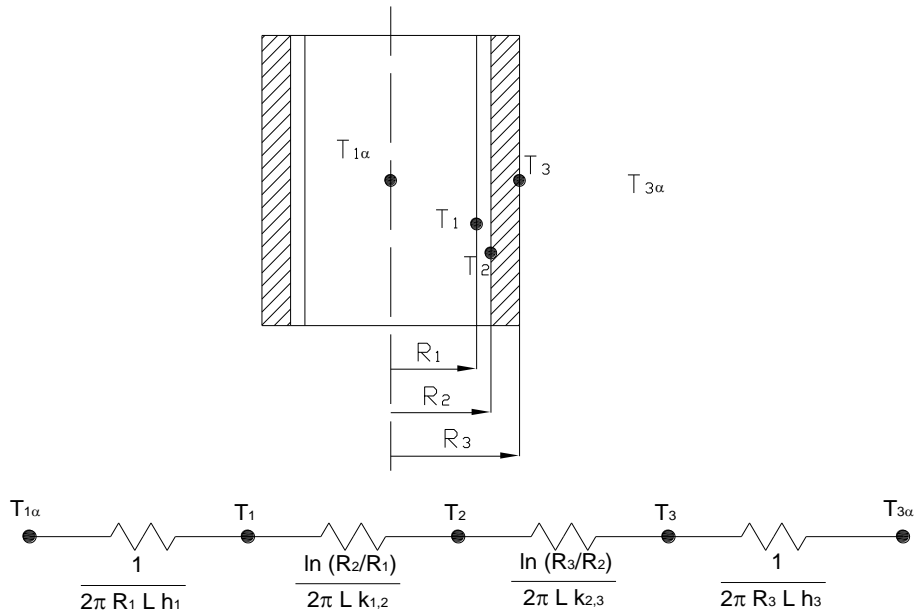


Figura 4.7 Esquemas de referencia para el cálculo del espesor del aislante. Diferentes materiales.

Given

$$\frac{Q}{18} = \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}}{\frac{1}{\pi \cdot r_{\text{intuberia}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extuberia}}}{r_{\text{intuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{total}}}{r_{\text{extuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2 \pi \cdot r_{\text{total}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

Find(r_{total}) → (.34086056023875112416e-139416313936587031304e)3

$r_{\text{total}} := 0.033$

$\text{espaislante} := r_{\text{total}} - r_{\text{extuberia}}$

$\text{espaislante} = 0.012 \quad (\text{m})$

Lana de vidrio.

Flujo interno

$D_{\text{intuberia}} := 38.78510^{-3} \quad (\text{m})$

$D_{\text{extuberia}} := 41.27510^{-3} \quad (\text{m})$

$\mu_{\text{agua}} := 467.410^{-6} \quad \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$

$$\delta_{\text{agua}} := 984 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{caudalagua} := 33.97 \quad \left(\frac{\text{Its}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{caudalagua} := \text{caudalagua} \cdot \frac{\delta_{\text{agua}}}{60 \cdot 1000}$$

$$\text{caudalagua} = 0.557 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Reagua} := \frac{4 \cdot \text{caudalagua}}{\pi \cdot \text{Dintuberia} \cdot \mu_{\text{agua}}}$$

$$\text{Reagua} = 3.913 \times 10^4$$

$$\text{Pragua} := 2.99$$

$$f := (0.79 \ln(\text{Reagua}) - 1.64)^{-2}$$

$$f = 0.022$$

$$\text{Nuagua} := \left[\frac{\frac{f}{8} \cdot (\text{Reagua} - 1000) \cdot \text{Pragua}}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\text{Pragua}^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \right]$$

$$\text{Nuagua} = 183.883$$

$$k_{\text{agua}} := 653.610^{-3} \quad \left(\frac{\text{w}}{\text{mK}} \right)$$

$$h_{\text{agua}} := \frac{k_{\text{agua}} \cdot \text{Nuagua}}{\text{Dintuberia}}$$

$$h_{\text{agua}} = 3.099 \times 10^3 \quad \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Flujo Externo

$$\mu_{\text{aire}} := 176.110^{-7} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$v := 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\delta_{\text{aire}} := 1.247 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Re}_{\text{aire}} := \delta_{\text{aire}} \cdot v \cdot \frac{\text{Dextuberia}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$\text{Re}_{\text{aire}} = 2.923 \times 10^3$$

$$C := 0.683$$

$$m := 0.466$$

$$\text{Praire} := 0.711$$

$$\text{Nu}_{\text{aire}} := C \cdot \text{Re}_{\text{aire}}^m \cdot \text{Praire}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nu}_{\text{aire}} = 25.125$$

$$k_{\text{aire}} := 24.9410^{-3} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}} \right)$$

$$\text{haire} := \frac{\text{kaire} \cdot \text{Nuair}}{\text{Dextuberia}}$$

$$\text{haire} = 15.181 \quad \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Calculo del aislamiento

$$\text{kaislante} := 0.05 \quad \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$\text{ktubo} := 401 \quad \left(\frac{\text{w}}{\text{mK}} \right)$$

$$\text{Tambiente} := 10 \quad (^\circ\text{C})$$

$$\text{Tagua} := 60 \quad (^\circ\text{C})$$

$$\text{Qdes} := \frac{3129.9}{3.4123}$$

$$\text{Qdes} = 917.241 \quad (\text{w})$$

$$\text{Q(BTU)} := 3129.90.30 \quad \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Q} := \frac{\text{Q(BTU)}}{3.4123}$$

$$\text{Q} = 275.172 \quad (\text{w})$$

Given

$$\frac{\text{Q}}{18} = \frac{\text{Tagua} - \text{Tambiente}}{\frac{1}{\pi \cdot \text{rintuberia} \cdot \text{hagua}} + \frac{\ln\left(\frac{\text{rextuberia}}{\text{rintuberia}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \text{ktubo}} + \frac{\ln\left(\frac{\text{rtotal}}{\text{rextuberia}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \text{kaislante}} + \frac{1}{2\pi \cdot \text{rtotal} \cdot \text{haire}}}$$

$$\text{Find}(\text{rtotal}) \rightarrow (.54171488968177576464e-176140585578658626760e)3$$

$$\text{rtotal} := 0.053$$

$$\text{espaislante} := \text{rtotal} - \text{rextuberia}$$

$$\text{espaislante} = 0.032 \quad (\text{m})$$

Aislamiento en la Tubería de Recirculación

Poliuretano

Flujo interno

$$D_{\text{tubería}} := 26.79710^{-3} \quad (\text{m})$$

$$D_{\text{extubería}} := 28.57510^{-3} \quad (\text{m})$$

$$\mu_{\text{agua}} := 598.610^{-6} \quad \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\delta_{\text{agua}} := 990 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} := 33.97 \quad \left(\frac{\text{Its}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} := \text{caudal}_{\text{agua}} \cdot \frac{\delta_{\text{agua}}}{60 \cdot 1000}$$

$$\text{Re}_{\text{agua}} := \frac{4 \cdot \text{caudal}_{\text{agua}}}{\pi \cdot D_{\text{tubería}} \cdot \mu_{\text{agua}}}$$

$$\text{Re}_{\text{agua}} = 4.449 \times 10^4$$

$$\text{Pr}_{\text{agua}} := 3.93$$

$$f := (0.79 \ln(\text{Re}_{\text{agua}}) - 1.64)^{-2}$$

$$f = 0.022$$

$$\text{Nu}_{\text{agua}} := \left[\frac{\frac{f}{8} \cdot (\text{Re}_{\text{agua}} - 1000) \cdot \text{Pr}_{\text{agua}}}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\text{Pr}_{\text{agua}}^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \right]$$

$$\text{Nu}_{\text{agua}} = 232.08$$

$$k_{\text{agua}} := 637.610^{-3} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

$$h_{\text{agua}} := \frac{k_{\text{agua}} \cdot Nu_{\text{agua}}}{D_{\text{tuberia}}}$$

$$h_{\text{agua}} = 5.522 \times 10^3 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Flujo Externo

$$\mu_{\text{aire}} := 176.110^{-7} \quad \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$v := 1 \quad \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\delta_{\text{aire}} := 1.247 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$Re_{\text{aire}} := \delta_{\text{aire}} \cdot v \cdot \frac{D_{\text{tuberia}}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$Re_{\text{aire}} = 2.023 \times 10^3$$

$$C := 0.683$$

$$m := 0.466$$

$$Pr_{\text{aire}} := 0.711$$

$$Nu_{\text{aire}} := C \cdot Re_{\text{aire}}^m \cdot Pr_{\text{aire}}^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{\text{aire}} = 21.168$$

$$k_{\text{aire}} := 24.9410^{-3} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}} \right)$$

$$h_{\text{aire}} := \frac{k_{\text{aire}} \cdot Nu_{\text{aire}}}{D_{\text{tuberia}}}$$

$$h_{\text{aire}} = 18.475 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Calculo del aislamiento

$$k_{\text{aislante}} := 0.027 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$k_{\text{tubo}} := 401 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

$$T_{\text{ambiente}} := 10 \quad (^\circ\text{C})$$

$$T_{\text{agua}} := 45 \quad (^\circ\text{C})$$

$$Q(\text{BTU}) := 2244.090.30 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

Transferencia de calor de acuerdo a las pérdidas de calor tomado de la tabla 4.6 (tubería de recirculación)

$$Q := \frac{Q(\text{BTU})}{3.4123}$$

$$Q = 197.294 \quad (\text{w})$$

Given

$$\frac{Q}{18} = \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}}{\frac{1}{\pi \cdot r_{\text{intuberia}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extuberia}}}{r_{\text{intuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{total}}}{r_{\text{extuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2 \pi \cdot r_{\text{total}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

$$\text{Find}(r_{\text{total}}) \rightarrow (.23032714236053040123\text{e}-134197916937051130996\text{e})^3$$

$$r_{\text{total}} := 0.022$$

$$\text{espaislante} := r_{\text{total}} - r_{\text{extuberia}}$$

$$\text{espaislante} = 7.712 \times 10^{-3} \quad (\text{m})$$

Lana de vidrio

Flujo interno

$$D_{\text{intuberia}} := 26.79710^{-3} \quad (\text{m})$$

$$D_{\text{extuberia}} := 28.57510^{-3} \quad (\text{m})$$

$$\mu_{\text{agua}} := 598.610^{-6} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\delta_{\text{agua}} := 990 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{caudalagua} := 33.97 \left(\frac{\text{Its}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{caudalagua} := \text{caudalagua} \cdot \frac{\delta_{\text{agua}}}{60 \cdot 1000}$$

$$\text{caudalagua} = 0.561 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Reagua} := \frac{4 \cdot \text{caudalagua}}{\pi \cdot \text{Dintuberia} \cdot \mu\text{agua}}$$

$$\text{Reagua} = 4.449 \times 10^4$$

$$\text{Pragua} := 3.93$$

$$f := (0.79 \ln(\text{Reagua}) - 1.64)^{-2}$$

$$f = 0.022$$

$$\text{Nuagua} := \frac{\frac{f}{8} \cdot (\text{Reagua} - 1000) \cdot \text{Pragua}}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\text{Pragua}^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$\text{Nuagua} = 232.08$$

$$k\text{agua} := 637.610^{-3} \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

$$h\text{agua} := \frac{k\text{agua} \cdot \text{Nuagua}}{\text{Dintuberia}}$$

$$h\text{agua} = 5.522 \times 10^3 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Flujo Externo

$$\mu\text{aire} := 176.110^{-7} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$v := 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\delta\text{aire} := 1.247 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Reaire} := \delta\text{aire} \cdot v \cdot \frac{\text{Dextuberia}}{\mu\text{aire}}$$

$$\text{Reaire} = 2.023 \times 10^3$$

$$C := 0.683$$

$$m := 0.466$$

$$\text{Praire} := 0.711$$

$$\text{Nuair} := C \cdot \text{Reair}^m \cdot \text{Prair}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nuair} = 21.168$$

$$\text{kair} := 24.9410^{-3} \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^{\circ}\text{K}} \right)$$

$$\text{hair} := \frac{\text{kair} \cdot \text{Nuair}}{\text{Dextuberia}}$$

$$\text{hair} = 18.475 \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Calculo del aislamiento

$$\text{kaislante} := 0.05 \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$\text{ktubo} := 401 \left(\frac{\text{w}}{\text{mK}} \right)$$

$$\text{Tambiente} := 10 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\text{Tagua} := 45 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\text{Qdes} := \frac{2244.09}{3.4123}$$

$$\text{Qdes} = 657.647 \text{ (w)}$$

$$\text{Q(BTU)} := 2244.090.30 \left(\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Q} := \frac{\text{Q(BTU)}}{3.4123}$$

$$\text{Q} = 197.294 \text{ (w)}$$

Given

$$\frac{Q}{18} = \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}}{\frac{1}{\pi \cdot r_{\text{tuberia}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extuberia}}}{r_{\text{intuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{total}}}{r_{\text{extuberia}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{\text{total}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

Find(r_{total}) → (.36097633046893581402e-166509990145289784120e)3

$r_{\text{total}} := 0.035$

$\text{espaislante} := r_{\text{total}} - r_{\text{extuberia}}$

$\text{espaislante} = 0.021 \quad (\text{m})$

Resultados

Los espesores requeridos para obtener una pérdida de calor de 30%, se detallan en la tabla 4.8:

Tabla 4.8 Espesores de aislamiento requeridos para la Tubería

Tipo de tubería	Diámetro Nominal	Aislante	Espesor requerido
Abastecimiento de agua caliente	1 1/2"	Poliuretano	1/2"
Recirculación	1"		3/8"
Abastecimiento de agua caliente	1 1/2"	Lana de vidrio	1 1/4"
Recirculación	1"		7/8"

Estos valores son los que se requieren para las condiciones establecidas, sin embargo en el mercado para la fibra de vidrio sólo existen cañuelas⁵³ de 1" y de 1/2" de espesor. Por ello se realizó un ajuste en los valores de las pérdidas de calor y se obtuvieron los siguientes datos:

⁵³ Cañuela: recubrimiento térmico para tubería en longitudes, diámetros y espesores variables.

Tabla 4.9 Pérdidas de calor en Tubería de acuerdo a espesores comerciales

Tipo de tubería	Diámetro Nominal	Aislante	Espesor colocado	Pérdida de calor (w)	% recuperación de calor respecto al tubo desnudo
Abastecimiento de agua caliente	1 1/2"	Fibra de vidrio	1 1/2"	322,93	64,79
Recirculación	1"		1"	181,38	72,42
Abastecimiento de agua caliente	1 1/2"	Poliuretano	1/2"	286,02	90,86
Recirculación	1"		1/2"	15,74	92,02

Los espesores del aislamiento colocados en la tubería muestran porcentajes de recuperación de calor mayores a 60%, lo cual nos indica que están bien seleccionados (tomando en cuenta que se procura recuperar calor entre el 60 y 80%).

AISLAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Análisis

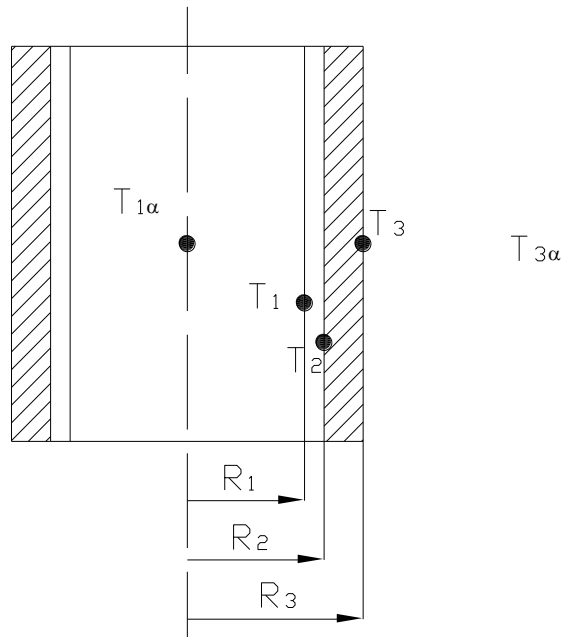


Figura 4.8 Esquema del Tanque con Aislamiento

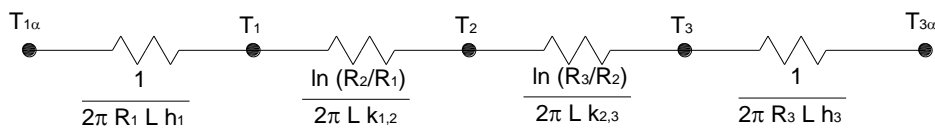


Figura 4.9 Analogía Eléctrica de Transferencia de calor en el tanque

Para disminuir las pérdidas de calor en el tanque de almacenamiento es necesario colocar el aislamiento adecuado, para ello realizamos el análisis de resistencias térmicas en referencia al poliuretano como aislante escogido para este caso. Para encontrar el espesor adecuado del aislante en el tanque de almacenamiento, es necesario que este aislamiento mantenga el calor en un 80% con respecto a un tanque sin aislamiento.

Cabe destacar que las fórmulas de transferencia de calor, para el agua caliente en la tubería y en el tanque, varían debido al tipo de flujo que tienen en cada caso. En la tubería se toma al agua como un flujo turbulento y en el tanque como flujo laminar (reposo). El espesor requerido para el aislamiento se debe analizar de acuerdo a los parámetros estudiados en la tubería como se indica a continuación:

Flujo Interno

En el caso del flujo interno en el tanque, se considera que el agua está en reposo, por lo que se asume una velocidad muy baja con respecto al movimiento total de la masa de agua a calentarse. Por ello se considera al fluido en el tanque como una región laminar completamente desarrollada. Para encontrar el coeficiente de convección del agua se utiliza la ecuación (4.18)

$$Re_{agua} := \frac{4 \cdot \text{caudalagua}}{\pi \cdot D_{\text{tanque}} \cdot \mu_{\text{agua}}} \quad \text{Ecuación (4.18)}$$

Acero Inoxidable

$$\text{caudalagua} = 0.557 \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

$$D_{\text{tanque}} := 0.8 \quad (\text{m})$$

$$\mu_{\text{agua}} := 467.410^{-6} \quad \left(\text{N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$Re_{agua} := \frac{4 \cdot \text{caudalagua}}{\pi \cdot D_{\text{tanque}} \cdot \mu_{\text{agua}}}$$

$$Re_{agua} = 1.897 \times 10^3$$

Según condiciones estables de energía se establece que el número de Nusselt es 4,36, debido a que el fluido en el interior del tanque tiene una velocidad muy baja y por lo tanto se asume se encuentra en una región laminar completamente desarrollada⁵⁴.

$$h_{\text{agua}} := \frac{k_{\text{agua}} \cdot Nu_{\text{agua}}}{D_{\text{tanque}}}$$

$$h_{\text{agua}} = 3.562 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Acero A36 galvanizado

$$D_{\text{tanque}} := 0.85 \quad (\text{m})$$

$$Re_{\text{agua}} := \frac{4 \cdot \text{caudal}_{\text{agua}}}{\pi \cdot D_{\text{tanque}} \cdot \mu_{\text{agua}}}$$

$$Re_{\text{agua}} = 1.785 \times 10^3$$

Según condiciones estables de energía se establece que el número de Nusselt es 4,36.

$$h_{\text{agua}} := \frac{k_{\text{agua}} \cdot Nu_{\text{agua}}}{D_{\text{tanque}}}$$

$$h_{\text{agua}} = 3.353 \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Flujo Externo

Para el caso del flujo externo se toman las mismas consideraciones que en la tubería, siendo el análisis similar y por ello se utilizan las mismas ecuaciones.

⁵⁴ Tomado de Incropera, modelo matemático que define a los fluidos en la región laminar completamente desarrollada.

Acero Inoxidable

$$\mu_{\text{aire}} := 176.110^{-7} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

$$v := 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\delta_{\text{aire}} := 1.247 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$C := 0.193$$

$$m := 0.618$$

$$\text{Praire} := 0.711$$

$$\text{Nuair} := C \cdot \text{Reair}^m \cdot \text{Praire}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nuair} = 150.54$$

$$\text{Dextanque} = 0.812 \quad (\text{m})$$

$$k_{\text{aire}} := 24.9410^{-3} \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right)$$

$$h_{\text{aire}} := \frac{k_{\text{aire}} \cdot \text{Nuair}}{\text{Dextanque}}$$

$$h_{\text{aire}} = 4.624 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

Acero A36 galvanizado

$$\text{Dextanque} = 0.866 \quad (\text{m})$$

$$\text{Reair} := \delta_{\text{aire}} \cdot v \cdot \frac{\text{Dextanque}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$\text{Reair} = 6.132 \times 10^4$$

$$C := 0.193$$

$$m := 0.618$$

$$\text{Praire} := 0.711$$

$$\text{Nuair} := C \cdot \text{Reair}^m \cdot \text{Prair}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nuair} = 156.651$$

$$\text{kair} := 24.9410^{-3} \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$\text{hair} := \frac{\text{kair} \cdot \text{Nuair}}{\text{Dextanque}}$$

$$\text{hair} = 4.511 \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

Resultados

Acero Inoxidable

$$Q = 381.407 \quad (\text{w})$$

$$\text{kaislante} := 0.027 \left(\frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$$

$$Q_{\text{perdidas}} := Q \cdot 0.20$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 76.281 \quad (\text{w})$$

Given

$$Q_{\text{perdidas}} = \frac{(\text{Tagua} - \text{Tambiente}) \cdot L}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{rintanque} \cdot \text{hagua}} + \frac{\ln\left(\frac{\text{rextanque}}{\text{rintanque}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \text{kaceroinox}} + \frac{\ln\left(\frac{\text{rtotaltanque}}{\text{rextanque}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \text{kaislante}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \text{rextanque} \cdot \text{hair}}}$$

$$\text{Find}(\text{rtotaltanque}) \rightarrow .46395614878958642504$$

$$\text{rtotaltanque} := 0.46$$

$$\text{espaislante} := \text{rtotaltanque} - \text{rextanque}$$

$$\text{espaislante} = 0.054 \quad (\text{m})$$

Acero A36 galvanizado

$$Q = 388.152 \quad (\text{w})$$

$$k_{\text{aislante}} := 0.027 \left(\frac{w}{m^2 K} \right)$$

$$Q_{\text{perdidas}} := Q \cdot 0.20$$

$$Q_{\text{perdidas}} = 77.63 \quad (w)$$

Given

$$Q_{\text{perdidas}} = \frac{(T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}) \cdot L}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{intanque}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{extanque}}}{r_{\text{intanque}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{acerogalv}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{totaltanque}}}{r_{\text{extanque}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{extanque}} \cdot h_{\text{aire}}}}$$

$$\text{Find}(r_{\text{totaltanque}}) \rightarrow .49366445634637201729$$

$$r_{\text{totaltanque}} := 0.49$$

$$\text{espaislante} := r_{\text{totaltanque}} - r_{\text{extanque}}$$

$$\text{espaislante} = 0.057 \quad (m)$$

Donde:

Q =calor perdido el tanque sin aislamiento.

Q_{perdidas} =calor que se pierde con el aislamiento 20%

D_{extanque} =diámetro externo del tanque.

$r_{\text{totaltanque}}$ =radio externo del tanque con aislamiento.

espaislante =espesor del aislante.

La Tabla 4.10 indica los espesores de poliuretano requeridos para aislar el tanque, y estos son los siguientes:

Tabla 4.10 Espesores de Poliuretano requeridos para Tanque de almacenamiento

Material del Tanque	Diámetro externo (m)	Aislante	Espesor	Pérdida de calor (w)	% recuperación de calor respecto al tanque sin aislamiento
Acero Inoxidable	0,812	Poliuretano	2 1/2"	77,9	80
Acero Galvanizado	0,866		2 1/2"	78,1	80

SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBAS A UTILIZARSE

Tomando como referencia el ASHRAE capítulo 45, Service Water Heating (Servicio de agua caliente), en donde nos indica que los sistemas de tubería de retorno son comúnmente diseñados como para sistemas de abastecimiento de agua caliente, siempre y cuando el sistema de tubería exceda 100 ft.(30.5m) de longitud. Para encontrar la capacidad de la bomba a utilizarse para la recirculación, se utiliza la ecuación (4.19) de acuerdo al capítulo 45 de ASHRAE.

$$Q_p = \frac{q'}{60 \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad \text{Ecuación (4.19)}$$

Donde:

Q_p =Capacidad de la bomba (gpm)

q' =Calor perdido (BTU/h)

ρ =Densidad del agua = 8.33 (lb/gal)

c_p =Calor específico del agua = 1 (BTU / lb °F)

Δt =Caída de temperatura permitida, °F

El calor perdido utilizado para la selección de la bomba a utilizar y que trabajará con un sistema de tubería de cobre revestida de diámetro nominal de 1½" y 1", se obtiene de la Tabla 4.11:

Tabla 4.11 Pérdida de calor en tubería (Temperatura Interna 60°C y Ambiente de 20 °C)⁵⁵

Pérdida de calor en Tubería		
Diámetro Nominal de Tubería	Tubería de cobre desnudo	Tubería de cobre recubierto con lana de vidrio
(in)	(BTU/h.ft)	(BTU/h.ft)
¾	30	17,7
1	38	20,3
1 ¼	45	23,4
1 ½	53	25,4

⁵⁵ Tomado de ASHRAE Application Handbook, Capítulo 45 (Service Water Heating), Tabla 2 – Pérdida de calor en tubería de cobre.

Tabla 4.11 Pérdida de calor en tubería (continuación)

2	66	29,6
2 ½	80	33,8
3	94	39,5
4	120	48,4

Como el trazado de la tubería de abastecimiento y recirculación son paralelos estas tienen la misma longitud por lo tanto la longitud total de la tubería para el cálculo será de: 36 (m) y la caída de temperatura recomendada⁵⁶ para recirculación es de 15 °C.

$$q = 25,4 \left(\frac{BTU}{h \cdot ft} \right) * 118.11(ft)$$

$$q = 3000 \left(\frac{BTU}{h} \right)$$

$$Q_p = \frac{q}{60 \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta t}$$

$$Q_p = \frac{3000 \left(\frac{BTU}{h} \right)}{60 \cdot 1 \left(\frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} \right) \cdot 8.33 \left(\frac{lb}{gal} \right) \cdot 20(^{\circ}F)}$$

$$Q_p = 0.30(gpm) \times \frac{3,785(lpm)}{1(gpm)}$$

$$Q_p = 1,135 \left(\frac{lt}{min} \right)$$

Entonces, la selección de la bomba se la realiza en base a las curvas de funcionamiento (figura 4.10) proporcionadas por fabricante (PEDROLLO).

Para ello se entra con el caudal demandado (Q_p) y la altura a la cual se encuentra el punto mas bajo de suministro (H) que es de 11,6 (m) tomado en línea recta desde donde se ubicarán las bombas hasta el punto mas bajo de abastecimiento.

⁵⁶ Tomado de Instalaciones Hidrosanitarias, Rafael Pérez Carmona, Recirculación de agua caliente..

De acuerdo a las curvas de potencia de la bomba no hay relación para caudales menores de 5 (lt/min). El caudal con el que se ingresa a la tabla, para la selección de la bomba, es 5 (lt/min) que es el mínimo permitido por el fabricante. Además, como la altura requerida es 11.6 (m) no es tan elevada, el tipo de bomba que se acomoda, a esta necesidad, es la de menor capacidad de acuerdo al fabricante:

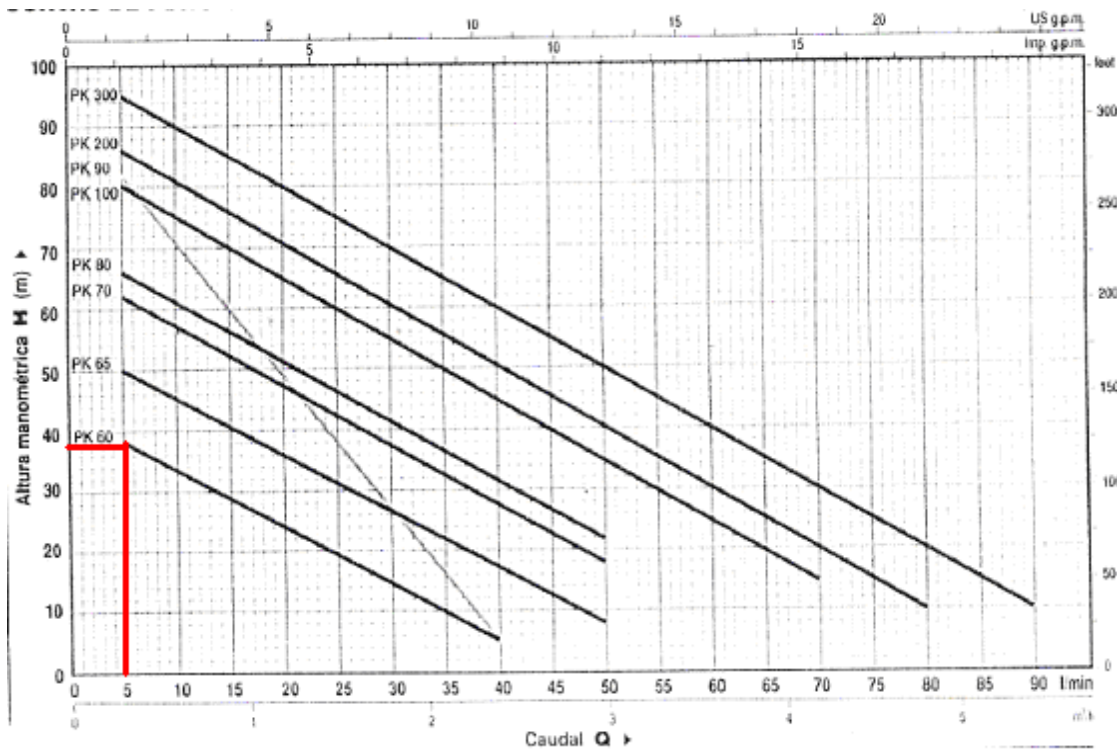


Figura 4.10 Curva de funcionamiento de las bombas Pedrollo

En función a los requerimientos calculados, y que presentan valores bajos, no existe en el mercado una bomba para esta necesidad, entonces se procedió a escoger una bomba que se ajuste a esta mínima capacidad y que exista en el mercado. Siendo las características de la bomba escogida, las siguientes:

Potencia: 0,5 (HP)

Altura: 22(m)

Caudal: 5.3 (gpm)

Tipo: PKm 60 de acuerdo a (PEDROLLO)

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

El diseño del control automático debe ser flexible al sistema en cuestión, para ello es necesario elaborar el circuito respectivo que permita controlar las dos bombas mediante el uso de contactores. El suministro de energía para las dos bombas de recirculación será una tensión de 110 VAC a través de una salida independiente, con su breaker de protección. Dicho suministro de energía eléctrica esta ubicada en la sala comunal.

