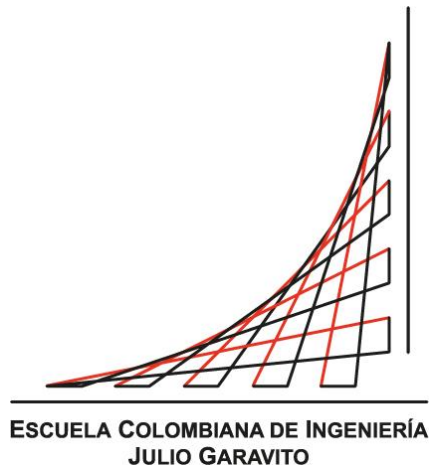


REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR



Carlos Mario Luque Moreno

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente
Bogotá, Colombia

2016

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

**“REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE
CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR”**

CARLOS MARIO LUQUE MORENO

**DIRECTOR:
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ**

BOGOTÁ D.C., 2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR”, presentado por Carlos Mario Luque Moreno en cumplimiento con el requisito parcial para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, fue aprobado por el director Héctor Alfonso Rodríguez Díaz.

Firma del director: _____

Nota: _____

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 General	9
1.1.2 Específicos	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS Y ECUACIONES	11
2.1.1 Densidad	11
2.1.2 Viscosidad dinámica	11
2.1.3 Viscosidad cinemática	11
2.1.4 Compresibilidad	11
2.1.5 Tipos de flujo	11
2.1.6 Ecuación de continuidad	12
2.1.7 Ecuación de Bernoulli	12
2.1.8 Pérdidas por fricción por Darcy-Weisbach	13
2.1.9 Pérdidas por fricción por Hazen-Williams	14
2.1.10 Pérdidas de energía locales	14
2.1.11 Ecuaciones para calcular la pérdida de calor	15
2.1.12 Ecuación del calor específico volumétrico	16
2.2 MATERIALES Y ACCESORIOS	16
2.3 TOPOLOGÍAS DE REDES CON RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE, RAC.....	18
2.3.1 Topologías de redes RAC con circuitos horizontales	18
2.3.2 Topologías de redes RAC con circuitos verticales.....	23
2.3.3 Topología de redes RAC con circuitos individuales piso a piso	30
2.4 TIPOLOGÍAS DE LAS EDIFICACIONES.....	31
3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	32

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO
CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

3.1	ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE.....	32
3.2	CONSIDERACIONES PARA CALCULAR CAUDALES DE RETORNO	33
3.3	DEFINICIÓN DE DIÁMETROS PARA LA RED DE AGUA CALIENTE	35
3.4	CÁLCULOS HIDRÁULICOS MEDIANTE EL USO DE MODELOS COMERCIALES O DE DOMINIO PÚBLICO	35
4.	ANÁLISIS DE LAS REDES DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE, RAC	36
4.1	ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA RED RAC	36
4.1.1	Sistema de calentamiento	36
4.1.2	Bomba de recirculación	38
4.1.3	Válvulas balanceadoras (Circuit Setter Valves)	38
4.2	MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA UN APARATO	40
5.	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE REDES CON RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE	47
5.1	UBICACIÓN DE EQUIPOS Y TRAZADO DE LA RED RAC.....	48
5.2	CÁLCULO DE CAUDALES, VELOCIDADES Y DIÁMETROS DE LA RUTA CRÍTICA ...	51
5.3	CÁLCULO DE CAUDALES DE RETORNO	52
5.4	VERIFICACIÓN DE VELOCIDADES	53
5.5	MODELO BASE PARA EL DISEÑO DE LA RED (UTILIZANDO EPANET).....	54
5.6	DATOS DE ENTRADA Y CONSIDERACIONES	56
5.7	ACCESORIOS, TANQUE Y EQUIPO DE BOMBEO	57
5.8	CHEQUEO DE PARÁMETROS OBTENIDOS.....	60
6.	CASO PRÁCTICO (EJEMPLO)	61
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
8.	REFERENCIAS.....	83
	ANEXO 1. MODELACIONES.....	84
	A-1.1 MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA cinco NIVELES	85
	A-1.2 MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA DOS TORRES CON DIFERENTES NIVELES.....	97

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. LONGITUDES EQUIVALENTES EN METRO DE TUBERÍA RECTILÍNEA PARA CÁLCULO DE PÉRDIDAS	15
TABLA 3-1. UNIDAD DE CONSUMO POR APARATOS SANITARIOS (FUENTE: TABLA 8, NTC1500)	33
TABLA 3-2. VALORES DEL COEFICIENTE K PARA TUBERÍA DE COBRE Y DIFERENTES DIÁMETROS.....	34
TABLA 5-1. TABLA PARA CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA RUTA CRÍTICA DE AGUA CALIENTE.....	51
TABLA 5-2. TABLA PARA EL CÁLCULO DE LA SUMATORIA $\sum KL$	53
TABLA 5-3. TABLA PARA EL CHEQUEO DE LAS VELOCIDADES INCLUYENDO CAUDAL DE RETORNO	54
TABLA 6-1. CÁLCULO DE VELOCIDADES EN RUTA CRÍTICA CON CAUDALES DE CONSUMO	65
TABLA 6-2. CÁLCULO DE CAUDAL DE RETORNO EN CIRCUITO CRÍTICO	66
TABLA 6-3. TEMPERATURA EN EL TANQUE Y EN EL PUNTO MÁS ALEJADO	66
TABLA 6-4. CÁLCULO DE VELOCIDADES EN RUTA CRÍTICA CON CAUDALES TOTALES.....	67
TABLA A-1. CÁLCULO DE CAUDALES, DIÁMETROS Y PRESIONES PARA LA RUTA CRÍTICA DE LA RED DE AGUA CALIENTE	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. ESQUEMA DE CIRCUITOS HORIZONTALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ARRIBA CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL INFERIOR.....	19
FIGURA 2-2. ESQUEMA DE CIRCUITOS HORIZONTALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ABAJO CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL SUPERIOR.....	20
FIGURA 2-3. ESQUEMA DE CIRCUITOS HORIZONTALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ARRIBA CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL INFERIOR Y MÁS DE UN EDIFICIO.....	21
FIGURA 2-4. ESQUEMA DE CIRCUITOS HORIZONTALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ABAJO CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL SUPERIOR Y MÁS DE UN EDIFICIO.....	22
FIGURA 2-5. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ARRIBA CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL INFERIOR.....	24
FIGURA 2-6. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ABAJO CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL INFERIOR.....	25
FIGURA 2-7. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ABAJO CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL SUPERIOR.....	26
FIGURA 2-8. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN HACIA ABAJO CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL SUPERIOR Y UN SOLO RETORNO PARA TODAS LAS COLUMNAS.....	27
FIGURA 2-9. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN COMBINADA CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL INFERIOR.....	28
FIGURA 2-10. ESQUEMA DE CIRCUITOS VERTICALES DE ALIMENTACIÓN COMBINADA CON EQUIPOS DE CALENTAMIENTO EN NIVEL SUPERIOR.....	29
FIGURA 2-11. ESQUEMA DE CIRCUITOS INDIVIDUALES PISO A PISO CON EQUIPOS DE CALEFACCIÓN EN CADA NIVEL.....	30
FIGURA 4-1. ESQUEMA TÍPICO DE INSTALACIÓN DE CALDERAS.....	38
FIGURA 4-2. VÁLVULA BALANCEADORA (CIRCUITE SETTER VALVE).....	39
FIGURA 4-3. ESQUEMA INTERNO DE UNA VÁLVULA BALANCEADORA (CIRCUITE SETTER VALVE).....	39
FIGURA 4-4. ESQUEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE CON CALDERA Y ACUMULADOR INDIRECTO.....	40
FIGURA 4-5. ESQUEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA SIMULAR EN EPANET.....	41
FIGURA 4-6. MODELO DEL SISTEMA DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN.....	42
FIGURA 4-7. MODELO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN CON UNA DUCHA ABIERTA, CAUDALES POR TUBERÍA Y PRESIONES EN CADA PUNTO.....	43

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

FIGURA 4-8. VELOCIDADES DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN CON DUCHA ABIERTA	44
FIGURA 4-9. MODELO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN CON UNA DUCHA CERRADA, CAUDALES POR TUBERÍA Y PRESIONES EN CADA PUNTO	45
FIGURA 4-10. VELOCIDADES DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN CON DUCHA CERRADA	46
FIGURA 5-1. CONEXIÓN CORRECTA Y ERRADA DE COLUMNA DE ALIMENTACIÓN Y RETORNO	48
FIGURA 5-2. TRAZADO EN PLANTA INADECUADO PARA UNA RED DE AGUA CALIENTE	49
FIGURA 5-3. TRAZADO EN PLANTA ADECUADO PARA UNA RED DE AGUA CALIENTE	50
FIGURA 5-4. ESQUEMA EN AUTOCAD DE UNA RED DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE.....	55
FIGURA 5-5. VENTANA DE EPACAD PARA CONVERTIR DE FORMATO .DXF A .INP	55
FIGURA 5-6. ESQUEMA EXPORTADO DESDE AUTOCAD A EPANET.....	56
FIGURA 5-7. CONSIDERACIONES EN EPANET	57
FIGURA 5-8. MODELO EN EPANET EXPORTADO DESDE AUTOCAD	58
FIGURA 5-9. MODELO CON TANQUE Y VÁLVULAS BALANCEADORAS	58
FIGURA 5-10. PRESIONES EN LOS PUNTOS DEL MODELO PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA BOMBA.....	59
FIGURA 5-11. MODELO CON TANQUE, VÁLVULAS Y BOMBA DE RECIRCULACIÓN.....	59
FIGURA 6-1. PLANTA SÓTANO Y PISO TIPO.....	61
FIGURA 6-2. TRAZADO PARA LA RED DE AGUA CALIENTE.....	62
FIGURA 6-3. ESQUEMA VERTICAL DEL DISEÑO	63
FIGURA 6-4. RUTA CRÍTICA DEL SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE.....	64
FIGURA 6-5. ESQUEMA DEL DISEÑO EN AUTOCAD	68
FIGURA 6-6. MODELO DEL DISEÑO EN EPANET.....	69
FIGURA 6-7. MODELO DEL PROYECTO CON TANQUE, VÁLVULAS Y DEMANDAS	70
FIGURA 6-8. PRESIONES DEL MODELO PARA ENCONTRAR LA ALTURA DE LA BOMBA	71
FIGURA 6-9. CURVA DE LA BOMBA DE RECIRCULACIÓN GENERADA EN EPANET.....	72
FIGURA 6-10. MODELO COMPLETO EN EPANET, LISTO PARA REALIZAR CHEQUEOS	73
FIGURA 6-11. PRESIONES DEL MODELO CON LAS LLAVES ABIERTAS	74

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

FIGURA 6-12. CAUDALES DEL MODELO CON LAS LLAVES ABIERTAS.....	75
FIGURA 6-13. VELOCIDADES DEL MODELO CON LAS LLAVES ABIERTAS	76
FIGURA 6-14. PRESIONES DEL MODELO CON LAS LLAVES CERRADAS.....	77
FIGURA 6-15. CAUDALES DEL MODELO CON LAS LLAVES CERRADAS	78
FIGURA 6-16. VELOCIDADES DEL MODELO CON LAS LLAVES CERRADAS	79
FIGURA A-1. MODELO DE RED DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN PARA UN EDIFICIO DE CINCO NIVELES Y TRES SALIDAS DE AGUA EN CADA PISO	85
FIGURA A-2. RUTA CRÍTICA PARA EL MODELO DE RED DE AGUA CALIENTE	86
FIGURA A-3. ELEVACIÓN EN CADA PUNTO DE LA RED DE AGUA CALIENTE (M)	88
FIGURA A-4. DEMANDA ALEATORIA EN CADA PUNTO DE LA RED DE AGUA CALIENTE (L/S)	89
FIGURA A-5. CAUDALES EN CADA TRAMO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS ABIERTOS (L/S)	90
FIGURA A-6. PRESIÓN EN CADA PUNTO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS ABIERTOS (M.C.A.)	91
FIGURA A-7. VELOCIDADES EN CADA TRAMO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS ABIERTOS (L/S).....	92
FIGURA A-8. CAUDALES EN CADA TRAMO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS CERRADOS (L/S).....	93
FIGURA A-9. PRESIÓN EN CADA PUNTO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS CERRADOS (M.C.A.).....	94
FIGURA A-10. VELOCIDADES EN CADA TRAMO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS CERRADOS (L/S)	95
FIGURA A-11. CAUDALES EN CADA TRAMO DE LA RED DE AGUA CALIENTE CON GRIFOS ABIERTOS SIN VÁLVULAS BALANCEADORAS	96
FIGURA A-12. MODELACIÓN DE DOS TORRES CON DIFERENTES NIVELES, CAUDALES PARA LLAVES ABIERTAS.....	97
FIGURA A-13. MODELACIÓN DE DOS TORRES CON NIVELES DIFERENTES, PRESIONES PARA LLAVES ABIERTAS	98
FIGURA A-14. MODELACIÓN DE DOS TORRES CON NIVELES DIFERENTES, VELOCIDADES PARA LLAVES ABIERTAS.....	99
FIGURA A-15. MODELACIÓN DE DOS TORRES CON DIFERENTES NIVELES, CAUDALES PARA LLAVES CERRADAS.....	100

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de instalar un sistema de recirculación de agua caliente es reducir los tiempos de espera para acceder a ella (ceranos a cero). Es importante resaltar que al reducir este tiempo se evitan desperdicios excesivos.

Normalmente en las redes de recirculación el calentamiento del agua se realiza por medio de equipos tipo caldera, los cuales se ubican en el último nivel o en un nivel bajo del proyecto, en la zona denominada cuarto de calderas.

El agua caliente se distribuye por todo el edificio hasta los puntos de consumo a través de una red de tuberías exclusivas para este servicio. Debido a que la distancia que existe entre el punto de calentamiento y los puntos de consumo generalmente es larga, los usuarios deben esperar un tiempo excesivo para recibir el agua caliente, lo cual implica un consumo de agua innecesario, además de falta de confort.

Para evitar estos inconvenientes se diseñan circuitos cerrados de recirculación, los cuales consisten en una red de tuberías que retornan el agua desde los puntos de consumo más alejados hasta el lugar de calentamiento a través de bombas de recirculación. Estos equipos de bombeo permiten circular el agua permanentemente por toda la red, manteniendo el fluido y las tuberías a la temperatura adecuada, de manera que salga prácticamente al instante por los puntos de consumo.

El principal problema con este tipo de redes es que, en algunos casos, cuando se culmina una obra, bien sea un edificio de apartamentos o un hotel, y se requiere hacer uso del agua caliente, los tiempos de espera son bastante altos o simplemente sólo llega agua fría. Para evitar que esto suceda y lograr un buen diseño es importante tener claros los tipos de accesorios que se deben instalar, determinar las pérdidas de temperatura para cada tipo de material, establecer la configuración de la red de recirculación y definir cómo influye la variación de presiones piso a piso en el sistema, entre otros factores adicionales.

Teniendo en cuenta que la causa del problema se resume en diseños inadecuados, este documento presenta una guía que describe el paso a paso para realizar un diseño óptimo que garantice el perfecto funcionamiento de este tipo de redes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Proponer una guía para el diseño de redes de recirculación de agua caliente, empleando sistemas de calentamiento tipo caldera o similares con tanque acumulador.

1.1.2 Específicos

- Definir los elementos básicos que conforman una red de recirculación de agua caliente.
- Modelar redes de recirculación con diferentes configuraciones.
- Determinar los accesorios que se deben instalar para el correcto funcionamiento de la red.
- Calcular los caudales de retorno para los circuitos que se requieran.
- Realizar un ejemplo de diseño de un proyecto que requiera este tipo de red.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS Y ECUACIONES

2.1.1 Densidad

Es la masa contenida en la unidad de volumen, la cual varía con la temperatura. La densidad del agua líquida es muy estable, es decir, de 0,958 kg/l a una atmósfera de presión. Esta densidad se mantiene hasta los 100 °C de temperatura. Cuando la temperatura baja hasta los 0 °C y el agua pasa al estado sólido la densidad disminuye hasta 0,917 kg/l.

2.1.2 Viscosidad dinámica

Es la resistencia interna al movimiento de partículas de fluido. La viscosidad difiere en grandes cantidades de un fluido a otro, alcanzando sus valores mínimos en los gases y los máximos en los líquidos, además tiene una relación inversa con la temperatura.

2.1.3 Viscosidad cinemática

Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad de un fluido. Disminuye con el aumento de la velocidad.

2.1.4 Compresibilidad

El agua es perfectamente elástica, se comprime cuando se incrementa su presión y retorna a su volumen original cuando cesa dicho efecto. La relación entre presión y volumen es:

$$dV = \frac{k * dp}{Vi}$$

donde:

dV: cambio de volumen por un cambio de presión

Vi: volumen inicial

dp: cambio de presión

K: constante de proporcionalidad o módulo de elasticidad volumétrico

2.1.5 Tipos de flujo

La influencia de la viscosidad y la rugosidad de la tubería en el comportamiento del flujo en tuberías dependen de la relación entre las propiedades del fluido. Su parámetro de comparación es el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad \text{o} \quad RE = \frac{V * D}{\nu}$$

donde:

RE: número de Reynolds
 ρ : densidad (kg/m³)
V: velocidad (m/s)
D: diámetro (m)
 μ : viscosidad dinámica (n*s/m²)
 ν : viscosidad cinemática (m²/s)

Para los valores de Reynolds menores de 2000 el flujo se denomina laminar y la influencia de la viscosidad es predominante, sin importar la calidad del material. Esto ocurre a velocidades muy bajas, las cuales normalmente no se presentan en las redes de distribución de agua.

Fluidos con número de Reynolds mayores que 4000 presentan una dependencia, tanto de la viscosidad como de la rugosidad de la tubería, es el caso de los regímenes que se presentan en sistemas de suministro de edificaciones. Solamente a velocidades muy altas la viscosidad deja de influir en el comportamiento del flujo, quedando definido únicamente por la rugosidad del material.

2.1.6 Ecuación de continuidad

Es una forma de expresar el principio de conservación de la masa. Para fluidos que se consideran incompresibles como el agua, se expresa de la siguiente forma:

$$Q = V1 * A1 = V2 * A2$$

donde:

Q: caudal (m³/s)
V: velocidad media en la sección (m/s)
A: área de la sección transversal de la tubería

2.1.7 Ecuación de Bernoulli

Los fluidos poseen tres formas de energía: potencial, cinética y de presión. La energía potencial es debida a la elevación con respecto a un nivel de referencia, al expresarla por unidad de peso resulta lo siguiente:

$$z = \frac{\text{energía potencial}}{\text{peso}}$$

La energía cinética corresponde a la velocidad que llevan las partículas, en forma similar a la anterior:

$$\frac{V^2}{\alpha 2g} = \frac{\text{energía cinética}}{\text{peso}}$$

La energía de presión puede provenir de la energía potencial o de la acción de un elemento externo como una bomba, así:

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{\text{energía de presión}}{\text{peso}}$$

Bernoulli desarrolló la siguiente ecuación, que expresa el principio de conservación de energía:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{\alpha 2g}$$

La cual debe permanecer constante, es decir, que entre dos puntos de un tramo de tubería se tendrá:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{\alpha 2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{\alpha 2g}$$

Esta ecuación se debe corregir, por un lado, por los efectos de fricción que hacen que la energía total de una sección se transforme en calor y que la suma de los tres términos de la ecuación de Bernoulli descienda en el sentido del flujo y, por otra parte, por la adición o reducción de energía a través de un equipo de bombeo o de una turbina. La expresión modificada queda así:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{\alpha 2g} + H_B = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{\alpha 2g} + hf_{1-2}$$

donde:

$H_{f_{1-2}}$: pérdidas por fricción entre secciones 1 y 2 = energía disipada en forma de calor. El incremento de temperatura por la fricción es imperceptible.

H_B : energía adicionada al fluido por el equipo externo (bomba), en metros de columna de agua.

2.1.8 Pérdidas por fricción por Darcy-Weisbach

Darcy y Weisbach (1850) dedujeron experimentalmente una expresión para calcular las pérdidas por fricción en tuberías de diámetro constante:

$$hf = f * \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

donde:

f: factor de fricción (adimensional)

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno (m)

V: velocidad (m/s)

H_f : pérdida por fricción (m)

Para determinar el factor de fricción (f) se puede emplear la ecuación desarrollada por Colebrooke White (1937):

$$f = \left(\frac{1}{-2 * \text{LOG} \left(\left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} \right) + \left(\frac{2,51}{RE \sqrt{f}} \right) \right)} \right)^2$$

donde:

f: factor de fricción (adimensional)
ε: rugosidad del material (mm)
D: diámetro (mm)
RE: número de Reynolds (adimensional)

Otra forma sencilla y directa para obtener el valor del factor de fricción (f) es utilizar el diagrama de Moody.

2.1.9 Pérdidas por fricción por Hazen-Williams

Hazen y Williams desarrollaron una ecuación experimental para calcular las pérdidas para agua a 15 °C, aunque también se emplea a otras temperaturas, siempre y cuando la viscosidad correspondiente no difiera significativamente:

$$hf = 10,64 * \frac{L * Q^{1,85}}{D^{4,86} * C^{1,85}}$$

donde:

Hf: pérdida por fricción (m)
L: longitud de la tubería (m)
D: diámetro interno (m)
Q: caudal (m³/s)
C: coeficiente de rugosidad (depende del material)

*Aunque el uso de esta ecuación actualmente es muy restringido, se incluye porque se utilizó en algunos ejemplos de cálculo.

2.1.10 Pérdidas de energía locales

Estas pérdidas se pueden determinar por medio de tablas disponibles en la bibliografía, donde se presenta la longitud equivalente de cada accesorio según su diámetro. En la Tabla 2-1 se muestra un ejemplo.

Tabla 2-1. Longitudes equivalentes en metro de tubería rectilínea para cálculo de pérdidas

DIÁMETRO		CONTRACCIÓN BRUSCA			TEE ESTÁNDAR		AMPLIACIÓN BRUSCA			VÁLVULA DE GLOBO ABIERTA	VÁLVULA DE ÁNGULO ABIERTA	VÁLVULA DE PIE CON COLADERA O VÁLVULA DE VERT. DE RESORTE O CHEQUE VERT. DE RESORTE	VÁLVULA CHEQUE PIVOTE ABIERTA	ENTRADA TIPO BORDA	ENTRADA NORMAL
INTERNO MILIMETROS	NOMINAL PULGADAS	CODO 45°	d/D=1/2	d/D=3/4	PASO DIRECTO O CODO RADIO LAVISO	ENTRADA SALIDA LATERAL	∅D=14 O CODO ESTÁNDAR 90°	∅D=12	∅D=3/4 O VÁLVULA DE COMPUERTA ABIERTA						
15.80	1/2	0.20	0.14	0.08	0.27	0.83	0.48	0.28	0.08	4.90	2.60	3.60	1.10	0.45	0.28
20.93	3/4	0.28	0.22	0.09	0.40	1.25	0.70	0.40	0.09	6.70	3.60	5.60	1.60	0.60	0.36
26.64	1	0.39	0.29	0.18	0.53	1.80	0.80	0.50	0.18	8.20	4.60	7.30	2.10	0.75	0.45
35.05	1-1/4	0.49	0.37	0.23	0.65	2.30	1.10	0.70	0.23	11.30	5.60	10.00	2.70	1.00	0.60
40.89	1-1/2	0.55	0.43	0.26	0.75	2.70	1.30	0.80	0.26	13.40	6.70	11.60	3.20	1.20	0.70
52.5	2	0.75	0.56	0.35	1.00	3.80	1.60	1.00	0.35	17.40	8.50	14.00	4.20	1.50	0.90
64.0	2-1/2	0.90	0.70	0.45	1.30	4.60	2.00	1.20	0.45	21.00	10.00	17.00	5.20	1.80	1.10
77.93	3	1.10	0.85	0.53	1.60	5.40	2.50	1.40	0.53	26.00	13.00	20.00	6.30	2.20	1.30
102.26	4	1.50	1.15	0.68	2.25	7.00	3.30	1.90	0.68	34.00	17.00	23.00	8.40	3.20	1.80
128.19	5	2.00	1.40	0.85	2.80	8.90	4.00	2.40	0.85	43.00	21.00	30.00	10.40	4.00	2.30
154.1	6	2.40	1.75	1.00	3.30	10.50	5.00	2.90	1.00	51.00	26.00	39.00	12.50	5.00	2.70
202.7	8	3.10	2.40	1.40	4.50	14.00	6.00	3.50	1.40	67.00	34.00	52.00	16.00	6.00	3.60
254.5	10	3.00	3.00	1.80	5.40	17.50	8.00	5.00	1.80	85.00	43.00	65.00	20.00	7.50	4.80
303.3	12	3.50	3.50	2.20	6.00	22.00	9.50	5.60	2.20	102.00	51.00	78.00	24.00	9.00	5.20

2.1.11 Ecuaciones para calcular la pérdida de calor

Para calcular los caudales de retorno se debe tener en cuenta la pérdida de calorías que sufre el agua como producto del caudal circulante y la caída de temperatura que experimenta en dicho recorrido.

De acuerdo con las leyes de la física, la pérdida de calor se puede expresar como:

$$C = h * Q * (T1 - T2)$$

donde:

C: pérdida de calor (k cal/h)

h: calor específico volumétrico (K cal/l*°C)

Q: caudal (l/h)

T1: temperatura del agua al inicio del tramo (°C)

T2: temperatura del agua al final del tramo (°C)

Adicionalmente, también se puede expresar como:

$$C = K * l * \left(\frac{T1 + T2}{2} - T0 \right)$$

donde:

C: pérdida de calor (k cal/h)

K: coeficiente de transmisión calorífica (K cal/h*m*°C)

l: longitud del tramo (m)

T1: temperatura del agua al inicio del tramo (°C)

T2: temperatura del agua al final del tramo (°C)

T0: temperatura ambiente (°C)

Igualando las dos ecuaciones, se tiene:

$$h * Q * (T1 - T2) = K * l * \left(\frac{T1 + T2}{2} - T_o \right)$$

- Despejando la temperatura 2:

$$T2 = \frac{T1 * (h * Q - 0.5 * K * l) + K * l * T_o}{0.5 * K * l + h * Q}$$

- Despejando el caudal:

$$Q = K * l * \frac{\frac{T1 + T2}{2} - T_o}{h * (T1 - T2)}$$

2.1.12 Ecuación del calor específico volumétrico

$$h = Ce * \rho$$

donde:

h: calor específico volumétrico (K cal/l*°C)

Ce: calor específico (K cal/kg*°C)

ρ : densidad (kg/l)

2.2 MATERIALES Y ACCESORIOS

- Tuberías rígidas de cobre

La tubería rígida de cobre tipo M se fabrica en medidas de 1/4 hasta 4", se utiliza para la conducción de agua fría y caliente en casas de habitación, edificios y naves industriales. La tipo L se fabrica en las mismas medidas que la anterior y se utiliza en sistemas de gas LP y natural, agua fría, agua caliente y sistemas contra incendio. La tubería rígida de cobre tipo N se fabrica en medidas de 1/2", 3/4" y 1" y se utiliza para instalaciones domésticas. La tipo K se fabrica en medidas de 1/4 hasta 4" y se emplea para sistemas de conducción de gas LP y natural, aire comprimido y líneas hidráulicas. La tubería flux para ingenios azucareros se fabrica de 1 hasta 4", es fundamental en sistemas de evaporación y tachos de la industria azucarera; además, tiene puntas recocidas que facilitan la expansión de los extremos para un fácil montaje en los equipos.

