

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### DISEÑO DE LA INSTALACION DE SERVICIOS DE AGUA CALIENTE EN UN HOTEL \*\*\*\*\*

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,  
que presenta el bachiller:

**JOSE ABELARDO NOVOA PIEDRA**

**ASESOR: Enrique Barrantes Peña**

**Lima, octubre del 2015**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TÍTULO : **DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SERVICIOS DE AGUA CALIENTE EN UN HOTEL\*\*\*\*\***

ÁREA : Energía # 371

PROPUESTO POR : Ing. Enrique Barrantes Peña

ASESOR : Ing. Enrique Barrantes Peña

TESISTA : José Abelardo Novoa Piedra

CÓDIGO : 20095220

FECHA : 02 de Mayo de 2015



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Los hoteles suelen contar con sistemas de agua caliente y vapor, que son utilizados para diversos procesos como sauna, calefacción de piscina, dormitorios en el caso del vapor; lavandería y servicios higiénicos en el caso del agua caliente sanitaria.

El problema a resolver es la instalación del sistema de agua caliente de un hotel con temperaturas variables entre 35 y 50 grados Celsius, proporcionando el flujo de agua donde es requerida tanto en condiciones de temperatura como de caudal. Adicionalmente, la instalación debe considerar aspectos de confiabilidad, garantizando la seguridad de las personas y hacer uso eficiente de la energía empleada.

Por lo tanto, se propone el presente proyecto cuyo objetivo principal es la propuesta técnica del sistema de generación y distribución de agua caliente en un hotel de cinco estrellas.





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE SERVICIOS DE AGUA  
CALIENTE EN UN HOTEL\*\*\*\*\*

Introducción

1. Características generales del proyecto
2. Diseño del sistema
3. Presupuesto del proyecto

Conclusiones

Planos

Bibliografía

Anexos

*Máximo: 100 páginas*

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Enrique Barrantes Peña  
Asesor



## RESUMEN

El presente proyecto plantea el diseño de un sistema de agua caliente para un hotel, categoría cinco estrellas, ubicado en la ciudad de Lima. Dicho hotel posee trece pisos y dos sótanos, dentro de él hay ciento setenta y cuatro habitaciones simples, cinco habitaciones deluxe, doce suites senior, siete suite junior, cinco ariones, dos cocinas, cinco salas (lounge), seis servicios higiénicos independientes y cuatro vestidores. El objetivo es diseñar un sistema de producción y distribución de agua caliente sanitaria que cumpla con producir agua caliente a la temperatura y caudal requeridos en el hotel.

Para ello, en un primer capítulo se establecen las definiciones relacionadas con los sistemas de producción y distribución de agua caliente sanitaria, componentes y accesorios. En un segundo capítulo se presenta lo relacionado al diseño del sistema el cual comprende tres partes: hidráulico, térmico y mecánico. El diseño hidráulico incluye los cálculos de potencia de bombas y diámetro de tuberías, así como la selección de los mismos. El diseño térmico abarca el cálculo del equipo de producción de agua caliente y el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua caliente. El diseño mecánico incluye la selección del sistema de apoyos que garantizará que el sistema de distribución sea confiable, así como la verificación de las tuberías por resistencia. En un tercer capítulo se establece el presupuesto del proyecto que incluye costo de asesor y tesista, costo de equipos y accesorios, y costo de instalación. Finalmente, se obtienen los planos del sistema que muestran la distribución de los equipos y de las tuberías.

Como resultado se tiene una caldera de 200 HP que produce 1 l/s de agua a 50 °C, un tanque de almacenamiento de 5000 litros, tres bombas de 0.21, 4 y 0.13 HP que garantizan que el agua caliente llegue a 150 kPa a los puntos de consumo. Las tuberías del sistema de distribución son de cobre con diámetros de 1", 1 ¼", 2", 2 ½" y espesores de 0.89, 1.07, 1.47 y 2.03 mm, respectivamente. Finalmente el presupuesto del proyecto asciende a S/. 1, 362,739.05 que incluye costo de asesor y tesista, costo de equipos y materiales, y costo de instalación.

## DEDICATORIA



“Quiero dedicar este trabajo a mi madre, a mis abuelos y a mis amigos que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de la carrera”.

## INDICE

<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	1
<b><u>CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO</u></b> .....	3
<b>1.1. Características generales para uso de agua caliente</b> .....	3
1.1.1. Temperatura del agua caliente sanitaria .....	3
1.1.2. Caudal de agua caliente sanitaria .....	4
<b>1.2. Descripción del hotel</b> .....	5
<b>1.3. Equipo de producción de agua caliente sanitaria</b> .....	7
1.3.1. Calderas .....	7
1.3.2. Características que definen una caldera .....	10
1.3.3. Accesorios de las calderas .....	11
1.3.4. Controles de las calderas .....	12
1.3.5. Requerimientos del tanque de almacenamiento .....	13
<b>1.4. Redes de distribución de agua caliente</b> .....	15
1.4.1. Descripción .....	15
1.4.2. Tuberías .....	16
1.4.3. Recomendaciones .....	18
<b>1.5. Tipos de sistemas</b> .....	19
1.5.1. Instalaciones individuales de preparación instantánea .....	20
1.5.2. Instalaciones individuales con acumulación .....	23
1.5.3. Instalaciones colectivas .....	26
<b>1.6. Selección del tipo de sistema</b> .....	28
<b><u>CAPITULO 2. DISEÑO DEL SISTEMA</u></b> .....	32
<b>2.1. Parámetros de diseño</b> .....	32
2.1.1. Dotación de agua caliente .....	32
2.1.2. Temperatura del agua al ingreso y salida .....	34
2.1.3. Presión del agua caliente .....	34
<b>2.2. Diseño del sistema</b> .....	35
2.2.1 Diseño térmico .....	35
2.2.1.1. Tanque de almacenamiento .....	35
2.2.1.2. Equipo de producción de agua caliente .....	36
2.2.1.3. Aislante térmico .....	38
2.2.2. Diseño hidráulico .....	39
2.2.2.1. Material de tuberías .....	39

2.2.2.2. Diámetro de tuberías.....	42
2.2.2.3. Cálculo potencia de las bombas.....	48
2.2.2.4. Vaso de expansión.....	54
2.2.3. Diseño mecánico.....	56
2.2.3.1. Espesor de tubería.....	56
2.2.3.2. Sistema de apoyos.....	57
2.2.3.3. Efecto de la presión hidrostática y la temperatura.....	59
2.2.3.4. Flexibilidad y carga sísmica.....	61
<b>2.3. Selección de equipos.....</b>	<b>62</b>
2.3.1. Equipos hidráulicos.....	62
2.3.1.1. Bombas.....	62
2.3.1.2. Tuberías y accesorios.....	65
2.3.1.3. Válvulas.....	68
2.3.1.4. Vaso de expansión.....	71
2.3.2. Equipos térmicos.....	73
2.3.2.1. Caldera.....	73
2.3.2.2. Tanque de almacenamiento.....	77
2.3.2.3. Aislante.....	78
2.3.3. Sistema de apoyos de tuberías.....	80
<b><u>CAPITULO 3. PRESUPUESTO DEL PROYECTO</u>.....</b>	<b>84</b>
<b>3.1. Costo de asesor y tesista.....</b>	<b>84</b>
<b>3.2. Costo de equipos y accesorios.....</b>	<b>85</b>
<b>3.3. Costo de instalación.....</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>LISTADO DE PLANOS.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>

**LISTA DE SIMBOLOS**

Símbolo	Descripción	Unidad
$A_t$	Área de sección transversal de tubería	$m^2$
$A$	espesor de corrosión	mm
$B'$	Coefficiente de distribución de relleno	
$C$	Altura de relleno sobre tubería	m
$CP$	Capacidad de producción	kg/s
$CPH$	Capacidad de producción horaria	l/h
$D$	Diámetro de tubería	mm
$DD$	Dotación diaria	l
$df$	Deflexión	mm
$D_i$	Factor de retraso	
$DU$	Dotación unitaria	l/dormitorio
$E$	Módulo de elasticidad	MPa
$E'$	Módulo de reacción del suelo	MPa
$EI$	Rigidez equivalente	N.mm
$f$	Factor de fricción	
$F_d$	coeficiente de dilatación del agua	
$FS$	Factor de seguridad	
$g$	Aceleración de la gravedad	$m/s^2$
$h$	Altura de superficie del suelo sobre la tubería	m
$H$	Altura relleno sobre tubería	m
$h_{fr}$	Altura de pérdidas de fricción	m
$H_{man}$	Altura manométrica de la bomba	m
$h_r$	Altura del pano de asentamiento	m
$h_s, h_i$	Entalpías específicas	kJ/kg
$I$	Momento de inercia	$mm^4$
$K$	Coefficiente de pérdida en accesorios	
$L$	Longitud de la tubería	m
$PB$	Potencia de la bomba	W

Símbolo	Descripción	Unidad
P	Presión	kPa
$P_2, P_1$	Presión inicial y final de bombeo	Pa
$P_v$	Carga del suelo	kPa
q	Potencia Calorífica	W
Q	Caudal	m <sup>3</sup> /s
R	Radio de tubería	mm
$R_w$	Factor de empuje de agua	
S	Esfuerzo de fluencia	MPa
$S_A$	Esfuerzo admisible a flexión	MPa
$S_E$	Esfuerzo admisible a presión interna	MPa
T	Temperatura	°C
t	espesor de tubería	mm
V	Velocidad del agua	m/s
VA	Volumen de almacenamiento	l
w	Peso total distribuido	N/mm
$z_2, z_1$	Cotas de punto final e inicial de bombeo	m
$\alpha$	Coefficiente de dilatación térmica	°C <sup>-1</sup>
$\gamma$	Peso específico	kN/m <sup>3</sup>
$\delta$	Razón de asentamiento	
$\Delta T$	Variación de temperatura	°C
$\Delta V$	Cambio de volumen de agua en expansión	l
$\Delta y/D$	Ovalidad	
$\eta$	Razón de proyección	
$\mu$	coeficiente de rozamiento	
$\rho$	Densidad del agua	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_1$	Esfuerzo circunferencial	MPa
$\sigma_2$	Esfuerzo longitudinal	MPa
$\sigma_{temp}$	Esfuerzo térmico	MPa

### LISTA DE SIGLAS

Sigla	Descripción
ACS	Agua Caliente Sanitaria
ANSI	American National Standards Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration, and Air - Conditioning Engineers
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials



## INDICE DE TABLAS

Número	Descripción	Página
1.1	Temperatura de uso de ACS	4
1.2	Consumo de ACS	4
1.3	Lista de habitaciones por piso	5
1.4	Puntos de consumo por piso	6
1.5	Total de puntos de consumo de ACS	7
1.6	Dotación de ACS por tipo de edificación	13
1.7	Capacidad de equipo de producción	14
1.8	Velocidad máxima en tuberías	17
1.9	Tabla comparativa sistemas a usar	30
2.1	Temperatura entrada y salida del agua	34
2.2	Presiones del agua en el sistema	35
2.3	Espesor de aislante para tuberías en mm	38
2.4	Propiedades mecánicas del cobre	39
2.5	Presión de uniones en tuberías de cobre	40
2.6	Propiedades geométricas tuberías de cobre según ASTM B88	41
2.7	Normas para accesorios tuberías	42
2.8	Resultados diámetro tubería equipo de producción de agua caliente	43
2.9	Caudal de agua caliente por piso	44
2.10	Resultados diámetro tubería piso 12	44
2.11	Resultados diámetro de tubería de todos los pisos	45
2.12	Resultados diámetro tubería por punto de consumo	45
2.13	Caudal de distribución principal	46
2.14	Resultado diámetro tubería de distribución principal	46
2.15	Resultado diámetro tubería sistema de retorno	47
2.16	Factor K para accesorios con unión atornillada	50
2.17	Factor K para accesorios con unión soldada	51
2.18	Propiedades del agua a 15°C	52
2.19	Cálculo de altura de pérdidas por fricción	52
2.20	Altura de pérdidas en accesorios	53

Número	Descripción	Página
2.21	Altura manométrica y potencia en la bomba de alimentación	53
2.22	Altura manométrica y potencia en las bombas	54
2.23	Coeficiente dilatación del agua	54
2.24	Volumen de vaso de expansión	56
2.25	Espesor de tuberías	57
2.26	Longitud entre apoyos y número de apoyos	58
2.27	Verificación de las tuberías por resistencia	61
2.28	Tamaño de tuberías disponibles	66
2.29	Accesorios disponibles según el diámetro nominal	66
2.30	Tuberías seleccionadas por tramo	67
2.31	Tabla comparativa calderas	73
2.32	Espesor de aislante por tuberías	78
2.33	Distribución de aislante por piso	80
3.1	Costo de asesor y tesista	85
3.2	Costo detallado de equipos y accesorios necesarios	86
3.3	Costo total de equipos y accesorios	87
3.4	Costo instalación	88
3.5	Costo total del proyecto	88

## INDICE DE FIGURAS

Número	Descripción	Página
1.1	Partes de una caldera	8
1.2	Sistema de distribución de agua caliente	15
1.3	Calentador directo a gas	22
1.4	Termo-eléctrico	24
1.5	Termoacumulador de gas calentamiento directo	25
1.6	Termoacumulador	27
1.7	Intercambiador-acumulador	28
2.1	Esquema equipo de producción de ACS	37
2.2	Caudal del sistema de retorno en hoteles	47
2.3	Diagrama de Moody	50
2.4	Esquema de distribución de agua	51
2.5	Esfuerzo circunferencial	59
2.6	Esfuerzo longitudinal	59
2.7	Curva electrobomba centrífuga	63
2.8	Tabla de selección equipo hidroneumático	65
2.9	Válvula de globo	68
2.10	Válvula de alivio o seguridad	69
2.11	Válvula check-antiretorno	70
2.12	Válvula reguladora de presión y temperatura	70
2.13	Dimensiones vaso de expansión VASOFLEX 140	72
2.14	Componentes vaso de expansión VASOFLEX	72
2.15	Caldera Scotch Marine Design Series 200	74
2.16	Tanque de purga	76
2.17	Tanque de almacenamiento de agua caliente	78
2.18	Aislante tubular flexible	79
2.19	Abrazaderas anti-vibratorias	81

## INTRODUCCION

Los hoteles cumplen un rol importante dentro de la economía de la localidad, pues gracias a ellos se incentiva el turismo en la zona. Por ello es necesario proveer una infraestructura hotelera que satisfaga las necesidades de los turistas, tanto nacionales e internacionales, brindándoles las condiciones que garanticen un grado de confort adecuado y con esto aumentar la actividad turística en la zona.

Dentro de los servicios importantes brindados en un hotel se encuentra el de agua caliente ya sea para uso sanitario o en sistemas de calefacción. Los hoteles suelen contar con sistemas de agua caliente y vapor, que son utilizados para diversos procesos como sauna, calefacción de la piscina, dormitorios en el caso del vapor; lavandería y servicios higiénicos en el caso del agua caliente. Además, este servicio ayuda a que el hotel tenga una buena clasificación según el grado de confort ofrecido en la industria hotelera.

La presente tesis plantea la instalación del sistema de producción y distribución de agua caliente sanitaria en un hotel con temperaturas variables entre 35 y 50 grados Celsius. El objetivo general es realizar la propuesta técnica del sistema de generación y distribución de agua caliente en un hotel cinco estrellas, eligiendo los componentes del mismo y realizando el presupuesto del proyecto.

El primer objetivo específico es realizar la ingeniería del sistema de agua caliente, la cual es utilizada en distintos procesos como cocción, lavandería, sauna, calefacción de piscina y uso sanitario.

El segundo objetivo específico es realizar el diseño del sistema, el cual comprende cálculos hidráulicos, térmicos y mecánicos, y con ayuda de los cálculos seleccionar los componentes del sistema que satisfagan los requerimientos de agua caliente del hotel.

El tercer objetivo específico es establecer el presupuesto del sistema con listado de componentes necesarios. Se buscará que los costos de instalación, operación y mantenimiento sean mínimos, y que los componentes seleccionados usen de manera eficiente la energía.

EL cuarto objetivo específico es realizar la ingeniería de detalle del sistema, la cual incluye los planos del sistema de distribución agua caliente; así como los planos de distribución de equipos y de detalles.

Para cumplir con los objetivos, primero se establecen definiciones relacionadas con los sistemas de generación y distribución de agua caliente, componentes y accesorios. Además se mencionan las normas a considerar en el diseño, así como los principios físicos y las consideraciones usadas en el diseño.

Posteriormente, se procede a realizar la ingeniería del proyecto. Para ello se comienza definiendo condiciones de diseño (temperatura exterior, temperatura interior, confort de las personas, etc); así como los conceptos y fórmulas de termodinámica, transferencia de calor y mecánica de fluidos que serán utilizados para justificar la elección de componentes.

Después se realizan los cálculos justificativos para la selección de componentes, los cuales se realizarán de acuerdo a los conocimientos de ingeniería o con ayuda de normas ya establecidas como los Handbook del ASHRAE.

Luego se seleccionarán los componentes y equipos del sistema de acuerdo a las cargas térmicas calculadas y a los parámetros que fueron obtenidos de los cálculos. Después de realizar la ingeniería del proyecto se realizará un presupuesto del sistema diseñado. Esto se obtiene realizando un metrado de los componentes a utilizar y aproximando los costos de los equipos que se necesitarán en el sistema.

Completado esto, se realizará la ingeniería de detalles que consiste en dibujar los planos del sistema: planos de distribución de agua caliente, de ensamble y de partes principales. Finalmente se formulan las conclusiones del proyecto, estableciendo los datos y especificaciones técnicas del sistema diseñado.

## CAPÍTULO 1

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

#### 1.1. Características generales para uso de agua caliente

El uso de agua caliente ya sea para aseo personal o limpieza de utensilios o locales implica una demanda considerable a temperaturas variables entre 35°C y 50°C. La elevación en el nivel de vida ha hecho que el uso de agua caliente sanitaria cumpla un papel importante dentro de los servicios brindados por los hoteles, actualmente todos los hoteles cuentan con un sistema de producción de agua caliente sanitaria (ACS).

El objetivo principal de un sistema de producción de ACS es que en todos los puntos de consumo se disponga del caudal necesario de agua a la temperatura necesaria. También se debe considerar el aspecto económico, es decir costo mínimo de preparación, de operación, de mantenimiento y reducir las pérdidas de agua.

##### 1.1.1. Temperatura del agua caliente sanitaria

La temperatura del agua en la entrada del sistema de preparación de ACS es variable, dependiendo de las condiciones climáticas exteriores de la localidad, estación del año y del trazado de la red de suministro. Un valor que se puede considerar está entre 5°C y 15°C, según la zona donde se encuentre el sistema.

La temperatura de uso del agua caliente depende de la aplicación que tendrá la misma (ver tabla 1.1), pero se puede considerar una temperatura de salida que esté entre 40°C y 50°C. Para los puntos de consumo que requieran temperaturas más elevadas se debe instalar un sistema de post-calentamiento.

Tabla 1.1. Temperatura de uso del ACS (Ref. 1)

Aplicación	Temperatura de uso (°C)
Lavatorio	35 a 40
Bidet	35 a 40
Ducha	37 a 42
Bañera	37 a 42
Cocina o lavandería	45 a 65

#### 1.1.2. Caudal de agua caliente sanitaria

El caudal requerido de agua caliente depende del punto de consumo que la requiere y el uso que se le dará a la misma. En la tabla 1.2 se muestran los valores de caudal mínimo en distintos usos del ACS.

Tabla 1.2. Consumo de ACS (Ref. 1)

Utilización	Caudal mínimo (l/s)	Duración(s)
Lavatorio	0.1	100
Bidet	0.1	100
Ducha	0.15	300
Bañera:		
Pequeña (hasta 150 litros)	0.3	400
Mediana (hasta 200 litros)	0.3	530
Grande (hasta 250 litros)	0.3	730
Fregadero	0.2	100

Para el cálculo de las instalaciones de preparación de agua caliente, debe distinguirse entre los caudales mínimos que deben estar disponibles en los puntos de consumo (usados para dimensionar la grifería y las correspondientes derivaciones) y los caudales demandados al sistema de preparación (usados en el dimensionamiento de la red de

distribución y determinar la potencia térmica requerida). Se considera para el diseño que el caudal requerido es la suma de los caudales mínimos solicitados por los puntos de consumo, pues es evidente que no todos los puntos de consumo son utilizados al mismo tiempo.

## 1.2. Descripción del hotel

Los hoteles normalmente cuentan con habitaciones simples, contiguas unas a otras, con baños independientes; además, dependiendo de la categoría que posean pueden tener habitaciones dobles o suites. El hotel donde se desarrolla el proyecto está ubicado en la ciudad de Lima y es categoría 5 estrellas. Posee trece pisos donde encontramos diferentes tipos de habitaciones cada una con baños independientes, además podemos ubicar la cocina y los vestidores en los pisos 1, 2 y en el sótano. En la tabla 1.3 se muestra la lista de habitaciones donde se demanda un caudal de agua caliente, la lista está ordenada por pisos.

Tabla 1.3. Lista de habitaciones por piso

Piso	Espacio	Cantidad
Piso 12	Habitación	13
	Hab deluxe	1
	Suite senior	1
	Cocina	1
	Sala, lounge	1
Piso 9, 10, 11, 13	Habitación	64
	Hab deluxe	4
	Suite senior	4
	Sala, lounge	4
Piso 5, 6, 7, 8	Habitación	68
	Suite junior	4
	Suite senior	4
Piso 4	Habitación	17
	Suite junior	1
	Suite senior	1
Piso 3	Habitación	1
	Suite junior	1
	Suite senior	1
	Arión	5
	SSH	2

Elaboración propia

Tabla 1.3. Lista de habitaciones por piso (continuación)

Piso 2	Habitación	11
	Suite junior	1
	Suite senior	1
	SSHH	2
	Camerines	2
	Sauna	1
Piso 1	Cocina	1
	SSHH	2
Sótano	Vestidores	2

Elaboración propia

Cada una de las habitaciones del hotel cuenta con baños independientes, el tamaño y la cantidad de elementos sanitarios que se encuentra en cada habitación depende del tipo y tamaño de la misma. A excepción de la cocina donde solo se encuentran fregaderos. En la tabla 1.4 se encuentra la relación de puntos de consumo por piso en el hotel donde se requiere agua caliente sanitaria, los cuales son lavatorios, duchas bidets o jacuzzis.