TIPO DE INSTALACIÓN

De acuerdo con lo establecido por la EEQ. y con las regulaciones municipales vigentes del Cantón Quito, para este sector (La Mariscal), las redes de distribución eléctricas construidas son subterráneas.

DEMANDA ELÉCTRICA

Las bombas de recirculación referidas, poseen una capacidad nominal de 0,5 HP a un voltaje de 110 VAC. Por lo tanto se ha previsto un circuito secundario para una capacidad de 2 KVA.

CARACTERÍSTICAS DE LA RED Y ESQUEMA DE CONTROL

Para el control automático de las dos bombas de recirculación del sistema de agua caliente se ha diseñado el TABLERO DE CONTROL cuyo esquema con los equipos constan en la Figura 4.11

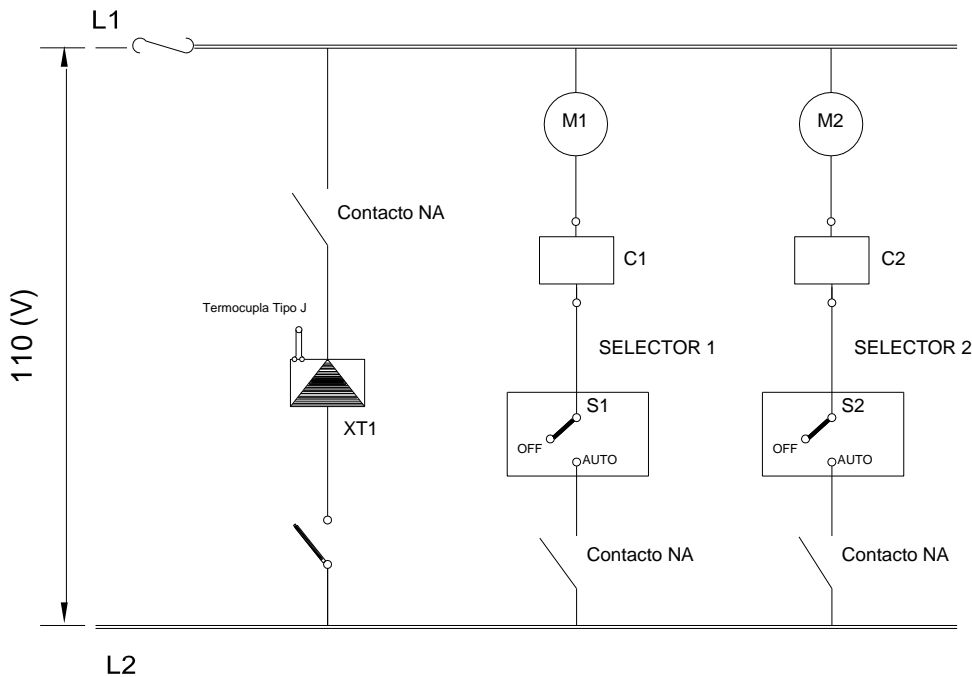


Figura 4.11 Esquema eléctrico del control automático del sistema

La Operación Automática de las Bombas de recirculación funciona de la siguiente manera:

1. El Sistema de calefones recibe agua fría desde la cisterna del hotel a través del sistema hidroneumático. La temperatura en este tanque es controlada por una termocupla calibrada a temperaturas máxima de 60° C y mínima de 45° C.
2. El agua calentada en los calefones es almacenada en un Tanque Acumulador de 250 galones.
3. Desde el tanque acumulador parten los alimentadores de agua caliente a los distintos departamentos y oficinas del hotel.
4. Si la temperatura del agua caliente baja del límite permitido, la termocupla emite una señal para que el controlador digital de temperatura actúe, y si existe la presión adecuada en las tuberías, se cierran los contactores y activen a las bombas de recirculación.
5. Al entrar en operación las bombas de recirculación aumenta la presión de agua circulante en el sistema de tuberías de agua fría que ingresan al sistema de calefones, lo que permitirá un mayor volumen de agua caliente para ser almacenada en el tanque acumulador para estar disponible a las necesidades de los usuarios.

6. El control de la variación de temperatura se lo realiza mediante un controlador digital, el cual compara la temperatura a la salida del calefón con la temperatura en el punto de abastecimiento más alejado. Este controlador se puede programar de acuerdo al requerimiento del usuario.

PROTECCIÓN DE LOS CENTROS DE TRANSFORMACIÓN Y CIRCUITOS CERRADOS

Para la protección eléctrica, de los bombas de recirculación, contra posibles sobrecorrientes, se dispone de un circuito secundario con un breaker de 5 A.

RESULTADOS

Una vez realizados los cálculos de diseño pertinentes, es necesario detallar los materiales y equipos utilizados en el edificio "CRYOM":

Equipos y materiales

Tabla 4.12 Lista de materiales

Item	Cantidad	Descripción
1	6	Calefones de 26 litros, Marca Instamatic.
2	2	Bombas de ½ HP de 110 V, Marca PEDROLLO.
3	18	Metros de Tubería de 1 ½".
4	18	Metros de Tubería de 1".
5	2	Sueldas de estaño al 5%.
6	1	Pasta de soldar.
7	18	Metros de aislante de Poliuretano para tubería de 1 ½" de espesor 1"
8	18	Metros de aislante de Poliuretano para tubería de 1" de espesor 1"
9	1	Tanque de almacenamiento de 250 galones, con recubrimiento de poliuretano de 2 ½".
10	varios	Accesorios para instalación.

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS

El presente proyecto consta de 4 fases totalmente definidas en función al avance de construcción del edificio, y estas son:

1. Instalación de la tubería de abastecimiento de agua caliente y recirculación.
2. Instalación del sistema de calentamiento de agua.
3. Implementación del control automático del sistema.
4. Pruebas de instalación y funcionamiento.

5.1 INSTALACIÓN DEL TRAZADO DE TUBERÍA

5.1.1 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

De acuerdo al diseño desarrollado para el sistema de abastecimiento, la tubería a utilizarse en el edificio, corresponde a un diámetro nominal de 1½", con ello se procedió a la instalación del sistema utilizando los materiales respectivos para el caso.

Tubería

La tubería de abastecimiento corresponde al cobre tipo "M", con un diámetro de 1½ (pulgadas), la soldadura utilizada para la unión de las partes y accesorios fue estaño al 95% y 5% plomo.

El diagrama de operaciones referente a la instalación de este sistema se muestra en el Anexo B, conjuntamente con este se detalla el diagrama de procesos en el Anexo C.

Sabiendo que tanto las tuberías de agua fría, de agua caliente y de recirculación, seguirán la misma trayectoria desde el 4to piso hasta la cuarto de maquinas, la distancia de separación entre tuberías que conducen agua fría y las que conducen agua caliente debe ser mínimo 20cm para evitar perdidas de calor que puede ocasionar al tener una superficie cercana a menor temperatura.

Las salidas para la distribución de agua caliente a cada uno de los departamentos se realizan con derivaciones utilizando “Tees” reducciones de diámetro 1½” a ½” , estas “Tees” reducciones se ubican en cada piso a una distancia de 20 cm. entre ellas y su cantidad depende del número de departamentos ubicados por planta. Los materiales utilizados en la instalación hidráulica en su primera fase se muestran en la Tabla 5.1

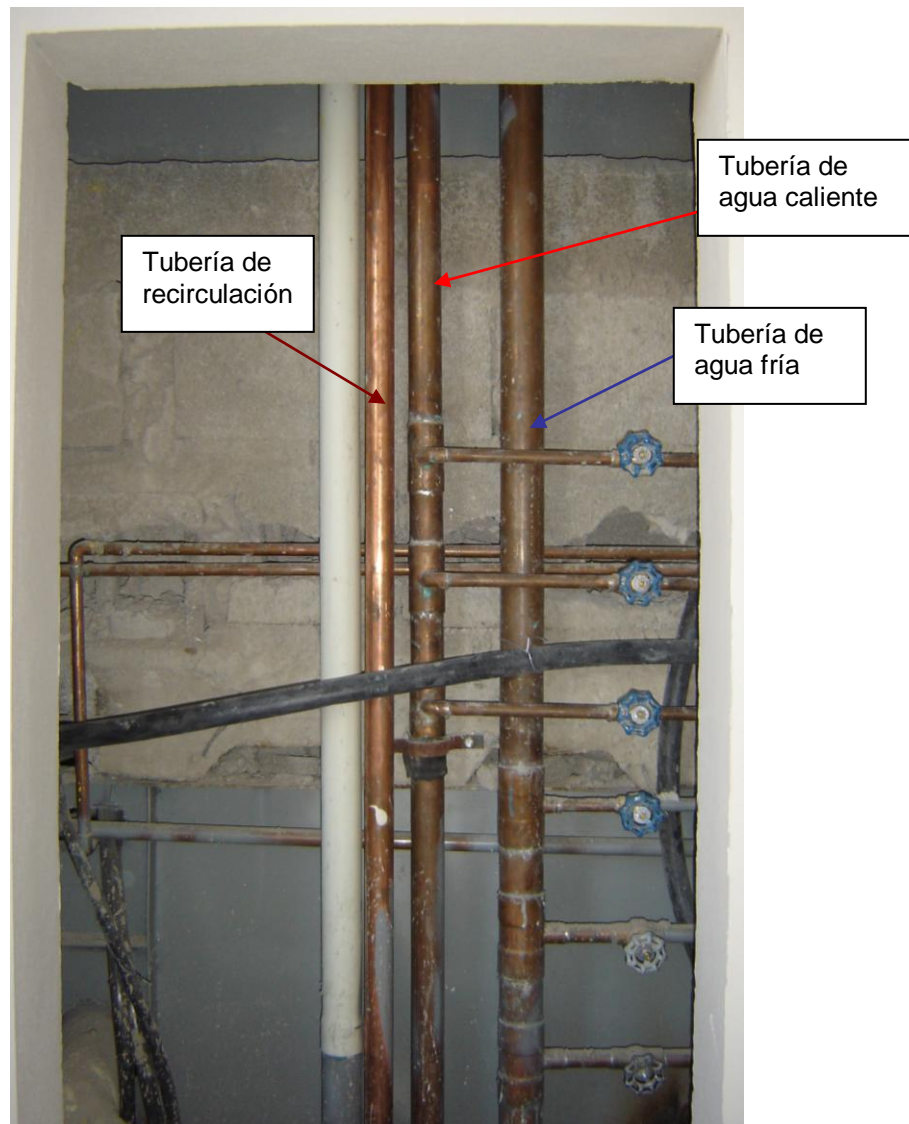
Tabla 5.1 Materiales para instalación hidráulica del sistema de abastecimiento

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Tubería Cobre Tipo “M” $\phi = 1\frac{1}{2}$ ”, L =6m	4
2	Reducción de 1½” a 1”	1
3	Codo 90° d =1½”	6
4	“Tee “ reducción de 1½” a ½”	14
5	Válvula de compuerta $\phi = 1\frac{1}{2}$ ”	1
6	Tapón macho $\phi = 1\frac{1}{2}$ ”	1
7	Rollo soldadura de estaño 95/05	1
8	Pasta para soldar 100(grs)	1

5.1.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

El objetivo de la instalación de este sistema consiste en disponer de agua caliente instantánea, su ubicación y distribución se las realiza de forma paralela a la tubería de abastecimiento de agua caliente manteniendo una distancia de 10cm entre ellas, para evitar perdidas por rozamiento y tener facilidad de acceso al respectivo aislamiento de la tubería tanto de abastecimiento como de recirculación.

A más de que en los planos respectivos se indican estas distancias, la fotografía 5.1 muestra las distancias mínimas requeridas para la instalación.



Fotografía 5.1 Instalación del sistema de tuberías

El aislamiento tiene por objetivo evitar posibles incendios que puede ocasionar la alta temperatura en contacto con algún tipo de material inflamable ya que está instalada la tubería dentro de un ducto especial por donde van las líneas de evacuación de aguas servidas, líneas de instalación de gas, luz eléctrica ,entre otros, así como también el evitar perdidas de calor que redundarán en la economía por el uso de combustible, de no ser así el sistema de recirculación estará trabajando mas tiempo disminuyendo la vida útil de las bombas y calefones. Los materiales utilizados en esta instalación se los detalla en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Materiales para instalación hidráulica del sistema de recirculación

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Tubería Cobre Tipo "M" $\phi = 1"$, L =6m	4
2	Codo 90° d =1½"	5
3	Válvula de compuerta $\phi = 1"$	1
4	Tapón macho $\phi = 1"$	1
5	Rollo soldadura de estaño 95/05	1
6	Pasta para soldar 100(grs)	1

Los diagramas de procesos y operaciones están detalladas en el anexo B y Anexo C respectivamente. Además de ello constan fotografías de la instalación hidráulica en el Anexo G.

5.2 ESPECIFICACIONES DEL CUARTO DE MAQUINAS

La norma NTE INEN 2124 contempla las especificaciones que debe tener la cuarto de maquinas con el fin de conservar la seguridad de los habitantes como el normal funcionamiento de los sistemas instalados.

Éste lugar (Cuarto de Maquinas) estaba contemplado en el diseño y construcción del edificio "CRYOM" el cual esta ubicado en la terraza del octavo piso junto a la sala comunal y tiene las siguientes dimensiones interiores:

- Largo: 4.60 (m)
- Ancho: 2.00 (m)
- Altura promedio: 2.80 (m)

Estas medidas cumplen las especificaciones que la norma NTE INEN 2124 requiere para su instalación en su apartado 5.3.1.2 (Locales Interiores de Instalación) en la que indica que para una instalación de más de tres equipos calentadores de agua, no se debe dar en un volumen menor a 24m³. Para mayor detalle de lo mencionado refiérase al Anexo D.