Además de las anteriores, existen aplicaciones adicionales de la tubería de cobre como la calefacción solar, combustible, aceite, refrigeración para aire acondicionado, gas médico, instalaciones de vacío, calderas, climatización y refrigeración.

- CPVC

El CPVC (cloruro de polivinilo clorado) se utiliza bastante en la industria de la construcción por ser un material resistente, flexible y duradero. Específicamente se aplica a las instalaciones hidráulicas y eléctricas de edificios, casas y otras estructuras.

El CPVC tiene usos similares al PVC; sin embargo, a diferencia de éste, posee una estructura química más rígida, que se obtiene gracias a la adición de más cloro a la cadena de PVC original, lo cual lo hace más resistente a las altas temperaturas y a la mayoría de los ácidos y sales minerales, pero se puede tornar quebradizo a bajas temperaturas, al contrario de los productos fabricados con PVC. Debido a sus buenas propiedades eléctricas y de aislamiento es ideal para soportar amplios rangos de temperatura en instalaciones eléctricas, siendo muy resistente en ambientes agresivos.

- Válvulas de control

Este término se refiere más a la función que al tipo de válvula, es decir, es cualquier válvula que sirva para regular el estado del flujo a través de la tubería. Las válvulas de control son interesantes por su uso en flujos, pues no crean exceso de cavitación o pérdidas de altura y se pueden utilizar en cualquier condición de flujo.

- Válvulas de compuerta

Este tipo de válvula posee un cuerpo totalmente encerrado con un disco o puerta rectangular o circular, la cual se mueve de forma perpendicular a la dirección del flujo. La válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicio, donde se requiere circulación interrumpida y poca caída de presión. Cuando la válvula está totalmente abierta se eleva por completo la compuerta fuera del conducto del flujo, por lo cual el fluido pasa en línea recta por un conducto que suele tener el mismo diámetro de la tubería.

- Válvulas de cono, bola y macho

Estos tipos de válvulas son similares en su función, la parte móvil generalmente es de forma cónica, con un agujero a través del cual pasa el fluido. Cuando la válvula está completamente abierta no existe bloqueo para el flujo y, por lo tanto, no hay pérdidas en la altura. Cuando está parcialmente abierta existen dos puntos de regulación: uno en la entrada y otro en la salida, esta característica da a la válvula de cono mejores propiedades que las válvulas de puerta y de mariposa.

- Válvulas de globo

Estas válvulas son ampliamente utilizadas, tanto con control manual como con automático. El flujo normal es de izquierda a derecha, pero esta válvula puede operar en reversa. Con el cambio del tipo de control una válvula de globo puede mantener constantes la presión de entrada, la presión de salida y la rata de flujo, además actúa como un controlador de la presión y de posibles oleajes en la tubería.

- Válvulas check o de retención

Este tipo de válvulas se utilizan para no dejar regresar un fluido dentro de una línea. Esto significa que cuando las bombas se cierran para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra automáticamente y deja pasar sólo el flujo que corre hacia la dirección correcta. Por esta razón, también se les denomina válvulas de no retorno. Obviamente que es una válvula unidireccional y se debe colocar correctamente para que realice su función usando el sentido de la circulación del flujo.

2.3 TOPOLOGÍAS DE REDES CON RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE, RAC

Los diseños de las redes de agua caliente con recirculación pueden presentar diferentes topologías, lo cual depende del tipo de edificación y de la ubicación de los equipos de calentamiento. Normalmente estos equipos se ubican en la parte superior o inferior del proyecto y los diseños pueden realizarse con circuitos verticales u horizontales. Existen otros sistemas con recirculación como los circuitos individuales piso a piso, que requieren la ubicación de equipos de calentamiento en cada nivel. A continuación se describe cada una de estas topologías.

2.3.1 Topologías de redes RAC con circuitos horizontales

Para una edificación, estas topologías están conformadas por una columna de suministro, una de retorno y circuitos horizontales. El suministro de agua caliente a los aparatos puede ser de alimentación hacia arriba o hacia abajo.

Estas topologías resultan bastante eficientes cuando se quiere realizar redes con recirculación por múltiples razones. En primer lugar, con una sola columna de suministro de agua caliente se pueden alimentar tantos puntos como sea necesario en cada nivel. En una edificación tipo hotel se pueden alimentar todas las habitaciones de un nivel con un solo circuito horizontal. En una edificación residencial se puede individualizar un circuito horizontal por cada apartamento, para permitir la medición de los consumos de agua.

Los recorridos del flujo serán lo más cortos posibles, pues éstos van directamente desde el equipo de calentamiento hasta cada aparato, sin hacer recorridos adicionales, como sucede en algunas topologías con circuitos verticales.

Se pueden alimentar varias torres en un proyecto, para lo cual se debe diseñar una columna de suministro y una de retorno por cada edificio con sus circuitos horizontales en cada nivel, según el requerimiento de agua caliente.

Por lo anterior, esta configuración es la que se recomiendan para realizar diseños de recirculación de agua caliente. Este estudio se basó en ella para efectuar las modelaciones y la metodología de diseño que se expone más adelante.

En las figuras 2-1 a 2-4 se presentan los esquemas tipo de redes RAC, conformadas por una sola columna y circuitos horizontales para una edificación.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

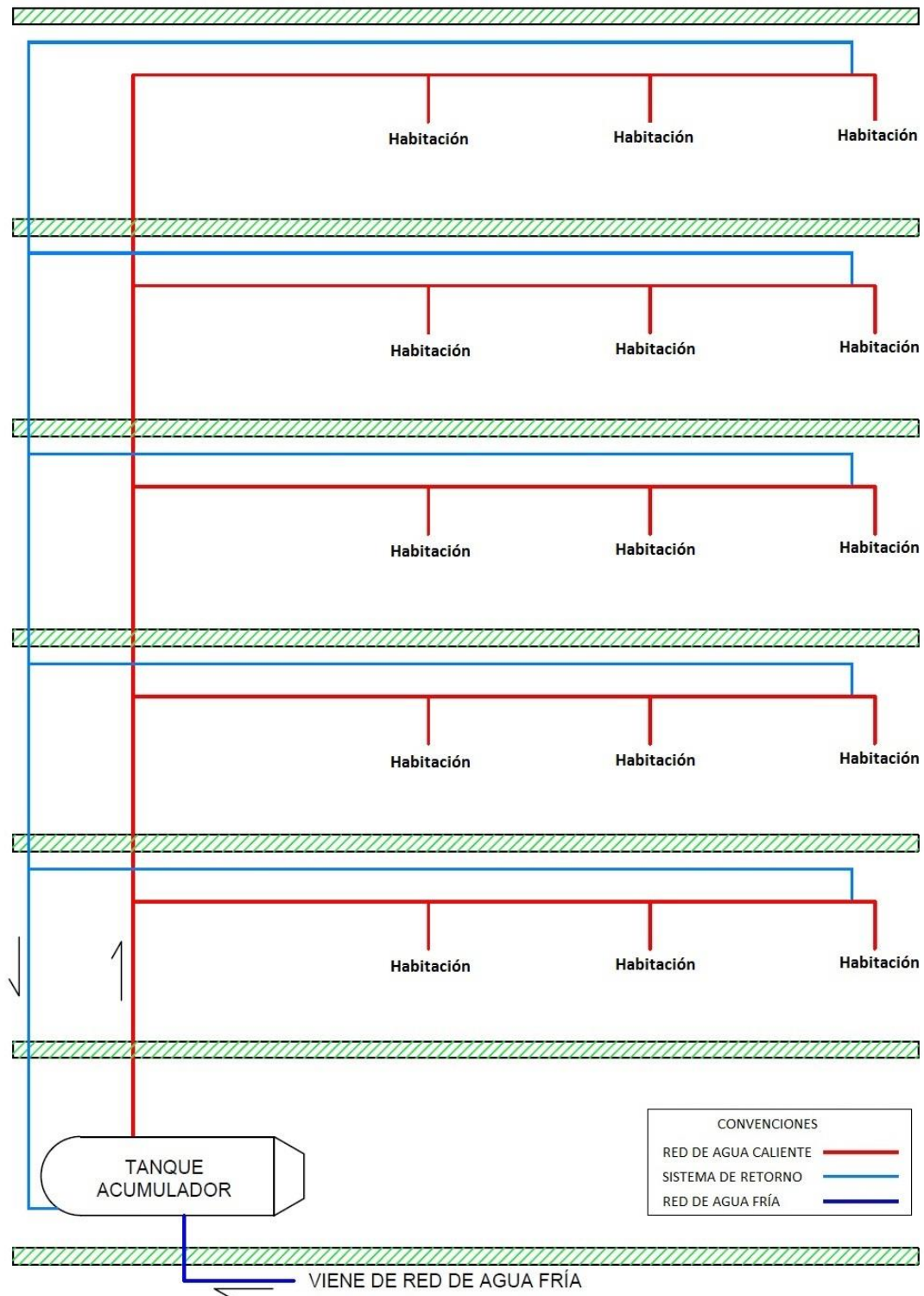


Figura 2-1. Esquema de circuitos horizontales de alimentación hacia arriba con equipos de calentamiento en nivel inferior

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

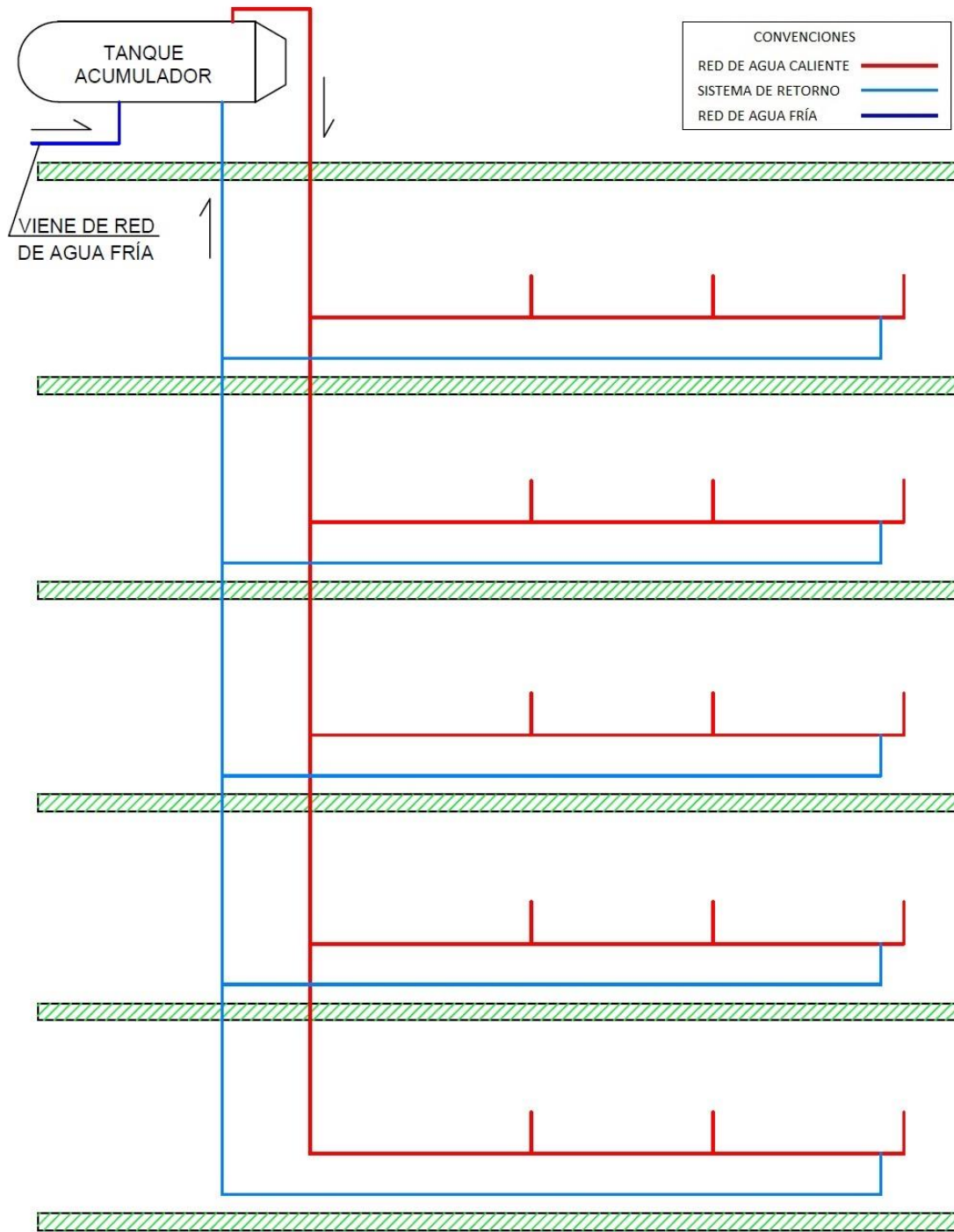


Figura 2-2. Esquema de circuitos horizontales de alimentación hacia abajo con equipos de calentamiento en nivel superior

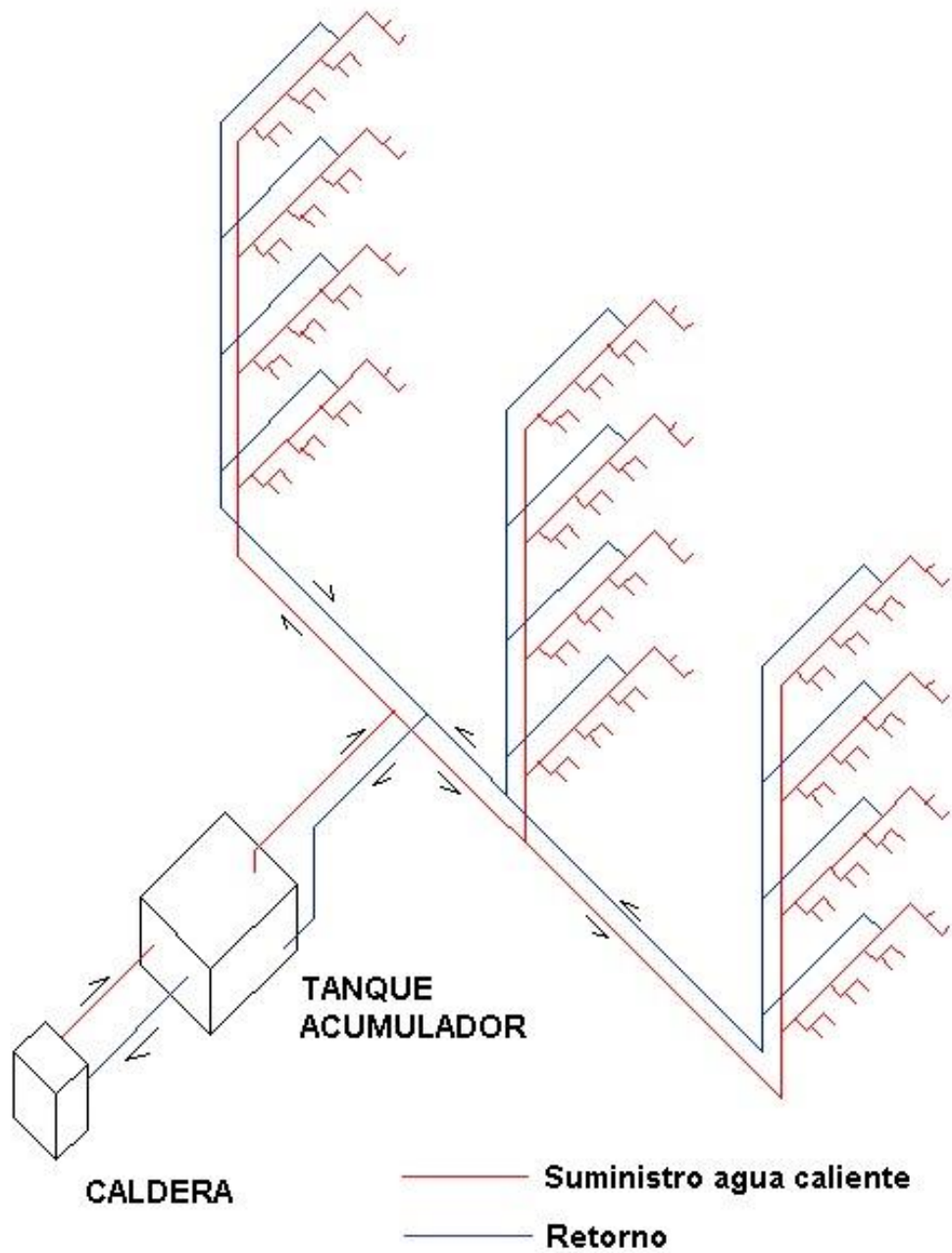


Figura 2-3. Esquema de circuitos horizontales de alimentación hacia arriba con equipos de calentamiento en nivel inferior y más de un edificio

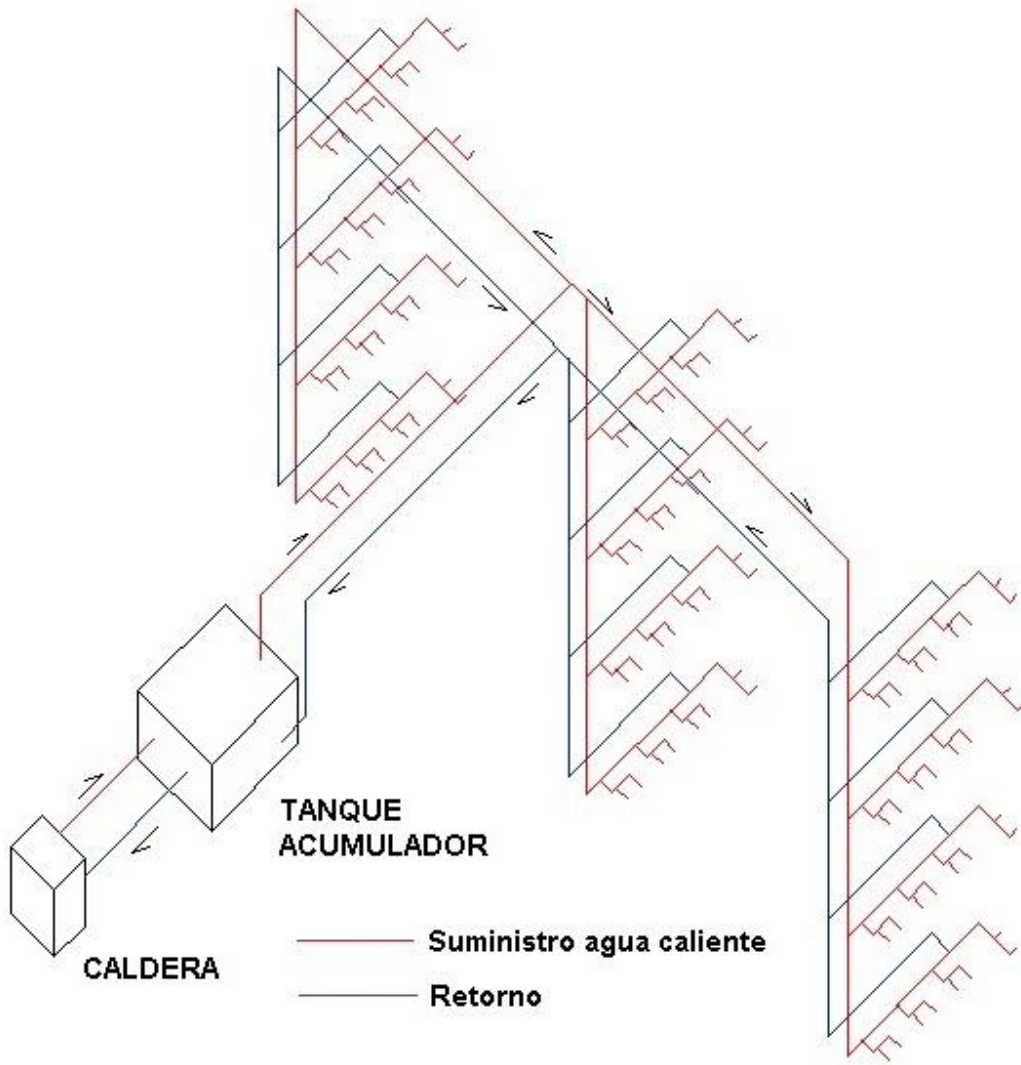


Figura 2-4. Esquema de circuitos horizontales de alimentación hacia abajo con equipos de calentamiento en nivel superior y más de un edificio

2.3.2 Topologías de redes RAC con circuitos verticales

Para una edificación, estas topologías están conformadas por una línea horizontal de suministro y circuitos verticales. El suministro de agua caliente a los aparatos puede ser de alimentación hacia arriba, hacia abajo o una combinación de éstas.

Estos diseños presentan algunas limitaciones, pues requieren bastantes columnas de suministro de agua caliente para satisfacer las demandas; además, algunos necesitan cantidades importantes de tubería y pueden presentar recorridos extensos del flujo con mayores pérdidas de energía y temperatura.

Estos circuitos no son una buena opción para diseñar edificaciones tipo hotel, donde hay muchas habitaciones en cada nivel, ya que se debe diseñar una columna de suministro de agua caliente por cada habitación de un nivel. Adicionalmente, si los niveles del proyecto no son iguales y tienen distribuciones diferentes, esto complica aún más el diseño para este tipo de circuitos.

La medición de volúmenes de consumo de agua caliente en edificaciones tipo residencial es bastante complicada, pues requiere la instalación de una gran cantidad de medidores.

En las figuras 2-5 a 2-10 se presentan algunos esquemas tipo de redes RAC para una edificación, conformadas por circuitos verticales.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

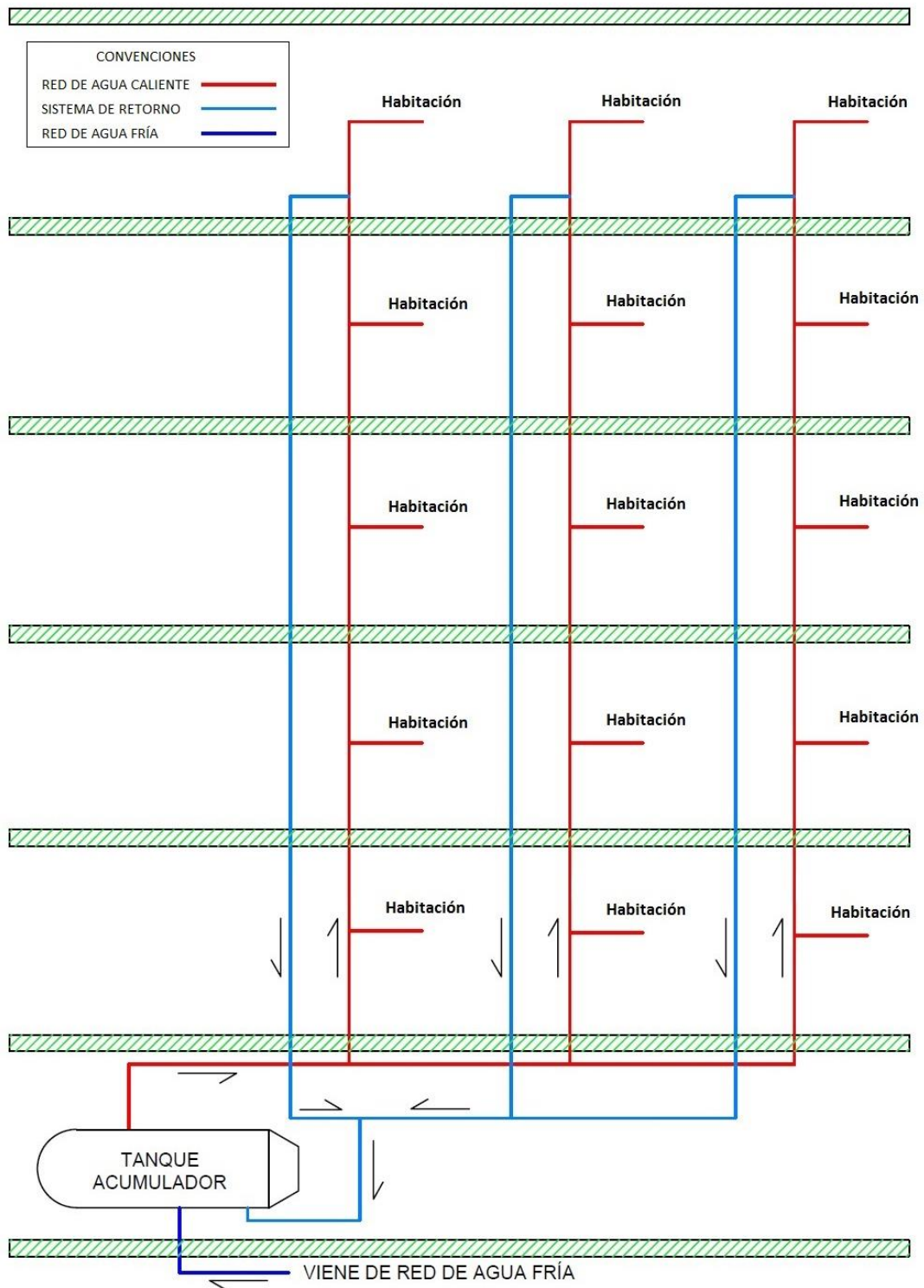


Figura 2-5. Esquema de circuitos verticales de alimentación hacia arriba con equipos de calentamiento en nivel inferior