Tabla 1.4. Puntos de consumo por piso

Ubicación	Descripción	Cantidad	Ubicación	Descripción	Cantidad	Ubicación	Descripción	Cantidad	
Sótano			Suite junior	Duchas	1	Suite junior	Duchas	4	
Vestidores	Lavatorios	20		Lavatorios	2		Lavatorios	8	
	Duchas	12		Bidet	1		Bidet	4	
Piso 1			Suite senior	Jacuzzi	1	Suite senior	Jacuzzi	4	
Cocina	Lavatorios	3		Lavatorios	2		Lavatorios	8	
SSHH	Lavatorios	12		Bidet	1		Bidet	4	
Piso 2			Arión	Duchas	10	Piso 9, 10, 11, 12			
Habitación	Duchas	11		Lavatorios	10	Habitación	Duchas	64	
	Lavatorios	11		Bidet	5		Lavatorios	64	
	Bidet	11	SSHH	Lavatorios	4		Bidet	64	
Suite junior	Duchas	1	Piso 4			Hab deluxe	Jacuzzi	4	
	Lavatorios	2	Habitación	Duchas	17		Lavatorios	8	
	Bidet	1		Lavatorios	17		Bidet	4	
Suite senior	Jacuzzi	1		Suite junior	Bidet	17	Suite senior	Jacuzzi	4
	Lavatorios	2	Duchas		1	Lavatorios		8	
	Bidet	1	Lavatorios		2	Bidet		4	
SSHH	Lavatorios	4	Suite senior	Bidet	1	Sala, lounge	Lavatorios	4	
Camerines	Lavatorios	2		Suite senior	Jacuzzi	1	Piso 13		
	Duchas	4			Lavatorios	2	Habitación	Duchas	13
	Sauna	2	Bidet		1	Lavatorios		13	
Piso 3			Piso 5, 6, 7, 8			Habitación	Bidet	13	
Habitación	Duchas	1	Habitación	Duchas	68		Hab deluxe	Jacuzzi	1
	Lavatorios	1		Lavatorios	68			Lavatorios	2
	Bidet	1		Bidet	68	Bidet		1	

Elaboración propia

Para el diseño del sistema de agua caliente se considerará el caso en el cual todos los puntos de consumo estén funcionando, lo cual es un caso ficticio y ayudará a garantizar que la demanda de agua caliente sea satisfecha de manera confiable. En la tabla 1.5 se muestra la cantidad total de elementos que demandan agua caliente sanitaria.

Tabla 1.5. Total de puntos de consumo de ACS

Descripción	Cantidad
Duchas	207
Lavatorios	283
Bidet	203
Jacuzzi	19

Elaboración propia

### 1.3. Equipo de producción de agua caliente sanitaria

#### 1.3.1. Calderas

Son equipos térmicos de transferencia de calor, que permitirán el aprovechamiento del mismo, transfiriéndolo desde la fuente energética hacia un fluido que generalmente se encuentra en estado líquido. Este fluido es denominado fluido caloportador, el cual es posteriormente distribuido según sea demandado.

Las partes principales de una caldera, como se observa en la figura 1.1, son, Ref. 4:

- La cámara de combustión u hogar, que es donde se produce la combustión
- El quemador, que es un dispositivo para quemar el combustible y producir calor mediante, por ejemplo, una llama.
- El cambiador de calor, que permite el intercambio de calor entre el agua y el gas caliente producto de la combustión.
- Los controles, que son dispositivos que permiten controlar el correcto funcionamiento de la caldera durante su operación.
- La envolvente, que es la carcasa de la caldera donde se alojan todos los componentes.

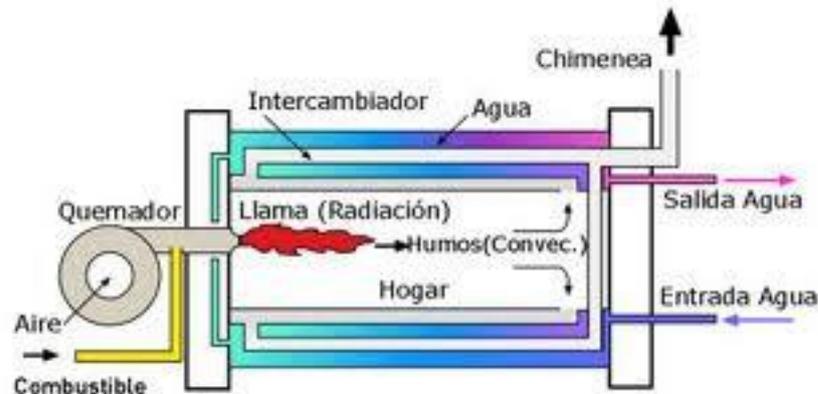


Figura 1.1. Partes de una caldera (Ref. 4)

Las calderas pueden clasificarse de distintas maneras dentro de las cuales encontramos:

- a) Según la fuente energética
  - Calderas eléctricas
  - Calderas de combustibles sólidos
  - Calderas de combustibles líquidos
  - Calderas de combustibles gaseosos
- b) En función del fluido caloportador
  - Calderas de vapor
  - Calderas de agua caliente
  - Calderas de agua sobrecalentada
  - Calderas de aceites térmicos
- c) En función de la presión de funcionamiento
  - Calderas de alta presión
  - Calderas de media presión
  - Calderas de baja presión
- d) En función del material
  - Calderas de fundición
  - Calderas de chapa de acero

- Calderas de otros materiales
  
- e) Según el principio de diseño
  - Acuotubulares
  - Piro tubulares

Las calderas piro tubulares son aquellas en las que los productos de la combustión circulan por el interior de los tubos y el fluido caloportador circula por el exterior de los mismos. Normalmente constan de un depósito cilíndrico de suficiente tamaño para alojar la llama producida en la combustión y uno o dos pasos de tubos. La presión máxima de trabajo es de 2000 kPa con un rendimiento promedio de 87%. La potencia térmica en estas calderas varía entre 20 000 y 10 000 000 kcal/h, por lo que son muy usadas en la producción de calor.

En las calderas acuotubulares el fluido caloportador circula por el interior de los tubos, estando inmersos estos en los gases o llamas producidas por la combustión. Están constituidas por un gran hogar o zona de radiación y puede tener uno o dos pasos para los gases. La presión del equipo puede alcanzar los 10 000 kPa con potencias térmicas a partir de 10 000 000 kcal/h, a menores potencias el rendimiento es bajo. Debido a esto es que este tipo de calderas no son usadas mucho en edificaciones.

#### *Especificaciones de presión y temperatura*

Según la Sociedad Americana de Ingenieros mecánicos (ASME) los límites permisibles de presión y temperatura en las calderas durante su operación son:

- Para calderas de agua caliente, presión máxima de trabajo 160 psi y temperatura máxima 250°F.
- Para calderas de vapor, presión máxima de trabajo 15 psi y temperatura máxima 250°F.

Para temperaturas y presiones mayores se utiliza el código *ASME para calderas de potencia*. Las calderas de potencia son las que producen vapor que es utilizado para la generación de energía eléctrica.

### *Materiales de construcción*

Las calderas de hierro fundido o de fundición tienen un intercambiador de calor terminado en secciones huecas de hierro fundido. El agua pasa por el interior y los gases de combustión por el exterior. La ventaja del uso de este tipo de calderas es que cuando son demasiado grandes se pueden embalar por partes y armar en el lugar de trabajo; permitiendo capacidades muy amplias de hasta 10 millones de BTU/h.

Las calderas de acero tienen un intercambiador de calor que consiste en tubos de acero dispuestos en haz. El agua caliente puede pasar dentro o por fuera de los tubos.

#### 1.3.2. Características que definen una caldera

En el momento de elegir una caldera existen algunas características que deben tenerse en cuenta para definir el tipo de caldera a utilizar según los requerimientos de diseño. Dentro de estas características encontramos, Ref. 3:

##### a) Potencia térmica

Dentro de este término se distinguen dos valores distintos, la potencia térmica nominal que es la energía máxima que puede ser entregada por el quemador al fluido y la potencia térmica útil que es la máxima energía que puede absorber el fluido caloportador por unidad de tiempo.

La diferencia entre estos valores se debe a las pérdidas de energía ya sea por disipación al ambiente a través de las paredes o la energía que se llevan los gases de combustión. Al dividir la potencia térmica útil entre la nominal se obtiene el rendimiento de la caldera.

##### b) Superficie de calefacción

Se denomina así a la superficie de intercambio de calor en contacto con el fluido caloportador; distinguiéndose entre la superficie de radiación a la zona en contacto con la llama y la superficie de convección a la que se encuentra en contacto con los gases de la combustión.

### c) Presión

Este es un parámetro muy importante al momento de seleccionar una caldera. Se distinguen tres tipos:

- Presión de diseño, la utilizada como base de cálculo de acuerdo a la resistencia de los elementos constituyentes de la caldera.
- Presión de servicio, presión máxima a la que será sometida la caldera cuando esté en funcionamiento.
- Presión de timbre, presión a la que una vez fabricada será sometida la caldera para comprobar su estanqueidad. Normalmente la presión de prueba es 1.5 veces la de timbre.

### d) Temperatura

Es otro parámetro importante en la selección de las calderas, se distinguen:

- Temperatura de diseño, es la fijada como base para los cálculos de diseño pues la resistencia de los materiales varía con la temperatura.
- Temperatura de servicio, es a la que estará sometida la caldera una vez conectada en el sistema.

#### 1.3.3. Accesorios de la calderas

Las calderas necesitan de ciertos accesorios para garantizar que su funcionamiento, mantenimiento y seguridad sean correctos, Ref. 3.

##### *Accesorios necesarios para una caldera de vapor*

- Cortavapor de bajo nivel: detecta si el nivel de agua en estado líquido dentro de la caldera se encuentra debajo de los límites de seguridad. De darse el caso detiene el funcionamiento del quemador.
- Indicador del nivel de agua: permite que el operario visualice el nivel de agua dentro de la caldera.
- Manómetro y termómetro, se ubican cerca de la salida del vapor para que el operario verifique el correcto funcionamiento de la caldera.

#### *Accesorios necesarios para una caldera de agua caliente*

- Tubo de inmersión: es un tramo del tubo de salida que se prolonga bajo el nivel de agua evitando que permanezca aire en la parte superior de la caldera.
- El tanque de expansión: proporciona espacio para la expansión del agua cuando se caliente.
- La válvula de retención de flujo (check): se cierra cuando la bomba se detiene evitando que el agua caliente fluya generando pérdidas de energía.
- La conexión de agua de repuesto: proporciona el agua necesaria para el llenado del sistema y la reposición de las pérdidas de agua.
- La válvula reductora de presión: evita que la fuente de suministro de agua ejerza demasiada presión sobre la caldera.
- Los dispositivos de control de aire que desvían el aire del sistema hacia el tanque de expansión.

#### *Accesorios comunes a una caldera de agua caliente y de vapor*

- Válvula de seguridad: se abre si la presión de la caldera es excesiva. El código ASME especifica qué válvulas usar para cada aplicación de las calderas.
- Aislamiento térmico para reducir las pérdidas de calor entre la caldera y el medio ambiente.
- Precalentador: se utiliza para calentar los combustibles pesados hasta una temperatura en la que fluyan con facilidad.

#### 1.3.4. Controles de las calderas

Estos controles son de dos tipos: controles de operación y controles de seguridad.

##### *Controles de operación*

Estos controles regulan la operación del quemador durante el funcionamiento normal. En calderas pequeñas se utiliza un termóstato para iniciar y detener el funcionamiento del quemador. En calderas grandes se utiliza un controlador de presión para calderas de vapor y un controlador de temperatura para calderas de agua caliente.

### Controles de seguridad

Estos controles evitan situaciones inseguras y deben verificar las siguientes condiciones:

- Alta presión de vapor o alta temperatura del agua caliente en calderas de vapor o agua caliente, respectivamente.
- Alta o baja presión del combustible.
- Alta o baja temperatura del combustible.
- Bajo nivel del agua.
- Falla de flama.

#### 1.3.5. Requerimientos del tanque de almacenamiento

Las instalaciones de preparación de agua caliente en una edificación deberán satisfacer las necesidades de consumo y seguridad contra accidentes. El equipo de producción de agua caliente deberá ubicarse en un espacio independiente y seguro. El tamaño del equipo depende del tipo de edificación donde será instalado; en la tabla 1.6 se muestra la dotación requerida por cada tipo de edificación según el Reglamento Nacional de Edificaciones (Ref. 1).

Tabla 1.6. Dotación de ACS por tipo de edificación (Ref. 1)

Aplicación	Dotación diaria
Residencia familiar con 1 dormitorio	120 litros
Residencia familiar con 2 dormitorios	240 litros
Residencia familiar con 3 dormitorios	390 litros
Residencia familiar con 4 dormitorios	420 litros
Residencia familiar con 5 dormitorios	450 litros
Hoteles, apart-hoteles, hostales	150L por dormitorio
Albergues	100L por m <sup>2</sup>
Restaurantes con menos de 40m <sup>2</sup>	900L
Restaurantes con menos de 100m <sup>2</sup>	15L por m <sup>2</sup>
Restaurantes con más de 100m <sup>2</sup>	12L por m <sup>2</sup>
Locales estudiantiles	50L por persona
Gimnasio	10L por m <sup>2</sup>

Para el cálculo de la capacidad del equipo de producción de agua caliente, así como para el cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento, se utilizarán las relaciones que se muestran en la tabla 1.7 las cuales dependen de la dotación diaria del edificio en litros.

Tabla 1.7. Capacidad de equipo de producción (Ref. 1)

Tipo de edificio	Capacidad del tanque de almacenamiento	Capacidad horaria del equipo de producción de ACS
Residencia Familiar	1/5	1/7
Hoteles, apart-hoteles, albergues	1/7	1/10
Restaurantes	1/5	1/10
Gimnasios	2/5	1/7
Hospitales y clínicas	2/5	1/6

El Reglamento Nacional de Edificaciones (Ref. 1) da recomendaciones en lo que respecta a la seguridad del sistema de producción de agua caliente:

- Deben instalarse dispositivos destinados a controlar el exceso de presión en los sistemas de producción de agua caliente. Estos se ubicarán en el equipo de producción o en las tuberías de agua caliente o fría, y deberán estar regulados para operar a un 10% más de la presión requerida para el correcto funcionamiento del sistema.
- Debe instalarse una válvula de retención en la tubería de abastecimiento de agua fría. Esta válvula no podrá colocarse entre el equipo de producción de agua caliente y el equipo para controlar el exceso de presión.
- Deben instalarse dispositivos para controlar el exceso de temperatura en el equipo de producción de agua caliente.
- Los escapes de vapor o agua caliente, provenientes de los dispositivos de seguridad y control, deberán conectarse de manera indirecta al sistema de drenaje, ubicándose en sitios específicos evitando que causen accidentes.
- El sistema debe contar con válvulas de interrupción en los siguientes puntos:
  - o Inmediatamente después del calentador.

- Ingreso de agua fría y salida de agua caliente.
- En cada punto de consumo (servicio sanitario).

#### 1.4. Redes de distribución de agua caliente

##### 1.4.1. Descripción

Los sistemas de distribución de agua caliente se encargan de transportar el agua caliente hacia los lugares donde es necesaria. Los componentes que conforman un sistema de distribución de agua caliente, como se muestra en la figura 1.2, son, Ref. 5:

- Reservorio de agua fría.
- Acumulador.
- Red de suministro.
- Elementos terminales.
- Circuito de retorno.

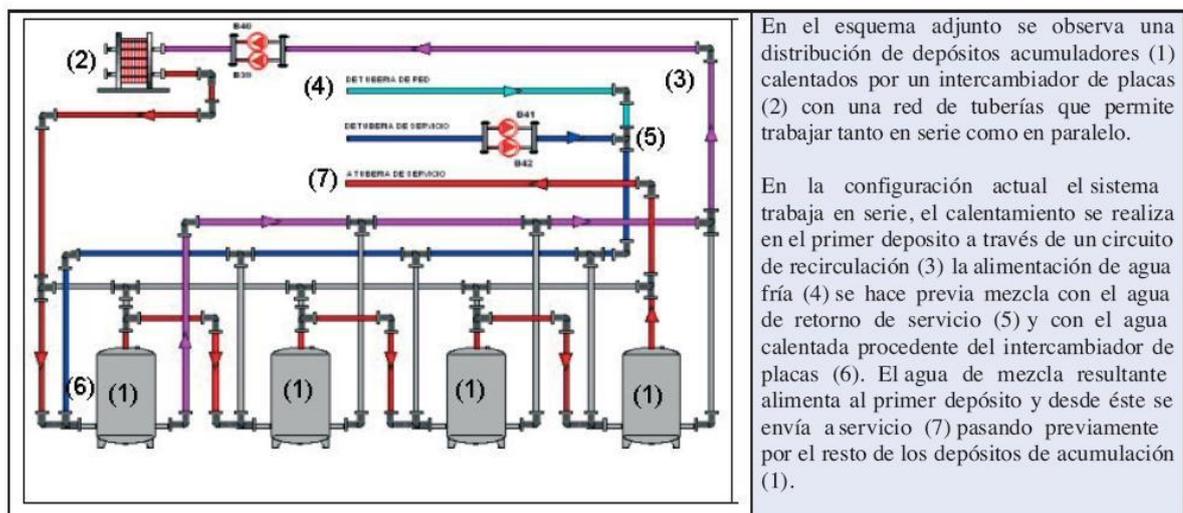


Figura 1.2. Sistema de distribución de agua caliente (Ref. 5)

### *Reservorio de agua fría*

Depósito de donde se extrae el agua fría que será calentada en la caldera. También puede considerarse que la caldera tomará el agua directamente del sistema de abastecimiento de agua potable.

### *Acumulador*

Es el componente destinado a elevar la temperatura del agua fría hasta la temperatura solicitada. Incluye una bomba para poder llevar el agua caliente hacia los lugares donde es necesaria.

### *Red de suministro*

Conjunto de tuberías que transportan el agua caliente hasta los elementos terminales.

### *Elementos terminales*

Caños, duchas que permiten el uso del agua caliente para los distintos fines que fue solicitada.

### *Circuito de retorno*

Red de tuberías que transportan el agua de vuelta hacia el acumulador. Su objetivo es mantener un nivel aceptable de temperatura del agua caliente en toda la red del suministro.

## 1.4.2. Tuberías

Para el cálculo de tuberías se seguirá el método recomendado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (Ref. 1). Los diámetros de las tuberías de distribución se calcularán con el método Hunter (Método de Gastos Probables), a excepción de aquellos lugares donde se demande uso simultáneo, que se determinará por el método de consumo por aparato sanitario. Para dispositivos, aparatos o equipos especiales se seguirá la recomendación de los fabricantes. Se puede utilizar otros métodos para calcular tuberías de distribución siempre que estén correctamente fundamentados.

La presión estática máxima no debe ser mayor a 50 m de columna de agua (0.490 MPa). La presión mínima de salida de los aparatos sanitarios será de 2 m de columna de agua (20 kPa), salvo aquellos equipados con válvulas semiautomáticas, automáticas o equipos especiales en los que la presión estará dada por las recomendaciones de los fabricantes.

Las tuberías de distribución de agua para consumo humano enterradas deben estar alejadas de las tuberías de desagüe, esta distancia no debe ser menor a 0.50 m en medida horizontal, no menos de 0.15 m por encima del desagüe. Cuando las tuberías de agua para consumo humano cruzan redes de aguas residuales, deberán colocarse siempre por encima de estas y a una distancia vertical no menor de 0.15 m.

Para el cálculo del diámetro de tuberías de distribución la velocidad mínima será de 0.60 m/s y la velocidad máxima según la tabla 1.8.

Tabla 1.8. Velocidad máxima en tuberías (Ref. 1).

Diámetro (mm)	Velocidad máxima (m/s)
15 (1/2")	1.9
20 (3/4")	2.2
25 (1")	2.48
32 (1 1/4")	2.85
40 y mayores (1 1/2")	3

Las tuberías verticales se deben colocar en ductos o espacios especialmente previstos para tal fin cuyas dimensiones y accesos deberán ser tales que permitan su instalación, revisión, reparación, remoción y mantenimiento. Se puede utilizar un mismo ducto para ubicar tuberías de agua caliente y agua fría siempre que exista una separación de 0.15 m entre sus generatrices más próximas. Las tuberías colgadas o adosadas deberán fijarse a la estructura evitando que se produzcan esfuerzos secundarios en las tuberías. Las tuberías enterradas deberán colocarse en zanjas de dimensiones tales que permitan su protección y fácil instalación para que pueden ser retiradas en caso sea necesario.

### 1.4.3. Recomendaciones

Para una correcta selección del equipo a utilizar se han de tener en cuenta las características que se presentan a continuación, Ref. 1:

- Todos los sistemas, equipos y componentes, se diseñarán para poder efectuar y soportar una temperatura de 70 °C. El sistema de calentamiento debe ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta 70 °C o más.
- Se debe calcular la instalación de forma que la temperatura del agua permanezca en todo punto de la instalación por encima de 50 °C. Para ello es necesario aislar térmicamente equipos, aparatos y tuberías.
- Cuando se prevean equipos y aparatos en reserva, deben aislarse mediante válvulas de corte de cierre hermético y deben estar equipados de una válvula de drenaje situada en el punto más bajo.
- Con el fin de impedir la estratificación del agua y evitar que se mantenga un volumen de agua templada, los depósitos deben de tener una elevada relación altura/diámetro y deben ser instalados verticalmente. Si se prevén varios depósitos, la conexión deberá hacerse en serie.
- Deben usarse dispositivos de filtración con un tamaño de poro adecuado para la retención de bacterias que pueden ser instalados en los puntos terminales de la red.
- Se deberá dotar el sistema de un vaso de expansión para evitar aumentos de presión indeseados que generen esfuerzos en las uniones de las tuberías.
- Se deben instalar válvulas de alivio para cuando la presión exceda los valores permisibles.

Las características técnicas a considerar en el diseño son:

- Los materiales deben elegirse de modo que no contaminen el agua aun que se encuentren a elevadas temperaturas.
- Todos los equipos y componentes deben ser fácilmente accesibles para la revisión, mantenimiento, limpieza y desinfección.
- Facilidad de desaguado: Las redes de tuberías deberán estar dotadas de válvulas de drenaje en todos los puntos bajos. Los drenajes se deberían conducir a un lugar visible. Los depósitos de acumulación deberán contar con

una válvula de desagüe en el punto más bajo del mismo, de forma que permita su completo vaciado.

- Se debe evitar zonas de estancamiento del agua.

Todos los cálculos relacionados al diseño mecánico de tuberías, material de tuberías y espesor de las mismas se realizarán siguiendo la norma ASME B31.9 que está dirigida a sistemas de distribución de agua.

### 1.5. Tipos de sistemas

La clasificación de los sistemas de preparación de ACS puede efectuarse de muy diversas formas de acuerdo a diversos criterios. Las instalaciones de agua caliente se dividen de acuerdo al número de unidades atendidas en:

- Unitarias: si atienden a una sola unidad de consumo, como un caño o una bañera.
- Individuales: si atienden a diversas unidades pertenecientes a un único usuario, por ejemplo una vivienda.
- Colectivas: si atienden a la demanda originada por varios usuarios distintos, por ejemplo para un edificio de viviendas.

En las instalaciones colectivas, la red de distribución desempeña un papel muy importante pues los puntos de consumo están alejados del lugar donde se prepara el agua caliente. En cambio en las instalaciones individuales dicha red tiene una mínima importancia.

Cuando la red de distribución tiene un tamaño considerable es recomendable contar con un sistema de retorno al equipo de preparación desde el usuario más alejado, de modo que se reduzca al mínimo el tiempo transcurrido entre la apertura de un grifo cualquiera y la llegada al mismo de agua a temperatura adecuada. De no existir este circuito de retorno, el agua caliente quedaría estanca en la red de distribución cuando no hay demanda experimentando un enfriamiento considerable según sea mayor el tiempo de no consumo.