Los requerimientos del cuarto de máquinas de acuerdo a la norma NTE INEN 2124 son muy específicas en lo que se refiere al volumen requerido de acuerdo al número de calefones a instalarse, dichos requerimientos se los detalla en la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Ventilaciones para la instalación de calentadores de agua de paso continuo y acumulativo

Volumen del Local V (m³)	Numero de Artefactos Permitidos	Ventilaciones
$V \geq 8$	No mas de 1	2x200cm ²
$V \geq 16$	No mas de 2	2x200cm ²
$V \geq 24$	3 o mas	2x200cm ²

Fuente: Norma NTE INEN 2124

Volumen: El volumen de nuestro cuarto de maquinas es 25.76m³, la norma hace referencia a un valor no menor a 24 m³ para cuando existen mas de tres artefactos calentadores instalados y como en nuestro caso tenemos un total de seis artefactos calentadores, queda esto dentro del limite de especificaciones de la norma NTE INEN 2124.

Ventilación: la norma establece que el local debe contar con dos aberturas permanentes de una superficie efectiva minima de 200 cm², nosotros por cuestión de diseño y construcción del cuarto de maquinas contamos tambien con dos aberturas, la una con un área efectiva de 21200 cm² y la segunda con una área efectiva de 6050 cm² (ubicada en la puerta de ingreso) comunicadas las dos directamente con el exterior.

Rejilla Superior: Cuyo borde superior según la norma debe estar ubicado a 100 mm bajo el cielo raso, nuestra rejilla superior esta ubicada a 60 cm. del techo con un área efectiva de ventilación 6050 cm².

Cabe recalcar que el cuarto de maquinas consta de dos entradas laterales de aire en ubicadas a la altura del techo. El esquema de la figura 5.1 muestra la ubicación de las ventilaciones en el cuarto de máquinas.

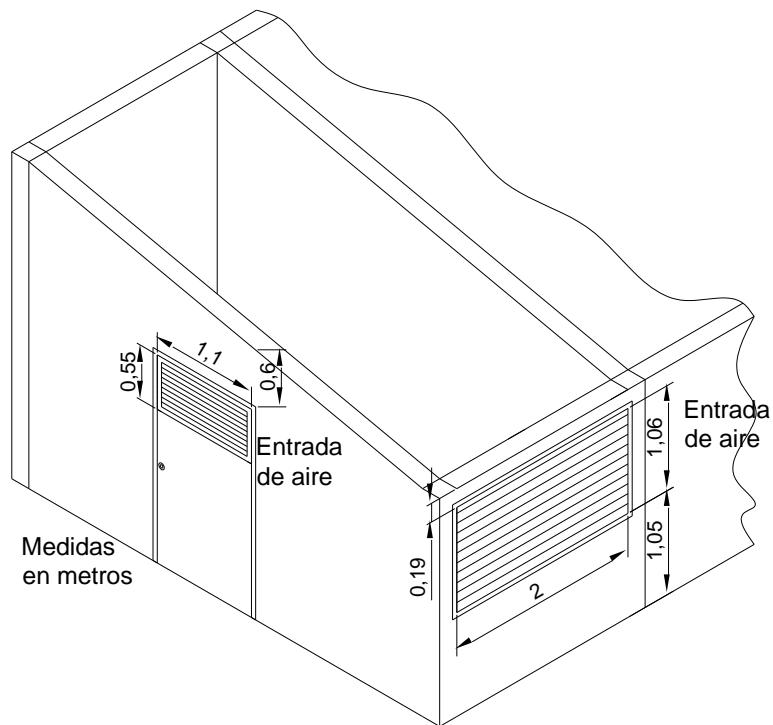


Figura 5.1 Esquema de ventilación del cuarto de maquinas

5.3 INSTALACIÓN DE ELEMENTOS

Para la instalación de los elementos que conforman el sistema de calentamiento de ACS lo primero que se realizó fue un plano de distribución del cuarto de maquinas con el fin de optimizar los espacios y materiales para que estos no generen molestias en un posterior mantenimiento y/o reemplazo.

5.3.1 INSTALACIÓN DEL TANQUE ACUMULADOR

Como se dijo, el Código ASME Sección VIII Div. 1 fue observado para el diseño del tanque acumulador. El diseño de las cabezas elipsoidales del tanque obedece a razones de facilidad de construcción.

Por no ser el campo de acción de la empresa “MASTER CONTROL” el construir los tanques de almacenamiento se buscó la mejor oferta de costos y construcción, manteniendo las especificaciones de diseño dadas en el capítulo IV respecto al tanque de almacenamiento.

El tanque acumulador consta de:

- Una boca de ingreso.
- Una boca de salida.
- Una boca para el drenado.
- Dos tomas, una para ubicar un manómetro y otra para la válvula de alivio.

El material utilizado en la construcción del tanque fue lámina de acero A36 laminado en caliente con un espesor de 8 mm (5/16”) y galvanizado por un proceso de inmersión posterior a la construcción del tanque.

Además, el tanque se encuentra aislado con Poliuretano y recubierto por una lámina de tool Galvanizado de espesor 1/16”, la finalidad de esto es hacer totalmente hermético el aislamiento que se da por el método de inyección y lograr una excelente hermeticidad para evitar daños en caso de que este se encuentre al ambiente externo.

El tiempo de vida útil del tanque es de 20 años, por otro lado el aislamiento térmico tiene una vida útil de 12 años por la garantía ofrecida por el fabricante del tanque y al estar en un medio totalmente estable libre de humedad, el aislamiento tiene una vida indefinida.

Para la instalación y ubicación del tanque en el cuarto de maquinas fue necesario construir un mecanismo con el cual se pueda elevar el tanque al octavo piso donde se encuentra ubicada el cuarto de maquinas, dicho mecanismo constituyó de dos trípodes de madera con base en la terraza del octavo piso, se los construyo tomando en cuenta el peso y el volumen del tanque de tal forma que este no cause inconvenientes cuando este siendo elevado.

Los materiales utilizados para la ubicación del Tanque en el cuarto de máquinas se detallan en la Tabla 5.4

Tabla 5.4 Materiales Utilizados para instalación tanque acumulador

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Piezas de madera L =6m	8
2	Clavos 3” libras	2
3	Soga Longitud en (m)	50
4	Alambre de construcción en Libras	10
5	Poleas	2
6	Cable de Nylon Longitud 60 (m)	2
7	Tanque de agua para el anclaje	6

Una vez que el tanque fue subido al octavo piso se procedió a ubicarlo en el sitio respectivo del cuarto de máquinas. La construcción del mecanismo de elevación para el tanque, así como la ubicación del mismo en el cuarto de máquinas se presenta en los Anexos B y C en los diagramas de operaciones y procesos respectivamente.

5.3.2 INSTALACIÓN DE LOS CALEFONES

La ubicación e instalación de este sistema al igual que el anterior obedece a la distribución de espacios presentado en el Anexo A.

Este sistema de calefones puede funcionar de dos maneras: en serie o en paralelo. Para el caso particular del edificio CRYOM se optó por la opción del sistema en paralelo por razones de confiabilidad que ofrece el sistema, es decir que cuando uno de los calefones, por algún motivo, no opere en forma adecuada este no afecte a todo el sistema, problema que ocurre cuando estos están colocados en serie, si falla uno se para todo el sistema.

La instalación de este sistema de calefones en paralelo esta sujeta a la norma NTE INEN⁵⁷ 2124 apartado 5.4.3 (Alturas en los locales interiores de instalación).

Los materiales utilizados para la instalación de los calefones se detallan en la tabla 5.5

Tabla 5.5 Materiales utilizados para la instalación de los calefones

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Calefones Instamatic de 26Ltrs (unidades)	6
2	Tacos fisher (unidades)	12
3	Tornillos 3/8" x 2 1/2" (unidades)	12

Los calefones instalados son de la marca INSTAMATIC con las siguientes características:

Fabricante: SHENTQ TAY CO LTD.

Modelo: GO-179

Tipo: INSTANT/LPG

Potencia: 18.2 (Kw)

Gasto nominal: 22.4 (Kw)

Presión Mínima de agua: 7 Ltrs/min

Presión Máxima de agua: 26.3 Ltrs/min

⁵⁷ NTE INEN: Norma Técnica Ecuatoriana Instituto Ecuatoriano de Normalización

La fijación de los calefones en el cuarto de máquinas se presenta en los diagramas de operaciones y procesos respectivos en los Anexos B y C.

5.3.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS

Las bombas marca PEDROLLO instaladas, como complemento del sistema de agua caliente, cumplen las especificaciones del diseño analizado con las siguientes características:

Modelo: PKm 60 (monofásica)

Potencia: 0.50 (Hp)

Caudal: 5 litros a 38 (m) de altura.

Para mayor detalle de información ver ANEXO E.

La ubicación de las bombas, respecto a la línea de recirculación y el tanque acumulador, debe ser mínima entre todos los sistemas. Esto, con la finalidad de disminuir las pérdidas por fricción debido al uso excesivo de accesorios y tubería, también reducimos costos. La tabla 5.6 muestra los materiales utilizados para la instalación de las bombas.

Tabla 5.6 Materiales utilizados para instalación de las bombas de recirculación

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Bomba de recirculación de agua caliente h = 25 m Q= 6 GPM	2
2	Tacos fisher ¼" (Unidades)	8
3	Tornillos ¼"x1½" (Unidades)	8

La función principal de las bombas es hacer recircular el agua caliente almacenada en el tanque a fin de mantener el agua a temperatura adecuada, evitando de esta manera que el agua pierda calor o produzca corrosión excesiva en el tanque por permanecer mucho tiempo en reposo.

Para su instalación se utilizó tubería de cobre tipo "M" con un diámetro de 1" especificado en el diseño del sistema hidráulico, para el detalle de las actividades realizadas en la instalación, refiérase a los diagramas de operaciones y procesos en los Anexos B y C respectivamente.

5.3.4 CONEXIONES HIDRÁULICAS

La conexión hidráulica consiste en ensamblar todos los elementos antes mencionados, este ensamblaje se lo realiza con tubería de cobre tipo "M" siguiendo la geometría y el trazado que se presenta en el plano de construcción Anexo A.

Con los elementos ubicados en las posiciones marcadas se procedió a realizar el ensamble respectivo de la siguiente manera:

Primero, la conexión de la tubería de agua fría con las respectivos calefones por medio de una flauta de 2" de diámetro construida de acuerdo a las medidas y especificaciones del plano de construcción Anexo A.

Siguiendo la secuencia de ensamble se construyó la segunda flauta que es la salida de agua caliente de los calefones, de igual manera con tubería de cobre tipo "M" de un diámetro de 1½", la cual conecta la salida de agua caliente de los calefones con la boca de ingreso al tanque acumulador ubicada en la parte inferior del mismo. El agua se almacena en este y una vez que el tanque se llena sale el ACS por la segunda boca ubicada en la parte superior del tanque, de aquí va para el uso de los departamentos a través de la tubería de abastecimiento de diámetro 1½". Con el fin de mantener el agua a una temperatura adecuada, se instaló la tubería de recirculación que esta conectada a la tubería de abastecimiento y al ingreso de las bombas para descargar a la línea de ingreso de agua fría que va a los calefones cerrando de esta manera el ciclo y obteniendo siempre agua caliente para el consumo.

Para información del esquema de funcionamiento se presenta la figura 5.2.

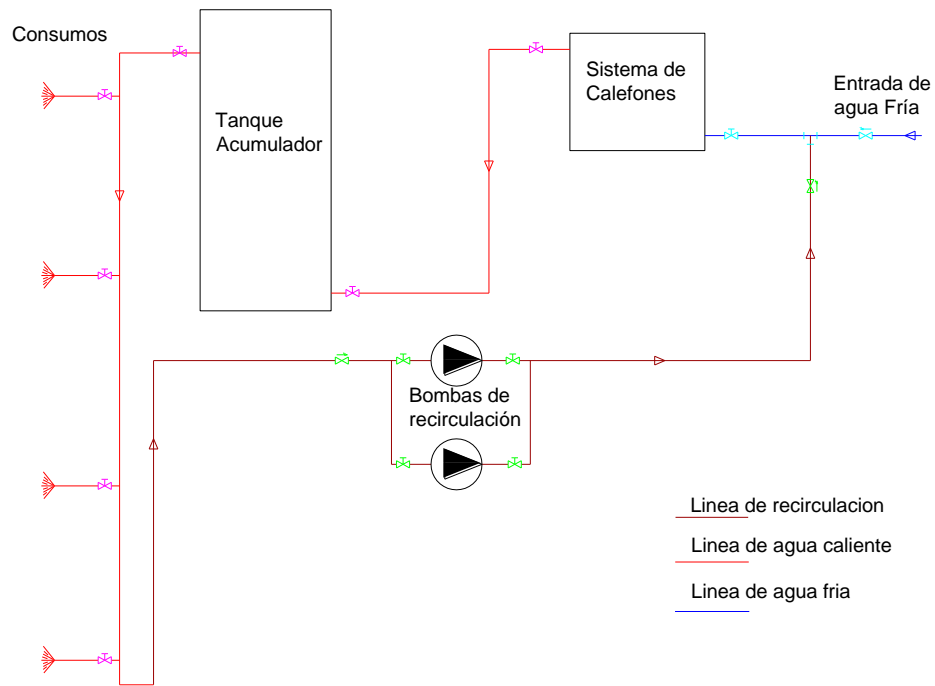


Figura 5.2 Esquema de funcionamiento del sistema de agua caliente

El ensamblaje del sistema incluye también realizar las conexiones de gas para los calefones utilizando tubería de cobre tipo “L” como lo especifica el manual de instalación “REGO” cuando es gas lo que fluye por el interior de la tubería. La instalación de este sistema se lo realizo por medio de una flauta de $\phi=1/2$ ” con las respectivas derivaciones para cada calefón. A continuación se presenta en la Tabla 5.7 los materiales utilizados.