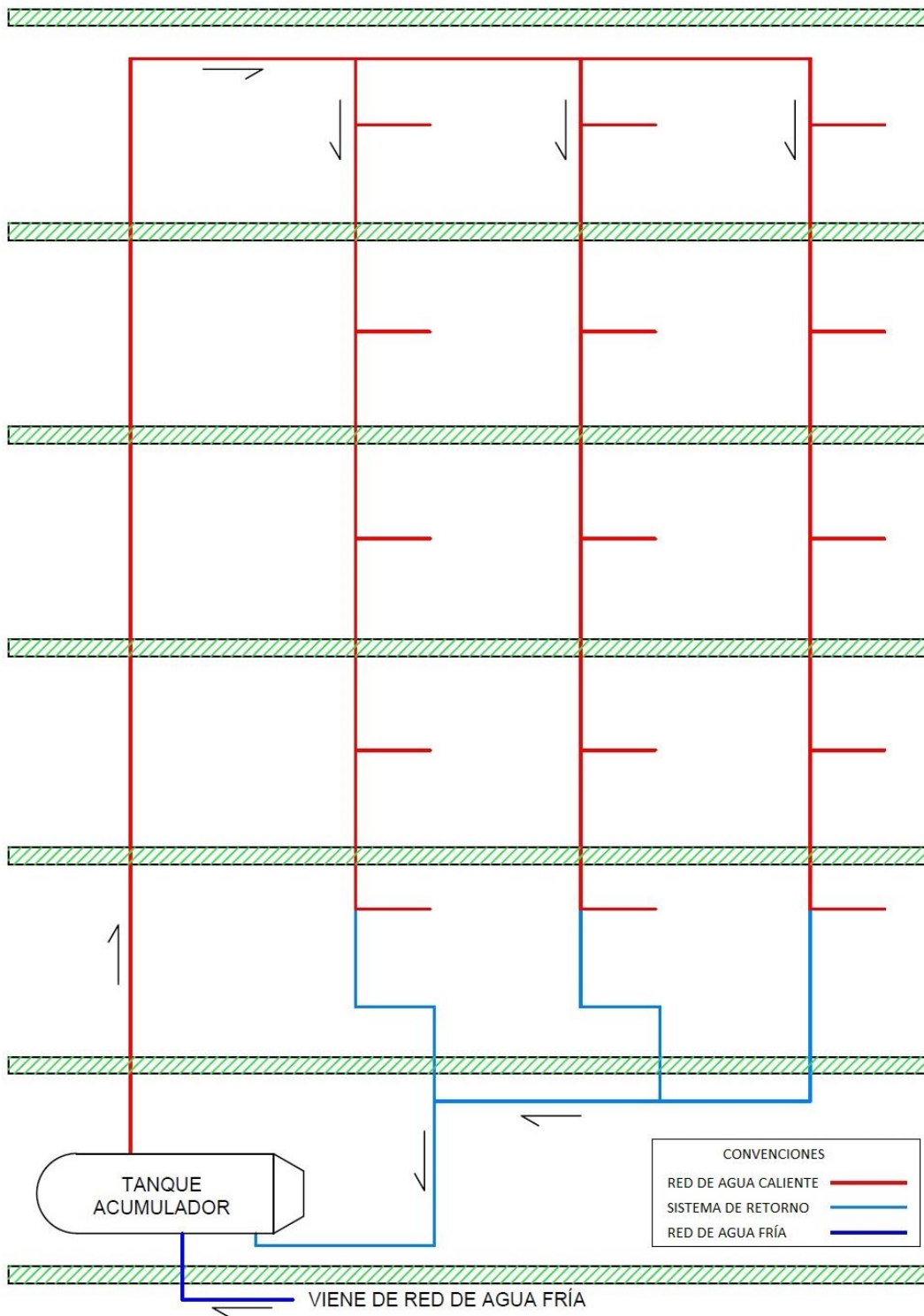


Figura 2-6. Esquema de circuitos verticales de alimentación hacia abajo con equipos de calentamiento en nivel inferior

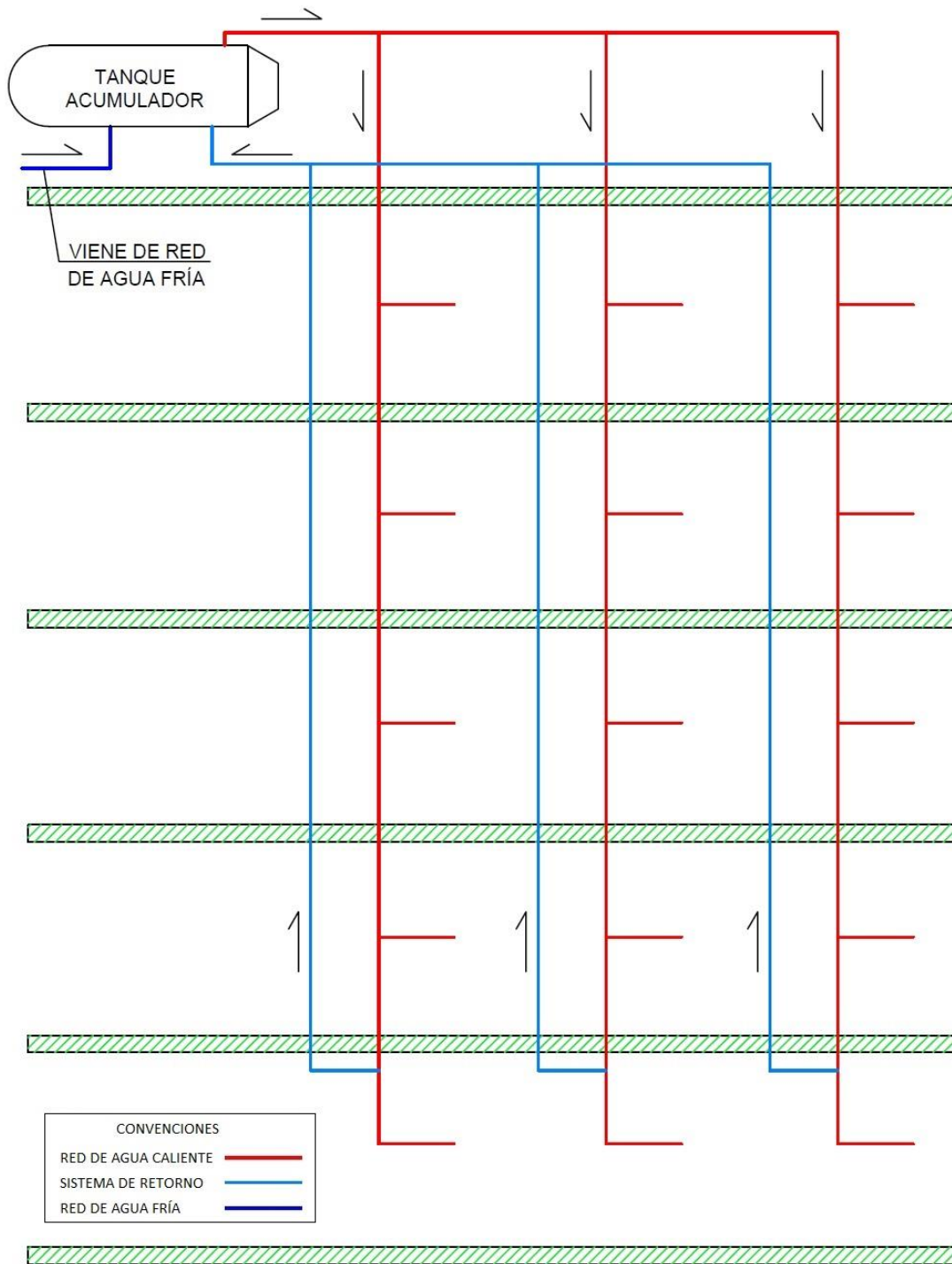


Figura 2-7. Esquema de circuitos verticales de alimentación hacia abajo con equipos de calentamiento en nivel superior

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

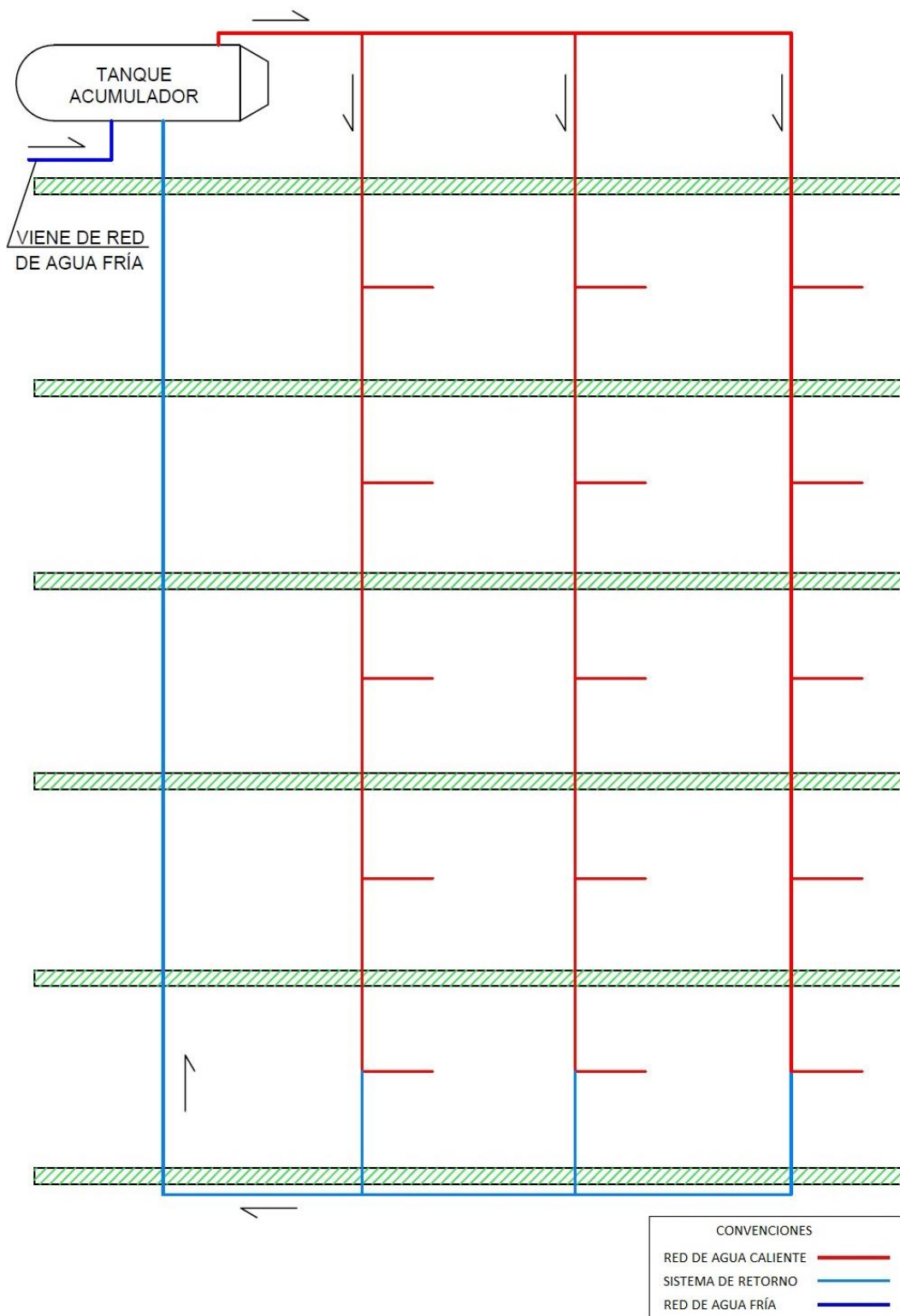


Figura 2-8. Esquema de circuitos verticales de alimentación hacia abajo con equipos de calentamiento en nivel superior y un solo retorno para todas las columnas

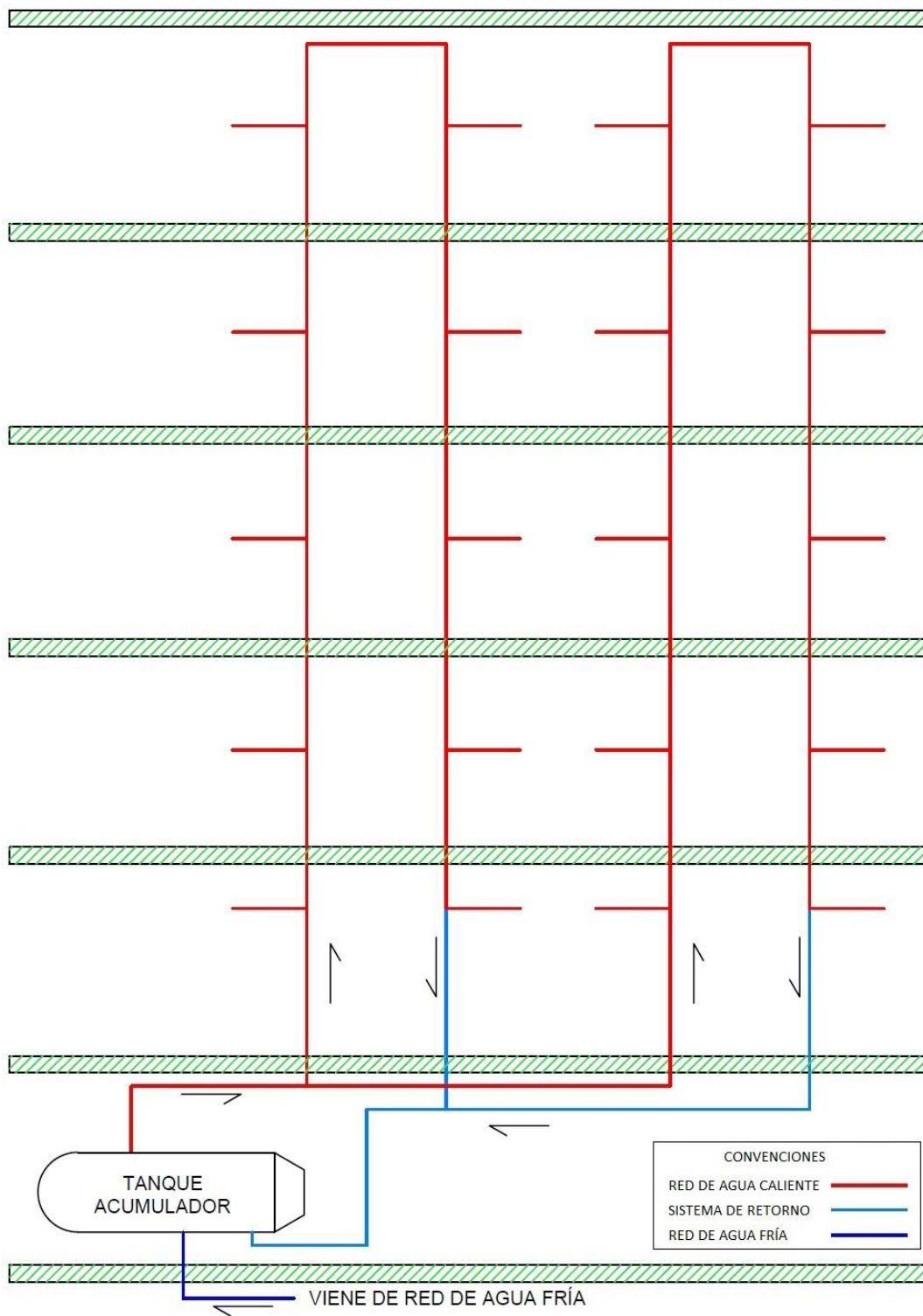


Figura 2-9. Esquema de circuitos verticales de alimentación combinada con equipos de calentamiento en nivel inferior

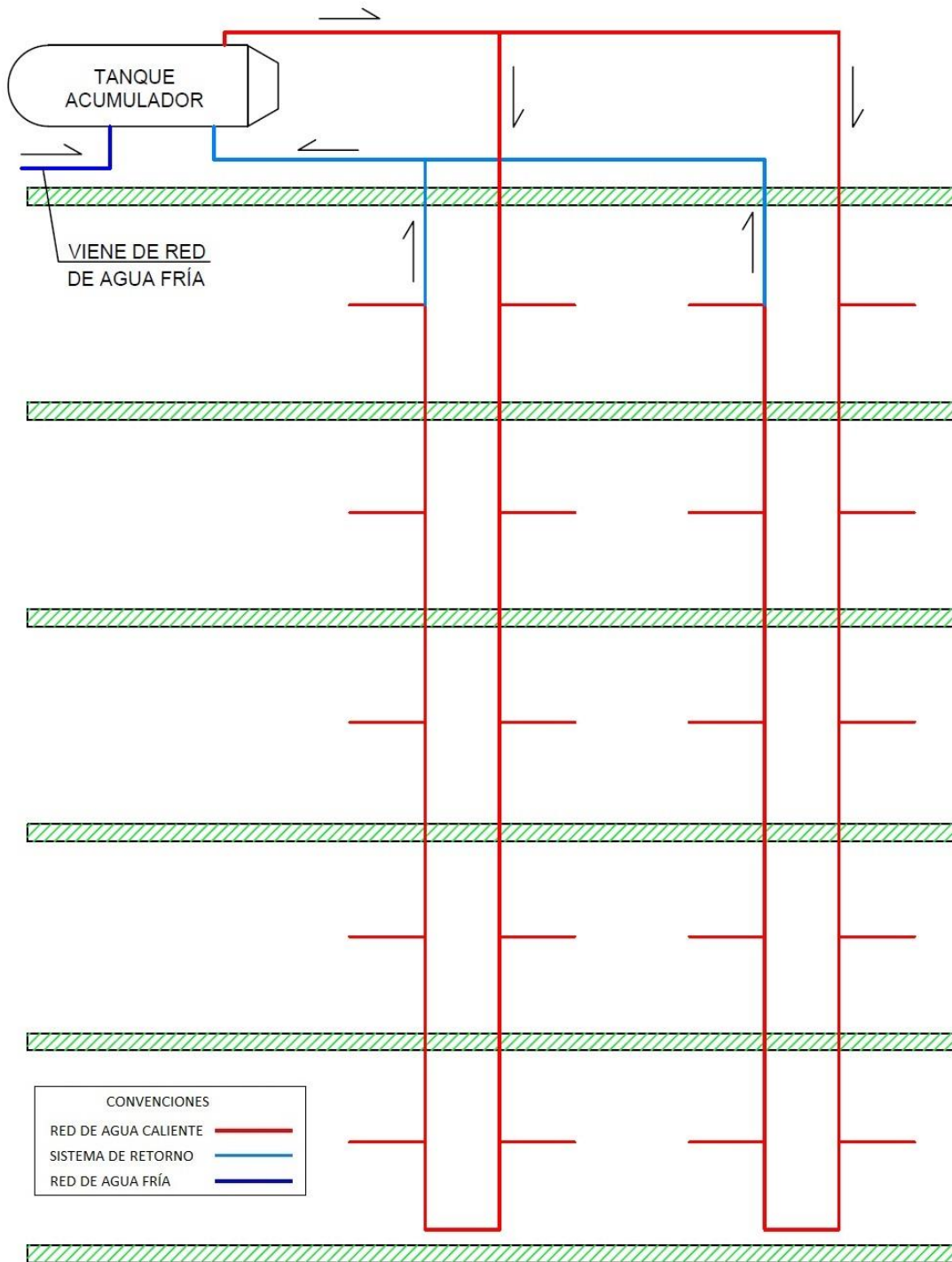


Figura 2-10. Esquema de circuitos verticales de alimentación combinada con equipos de calentamiento en nivel superior

2.3.3 Topología de redes RAC con circuitos individuales piso a piso

Además de las anteriores, existen otras configuraciones menos convencionales para sistemas con recirculación, como los circuitos individuales piso a piso que requieren ubicar equipos de calentamiento en cada nivel. El mayor inconveniente que presenta este tipo de sistemas es la cantidad de equipos que se deben instalar en cada piso, lo cual implica ocupar buena parte de espacio del proyecto. Adicionalmente, se incrementa el consumo de energía. En la Figura 2-11 se presenta un esquema que muestra la configuración de estos sistemas.

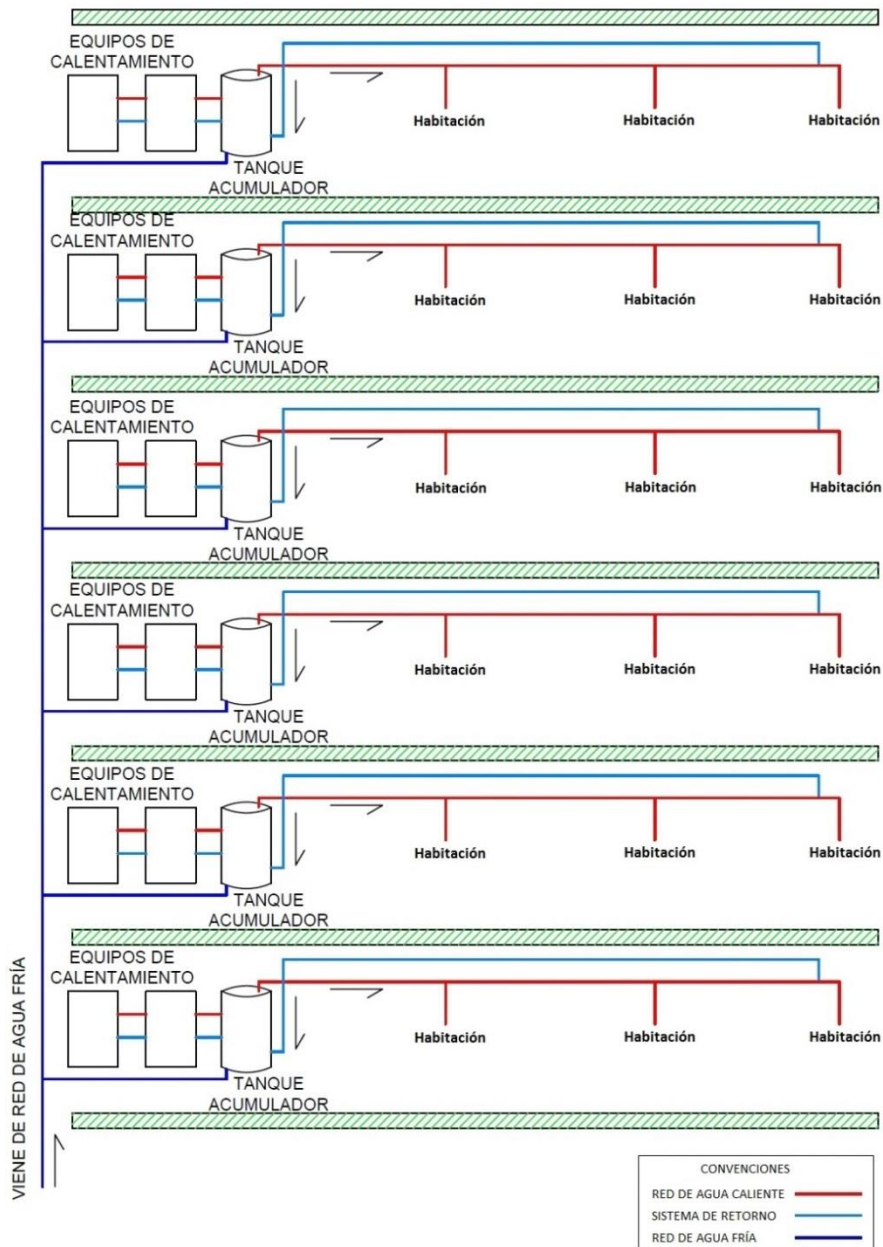


Figura 2-11. Esquema de circuitos individuales piso a piso con equipos de calefacción en cada nivel

2.4 TIPOLOGÍAS DE LAS EDIFICACIONES

En Colombia, generalmente las redes de recirculación de agua caliente se instalan en proyectos hoteleros; sin embargo, también se pueden instalar en otro tipo de edificaciones como hospitales, centros comerciales o en unidades residenciales que requieran agua caliente casi al instante.

3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE

Esta estimación se puede realizar de la misma forma como se hace para la red de agua fría, como lo propuso Roy B. Hunter en 1932 a través de la probabilidad de uso de los servicios y de la estimación del caudal máximo probable. Este método se apoya en el concepto de aleatoriedad del suministro a los aparatos (lavamanos, inodoros, duchas) y la frecuencia con que se utilizan, basándose empíricamente en el comportamiento de diferentes edificaciones. En consecuencia, el caudal máximo probable es el resultado de la afectación del caudal máximo posible por el factor de simultaneidad.

Por esta razón se plantea la asignación de unidades o ponderaciones de acuerdo con la demanda de cada aparato, asignando a cada unidad el caudal respectivo, según las ecuaciones establecidas en el numeral 6.4.5. "Método de Hunter modificado (norma Icontec 1500)".

$$\text{Aparato tanque} = 0,1163 \times \text{unidades}^{0,6875}, \quad \text{para } u < 260$$

$$\text{Aparato tanque} = 0,074 \times \text{unidades}^{0,7504}, \quad \text{para } u > 260$$

$$\text{Aparato fluxómetro} = 0,7243 \times \text{unidades}^{0,384}, \quad \text{para } u < 260$$

$$\text{Aparato fluxómetro} = 0,3356 \times \text{unidades}^{0,5281}, \quad \text{para } u > 260$$

Para cada aparato las unidades de consumo se determinan según el numeral 6.9.4 de la NTC1500 (véase Tabla 3-1). Una vez determinadas las unidades de gasto de cada aparato se deben multiplicar por 0,75, teniendo en cuenta que parte del caudal a la salida del aparato lo aporta la red de agua fría. Donde no existan aparatos determinados, el caudal se establece según el diámetro de entrada de la tubería, utilizando las tablas disponibles en la bibliografía especializada.

Tabla 3-1. Unidad de consumo por aparatos sanitarios (fuente: Tabla 8, NTC1500)

Aparatos	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de consumo
Inodoro	Público	Flujómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,5$ cm	10
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,0$ cm	5
Orinal	Público	Llave	2
Lavamanos	Público	Llave	4
Tina	Público	Válvula mezcladora	4
Ducha	Público	Válvula mezcladora	4
Fregadero de servicio	Público	Llave	2
Fregadero de cocina	Hotel, restaurante	Llave	4
Inodoro	Privado	Flujómetro	6
Inodoro	Privado	Tanque de limpieza	3
Lavamanos	Privado	Llave	1
Bidé	Privado	Válvula mezcladora	2
Tina	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha separada	Privado	Válvula mezcladora	2
Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
Lavadero de 1 a 3 compartimientos	Privado	Llave	3
Lavadora	Privado	Llave	2
Lavaplatos eléctricos	Pública	Llave	4
	Privado	Llave	3
	Público	Llave	6

1) Los valores de unidades relacionados representan la carga total para el sistema de abastecimiento de agua. Los valores individuales tanto para agua fría como para agua caliente en aparatos que incluyan las dos conexiones se debe tomar como $\frac{1}{4}$ del valor total relacionado para el aparato.

3.2 CONSIDERACIONES PARA CALCULAR CAUDALES DE RETORNO

Para realizar este cálculo se debe trabajar con la red de distribución de agua caliente a grifo cerrado, es decir, todos los puntos de agua se consideran cerrados. Estos caudales de retorno se calculan a partir de las ecuaciones de los numerales 2.1.11 y 2.1.12, como se muestra a continuación:

$$Q_{\text{retorno}} = \sum(K * l) * \frac{\frac{T1 + T2}{2} - T_o}{h * (T1 - T2)}$$

Donde la temperatura 1 (T1) la define el diseñador (se recomienda al menos 60°). La temperatura 2 (T2) es la que se tiene en el punto más alejado de la red, que también la define el diseñador y no debe ser inferior a los 50°, con el fin de evitar que se cultive la bacteria *legionella*, que produce la legionelosis, cuyo ambiente ideal es el agua con temperaturas entre 20 y 45°.