De acuerdo al sistema empleado se dividen en:

- Instantáneas, cuando se prepara el caudal demandado en cada instante.
- Con acumulación, cuando se prepara una determinada cantidad de agua caliente, que es acumulada en un depósito para ser distribuida de acuerdo a la demanda.

En la producción instantánea, la potencia térmica se determina con el máximo caudal que debe suministrarse; sin embargo, en los sistemas con acumulación las puntas de consumo se atienden con la reserva acumulada con anterioridad y la potencia térmica es menor.

En los sistemas con acumulación el costo del depósito acumulador puede compensarse por la disminución del tamaño requerido para el generador de calor y por el mejor rendimiento que podría determinar un funcionamiento más continuo de éste.

De acuerdo al origen de la energía empleada las instalaciones pueden clasificarse en preparación por:

- Combustible, ya sea sólido, líquido o gas.
- Electricidad, basándose en el efecto Joule.
- Bomba de calor.
- Energía Solar
- Energías residuales

En los sistemas que emplean como fuente de energía combustibles, el calentamiento puede ser directo (la llama calienta directamente el fluido) o indirecto (empleando algún otro fluido para transmitir la energía).

De acuerdo a esta clasificación se distinguen distintos tipos de instalaciones de agua caliente.

#### 1.5.1. Instalaciones individuales de preparación instantánea

Las ventajas de usar instalaciones individuales es que se reduce la longitud de la red de distribución con lo cual se minimizan las pérdidas ya sea de presión o de calor, se reduce el costo de tuberías y aislamientos térmicos. Debido a esto es que en algunas instalaciones se prefiere utilizar sistemas individuales en lugar de colectivos.

Las instalaciones individuales son utilizadas cuando los caudales máximos demandados están entre 5 y 15 litros por minuto a 40°C. La potencia requerida está entre 11 y 33 kW, lo que impide utilizar calentadores eléctricos instantáneos por lo que usualmente se emplean calentadores directos a gas o calderas mixtas.

a) Calentadores directos a gas

El calentamiento directo del agua se consigue mediante la combustión, generalmente en un quemador atmosférico que utilice cualquier gas existente. También pueden funcionar con acumuladores pero lo más común es utilizarlos con preparación instantánea.

En este tipo de calentador el agua circula por un serpentín, el cual se encuentra bañado por los gases de combustión y es posible obtener agua caliente a una temperatura constante por un tiempo indeterminado.

El máximo caudal de ACS que puede suministrar uno de estos calentadores depende del tamaño de la toma de agua fría que posean, pudiendo tener valores entre 5 l/min y 14 l/min. La potencia térmica del calentador corresponde a un calentamiento del caudal máximo hasta una temperatura de 40°C ó 45°C, pero con ayuda de un selector temperaturas que estrangula el flujo de agua pueden obtenerse temperaturas más elevadas.

Estos calentadores disponen de una llama piloto la cual permanece siempre encendida. Cuando se abre un grifo cualquiera, el agua pasa por el circuito de calentamiento y un elemento de control abre la válvula que alimenta al quemador permitiendo el contacto entre el gas y la llama piloto. Al cerrarse el grifo y cortar la circulación de agua, el elemento de control cierra la válvula con lo cual el gas deja de circular, pero la llama piloto sigue encendida.

También disponen de un seguro de encendido y un seguro de caudal mínimo. El seguro de encendido consiste en un elemento termostático que se calienta por efecto de la llama piloto y al enfriarse cuando esta se apaga, cierra la válvula de alimentación de gas al quemador. Si el caudal de agua que atraviesa el calentador está bajo un valor mínimo, el seguro de caudal mínimo cierra la alimentación de gas al quemador para evitar que se obtenga temperaturas excesivas en el agua que sale del calentador.

Sus partes principales, como se observa en la figura 1.3, son: llave de paso del gas, llave de paso de agua fría, válvula reductora, válvula de retención, válvula de desconexión.

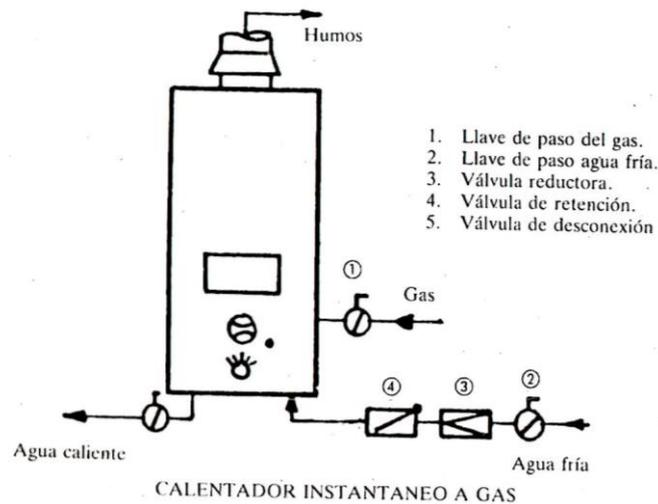


Figura 1.3. Calentador directo a gas (Ref. 2)

#### b) Grupos mixtos de preparación instantánea

Son aquellas calderas de calefacción que tienen incorporada en el cuerpo de la misma la producción de agua caliente sanitaria mediante un serpentín intercambiador sumergido en el agua empleada como fluido calor portador.

En estos sistemas cuando se produce agua caliente se corta el servicio de calefacción con ayuda de un dispositivo de control presostático y al terminar la demanda de agua caliente se restablece el servicio de calefacción.

El caudal de este tipo de instalación es parecido al de los calentadores directos a gas trabajando con temperaturas más elevadas, pero sin que la potencia térmica exceda los 50 kW; a excepción de lugares comerciales donde sí se pueden usar potencias mayores siempre y cuando el agua no esté destinada al uso de personas.

### 1.5.2. Instalaciones individuales con acumulación

Se utilizan cuando se requiere un caudal de agua a 40°C mayor a 15 litros por minuto, pues a diferencia de las instalaciones de producción instantánea las instalaciones con acumulación requieren menos potencia.

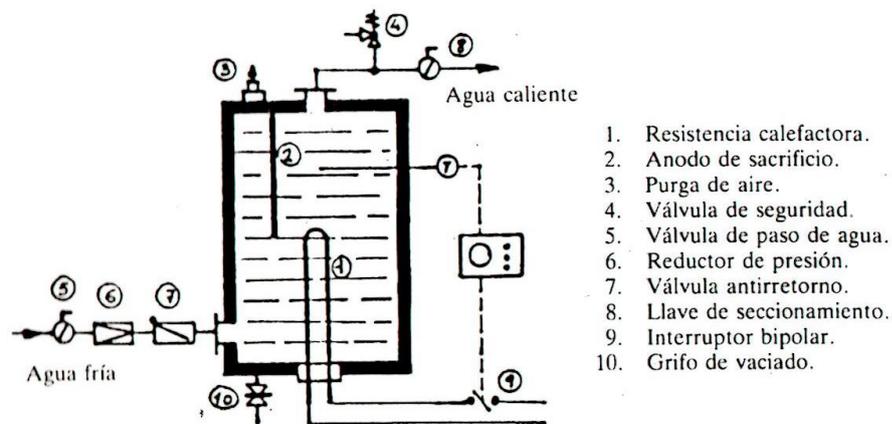
#### a) Termos eléctricos

Consiste en un depósito acumulador, construido con un material resistente a la corrosión producida por el agua, en cuyo interior se colocan resistencias eléctricas que permiten preparar el agua caliente sanitaria. El depósito acumulador está correctamente aislado y todo el conjunto es protegido por una envolvente exterior que normalmente es una chapa. Para proteger al conjunto de la corrosión se dispone de un ánodo de sacrificio, generalmente de magnesio.

Lleva dos termostatos, uno de seguridad para evitar sobrecalentamientos del sistema y el otro para controlar la temperatura del agua caliente producida. Normalmente se le incorpora un programador que se encarga de conectar o desconectar la resistencia según sea el caso. En los termos con doble resistencia, una de ellas prepara el agua caliente durante la noche mientras que la otra se conecta en caso se presente un pico de consumo.

La capacidad de estos equipos varía entre 50 y 200 litros y la potencia eléctrica, entre 750 y 2500 W. Estos calentadores se emplean en instalaciones unitarias pequeñas pues proporcionan caudales pequeños como para atender la demanda de una ducha e incluso de dos.

Sus partes principales, como se observa en la figura 1.4, son: resistencias calefactoras, ánodo de sacrificio, purga de aire, válvula de seguridad, válvula de paso de agua, reductor de presión, válvula antirretorno, llave de seccionamiento, grifo de vaciado.



TERMO ELECTRICO

Figura 1.4. Termo-eléctrico (Ref. 2)

#### b) Termoacumuladores a gas de calentamiento directo

Este tipo de termoacumuladores consiste generalmente en un depósito de agua el cual es atravesado por un conducto-chimenea por el cual circulan los gases de combustión procedentes de un quemador de tipo atmosférico. Cuando se alcanza la temperatura del agua requerida, el termostato apaga el quemador principal quedando encendida solo la llama piloto.

Estos equipos, que en general son de pie, tienen potencias térmicas nominales entre 7 y 35 kW con capacidades de acumulación entre 100 y 250 litros, resultando muy convenientes para viviendas con dos o más cuartos de baño, pues permiten obtener ACS con un coste menor que los equipos de preparación instantánea y sin problemas de consumos punta.

Se recomienda que la potencia térmica en estos equipos no exceda 30 kW y que la temperatura máxima alcanzada por el agua no exceda los 58°C. También el rendimiento de la combustión no deberá ser inferior al 70% para potencias menores a 10 kW o del 75% para el rango de potencias restantes. Cuando se dispone de un sistema de retorno la temperatura en el agua de retorno no deberá alcanzar los 50°C, si se diera el caso un termostato desconecta la bomba de recirculación.

Sus partes principales son: quemador, ánodo de sacrificio, purga de aire, válvula de seguridad, válvula de paso de agua, reductor de presión, válvula antirretorno, llave de seccionamiento, llave de paso de gas, grifo de vaciado.

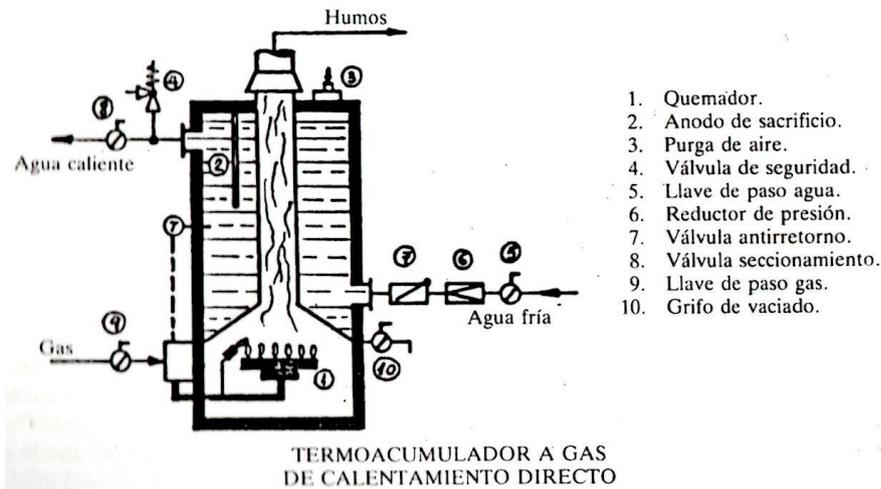


Figura 1.5. Termoacumulador de gas calentamiento directo (Ref. 2)

### c) Termoacumuladores de calentamiento indirecto

Consisten en un depósito acumulador en el que se prepara agua caliente por intercambio de calor con agua caliente o vapor procedente de una caldera. El dispositivo calefactor puede ser un serpentín sumergido en el agua que se desea preparar o bien en una doble pared que rodea el depósito acumulador. Las capacidades de acumulación varían entre 50 y 200 litros. También existen grupos térmicos, con accionamiento a gasóleo C, que llevan incorporado un termoacumulador de calentamiento indirecto, capaces de acumular entre 75 y 150 litros de ACS.

Para regular la temperatura se recomienda colocar un termostato a la salida del acumulador, el cual cortará la aportación de calor al serpentín calefactor con lo cual se disminuye la formación de depósitos calcáreos. El correcto funcionamiento de este termostato requiere que la instalación tenga línea de retorno.

### 1.5.3. Instalaciones colectivas

En las instalaciones colectivas, la preparación del agua caliente debe hacerse con sistemas de acumulación. Esto es debido a los elevados caudales que se demandan y la pequeña duración de las puntas de consumo, respecto al tiempo de funcionamiento total. En instalaciones centralizadas se deberán utilizar acumuladores dimensionados para un tiempo de preparación de al menos dos horas.

La entrega de calor puede realizarse mediante un serpentín calefactor incorporado al depósito (termoacumulador) o con un intercambiador de calor externo al acumulador (intercambiador-acumulador).

#### a) Termoacumulador

Un termoacumulador consiste en un depósito aislado térmicamente el cual contiene el agua a calentar. Para calentar el agua se sumerge un serpentín por el cual circula el generador de calor que puede ser vapor, agua caliente o aceite caliente.

Un termoacumulador se mantiene a presión constante, aprovechando la presión de suministro de la red urbana, con lo cual resulta fácil distribuir el agua sin necesidad de emplear un grupo de elevación. En algunos algunos casos se debe instalar una válvula reguladora de presión a la entrada del acumulador para controlar la presión que no debe ser mayor a 400 kPa.

A medida que se demanda agua caliente por los usuarios, se reemplaza la cantidad de agua caliente extraída del acumulador por agua fría procedente de la red de suministro, de modo que el termoacumulador se mantiene lleno a presión constante, por ello cuando la demanda es elevada se produce un pequeño enfriamiento en el agua acumulada.

Una vez definidos los valores de temperatura máxima y tiempo de preparación, el volumen de agua en el acumulador se dimensiona de forma que al finalizar la mayor demanda la temperatura del agua a la salida no sea menor de 45°C y que, al finalizar el tiempo de preparación, la temperatura no sobrepase el máximo definido.

El control de la potencia calorífica se realiza con ayuda de una válvula que aumenta o disminuye el flujo del generador de calor, estas válvulas pueden ser de dos vías o de tres vías. La válvula de dos vía es accionada en función de la temperatura del agua

caliente sanitaria. Las válvulas de tres vías son de dos tipos: desviadora o mezcladora. En la primera, se mantiene constante el caudal demandado al generador de calor, por lo que se puede emplear este circuito como recirculación de la caldera, pero el control de la potencia calorífica liberada por el serpentín se efectúa a caudal variable y temperatura constante. Cuando se utiliza la válvula mezcladora, el caudal demandado al generador es variable y el control de la potencia calorífica liberada por el serpentín se hace a caudal constante y temperatura variable.

Se recomienda que la sonda del termostato se coloque a la salida del acumulador y no dentro del mismo, pues así se disminuye el tiempo de respuesta del termostato y se evitan sobrecalentamientos del agua acumulada disminuyendo la formación de depósitos calcáreos. Por ello se recomienda usar una válvula de tres vías mezcladora, pues con ello se disminuye la temperatura media en el serpentín. En la figura 1.6 se muestra un esquema de un termoacumulador.

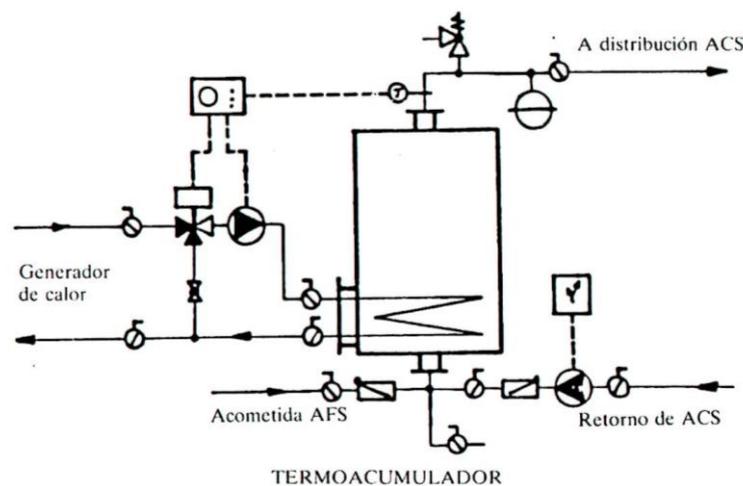


Figura 1.6. Termoacumulador (Ref. 2)

#### b) Intercambiador – acumulador

En este caso el agua caliente se prepara en un intercambiador y posteriormente se almacena en uno o varios depósitos acumuladores, los cual están aislados térmicamente. Su funcionamiento es igual que el del termoacumulador, con la única diferencia que en este caso la convección forzada mejora el coeficiente global de

transmisión disminuyendo el área de intercambio de calor lo que significa ahorro económico en grandes instalaciones.

Aunque es posible emplear un intercambiador de calor del tipo de tubos y carcasa, en la preparación de ACS se emplean con mayor frecuencia los intercambiadores de placas, debido a la facilidad de limpieza y por ser más compactos; además, el elevado grado de turbulencia disminuye la calcificación de las mismas. Sin importar la aplicación y el diseño, la limpieza en un intercambiador externo es siempre más sencilla que la de termoacumulador. En la figura 1.7 se muestra el esquema de un intercambiador acumulador.

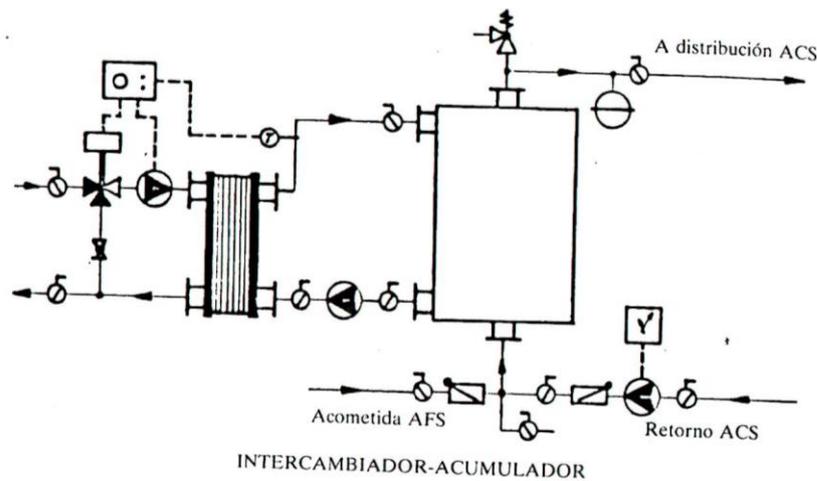


Figura 1.7. Intercambiador – acumulador (Ref. 2)

#### 1.6. Selección del tipo de sistema

En edificaciones destinadas al hospedaje de personas, ya sean hostales u hoteles, donde la cantidad de puntos de consumo es considerable se utilizan instalaciones colectivas ya sea con un termoacumulador o con un intercambiador – acumulador.

La selección del sistema que sea más adecuado debe estar basada en lo siguiente:

- Costo inicial
- Bajo costo de operación

- Fácil Mantenimiento

El acumulador a utilizar será una caldera, la cual puede ser acuotubular o piro-tubular utilizando como fuente de energía electricidad o algún tipo de combustible. El intercambiador a utilizar puede ser de tubos y carcasa o de placas utilizando como fluido caliente aceite, vapor de agua, agua caliente o gases de combustión. Los equipos deben estar aislados térmicamente para evitar pérdidas en la temperatura del agua, y estarán ubicados en una habitación que provea el espacio necesario para su correcto funcionamiento y distribuidos de tal forma que se reduzcan distancias con lo que se evitarían pérdidas de presión. Los puntos de consumo están ubicados en los baños de las habitaciones donde se requiere agua caliente.

El sistema contará con un circuito de retorno, el cual tendrá una o más bombas de retorno para llevar el agua de regreso al tanque acumulador cuando cese la demanda. El objetivo de colocar este circuito es que la temperatura a la salida de los puntos de consumo se mantenga constante y en el valor deseado, además se reducen las pérdidas de energía térmica en el agua que quedaría empozada.

Los equipos que se escojan deben cumplir con dos requisitos adicionales: niveles de ruido aceptable en todos los niveles de operación y fácil desensamble para mantenimiento, reparación y reemplazo de componentes dañados. Luego de analizar los conceptos señalados anteriormente se pueden comparar ambas opciones, como se muestra en la tabla 1.9.

Tabla 1.9. Tabla comparativa sistemas a usar.

	TERMOACUMULADOR	INTERCAMBIADOR - ACUMULADOR
Nivel temperatura	Inestable, pues el agua ingresa fría al acumulador	Estable, pues el agua se calienta antes de ingresar al acumulador
Presión	400 kPa	
Instalación	Un poco complicada, pues el intercambiador está dentro del acumulador	Sencilla, pues el intercambiador y el acumulador son independientes
Costo de operación	En ambos casos el costo de operación es parecido, pues consumen la misma cantidad de combustible para llevar el agua a la temperatura requerida	
Mantenimiento	Complicado, pues se debe vaciar el acumulador para realizar el mantenimiento	Sencillo, pues el intercambiador y el acumulador son independientes
Eficiencia	Menor, pues existen pérdidas de energía cuando ingresa agua al tanque	Mayor, pues el intercambio de calor se produce fuera del acumulador
Capacidad de almacenamiento	Limitada por la potencia del intercambiador de calor	Depende únicamente del tamaño del acumulador

Elaboración propia

En lo que se refiere a nivel de temperatura la desventaja en un termoacumulador radica en que la temperatura en el tanque varía debido a que la admisión de agua fría se realiza de manera constante para que el tanque permanezca lleno, por ello la temperatura bajaría cuando la demanda sea muy elevada.

Después de lo descrito en el punto 1.5.3 y lo analizado anteriormente que esta resumido en la tabla 1.9, el sistema a elegir sería un sistema colectivo que utiliza un intercambiador – acumulador y posee un circuito de retorno. Esta selección se realizó en base al costo de instalación, de operación y de mantenimiento.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
2013 *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*
2. Andrés y Rodríguez-Pomatta, Juan A.  
1991 *CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA*
3. Cusa Ramos, Juan de  
1985 *CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE*
4. Portal de Gas Natural Fenosa  
2014 “Sistemas de calefacción: Calderas y equipos terminales”.  
*Catálogo de tecnologías*. Barcelona, Enero. Consultada: 10 de Junio de 2014.  
<<http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/sistemas-de-calefaccion-calderas-y-equipos-terminales#ancla>>
5. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad  
2013 “Sistemas de agua caliente sanitaria”.  
Descripción. Consultada: 20 de Junio de 2014.  
<[https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3\\_leg.pdf](https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_leg.pdf)>

## CAPITULO 2

### DISEÑO DEL SISTEMA

#### 2.1. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son los valores en los que se basan los cálculos de los equipos y representan la condición crítica a la cual estará sometido el sistema y a las cuales deberá trabajar de la manera esperada. Estos parámetros también se utilizan en la selección de algunos equipos del sistema.