Tabla 5.7 Materiales utilizados para instalación del sistema hidráulico

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Tubo de cobre Tipo “M” $\phi=2$ ” L =6m	1
2	Tubo de cobre Tipo “M” $\phi=1\frac{1}{2}$ ” L =6m	1
3	Tubo de cobre Tipo “M” $\phi=1$ ” L =6m	1
4	Tubo de cobre Tipo “L” $\phi=1/2$ ” L =6m	1
5	Válvulas de media vuelta para agua caliente $\phi=1/2$ ”	13
6	Válvulas de media vuelta para gas $\phi=1/2$ ”	6
7	Válvulas de media vuelta para agua caliente $\phi=1\frac{1}{2}$ ”	2
8	Válvulas de media vuelta para agua caliente $\phi=1$ ”	4
9	Válvulas de media vuelta para agua caliente $\phi=2$ ”	1

Tabla 5.7 Materiales utilizados para instalación del sistema hidráulico (continuación)

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
10	Universales $\phi=2''$	1
11	Universales $\phi=1\frac{1}{2}''$	2
12	Universales $\phi=1''$	4
13	Universales $\phi=\frac{1}{2}''$	13
14	Válvula Check $\phi=2''$	1
15	Válvula Check $\phi=1''$	2
16	Reducciones de 2 a $1\frac{1}{2}''$	2
17	Codos a 90° de $\phi=1''$	8
18	Codos a 90° de $\phi=1\frac{1}{2}''$	5
19	Codos a 90° de $\phi=2''$	1
20	Codos a 45° de $\phi=\frac{1}{2}''$	6
21	Tees reducciones de $2''$ a $\frac{1}{2}''$	6
22	Tees reducciones de $1\frac{1}{2}''$ a $\frac{1}{2}''$	6
23	Tee reducción de $2''$ a $1''$	1
24	Adaptadores SO-HE $\phi=\frac{1}{2}''$	36
25	Adaptadores SO-HI $\phi=\frac{1}{2}''$	12
26	Adaptadores SO-HE $\phi=1\frac{1}{2}''$	4
27	Adaptadores SO-HE $\phi=1''$	10
28	Acople hembra $\phi=2''$	2
29	Codos a 90° de $\phi=\frac{1}{2}''$	5
30	Tees de $\phi=\frac{1}{2}''$	6
31	Válvula de alivio a 120 psi	1
32	Manómetro de (0 a 150) psi	1
33	Teflón en paquetes (10 unidades)	5
34	Manguera flexible para gas $\phi=\frac{1}{2}''$ (m)	2
35	Abrazaderas para manguera de gas $\phi=\frac{1}{2}''$	14

5.4 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

La instalación de este sistema tiene como objetivo mantener una operación totalmente automática cuando este funciona en conjunto con todos los demás sistemas.

Para la instalación de los elementos de control se utilizó un tablero donde se ubican los controladores para facilitar el monitoreo y manejo del sistema; de aquí parte el cableado para el control de las dos bombas de recirculación.

Es importante indicar que el sistema de cableado va protegido del contacto con el medio por medio de tuberías.

Los esquemas y planos de conexión se encuentran en el Anexo A. La tabla 5.8 muestra los materiales para la instalación del sistema de control.

Tabla 5.8 Materiales utilizados para instalación del sistema de control

ITEM	DETALLES	CANTIDAD
1	Controlador de diferencial de temperatura	1
2	Termocupla con vaina de protección d = 1/2" rango de operación 5-90 °C	1
3	Controlador de temperatura	1
4	Cable termocuplas AWG #18, L=3m	
5	Cable de alimentación L=10m.	
6	Relees	2
7	Caja de control	1
8	Breaker de Protección	1

Las especificaciones técnicas y detalles de instalación de los controladores, actuadores y termocuplas se encuentran en los manuales de los respectivos fabricantes ubicados en el Anexo E.

Los controladores del sistema deben ser programados previamente a su funcionamiento. El procedimiento de programación se aprecia claramente en el Anexo F (manual de operación y mantenimiento del sistema instalado).

A continuación, la tabla 5.9 nos permiten conocer los parámetros que se controlan en cada uno de los controladores con sus respectivos valores establecidos para el sistema del proyecto:

Tabla 5.9 Parámetros de programación del controlador de temperatura simple

N°	FUNCIÓN	AJUSTES
1	Temperatura prefijada	60°C
2	Temperatura de encendido de bomba (histéresis)	10 °C
3	Límite de temperatura inferior	50°C
4	Límite de temperatura superior	60°C
5	Tiempo de retraso en activación del relé	0 min
6	Tipo de control	Calentamiento

El ensamble final de todo el sistema se detalla en el Diagrama de Operaciones en el Anexo B, con cada uno de los subensambles respectivos.

5.5 PRUEBAS

5.5.1 PRUEBAS DE INSTALACIÓN

Para verificar la hermeticidad de las tuberías instaladas es necesario realizar pruebas tanto neumáticas con hidráulicas (pruebas de funcionamiento) una vez terminada la instalación por etapas planificadas.

El procedimiento a seguir para verificar el correcto montaje del sistema de tubería es el siguiente:

Pruebas Neumáticas.- Este tipo de prueba permite adquirir confiabilidad de que el sistema sea totalmente hermético, se lo realiza para evitar retrabajos que pueden ocasionar retrasos en la programación y perjuicio económico debido a fugas no deseadas cuando el sistema entra en operación.

Procedimiento:

- a) Conectar la línea de aire comprimido al sistema de tuberías.
- b) Encender el compresor.
- c) Cargar la línea a probar con una presión de 120 psi por 30 minutos.
- d) Con el compresor a la presión especificada, verificar que no existan fugas en las líneas (Inspección Visual y manual).
- e) Apagar el compresor.
- f) Verificar que no exista una baja de presión en la tubería mayor al 5% de la presión de prueba.
- g) En caso de existir fugas, corregirlas.
- h) Luego de corregir las fallas si las hay encender el compresor y cargar la línea a la presión de 120 psi por 2 horas.

- i) Repetir los pasos e) y f).

Las posibles causas de estas fugas se pueden deber a: uniones mal soldadas, deformación del material, entre las comunes.

5.5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Cuando el sistema se encuentre instalado en su totalidad, se debe realizar las pruebas respectivas que permitan verificar el correcto funcionamiento del mismo. Procedimiento:

- a) Abrir las válvulas que permitan el paso de agua al sistema.
- b) Permitir que el flujo de agua, a través del sistema, llene el tanque acumulador:
- c) Energizar el tablero de control.
- d) Programar la temperatura de elevación de temperatura.
- e) Colocar las baterías en cada calefón.
- f) Abrir las válvulas para el ingreso de gas a los calefones.
- g) Abrir las válvulas para ingreso y salida de agua de los calefones.
- h) Encender el interruptor de la Bomba B1.
- i) Verificar el encendido progresivo de los calefones.
- j) Verificar el aumento de temperatura del agua mediante el tablero de control.
- k) Realizar las mediciones correspondientes de temperatura en el último punto de abastecimiento de agua caliente en el edificio.
- l) Tomar medidas de temperatura cada 5 minutos para verificar la variación.
- m) Una vez obtenida la temperatura deseada, verificar el apagado automático de la Bomba B1.
- n) Verificar el encendido automático de la Bomba B1 una vez que la temperatura disminuya hasta el diferencial permitido.
- o) Realizar el mismo procedimiento (pasos e hasta n) para la Bomba B2.
- p) Apagar el sistema.
- q) Verificar el aumento progresivo de temperatura.
- r) Tabule los datos.
- s) Apagar los calefones.
- t) Verificar el consumo de gas combustible de todo el procedimiento realizado.

Datos obtenidos:

La tabla 5.10 muestra los resultados de las pruebas realizadas con dos calefones.

Condiciones de las pruebas:

Consumo de GLP: Dato inicial: 37.894 m³

Temperatura ambiente: 21°C

Temperatura inicial del sistema: 30°C

Numero de departamentos en uso: 2

Tabla 5.10 Resultados de las pruebas de funcionamiento del sistema

Tiempo (min)	Temp. Ultimo Punto (°C)	Temp. Salida del calefón (°C)	Consumo de GLP (m ³)	Presión en el tanque (psi)
5	47,8	45	38,208	20
10	45,6	52	38,303	19
15	43,8	58	38,427	18
20	41,9	54	38,543	15
25	47	50	38,664	16
30	44,9	65	38,764	17
35	43,3	60	38,900	19
40	47	58	38,990	15

Tiempos de descanso y operación de las bombas:

Tiempo de subida de temperatura de 30°C a 45°C: 4,45 min.

Tiempo de demora en bajar la temperatura de 45°C a 41,9°C: 20,10 min.

Tiempo de subida de temperatura de 41,9°C a 45°C: 1,29 min.

Tiempo de demora en bajar la temperatura de 45°C a 41,9°C: 15,91 min.

Tiempo de subida de temperatura de 30°C a 45°C: 1,77min.

Inicialmente, el tiempo de operación de las bombas es de 4,45 minutos, posteriormente en las siguientes operaciones tiende a estabilizarse debido a que existe mayor cantidad de agua caliente en el tanque acumulador, por lo cual se establece un tiempo de operación entre 1,29 minutos a 1,77 minutos, para motivos de análisis se utilizará un valor promedio de 1,5 minutos.

5.5.3 GRAFICAS Y ANÁLISIS

Las pruebas realizadas en el edificio “CRYOM” de acuerdo a las condiciones establecidas en el apartado anterior, permiten conocer el comportamiento de ciertos parámetros en el tiempo. Es así como, los gráficos 5.1 y 5.2 demuestran los resultados obtenidos en las pruebas.

El gráfico 5.1 indica el consumo de combustible (GLP) cuando se realizaron las pruebas de funcionamiento del sistema. Cabe destacar que cuando se tomaron estos datos, en el edificio solo estaban ocupados dos departamentos. Se puede observar en la gráfica que la tendencia de consumo de combustible va en aumento, lo que manifiesta la relación directa de este consumo con el tiempo de funcionamiento del sistema.

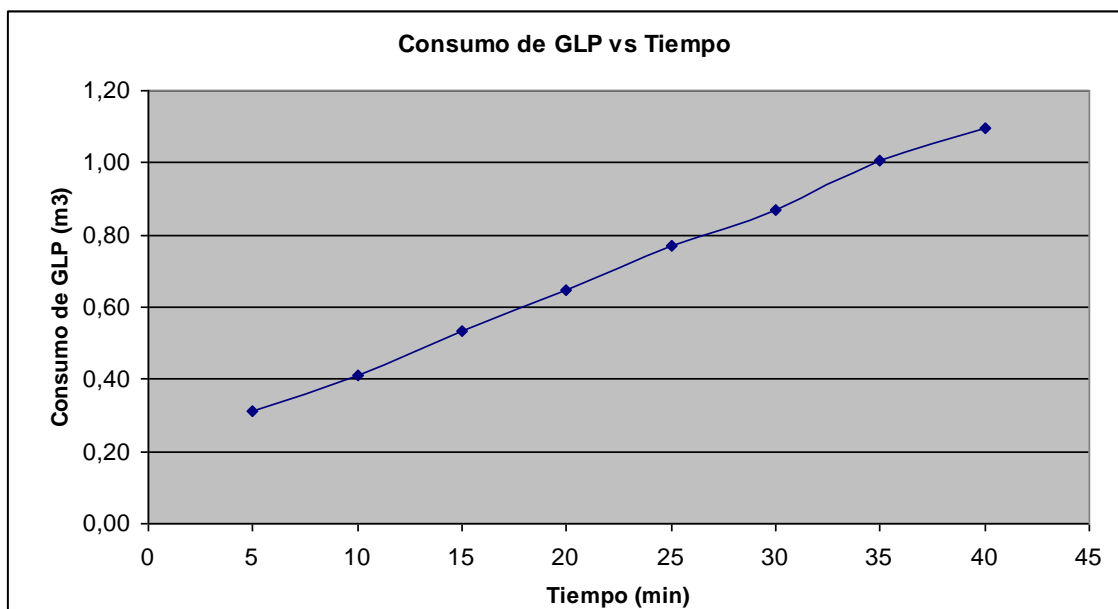


Gráfico 5.1 Consumo de GLP vs Tiempo

El siguiente gráfico indica la variación de temperatura a la salida del calefón mientras el sistema está en operación. Esta temperatura es también la misma que de entrada al tanque acumulador. Se puede observar en el gráfico 5.2 que dicha temperatura varía, esto se debe a que el sistema deja de operar por no existir consumo de ACS.

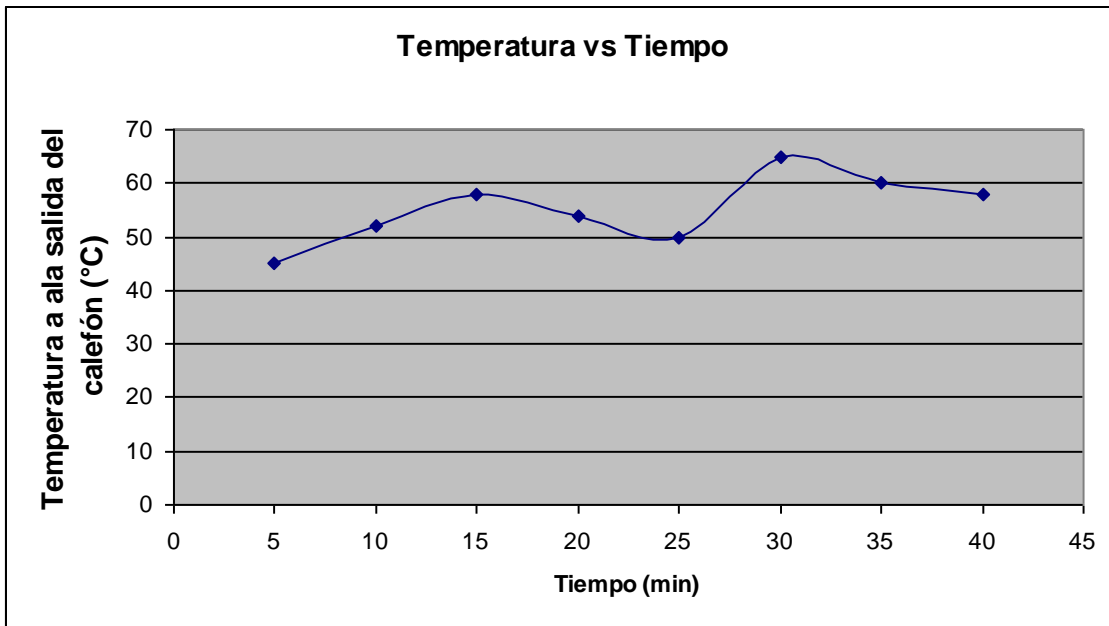


Gráfico 5.2 Temperatura (calefón) vs Tiempo

CAPITULO 6

MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS DEL SISTEMA A IMPLEMENTARSE

6.1 MANTENIMIENTO Y TIPOS DE MANTENIMIENTO A APLICARSE

El mantenimiento es la aplicación de las acciones preventivas, predictivas y correctivas encaminadas a mejorar y alargar la vida útil de trabajo de las maquinas y/o equipos que se utilizan tanto en forma directa como indirecta para la consecución de los fines propuestos, estos tipos de mantenimiento deben ser debidamente planeados y organizados con la finalidad de optimizar recursos productivos y económicos de la empresa o cliente.

Las siguientes acciones garantizan un buen mantenimiento:

- Observación.- Estudio detallado de un acontecimiento.
- Análisis.- De acuerdo a la necesidad tenemos: análisis de costos, tiempos, fallas, etc.
- Comunicación.- Punto de unión, imprescindible, entre la información (proveniente de la observación), la decisión (solución) y la acción.
- Determinación de acciones prioritarias.- A la hora de dar preferencia de actuación es fundamental organizarse de forma eficaz y racional, así como distinguir entre lo urgente y lo importante.