Por otro lado, el calor específico volumétrico (h) se debe calcular dependiendo del tipo de material. Para el cobre el calor específico (Ce) es 0,093 kcal/kg°C y la densidad (ρ) es 8,96 kg/l. A continuación se presenta el cálculo del h para tuberías de cobre:

$$h = Ce * \rho$$

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

$$h = 0,093 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 8,96 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 0,833 \frac{\text{kcal}}{\text{l} \cdot ^\circ\text{C}}$$

La sumatoria del K*l de cada tramo de la red se debe calcular desde el equipo de calefacción hasta el punto de retorno más alejado. El coeficiente K depende del diámetro y del tipo de material de la tubería. El valor del coeficiente K lo suministra el fabricante de la tubería, según el material, y la longitud l se debe ir midiendo para cada tramo definido. En la Tabla 3-2 se presentan los valores típicos del coeficiente K para tuberías de cobre y para diferentes diámetros.

Tabla 3-2. Valores del coeficiente K para tubería de cobre y diferentes diámetros

TUBO DE COBRE.						
Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor Aislamiento	K	Espesor Aislamiento	K	e1= $\frac{\text{Ø ext} - \text{Ø int}}{2}$
mm.	mm.	mm.	W / m° C *	mm.	W / m° C *	mm.
6	4,0	20	0,11	25	0,10	1
8	6,0	20	0,12	25	0,11	1
10	8,0	20	0,14	25	0,12	1
15	13,0	20	0,17	25	0,15	1
18	16,0	20	0,18	25	0,17	1
22	20,0	20	0,21	25	0,19	1
28	25,0	20	0,24	25	0,21	1,5
35	32,0	20	0,28	25	0,25	1,5
42	39,0	20	0,32	25	0,28	1,5
54	50,0	30	0,30	35	0,27	2
64	60,0	30	0,33	35	0,30	2
76,1	72,1	30	0,38	35	0,34	2
88,9	84,9	30	0,43	35	0,38	2
108	103,0	30	0,50	35	0,45	2,5
133	127,0	30	0,58	35	0,52	2,5
159	153,0	30	0,68	35	0,61	3
219	213,0	30	0,89	35	0,80	3
267	261,0	30	1,06	35	0,94	3

* 1W = 0.86 Kcal/h

3.3 DEFINICIÓN DE DIÁMETROS PARA LA RED DE AGUA CALIENTE

El flujo del agua en los conductos se asume permanente y, por lo tanto, la capacidad se evalúa mediante el caudal transportado y el material de la tubería. Una vez se estima el caudal en un tramo de la red, el diámetro se puede definir teniendo en cuenta la velocidad a la que va el flujo.

Se permiten velocidades de hasta 2 m/s para tuberías con un diámetro menor a 3" y hasta de 2,5 m/s para tuberías de 3" o más (NTC-6.9.2). De esta manera se establece una búsqueda por ensayo y error del diámetro necesario en cada tramo.

3.4 CÁLCULOS HIDRÁULICOS MEDIANTE EL USO DE MODELOS COMERCIALES O DE DOMINIO PÚBLICO

Los *software* de cálculo hidráulico de sistemas de distribución de agua, ya sean comerciales o de dominio público, permiten hacer los cálculos de tal forma que, previa introducción de la información básica requerida por cada uno de los elementos físicos que conforman el sistema, se ensambla un modelo que simula las condiciones hidráulicas de la red de distribución y permite calcular parámetros tales como presiones, niveles de agua y velocidades entre otros.

Con el uso de programas como Epanet (de dominio público) el análisis y diseño de sistemas de distribución de agua potable se puede enfocar más en analizar el comportamiento de la red para distintas condiciones físicas y operativas (diferentes demandas, diámetros de tuberías, etc.) en vez de concentrarse en métodos de resolución de cálculos manuales, que resultan algo complicados para sistemas de cierta extensión y complejidad.

Aunque en el mercado existe una gran variedad de programas para el cálculo de sistemas de distribución de agua potable, Epanet tiene la ventaja de que es gratuito y resulta bastante fiable para la modelación de sistemas complejos.

Cabe resaltar que los programas comerciales disponibles en el mercado tienen en cuenta los mismos algoritmos desarrollados en Epanet, ya que éste lo ofrece la EPA como un *software* de código abierto.

Para hacer modelaciones empleando este tipo de programas se deben establecer como datos de entrada las elevaciones, las longitudes, los diámetros, los coeficientes de fricción, las demandas de caudal y los accesorios de todos los puntos y tramos de la red que se está diseñando. Adicionalmente, se deben definir los accesorios y elementos que requiere la red, estableciendo sus condiciones de operación. Una vez introducida la información se ejecuta el modelo y se realizan las verificaciones de velocidad y demás parámetros que se desee, con el fin de validar el diseño o realizar los ajustes necesarios.

4. ANÁLISIS DE LAS REDES DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE, RAC

Como se mencionó, existen diferentes configuraciones de este tipo de redes, bien sea de circuitos horizontales o verticales y de alimentación hacia arriba, hacia abajo, combinadas o piso a piso. Sin embargo, este documento se centra en las redes con una topología de circuitos horizontales de alimentación hacia arriba o hacia abajo, pues son las más convencionales y posiblemente las más eficientes. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se describen los elementos básicos que debe tener una red RAC y se presenta un circuito básico donde se tienen en cuenta dichos elementos.

4.1 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA RED RAC

Los elementos más importantes en un sistema RAC son el equipo de calentamiento, que incluye la caldera y el tanque acumulador, la bomba de recirculación y las válvulas balanceadoras. Desde luego, para conformar una red de agua caliente con recirculación se deben instalar todo tipo de accesorios como válvulas de corte, válvulas check, codos, reducciones y demás que se requieran; sin embargo, los que garantizan la recirculación del agua en la red y una temperatura adecuada a la salida de los aparatos son los que se mencionaron inicialmente, cuyas características se describen a continuación.

4.1.1 Sistema de calentamiento

Estos sistemas elevan la temperatura por la acción de equipos como la caldera y el tanque acumulador.

- **Caldera**

Son artefactos que sirven para climatizar una estancia o proporcionar agua caliente a las residencias, dependiendo de la forma como se las utilice. Aunque su funcionamiento parece bastante complejo, estos artefactos trabajan casi de la misma manera que cualquier tipo de calefactor.

Aunque es un equipo confiable, si el sistema de control no actúa correctamente y la energía que se le proporciona excede la que puede absorber, se pueden ocasionar daños irreversibles. Las calderas modernas cuentan con ayudas para asegurar su correcto funcionamiento, como la válvula de seguridad, que protege al artefacto de una presión excesiva; además, tienen otros dispositivos que se encargan de prevenir incendios por falta de agua.

Un aspecto importante para el buen funcionamiento de una caldera es controlar el nivel de agua, ya que las labores de este artefacto dependen casi un 100% de este parámetro. El nivel de agua apropiado de una caldera varía dependiendo del fabricante, en algunos casos se establece un mínimo seguro, cuyo punto está situado generalmente por debajo del nivel visible, si éste cae demasiado el equipo puede recalentarse.

El funcionamiento de una caldera con tanque acumulador indirecto se lleva a cabo mediante un sistema de dos tuberías, una de las cuales alimenta el tanque a una elevada temperatura, establecida previamente. En esta tubería se deben instalar dos válvulas, una de corte y una de purga. La otra tubería es la que retorna el agua desde el acumulador hacia la caldera. En ésta se deben instalar, como mínimo, una válvula de corte, una bomba que proporciona la energía necesaria para conducir el agua, una válvula antirretorno, una válvula de corte y un vaso de expansión o recibidor de condensado (véase Figura 4-1). Por medio de este sistema se establece un circuito que garantiza una temperatura del agua prestablecida en el tanque acumulador.

- **Tanque acumulador**

Estos tanques pueden ser de dos clases: directos e indirectos, dicha clasificación depende en gran medida de la fuente de energía disponible.

Tanque acumulador eléctrico y de gas. Pueden poseer una resistencia o un quemador. Los especialistas ven en este tipo de acumulador una muy buena opción cuando se requieren transferir grandes cantidades de calor, ya que son de baja potencia. Pero si las demandas de agua caliente son constantes, entonces no sirven de mucho.

Tanque acumulador indirecto. Este sistema generalmente requiere un intercambiador adicional externo (una caldera) para su funcionamiento y siempre debe estar conectado. Sin duda estos aparatos tienen una gran ventaja y es que pueden satisfacer altas y prolongadas demandas de calor para todo tipo de aplicaciones, como abastecimiento de agua caliente.

Existen dos clases de este tipo de acumuladores: de doble pared y de serpentín. La diferencia es la capa de aislamiento que determina la transferencia de calor. Por ejemplo, el de serpentín tiene propiedades de convección libre más efectivas, ya que tiene un roce directo con el agua que se va a calentar, situación diferente al de doble pared, que tiene su centro geométrico lejos del área de intercambio, por lo tanto el fluido caliente no corre adecuadamente.

El coeficiente de transmisión global de energía calorífica es otro elemento que se debe considerar cuando se va a adquirir un acumulador, por lo cual se debe tomar en cuenta la configuración geométrica del dispositivo. Es importante asesorarse con un especialista en aparatos y sistemas que trabajen mediante acumuladores.

Así mismo, el material con que este hecho también es de gran importancia. Un buen tanque acumulador está elaborado con acero inoxidable, acero esmaltado o cobre. Este último es el que se trabaja actualmente, ya que posee mayores propiedades conductoras térmicas que las otras aleaciones.

En la Figura 4-1 se presenta un esquema típico de instalación de un sistema de calefacción con caldera y tanque acumulador indirecto.

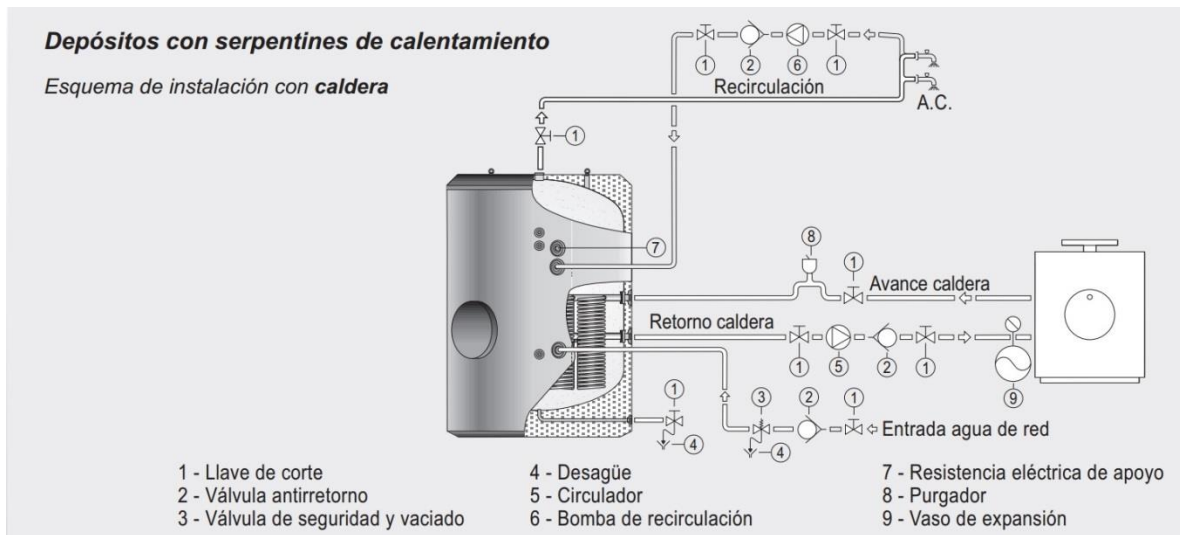


Figura 4-1. Esquema típico de instalación de calderas

4.1.2 Bomba de recirculación

Estas redes requieren la instalación de una bomba de recirculación que permita circular el agua por todo el circuito. Por ser un circuito cerrado no recibe energía externa y sólo con la inercia del calor del agua sería muy lento e ineficaz, por lo cual la bomba aporta la energía necesaria para recircular los caudales de retorno calculados.

Igual que con los demás elementos de la red, el buen dimensionamiento de la bomba es importante. Una bomba con demasiada potencia genera ruidos molestos y puede ocasionar problemas en la instalación.

Para determinar el equipo que se va a instalar se debe calcular la pérdida de carga en el sistema debida a la recirculación y al caudal que se pretende recircular. Con estos dos parámetros se puede seleccionar el equipo de bombeo que satisfaga las necesidades de la red.

Para determinar las pérdidas es necesario haber definido el tipo de material de la tubería, los diámetros y los caudales, tanto de consumo como de retorno. En el capítulo 5 se describe en detalle la forma de calcular las pérdidas de energía y el caudal que debe recircular el equipo de bombeo.

4.1.3 Válvulas balanceadoras (Circuit Setter Valves)

Son válvulas diseñadas para el equilibrio de sistemas con condiciones preestablecidas. Este método de equilibrio del sistema permite establecer caudales fijos dentro de un rango de presiones bastante amplio. La función de este tipo de válvulas consiste básicamente en sostener una presión aguas arriba de ella, lo cual garantiza el mismo caudal para la red trabajando en su punto máximo de demanda o con todas las llaves cerradas.

Las válvulas balanceadoras están disponibles en una amplia gama de tamaños y estilos para satisfacer todas las demandas del sistema. Son elaboradas en bronce, para tamaños de ½ a 3". Existen válvulas de bola de paso completo con placa de identificación del calibrado, que cuentan

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

con una memoria y dos puertos integrados de presión/temperatura para facilitar las mediciones de presión.

Para los sistemas de mayor tamaño están disponibles en tipo bola (2½ a 4") y tipo globo (4 a 12"). Las válvulas tipo globo incluyen un vástago de múltiples vueltas, placa de calibrado, botón de memoria para facilitar el reajuste de la posición de la válvula después de la desconexión y puertos integrados de presión/temperatura.

Las aplicaciones de este tipo de válvulas incluyen sistemas de recirculación de agua caliente, bombas de calentamiento, tablero de bobinas, unidades de calefacción, unidades de ventilación, radiación, entre otras. En la Figura 4-2 se presenta una válvula balanceadora y en la Figura 4-3 el esquema interno de ésta, visto desde arriba.

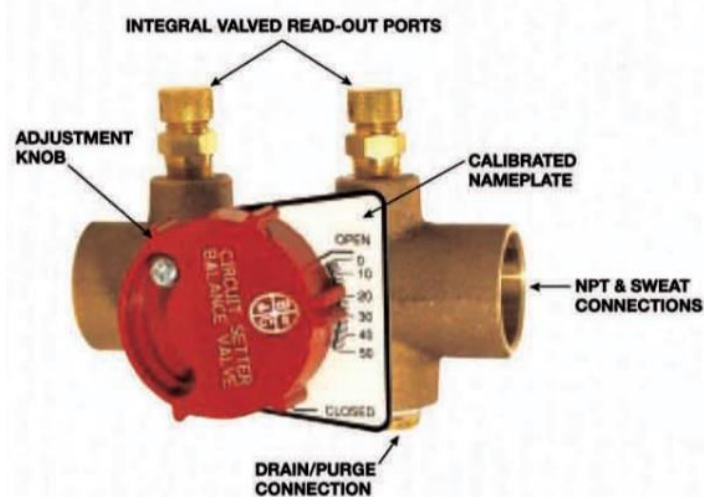


Figura 4-2. Válvula balanceadora (Circuite Setter Valve)

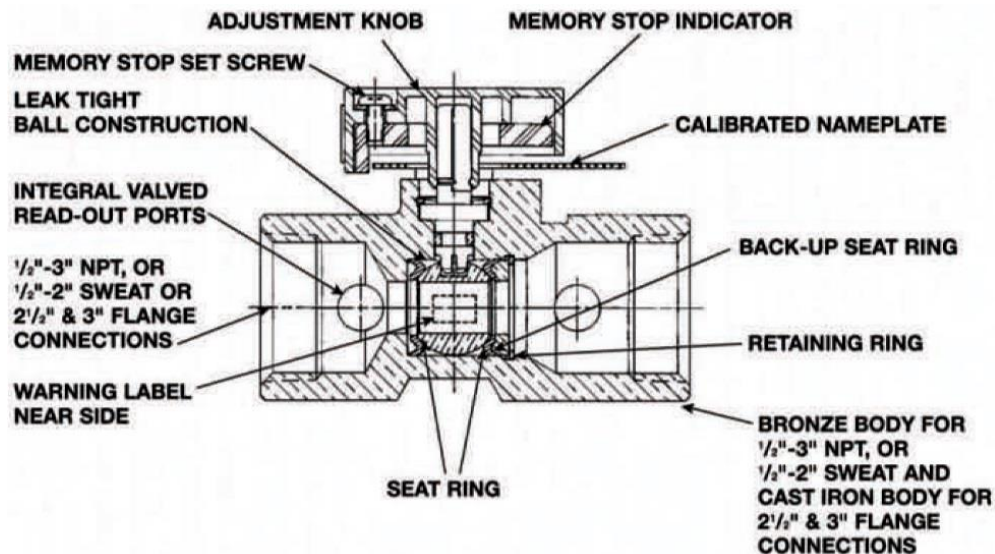


Figura 4-3. Esquema interno de una válvula balanceadora (Circuite Setter Valve)

4.2 MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA UN APARATO

A continuación se presenta un esquema del modelo base para el diseño de los sistemas de agua caliente con recirculación, teniendo en cuenta el funcionamiento de una red (Figura 4-4). El objetivo es simular un sistema muy básico, con un solo punto de agua y un caudal de retorno preestablecido, el cual debe permanecer igual, tanto para la ducha abierta como para la ducha cerrada.

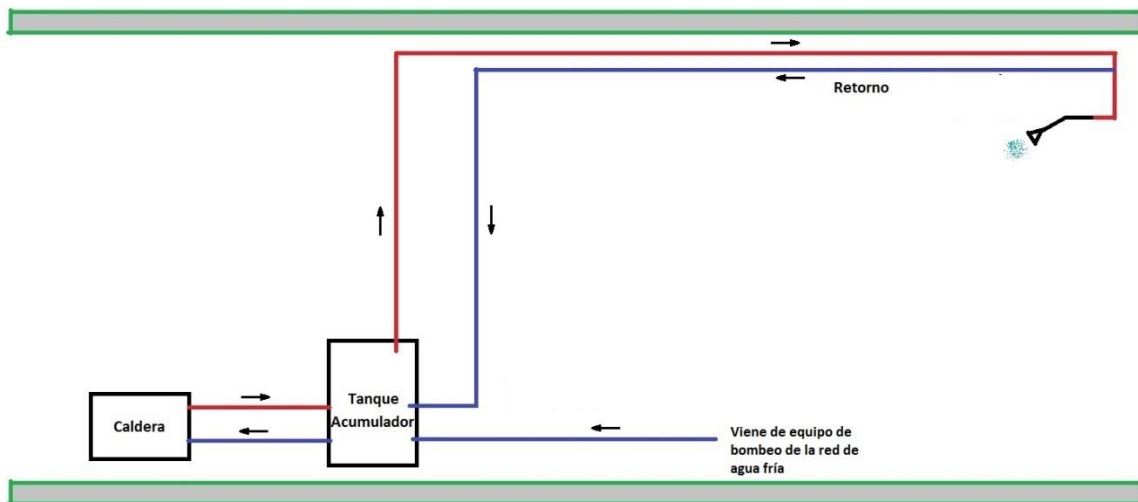


Figura 4-4. Esquema de recirculación de agua caliente con caldera y acumulador indirecto

Para realizar la modelación de este sistema no es necesario tener en cuenta la alimentación que realiza la caldera, ya que su única función es mantener el agua dentro del tanque acumulador a una temperatura definida.

Para la recirculación de este circuito es necesario incorporar un equipo de bombeo, el cual suministra la energía requerida para asumir las pérdidas que se producen en la red. El caudal de recirculación, que es constante, se debe garantizar mediante un accesorio que controle las fluctuaciones de presión por apertura y cierre del punto de agua. El accesorio ideal, como ya se mencionó, es una válvula balanceadora (Circuit Setter Valve), que se debe colocar en la tubería de retorno. En la Figura 4-5 se presenta el esquema básico de un circuito con recirculación de agua caliente para un aparato.

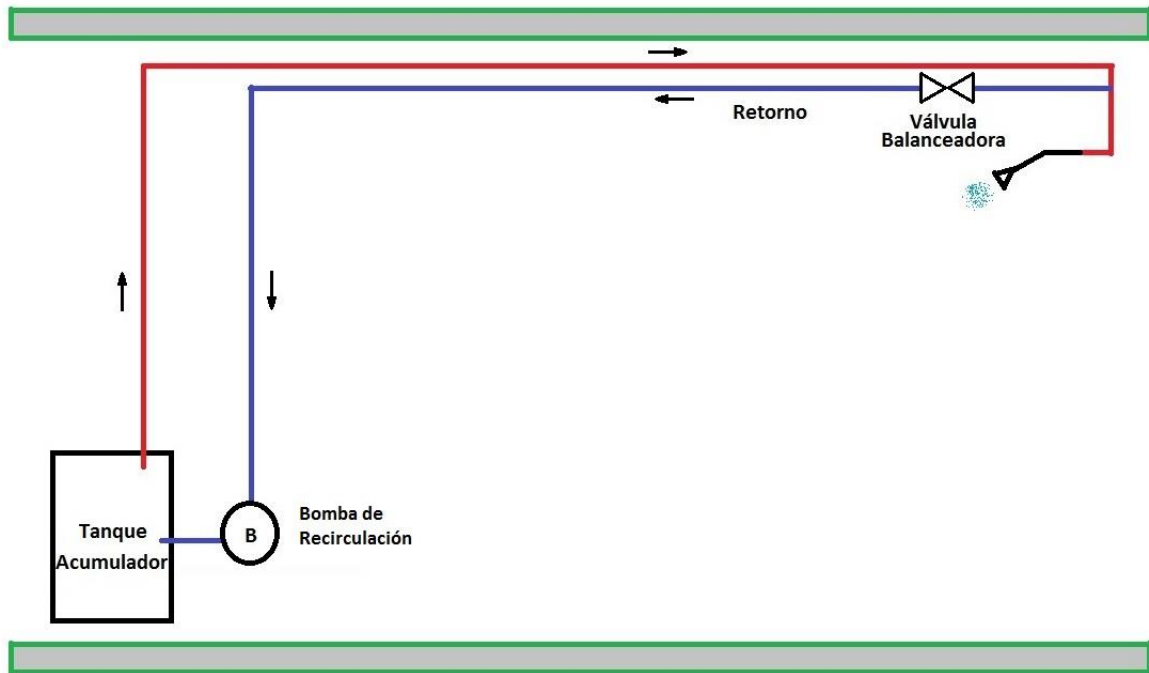


Figura 4-5. Esquema de recirculación de agua caliente para simular en Epanet

Este esquema se tomó como base para la modelación de sistemas más complejos de agua caliente con recirculación. En la Figura 4-6 se presenta el mismo esquema modelado en Epanet. En las figuras 4-7 a 4-10 se presentan las consideraciones de la modelación y sus resultados.

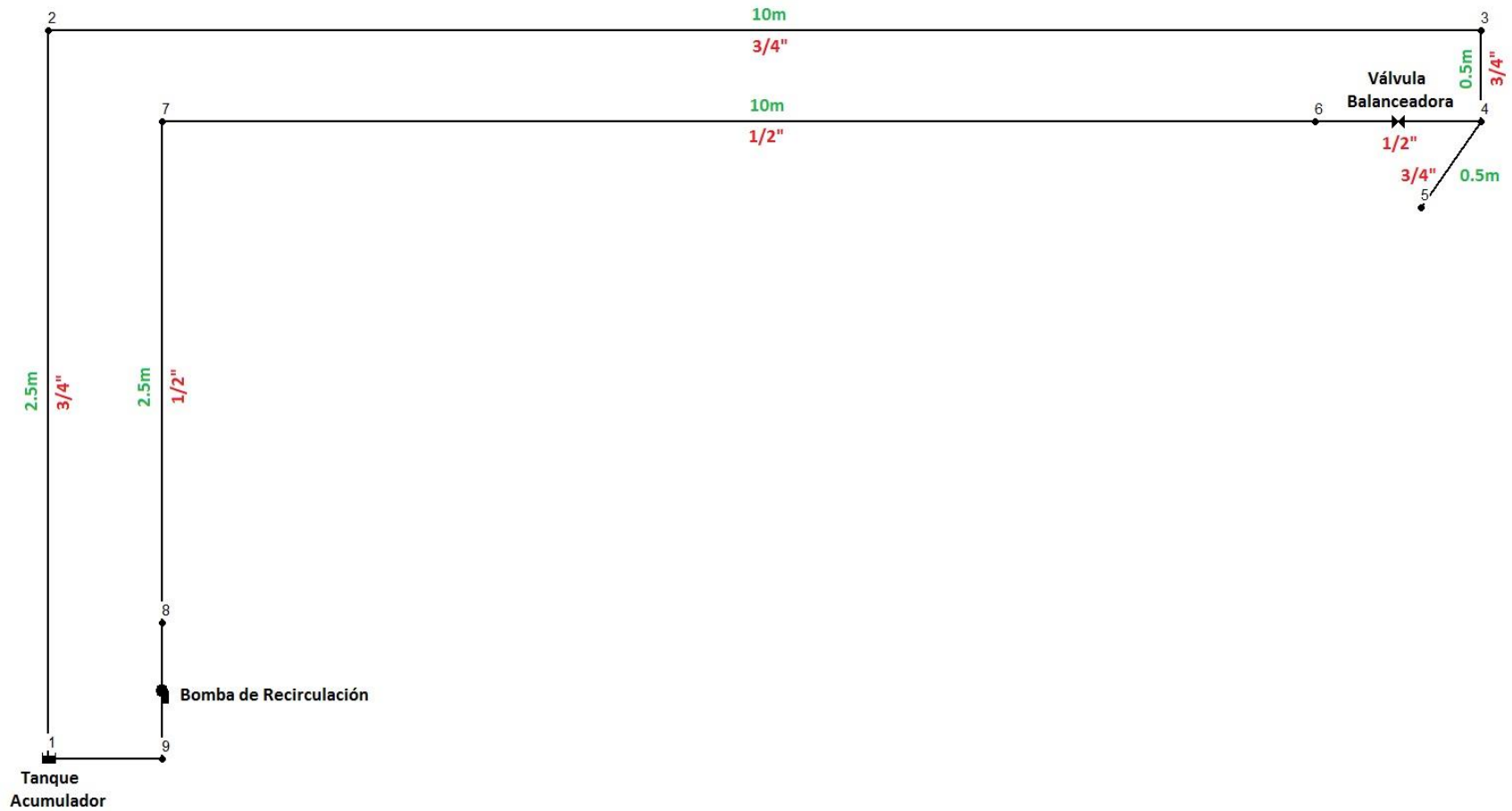


Figura 4-6. Modelo del sistema de agua caliente con recirculación

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Para ejecutar el modelo se definió una presión en la ducha de 10 m.c.a., un caudal en la ducha de 0,35 l/s y un caudal de retorno de 0,02 l/s. Con este último caudal se puede definir la bomba que se requiere para hacer circular el caudal de retorno. Adicionalmente, se colocó una válvula balanceadora (FCV o limitadora de caudal), la cual permitió fijar el caudal, que para este caso fue de 0,02 l/s.