##### 2.1.1. Dotación de agua caliente

Para obtener la dotación de agua caliente necesaria se va a analizar la arquitectura del edificio, es decir la cantidad de dormitorios que tiene el hotel. Luego de acuerdo a lo recomendado por el Reglamento Nacional de edificaciones (Ref. 1) en lo que respecta a la dotación de agua caliente de acuerdo al tipo de construcción se obtiene la dotación diaria de agua caliente requerida.

Según la tabla 1.6 extraída del Reglamento Nacional de edificaciones para el caso de hoteles, hostales y apart – hoteles la dotación de agua caliente requerida es de 150 litros por dormitorio.

De los planos del hotel se obtiene el dato de la cantidad de dormitorios que se utilizará para obtener la dotación diaria total del edificio. En la tabla 1.3 se muestra la cantidad de habitaciones por piso; de ahí se obtiene que en total hay 174 habitaciones simples, 5 habitaciones deluxe, 7 suites junior, 12 suites senior, 5 ariones y 4 vestidores.

Realizando la suma de todo se obtiene un total de 207 dormitorios en total, para los cálculos se considerará 220 dormitorios pues también hay que considerar los servicios higiénicos que se encuentran fuera de los dormitorios y la cocina.

Realizando la multiplicación de la cantidad de dormitorios por la dotación unitaria recomendada se obtiene la dotación diaria de agua necesaria para satisfacer la demanda.

$$DD = DU * \# \text{ dormitorios} \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde, DD: dotación diaria en litros.

DU: dotación unitaria en litros/dormitorio.

Como la dotación unitaria es 150 litros por dormitorio y la cantidad de dormitorios es 220, reemplazando estos valores en la ecuación 2.1 se obtiene la dotación diaria necesaria.

$$DD = 150 * 220 = 33000 \text{ litros} = 33 \text{ m}^3$$

Además de la dotación que requieren los dormitorios se debe considerar lo que demanda el gimnasio. Según la tabla 1.6 extraída del reglamento nacional de edificaciones la dotación para gimnasios es de 10 l/m<sup>2</sup>. Como el área total del gimnasio del hotel es de 230 m<sup>2</sup>, la dotación necesaria para satisfacer la demanda en este caso sería de 2300 litros.

El resultado obtenido es que la dotación diaria total es de 35300 litros, con este dato se puede dimensionar el tanque de almacenamiento y el equipo de generación de agua caliente.

### 2.1.2. Temperatura del agua al ingreso y salida

Para realizar el cálculo de la carga térmica del equipo de producción de agua caliente es necesario conocer los valores de las temperaturas del agua que es suministrada por la red y del agua que es requerida en los puntos de consumo.

La temperatura del agua suministrada por la red depende de las condiciones ambientales (temperatura externa, humedad) y de la estación del año. El valor promedio de la temperatura de entrada del agua varía es de 19 °C (Ref. 20), para realizar los cálculos del sistema se considerará la temperatura de ingreso de 15 °C pues es un valor que garantiza el correcto calentamiento del agua a la temperatura requerida.

La temperatura del agua caliente demandada en los puntos de consumo depende del tipo de equipo que la utiliza. En la tabla 1.1 se observa que la temperatura para usos en equipos sanitarios varía entre 35 y 42 °C; y de la usada en cocinas y lavanderías varía entre 45 y 65 °C. En el diseño del sistema se considerará una temperatura de 50 °C para el agua caliente que sale del equipo de generación, pues existen pérdidas de calor que hacen que el valor de la temperatura del agua que llega a los puntos de consumo disminuya. En la tabla 2.1 se detalla la temperatura de entrada y salida del agua en el sistema.

Tabla 2.1. Temperatura entrada y salida del agua

	Valor (°C)
Temperatura entrada	15
Temperatura salida	50

Elaboración propia

### 2.1.3. Presión del agua caliente

El Reglamento Nacional de Edificaciones (Ref. 1) pone límites en lo que respecta a la presión de distribución del agua caliente y la presión con la que el agua debe llegar a los puntos de consumo. Estos límites son para evitar que se genere turbulencia en las tuberías, lo que originaría ruidos molestos; también para garantizar que la demanda de agua sea satisfecha de acuerdo a lo esperado.

En lo que respecta a la presión en el sistema de distribución de agua caliente, el reglamento dice que la presión máxima es 50 m.c.a. (lo que equivale a 500 kPa). Este valor es el que limita la presión del tanque de almacenamiento, la cual no puede

sobrepasar ese valor. El valor de la presión en los puntos de consumo no debe bajar de 2 m.c.a. (20 kPa), este valor limita las longitudes y distribución de las tuberías pues las pérdidas de presión no deben hacer que el valor de la misma caiga debajo del recomendado. En la tabla 2.2 se muestran los límites de presiones recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla 2.2. Presiones del agua en el sistema

	Valor (kPa)
Presión máxima distribución	500
Presión mínima salida	120

Elaboración propia

## 2.2. Diseño del sistema

### 2.2.1. Diseño térmico

#### 2.2.1.1. Tanque de almacenamiento

La selección del tanque de almacenamiento de agua caliente se basa en el volumen mínimo que debe ser almacenado de acuerdo al tipo de edificación donde es instalado el sistema de agua caliente.

Los parámetros utilizados en el cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento son la dotación diaria requerida en la edificación y una fracción que es extraída del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual representa el porcentaje mínimo de la dotación diaria que debe ser almacenada para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

$$VA = \text{fracción recomendada} * DD \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde, VA: volumen de almacenamiento en litros.

DD: dotación diaria en litros.

En este caso la dotación diaria es de 35300 litros y la fracción se puede obtener de la tabla 1.7 donde para el caso de hoteles, apart – hoteles y hostales toma un valor de 1/7.

Con estos valores, reemplazando en la ecuación 2.2, se puede obtener el volumen mínimo que debe tener el tanque de almacenamiento de agua caliente en el sistema.

$$VA = \frac{1}{7} * 35300 = 5043 \text{ litros}$$

El tanque de almacenamiento debe tener un volumen mínimo de 5043 litros que equivale a 5.04 m<sup>3</sup>. Además de la condición de volumen, el tanque debe estar debidamente aislado para evitar pérdidas en la temperatura del agua debido a transferencia de calor por conducción o convección. Este valor es el de volumen mínimo, pero en la selección de componentes del sistema se debe considerar la demanda que tiene el hotel pues si ésta es elevada el tamaño del tanque deberá ser mayor al mínimo recomendado.

#### 2.2.1.2. Equipo de producción de agua caliente

En el equipo de producción de agua caliente se debe obtener la capacidad de producción del mismo de acuerdo al tipo de edificio donde se instalará el sistema y la potencia calorífica que debe ser entregada al agua para aumentar su temperatura hasta la requerida.

Para obtener la capacidad de producción necesaria se considera la dotación diaria requerida por el edificio y una fracción que representa el porcentaje mínimo de la dotación diaria que debe ser producido por el equipo de producción.

$$CPH = \text{fracción mínima} * DD \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde, CPH: capacidad de producción horaria en litros/hora.

DD: dotación diaria en litros.

En este caso la dotación diaria es de 35300 litros y la fracción se puede obtener de la tabla 1.7 donde para el caso de hoteles, apart – hoteles y hostales toma un valor de 1/10. Reemplazando estos valores en la ecuación 2.3 se obtiene la capacidad de producción horaria que debe tener el equipo de generación de agua.

$$CPH = \frac{1}{10} * 35300 = 3530 \text{ litros/hora}$$

La capacidad de producción del equipo de agua caliente sería de 3530 litros/hora. Realizando la conversión de unidades, sabiendo que la densidad del agua es 1 kg/litro y que una hora tiene 3600 segundos, se puede obtener la capacidad de producción en kg/s.

$$CPH = 3530 * \frac{1}{3600} = 0.98 \text{ kg/s}$$

Para obtener la potencia calorífica que debe ser entregada al agua se necesita conocer la entalpía específica del agua a la entrada y salida del equipo de producción. Aplicando la primera ley al volumen de control mostrado en la figura 2.1, la diferencia entre las entalpías de salida y entrada se multiplica por la capacidad de producción y se obtiene la potencia calorífica.

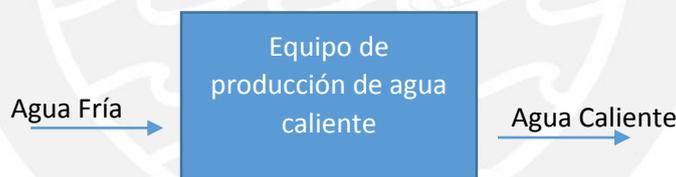


Figura 2.1. Esquema equipo de producción de ACS (Elaboración propia)

$$q = CP * (hs - hi) \dots\dots\dots (2.4)$$

Donde, q: potencia calorífica en kW.

CP: capacidad de producción en kg/s.

hs, hi: entalpías específicas a la temperatura de salida y entrada, respectivamente en kJ/kg.

De las tablas termodinámicas (Ref. 2) se obtienen los valores de las entalpías específicas a la temperatura de 15 °C y 50 °C. A 15 °C la entalpía es 62.99 kJ/kg y a 50 °C la entalpía es 209.33 kJ/kg. La capacidad de producción se puede obtener del cálculo

realizado anteriormente. Al reemplazar estos valores en la ecuación 2.4 se puede obtener la capacidad calorífica que debe ser entregada al agua para que llegue a la temperatura requerida.

$$q = 0.98 * (209.33 - 62.99) = 143.4 \text{ kW}$$

Por lo tanto, el equipo de generación de agua caliente debe ser capaz de entregar una potencia de 143.4 kW a un caudal de 0.98 l/s de agua para elevar su temperatura de 15 a 50 °C.

### 2.2.1.3. Aislante térmico

En el sistema a diseñar el fluido, en este caso agua, circula a una temperatura elevada; debido a esto es necesario que las tuberías estén aisladas térmicamente. Los objetivos de este aislamiento son minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior, controlar que el cambio de temperatura en el fluido no afecte significativamente al sistema, controlar el ruido y proteger al sistema del calor.

En el ASHRAE Handbook – Fundamentals (Ref. 3), se encuentran los espesores recomendados de acuerdo a la temperatura del fluido circulante, al diámetro de la tubería y la conductividad térmica del aislante. En la tabla 2.3 se muestra los espesores de aislante necesario para cada caso.

Tabla 2.3. Espesor de aislante para tuberías en mm (Ref. 3).

Temperatura del fluido circulante, °C	Conductividad del aislante		Diámetro nominal de la tubería en mm, espesor de aislante en cm				
	Conductividad, W/m-K	Temperatura promedio, °C	≤ 25	≤ 40	≤ 100	≤ 200	≥ 200
<b>Sistemas de calefacción</b>							
177+	0.046 - 0.049	121	6.4	7.6	7.6	10.2	10.2
122 – 177	0.042 - 0.046	93	3.8	6.4	7.6	7.6	7.6
94 – 121	0.039 - 0.043	66	3.8	3.8	5.1	5.1	5.1
61 – 93	0.036 - 0.042	52	2.5	2.5	2.5	3.8	3.8
41 – 60	0.032 - 0.040	38	1.3	1.3	2.5	2.5	2.5
<b>Sistemas de agua caliente</b>							
<b>41+</b>	<b>0.032 - 0.040</b>	<b>38</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>

## 2.2.2. Diseño hidráulico

### 2.2.2.1. Material de tuberías

Debido a la temperatura de trabajo del sistema no se puede colocar tuberías de PVC pues éstas sufrirían deformaciones y se tendrían mayores pérdidas de calor a través de ellas. Como las tuberías van a transportar agua caliente estarán sometidas a una fuerte corrosión por lo cual el material a elegir debe tener una buena resistencia a la misma. Debido a esto y a su fácil instalación el material elegido para las tuberías es cobre cuya especificación técnica es ASTM B88 y sus propiedades mecánicas se muestran en la tabla 2.4 extraídas del ASHRAE Handbook (Ref. 3). A pesar de que sus propiedades mecánicas no son muy buenas es capaz de resistir la presión de trabajo pues esta no es muy elevada en comparación a la resistencia mecánica del cobre.

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas del cobre (Ref. 3)

	Símbolo	Unidades	Valor
Especificación ASTM			ASTM B88
Tamaños disponibles		mm	8 - 300
Esfuerzo fluencia	S	MPa	248
Esfuerzo admisible presión interna	S <sub>E</sub>	MPa	62
Esfuerzo admisible flexión	S <sub>A</sub>	MPa	93.1
Factor eficiencia junta	E		1

Las tuberías, según la norma, deben ser endurecidas y se unen mediante soldadura o mediante accesorios forjados de cobre. La tabla 2.5 muestra los rangos de presión y temperatura de acuerdo a la unión escogida para el sistema los cuales son extraídos de la norma ASME B31.9.

La norma ASTM B88 distingue tres tipos de tuberías de acuerdo al espesor: K, L, M y DMW para servicio de agua y drenaje; la tabla 2.6 muestra las propiedades geométricas de las tuberías de cobre de acuerdo a su tipo.

Tabla 2.5. Presión de uniones en tuberías de cobre (Ref. 5)

Presión interna de trabajo, kPa						
Tipo unión	Temperatura trabajo °C	Diámetro nominal, mm				
		8 a 25	32 a 50	65 a 100	125 a 200	250 a 300
Soldadura plomo	38	1380	1210	1030	900	690
	66	1030	860	690	620	480
	93	690	620	520	480	350
	120	590	520	350	310	280
Soldadura antimonio	38	3450	2760	2070	1860	1030
	66	2760	2410	1900	1720	1030
	93	2070	1720	1380	1240	970
	120	1380	1200	1030	930	760
Accesorios forjados	38 a 93	de acuerdo a la tubería				
	120	2070	1450	1170	1030	1030
	175	1860	1310	1030	1030	1030

Tabla 2.6. Propiedades geométricas tuberías de cobre según ASTM B88 (Ref. 3)

Diámetro nominal, in	Tipo	Espesor, mm	Diámetro		Área superficial		Sección transversal		Masa		Presión, MPa
			Exterior, mm	Interior, mm	Exterior, m <sup>2</sup> /m	Interior, m <sup>2</sup> /m	Metal, mm <sup>2</sup>	Flujo, mm <sup>2</sup>	Tubo, kg/m	Agua, kg/m	
1/4	K	0.89	9.53	7.75	0.030	0.0244	24	47	0.215	0.047	11
	L	0.76	9.53	8.01	0.030	0.0250	21	50	0.188	0.050	9.4
3/8	K	1.24	12.70	10.22	0.040	0.0320	45	82	0.404	0.082	11.6
	L	0.89	12.70	10.92	0.040	0.0344	33	94	0.296	0.094	8.3
	M	0.64	12.70	11.42	0.040	0.0360	24	103	0.215	0.103	5.9
1/2	K	1.24	15.88	13.40	0.050	0.0421	57	141	0.511	0.141	9.2
	L	1.02	15.88	13.84	0.050	0.0436	48	151	0.430	0.151	7.5
	M	0.71	15.88	14.46	0.050	0.0454	34	164	0.305	0.164	5.3
5/8	K	1.24	19.05	16.57	0.060	0.0521	70	215	0.628	0.215	7.7
	L	1.07	19.05	16.91	0.060	0.0530	60	225	0.538	0.225	6.6
3/4	K	1.65	22.23	18.93	0.070	0.0594	106	281	0.951	0.281	8.8
	L	1.14	22.23	19.95	0.070	0.0628	75	312	0.673	0.312	6.1
	M	0.81	22.23	20.61	0.070	0.0646	55	333	0.493	0.333	4.3
1	K	1.65	28.58	25.28	0.090	0.0792	139	502	1.247	0.502	6.8
	L	1.27	28.58	26.04	0.090	0.0817	109	532	0.978	0.532	5.2
	M	0.89	28.58	26.80	0.090	0.0841	77	564	0.691	0.564	3.7
1 1/4	K	1.65	34.93	31.63	0.110	0.0994	173	785	1.552	0.785	5.6
	L	1.40	34.93	32.13	0.110	0.1009	147	811	1.318	0.811	4.7
	M	1.07	34.93	32.79	0.110	0.1030	114	845	1.022	0.845	3.6
	DWV	1.02	34.93	32.89	0.110	0.1033	108	850	0.969	0.850	3.4
1 1/2	K	1.83	41.28	37.62	0.130	0.1183	226	1111	2.027	1.111	5.2
	L	1.52	41.28	38.24	0.130	0.1201	190	1148	1.704	1.148	4.4
	M	1.24	41.28	38.80	0.130	0.1219	157	1181	1.408	1.181	3.6
	DWV	1.07	41.28	39.14	0.130	0.1228	135	1203	1.211	1.203	3
2	K	2.11	53.98	49.76	0.170	0.1564	343	1945	3.076	1.945	4.7
	L	1.78	53.98	50.42	0.170	0.1585	292	1997	2.619	1.997	4
	M	1.47	53.98	51.04	0.170	0.1603	243	2045	2.179	2.045	3.2
	DWV	1.07	53.98	51.84	0.170	0.1628	177	2111	1.587	2.111	2.3
2 1/2	K	2.41	66.68	61.86	0.209	0.1942	487	3004	4.368	3.004	4.3
	L	2.03	66.68	62.62	0.209	0.1966	413	3079	3.704	3.079	3.6
	M	1.65	66.68	63.38	0.209	0.1990	337	3154	3.022	3.154	2.9
3	K	2.77	79.38	73.84	0.249	0.2320	666	4282	5.973	4.282	4.1
	L	2.29	79.38	74.80	0.249	0.2350	554	4395	4.969	4.395	3.4
	M	1.83	79.38	75.72	0.249	0.2378	446	4503	4.000	4.503	2.7
	DWV	1.14	79.38	77.10	0.249	0.2423	281	4667	2.520	4.667	1.7
3 1/2	K	3.05	92.08	85.98	0.289	0.2701	852	5806	7.641	5.806	3.9
	L	2.54	92.08	87.00	0.289	0.2733	714	5944	6.404	5.944	3.3
	M	2.11	92.08	87.86	0.289	0.2761	596	6063	5.345	6.063	2.7
4	K	3.40	104.78	97.98	0.329	0.3078	1084	7538	9.722	7.538	2.8
	L	2.79	104.78	99.20	0.329	0.3115	895	7727	8.027	7.727	3.1
	M	2.41	104.78	99.96	0.329	0.3139	776	7846	6.960	7.846	2.7
	DWV	1.47	104.78	101.84	0.329	0.3200	478	8144	4.287	8.144	1.7
5	K	4.06	130.18	122.06	0.409	0.3834	1610	11699	14.439	11.699	3.7
	L	3.18	130.18	123.82	0.409	0.3889	1266	12042	11.354	12.042	2.9
	M	2.77	130.18	124.64	0.409	0.3917	1108	12201	9.937	12.201	2.5
	DWV	1.83	130.18	126.52	0.409	0.3975	737	12572	6.610	12.572	1.7
6	K	4.88	155.58	145.82	0.489	0.4581	2309	16701	20.709	16.701	3.7
	L	3.56	155.58	148.46	0.489	0.4663	1698	17311	15.229	17.311	2.7
	M	3.10	155.58	149.38	0.489	0.4694	1484	17525	13.309	17.525	2.4
	DWV	2.11	155.58	151.36	0.489	0.4755	1016	17993	9.112	17.993	1.6
8	K	6.88	206.38	192.62	0.648	0.6050	4314	29137	38.691	29.137	3.9
	L	5.08	206.38	196.22	0.648	0.6163	3212	30238	28.807	30.238	2.9
	M	4.32	206.38	197.74	0.648	0.6212	2741	30710	24.583	30.710	2.5
	DWV	2.77	206.38	200.84	0.648	0.6309	1771	31680	15.883	31.680	1.6
10	K	8.59	257.18	240.00	0.808	0.7541	6705	45241	60.135	45.241	3.9
	L	6.35	257.18	244.48	0.808	0.7681	5004	46942	44.879	46.942	2.9
	M	5.38	257.18	246.42	0.808	0.7741	4259	47686	38.197	47.686	2.5
12	K	10.29	307.98	287.40	0.968	0.9028	9621	64873	86.287	64.873	3.9
	L	7.11	307.98	293.76	0.968	0.9229	6722	67771	60.287	67.771	2.7
	M	6.45	307.98	295.08	0.968	0.9269	6112	68382	54.816	68.382	2.5

Los accesorios usados en las tuberías de cobre están normalizados según estándares ASME que dan las dimensiones y rangos de presiones que soportan los accesorios. Esas normas se muestran en la tabla 2.7 extraída del ASHRAE Fundamentals (Ref. 3).

Tabla 2.7. Normas para accesorios tuberías (Ref. 3)

Accesorio	Norma
Accesorio fundido unión por soldadura	B16.18
Accesorio forjado unión por soldadura	B16.22
Accesorio fundido unión por brida	B16.24

### 2.2.2.2. Diámetro de tuberías

Para calcular el diámetro de las tuberías se va a considerar el caudal necesario y la velocidad máxima recomendada de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, Ref. 1, y cuyos valores se muestran en la tabla 1.8. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$Q = V * A_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Donde, Q: el caudal necesario en m<sup>3</sup>/s.

V: velocidad del agua en m/s.

A<sub>t</sub>: área de la sección transversal de la tubería en m<sup>2</sup>.

El área de la tubería es directamente proporcional al cuadrado del diámetro con lo cual es posible obtener una expresión, a partir de la ecuación 2.5, para determinar la velocidad conociendo el diámetro de la tubería. Esa expresión sería:

$$V = \frac{4*Q}{\pi*D^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Utilizando la ecuación 2.6 se pueden obtener las velocidades para distintos diámetros de tuberías. De acuerdo a la velocidad máxima recomendada para cada diámetro se puede escoger el adecuado para la red de distribución principal, para cada piso y para cada punto de consumo.

a) Tubería alimentación tanque de almacenamiento

Para dimensionar la tubería que lleva el agua del equipo de producción de agua caliente al tanque de almacenamiento se debe tener en cuenta la capacidad del equipo la cual según lo calculado en el acápite b del subcapítulo 2.2.1 es de 1 l/s.

Con este valor de caudal se procede a realizar el cálculo del diámetro según lo descrito anteriormente y haciendo uso de las ecuaciones 2.5 y 2.6 Los resultados se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Resultados diámetro tubería equipo de producción de agua caliente.

Caudal	0.001	m <sup>3</sup> /s
Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Velocidad máx (m/s)
0.015	5.66	1.9
0.02	3.18	2.2
<b>0.025</b>	<b>2.04</b>	<b>2.48</b>
0.032	1.24	2.85
0.04	0.80	3
0.05	0.51	3.16
0.065	0.30	3.63
0.08	0.20	3.99
0.1	0.13	4.46

Elaboración propia

b) Tubería distribución principal y por piso

Para dimensionar las tuberías del sistema principal y por piso es necesario calcular el caudal necesario por piso de acuerdo a la cantidad de puntos de consumo que hay en cada habitación (tabla 1.4) y al caudal necesario para cada uno que se muestra en la tabla 1.2. En la tabla 2.9 se muestra un resumen de los caudales por piso de acuerdo a la cantidad de habitaciones que hay en cada uno; en el anexo 1 se muestran las tablas de cada uno de los pisos con la cantidad de puntos de consumo que tiene.