El presente proyecto conlleva la aplicación de dos tipos de mantenimiento, el preventivo y el correctivo. El predictivo no se lo realiza porque la infraestructura con la que se cuenta no justifica la aplicación de este tipo de mantenimiento que en muchos casos podría resultar mas barato cambiar un equipo que realizar el mantenimiento predictivo.

6.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como su palabra lo dice es prevenir una falla o colapso de maquinas o equipos trabajando en forma normal y que por su uso necesita ser observado, analizado y comunicado que parte del equipo o maquina necesita ser reemplazada antes de que se produzca un colapso y parada no deseada.

Este tipo de mantenimiento lo tiene que ejecutar una persona totalmente calificada o acreditada, lo que garantiza, en este caso, el éxito del mantenimiento preventivo, a fin de no convertir esto en una mala práctica de mantenimiento.

6.1.1.1 Fichas técnicas de Mantenimiento

6.1.1.1.1 Tanque acumulador

Se cuenta para el funcionamiento del sistema de agua caliente con una tanque acumulador cuya función es la de almacenar agua caliente para abastecer de forma continua y apropiada, para lo cual se cuenta con la siguiente ficha técnica de mantenimiento.


FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO			
Equipo	Tanque Acumulador		
Proceso	Almacenamiento y Abastecimiento de agua caliente		
Fabricante	Metálicas Luna	Código	PM-CN-TA-01
Cantidad	1	Origen	Ecuador
Peso	810 Lbs	Fecha de instalación	2007
Ítem	Código	Especificaciones Técnicas	
1	PM-CN-TA-01	Tanque acumulador	
2	PM-VA-01	Válvula de alivio	

Tabla 6.1 Actividades de mantenimiento del tanque acumulador

Código	Acción a ejecutar.	Tiempo previsto (min)	Frecuencia		
			Día(s)	Mese(s)	Año(s)
PM-CN-05	Vaciado y limpieza para remover impurezas	60		6	
PM-VA-10	Revisión de la válvula de alivio	10		6	
PM-IN-15	Inspección visual	5		1	

6.1.1.1.2 Bomba de recirculación

El sistema cuenta con dos bombas que sirven para recircular el agua caliente cuando ésta experimenta cambios de temperatura por pérdidas en el ambiente, haciendo de esta manera que el sistema sea eficiente usando una cantidad menor de combustible en este proceso, además se cuenta con la siguiente ficha técnica como información adicional para el mantenimiento.

FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO			
Equipo	Bombas		
Procesos	Recirculación de agua caliente		
Fabricante	PEDROLLO CODESO	Código	PM-BMF-01
Cantidad	2	Origen	Italia
Modelo	PKm 60	Nro. Serie	41PM610
Motor	Eléctrico	Potencia	0.5 Hp
Peso	4 kgs	Nro Fase	Monofásico
Voltaje (V)	100V	Fecha de instalación	2007
Vendedor	DISMACON S.A. Ecuador	Representante	DISMACON S.A. Ecuador

Ficha técnica de la bomba (continuación)

Ítems	Código	Especificaciones Técnicas
1	CDB	Cuerpo de la bomba
2	TD1	Tapón de drenado
3	IMP	Impulsor
4	CMG	Cierre mecánico parte girante
5	CMP	Cierre mecánico parte fija
6	TDP	Tornillos de apriete
7	CJS	Cojinetes
8	CHA	Chaveta
9	EJ1	Eje
10	CES	Carcasa del estator
11	PBA	Pies (base)
12	TPC	Tirantes (pernos para acople de la carcasa con el cuerpo de la bomba)
13	TBO	Tapa de bornes
14	BON	Bornes
15	VER	Ventilador
16	TAP	Tapa de ventilador
17	COD	Condensador

Tabla 6.2 Actividades de mantenimiento de la bomba

Código	Acción a ejecutar	Tiempo previsto (min)	Frecuencia		
			Día(s)	Mese(s)	Año(s)
CDB	Verificar fugas por posible rotura	2		1	
TD1	Revisión de ajuste	2		1	
IMP	Inspección visual	1		1	
CMG	Verificar fugas	1		1	
CMP	Verificar fugas	1		1	
CJS	Inspección auditiva	3		1	
CHA	Verificar que no haya juego axial	2		1	
EJ1	Inspeccionar que no este roto	2		1	

Tabla 6.2 Actividades de mantenimiento de la bomba (continuación)

CES	Limpiar y verificar su ajuste	2		1	
PBA	Verificar estabilidad y ajuste	1		1	
TBO	Verificar que este colocada	1		1	
BON	Verificar que no estén oxidados	2		1	
VER	Inspección que no este roto o salido	1		1	
TAP	Verificar que este colocada correctamente	1		1	
COD	Verificar conexión y limpieza	1		2	

6.1.1.1.3 Calefones

Para cumplir con el propósito de calentar el agua para servicio domestico fue necesario el uso de seis calefones conectados en paralelo con la siguiente ficha técnica.

FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO			
Equipo	Calefones		
Procesos	Calentamiento de agua		
Fabricante	SHENQ TAY CO. LTD	Código	PM-CAF-GLP
Cantidad	6	Origen	TAIWAN
Modelo	GO-179	Nro. Serie	OVNT-06001-06012-NC
Tipo	INSTANT/LPG	Potencia	18.2 K w
Peso	24 kgs		
Combustible	GLP	Fecha de instalación	2007
Vendedor	DISMACON S.A. Ecuador	Representante	DISMACON S.A. Ecuador

Ficha técnica del calefón (continuación)

Ítems	Código	Especificaciones Técnicas
1	CD1	Carcasa
2	VPP	Ventana para el piloto
3	MPS	Mando de puesta en servicio
4	COL	Collarín
5	CDG	Conexiones de gas
6	CHI	Chimenea
7	CDC	Cuerpo de caldeo
8	RES	Respaldo
9	CGA	Cuerpo de gas
10	CDA	Cuerpo de agua
11	MGC	Mando regulador de caudal
12	PIL	Piezo
13	BAT	Batería

Tabla 6.3 Actividades de mantenimiento del calefón

Código	Acción a ejecutar	Tiempo previsto (min)	Frecuencia		
			Día(s)	Mese(s)	Año(s)
CD1	Limpieza para remover impurezas	2		1	
VPP	Revisión y limpieza	2		1	
MPS	Inspección visual	1		1	
COL	Limpieza hollín en las paredes	5		6	
CDG	Verificar fugas	2		1	
CHI	Limpieza hollín en las paredes	8		6	
CDC	Verificar fugas de agua	5		6	
RES	Verificar estabilidad del calefón	2		6	
CGA	Verificar conexiones	2		6	
CDA	Verificar conexiones	2		6	
MGC	Limpieza y control de funcionamiento	1		1	
PIL	Verificar desgaste o rotura	2		6	
BAT	Control de carga adecuada	1		1	

6.1.1.1.4 Válvulas y accesorios de seguridad

La principal actividad de mantenimiento consta de una limpieza y verificación de funcionamiento cada seis meses y corregir fugas en las uniones en caso de existir.

6.1.1.1.5 Instalaciones de control

Se debe realizar una inspección de las líneas eléctricas y sus conexiones, para comprobar que no existen cables en mal estado, instalaciones flojas, cortocircuitos y óxidos. Se recomienda que esta actividad se realice junto con la inspección mensual que se realiza a todo el sistema

6.1.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este tipo de mantenimiento consiste en corregir las fallas cuando éstas ya han ocurrido, llegando a tener paradas obligatorias y no programadas, esta no es una buena practica ya que no se puede tener la confiabilidad de operación adecuada de la maquina o equipo y siempre se está con la incertidumbre de fallo, y como se dijo antes, llega a producir perdidas que pueden ser prevenidas con una aplicación de una buena practica de mantenimiento.

Previa la realización de cualquier mantenimiento se recomienda que se cierren todas las válvulas tanto de agua como gas y bloquear el paso de energía eléctrica al tablero de control con la finalidad de evitar cualquier accidente o daño del sistema.

6.1.2.1 Bombas

De acuerdo a las recomendaciones del fabricante las bombas no exigen ningún tipo de mantenimiento especial siempre que se tomen las debidas precauciones, cuando haya riesgos de heladas hay que vaciar la bomba mediante el tapón de descarga ubicado en la parte inferior de la bomba prestando atención de cebarla⁵⁸ nuevamente al ponerla en marcha.

⁵⁸ Cebiar: evacuar el aire contenido en el sistema por medio del tapón de evacuación de la bomba, mediante la puesta de agua de forma manual al sistema de tubería.

Tabla 6.4 Actividades de mantenimiento correctivo de la bomba

Defectos	Causas	Solución
El motor no se pone en marcha	- Falta tensión	Controlar la conexión y los valores de tensión.
	- La rueda esta bloqueada	Desbloquear la rueda mediante un destornillador introducido en la ranura correspondiente.
El motor funciona sin bombear agua	- El filtro esta obstruido	Limpiar el filtro.
	- La altura de aspiración es excesiva	Acercar la bomba al nivel de descarga del agua.
	- Hay aire en aspiración	Controlar la estanqueidad del tubo de aspiración. La bomba se tiene que cebar de nuevo.
El caudal es inadecuado	- Altura de aspiración al limite	Controlar la altura de aspiración.
	- El filtro esta parcialmente obstruido	Limpiar la válvula de aspiración y según el caso todo el tubo de aspiración.
	- La rueda esta obstruida	Desmontar la bomba o limpiar esmeradamente el cuerpo de la bomba y la rueda
Ha intervenido el dispositivo térmico de protección del motor.	- El motor se recalienta.	Controlar el voltaje y la ventilación
	- La rueda esta bloqueada	Desbloquear la rueda mediante un destornillador introducido en la ranura correspondiente.

6.1.2.2 Calefones

El mantenimiento debe ser hecho por una empresa especializada y mas que eso por un técnico especialista debidamente autorizado. Transcurrido un año de funcionamiento continuo debe ser comprobado, limpiado a fondo y eventualmente descalcificado, para lo cual se describe algunas de las tareas a realizar para su mantenimiento correctivo de acuerdo a la norma NTE INEN 2124.

Tabla 6.5 Actividades de mantenimiento correctivo de los calefones

Defectos	Causas	Solución
No se mantiene la llama del piloto	Piloto sucio	Limpiar
Enciende solo después de varios intentos		
La llama amarilla		
Piloto se cierra cuando se cierre el agua	Conducto de evacuación mal colocado u obturado	Revisar la instalación por personal autorizado
Olor de gases quemados		
Piloto se apaga cuando se abre el agua	Caudal de gas insuficiente	Verificar el regulador de la botella y si no es el adecuado sustituirlo.
Piloto se apaga durante el uso del aparato		Verificar si las botellas de GLP se congelan durante el funcionamiento y en caso afirmativo trasladar a un lugar menos frío.
Agua poco caliente llama débil.		
Agua poco caliente		Verificar la posición del selector de temperatura y efectuar la regulación de acuerdo con la temperatura deseada.
Agua con caudal reducido	Presión de conexión de agua insuficiente	Verificar y corregir
	Llave de paso sucia	Verificar y limpiar
	Cuerpo de caldeo obstruido	Limpiar y descalcificar si es necesario

6.1.2.3 Accesorios y demás elementos tomados dentro del mantenimiento correctivo

Estos, al igual que a los demás sistemas, se los debe dar el siguiente mantenimiento correctivo.

Tabla 6.6 Actividades de mantenimiento correctivo de los accesorios

Elementos	Falla	Causas	Solución
Tanque	Fugas	Sobrepresiones, fisuras	Soldar, reparar fuga
	Aislante deteriorado	Impacto o efectos de humedad	Reemplazo
Válvulas	Taponamiento	Impurezas	Limpieza
	Inoperante	Conexiones defectuosas, falla en mecanismo	Ajuste, reemplazo
Instalaciones de control	Corto circuito	Cables defectuosos, conexiones flojas	Reemplazo de alambres, reajuste
	Operación errónea de controladores	Programación, conexiones defectuosas	Reprogramación, reajuste

6.2 SISTEMA DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

El riesgo de incendio para nosotros como diseñadores y ejecutores del proyecto y los que operen el sistema se presenta como una potencial causa de pérdidas importantes, por lo que es necesario adoptar medidas para prevenir y proteger la integridad humana y material del edificio.

En vista de que el sistema instalado utiliza un tipo de combustible inflamable, es necesario la determinación de un adecuado plan contra incendios que ayude a ser más confiable la instalación y operación del mismo, por ello es importante conocer las posibles causas debido al encendido (ignición), los tipos de calor, los materiales y el lugar en el que se inicia el incendio.

6.2.1 FUENTE DE IGNICIÓN (ENCENDIDO)

En el edificio “CRYOM” existen las siguientes fuentes de encendido:

- Distribución eléctrica
- Sistema de calefacción

6.2.2 TIPOS DE CALOR CAUSANTE

- Llama abierta o chispa
- Arco eléctrico o sobrecarga eléctrica
- Materiales de fumador
- Objetos calientes (tubería de agua caliente)
- Calor de los objetos que emplean combustibles (calefones)

6.2.3 TIPOS DE MATERIALES INFLAMABLES

De los existentes en el sistema:

- Combustibles (GLP)

6.2.4 LUGARES DONDE SE PUEDEN INICIAR LOS INCENDIOS

Al ser el cuarto de maquinas un lugar en el que se utiliza GLP como combustible existe la mayor probabilidad de que el fuego se inicie en este punto y por lo cual es necesario tomar las precauciones debidas.

6.2.5 EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

El edificio consta con un sistema contra incendios contemplado en su diseño, revisado y aprobado por el Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Quito, este sistema consta de una instalación fija de manguera de agua y un extintor portátil, así como un detector de humos ubicado en el pasillo que conecta a los departamentos por cada planta también avalizado por el Cuerpo de Bomberos. Para la extinción, aparte de tener un sistema de alarma precisa, hay que adoptar acciones necesarias para controlar y extinguir el fuego, para lo cual se dispone de cuatro métodos:

1. Enfriamiento
2. Sofocación por eliminación del aire de combustible
3. Eliminación del combustible
4. Inhibición de la reacción

Los agentes o sustancias extintoras pueden ser: agua a chorro o pulverizada, espuma, polvos químicos secos BC(normal) y ABC(polivalente), anhídrido carbónico y derivados halógenos.

De acuerdo a la tabla 6.7 de agente extintor según la clase de fuegos tomada del libro de Adolfo Rodellar Lisa “Seguridad e Higiene el Trabajo” tenemos la siguiente clasificación:

Tabla 6.7 El agente extintor según clases de fuego

Agente Extintor	Fuegos A (sólidos)	Fuegos B (líquidos)	Fuegos B (gases)	Fuegos C
Agua a chorro	Bueno	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
Agua pulverizada	Excelente	Aceptable	Inaceptable	Inaceptable
Espuma química	Bueno	Bueno	Inaceptable	Inaceptable
Polvo polivalente	Bueno	Bueno	Bueno	Inaceptable
Polvo seco	Inaceptable	Excelente	Bueno	Inaceptable
CO₂ anhidro	Aceptable	Aceptable	Inaceptable	Inaceptable
Halogenados	Aceptable	Aceptable	Inaceptable	Inaceptable
Productos específicos				Aceptable

De conformidad con la tabla presentada en la parte superior y el tipo de combustible utilizado para el calentamiento de ACS que es un gas (GLP) se tiene que utilizar como agente extintor el polvo polivalente o polvo seco.