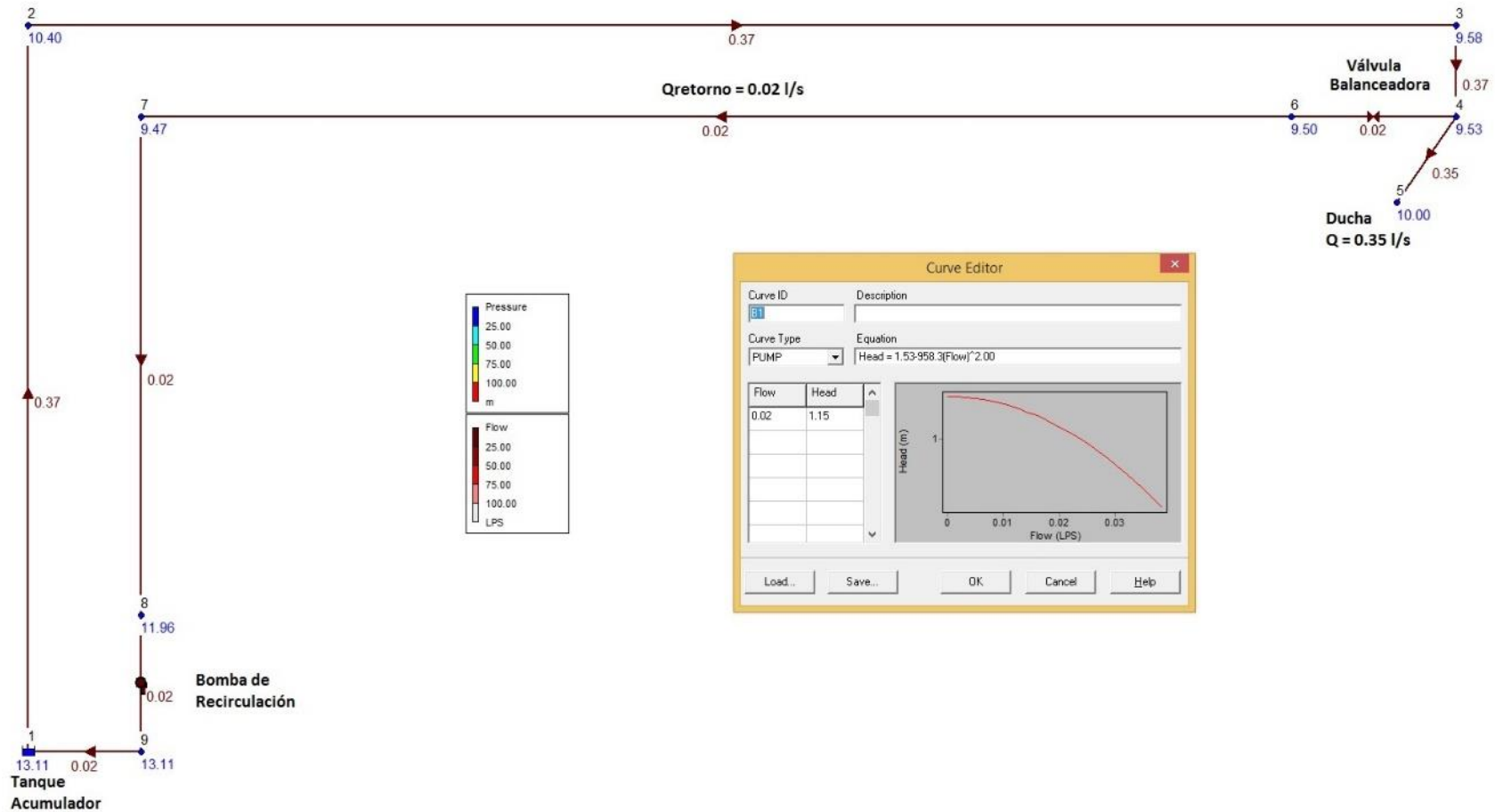


Figura 4-7. Modelo del sistema de recirculación con una ducha abierta, caudales por tubería y presiones en cada punto

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

En la Figura 4-8 se presenta el chequeo de las velocidades para el circuito con la ducha abierta, donde se debe verificar que no sea mayor que 2 m/s.

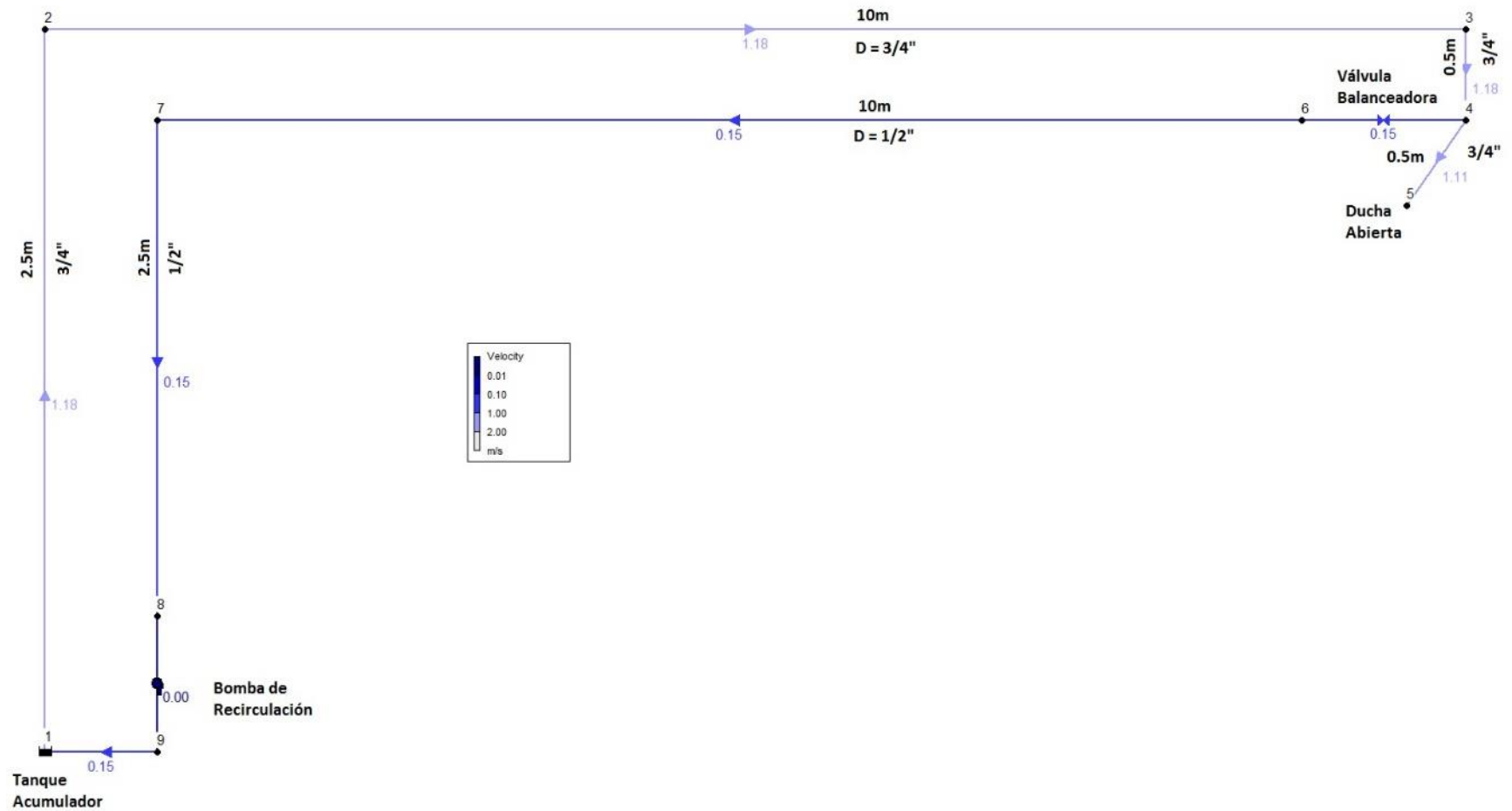


Figura 4-8. Velocidades del sistema de recirculación con ducha abierta

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Igualmente, se ejecutó el modelo con la ducha cerrada (Figura 4-9), manteniendo los mismos parámetros para la bomba y la válvula balanceadora.

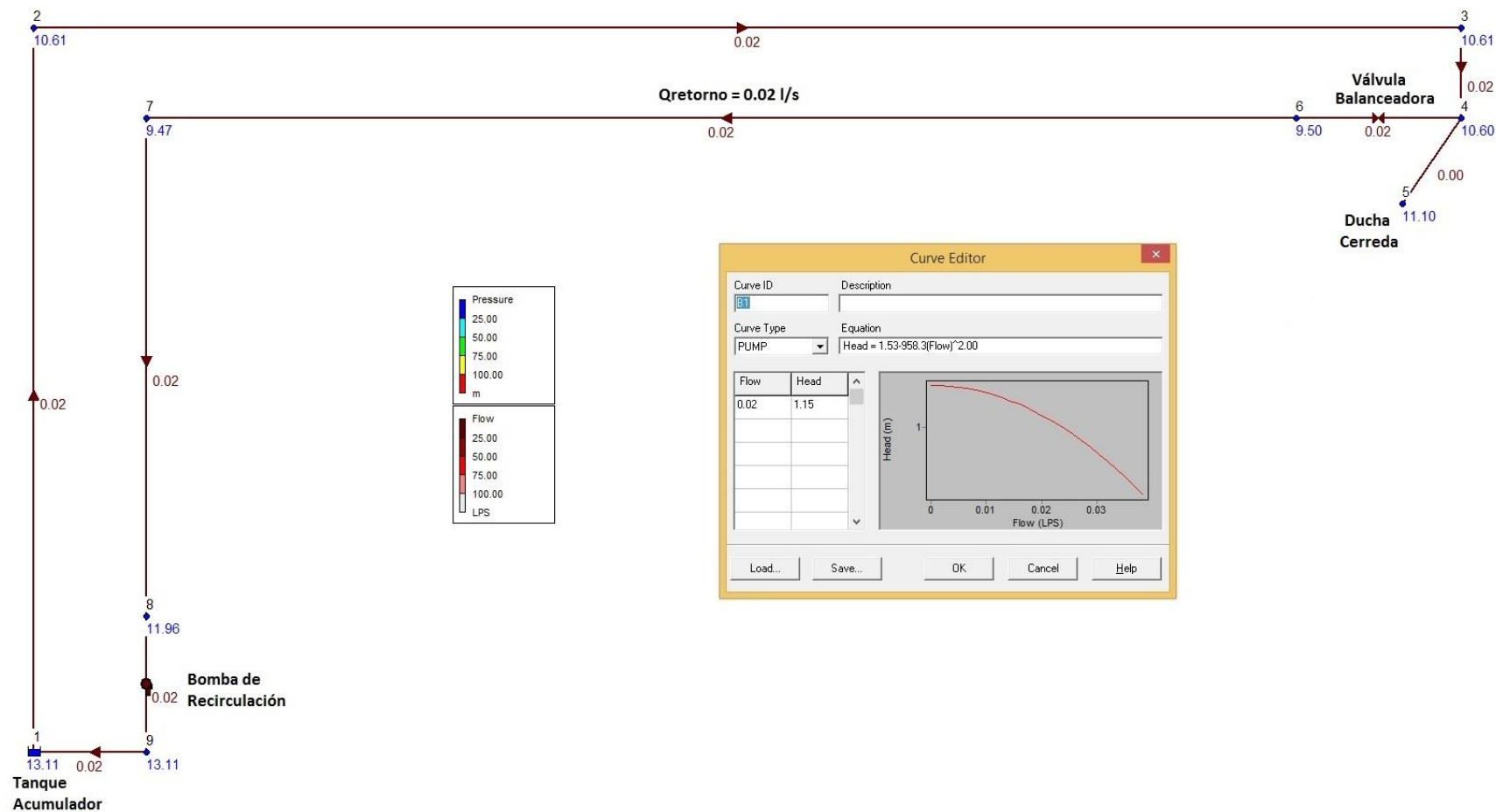


Figura 4-9. Modelo del sistema de recirculación con una ducha cerrada, caudales por tubería y presiones en cada punto

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Como se puede observar, el circuito sigue funcionando con el caudal de retorno de 0,02 l/s. En la Figura 4-10 se presentan las velocidades del circuito con la ducha cerrada.

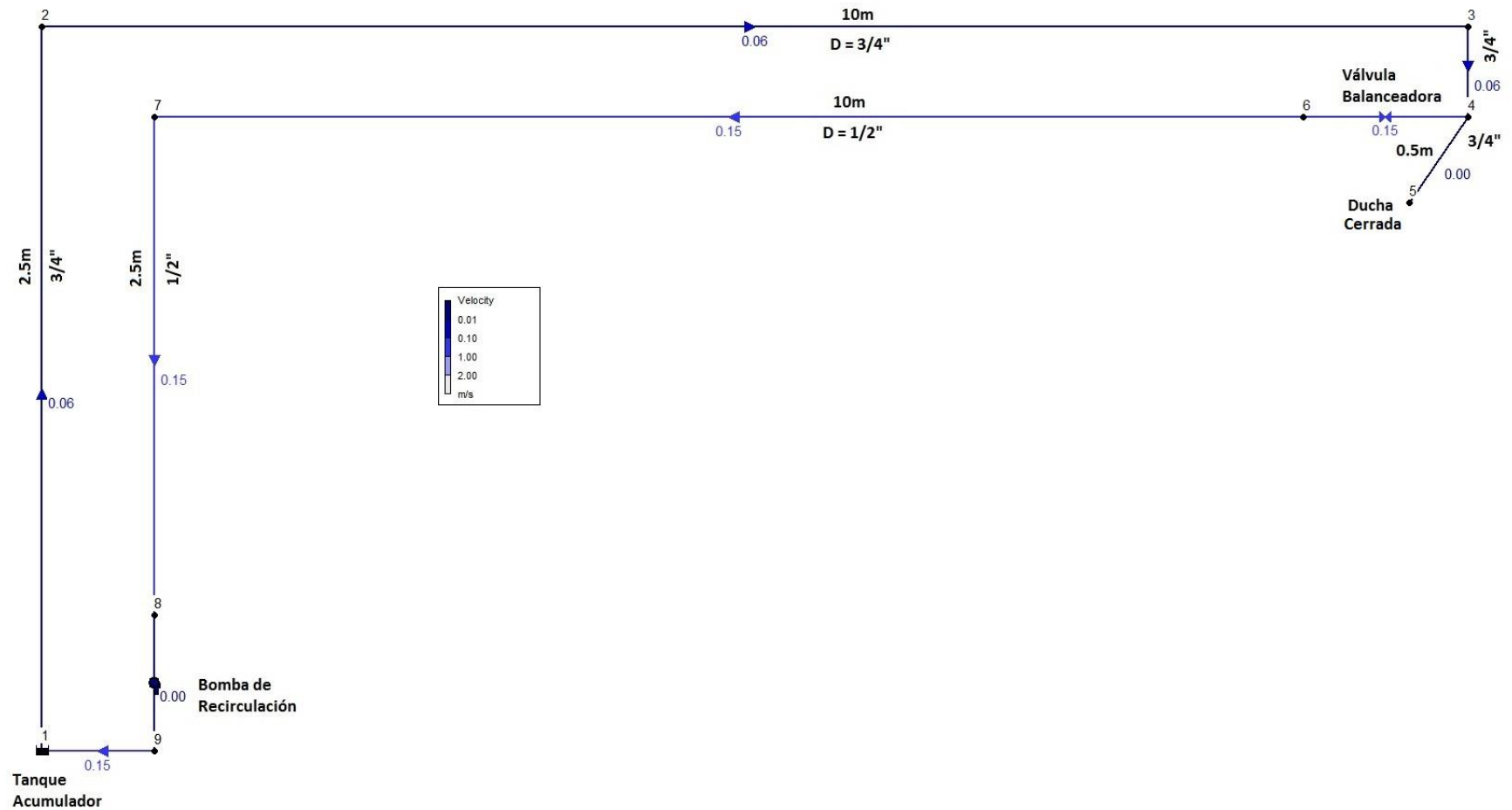
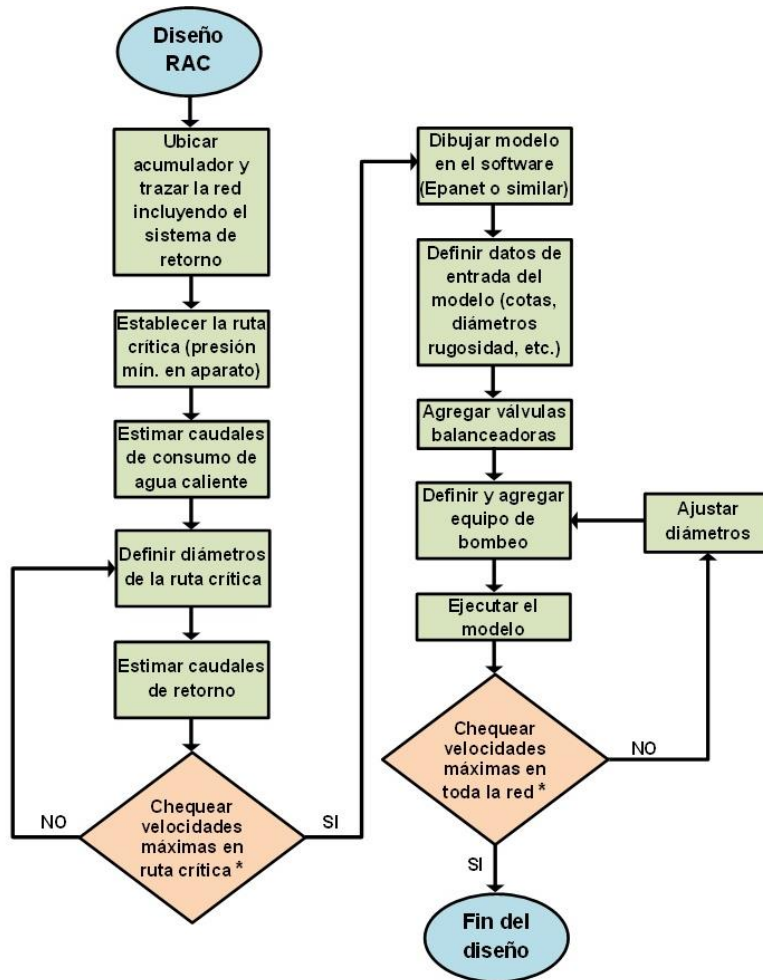


Figura 4-10. Velocidades del sistema de recirculación con ducha cerrada

5. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE REDES CON RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE

Generalmente, cuando se va a realizar el diseño del suministro de agua de un proyecto, incluyendo agua caliente y agua fría, es necesario diseñar un equipo de bombeo para garantizar las demandas de agua en los puntos más altos y/o alejados. Normalmente este equipo de bombeo se diseña con base en la red de agua fría, ya que es la que presenta mayores pérdidas de energía por cuanto debe suministrar a más aparatos. Tomando en cuenta lo anterior, primero se diseña la red de agua fría y posteriormente la de agua caliente.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra un resumen de la metodología para diseñar una red con recirculación de agua caliente (RAC) y a continuación se hace una descripción detallada de ésta. Cabe aclarar que este diagrama supone que el diseño de la red de agua fría ya se encuentra terminado.



* La velocidad máxima para tuberías menores que 3" es de 2 m/s y para tuberías de 3" o mayores es de 2.5 m/s.

5.1 UBICACIÓN DE EQUIPOS Y TRAZADO DE LA RED RAC

El primer paso para realizar un diseño de suministro de agua caliente con recirculación es definir la ubicación de los equipos de calentamiento de agua, para lo cual es importante conocer la localización del equipo de bombeo de la red de suministro de agua fría. En general, se recomienda que la ubicación del equipo de calentamiento de agua (caldera y tanque acumulador) esté en el mismo nivel que el cuarto de bombas, con el fin de aprovechar la altura suministrada por el equipo.

El cuarto de calderas puede ubicarse en el último nivel, en el sótano o en el primer piso, según sea el caso. No está permitido ubicar estos equipos en niveles por debajo del sótano 1, de acuerdo con la normativa vigente, y resulta inconveniente ubicarlos en niveles intermedios.

Para realizar el trazado de la red se debe tener en cuenta que se requiere una columna de alimentación y una de retorno. Estas columnas se unen en el circuito que se debe formar en el nivel más alejado del sistema de calentamiento. Es importante que estas columnas no se junten en ningún otro punto (Figura 5-1).

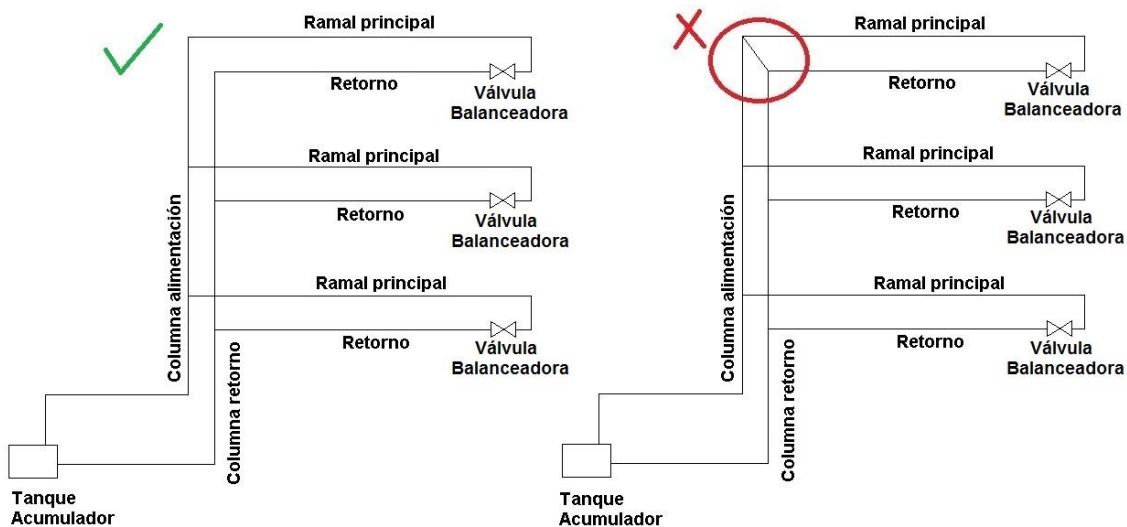


Figura 5-1. Conexión correcta y errada de columna de alimentación y retorno

En cada uno de los niveles del proyecto que se esté diseñando se debe realizar el trazado de un circuito, conformado por un ramal principal, un retorno y ramales secundarios. Como criterio para el trazado del ramal principal se deben buscar siempre los pasillos y la ruta más corta. No se recomienda dividir el ramal principal, es decir, sólo se debe trazar un ramal principal en cada nivel. Si son varios apartamentos se debe realizar un ramal principal y un retorno por cada uno. En la Figura 5-2 se muestra el ejemplo de un trazado inadecuado, pues se divide el ramal principal en dos, lo cual requiere la instalación de más accesorios para balancear correctamente la red.

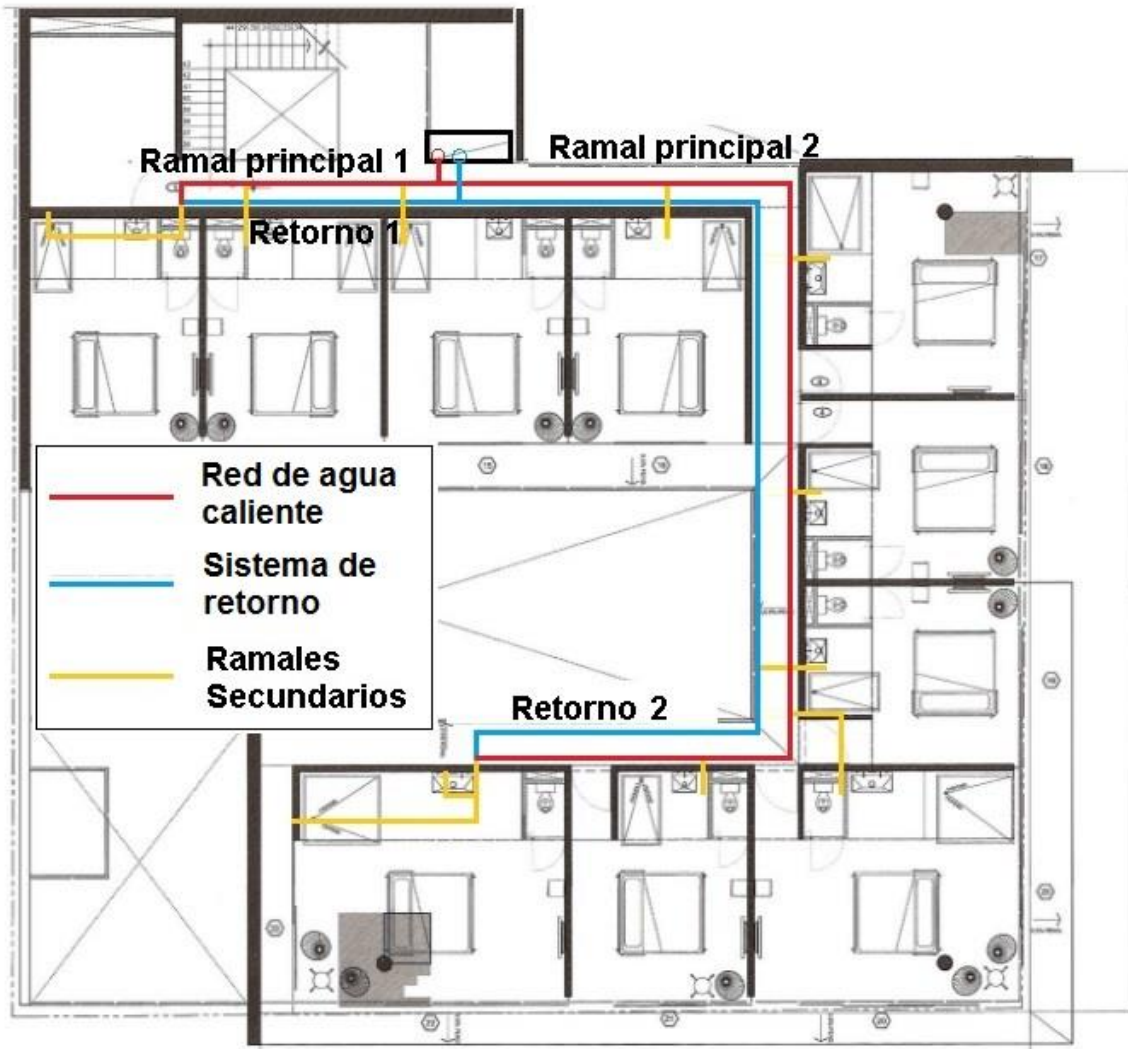


Figura 5-2. Trazado en planta inadecuado para una red de agua caliente

Para realizar el trazado correcto en la planta de la figura anterior se debe tener en cuenta que no se debe dividir el ramal principal, ya que habría que instalar más dispositivos de control para fijar los caudales de retorno. En la Figura 5-3 se presenta el trazado adecuado para la misma planta.