Tabla 2.9. Caudal de agua caliente por piso.

Piso	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
12	0.0059
9,10,11,13	0.006
5,6,7,8	0.007
4	0.007
3	0.0048
2	0.0067
1	0.0015
Sótano	0.0038

Elaboración propia

Con estos caudales y utilizando la ecuación 2.6 se puede calcular la velocidad de circulación del fluido para diferentes diámetros de tubería. Este valor se compara con los valores máximos permisibles y se puede elegir el diámetro de tubería adecuado para cada piso. En la tabla 2.10 se pueden observar los resultados detallados para el piso 12 y en la tabla 2.11 se muestra el resumen para todos los demás pisos. En el anexo 2 se muestran los resultados detallados para cada piso.

Tabla 2.10. Resultados diámetro tubería piso 12.

Caudal	0.0059	m <sup>3</sup> /s
--------	--------	-------------------

Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Velocidad máx (m/s)
0.015	33.39	1.9
0.02	18.78	2.2
0.025	12.02	2.48
0.032	7.34	2.85
0.04	4.70	3
<b>0.05</b>	<b>3.00</b>	<b>3</b>
0.065	1.78	3
0.08	1.17	3
0.1	0.75	3

Elaboración propia

Tabla 2.11. Resultados diámetro de tubería de todos los pisos.

Piso	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (m)	Velocidad (m/s)
12	0.0059	0.05	3
9,10,11,13	0.006	0.05	3.06
5,6,7,8	0.007	0.065	2.11
4	0.007	0.065	2.11
3	0.0048	0.05	2.44
2	0.0067	0.065	2.02
1	0.0015	0.032	1.87
Sótano	0.0038	0.05	1.94

Elaboración propia

Cada uno de los equipos que demanda agua caliente tiene un caudal distinto y mucho menor al que se distribuye a cada piso, por eso el diámetro de la tubería que lleva el agua a estos puntos es menor que el de cada piso. Los caudales de cada punto de consumo se pueden obtener de la tabla 1.2 y siguiendo el procedimiento antes descrito se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Resultados diámetro tubería por punto de consumo.

Equipo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (m)	Velocidad (m/s)
Ducha	0.0002	0.015	0.85
Bidet	0.0001	0.015	0.6
Lavatorio	0.0001	0.015	0.6
Bañera	0.0003	0.025	0.61

Elaboración propia

Para el cálculo del diámetro de la tubería de distribución se va a considerar el consumo promedio por habitación obtenido del ASHRAE Fundamentals el cual tiene un valor de 30 l/h. Esto se hace pues en una habitación solo habrá una persona utilizando el baño a la vez y sería sobredimensionado si se calcula teniendo en cuenta el consumo de todos los puntos a la vez. Después de esto el caudal necesario se calcula multiplicando el consumo promedio por el número de habitaciones que hay en el hotel. Los resultados se muestran en la tabla 2.13.

Tabla 2.13. Caudal de distribución principal.

Descripción	Unidades	Valor
Consumo promedio	l/h	100
Cantidad habitaciones		221
Caudal de distribución	l/s	6.1
	m <sup>3</sup> /s	0.0061

Elaboración propia

Con este caudal se procede a calcular el diámetro de la tubería necesario siguiendo el mismo proceso que para los demás casos. El resultado se muestra en la tabla 2.14.

Tabla 2.14. Resultado diámetro tubería de distribución principal.

Caudal	0.006	m <sup>3</sup> /s
Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Velocidad máx (m/s)
0.015	34.58	1.9
0.02	19.45	2.2
0.025	12.45	2.48
0.032	7.60	2.85
0.04	4.86	3
0.05	3.11	3
0.065	1.84	3
0.08	1.22	3
0.1	0.78	3
0.15	0.35	3

Elaboración propia

### c) Tubería sistema de retorno

Para el cálculo de las tuberías en el sistema de retorno se considerará que el caudal que debe retornar al tanque de almacenamiento. Este caudal se obtiene del ASHRAE Handbook – Fundamentals (Ref. 3), en donde hay un gráfico que relaciona el caudal de recuperación con la cantidad de agua almacenada por puntos de consumo y de habitaciones. En el caso de este hotel, hay 221 habitaciones y la cantidad de agua

almacenada es de 46.5 l/punto de consumo. Con estos datos y del gráfico mostrado en la figura 2.2 se puede obtener el caudal del sistema de retorno que sería de 1 ml/s-unidad.

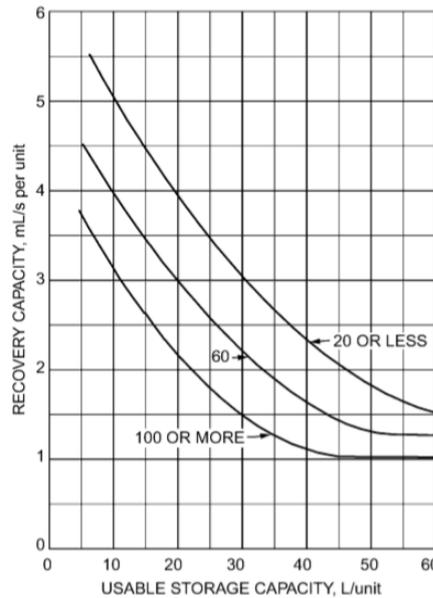


Figura 2.2. Caudal del sistema de retorno en hoteles. (Ref. 3)

Considerando los 712 puntos de consumo, el caudal sería de 0.712 l/s; con este valor se procede a dimensionar la tubería del sistema de retorno y este resultado se muestra en la tabla 2.15.

Tabla 2.15. Resultado diámetro tubería sistema de retorno.

Caudal	0.00071	m <sup>3</sup> /s
--------	---------	-------------------

Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Velocidad máx (m/s)
0.015	4.03	1.9
0.02	2.27	2.2
<b>0.025</b>	<b>1.45</b>	<b>2.48</b>
0.032	0.89	2.85
0.04	0.57	3
0.05	0.36	3.16
0.065	0.21	3.63
0.08	0.14	3.99
0.1	0.09	4.46

Elaboración propia

### 2.2.2.3. Cálculo potencia de la bomba de distribución

Para determinar la potencia de la bomba a utilizar es necesario conocer la altura que deberá elevar la bomba para luego multiplicarla con el caudal y obtener la potencia usando la ecuación 2.7 (Ref. 4) Las dimensiones y el recorrido del sistema de distribución están indicados en los planos de distribución de agua caliente que se encuentran anexos al documento y cuya numeración es PL1 hasta PL12.

$$PB = \rho * g * H_{man} * Q \dots\dots\dots (2.7)$$

Donde, PB: potencia de la bomba en W.

$\rho$ : densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).

$g$ : aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

$H_{man}$ : altura manométrica de la bomba en m.

$Q$ : caudal de agua en m<sup>3</sup>/s.

Para calcular la altura equivalente de la bomba se utiliza la Ecuación de Bernoulli aplicada a un fluido considerando las pérdidas de carga que se producen en las tuberías y en los accesorios. Esta expresión se puede observar en la ecuación 2.8 (Ref. 4).

$$H_{man} = z_2 - z_1 + \left( \frac{p_2 - p_1}{\rho * g} \right) + \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g} \right) + h_f \dots\dots\dots (2.8)$$

Donde,  $H_{man}$ : altura de la bomba en m.

$z_2$ : cota del punto final en m.

$z_1$ : cota del punto inicial en m.

$p_2$ : presión en el punto final en Pa.

$p_1$ : presión en el punto inicial en Pa.

$v_2$ : velocidad del fluido en el punto final en m/s.

$v_1$ : velocidad del fluido en el punto inicial en m/s.

$h_f$ : altura equivalente de pérdidas por fricción en m.

El término altura equivalente de pérdidas por fricción representa la caída de presión existente en las tuberías y en los accesorios debido a la viscosidad del fluido. Para su cálculo se utilizará la Ecuación de Darcy – Weisbach que depende del coeficiente de fricción obtenido del diagrama de Moody para tuberías y del coeficiente equivalente de pérdidas para el caso de los accesorios. Esta ecuación es la recomendada en el ASHRAE Handbook – Fundamentals (Ref. 3). Las expresiones a usar para tuberías y accesorios se muestran en las ecuaciones 2.9 y 2.10, respectivamente.

$$\Delta h = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\Delta h = K * \left(\frac{V^2}{2 * g}\right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Donde,  $\Delta h$ : altura equivalente de pérdidas en m.

f: factor de fricción obtenido del diagrama de Moody.

K: coeficiente de pérdidas en accesorios.

L: longitud de la tubería en m.

D: diámetro de la tubería en m.

$\rho$ : densidad del fluido (1000 kg/m<sup>3</sup>).

V: velocidad del fluido en m/s.

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

Para obtener el factor de fricción se utilizará el diagrama de Moody (Figura 2.3). Para utilizar este diagrama debemos conocer la rugosidad ( $\epsilon$ ) y el diámetro (D) de la tubería así como la velocidad para obtener el número de Reynolds (Re). Las curvas representan la rugosidad relativa ( $\epsilon / D$ ), el eje x contiene el número de Reynolds (Re) y el eje y es el factor de fricción (f) que buscamos obtener.

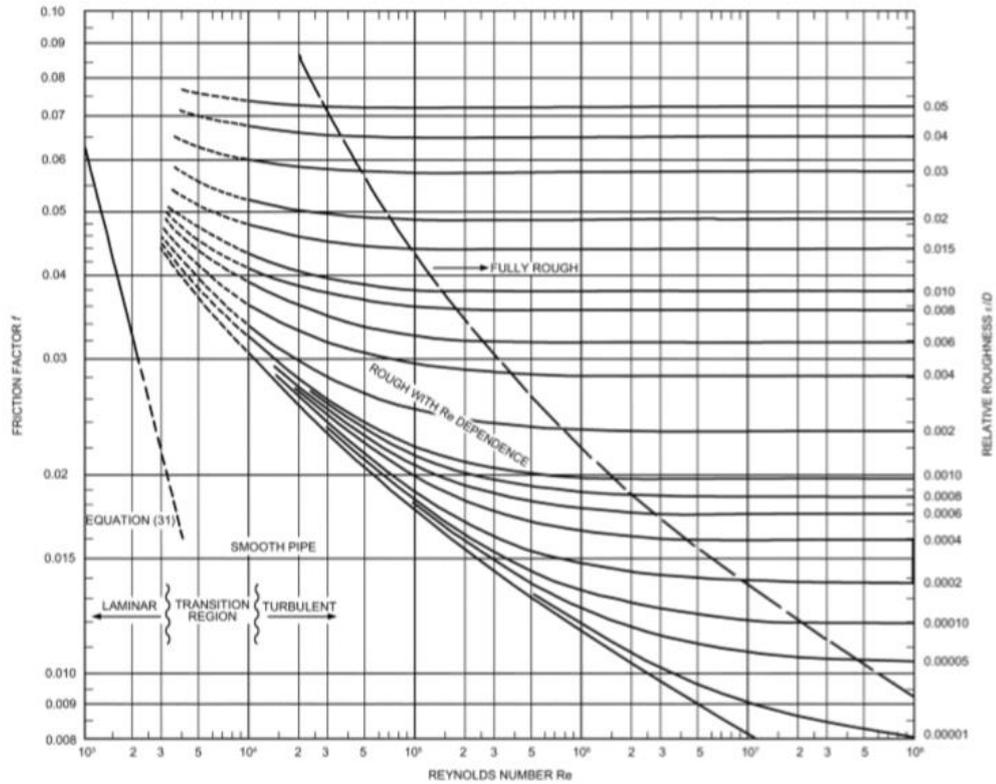


Figura 2.3. Diagrama de Moody (Ref. 4).

El coeficiente de pérdidas en accesorios depende del tipo de unión con las tuberías, ya sea soldada o atornillada, del diámetro de la tubería y de qué accesorio es el que origina esta caída de presión. En las tablas 2.16 y 2.17 se muestran los valores del coeficiente de pérdidas K para uniones atornilladas y soldadas.

Tabla 2.16. Factor K para accesorios con unión atornillada (Ref. 3).

Diámetro nominal, mm	codo 90° radio corto	codo 90° radio largo	codo 45°	Válvula T recta	Válvula T reductora	Válvula globo	Válvula compuerta	Válvula angular	Válvula check antiretorno
10	2.5	-----	0.38	0.9	2.7	20	0.4	-----	8
15	2.1	-----	0.37	0.9	2.4	14	0.33	-----	5.5
20	1.7	0.92	0.35	0.9	2.1	10	0.28	6.1	3.7
25	1.5	0.78	0.34	0.9	1.8	9	0.24	4.6	3
32	1.3	0.65	0.33	0.9	1.7	8.5	0.22	3.6	2.7
40	1.2	0.54	0.32	0.9	1.6	8	0.19	2.9	2.5
50	1	0.42	0.31	0.9	1.4	7	0.17	2.1	2.3
65	0.85	0.35	0.3	0.9	1.3	6.5	0.16	1.6	2.2
80	0.8	0.31	0.29	0.9	1.2	6	0.14	1.3	2.1
100	0.7	0.24	0.28	0.9	1.1	5.7	0.12	1	2

Tabla 2.17. Factor K para accesorios con unión soldada (Ref. 3).

Diámetro nominal, mm	codo 90° radio corto	codo 90° radio largo	codo 45°	Válvula T recta	Válvula T reductora	Válvula globo	Válvula compuerta	Válvula angular	Válvula check antiretorno
25	0.43	0.41	0.22	0.26	1	13	-----	4.8	2
32	0.41	0.37	0.22	0.25	0.95	12	-----	3.7	2
40	0.4	0.35	0.21	0.23	0.9	10	-----	3	2
50	0.38	0.3	0.2	0.2	0.84	9	0.34	2.5	2
65	0.35	0.28	0.19	0.18	0.79	8	0.27	2.3	2
80	0.34	0.25	0.18	0.17	0.76	7	0.22	2.2	2
100	0.31	0.22	0.18	0.15	0.7	6.5	0.16	2.1	2
150	0.29	0.18	0.17	0.12	0.62	6	0.1	2.1	2
200	0.27	0.16	0.17	0.1	0.58	5.7	0.08	2.1	2
250	0.25	0.14	0.16	0.09	0.53	5.7	0.06	2.1	2
300	0.24	0.13	0.16	0.08	0.5	5.7	0.05	2.1	2

El esquema de distribución de las bombas se muestra en la figura 2.4, ahí se puede observar la bomba de alimentación del equipo de producción de agua caliente, la bomba de distribución hacia los puntos de demanda y la bomba de retorno hacia el tanque de almacenamiento.

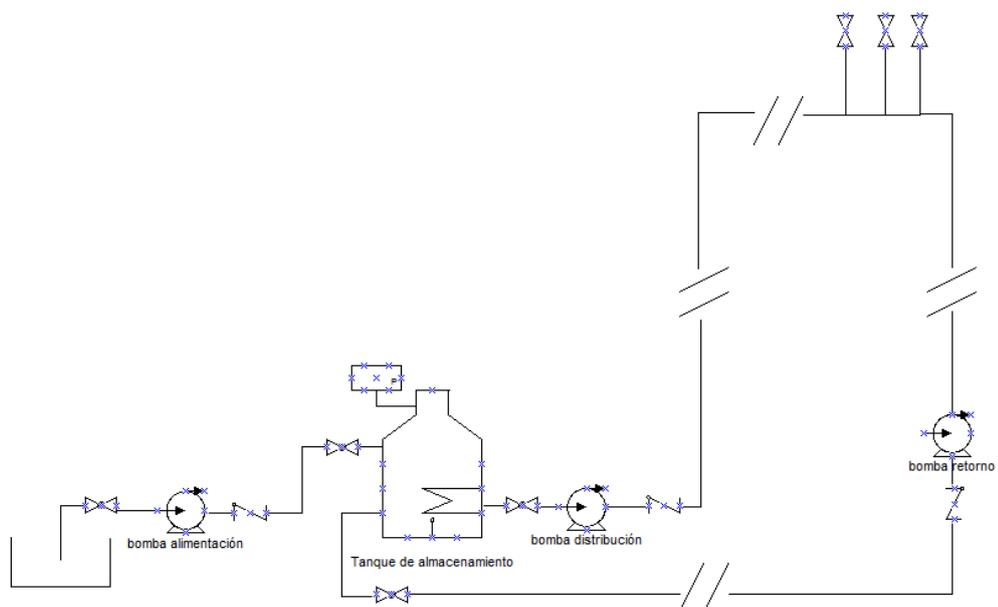


Figura 2.4. Esquema de distribución de agua. (Elaboración propia)

## a) Bomba de alimentación

Utilizando las ecuaciones 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10 se puede obtener la altura manométrica y la potencia de la bomba que alimentará el equipo de producción de agua caliente en donde se almacenará el agua caliente hasta que sea demandada.

Las propiedades del agua se tomarán a la temperatura promedio de 15 °C y a la presión de 100 kPa y se muestran en la tabla 2.18.

Tabla 2.18. Propiedades del agua a 15°C.

a 15°C	
Densidad	999.1 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática	1.14E-06 m <sup>2</sup> /s

Elaboración propia

Para calcular las pérdidas por fricción se utilizará la ecuación 2.9 utilizando los datos mostrados en la tabla 2.19. El factor de fricción se obtiene del Diagrama de Moody mostrado en la figura 2.3. Reemplazando los valores se obtiene una altura de 1.44 m.

Tabla 2.19. Cálculo de altura de pérdidas por fricción.

Velocidad	2.04 m/s
Diámetro	0.025 m
Rugosidad ( $\epsilon$ )	0.152 mm
Caudal	0.001 m <sup>3</sup> /s
Reynolds	4.47E+04
$\epsilon/D$	0.00608
Factor fricción (f)	0.034
Longitud tubería	5 m

H tubería	1.44 m
-----------	--------

Elaboración propia

Para calcular las pérdidas de presión en los accesorios se utilizará la ecuación 2.10, la velocidad es la misma que se usa para el cálculo de las pérdidas en las tuberías y el factor K se obtiene de la tabla 2.17. Reemplazando los valores mostrados en la tabla 2.20 se obtiene una altura de pérdidas de 6.32 m.

Tabla 2.20. Altura de pérdidas en accesorios.

Accesorio	K	Cant
codo 90°	0.43	3
T recta	0.26	2
T reductora	1	0
Válvula globo	13	2
Válvula compuerta	0	0
Válvula check antiretorno	2	1

K total	29.81 m
---------	---------

H accesorios	6.32 m
--------------	--------

Elaboración propia

Con los dos valores de las pérdidas por fricción obtenidos se puede utilizar la ecuación 2.8 para obtener la altura manométrica que debe tener la bomba de alimentación y utilizando la ecuación 2.7 se obtiene la potencia que se le debe suministrar a la bomba. Los valores usados para las alturas y las presiones iniciales y finales se muestran en la tabla 2.21, se obtuvo una altura de 16 m y una potencia de 0.21 HP.

Tabla 2.21. Altura manométrica y potencia en la bomba de alimentación.

Altura inicial (z1)	0 m
Altura final (z2)	3 m
Presión inicial (P1)	100000 Pa
Presión final (P2)	150000 Pa

H total	16.08 m
Potencia	157.81 W
	0.21 HP

Elaboración propia

#### b) Bomba de distribución y bomba de retorno

Siguiendo el procedimiento antes descrito se pueden obtener la altura manométrica y la potencia para las bombas de distribución y de retorno. Los resultados se muestran en la tabla 2.22; los valores obtenidos en cada paso intermedio se muestran en el anexo 3.

Tabla 2.22. Altura manométrica y potencia en las bombas.

Bomba	Hman (m)	Potencia (HP)
Alimentación	16	0.21
Distribución	50	4
Retorno	10	0.13

Elaboración propia

#### 2.2.2.4. Vaso de expansión

Un vaso de expansión es un dispositivo de seguridad que se instala en sistemas de distribución de agua caliente para regular los aumentos o disminuciones de presión que ocurren cuando varía la temperatura del fluido circulante. Como se sabe el fluido tiende a expandirse (aumentar su volumen) cuando la temperatura varía, por ello con la instalación de los vasos de expansión se busca compensar este aumento en el volumen manteniendo la presión en valores seguros para la instalación.

Un vaso de expansión consta de un recipiente hermético de acero con dos compartimentos separados por una membrana elástica. En uno de ellos existe aire o gas a presión y en el otro está el agua del circuito. El funcionamiento es sencillo, la cámara que contiene el gas a presión actúa como elemento elástico absorbiendo las variaciones de volumen experimentadas por el circuito de agua caliente que llega al otro compartimento.

Para su cálculo se considera el coeficiente de dilatación del agua, el cual toma distintos valores en función de la temperatura a la que se encuentra el fluido. En la tabla 2.23 se muestran los valores del coeficiente para distintas temperaturas.

Tabla 2.23. Coeficiente dilatación del agua (Ref. 12).

T(°C)	Fd
10	0.0004
20	0.0018
30	0.0044
40	0.0079
50	0.0121
60	0.0171
70	0.0228

Cuando el agua está fría, el vaso se encuentra a la presión mínima de trabajo y el gas ocupa todo el volumen. A medida que la temperatura aumenta, el agua empieza a llenar el vaso con lo cual el gas se comprime y aumenta la presión. Cuando se alcanza la temperatura de servicio el agua ocupará toda la capacidad del vaso y el gas equilibrará con la máxima presión de servicio.

Cuando el gas ejerce la presión mínima,  $P_{min}$ , ocupa todo el volumen del vaso,  $V_v$ ; mientras que cuando ejerce la presión máxima,  $P_{max}$ , ocupa el volumen  $V_v - \Delta V$ , donde:

$$\Delta V = F_d * V_i \dots\dots\dots (2.11)$$

Donde,  $\Delta V$ : Volumen de expansión experimentado por el agua en litros.

$F_d$ : Coeficiente de dilatación del agua.

$V_i$ : volumen inicial ocupado por el agua en litros.

Si consideramos el incremento de presión del sistema proporcional al incremento de temperatura, se puede escribir:

$$\frac{V_f}{V_f - \Delta V} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{i}n}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde,  $P_{max}$ : presión absoluta a la temperatura máxima en kPa.

$P_{min}$ : presión absoluta a la temperatura mínima en kPa.

$V_f$ : volumen del vaso en litros.

Combinando las ecuaciones 2.11 y 2.12 se puede obtener una expresión para calcular el volumen del vaso en litros.

$$V_f = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}} * F_d * V_i \dots\dots\dots (2.13)$$

Considerando los datos para este proyecto se puede obtener el volumen del vaso de

expansión necesario. Para obtener el coeficiente de dilatación se trabajará con la temperatura máxima del agua y las presiones a utilizar son la máxima y mínima permisibles para el sistema de distribución. Como se puede observar en la tabla 2.24 se necesita un vaso de expansión con un volumen de 96 litros lo que equivale a 0.096 m<sup>3</sup>.