Lo que se optó para proteger la integridad humana y de las instalaciones, en caso de incendio en el cuarto de maquinas, fue un sistema de extintor portátil de polvo seco con las siguientes características:

Tipo: Extintor portátil

Agente extintor: Polvo seco

Presión de trabajo: 14 Kg/cm²

Clase de fuego a extinguir: A, B y C

Capacidad: 10 Libras

6.2.6 NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

6.2.6.1 Señalización

Señalar las precauciones en el cuarto de maquinas es de mucha importancia, puesto que ayuda para la prevención de posibles accidentes, por lo que se recomienda instalar los siguientes letreros como se indica en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Señalización requerida para el cuarto de maquinas que opera con calentadores a gas

TIPO DE SEÑALIZACIÓN	CANTIDAD	CONTENIDO	UBICACIÓN
Letrero de pared	1	CUARTO DE MAQUINAS	Entrada al cuarto de maquinas
Letrero de pared	2	PROHIBIDO FUMAR	Entrada al cuarto y en la parte interna, en el lugar más visible.
Letrero de pared	1	EXTINTOR	Parte interna sobre el extintor.

6.2.6.2 Salidas de emergencia

En caso de ocurrir una emergencia como incendio, explosión o cualquier problema que no se pueda controlar, como primera y fundamental actividad de las personas que habiten el edificio es retirarse del lugar por una salida de emergencia.

El edificio “CRYOM” cuenta con una salida de emergencia que son las gradas de acceso a las diferentes oficinas y departamentos, la cual ofrece facilidad de acceso y salida por su amplitud y espacio. La persona encargada de algún comunicado especial es el guardia de seguridad que en este caso debe estar capacitado y apto para tomar el control y poder realizar la evacuación respectiva de sus habitantes

6.2.6.3 Recomendaciones

En caso de incendio o algún accidente similar se recomienda lo siguiente:

- No utilizar el ascensor ya que este al funcionar con energía eléctrica pueden haber corto circuitos y quedar atrapados en su interior.
- Al primer indicio de incendio inmediatamente comunicar al guardia de seguridad para que este tome las debidas precauciones.
- Evacuar el sitio de forma ordenada y teniendo en cuenta que primero salgan de su interior niños, ancianos, mujeres embarazadas, personas con problemas de salud.
- Si se desconoce del tipo de incendio que se trata es preferible no realizar acciones que pueden en muchos casos agravar la situación.

- Comunicar a las autoridades respectivas del siniestro en este caso “Cuerpo de Bomberos” de la Ciudad de Quito.

6.2.6.4 Aspectos Referenciales

6.1.1.1.6 Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 8: 1986

“Protección Contra Incendios Sección I

Principios Generales y Clasificación de los Incendios

Objetivo

Este Código establece los principios generales de protección contra incendios en los edificios, clasificación de incendios de edificios y requisitos generales de seguridad contra incendios para componentes estructurales de los edificios.

Alcance

La primera parte de este Código comprende los Principios generales de protección contra incendios y la clasificación de incendios, en relación con la posibilidad de su estallido”.

De acuerdo a esta norma la posibilidad de incendio en un edificio varía en conformidad a su uso pudiendo ser un riesgo alto, moderado o bajo. Por ejemplo si un edificio, pequeño o grande, contiene material inflamable este puede constituir en un riesgo alto.

Por ser este edificio un lugar de oficinas y vivienda de acuerdo a esta norma se la clasifica como un edificio con carga de fuego baja y por tanto con un riesgo de incendio bajo.

6.1.1.1.7 Norma NTE INEN 2 124:98

“Uso e Instalación de Calentadores de Agua a Gas de Paso Continuo y Acumulativo

Objetivo

Esta norma indica la forma de instalación y de uso de calentadores a gas (GLP) para la producción instantánea y acumulativa de agua caliente para uso sanitario.

Alcance

1. La presente norma es aplicable para los calentadores de paso continuo y acumulativo, que tengan una tasa nominal de suministro de energía calórica (potencia nominal) igual o inferior a 35 Kw.
2. Esta norma no es aplicable a calentadores de agua a gas conectados a sistemas mecánicos para la extracción forzada de los productos de combustión del gas
3. Los calentadores de paso continuo y acumulativos instalados al interior de las viviendas o edificios deben ser conectados a ductos para la evacuación de los productos de combustión del gas y deben tener un sistema de renovación de aire permanente.
4. Los calentadores de paso continuo y acumulativos que no se conectan a ductos de evacuación de los productos de combustión solo pueden instalarse en el exterior de las viviendas o edificios, protegiéndolos de la acción del viento y de la lluvia”.

De hecho, para la instalación del sistema de calentamiento se tomó como base esta norma la cual se la aplicó y consideró cada una de las recomendaciones en los capítulos anteriores y de esta manera atenuar el riesgo del sistema. Para mayores detalles e información remítase al Anexo D.

6.1.1.1.8 Norma NTE INEN 2 187:99

“Calentadores de agua a gas para uso domestico. Requisitos e Inspección

Objetivo

Esta norma define las características de construcción y funcionamiento de los calentadores a gas (GLP) para la producción instantánea de agua caliente para uso sanitario doméstico.

Alcance

Esta norma es aplicable para los calentadores de paso continuo que tengan una tasa nominal de suministro de energía calórica (potencia nominal) igual o inferior a 28 kW (400 kcal/min)”.

Al igual que las recomendaciones hechas en las diferentes normas, en todos los ambientes donde exista riesgo de algún tipo es necesario que se observen estrictamente la norma adecuada. Para mayores detalles e información remítase al Anexo D

6.2.7 IMPLEMENTACIÓN DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL AL SISTEMA

Para la implementación del plan de seguridad industrial se deberá ejecutar las siguientes acciones:

- Colocar la señalización precautelaría respectiva en el cuarto de maquinas.
- Dar a conocer al o los trabajadores de mantenimiento sobre los riesgos de accidentes existentes; el tipo de incidencia que tiene sobre ser humano y los equipos y el tipo de precauciones que se debe tomar antes de realizar cualquier actividad preventiva o correctiva.
- Dar a conocer a los usuarios del edificio, las acciones a realizar en el caso de accidente.
- Restringir el paso al cuarto de maquinas. y si lo hacen debe ser con una persona encargada del mantenimiento previamente advirtiéndolo del riesgo que existe.

Con el cumplimiento de estas normas se asegura un bajo nivel de accidentes y posibles emergencias no deseadas.

CAPITULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

7.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS

7.1.1 MATERIALES

En las siguientes tablas se encuentran los costos de los materiales que forman parte del sistema implementado en el edificio "CRYOM".

Tabla 7.1 Costo de materiales para instalación de calefones con sus entradas y salidas

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Adaptador SO-HE de 1/2"	24	0,48	11,52
2	Adaptador SO-HI de 1/2"	12	0,76	9,12
3	Baterías	6	1,34	8,04
4	Calefones Instamatic de 26 litros	6	149,02	894,12
5	Pasta para soldar 100 gramos	1	0,82	0,82
6	Soldadura 95/05	1	8,94	8,94
7	Tacos fisher # 8	12	0,04	0,48
8	Teflón 1/2" x 10	1	0,14	0,14
9	Tornillos 3/8" x 2 1/2"	12	0,04	0,48
10	Tubería de cobre de 1/2" tipo M	1	19,20	19,20
11	Universal SO-SO de 1/2"	12	1,62	19,49
12	Válvula de bola de 1/2" Italy	12	7,64	91,68
	SUBTOTAL			933,16
	12% IVA			111,98
	TOTAL			1045,14

Tabla 7.2 Costo de materiales para instalación de las bombas de recirculación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Bomba Reg. Pedrollo PKm 60 1/2 HP 110 V.	2	50,15	100,30
2	Tacos fisher # 6	8	0,02	0,16
3	Tornillos 1/4" X 1 1/2"	8	0,02	0,16
	SUBTOTAL			100,62
	12% IVA			12,07
	TOTAL			112,69

Tabla 7.3 Costo de materiales para instalación del tanque de almacenamiento

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Tanque 250 gal con aislamiento de poliuretano de 2 1/2"	1	1071,43	1071,43
2	Válvula de alivio P=120 psi	1	12,00	12,00
3	Manómetro de 160 psi	1	3,30	3,30
4	Soporte	1	17,86	17,86
	SUBTOTAL			1104,59
	12% IVA			132,55
	TOTAL			1237,14

Tabla 7.4 Costo de materiales para instalación del sistema de agua caliente

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Abrazaderas para manguera d = 1/2"	6	0,57	3,41
2	Adaptador SO-HE de 1 1/2"	4	3,70	14,82
3	Adaptador SO-HE de 1"	16	2,12	33,92
4	Adaptador SO-HE de 2"	4	6,29	25,15
5	Adaptador SO-HI de 2"	2	7,94	15,89
6	Aislante Lana de vidrio d = 1", L = 22 m	22	4,34	95,48
7	Aislante Lana de vidrio d = 1 1/2", L = 21,5 m	23	4,52	103,96
6	Codo 45 x 1/2"	6	0,43	2,59
7	Codo 90 x 1 1/2"	5	3,15	15,76
8	Codo 90 x 1"	8	1,26	10,05
9	Codo 90 x 1/2"	3	0,23	0,70
10	Codo 90 x 2"	2	5,74	11,49
11	Manguera para gas industrial	2	0,82	1,65
12	Pasta de soldar	2	0,82	1,63
13	Soldadura 95/05	1	8,94	8,94
14	Soporte para tubería d = 2"	6	0,80	4,80
15	Soporte para tubería d = 1 1/2"	5	0,64	3,20
16	Soporte para tubería d = 1"	5	0,32	1,60
17	Tablero de control	1	607,14	607,14
18	Tapón de 1 1/2"	1	1,53	1,53
19	Tapón de 2"	1	2,78	2,78
20	Tee 1"	2	2,86	5,71
21	Tee 1/2"	5	0,40	2,00
22	Tee reducción 1 1/2" x 1/2"	6	5,11	30,67
23	Tee reducción 2" x 1"	1	7,64	7,64
24	Tee reducción 2" x 1/2"	6	7,64	45,84
25	Teflón 1/2 x 10	5	0,14	0,68
26	Tubería de cobre de 1 1/2" tipo M	4	111,49	445,95

Tabla 7.4 Costo de materiales para instalación del sistema de agua caliente (continuación)

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
27	Tubería de cobre de 1" tipo M	4	43,24	172,95
28	Tubería de cobre de 1/2" tipo L	1	26,05	26,05
29	Tubería de cobre de 2" tipo M	1	153,45	153,45
30	Unión de 1"	3	0,72	2,16
31	Universal SO-SO de 1 1/2"	2	11,46	22,93
32	Universal SO-SO de 1"	4	3,70	14,82
33	Universal SO-SO de 2"	1	19,51	19,51
34	Válvula Check de 1"	2	8,64	17,28
35	Válvula Check de 2"	1	24,05	24,05
36	Válvula de bola de 1 1/2" Italy	2	16,51	33,02
37	Válvula de bola de 1" Italy	4	8,48	33,92
38	Válvula de bola de 1/2" Gas	6	4,08	24,48
39	Válvula de bola de 2" Italy	1	25,97	25,97
	SUBTOTAL			1991,18
	12% IVA			238,94
	TOTAL			2230,13

7.1.2 MANO DE OBRA

Para determinar los costos de mano de obra en la instalación del sistema, fue necesario conocer los tiempos de instalación en cada una de las fases del proyecto. El diagrama de procesos muestra dichos tiempos y el costo, de mano de obra, que cada actividad tiene; es necesario destacar que el valor del sueldo hora, así como el salario hora fueron tomados del rol de pagos de la empresa "Master Control Engineering Cia. Ltda."

El diagrama de procesos de la instalación de este sistema se encuentra en el Anexo C.

La Tabla 7.5 muestra los costos de mano de obra en la instalación del sistema.

Tabla 7.5 Costo de Mano de Obra para instalación del sistema

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Instalación del Sistema de Tubería	25,77
2	Instalación del Tanque Acumulador	60,28
3	Instalación de las Bombas	3,58
4	Instalación de los Calefones	9,44
5	Instalación del Tablero de Control	35,08
6	Construcción de Flauta de Agua Fría	12,80
7	Construcción de Flauta de Agua Caliente	12,80
8	Construcción de Flauta de gas	12,80
9	Instalación Final (conexiones)	94,47
10	Pruebas de funcionamiento	32,00
	TOTAL	299,02

7.1.3 OTROS COSTOS

Los costos de mantenimiento preventivo se determinan mediante el cálculo de costo de las actividades de mantenimiento definidas en el capítulo anterior. Para el cálculo fue necesario tomar en cuenta: el tipo de personal (número de personas necesarias y pago), tiempo de trabajo, frecuencia.

La tabla 7.6 muestra los valores de costos de mantenimiento anual en cada uno de los equipos y componentes del sistema.

Tabla 7.6 Costo de mantenimiento del Sistema

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Mantenimiento Preventivo del tanque acumulador	63,67
2	Mantenimiento Preventivo de Bombas	169,80
3	Mantenimiento Preventivo de Calefones	84,77
	TOTAL	318,23

La tabla 7.7 muestra los costos que no fueron asumidos por la empresa, motivo por el cual, no serán tomados en cuenta en el análisis global financiero del proyecto.

Tabla 7.7 Otros costos relacionados al Diseño e instalación del Sistema

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Transporte	100,00
2	Útiles de oficina	40,00
3	Diseño (ingeniería)	1000,00
	TOTAL	1140,00

7.2 CÁLCULO DE PARÁMETROS FINANCIEROS

Para realizar un análisis económico del sistema instalado es necesario tomar en cuenta que dicho sistema no generará ingresos a la empresa, por que es un sistema estacionario que agrega valor a los departamentos. En este caso deben analizarse a los beneficios como factores intangibles, destacándose la buena imagen y categoría que el hotel proyecta a sus usuarios.

Es muy importante establecer cual es el consumo de gas licuado de petróleo para generar el agua caliente necesaria para el abastecer a cada uno de los departamentos.

Otro parámetro de importancia que se debe recalcar es que no todo el gas que se abastece, desde el tanque de almacenamiento, es aprovechado debido a que el propio consumo genera una descompresión del tanque que no permite que el volumen total sea consumido.

A estos parámetros se suma el rendimiento del calefón cuyo valor es 0,80. El precio oficial del gas de uso comercial, de acuerdo a los informes de Petrocomercial, para el mes de marzo del 2007 es de 0,15 USD por Kilogramo de GLP en terminal; a esto hay que añadirle el valor de 0.08 USD por Kilogramo del transporte y el valor correspondiente al IVA, lo cual suma 0.258 USD/Kg. aproximadamente y para motivos de cálculo de costos y parámetros estableceremos en 0.26 USD/Kg. de GLP para uso comercial.