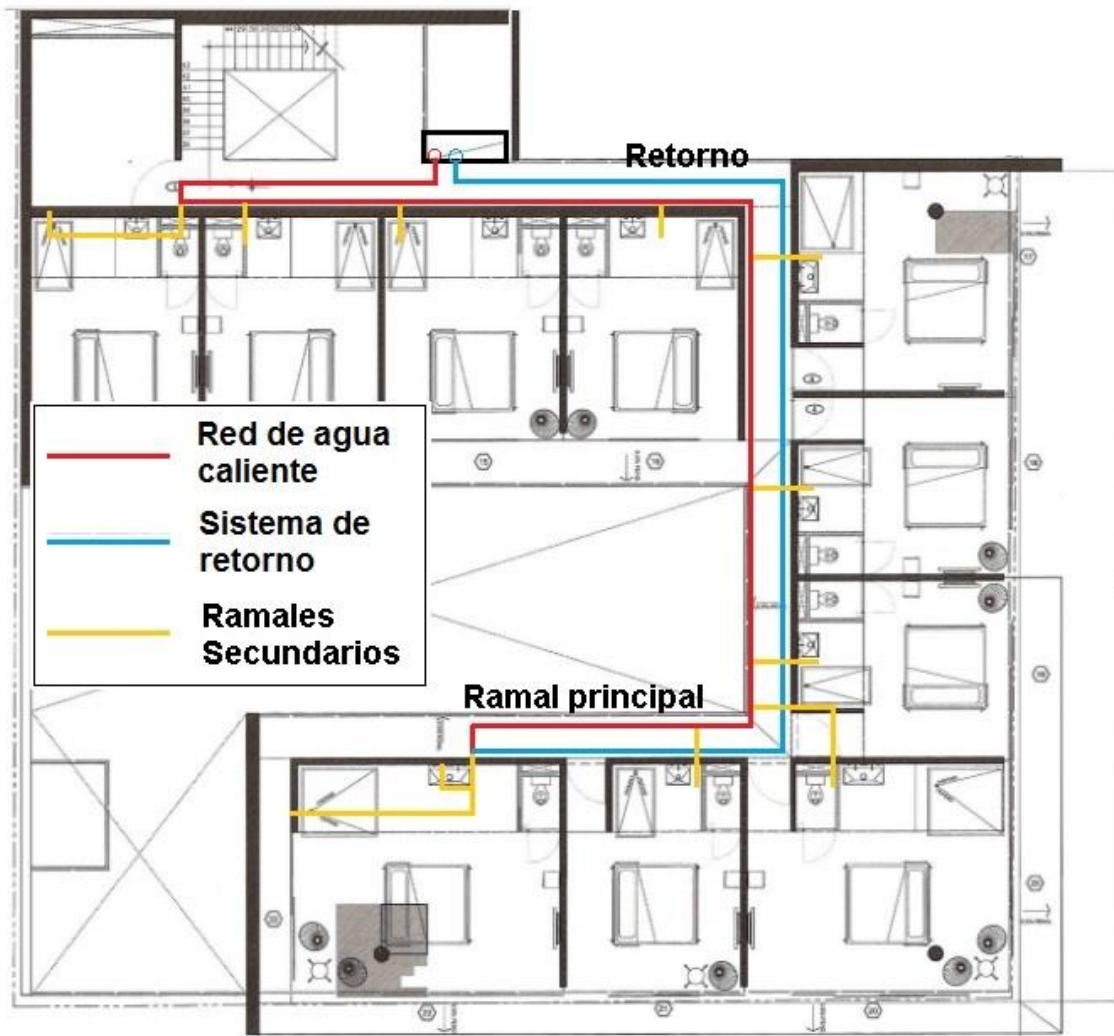


Figura 5-3. Trazado en planta adecuado para una red de agua caliente

En cuanto al retorno, se recomienda que sea uno solo en $\frac{1}{2}$ ", debido a que maneja caudales bajos. Adicionalmente, que la tubería en el tramo final del ramal principal sea al menos un diámetro mayor que la de retorno.

En la tubería de retorno se debe instalar una válvula balanceadora o circuit setter valve. Es muy importante instalar estas válvulas, ya que son las que permiten mantener un caudal fijo en el retorno a pesar de las fluctuaciones de presión que se puedan presentar en la red por la apertura y cierre de los grifos.

5.2 CÁLCULO DE CAUDALES, VELOCIDADES Y DIÁMETROS DE LA RUTA CRÍTICA

El cálculo de los caudales de consumo de agua caliente se realiza de igual forma que para las redes de suministro de agua fría, teniendo en cuenta las consideraciones descritas en el numeral 3.1. Se debe definir una ruta crítica de agua caliente, desde el aparato más desfavorable hasta el tanque acumulador del equipo de calentamiento de agua. Para tal fin se pueden utilizar tablas típicas de cálculo, como la que se muestra a continuación, donde se realiza el cálculo de los parámetros de la ruta crítica de agua caliente (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Tabla para cálculo de parámetros de la ruta crítica de agua caliente

Tramo		Unidades H		Q	Ø	Longitud (m)			Hf	v	Nivel		Presión
De	A	Totales	75%	l/s	Pulg.	Equiv.	Real	Total	m	m/s	Entrada	Salida	m.c.a.
Presión requerida en el aparato crítico													15,00
1	2	4,0	3,0	0,25	3/4	1,50	4,00	5,50	0,25	0,79	25,00	25,00	15,25
2	3	4,0	3,0	0,25	3/4	1,25	5,00	6,25	0,44	0,79	25,00	25,00	15,53
3	4	8,0	6,0	0,40	3/4	0,40	1,00	1,40	0,20	1,27	25,00	25,00	15,68
4	5	12,0	9,0	0,53	3/4	0,40	1,00	1,40	0,32	1,68	25,00	25,00	15,93
5	Tanque	16,0	12,0	0,64	1	0,53	3,00	3,53	0,38	1,31	25,00	25,00	16,24

Las primeras dos columnas sólo indican el tramo que se está evaluando. Las dos siguientes corresponden al conteo de unidades de gasto. Debido a que la mayoría de aparatos que demandan agua caliente tienen suministro de agua fría, únicamente se debe tomar el 75% de las unidades de gasto para calcular el caudal.

El caudal se estima a partir del conteo de unidades. Teniendo en cuenta que la velocidad no puede exceder los 2 m/s, los diámetros se pueden ir definiendo, ya que se conoce el caudal y se puede calcular la velocidad. Sin embargo, en este paso, se recomienda adoptar como criterio una velocidad máxima de 1,8 m/s, pues a los caudales de consumo se les deben sumar los de retorno en un paso posterior, lo cual podría aumentar la velocidad del flujo superando los 2 m/s que establece la norma.

La longitud de las tuberías se puede medir directamente en los planos, mientras que las distancias equivalentes se obtienen dependiendo de los accesorios que se van encontrando en la ruta crítica. Estas longitudes equivalentes pueden obtenerse de tablas encontradas en la bibliografía especializada, como la Tabla 2-1.

Las pérdidas se pueden calcular como función del diámetro, de la longitud del tramo, del caudal y del coeficiente de fricción f o C , dependiendo de la ecuación que se utilice (Darcy-Weisbach o Hazen-Williams, entre otras), como se describe en el numeral 2.1.8. Estos coeficientes varían de acuerdo con el material. Cabe resaltar que la ecuación más apropiada es la de Darcy-Weisbach, pues el uso de la de Hazen-Williams es muy restringido.

El nivel de entrada y salida corresponden a las cotas en cada uno de los extremos del tramo que se está evaluando. Finalmente, la última columna hace referencia a la presión que se requiere en cada punto para que en el aparato más desfavorable se tenga la presión preestablecida por el

diseñador. Para el caso de la tabla se definió una presión de 15 m.c.a. en este aparato. Esta casilla irá sumando la presión requerida en el punto anterior con las pérdidas generadas en el tramo y su diferencia de cotas. El último valor de esta columna corresponde a la presión mínima a la que debe estar el tanque acumulador para garantizar la presión preestablecida (15 m.c.a. en la tabla) en el punto más alejado de la red en el momento de mayor demanda.

5.3 CÁLCULO DE CAUDALES DE RETORNO

Este cálculo se realiza teniendo en cuenta las consideraciones descritas en el numeral 3.2. Se debe definir una pérdida de temperatura del agua en el recorrido, desde el equipo de calentamiento hasta el punto más alejado de la red. Esta pérdida debe ser superior a 2 °C, si es menor se pueden presentar velocidades en la tubería de retorno superiores a 2 m/s. Esto se debe a que la relación entre estas dos variables es inversamente proporcional, a menor pérdida de temperatura mayor debe ser la velocidad.

Como se mencionó en el numeral 3.2, la temperatura en el tanque acumulador debe ser de al menos 60° y la del punto más alejado igual o superior a 50°. Por lo tanto, esta pérdida de temperatura debe estar entre 2 y 10 °C. Si se establece una temperatura mayor en el tanque acumulador este rango podría aumentarse.

Adicionalmente, se debe establecer la temperatura ambiente promedio, dependiendo del sitio donde se encuentre el proyecto.

El caudal de retorno será el que garantice la temperatura definida en el punto más alejado de la red y se calcula a grifo cerrado, es decir, cuando todas las llaves y aparatos se encuentran totalmente cerrados.

Se debe tener en cuenta que el cálculo de las pérdidas de temperatura se realiza para el recorrido del agua entre el tanque acumulador y el punto más desfavorable (la ruta crítica), es decir, a partir de los diámetros que se definieron en el paso anterior para la ruta crítica. Adicionalmente, esto implica que estos diámetros se podrían ajustar, ya que se definieron únicamente con el caudal de consumo, sin tener en cuenta el caudal de retorno.

Para realizar el cálculo del caudal de retorno se puede emplear una tabla como la que se muestra a continuación.

Tabla 5-2. Tabla para el cálculo de la sumatoria ΣKI

Tramo		Diámetro	Diámetro int.	K	K	l	KI
DE	A	(pulg.)	(mm)	(W/m °C)	(K cal/h*m °C)	(m)	(K cal/h °C)
1	2	3/4	20	0,21	0,181	4,0	0,72
2	3	3/4	20	0,21	0,181	5,0	0,9
3	4	3/4	20	0,21	0,181	1,0	0,18
4	5	3/4	20	0,21	0,181	1,0	0,18
5	Tanque	1	25	0,24	0,206	3,0	0,62
Sumatoria							2,42

Como se observa en la Tabla 5-2, los tramos son los mismos que se utilizaron para el cálculo de los caudales de consumo y se colocan los diámetros definidos allí (ver Tabla 5-1). En la casilla con el parámetro K (coeficiente de transmisión calorífica) de la tubería se debe colocar la información que suministra el fabricante, de acuerdo con el material de la tubería que se quiera emplear. Los datos del coeficiente K se tomaron de la Tabla 3-2, que contiene los valores de este parámetro para tuberías de cobre.

En la siguiente columna se deben colocar las longitudes de los tramos y en la última casilla el producto de K x L. En esta tabla se calcula la sumatoria de los productos K*L de cada tramo y a partir de ésta se puede calcular el caudal de retorno para el circuito más desfavorable, empleando la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{retorno}} = \Sigma(K * l) * \frac{\frac{T_1 + T_2}{2} - T_o}{h * (T_1 - T_2)}$$

Este caudal será el que garantiza la temperatura definida por el diseñador en el punto más lejano de la red. Teniendo en cuenta que estos caudales son bastante bajos, para cada uno de los demás retornos de cada nivel se puede adoptar este mismo caudal, lo que garantiza que ninguno de los puntos presente una pérdida de temperatura mayor a la establecida en el punto más crítico.

Finalmente, el caudal total de retorno que llega nuevamente al tanque acumulador es la suma todos los retornos que se tengan en cada nivel. Con este caudal se diseña la bomba de recirculación, como se explica más adelante.

5.4 VERIFICACIÓN DE VELOCIDADES

Una vez calculados los caudales de retorno se debe evaluar nuevamente la ruta crítica, agregando estos caudales y verificando que se cumpla el criterio de velocidad máxima permitida (Tabla 5-3).

Tabla 5-3. Tabla para el chequeo de las velocidades incluyendo caudal de retorno

Tramo		Unidades H		Q _{hunt}	Q _{ret}	Q _{total}	Ø	Long	H _f	v	Nivel		Presión
De	A	Totales	75%	l/s	l/s	l/s	Pulg.	Total	m	m/s	Entrada	Salida	m.c.a.
Presión requerida en aparato crítico												15,00	
1	2	4	3	0,25	0,00	0,25	3/4	5,50	0,3	0,79	25	25	15,25
2	3	4	3	0,25	0,07	0,32	3/4	6,25	0,4	1,01	25	25	15,69
3	4	8	6	0,40	0,07	0,47	3/4	1,40	0,2	1,49	25	25	15,89
4	5	12	9	0,53	0,07	0,60	3/4	1,40	0,3	1,90	25	25	16,21
5	tan	16	12	0,64	0,07	0,71	1	3,53	0,4	1,45	25	25	16,59

Si, teniendo en cuenta los caudales de retorno, las velocidades calculadas no superan los 2 m/s en tuberías menores de 3" o los 2,5 m/s en tuberías de 3" o más, quiere decir que los diámetros escogidos son correctos. En caso de que no se cumpla el criterio de velocidad máxima permitida se debe aumentar el diámetro en los tramos que no cumplan con este criterio, calcular nuevamente los caudales de retorno y repetir este procedimiento hasta comprobar que al sumar los caudales de consumo con los de retorno los nuevos diámetros cumplen con esta condición.

Por otra parte, la presión mínima en el tanque acumulador debe ser la calculada, incluyendo los caudales de retorno, es decir, utilizando un cuadro de cálculo como el que se muestra en la Tabla 5-3. Esta será la presión en el tanque que garantiza la presión mínima establecida en el aparato más alejado de la red.

5.5 MODELO BASE PARA EL DISEÑO DE LA RED (UTILIZANDO EPANET)

Para realizar en Epanet el modelo que se va a evaluar existen diferentes métodos. Uno consiste en dibujar el modelo directamente en el programa utilizando las herramientas que brinda el *software* para este fin. Este método puede ser tedioso si se modelan proyectos grandes, pues implica dibujar e introducir las dimensiones y datos de entrada de cada punto y de cada tubería.

Otro método es exportar desde AutoCAD el esquema de la red. Este método permite exportar las coordenadas de los puntos, las cotas de los puntos y las longitudes de las tuberías. Para hacerlo se requiere descargar un *software* adicional como EpaCAD, que convierte los archivos de AutoCAD en archivos con extensión ".inp", los cuales se pueden leer en Epanet. Los pasos son muy sencillos, primero se debe dibujar el esquema de la red en AutoCAD con la herramienta "Line", marcando cada uno de los puntos de interés de la red, como cambios de nivel, de dirección o bifurcaciones. Las medidas de cada uno de los tramos que se definan deben ser reales e incluir las longitudes equivalentes por accesorios, las cuales se pueden consultar en la Tabla 2-1. Además, se debe colocar la coordenada Z en cada extremo de las líneas trazadas, para que indique la cota de cada punto en Epanet. En la Figura 5-4 se presenta el esquema en AutoCAD de una red con recirculación de agua caliente.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

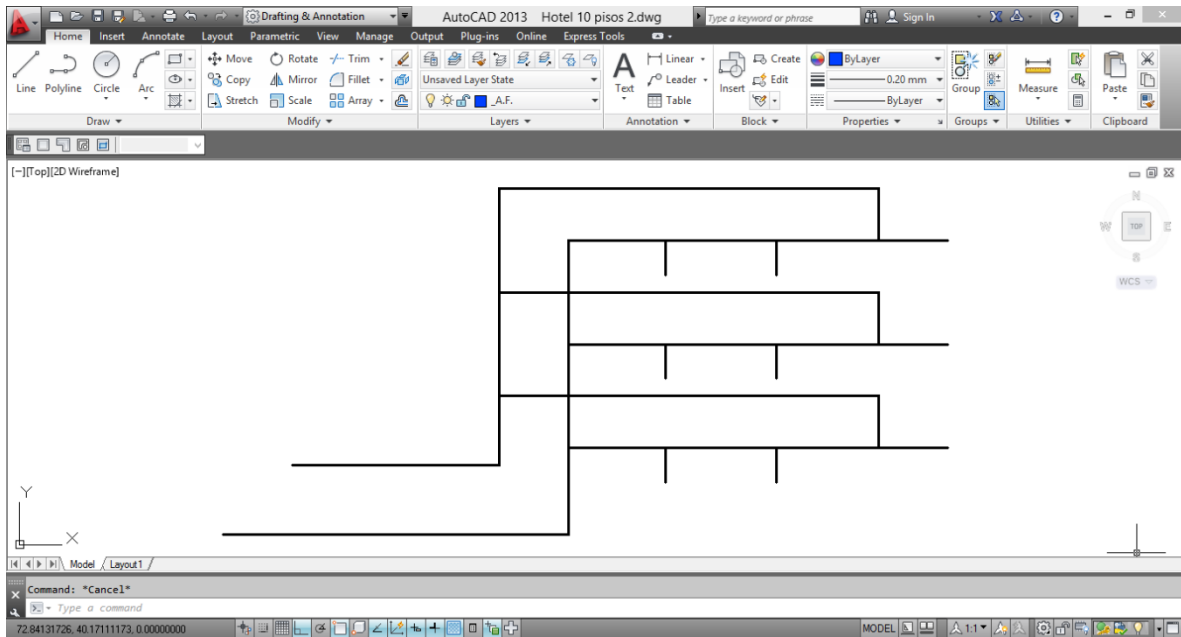


Figura 5-4. Esquema en AutoCAD de una red de recirculación de agua caliente

Cuando se dibuje el esquema se debe guardar con la extensión “.dxf”. El siguiente paso es abrir este archivo en EpaCAD, donde se muestra la siguiente ventana (Figura 5-5).

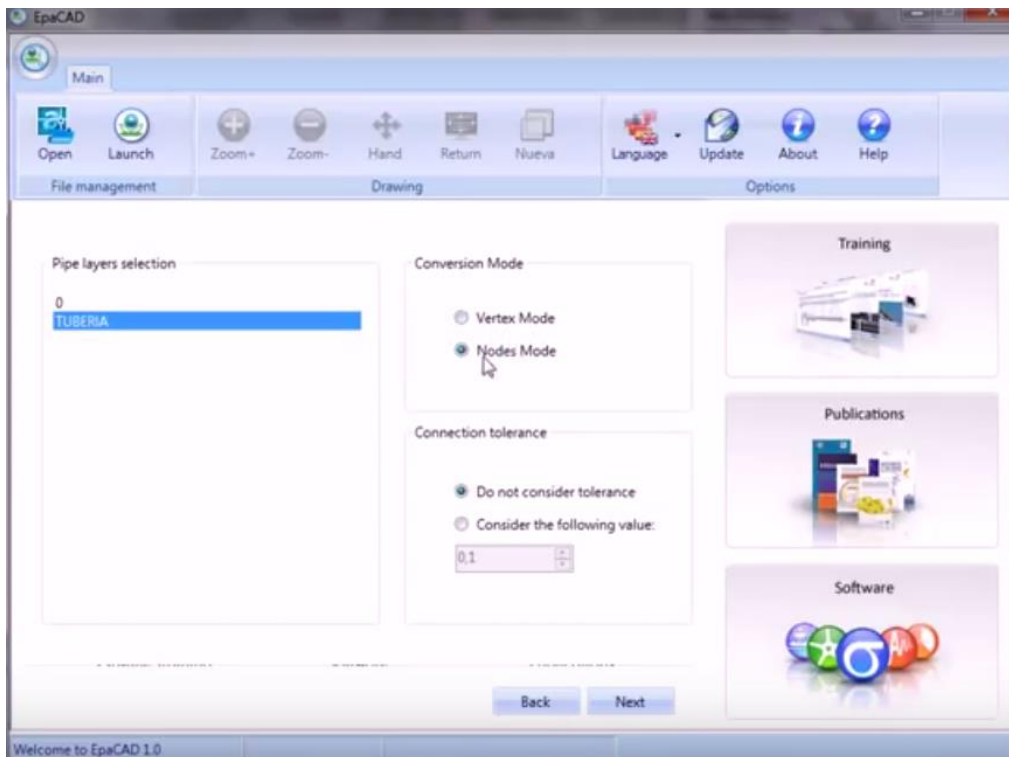


Figura 5-5. Ventana de EpaCAD para convertir de formato .dxf a .inp

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

En esta ventana se selecciona la capa en la que se dibujó el esquema de la red y se da clic en el botón “Nodes Mode” para que cada vértice se tome como un nodo. A continuación se pica el botón Next y, luego, en la siguiente página el botón Finish, con lo cual se abre una ventana para guardar el archivo con la extensión “.inp”. De esta manera se puede abrir directamente en Epanet la red que se dibujó en AutoCAD, con dimensiones y cotas definidas, como se muestra a continuación (Figura 5-6).

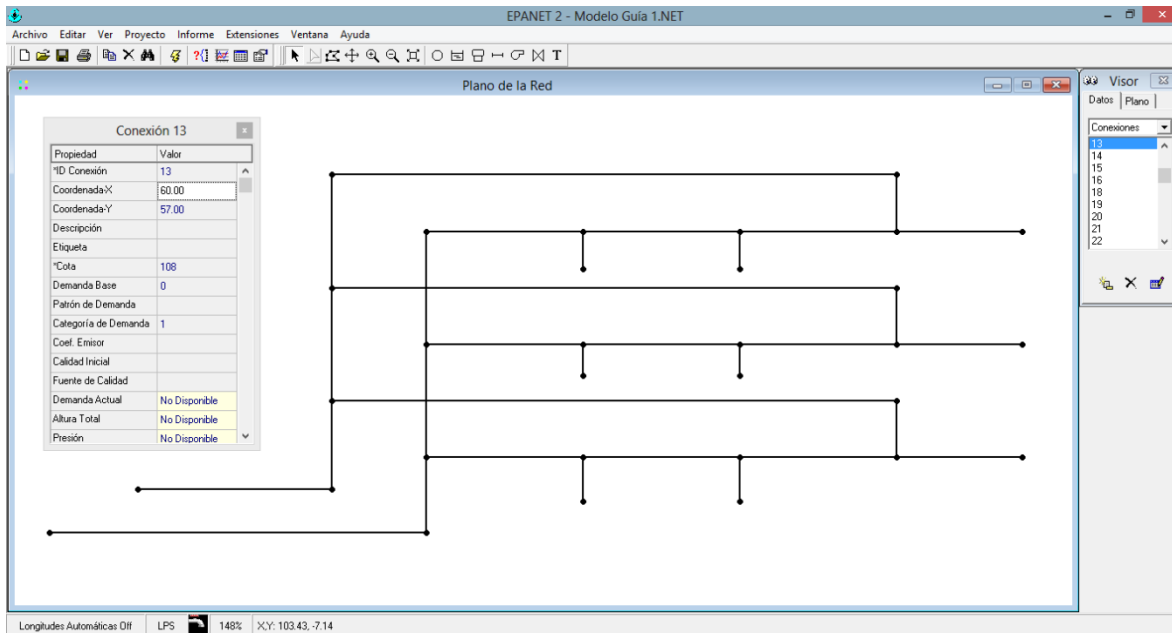


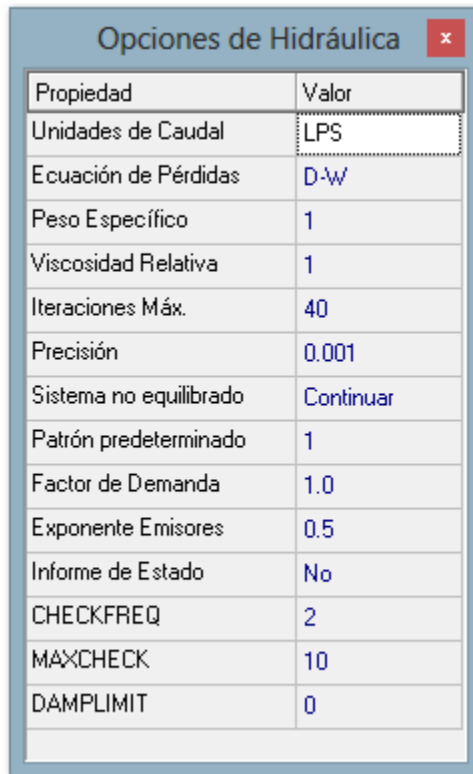
Figura 5-6. Esquema exportado desde AutoCAD a Epanet

El modelo queda listo para manipularlo en Epanet; sin embargo, se deben ingresar los datos de demandas, diámetros y rugosidad, además de válvulas, bombas, tanques y demás equipos o accesorios que se requieran.

Existe otro método por el cual también se pueden exportar los modelos. Se hace a través de Microsoft Excel y permite ingresar todos los datos de entrada que se requieran y el dimensionamiento de todo el modelo. Para este método se debe tener tabulada toda la información y emplear una hoja de Excel programada. Existen diferentes hojas de Excel para exportar esta información a Epanet, razón por la cual no se detallará en esta metodología. Estas hojas se pueden descargar desde diversos sitios web.

5.6 DATOS DE ENTRADA Y CONSIDERACIONES

Con el modelo montado en Epanet se deben definir las unidades de magnitud y las consideraciones generales que se van a utilizar, para lo cual se debe entrar en la pestaña “proyecto” y seleccionar “opciones de cálculo”, allí se abre una ventana como la que se muestra en la Figura 5-7.



Propiedad	Valor
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	D-W
Peso Específico	1
Viscosidad Relativa	1
Iteraciones Máx.	40
Precisión	0.001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	1
Factor de Demanda	1.0
Exponente Emisores	0.5
Informe de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Figura 5-7. Consideraciones en Epanet

Si se quiere trabajar en sistema internacional se selecciona “LPS” para el caudal en litros por segundo. Así mismo, seleccionar la ecuación de pérdidas que se va a emplear, ya sea Darcy-Weisbach o Hazen-Williams. Las demás consideraciones como peso específico, viscosidad relativa o precisión se pueden dejar por defecto o cambiar a criterio del diseñador.

Posteriormente, se deben definir los parámetros de la tubería incluyendo diámetro y rugosidad. En los nodos se deben definir las demandas de consumo. Si todos estos parámetros se exportaron desde Excel, únicamente se debe verificar que la información sea correcta.

5.7 ACCESORIOS, TANQUE Y EQUIPO DE BOMBEO

Para completar el modelo se deben agregar el tanque, las válvulas balanceadoras que en Epanet corresponden a las limitadoras de caudal (versión español) o FCV (versión inglés) y el equipo de bombeo. En la Figura 5-8 se muestra el esquema de un modelo exportado desde AutoCAD.