Tabla 2.24. Volumen de vaso de expansión.

Presión máx (kPa)	500
Presión min (kPa)	120
Temperatura máx (°C)	50
Temperatura min (°C)	10
Fd	0.0121
Vi (litros)	6000
Vf (litros)	96

Elaboración propia

### 2.2.3. Diseño mecánico

#### 2.2.3.1. Espesor de tubería

Para calcular el espesor de las tuberías se utilizará la norma ASME B31.9 Building Services Piping (Ref. 5). Esta norma nos da la expresión para determinar el espesor teniendo en cuenta la presión de la tubería, el diámetro y el esfuerzo permisible; los cuales se relacionan usando la ecuación 2.11.

$$t_m = \frac{pD}{2S_E} + A \dots\dots\dots (2.14)$$

Donde, p: presión interna en kPa.

D: diámetro exterior de la tubería en mm.

S<sub>E</sub>: esfuerzo permisible extraído de la tabla 2.4 en kPa (S<sub>E</sub> = 62 MPa).

t<sub>m</sub>: mínimo espesor requerido en mm.

A: espesor de corrosión y debido a proceso de fabricación en mm (este valor equivale al 12.5% del espesor de la tubería).

Con la ecuación 2.14 y los diámetros obtenidos para cada una de las tuberías del sistema se puede calcular el espesor mínimo necesario. Los resultados se muestran en la tabla 2.25 para las tuberías de cada piso así como la tubería de distribución y retorno.

Tabla 2.25. Espesor de tuberías.

Tubería	Diámetro (mm)	S <sub>E</sub> (MPa)	p (Mpa)	t (mm)	A (mm)
Piso 12	50	62	0.451	0.208	0.026
Piso 9,10,11,13	50	62	0.451	0.208	0.026
Piso 5,6,7,8	65	62	0.451	0.270	0.034
Piso 4	65	62	0.451	0.270	0.034
Piso 3	50	62	0.451	0.208	0.026
Piso 2	65	62	0.451	0.270	0.034
Piso 1	32	62	0.451	0.133	0.017
Sótano	50	62	0.451	0.208	0.026
Retorno	25	62	0.098	0.023	0.003
Distribución	65	62	0.451	0.270	0.034
Alimentación	25	62	0.157	0.036	0.005

Elaboración propia

### 2.2.3.2. Sistema de apoyos

Para obtener la distancia que debe existir entre los apoyos de las tuberías se van a utilizar los conceptos explicados el curso del diplomado de piping dictado por la PUCP en el ciclo 2015-1 (Ref. 7). En este cálculo, se analizarán las tuberías de alimentación, distribución (general y por pisos), y retorno.

Los soportes a utilizar serán del tipo rígidos y se buscará que sean anti vibratorios, es decir que aíslen el sistema de tuberías de los ruidos y de las vibraciones que se producen durante la circulación del agua. Además, se colocarán algunos apoyos antisísmicos para garantizar que el sistema no fallará debido a las vibraciones producidas por algún evento sísmico.

Para obtener el espaciamiento de los apoyos se va a utilizar la ecuación 2.15, la cual utiliza la ecuación de la elástica para relacionar la longitud entre los apoyos con la deflexión máxima permisible.

$$L = \sqrt[3]{\frac{384 * E * I * d f}{5 * w}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Donde, L: longitud entre apoyos en mm.

E: módulo de elasticidad en MPa ( $E = 1.17 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ ).

I: Momento de inercia de la sección en  $\text{mm}^4$ .

df: deflexión en mm (la deflexión admisible según norma es de 1 mm).

w: peso total distribuido del tubo + líquido + aislamiento en N/mm.

Utilizando la ecuación 2.15 se puede obtener el espaciamiento necesario entre los apoyos de las tuberías de alimentación, distribución y retorno. Los resultados se muestran en la tabla 2.26. Con estos resultados se puede aproximar la cantidad de apoyos necesarios para el sistema de distribución del presente proyecto conociendo las longitudes aproximadas de los tramos de alimentación, distribución y retorno.

Tabla 2.26. Longitud entre apoyos y número de apoyos.

Tubería	D (mm)	espesor (mm)	E (N/mm <sup>2</sup> )	f (mm)	w (N/mm)	L (mm)	L tubería (m)	# apoyos
Retorno	25	1.27	117000	1	0.560	572.24	50	87
Distribución	65	2.03	117000	1	0.075	2210.07	45	20
Alimentación	25	1.27	117000	1	0.560	572.24	5	9
Piso 12	50	2.160	117000	1	0.560	1105.41	30	27
Piso 9,10,11,12	50	2.160	117000	1	0.560	1105.41	30	27
Piso 5,6,7,8	65	2.030	117000	1	0.560	1337.15	30	22
Piso 4	65	2.030	117000	1	0.560	1337.15	30	22
Piso 3	50	2.160	117000	1	0.560	1105.41	30	27
Piso 2	65	2.030	117000	1	0.560	1337.15	30	22
Piso 1	32	1.070	117000	1	0.560	668.51	30	45
Sótano	50	2.160	117000	1	0.560	1105.41	30	27

Elaboración propia

De la tabla 2.26 se obtiene el número de apoyos necesarios para cada tramo de tubería, cabe resaltar que de estos apoyos algunos serán anti vibratorias y otros, antisísmicos. Esto es para que el sistema de distribución trabaje de manera segura sin producir ruidos molestos ni presentar fallas por vibraciones. En el caso de las tuberías verticales el espaciamiento es el necesario para garantizar que el sistema tendrá estabilidad, pues los esfuerzos de pandeo son pequeños.

### 2.2.3.3. Efecto de la presión hidrostática y la temperatura

Para analizar el efecto de la presión en la tubería y del cambio de temperatura que sufre la misma se debe considerar el efecto combinado de los esfuerzos producidos y realizar una verificación por resistencia mecánica teniendo en cuenta el esfuerzo admisible recomendado en la norma ASME B31.9.

Para verificar la tubería por resistencia se utilizarán los conceptos de recipientes de pared delgada y la fórmula de Von Mises, extraídas del libro Mecánica de materiales (Ref. 8), para obtener el esfuerzo equivalente. Las figuras 2.6 y 2.7 muestran los esfuerzos que se producen debido a la presión interna en las direcciones mostradas, cuyos valores se pueden obtener utilizando las ecuaciones 2.16 y 2.17.

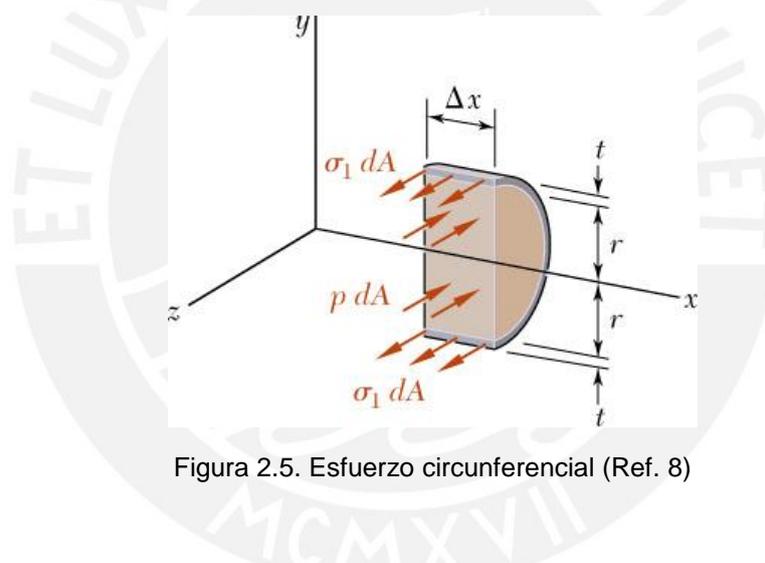


Figura 2.5. Esfuerzo circunferencial (Ref. 8)

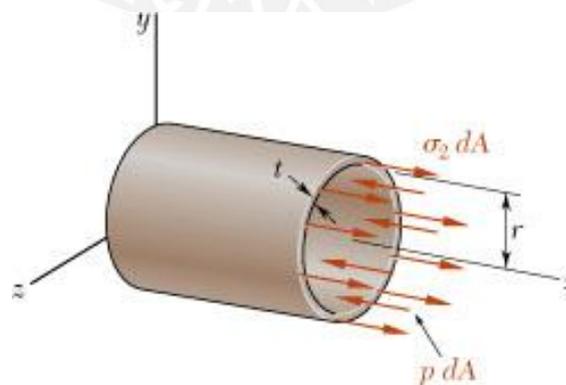


Figura 2.6. Esfuerzo longitudinal (Ref. 8)

$$\sigma_1 = \frac{pD}{2t} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\sigma_2 = \frac{pD}{4t} \dots\dots\dots(2.17)$$

Donde,  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ : esfuerzos producidos por la presión interna en MPa.

p: presión dentro del recipiente en MPa.

D: diámetro de la tubería en mm.

t: espesor de la tubería en mm.

Además de esos esfuerzos existe el esfuerzo debido al aumento en la temperatura dentro de las tuberías con lo cual se produce un esfuerzo que depende de la constante de elasticidad del material (en este caso cobre) y de su coeficiente de dilatación térmica según se muestra en la ecuación 2.18.

$$\sigma_{temp} = E * \alpha * \Delta T \dots\dots\dots(2.18)$$

Donde,  $\sigma_{temp}$ : esfuerzo debido al cambio de temperatura en MPa.

E: módulo de elasticidad del cobre ( $E = 1.17 \times 10^5$  MPa).

$\alpha$ : coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha = 1.7 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$\Delta T$ : variación de temperatura entre el agua caliente y la temperatura ambiente ( $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ ).

Utilizando la expresión de Von Mises que se muestra reducida para este caso en la ecuación 2.19 se puede obtener el esfuerzo equivalente, el cual debe ser menor que el esfuerzo admisible que viene a ser igual a la cuarta parte del esfuerzo de fluencia cuyo valor es 248 MPa según la norma ASME B31.9 (Ref. 5).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_{temp})^2 + (\sigma_z + \sigma_{temp})^2 - (\sigma_x + \sigma_{temp})(\sigma_z + \sigma_{temp})} \dots\dots\dots(2.19)$$

Utilizando las ecuaciones 2.16, 2.17, 2.18 y 2.19 se pueden verificar por resistencia los distintos tramos del sistema de tuberías. Los resultados se muestran en la tabla 2.27.

Tabla 2.27. Verificación de las tuberías por resistencia.

Tubería	Diámetro (mm)	t (mm)	$\rho$ (Mpa)	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	$\sigma_{temp}$ (MPa)	$\sigma_{eq}$ (MPa)	Verificación (menor a 62 MPa)
Piso 12	50	2.160	0.451	5.22	2.61	49.73	53.69	OK
Piso 9,10,11,12	50	2.160	0.451	5.22	2.61	49.73	53.69	OK
Piso 5,6,7,8	65	2.030	0.451	7.22	3.61	49.73	55.23	OK
Piso 4	65	2.030	0.451	7.22	3.61	49.73	55.23	OK
Piso 3	50	2.160	0.451	5.22	2.61	49.73	53.69	OK
Piso 2	65	2.030	0.451	7.22	3.61	49.73	55.23	OK
Piso 1	32	1.070	0.451	6.74	3.37	49.73	54.86	OK
Sótano	50	2.160	0.451	5.22	2.61	49.73	53.69	OK
Retorno	25	1.270	0.098	0.96	0.48	49.73	50.45	OK
Distribución	65	2.030	0.451	7.22	3.61	49.73	55.23	OK
Alimentación	25	1.270	0.157	1.55	0.77	49.73	50.89	OK

Elaboración propia

#### 2.2.3.4. Flexibilidad y carga sísmica

El análisis de flexibilidad para el sistema de tuberías del presente proyecto no es necesario pues la temperatura a la cual circula el agua (50 °C) es baja y no produce deformaciones considerables. Además, las tuberías de los pisos del hotel se encuentran enterradas por lo cual el análisis de flexibilidad únicamente se debería realizar a las tuberías de alimentación, distribución y retorno. Como se mencionó anteriormente la temperatura no es muy elevada y al ser estas tuberías de tramos predominantemente verticales el análisis de flexibilidad no es necesario según la norma.

Existen dos tipos de cargas que ocurren de manera ocasional: la carga de aire y la carga sísmica. Por tratarse de un hotel cerrado la carga del aire no se considera en el diseño, pero la carga sísmica sí se debe considerar según la norma ASCE 7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (Ref. 9). Esta norma dice que la carga debida a una acción sísmica es proporcional al peso y va en la misma dirección del mismo. Para el caso de tuberías el factor que multiplica el peso es de 1.5 y se considerará únicamente en tramos de tuberías horizontales. Debido a que el peso de las tuberías horizontales es pequeño y los apoyos se ubican espaciados según las normas de

seguridad establecidas en el código ASME no es necesario realizar el cálculo antisísmico. En cambio los tramos de tuberías verticales (alimentación, distribución y retorno) se ven afectados por esta carga pudiendo producirse fallas por pandeo o abollamiento. Como los esfuerzos de pandeo son relativamente pequeños no es necesario realizar el cálculo sísmico al sistema de tuberías, simplemente se debe colocar soportes antisísmicos para garantizar que el sistema trabaje de manera confiable.

### 2.3. Selección de equipos

#### 2.3.1. Equipos hidráulicos

##### 2.3.1.1. Bombas

Se necesitan seleccionar tres bombas con distintos caudales y distintas alturas manométricas; una para la alimentación del equipo de producción de agua caliente, otra para la distribución de agua y la última para el sistema de retorno. Para la bomba de distribución se utilizará la del tipo hidroneumático pues con este tipo de bombas se garantiza que la presión sea constante en todo el sistema de distribución, en los demás casos las electrobombas de tipo centrífugas cumplen con la tarea de manera eficiente pues la presión no es una variable determinante en el caso de la bomba de alimentación y de la bomba de retorno.

#### *Bombas de alimentación de equipo de producción de agua caliente y de retorno*

Para la selección de estas bombas se va a tener en cuenta el caudal a bombear y la altura que la bomba debe vencer. En el caso de la bomba de alimentación el caudal y la altura manométrica son 1 l/s y 16 m, respectivamente; y para la bomba de retorno son 1 l/s y 10 m.

Las bombas a seleccionar son de la marca Hidrostal, del tipo electrobomba centrífuga monoblock serie A. Este tipo de bombas son compactas y robustas con un bajo nivel de ruido y fácil mantenimiento, especialmente diseñadas para el suministro de agua en viviendas y edificios.

Los detalles constructivos de esta bomba son las siguientes:

- Motor eléctrico monofásico abierto para suministro eléctrico de 220 V/110 V, 60 Hz, 3460 rpm; protegido contra sobrecargas por un protector térmico.

Rodamientos sellados y prelubricados, eje de acero inoxidable AISI 420, no requiere mantenimiento.

- Caja de la bomba de hierro fundido, probada hidrostáticamente.
- Impulsor tipo centrífugo, fabricado en acero inoxidable con alta resistencia a la corrosión y al desgaste. Balanceado estática y dinámicamente, diseñado para una máxima eficiencia.
- Sello mecánico marca John Crane Tipo 6, permite operaciones en condiciones severas hasta 90°C y 75 PSI. No requiere ajuste ni mantenimiento.

Las curvas de funcionamiento de las bombas de este tipo se muestran en la figura 2.8.

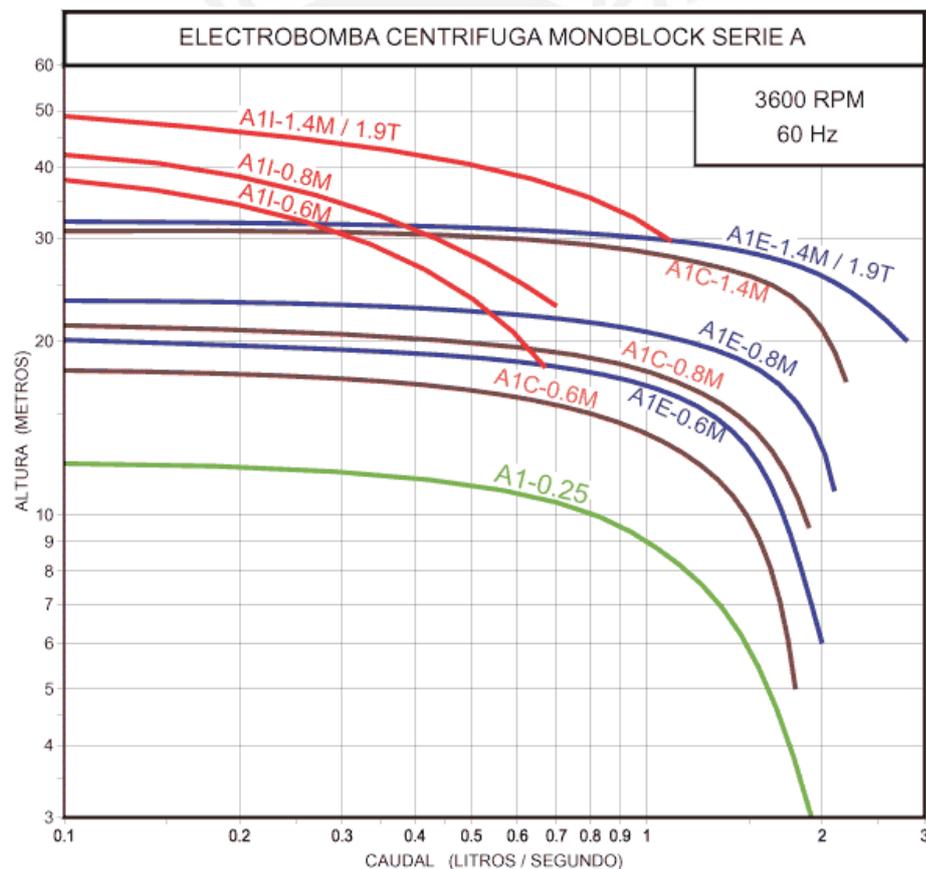


Figura 2.7. Curva electrobomba centrífuga (Ref. 10).

De las curvas de funcionamiento de la electrobomba centrífuga para un caudal de 1 l/s y para una altura de 10 y 16 metros el modelo de la bomba a elegir es el A1C-0.6M. Las dimensiones de este modelo son 335 mm de ancho y 200 mm de altura con un peso de 16 kg. El motor eléctrico es de tipo NEMA C56 con una potencia de 0.6 HP. Los

diámetros de la tubería de succión y de descarga son de 1" y la unión con el sistema de tuberías se realizará mediante bridas.

#### *Bomba de distribución*

Para la selección de estas bombas se va a tener en cuenta el caudal a bombear y la altura que la bomba debe vencer los cuales son 7 l/s y 50 m, respectivamente. La bomba a seleccionar es de la marca Hidrostral del tipo hidroneumática con un tanque marca Champion. El equipo hidroneumático con membrana es el sistema con suministro de agua más moderno e higiénico, obteniendo una buena presión regulable en todos los servicios y calentadores. Se evita además una costosa instalación de tanques altos con eventuales refuerzos en la construcción y tuberías de subida y bajada. El agua nunca está en contacto con el tanque metálico, sólo con la membrana vinílica, la cual no imparte sabor ni olor al agua. El tanque se mantiene siempre bajo presión dando más vida a la bomba y una operación absolutamente confiable. Ocupan menos de la mitad del volumen del tanque convencional a igualdad de servicio.

El funcionamiento de este tipo de bombas permite obtener una presión constante y predeterminada. El tanque consta de dos cámaras separadas por un diafragma, la primera almacena el aire a presión mientras que la otra es la cámara de agua. Ésta última retiene el agua durante los ciclos de trabajo de la bomba. Cuando se abre algún punto de consumo el aire presiona el diafragma y libera el agua a la presión predeterminada. Con el tanque Champion el aire no entra en contacto directo con el agua lo que evita la inundación total del tanque y previene la corrosión de las paredes.

Para la selección del equipo hidroneumático se deben tener en cuenta la cantidad de puntos de consumo del hotel y se asigna valores a cada uno de estos. Con la suma de estos valores y la cantidad de pisos se puede seleccionar el equipo adecuado. Para el caso de este proyecto se tienen 12 pisos y un total de 780 valores de acuerdo a los puntos de consumo, por lo cual como se puede observar en la figura 2.9 el equipo seleccionado sería el 3M 1B CH-119 MULTI V-1804-10.0 T; lo cual significa que el equipo tiene 3 tanques, 1 bomba, el modelo de los tanques es CH-119, el modelo de la bomba es MULTI V 1804, la potencia del motor es de 10 HP y es trifásico. El caudal del equipo seleccionado es ligeramente menor, pero si cumple con lo requerido en el proyecto; la altura de la bomba representa una presión de 485 kPa lo cual si es entregado por el equipo seleccionado. La tubería que sale del equipo 2 ½" y se acopla al sistema de tuberías mediante una unión flexible.

VALORES	Q [l/s]	NUMERO DE PISOS												TUBERIA QUE SALE DEL EQUIPO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
20	0.54	1M 1B CH20 A1I - 0.6 M		1M 1B CH-32 A1I - 1.4 M				1M 1B CH-62 MULTI H-204 - 1.5 M / T				3/4"		
30	0.68	1M 1B CH-32 A1I - 0.8 M		1M 1B CH-32 MULTI H-202 - 0.75 M / T				1M 1B CH-86 MULTI H-404 - 2.0 M / T				1"		
40	0.85	1M 1B CH-32 MULTI H-203 - 1.0 M / T		1M 1B CH-62 MULTI H-402 - 1.0 M / T				1M 1B CH-119 MULTI H-405 - 2.5 M / T						
50	1.16	1M 1B CH-62 MULTI H-403 - 1.5 M / T		2M 1B CH-119 MULTI H-804 - 3.3 T				2M 1B CH-86 MULTI H-803 - 2.5 T				1.1/4"		
60	1.25	2M 1B CH-62 MULTI H-802 - 2.0 M / T		2M 1B CH-119 C1.1/2 x 2 - 5.7 T				2M 1B CH-119 MULTI H-804 - 3.3 T						
70	1.34	2M 1B CH-119 B1.1/2 x 2 - 3.4 T		3M 1B CH-119 B1.1/2 x 2 - 5.7 T				3M 1B CH-119 C1.1/2 x 2 - 8.6 T				1.1/2"		
80	1.45	3M 1B CH-119 C1.1/2 x 2 - 8.6 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						
100	1.67	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				2"		
120	1.83	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						
150	2	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				2"		
200	2.45	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						
240	2.75	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				2"		
280	3.07	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						
320	3.37	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				2"		
400	3.97	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						
600	5.34	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				2.1/2"		
800	6.6	3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T		3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T				3M 1B CH-119 MULTI V-1804 - 10.0 T						

Figura 2.8. Tabla de selección equipo hidroneumático (Ref. 10).