Aspecto importante para el análisis económico es la manera en que el proyecto va a recuperar la inversión en el servicio que esta prestando a cada uno de los habitantes del edificio. Para ello debemos basarnos en el estudio de la demanda energética realizada en el Capítulo 3 (3.2.4 Demanda Energética).

De acuerdo a los calefones seleccionados para el calentamiento del agua, se requieren 1,80 kg de GLP para brindar el servicio durante una hora. Para determinar cuantos kilogramos de GLP necesitamos para realizar el calentamiento durante un año utilizamos la ecuación (7.1).

$$kg_{GLP} = CT \times h \times n \quad \text{Ecuación (7.1)}$$

$$kg_{GLP} = 1,80 \left(\frac{kg}{hora}\right) \times 4 (hora) \times 365 \left(\frac{días}{año}\right)$$

$$kg_{GLP} = 2628 \left(\frac{kg}{año}\right)$$

Donde:

Kg_{GLP} =Kilogramos de GLP en el año para el modelo seleccionado.

CT=Consumo total de combustible del calefón en una hora.

h=Número de horas de operación durante un día.

n=Número de días de operación en un año.

La Tabla 7.8 indica la cantidad de GLP necesario para cumplir la demanda energética en el edificio durante un año, tomando en cuenta el rendimiento del calefón y los desperdicios considerados de acuerdo a la pérdida de presión en el tanque acumulador.

Tabla 7.8 Costo de GLP necesario para calentar el agua durante un año

Descripción	Cantidad (kg)	Costo unitario (\$)	Costo Total
Demanda energética de GLP	2628	0,15	394,20
Transporte	2628	0,08	210,24
Pérdida por rendimiento del calefón	525,6	0,23	120,89
SUBTOTAL	3153,6		725,33
12% IVA			87,04
SUBTOTAL (2)			812,37
Desperdicio (10%)	315,36		40,62
TOTAL	3468,96		852,99

Los costos de instalación del sistema de calentamiento de agua se detallan en la tabla 7.9:

Tabla 7.9 Costo Total de Implementación

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Costo Instalación Calefones	1045,14
2	Costo Instalación Bombas	112,69
3	Costo Instalación Tanque	1237,14
4	Costo Instalación Sistema	2230,13
5	Costo Mano de Obra Directa	299,02
	TOTAL	4924,12

7.2.1 FLUJO DE CAJA

Para la determinar el flujo de caja es necesario realizar un análisis en base a los costos incurridos en la construcción e implementación de este sistema y los ingresos que se van a obtener de acuerdo al consumo de GLP. El proyecto instalado tiene una vida útil de 20 años. A continuación se presenta la tabla 7.10 que determina el flujo de caja del proyecto.

Tabla 7.10 Flujo Neto de Caja

Año	Mantenimiento	Energía Eléctrica	Ingresos GLP	Depreciación	Inversión	Flujo de caja	Saldo
0	0,00	0,00	0,00	0,00	4924,12	-4924,12	-4924,12
1	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-4335,75
2	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-3747,39
3	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-3159,02
4	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-2570,66
5	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-1982,29
6	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-1393,92
7	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-805,56
8	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	-217,19
9	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	371,18
10	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	959,54
11	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	1547,91
12	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	2136,28
13	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	2724,64
14	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	3313,01
15	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	3901,37
16	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	4489,74
17	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	5078,11
18	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	5666,47
19	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	6254,84
20	318,23	53,61	852,99	119,75	0,00	588,37	6843,21

7.2.2 TIR Y VAN

Tabla 7.11 Determinación del TIR y VAN

AÑO	INVERSIÓN	AHORRO	EGRESOS	FLUJO DE CAJA	VAN	
0	4924,12	0	0	-4924,12	-4924,12	-4924,12
1	0,00	588,37	318,23	588,37	533,66	-4390,46
2	0,00	588,37	318,23	588,37	484,03	-3906,43
3	0,00	588,37	318,23	588,37	439,02	-3467,41
4	0,00	588,37	318,23	588,37	398,20	-3069,21
5	0,00	588,37	318,23	588,37	361,17	-2708,04
6	0,00	588,37	318,23	588,37	327,59	-2380,45
7	0,00	588,37	318,23	588,37	297,13	-2083,32
8	0,00	588,37	318,23	588,37	269,50	-1813,82
9	0,00	588,37	318,23	588,37	244,44	-1569,38
10	0,00	588,37	318,23	588,37	221,71	-1347,68
11	0,00	588,37	318,23	588,37	201,09	-1146,58
12	0,00	588,37	318,23	588,37	182,39	-964,19
13	0,00	588,37	318,23	588,37	165,43	-798,76
14	0,00	588,37	318,23	588,37	150,05	-648,71
15	0,00	588,37	318,23	588,37	136,10	-512,61
16	0,00	588,37	318,23	588,37	123,44	-389,17
17	0,00	588,37	318,23	588,37	111,96	-277,21
18	0,00	588,37	318,23	588,37	101,55	-175,65
19	0,00	588,37	318,23	588,37	92,11	-83,54
20	0,00	588,37	318,23	588,37	83,54	0,00

La tasa interna de retorno es de 10,25%, tasa con la cual el valor actual neto es igual a cero en el tiempo de vida útil del proyecto. El valor del rendimiento del proyecto es bueno debido a que inicialmente se conceptuó no como negocio sino como valor agregado al servicio de las habitaciones.

7.2.3 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

La recuperación de la inversión está en relación directa al tiempo de vida útil del sistema, por lo cual se pretende alcanzar un beneficio apropiado a largo plazo como indica el gráfico 7.1.

Recuperación de la inversión

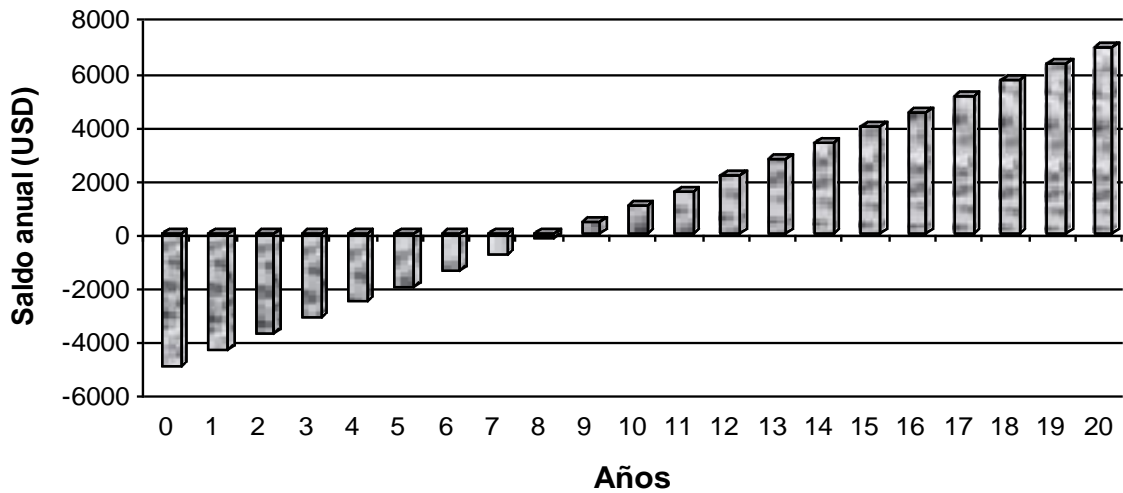


Gráfico 7.1 Recuperación de inversión

La recuperación total de la inversión del proyecto mencionado se prevé a los nueve años.

El análisis costo beneficio nos proporciona un valor muy alentador, debido a que este valor es un indicador de rendimiento del proyecto.

$$\text{Costo / Beneficio} = \frac{4924,12}{(4924,12 + 6843,21)}$$

$$\text{Costo / Beneficio} = 0,42$$

De acuerdo al índice encontrado podemos observar que el valor correspondiente al Beneficio supera el valor del costo, lo cual establece que el proyecto además de beneficios por servicio brindado también ofrece beneficios económicos.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. El diseñar y construir un sistema de agua caliente centralizado con recirculación ayuda a tener agua caliente en cualquier instante o momento de una forma eficiente y barata ya que el agua que se vuelve a calentar por recirculación necesita menor cantidad de energía para llegar a temperatura deseada lo que, además, hace que se economice combustible.
2. Se determinó que un sistema de calefones resulta mejor para el calentamiento de agua de consumo domestico en comparación con un caldero ya que éste por su consumo de combustible no puede ser económico, además su instalación y mantenimiento requiere de un mayor entrenamiento del personal técnico lo que encarece su uso.
3. El usar un caldero se justifica cuando vaya a ser instalado en un hospital o entidades similares en las que se requiere vapor de agua como elemento indispensable, comparado con un calefón, éste no logra producir en la cantidad y calidad requeridas.
4. Se determino que existen normas en el Ecuador como la NTE INEN 2124 que regulan la instalación de los artefactos que usan gas como elemento combustible, lo cual ayuda a tener mejor confiabilidad del equipo e instalación dando seguridad a los usuarios.
5. La implementación de un sistema de control automático ofrece comodidades al usuario, por la menor utilización de recurso humano para el funcionamiento del sistema instalado salvo inspecciones y mantenimiento necesarios para alargar la vida útil del equipo.

6. De acuerdo al consumo de combustible en los calefones se logró determinar que la tendencia de uso de GLP va en aumento acorde a los requerimientos de consumo en cada uno de los departamentos.
7. Para la instalación de sistemas centralizados de agua caliente es necesario disponer de instalaciones adecuadas para evitar posibles accidentes y mantener la integridad humana y material.
8. La correcta selección del tanque de almacenamiento, relacionado al material de construcción, ofrece disminución en costos del sistema.
9. Para los cálculos de aislamiento tanto del tanque como del sistema de tuberías se utilizó los 2 tipos de transferencia de calor (conducción y convección) no se la toma en cuenta a la radiación porque esta depende de la emisividad que es muy baja para los materiales aislantes.
10. De acuerdo al análisis económico-financiero es posible determinar que el rendimiento del proyecto es 10,25% anual. Este rendimiento es bueno debido a que este proyecto no se conceptuó como negocio sino como valor agregado al servicio de los departamentos en el edificio.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Esperamos que este estudio sea de ayuda para elaborar una norma que proporcione lineamientos para la producción de agua caliente para uso domestico.
2. Siempre que se realice instalaciones de aparatos para calentamiento de agua (calefones o calderos) referirse a las normas tanto nacionales como extranjeras existentes.
3. Seguir las recomendaciones dadas, en el desarrollo del proyecto, para la operación, mantenimiento y seguridad del sistema las cuales ayudan a alargar la vida de uso de todos sus equipos así como a tener de forma continua y constante agua caliente que es el objetivo propuesto.
4. Las tareas de inspección y mantenimiento deben realizar, exclusivamente, personal calificado.
5. En lo posible, se recomienda no usar tubería de hierro galvanizado para instalaciones domesticas ya que por ser mas corrosivas, por efecto de oxidación, afectarían a la salud de los usuarios.
6. Dependiendo de la cantidad de departamentos en uso, poner en funcionamiento los calefones que sean necesarios para satisfacer la demanda de agua caliente, el resto deben permanecer cerrados tanto la alimentación de agua como de gas.

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS

ANEXO B: DIAGRAMA DE OPERACIONES

ANEXO C: DIAGRAMA DE PROCESOS

**ANEXO D: NORMAS Y REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

ANEXO E: ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS
CATÁLOGOS

ANEXO F: MANUAL DE USUARIO

ANEXO G: FOTOGRAFÍAS

BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER, MAINAR, Instalaciones Hidrosanitarias; Fontanería y Saneamiento, 2da. edición, Madrid, Paraninfo, 1994, 346 p.
2. CARMONA, R. Diseño de Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas en edificios, 2da. ed. Santa Fe de Bogota, Ecoe ediciones, 1997, 450 p.
3. NILS, G. y ROSALES, R. Manual de diseño de Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Traducido del inglés por Claudio Gómez, 2da. ed. Madrid, McGraw Hill, v 710.
4. INCROPERA, F. y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor, Traducido del inglés por Ricardo Cruz, 4ta. ed México, Prentice Hall, 1999, 886 p.
5. CENGEL, Y y BOLES, M. Termodinámica. Traducido del inglés por Gabriel Nagore Cázares. 2da ed. México, McGraw Hill, v.866.
6. MOTT, R. Mecánica de Fluidos Aplicada. Traducido del inglés por Carlos Cordero. 4ta ed. México, Prentice Hall, 569 p.
7. LUZZADER, W. y DUFF, J. Fundamentos de Dibujo en Ingeniería. Traducido del inglés por Pilar Villela, 11va. ed. México, Prentice Hall, 1994, 726 p.
8. SPAG CHAIN, N y SPAG CHAIN, R. Preparación y Evaluación de Proyectos. 4ta ed. México, McGraw Hill, 430 p.

MATERIALES CONSULTADOS

1. CD. Pressure Vessel Handbook. Pressure Vessels Inc. 1997.
2. CD. ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1998.

TESIS

1. CAMPAÑA, H. y CAMPAÑA, M. Diseño y construcción de un sistema económico de producción de agua caliente para consumo masivo. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2001.

2. DUQUE, J. y VÁSQUEZ, P. Diseño e implementación de un sistema de aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua con colectores planos, calefones y control automático para el hotel real audiencia. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2004.

DIRECCIONES DE INTERNET

- www.diee.unican.es/pdf/007%20Calderas.pdf Partes principales de una caldera, Español, Marzo 2005.
- www.buderus.es Calderas de fundición y acero, Español, Noviembre 2006.
- www.splendid.cl/index.php Calefones de tipo mural de tiro natural y tiro forzado, Español, Agosto 2006.
- www.honeywellsp.com/hw_productos.htm Termostatos, Español, Febrero 2005.
- www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml Válvulas de control de caudal. Español, Enero 2005.
- www.mtas.es/insht/ntp Válvulas de control de presión, español, Abril 2006.
- www.monografias.com/.../valvus/valvus.shtml Válvulas de control de dirección, Español, Enero 2005.
- www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm Termocuplas, Español, Septiembre 2004.
- http://rolando.mimecanicapopular.com/imagenes/COMO_SOLDAR_COBRE_01.jpg Soldadura de tubería de cobre, Español, Abril 2005.
- <http://www.textoscientificos.com> Clasificación de los combustibles, español, Agosto 2004.
- <http://pdf.rincondelvago.com/combustion.html> Combustión y parámetros de la combustión, Español, Agosto 2004.
- <http://www.eere.energy.gov>, Sistemas Activos de Calentamiento, Inglés, Febrero 2004
- <http://www.petrocomercial.com> Comercializador del Estado de petróleo y derivados (precios), Español, Marzo 2007.