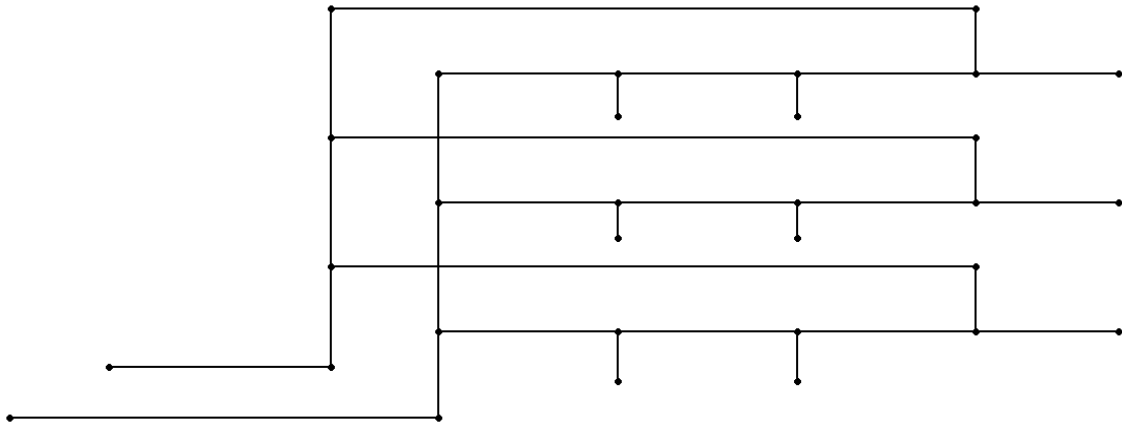


Figura 5-8. Modelo en Epanet exportado desde AutoCAD

Partiendo de este modelo y habiendo definido los parámetros hidráulicos, como se explicó en el numeral anterior, el paso a seguir es agregar el tanque y las válvulas balanceadoras, como se muestra en la Figura 5-9. Estas válvulas se definen en Epanet como válvulas limitadoras de caudal para la versión en español o FCV para la versión en inglés. En cada una de ellas se debe establecer el caudal, el cual corresponde al caudal de retorno calculado, tal como se describe en el numeral 5.3. Además, se deben definir las demandas base en los nodos de la red que simulen las condiciones del sistema. Estas demandas deben ser congruentes con los caudales de consumo calculados en la ruta crítica, es decir, que para las demandas definidas en los nodos, las tuberías de la ruta crítica en el modelo conducen los mismos caudales que los estimados en la tabla de Excel. Esto se puede apreciar con más claridad en el caso práctico que se muestra más adelante.

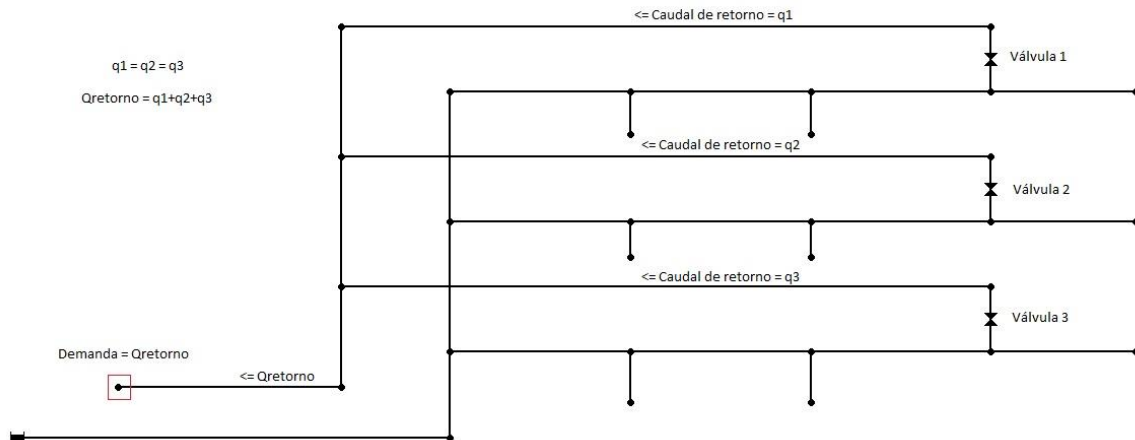


Figura 5-9. Modelo con tanque y válvulas balanceadoras

Posteriormente, se define la bomba de recirculación, la cual se recomienda ubicar en el tramo final de la tubería de retorno, lo más cerca posible al tanque acumulador. Para definirla se requiere establecer su caudal y su altura dinámica total. El caudal será el de retorno total “Qretorno”, que corresponde a la suma de los retornos en cada nivel.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Así mismo, se debe calcular la altura de la bomba. Una forma de hacerlo es con el modelo en condición de llaves abiertas, agregando una demanda adicional en el punto final de toda la red (el nodo que se muestra dentro del cuadro rojo) igual al caudal total de retorno (Q_{retorno}). Adicionalmente, al tanque se le debe definir una cota que suministre la suficiente energía para que el sistema corra sin presiones negativas. Cuando el modelo se ejecuta con estas condiciones se pueden obtener las pérdidas de energía que se presentan en el punto final, como se muestra en la Figura 5-10.

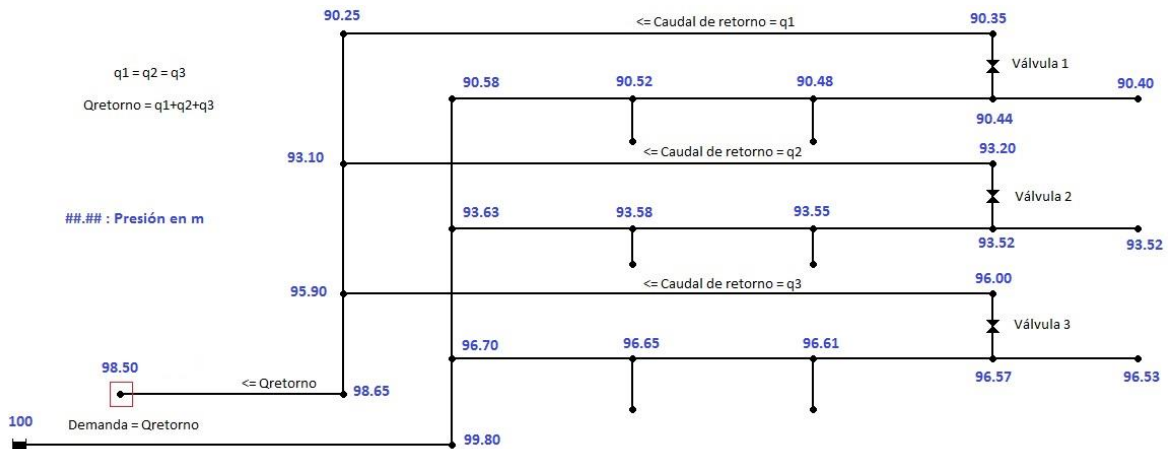


Figura 5-10. Presiones en los puntos del modelo para calcular la altura de la bomba

La diferencia entre la presión inicial en el tanque y la presión en el punto final (el que está encerrado en un cuadro rojo) corresponde a la altura de la bomba de recirculación.

Una vez hecho esto se puede ingresar la curva de la bomba dentro de las opciones de Epanet y se adiciona un nuevo punto para agregar el equipo de bombeo en el tramo final de la red. Con el fin de cerrar el circuito, este último punto adicional se conecta con el tanque por medio de una tubería de la misma rugosidad y diámetro de la del tramo inmediatamente anterior a la bomba, pero con una longitud bastante pequeña para que las pérdidas en este tramo sean despreciables (Figura 5-11).

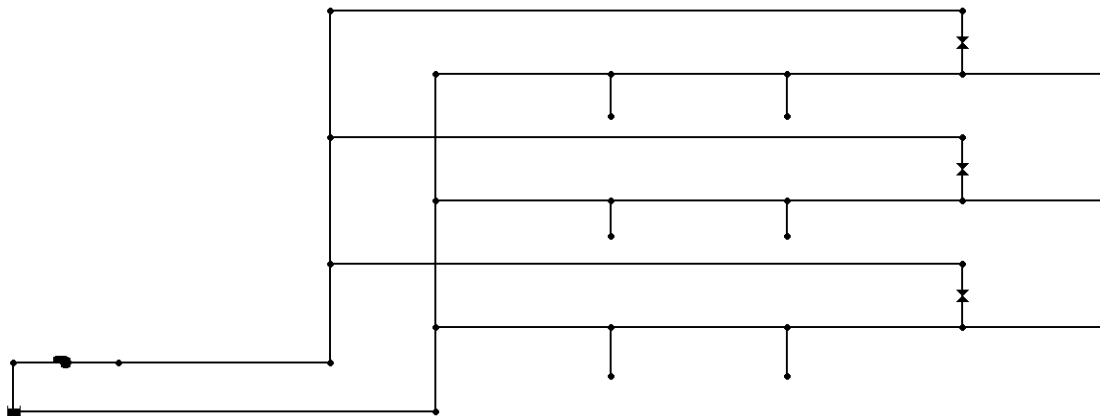


Figura 5-11. Modelo con tanque, válvulas y bomba de recirculación

Con todas las condiciones establecidas se puede colocar la presión mínima calculada (como se explica en el numeral 5.4) que se requiere en el tanque para que la ducha o punto más alejado tenga la presión de trabajo preestablecida en el momento de mayor demanda. Esta presión se ingresa en las propiedades del tanque como su cota.

5.8 CHEQUEO DE PARÁMETROS OBTENIDOS

Una vez realizados estos pasos se pueden verificar las velocidades en cada una de las tuberías de la red, chequeando que no sean mayores a 2 m/s. También se puede examinar la red con todos los grifos o llaves cerradas y comprobar que, para diferentes combinaciones de apertura y cierre de las llaves, siempre se tendrán los mismos caudales de retorno y el agua siempre se encontrará circulando de manera óptima por toda la red a las temperaturas apropiadas.

6. CASO PRÁCTICO (EJEMPLO)

En la Figura 6-1 se presenta la planta del primer piso y del piso tipo para un hotel de diez niveles con once habitaciones por planta. En el primer piso no se cuenta con habitaciones ni requerimientos de agua caliente en ningún punto. Se debe diseñar la red de agua caliente con recirculación que satisfaga esta necesidad para este proyecto. Se solicita utilizar tubería de cobre para el diseño.



Figura 6-1. Planta sótano y piso tipo

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Inicialmente se definieron las zonas dispuestas para la ubicación de los equipos de calentamiento y de bombeo. Además, se dibujó el trazado propuesto para el sótano y el piso tipo. En la Figura 6-2 se presenta este trazado junto con la ubicación de los equipos.

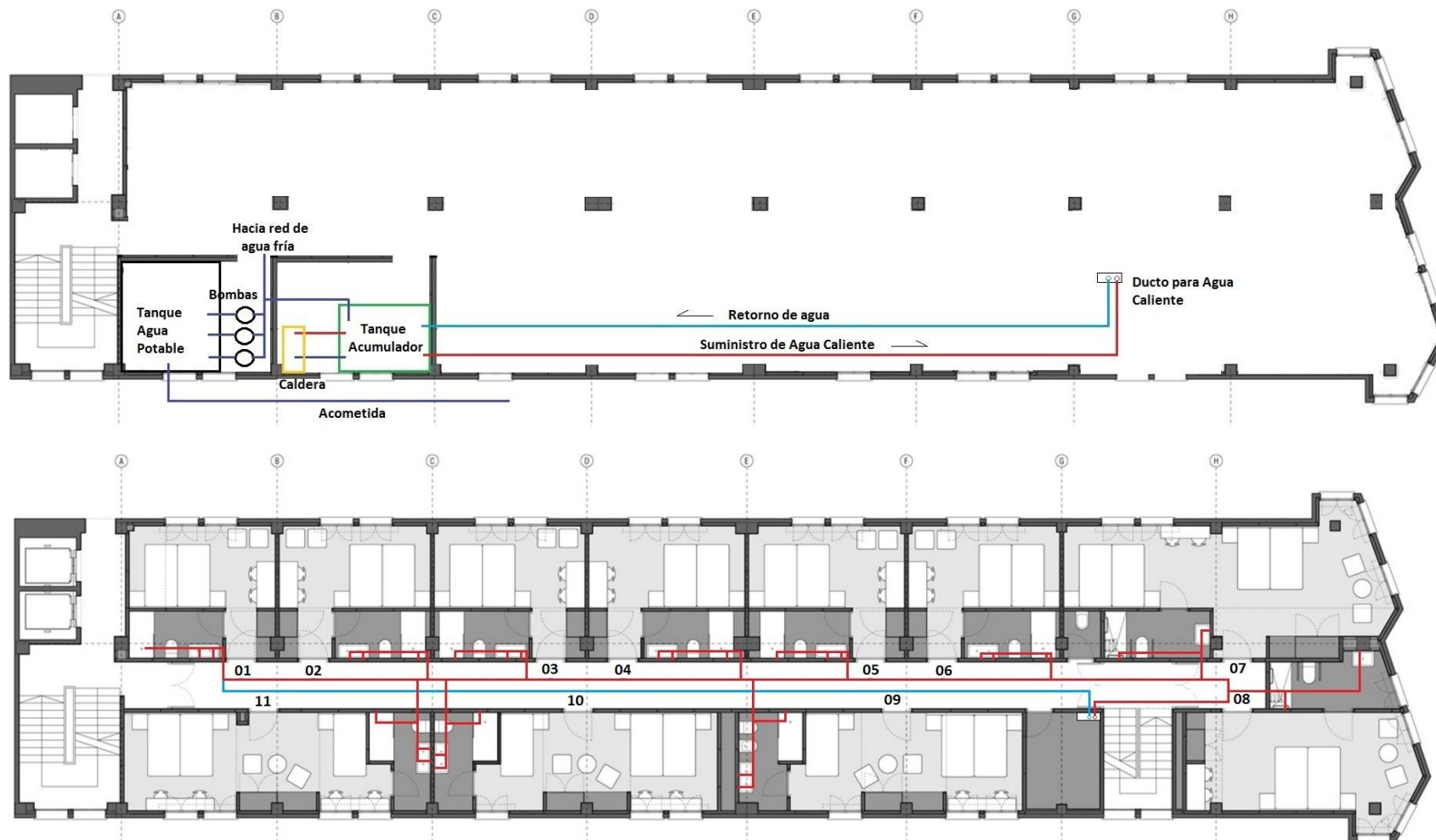


Figura 6-2. Trazado para la red de agua caliente

La Figura 6-3 muestra el esquema vertical del trazado.

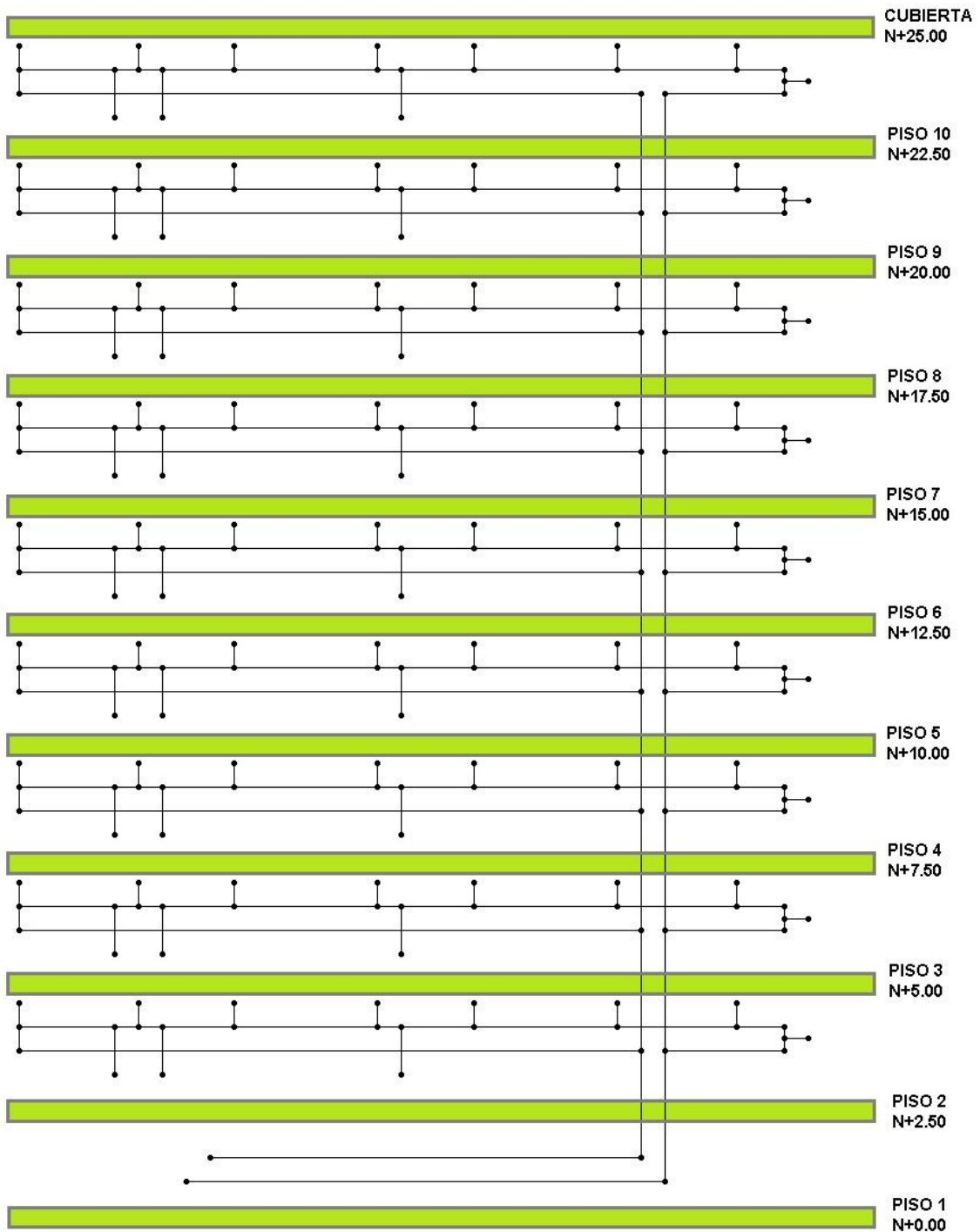


Figura 6-3. Esquema vertical del diseño

Posteriormente, se definió la ruta crítica teniendo en cuenta el aparato más alejado (Figura 6-4).

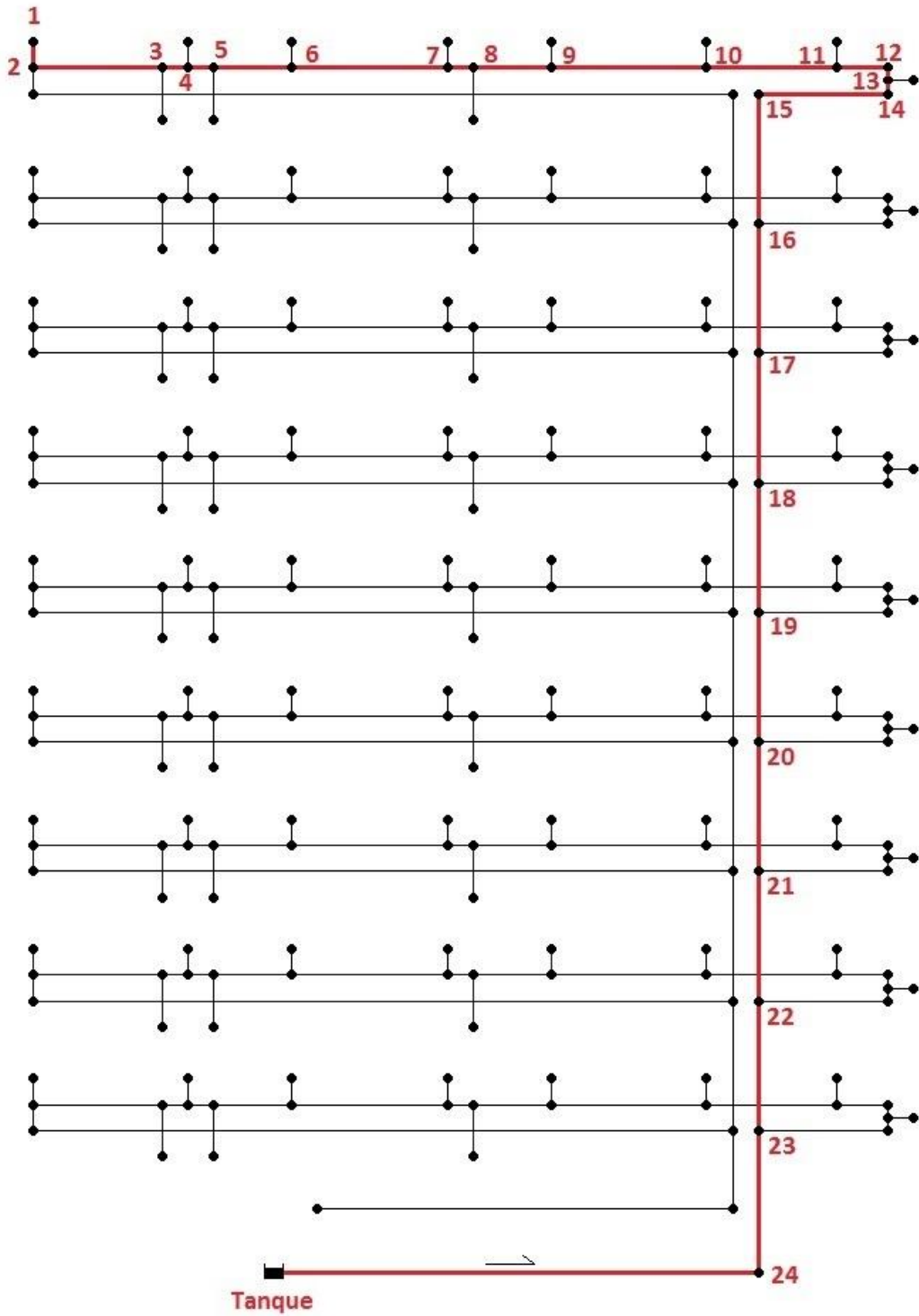


Figura 6-4. Ruta crítica del suministro de agua caliente

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Se realizó el conteo de unidades de hunter, se midieron las longitudes y se agregaron las longitudes equivalentes por accesorios. Así mismo, se definieron los diámetros adecuados para garantizar que las velocidades del flujo estuvieran por debajo de lo establecido en la norma. En la Tabla 6-1 se presentan los cálculos. Cabe aclarar que se tomó como criterio de velocidad máxima un valor de 1,8 m/s, tal como se explica en el numeral 5.2, previendo que posteriormente se deben sumar los caudales de retorno, lo cual incrementa las velocidades.

Tabla 6-1. Cálculo de velocidades en ruta crítica con caudales de consumo

Tramo	Unidades H		Q consumo		Ø		Longitud (m)			Hf/l	Hf	v	Nivel		Presión	
	De	A	Total	75%	l/s	Pulg.	mm	Equ.	Real	Total	m/m	m	m/s	Ent.	Sal.	m.c.a.
																15,00
1	2	4,0	3,0	0,25	3/4	20	1,50	4,00	5,50	0,045	0,25	0,79	25,0	25,0	15,25	
2	3	4,0	3,0	0,25	3/4	20	1,25	5,00	6,25	0,045	0,28	0,79	25,0	25,0	15,53	
3	4	8,0	6,0	0,40	3/4	20	0,40	1,00	1,40	0,108	0,15	1,27	25,0	25,0	15,68	
4	5	12,0	9,0	0,53	3/4	20	0,40	1,00	1,40	0,181	0,25	1,68	25,0	25,0	15,93	
5	6	16,0	12,0	0,64	1	25	0,53	3,00	3,53	0,088	0,31	1,31	25,0	25,0	16,24	
6	7	20,0	15,0	0,75	1	25	0,53	6,00	6,53	0,117	0,76	1,52	25,0	25,0	17,00	
7	8	24,0	18,0	0,85	1	25	0,53	1,00	1,53	0,147	0,23	1,73	25,0	25,0	17,23	
8	9	28,0	21,0	0,94	1 1/4	32	0,65	3,00	3,65	0,054	0,20	1,17	25,0	25,0	17,43	
9	10	32,0	24,0	1,03	1 1/4	32	0,65	6,00	6,65	0,064	0,42	1,29	25,0	25,0	17,85	
10	11	36,0	27,0	1,12	1 1/4	32	0,65	5,00	5,65	0,074	0,42	1,39	25,0	25,0	18,27	
11	12	39,0	29,3	1,18	1 1/4	32	0,65	2,00	2,65	0,082	0,22	1,47	25,0	25,0	18,49	
12	13	39,0	29,3	1,18	1 1/4	32	1,10	0,50	1,60	0,082	0,13	1,47	25,0	25,0	18,62	
13	14	42,0	31,5	1,25	1 1/4	32	0,65	0,50	1,15	0,090	0,10	1,55	25,0	25,0	18,72	
14	15	42,0	31,5	1,25	1 1/4	32	1,10	5,00	6,10	0,090	0,55	1,55	25,0	25,0	19,27	
15	16	42,0	31,5	1,25	1 1/4	32	1,10	2,50	3,60	0,090	0,33	1,55	25,0	22,5	22,10	
16	17	84,0	63,0	2,01	1 1/2	39	0,75	2,50	3,25	0,083	0,27	1,68	22,5	20,0	24,87	
17	18	126,0	94,5	2,65	2	50	1,00	2,50	3,50	0,042	0,15	1,35	20,0	17,5	27,52	
18	19	168,0	126,0	3,23	2	50	1,00	2,50	3,50	0,060	0,21	1,65	17,5	15,0	30,23	
19	20	210,0	157,5	3,77	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,030	0,12	1,29	15,0	12,5	32,85	
20	21	252,0	189,0	4,27	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,038	0,15	1,46	12,5	10,0	35,50	
21	22	294,0	220,5	4,75	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,046	0,18	1,63	10,0	7,5	38,18	
22	23	336,0	252,0	5,21	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,055	0,21	1,78	7,5	5,0	40,89	
23	24	378,0	283,5	5,65	3	72	1,60	5,00	6,60	0,029	0,19	1,39	5,0	0,0	46,08	
24	T	378,0	283,5	5,65	3	72	2,50	21,00	23,50	0,029	0,67	1,39	0,0	0,0	46,75	

Luego se calcularon los caudales de retorno tomando como referencia una tabla como la que se muestra a continuación (Tabla 6-2), donde se tienen los mismos tramos de la ruta crítica con las longitudes y los diámetro ya definidos.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Tabla 6-2. Cálculo de caudal de retorno en circuito crítico

Tramo		Diámetro (pulg)	Diámetro int. (mm)	K (K cal/h*m°C)	Longitud (m)	KL (K cal/h°C)
DE	A					
1	2	3/4	20	0,181	4,00	0,72
2	3	3/4	20	0,181	5,00	0,90
3	4	3/4	20	0,181	1,00	0,18
4	5	3/4	20	0,181	1,00	0,18
5	6	1	25	0,206	3,00	0,62
6	7	1	25	0,206	6,00	1,24
7	8	1	25	0,206	1,00	0,21
8	9	1	25	0,206	3,00	0,62
9	10	1 1/4	32	0,241	6,00	1,44
10	11	1 1/4	32	0,241	5,00	1,20
11	12	1 1/4	32	0,241	2,00	0,48
12	13	1 1/4	32	0,241	0,50	0,12
13	14	1 1/4	32	0,241	0,50	0,12
14	15	1 1/4	32	0,241	5,00	1,20
15	16	1 1/4	32	0,241	2,50	0,60
16	17	1 1/2	39	0,275	2,50	0,69
17	18	2	50	0,258	2,50	0,65
18	19	2	50	0,258	2,50	0,65
19	20	2	50	0,258	2,50	0,65
20	21	2 1/2	61	0,284	2,50	0,71
21	22	2 1/2	61	0,284	2,50	0,71
22	23	2 1/2	61	0,284	2,50	0,71
23	24	3	72	0,327	5,00	1,63
24	Tanque	3	72	0,327	20,00	6,54
						22,77

Para completar la tabla anterior se tomó el coeficiente de transmisión calorífica K de las fichas técnicas que suministra el fabricante, el cual varía según el diámetro. Finalmente, se realizó la sumatoria de los productos de K x L.