### 2.3.1.2. Tuberías y accesorios

Las tuberías y los accesorios son de cobre, pues es el material que funciona mejor para este tipo de sistemas de distribución de agua caliente lo cual se explicó en el acápite 2.2.2.1 del presente documento. La norma ASTM B88 es la que regula la fabricación de tubos de cobre, y las normas ANSI B16.22 y ANSI B16.18 regulan la fabricación de accesorios tales como codos, adaptadores, uniones, tees, curvas de retorno, tapones hembra y reducciones.

Las tuberías y los accesorios son fabricados y distribuidos por la empresa Eberhardt, la cual distribuye tuberías de cobre del tipo K, L y M según la norma ASTM B88 y conexiones soldables para tubos K, L y M según la norma ANSI B16.22 y ANSI B16.18. Las tuberías son fabricadas sin costuras, de temple duro, soldables y vienen en

presentación de 6 metros. En la tabla 2.28 se muestran las tuberías disponibles de los tres tipos antes mencionados con los datos de diámetro nominal, diámetro exterior, espesor de pared, presión admisible y peso; y en la tabla 2.29 se muestran los accesorios disponibles de acuerdo al diámetro nominal de la tubería. Estos datos fueron extraídos del catálogo virtual de la empresa Eberhardt (Ref. 11).

Tabla 2.28. Tamaño de tuberías disponibles (Ref. 11).

DN (pulg)	DE (pulg)	K			L			M		
		Esp (mm)	P (kPa)	W (kg/m)	Esp (mm)	P (kPa)	W (kg/m)	Esp (mm)	P (kPa)	W (kg/m)
1/4"	3/8"	0.89	8337	0.22	0.76	7048	0.19			
3/8"	1/2"	1.24	8723	0.40	0.89	6139	0.30			
1/2"	5/8"	1.24	6856	0.51	1.02	5602	0.42	0.71	3824	0.30
3/4"	7/8"	1.65	6463	0.95	1.14	4423	0.67	0.81	3038	0.49
1"	1 1/8"	1.65	4995	1.25	1.27	3810	0.97	0.89	2646	0.69
1 1/4"	1 3/8"	1.65	4017	1.55	1.40	3424	1.31	1.07	2549	1.01
1 1/2"	1 5/8"	1.83	3721	2.02	1.52	3135	1.69	1.24	2549	1.40
2"	2 1/8"	2.11	3328	3.06	1.78	2804	2.60	1.47	2253	2.16
2 1/2"	2 5/8"	2.41	3038	4.36	2.03	2584	3.69			
3"	3 1/8"	2.77	2942	5.95	2.29	2439	4.94			
4"	4 1/8"	3.40	2742	9.69	2.79	2253	7.96			

Tabla 2.29. Accesorios disponibles según el diámetro nominal (Ref. 11).

<b>CODOS</b>			
Desde 1/4" hasta 4"			
x 90°	x45°	Rosca ext	Rosca int
<b>ADAPTADORES</b>			
Desde 1/4" hasta 4"			
Rosca exterior	Rosca interior		
<b>UNIONES</b>			
Desde 1/4" hasta 4"			
Simple	Universales		
<b>TEES</b>			
Desde 1/4" hasta 4"			
<b>TAPONES HEMBRA</b>			
Desde 1/4" hasta 4"			
<b>CURVAS DE RETORNO</b>			
Desde 1/4" hasta 2"			

Tabla 2.29. Accesorios disponibles según el diámetro nominal (Ref. 11, continuación).

REDUCCIONES			
Desde 3/8" x 1/4" hasta 6" x 4"			
3/8" x 1/4"		2" x 1"	
1/2" x 3/8"			1 1/4"
3/4" x 3/8"			1 1/2"
	1/2"	2 1/2" x 1"	
1" x 1/2"			1 1/4"
	3/4"		1 1/2"
1 1/4" x 1/2"			2"
	3/4"	3" x 1 1/4"	
	1"		1 1/2"
1 1/2" x 1/2"			2"
	3/4"		2 1/2"
	1"	4" x 2"	
	1 1/4"		2 1/2"
2" x 1/2"			3"
	3/4"		

De acuerdo a los cálculos realizados en lo que respecta al tamaño de las tuberías necesario, se puede escoger la tubería disponible en el mercado que cumpla con tener el diámetro nominal y el espesor de pared necesarios para cada tramo del sistema de distribución de agua caliente. Estos resultados y la selección se muestran en la tabla 2.30.

Tabla 2.30. Tuberías seleccionadas por tramo.

Tubería	Diámetro (mm)	t (mm)	Tubería seleccionada	
			Tipo	DN (pulg)
Piso 12	50	0.208	M	2"
Piso 9,10,11,13	50	0.208	M	2"
Piso 5,6,7,8	65	0.270	L	2 1/2"
Piso 4	65	0.270	L	2 1/2"
Piso 3	50	0.208	M	2"
Piso 2	65	0.270	L	2 1/2"
Piso 1	32	0.133	M	1 1/4"
Sótano	50	0.208	M	2"
Retorno	25	0.023	M	1"
Distribución	65	0.270	L	2 1/2"
Alimentación	25	0.036	M	1"

Elaboración propia

Los accesorios se elegirán de acuerdo al diámetro de las tuberías seleccionado y se unirán mediante soldadura cuyo proceso esta regularizado en la norma ASME B31.9 cuyos valores de presión permisible se muestran en la tabla 2.5 del presente documento.

### 2.3.1.3. Válvulas

Las válvulas que se necesitan para el sistema de distribución de agua caliente del presente proyecto son:

#### *Válvula globo*

La válvula globo es una válvula reguladora de caudal, cuyo funcionamiento se basa en el giro de una llave que asienta un elemento sobre una sección circular. A medida que el elemento de cierre se aproxima al asiento, la sección de paso se reduce y por lo tanto se disminuye el caudal y aumenta la pérdida de carga. La válvula de globo elegida se muestra en la figura 2.10, es de la marca Niagara y es distribuida en Perú por GeneraVapor (Ref.13). Sus características son:

- Válvula globo clase 200 fabricada en bronce con el asiento integrado al cuerpo.
- Conexión roscada.
- Presión de trabajo: 27.6 bar y temperatura de trabajo: 65 °C.
- Tamaños disponibles: 1/2" – 2 1/2".



Figura 2.9. Válvula de globo (Ref. 13).

### *Válvula de alivio*

La válvula de alivio o de seguridad está diseñada para aliviar la presión del fluido cuando ésta supera un límite permisible. Su función es evitar el fallo del sistema por un exceso en la presión del fluido circulante. También puede regularse de acuerdo a la temperatura, cuando la temperatura del fluido supere un límite permisible. La válvula de alivio elegida se muestra en la figura 2.11, es de la marca Spence Engineering y es distribuida en Perú por GeneraVapor (Ref. 13). Sus características son:

- Válvula de conexión roscada, cuerpo de bronce.
- Presiones de 5 a 250 PSI y temperaturas de -20 a 406 °F.
- Tamaños disponibles: 1" – 2 1/2".



Figura 2.10. Válvula de alivio o seguridad (Ref. 13).

### *Válvula check antirretorno*

La válvula check antirretorno es una válvula que controla que el fluido circule en una sola dirección, es decir que no retorne. Esta válvula se coloca después de bombas para evitar que en caso de que el sistema se apague el agua no regrese hacia la bomba a una presión elevada generando problemas en la bomba. La válvula check elegida se muestra en la figura 2.12, es de marca United Brass y es distribuida en Perú por GeneraVapor (Ref. 13). Sus características son:

- Válvula check horizontal MOD. 50T, cuerpo de bronce.
- Máxima presión de operación: 200 psig a 406 °F.
- Tamaños disponibles: 1/4" – 2 1/2".



Figura 2.11 . Válvula check antiretorno (Ref. 13).

### *Válvula reguladora de presión y temperatura*

Las válvulas reguladoras de presión y temperatura son válvulas de control cuya función es garantizar que la presión y la temperatura se encuentren dentro de rangos establecidos por el usuario. La válvula escogida se muestra en la figura 2.13, es de marca Spence Engineering y es distribuida en el Perú por GeneraVapor (Ref. 13). Sus características son:

- Válvula con dos pilotos: D y T14 marca Spence.
- Respuesta rápida y precisa, normalmente abierta y construcción sin empaques.
- Aplicable para fluidos, gases y vapor. Cuenta con un filtro incorporado.
- Fácil mantenimiento en línea, control de presión y temperatura con dos pilotos montados juntos en una misma válvula.
- Cuerpo de hierro fundido, hierro dúctil, acero o cobre.
- Rango de temperatura: 20 °F – 500 °F. Rango de presión: 3 psig – 300 psig.
- Tamaños disponibles: 1 1/2" hasta 12".



Figura 2.12. Válvula reguladora de presión y temperatura (Ref. 13).

#### 2.3.1.4. Vaso de expansión

Para seleccionar el vaso de expansión se debe tener en cuenta la capacidad del mismo la cual fue calculada anteriormente obteniéndose un valor de 100 litros. Dentro de los vasos que cumplen con esta capacidad existen dos tipos: de membrana fija y de membrana recambiable. La diferencia entre estos dos tipos es la forma de sujeción de la membrana, en el primero de ellos se encuentra fija al tanque y en el otro se puede retirar sin necesidad de desarmar toda la estructura por lo cual el mantenimiento se vuelve más fácil y económico. Los vasos de expansión con membrana recambiable son usados para grandes capacidades (desde 400 litros), pues al ser mayor el tamaño la membrana está sometida a mayores presiones y puede fallar fácilmente; para instalaciones pequeñas, como en el presente proyecto, es preferible usar vasos de expansión de membrana fija pues son más baratos y pueden trabajar de manera confiable para la capacidad del sistema de distribución.

El vaso de expansión elegido es de membrana fija de la marca VASOFLEX (Ref. 14) con una capacidad de 140 litros y una presión de trabajo de 6 bar. Sus características son las siguientes:

- Depósito cerrado de acero de alta calidad, pintado exteriormente y provisto de membrana elástica especial.
- Cámara de gas conteniendo nitrógeno a presión.
- Recubrimiento interior sintético anticorrosión.
- Instalación en circuito cerrado. Evita la entrada de aire en el interior de las tuberías y en consecuencia la corrosión de las mismas.
- Sustituye el depósito de expansión abierto, evitando la colocación de los conductos de seguridad hasta el punto más alto de la instalación.
- Elimina las pérdidas de agua por evaporación
- Facilidad de montaje.

El esquema de las dimensiones del vaso de expansión de 140 litros se muestra en la figura 2.14 y sus componentes principales se muestran en la figura 2.15. Las dimensiones del vaso son:

- Altura del vaso (A): 952 mm
- Diámetro del vaso (B): 484 mm
- Orificio de conexión (D): 1"

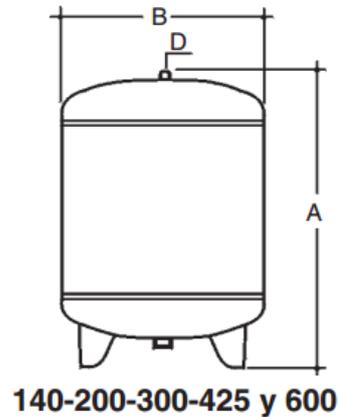


Figura 2.13. Dimensiones vaso de expansión VASOFLEX 140 (Ref. 14).

Los componentes principales del vaso son:

1. Cámara de nitrógeno
2. Cámara de expansión de agua
3. Orificio de conexión a la instalación
4. Membrana especial
5. Válvula llenado de gas precintada

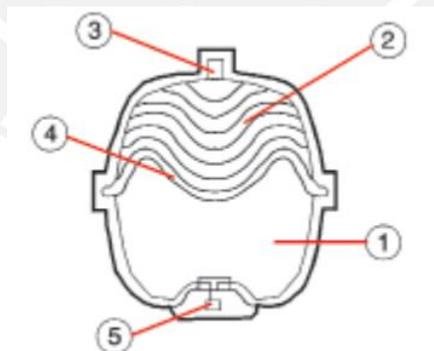


Figura 2.14. Componentes vaso de expansión VASOFLEX (Ref. 14).

El tanque de expansión es instalado en el circuito de retorno, en la entrada del agua al depósito acumulador de agua caliente sanitaria. Se puede montar con una válvula de aislamiento para poder ajustar la presión del aire o reemplazarlo sin necesidad de vaciar la instalación.

### 2.3.2. Equipos térmicos

#### 2.3.2.1. Caldera y tanque de almacenamiento

Para seleccionar la caldera se debe conocer la potencia necesaria así como el flujo de agua caliente que debe producir la caldera en un determinado tiempo. Este cálculo se realizó anteriormente y se concluyó que se necesita una caldera de 146 kW de potencia (lo que equivale a 195 HP) que tenga la capacidad de producir 3530 kg/h de agua caliente. Además es debe considerar la presión a la que se almacenará el agua caliente la cual es de 150 kPa, aproximadamente 30 psi.

La caldera a elegir será de la marca HURST, pues es una marca internacional reconocida que tiene distribuidor en Perú; además las calderas de esa marca tienen alta eficiencia, son económicas y de fácil mantenimiento. Dentro de las calderas disponibles en esta marca encontramos calderas horizontales de dos pasos, calderas horizontales de tres pasos y calderas verticales de dos pasos. Realizando una comparación entre las características de las calderas antes mencionadas en lo que respecta a su instalación y funcionamiento se pueden obtener las conclusiones mostradas en la tabla 2.31.

Tabla 2.31. Tabla comparativa calderas (Ref. 15).

	Scotch Marine Design Series 200	Firebox Design Series 45	Vertical Hibrid Firebox
Tipo	Horizontal	Horizontal	Vertical
Número de pasos	2	3	2
Tipo de combustible	gas natural, GLP, diesel	gas natural, GLP, diesel	sólidos
Potencia, BHP	200	207.5	200
Presión de trabajo, psi	30 hasta 300	30 - 60 - 100	15 - 30 - 60
Producción horaria, kg/h	3200	3300	no especifica
Mantenimiento	fácil	fácil	complicado
Consumo de combustible gas, CFH	8400	8715	no especifica
Consumo de combustible glp, GPH	91.8	93.5	no especifica
Consumo de combustible diesel, GPH	60	62	no especifica
Superficie de calentamiento, pie <sup>2</sup>	1000	960	no especifica
Tamaño tanque de almacenamiento, litros	5856	4300	4500
Costo de operación	bajo	bajo	bajo

De esta tabla se puede descartar la caldera de tipo vertical pues a pesar de que ocupa poco espacio, el tipo de combustible que utiliza hace que su eficiencia no sea la esperada. Además, el tamaño del tanque de almacenamiento de agua no es el que se necesita para este proyecto. Entre las calderas horizontales, la de dos pasos cumple con el requerimiento de potencia y con el de producción horaria de agua caliente; además el rango de presiones que soporta es el adecuado. La de tres pasos cumple con el de requerimiento de potencia y de presión, pero la producción horaria de agua caliente es ligeramente menor. La diferencia principal entre estas dos calderas está en la superficie total de transmisión de calor y en el tamaño del tanque de almacenamiento del agua. En lo que respecta a la superficie de transmisión total, en la de dos pasos es ligeramente mayor lo que hace que el consumo de combustible sea menor y la producción horaria sea mayor. Además la caldera de dos pasos tiene un tanque de almacenamiento de agua caliente de mayor tamaño lo cual garantiza un mejor funcionamiento del sistema de producción de agua caliente.

Realizando la comparación y analizando cada caldera se elige el modelo Scotch Marine Design Series 200, mostrado en la figura 2.16, pues además de cumplir con los requerimientos de producción de agua caliente, también cumple con el tamaño del tanque de almacenamiento de agua necesario para el correcto funcionamiento del sistema de distribución de agua.



Figura 2.15. Caldera Scotch Marine Design Series 200 (Ref. 15).

Las características principales de la caldera seleccionada son las siguientes:

- Diseño de caldera de dos pasos, los gases de combustión pasan por el interior de los tubos. Construido bajo la norma ASME, inspeccionado por National Board of Boilers and Pressure Vessel Inspectors.
- Gran cámara de combustión con bajas pérdidas de calor para combustión completa.
- Fácil acceso a los componentes lo que favorece el mantenimiento.
- Posee hand holes de 3" x 4" y man holes de 12" x 16" para la realización de inspecciones.
- Cuenta con el aislamiento adecuado, 2" lana mineral de alta densidad.
- Estructura con patas de acero y posee cáncamos soldados a la parte superior para su transporte. No requiere cimientos especiales.
- Presión de trabaja desde 30 hasta 300 psi.
- Tiene elementos de seguridad de acuerdo al código ASME: válvula de alivio, controlador de temperatura de operación, control de temperatura máxima con reinicio manual, válvula reguladora de presión y temperatura.
- El quemador trabaja con gas natural, GLP, diesel o con una combinación de gas/diesel.
- Tubería de distribución de agua de 8", tubería de retorno de 6" y tubería de purga de 2".

Para el correcto funcionamiento de la caldera se debe seleccionar un tanque de purga un tanque de ablandamiento, un vaso de expansión y un tanque de almacenamiento. El vaso de expansión fue seleccionado anteriormente y el tanque de almacenamiento será seleccionado en el siguiente acápite. El tanque de purga y el tanque de ablandamiento serán explicados y seleccionados en los párrafos siguientes.

El tanque de purga tiene la función de almacenar las impurezas químicas que posee el agua de alimentación, éstas impurezas se extraen con ayuda de la válvula de purga y luego pasan al tanque. Este proceso es necesario pues las impurezas que tiene el agua de alimentación producen problemas en el sistema de la caldera, tales como formación de incrustaciones, corrosión, metal agrietado y quebradizo, arrastre de sólidos y espuma. El proceso de selección del tanque de purga requerido para el sistema de distribución de agua caliente diseñado, mostrado en el anexo 4, es dado de acuerdo al fabricante considerando la presión de trabajo de la caldera, el número de calderas, el

tiempo de purga (el cual es un tiempo típico de purga de 10 segundos) y la longitud de la línea de purga (Ref. 18). Con los valores de trabajo de la caldera del presente proyecto y siguiendo las recomendaciones del fabricante el tanque elegido es de la marca Spirax Sarco y el modelo es BDV60/4 mostrado en la figura 2.17. Las características del tanque de purga son las siguientes:

- Diseñado bajo el código ASME VIII DIV 1 2004 + ADD 06.
- El material del tanque es acero al carbono.
- Las dimensiones del tanque son 1830 mm de altura y 660 mm de diámetro, con un peso de 185 kg.
- La capacidad de agua estacionaria del tanque es de 175 litros.
- Posee un cabezal de venteo modelo VH4.

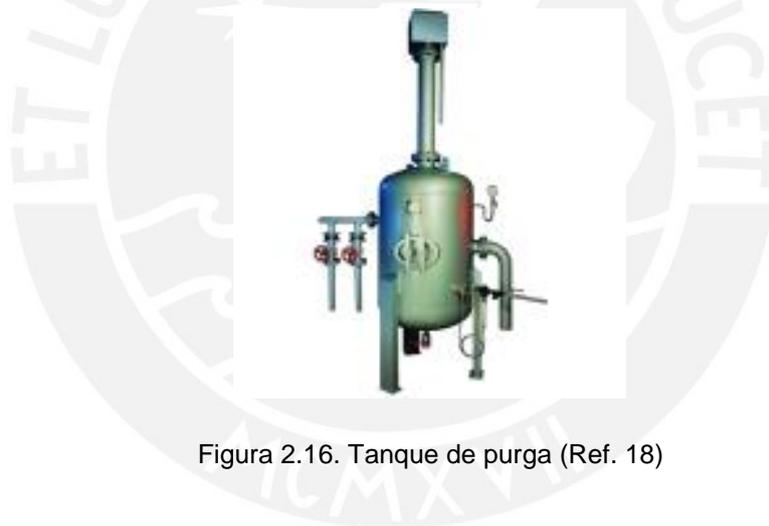


Figura 2.16. Tanque de purga (Ref. 18)

El tanque ablandador de agua tiene como función reducir el contenido de sales minerales del agua (magnesio y calcio). Los efectos perjudiciales de estas sales es que dañan las tuberías produciendo incrustaciones en las mismas y cambian algunas propiedades del agua, por ejemplo el agua que contiene muchas sales minerales no reacciona de manera óptima con el jabón lo cual evita que algunas cosas se enjuaguen o laven.

Un tanque ablandador consta de tres partes principales:

- Tanque de minerales, es donde ocurre el filtrado de agua y el agua dura es suavizada.

- Tanque de salmuera, es donde se almacena una solución altamente concentrada de sal o potasio.
- Válvula de control, controla el flujo de agua hacia cada uno de los tanques.

El proceso de ablandamiento de agua tiene tres ciclos:

- Contra – lavado, en este ciclo la válvula extrae el agua del tanque de minerales con lo cual saca los desechos del tanque.
- Recarga o regeneración, la solución concentrada de sal o potasio es bombeada al tanque de minerales con la finalidad de limpiar las impurezas que se encuentran en el filtro. Una vez hecho este proceso el agua se extrae por el desagüe.
- Enjuague, en este ciclo se realiza el enjuague del tanque de minerales para retirar los restos de sal que pueden quedar en él.

El tanque ablandador es seleccionado de acuerdo al caudal y a la cantidad de minerales presentes en el agua que entra y sale de la caldera. Este tanque ya viene junto con la caldera por lo cual no es necesario seleccionarlo ni calcularlo.

#### 2.3.2.2. Tanque de almacenamiento

Para seleccionar el tanque de almacenamiento se tiene en cuenta la capacidad de agua caliente que requiere el sistema la cual se calculó en el acápite 2.2.1 y su valor es de 5000 litros. El tanque de almacenamiento a elegir es de la marca Baxi distribuido por la empresa Salvador Escoda S.A.

Los tanques de acumulación de agua caliente vienen en acero inoxidable o esmaltados. Debido a que la capacidad del tanque necesaria es elevada se elige el tanque de acumulación de acero esmaltado pues su diseño favorece a mantener la temperatura del agua en el valor deseado y asegura una larga vida al depósito en aguas muy agresivas. La figura 2.18 muestra el depósito acumulador elegido cuyas características son:

- Acumulador de acero esmaltado protegido con ánodo de magnesio y de montaje vertical.
- Posee un serpentín interno de alto rendimiento, también de acero esmaltado que garantiza que la temperatura del agua se mantenga en el valor deseado.
- Opcionalmente se le puede colocar una resistencia eléctrica.

- Aislado con espuma de poliuretano de 50 a 100 mm según modelo.
- Presión máxima de trabajo de 8 bar y temperatura máxima de trabajo 95°C.



Figura 2.17. Tanque de almacenamiento de agua caliente (Ref. 16)

### 2.3.2.3. Aislante

El aislante térmico a elegir debe cumplir con los requerimientos según norma de ASHRAE los que se muestran en la tabla 2.3 del presente documento. En esta tabla se obtiene que el coeficiente térmico del aislante debe estar en 0.032 y 0.040 W/m-K, y el espesor del aislante debe ser de 1.3 cm para tuberías con diámetro menor o igual a 40 mm y 2.5 cm para tuberías con un diámetro mayor al indicado. En el sistema de distribución de agua caliente hay tuberías de distintos diámetros por lo cual el espesor del aislante necesario para cada caso es distinto lo que se muestra en la tabla 2.32.

Tabla 2.32. Espesor de aislante por tuberías.

Diámetro tubería (mm)	Espesor de aislante (mm)
25	13
32	13
50	25
62	25

Elaboración propia

El aislante elegido es distribuido por la empresa Salvador Escoda S.A. y viene en tres presentaciones: planchas, tubular flexible y tubular autoadhesiva. Debido a la facilidad de instalación y gracias a que los diámetros de las tuberías no son muy grandes, la presentación elegida para los aislantes es la de tubular flexible mostrada en la figura 2.19. En este tipo de presentación existe el espesor de aislante de 13 mm para tuberías de cobre con diámetro de 25 y 32 mm, además hay el de 25 mm de espesor para tuberías de 50 y 65 mm de diámetro.



Figura 2.18. Aislante tubular flexible (Ref. 17).

Las características del aislante elegido son las siguientes:

- Aislamiento tubular flexible clase M1, cuyo material es un elastómero extruido de célula cerrada Nitril – PVC.
- Conductividad térmica de 0.037 W/m-K a 40°C.
- Temperatura de trabajo: -40 a 110 °C.
- Excelente resistencia al ozono y a agentes atmosféricos.
- Longitud estándar: 2 metros.

La instalación del aislante en las tuberías se realiza para cada tramo dependiendo del diámetro de la tubería existente en ese tramo. En la tabla 2.33 se muestra cada tramo del sistema de distribución con el espesor de aislante que requiere. La tubería de alimentación no tendrá aislamiento pues este tramo es antes de que el agua ingrese a la caldera y no necesita estar aislado pues el agua circula a la temperatura ambiente.

Tabla 2.33. Distribución de aislante por piso.

Tubería	Diámetro (mm)	Espesor de aislante (mm)
Piso 12	50	25
Piso 9,10,11,13	50	25
Piso 5,6,7,8	65	25
Piso 4	65	25
Piso 3	50	25
Piso 2	65	25
Piso 1	32	13
Sótano	50	25
Retorno	25	13
Distribución	65	25
Alimentación	25	0

Elaboración propia

### 2.3.3. Sistema de apoyos de tuberías

Para el sistema de apoyo de tuberías se utilizarán abrazaderas para su correcta sujeción. Las abrazaderas elegidas son de dos tipos: anti vibratorias y antisísmicas.

Las abrazaderas anti vibratorias protegen a las conexiones de las vibraciones evitando que los apoyos de las tuberías se aflojen y que se produzcan ruidos molestos durante el funcionamiento del sistema. Además, estas abrazaderas protegen el sistema de tuberías de los movimientos sísmicos que puedan producirse pues tienen una tolerancia angular que evita que se produzcan esfuerzos inesperados durante un movimiento sísmico.

Las abrazaderas anti vibratorias son de la marca ANVIL, mostradas en la figura 2.20, cuyas características son las siguientes:

- Soportan cargas de tracción o compresión. Soportan temperaturas de -25 a 125 °C.
- Buena resistencia a los aceites, rayos ultravioletas y otros agentes corrosivos.
- Las partes metálicas de la abrazadera están protegidas por un zincado tropicalizado lo que mejora su resistencia a la corrosión.
- Son de fácil instalación y vienen en tamaños entre 1/4" y 3 1/2".
- Permite un movimiento angular de 5°.



Figura 2.19. Abrazaderas anti vibratorias (Ref.19).



## REFERENCIAS

1. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
2013            *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*
2. Javier Tamashiro Higa  
2010            *TABLAS Y GRAFICOS TERMODINAMICOS*
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers  
2009            *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS*
4. Shames, Irving Herman.  
1995            *MECANICA DE FLUIDOS*. McGraw-Hill
5. American Society of Mechanical Engineering  
2007            *NORMA ASME B31.9. BUILDING SERVICE PIPING*
6. FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
2015            *Tuberías enterradas y aplastamiento [diapositivas]*. Lima: PUCP.
7. FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
2015            *Soportes de tuberías [diapositivas]*. Lima: PUCP.
8. Hibbeler, R. C  
2011    *MECANICA DE MATERIALES*. Prentice Hall.
9. American Society of Civil Engineers  
2013            *NORMA ASCE 7. MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES*.
10. CATALOGO DE PRODUCTOS HIDROSTAL  
2014            “Productos, Bombas, línea 1”. Catálogo de bombas. Lima.  
Consultada: 30 de Abril de 2015.  
<<http://www.hidrostal.com.pe/contenidos/linea1.php>>

## 11. EBERHARDT

2014 “Productos de cobre”. Lima. Consultada: 10 de Mayo de 2015.  
<[http://www.eberhardt-sa.com/prod\\_cobre3.html](http://www.eberhardt-sa.com/prod_cobre3.html)>

## 12. SCRIB

2014 “Cálculo del vaso de expansión cerrado”. Lima. Consultada: 11 de Mayo de 2015. <<http://es.scribd.com/doc/75858749/Calculo-Vaso-Expansion#scribd>>

## 13. GENERA VAPOR

2010 “Válvulas”. Lima. Consultada: 11 de Mayo de 2015.  
<<http://www.generavapor.com.pe/catalogo/210-valvulas>>

## 14. BAXI

2010 “Complementos y accesorios. Depósitos de expansión VASOFLEX y VASOFLEX/S”. Lima. Consultada: 14 de Mayo de 2015.  
<[http://www.baxi.es/docs/sp\\_cataleg/j1-3.pdf](http://www.baxi.es/docs/sp_cataleg/j1-3.pdf)>

## 15. HURST

2014 “Hurst Scotch Marine Design Series 200”. Lima. Consultada: 20 de Mayo de 2015.  
<[http://s3.amazonaws.com/hurstboiler/documents/series\\_200.pdf](http://s3.amazonaws.com/hurstboiler/documents/series_200.pdf)>

## 16. BAXI

2010 “Depósitos acumuladores esmaltados”. Lima. Consultada: 14 de Mayo de 2015.  
<[http://www.baxi.es/docs/sp\\_cataleg/cat\\_acesmaltado.pdf](http://www.baxi.es/docs/sp_cataleg/cat_acesmaltado.pdf)>

## 17. Salvador Escoda S.A.

2014 “Aislamiento para tuberías”. Tarifa de aislamientos. Lima. Consultada: 22 de Mayo de 2015.  
<<http://www.salvadorescoda.com/tarifas/index.htm>>

## 18. Spirax Sarco

2014 “Tanques de Purga BDV60”. Lima. Consultada: 23 de Mayo de 2015. <<http://www2.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/p405-33.pdf>>

## 19. Anvil Intenational.

2015 “Sway Strut Assembly”. Lima. Consultada: 05 de Junio de 2015.  
<<http://www.anvilintl.com/products/engineered-pipe-supports/sway-strut-assembly/211-figure-sway-strut-assembly>>.

## 20. SEDAPAL

2015 “Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima y Callao”. Retos para el futuro. Lima. Consultada: 07 de Marzo de 2015.  
<<http://www.aloas.org/fotosvideos/Presentaciones2doEnc/Presentacion%20Sr.%20Gustavo%20De%20Vinatea%20Bellat%20ADn%20-%20SEDAPAL.pdf>>.

### CAPITULO 3

#### PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En este último capítulo se presentará un presupuesto del proyecto diseño de instalación del sistema de agua caliente para un hotel. Para calcular el costo total del proyecto, se tendrá en cuenta que está conformado por tres componentes:

- Costo de asesor y tesista.
- Costo de equipos y accesorios.
- Costo de instalación.

##### 3.1. Costo de asesor y tesista

En este costo se tiene en cuenta las horas hombre invertidas para el desarrollo del proyecto, esto implica la realización de la memoria de cálculo y de los planos. Se considerará el trabajo de un asesor principal y el de un tesista encargado de la elaboración de la memoria de cálculo y de los planos. En la tabla 3.1 se muestra el resultado del costo de diseño considerando un costo mensual del tesista y un costo horario del asesor principal, los cuales ascienden a 1000 soles y 100 soles respectivamente.

Tabla 3.1. Costo de asesor y tesista.

	Costo	Tiempo	Total
Asesor	S/. 100.00 por hora	40	S/. 4,000.00
Tesista	S/. 1000.00 por mes	8	S/. 8,000.00
		Total	<b>S/. 12,000.00</b>

Elaboración propia

De la tabla 3.1 se puede concluir que el costo total del asesor principal es de S/.4,000.00 y el del tesista, S/. 8,000.00; con lo cual el costo total de diseño es de **S/.12,000.00**.

### 3.2. Costo de equipos y accesorios

Esta parte del costo de diseño comprende la adquisición de los equipos y accesorios necesarios para el sistema de agua caliente desarrollado en el presente proyecto. Estos equipos están distribuidos en tres grupos: equipos térmicos, equipos hidráulicos y sistema de apoyos. En la tabla 3.2 se muestra la descripción de los equipos y accesorios necesarios en cada grupo, así como la cantidad y el precio de cada uno.

En el grupo de equipos hidráulicos se encuentran las bombas (de alimentación, distribución y retorno), todas las tuberías del sistema de distribución, las válvulas (globo, de alivio, check antiretorno, y reguladora de presión y temperatura) y el vaso de expansión. En el grupo de equipos térmicos se encuentran la caldera (modelo Scotch Marine Design Series 200), el tanque de almacenamiento de agua caliente y los aislantes para las tuberías del sistema de distribución. Finalmente, en el grupo de sistema de apoyos se encuentran todos los apoyos que se colocan en el sistema de distribución.

El costo de los materiales para la instalación eléctrica se considera el 15% del costo de los demás materiales con lo cual el costo total de equipos y accesorios asciende a **S/.1,335,411.05** como se puede ver en la tabla 3.3.

Tabla 3.2. Costo detallado de equipos y accesorios necesarios.

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
<b>Equipos hidráulicos</b>				
Electrobomba centrífuga A1C-0.6M	2	und	S/. 72,272.00	S/. 144,544.00
Tanque CH-119	3	und	S/. 31,423.00	S/. 94,269.00
Bomba MULTI V1804	1	und	S/. 62,846.00	S/. 62,846.00
Tubería cobre tipo M $\phi$ 2 1/2" (+ accesorios)	110	m	S/. 770.00	S/. 84,700.00
Tubería cobre tipo M $\phi$ 2" (+ accesorios)	110	m	S/. 455.00	S/. 50,050.00
Tubería cobre tipo M $\phi$ 1 1/4" (+ accesorios)	15	m	S/. 188.00	S/. 2,820.00
Tubería cobre tipo M $\phi$ 1" (+ accesorios)	40	m	S/. 114.00	S/. 4,560.00
Tubería cobre tipo M $\phi$ 5/8" (+ accesorios)	20	m	S/. 48.00	S/. 960.00
Válvula globo $\phi$ 2 1/2"	7	und	S/. 272.00	S/. 1,904.00
Válvula globo $\phi$ 2"	7	und	S/. 206.00	S/. 1,442.00
Válvula globo $\phi$ 1 1/4"	1	und	S/. 117.00	S/. 117.00
Válvula globo $\phi$ 1"	2	und	S/. 107.00	S/. 214.00
Válvula de alivio $\phi$ 2 1/2"	1	und	S/. 215.00	S/. 215.00
Válvula de alivio $\phi$ 1"	1	und	S/. 73.00	S/. 73.00
Válvula check antiretorno $\phi$ 2 1/2"	1	und	S/. 157.00	S/. 157.00
Válvula check antiretorno $\phi$ 1"	2	und	S/. 39.00	S/. 78.00
Válvula reguladora de presión y temperatura $\phi$ 2 1/2"	3	und	S/. 450.00	S/. 1,350.00
Vaso de expansión VASOFLEX 140	1	und	S/. 1,022.00	S/. 1,022.00
<b>Equipos térmicos</b>				
Caldera Scotch Marine Design Series 200 (instalación + accesorios)	1	und	S/. 652,218.00	S/. 652,218.00
Tanque de almacenamiento	1	und	S/. 44,823.00	S/. 44,823.00
Aislante $\phi$ 2 1/2" 25mm espesor	110	m	S/. 36.00	S/. 3,960.00
Aislante $\phi$ 2" 25mm espesor	100	m	S/. 31.00	S/. 3,100.00
Aislante $\phi$ 1 1/4" 13mm espesor	15	m	S/. 11.00	S/. 165.00
Aislante $\phi$ 1" 13mm espesor	40	m	S/. 8.00	S/. 320.00
<b>Sistema de apoyos</b>				
Abrazadera antivibratoria 2 1/2"	90	und	S/. 17.50	S/. 1,575.00
Abrazadera antivibratoria 1"	100	und	S/. 7.30	S/. 730.00
Abrazadera antivibratoria 2"	120	und	S/. 21.00	S/. 2,520.00
Abrazadera antivibratoria 1 1/4"	45	und	S/. 11.00	S/. 495.00

Elaboración propia

Tabla 3.3. Costo total de equipos y accesorios.

	Costo
Equipos hidráulicos	S/. 451,321.00
Equipos térmicos	S/. 704,586.00
Sistema de apoyos	S/. 5,320.00
Sistema eléctrico	S/. 174,184.05
<b>Total</b>	<b>S/. 1,335,411.05</b>

Elaboración propia

### 3.3. Costo de instalación

El costo de instalación comprende el costo de mano de obra para la instalación del sistema de agua caliente en el hotel del presente proyecto. Para obtener este costo primero se debe saber cuántas horas - hombre tomaría la instalación del sistema, el cual tiene bombas, caldera, tanque de almacenamiento, sistema de tuberías y sistema eléctrico.

Para la instalación del sistema sin incluir la parte eléctrica se va a considerar que tres operarios y un soldador demorarían dos días en instalar las tuberías en un piso, es decir demorarían 16 horas – hombre cada uno. La tubería de distribución de agua para cada piso y el sistema de retorno se considerarán como un piso para el cálculo de las horas – hombre. La cantidad de pisos, usada para el cálculo del costo de instalación, que tiene el hotel del presente proyecto sería 19 que incluye: 13 pisos con habitaciones, 4 sótanos, tubería de distribución y tubería de retorno; por ello cada uno de los cuatro trabajadores necesitaría 304 horas – hombre para instalar el sistema de agua caliente del hotel. Para la instalación del sistema eléctrico un especialista demoraría un día en realizar dicha instalación lo que equivale a 8 horas – hombre.

Para obtener el costo horario de cada trabajador se considera que se necesitan 3 ayudantes, 1 soldador calificado y un electricista con sueldos mensuales de S/.1500.00, S/.3000.00 y S/.2500.00 respectivamente. Considerando la cantidad de horas que trabajaría cada especialista y el salario por hora que recibiría cada uno se puede obtener el costo de instalación que se muestra en la tabla 3.4 y cuyo valor es de **S/.15328.00**.

Tabla 3.4. Costo instalación

Trabajador	Cantidad horas - hombre	costo horario	costo total
Ayudante 1	304	S/. 10.00	S/. 3,040.00
Ayudante 2	304	S/. 10.00	S/. 3,040.00
Ayudante 3	304	S/. 10.00	S/. 3,040.00
Soldador	304	S/. 20.00	S/. 6,080.00
Electricista	8	S/. 16.00	S/. 128.00
Total			<b>S/. 15,328.00</b>

Elaboración propia

En la tabla 3.5 se muestra el costo total del proyecto considerando los tres costos previamente obtenidos: costo de asesor y tesista, costo de equipos y accesorios, y costo de instalación. Este costo asciende a **S/.1,359,652.45**.

Tabla 3.5. Costo total del proyecto

Costos asesor y tesista	S/. 12,000
Costo equipos y accesorios	S/. 1,335,411.05
Costo de instalación	S/. 15,328.00
Costo total	<b>S/. 1,362,739.05</b>

Elaboración propia

## CONCLUSIONES

1. El sistema de producción de agua caliente seleccionado para el presente proyecto es un intercambiador – acumulador, pues mantiene los niveles de temperatura y presión en valores establecidos, tiene bajo nivel de ruido, es eficiente, y los costos de instalación, funcionamiento, operación y mantenimiento son menores que los de cualquier otro tipo de sistema.
2. La potencia del equipo de producción de agua caliente es de 200 HP (150 kW) con lo cual satisface el requerimiento de agua caliente que según normas debe estar a 50°C con un flujo de 1 l/s. La capacidad del tanque de almacenamiento es de 5000 litros de acuerdo a lo recomendado en normas. Las bombas seleccionadas satisfacen el requerimiento de distribución de agua a la presión mínima necesaria en cada punto de consumo (150 kPa). Con estos equipos seleccionados se garantiza que la distribución de agua caliente sea a las condiciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones.
3. El sistema posee tres bombas: alimentación, distribución y retorno. La bomba de alimentación es de 0.21 HP con una altura manométrica de 16 metros. Mientras que las que las bombas de distribución y retorno son de 4 y 0.13 HP, respectivamente con una altura manométrica de 50 y 16 metros, respectivamente. La selección de las bombas se hizo garantizando el abastecimiento de agua caliente durante las horas de alta demanda, siguiendo las normas ASHRAE establecidas.
4. El sistema de distribución de agua caliente está compuesto por tuberías y accesorios de cobre, con una resistencia de 62 MPa según la norma ASTM B88. Los diámetros de las tuberías son 1", 1 ¼", 2", 2 ½" con espesores de 0.89, 1.07, 1.47 y 2.03 mm, respectivamente.
5. El presupuesto total del proyecto asciende a S/.1,359,652.45, donde están incluidos los costos de asesor y tesista, costos de equipos y costos de instalación cuyos valores ascienden a S/.12,000.00; S/.1,335,411.05 y S/.15,328.00 respectivamente.

### LISTADO DE PLANOS

1. PLANO AGUA SOTANO 4. PL1.
2. PLANO AGUA SOTANO 3. PL2.
3. PLANO AGUA SOTANO 2. PL3.
4. PLANO AGUA SOTANO 1. PL4.
5. PLANO AGUA PISO 1. PL5.
6. PLANO AGUA PISO 2. PL6.
7. PLANO AGUA PISO 3. PL7.
8. PLANO AGUA PISO 4. PL8.
9. PLANO AGUA PISO 5, 6, 7, 8. PL9.
10. PLANO AGUA PISO 9, 10, 11, 13. PL10.
11. PLANO AGUA PISO 12. PL11.
12. PLANO AGUA AZOTEA. PL12.
13. PLANO DE DETALLE DE COLGADORES. PL13.
14. PLANO DISTRIBUCION DE CALDERAS. PL14.
15. PLANO ISOMETRICO. PL15.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
2013            *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.*
2. Andrés y Rodríguez-Pomatta, Juan A.  
1991            *CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA.*
3. Cusa Ramos, Juan de  
1985            *CALEFACCIÓN, REFRIGERACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.*
4. Portal de Gas Natural Fenosa  
2014            “Sistemas de calefacción: Calderas y equipos terminales”.  
*Catálogo de tecnologías.* Barcelona, Enero. Consultada: 10 de Junio de 2014.  
⟨<http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/sistemas-de-calefaccion-calderas-y-equipos-terminales#ancla>⟩
5. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad  
2013            “Sistemas de agua caliente sanitaria”.  
Descripción. Consultada: 20 de Junio de 2014.  
⟨[https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3\\_leg.pdf](https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_leg.pdf)⟩
6. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
2013            *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.*
7. Javier Tamashiro Higa  
2010            *TABLAS Y GRAFICOS TERMODINAMICOS.*
8. American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers  
2009            *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS.*
9. Shames, Irving Herman.

- 1995            *MECANICA DE FLUIDOS*. McGraw-Hill
10. American Society of Mechanical Engineering  
2007            *NORMA ASME B31.9. BUILDING SERVICE PIPING*.
11. FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
2015            *Tuberías enterradas y aplastamiento* [diapositivas]. Lima: PUCP.
12. FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
2015            *Soportes de tuberías* [diapositivas]. Lima: PUCP.
13. Hibbeler, R. C  
2011            *MECANICA DE MATERIALES*. Prentice Hall.
14. American Society of Civil Engineers  
2013            *NORMA ASCE 7. MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES*.
15. CATALOGO DE PRODUCTOS HIDROSTAL  
2014            “Productos, Bombas, línea 1”. Catálogo de bombas. Lima.  
Consultada: 30 de Abril de 2015.  
<<http://www.hidrostral.com.pe/contenidos/linea1.php>>
16. EBERHARDT  
2014            “Productos de cobre”. Lima. Consultada: 10 de Mayo de 2015.  
<[http://www.eberhardt-sa.com/prod\\_cobre3.html](http://www.eberhardt-sa.com/prod_cobre3.html)>
17. SCRIB  
2014            “Cálculo del vaso de expansión cerrado”. Lima. Consultada: 11 de Mayo de 2015. <<http://es.scribd.com/doc/75858749/Calculo-Vaso-Expansion#scribd>>
18. GENERA VAPOR  
2010            “Válvulas”. Lima. Consultada: 11 de Mayo de 2015.  
<<http://www.generavapor.com.pe/catalogo/210-valvulas>>
19. BAXI

- 2010 “Complementos y accesorios. Depósitos de expansión VASOFLEX y VASOFLEX/S”. Lima. Consultada: 14 de Mayo de 2015. <[http://www.baxi.es/docs/sp\\_cataleg/j1-3.pdf](http://www.baxi.es/docs/sp_cataleg/j1-3.pdf)>.
20. HURST
- 2014 “Hurst Scotch Marine Design Series 200”. Lima. Consultada: 20 de Mayo de 2015.  
<[http://s3.amazonaws.com/hurstboiler/documents/series\\_200.pdf](http://s3.amazonaws.com/hurstboiler/documents/series_200.pdf)>
21. BAXI
- 2010 “Depósitos acumuladores esmaltados”. Lima. Consultada: 14 de Mayo de 2015.  
<[http://www.baxi.es/docs/sp\\_cataleg/cat\\_acesmaltado.pdf](http://www.baxi.es/docs/sp_cataleg/cat_acesmaltado.pdf)>
22. Salvador Escoda S.A.
- 2014 “Aislamiento para tuberías”. Tarifa de aislamientos. Lima. Consultada: 22 de Mayo de 2015.  
<<http://www.salvadorescoda.com/tarifas/index.htm>>
23. Spirax Sarco
- 2014 “Tanques de Purga BDV60”. Lima. Consultada: 23 de Mayo de 2015. <<http://www2.spiraxsarco.com/es/pdfs/TI/p405-33.pdf>>
24. Salvador Escoda S.A.
- 2014 “Accesorios de sujeción y fijación”. Tarifa de precios de abrazaderas. Lima. Consultada: 05 de Junio de 2015.  
<<http://www.salvadorescoda.com/tarifas/index.htm>>
25. MULTI INDUSTRIAS METALICAS S.R.L.
- 2014 “Abrazaderas Unistrut”. Productos abrazadera antisísmica. Lima. Consultada: 07 de Junio de 2015.  
<[http://www.multimetperu.com/productos\\_ABRAZADERA\\_ANTISISMICA.php](http://www.multimetperu.com/productos_ABRAZADERA_ANTISISMICA.php)>