Para calcular el caudal de retorno se definió la temperatura ambiente en °C y se estableció el calor específico volumétrico del material h en Kcal/l*°C. Para este proyecto se adoptó una temperatura ambiente de 10 °C y un calor específico volumétrico del cobre de 0,83 Kcal/l*°C. Igualmente, se estableció una temperatura (T1) de 60 °C en el tanque acumulador y una pérdida de temperatura entre el tanque y el punto más alejado de hasta 5°, es decir, que se acepta como mínimo 55° en el punto más alejado (T2) (ver Tabla 6-3).

Tabla 6-3. Temperatura en el tanque y en el punto más alejado

T1 (°C)	T2 (°C)
60	55

Con estos parámetros se calculó el caudal de retorno de la ruta crítica, utilizando la siguiente ecuación:

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

$$Q_{\text{retorno}} = \sum(K * l) * \frac{\frac{T1 + T2}{2} - T_o}{h * (T1 - T2)}$$

$$Q_{\text{retorno}} = 261 \text{ l/h} = 0,07 \text{ l/s}$$

Con base en lo descrito en el numeral 5.3, este es el caudal de retorno que se adoptó para cada circuito en cada nivel, esto quiere decir que el caudal de retorno total que llega al tanque corresponde 0,07 l/s, multiplicado por los 9 circuitos de cada nivel, es decir, 0,63 l/s. Por lo tanto, este es el caudal que debe impulsar la bomba de recirculación. Por último, se chequeó que adicionando estos caudales a los calculos realizados previamente para la ruta crítica, los diámetros seleccionados cumplan con el criterio de velocidad máxima de 2 m/s (ver Tabla 6-4).

Tabla 6-4. Cálculo de velocidades en ruta crítica con caudales totales

Tramo	Un. H		Qcon	Qcon + Qret	Ø		Longitud (m)			Hf/l	Hf	v	Nivel		p			
	De	A			Total	75%	l/s	l/s	pulg				mm	Equ		Real	Total	m/m
																		15,00
1	2	4	3	0,25	0,25	3/4	20	1,50	4,00	5,50	0,045	0,25	0,79	25,0	25,0			15,25
2	3	4	3	0,25	0,32	3/4	20	1,25	5,00	6,25	0,071	0,44	1,01	25,0	25,0			15,69
3	4	8	6	0,40	0,47	3/4	20	0,40	1,00	1,40	0,146	0,20	1,49	25,0	25,0			15,89
4	5	12	9	0,53	0,60	3/4	20	0,40	1,00	1,40	0,228	0,32	1,90	25,0	25,0			16,21
5	6	16	12	0,64	0,71	1	25	0,53	3,00	3,53	0,107	0,38	1,45	25,0	25,0			16,59
6	7	20	15	0,75	0,82	1	25	0,53	6,00	6,53	0,138	0,90	1,67	25,0	25,0			17,49
7	8	24	18	0,85	0,92	1	25	0,53	1,00	1,53	0,171	0,26	1,87	25,0	25,0			17,75
8	9	28	21	0,94	1,01	1 1/4	32	0,65	3,00	3,65	0,062	0,22	1,26	25,0	25,0			17,97
9	10	32	24	1,03	1,10	1 1/4	32	0,65	6,00	6,65	0,072	0,48	1,37	25,0	25,0			18,45
10	11	36	27	1,12	1,19	1 1/4	32	0,65	5,00	5,65	0,083	0,47	1,48	25,0	25,0			18,92
11	12	39	29	1,18	1,25	1 1/4	32	0,65	2,00	2,65	0,091	0,24	1,56	25,0	25,0			19,16
12	13	39	29	1,18	1,25	1 1/4	32	1,10	0,50	1,60	0,091	0,15	1,56	25,0	25,0			19,31
13	14	42	32	1,25	1,32	1 1/4	32	0,65	0,50	1,15	0,100	0,11	1,64	25,0	25,0			19,42
14	15	42	32	1,25	1,32	1 1/4	32	1,10	5,00	6,10	0,100	0,61	1,64	25,0	25,0			20,03
15	16	42	32	1,25	1,32	1 1/4	32	1,10	2,50	3,60	0,100	0,36	1,64	25,0	22,5			22,89
16	17	84	63	2,01	2,15	1 1/2	39	0,75	2,50	3,25	0,094	0,31	1,80	22,5	20,0			25,70
17	18	126	95	2,65	2,86	2	50	1,00	2,50	3,50	0,048	0,17	1,46	20,0	17,5			28,37
18	19	168	126	3,23	3,51	2	50	1,00	2,50	3,50	0,070	0,25	1,79	17,5	15,0			31,12
19	20	210	158	3,77	4,12	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,036	0,14	1,41	15,0	12,5			33,76
20	21	252	189	4,27	4,69	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,045	0,17	1,61	12,5	10,0			36,43
21	22	294	221	4,75	5,24	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,056	0,21	1,79	10,0	7,5			39,14
22	23	336	252	5,21	5,77	2 1/2	61	1,30	2,50	3,80	0,067	0,25	1,97	7,5	5,0			41,89
23	24	378	284	5,65	6,28	3	72	1,60	5,00	6,60	0,035	0,23	1,54	5,0	0,0			47,12
24	T	378	284	5,65	6,28	3	72	2,50	21,00	23,50	0,035	0,82	1,54	0,0	0,0			47,94

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Como se puede observar, las velocidades no exceden los 2 m/s, lo cual significa que los diámetros seleccionados son adecuados. Adicionalmente, se observa que la presión mínima en el tanque para garantizar 15 m.c.a. en el punto más alejado será de 47,94 m.c.a.

A continuación se montó el modelo en Epanet, partiendo de un esquema en AutoCAD (Figura 6-5).

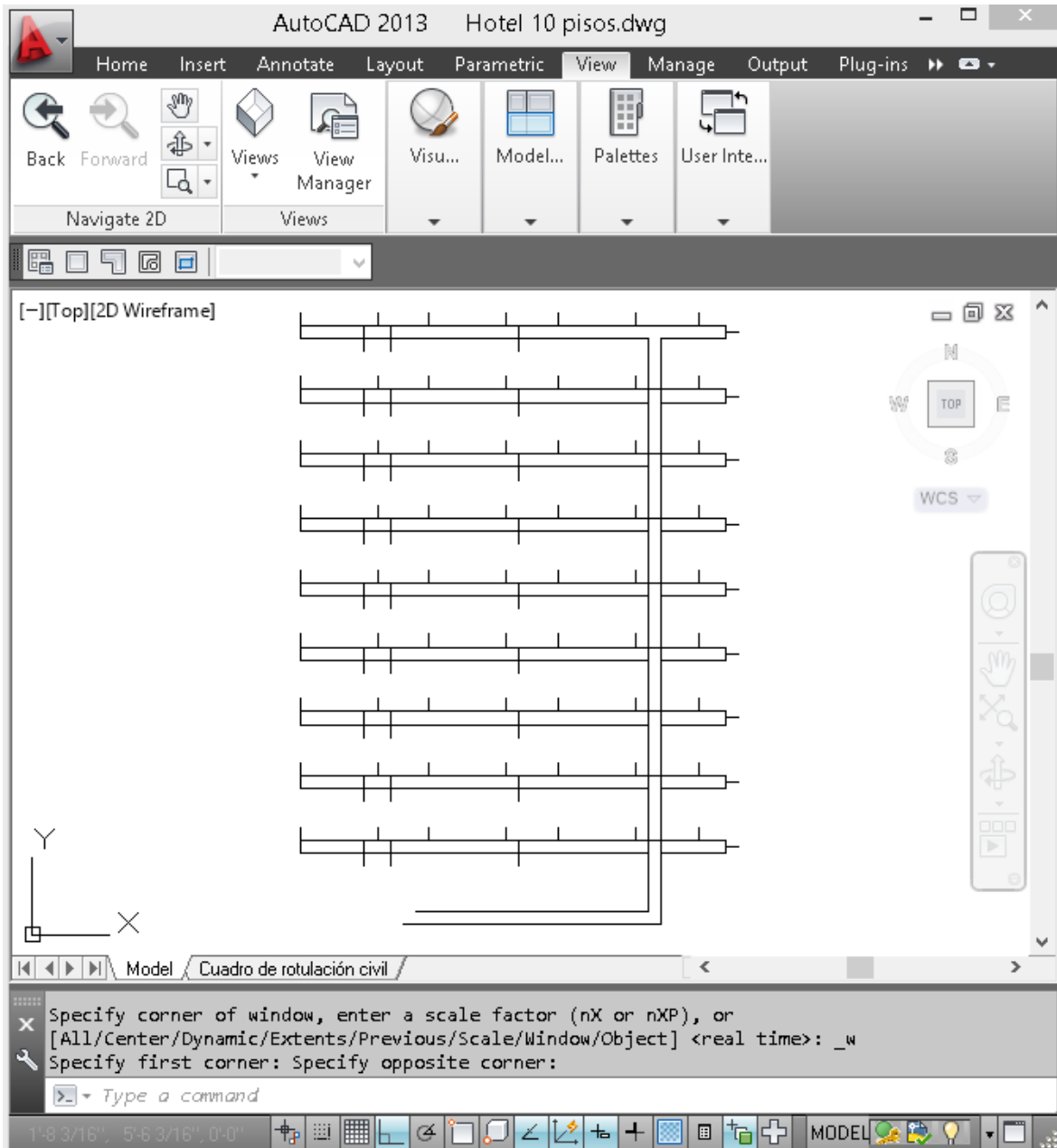


Figura 6-5. Esquema del diseño en AutoCAD

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

De AutoCAD se exportó a Epanet a través de Epacad, como se explicó en el numeral 5.5. En la Figura 6-6 se presenta este modelo.

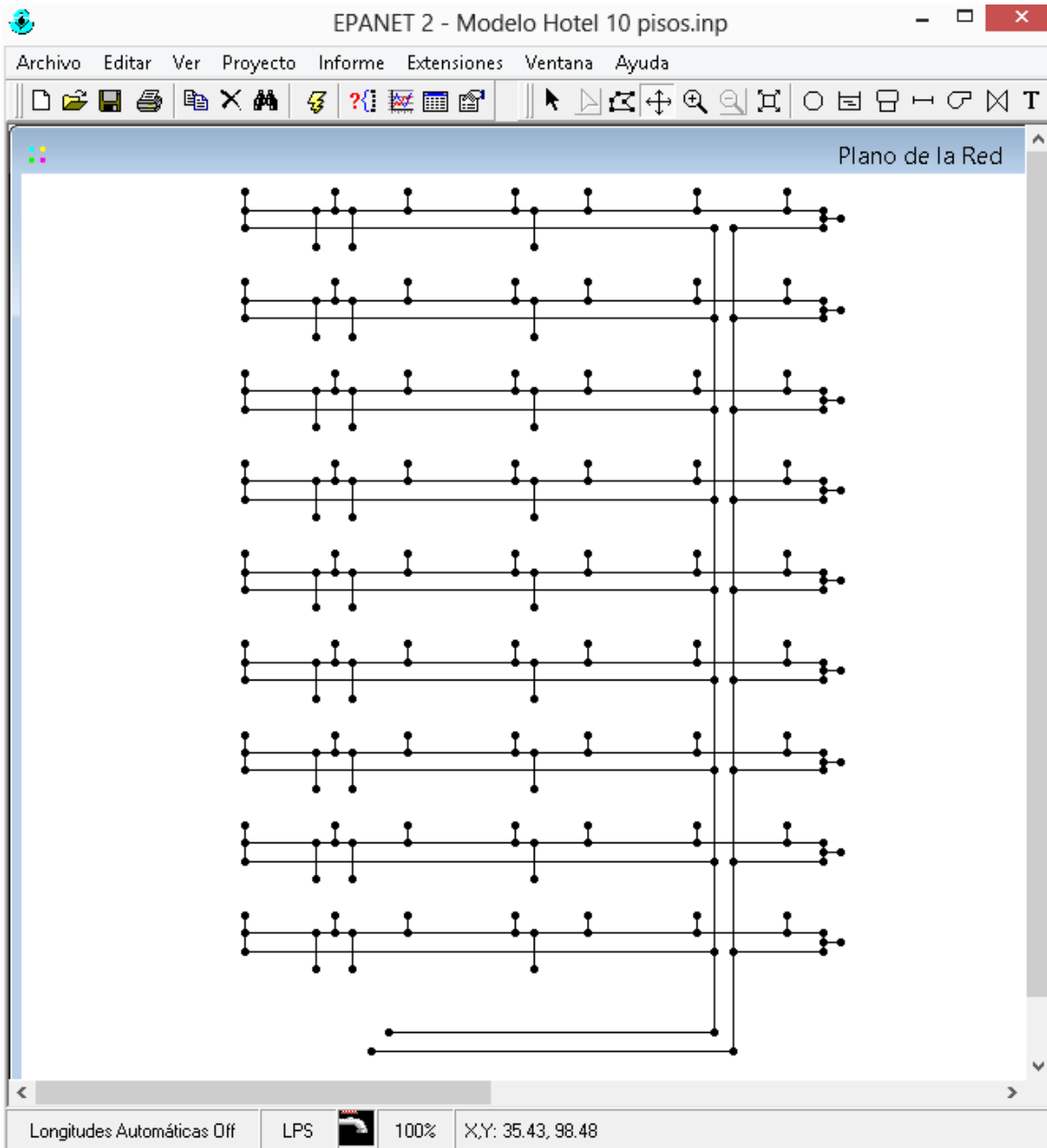


Figura 6-6. Modelo del diseño en Epanet

Con este modelo se definieron los datos de entrada y consideraciones para llevar a cabo la modelación. El caudal se estableció en LPS y para calcular las pérdidas por fricción se seleccionó la ecuación de Hazen-Williams.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Posteriormente, se colocó el tanque, las válvulas balanceadoras y las demandas aleatorias en los nodos que generan los caudales adoptados para la ruta crítica (Figura 6-7).

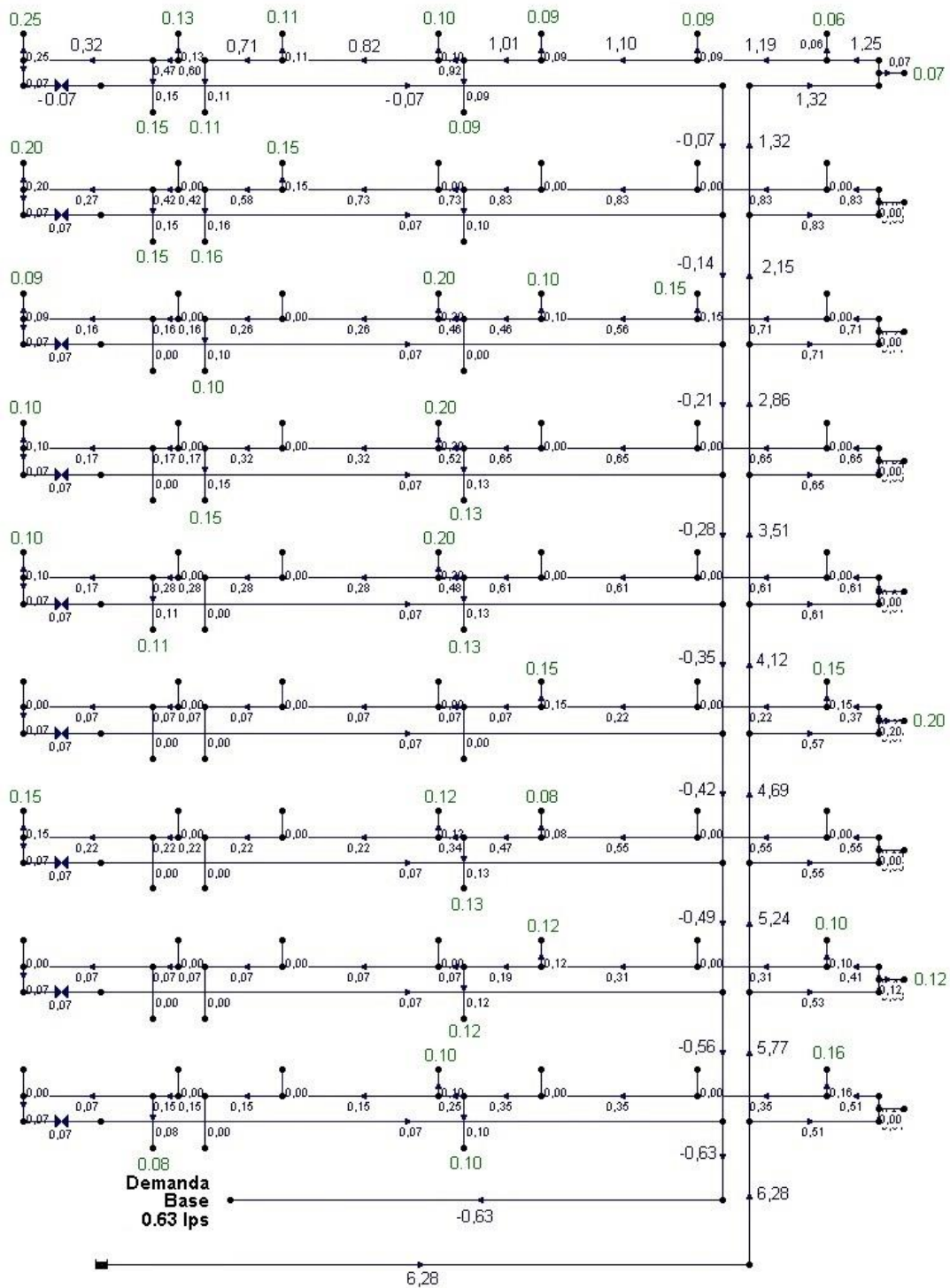


Figura 6-7. Modelo del proyecto con tanque, válvulas y demandas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Se adicionó la bomba de recirculación para el caudal de retorno. La altura de la bomba se estableció en Epanet, como se describe en el numeral 5.7. Primero, se agregó una demanda de 0,63 l/s en el nodo final del retorno y se encontraron las pérdidas por fricción como la resta de la presión en el tanque acumulador y la presión en el nodo final (Figura 6-8).

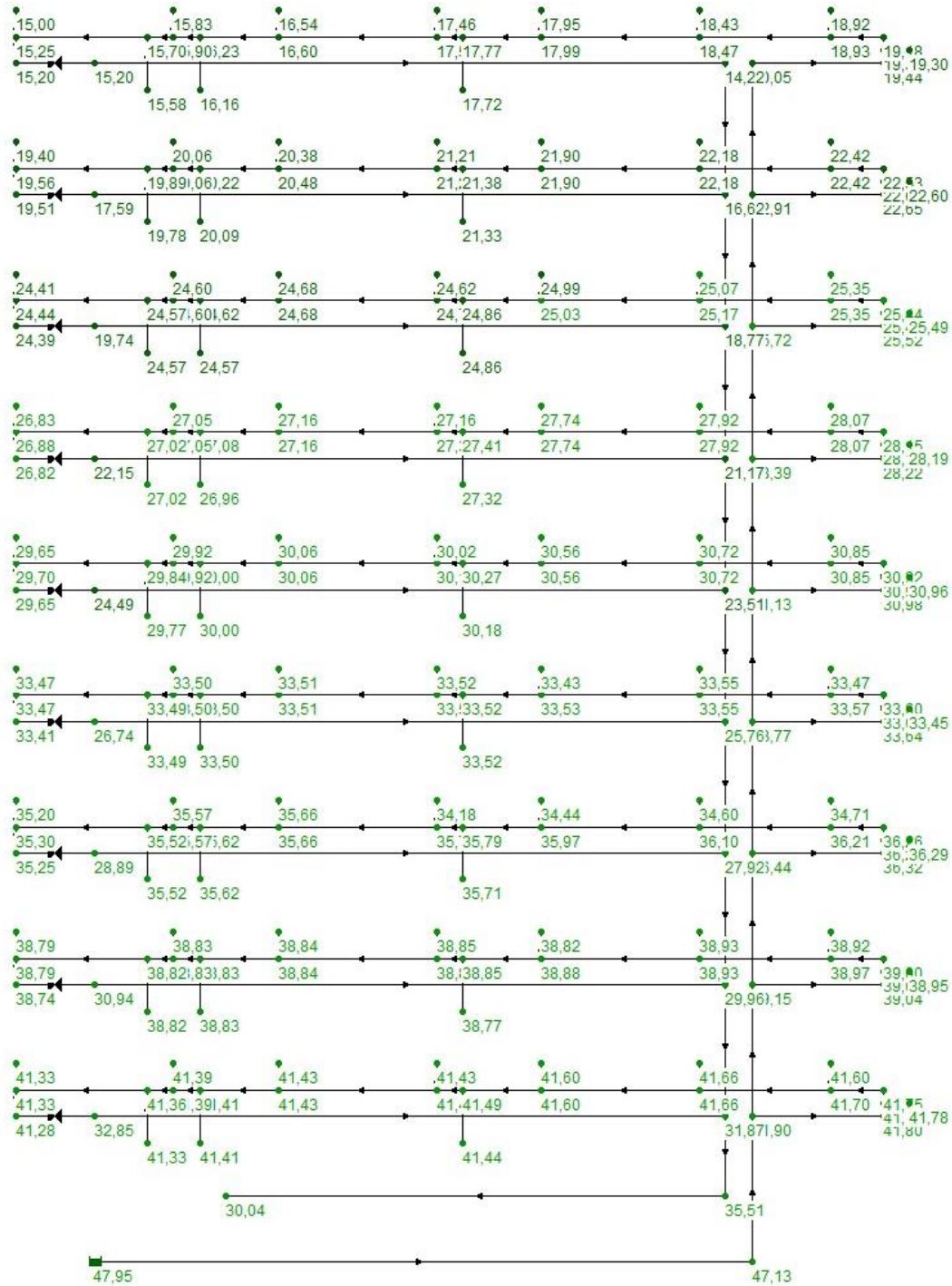


Figura 6-8. Presiones del modelo para encontrar la altura de la bomba

Teniendo en cuenta que la presión calculada en la hoja de Excel que garantiza 15 m.c.a. en el punto mas alejado de la red es de 47,95 m.c.a. (presión en el tanque), se calculó la presión en el tramo final del retorno igual a 30,04 m.c.a. Esto quiere decir que la altura dinámica total de la bomba de retorno es la diferencia de estas dos presiones ($47,95 - 30,04 = 17,91$ m.c.a.).

En Epanet se generó la curva de la bomba a partir de los datos de caudal y altura. El caudal corresponde al de retorno total que llega al tanque acumulador igual a 0,63 l/s y la altura es igual a 17,91 m.c.a., como se explicó en el párrafo anterior. En la Figura 6-9 se muestra la curva generada para este proyecto.

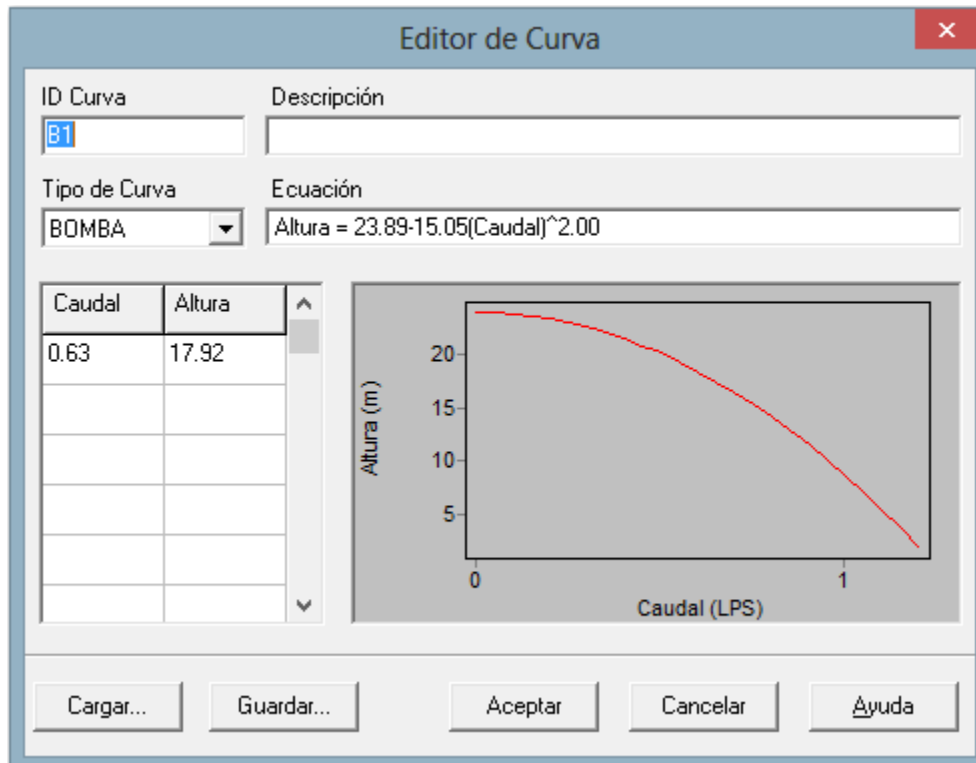
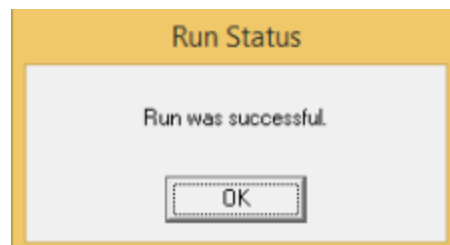


Figura 6-9. Curva de la bomba de recirculación generada en Epanet

Posteriormente, se adicionó la bomba y se ejecutó la modelación, que no presentó ningún error y arrojó la siguiente ventana:



En la Figura 6-10 se muestra el modelo completo en Epanet, con todas las consideraciones y parámetros definidos.

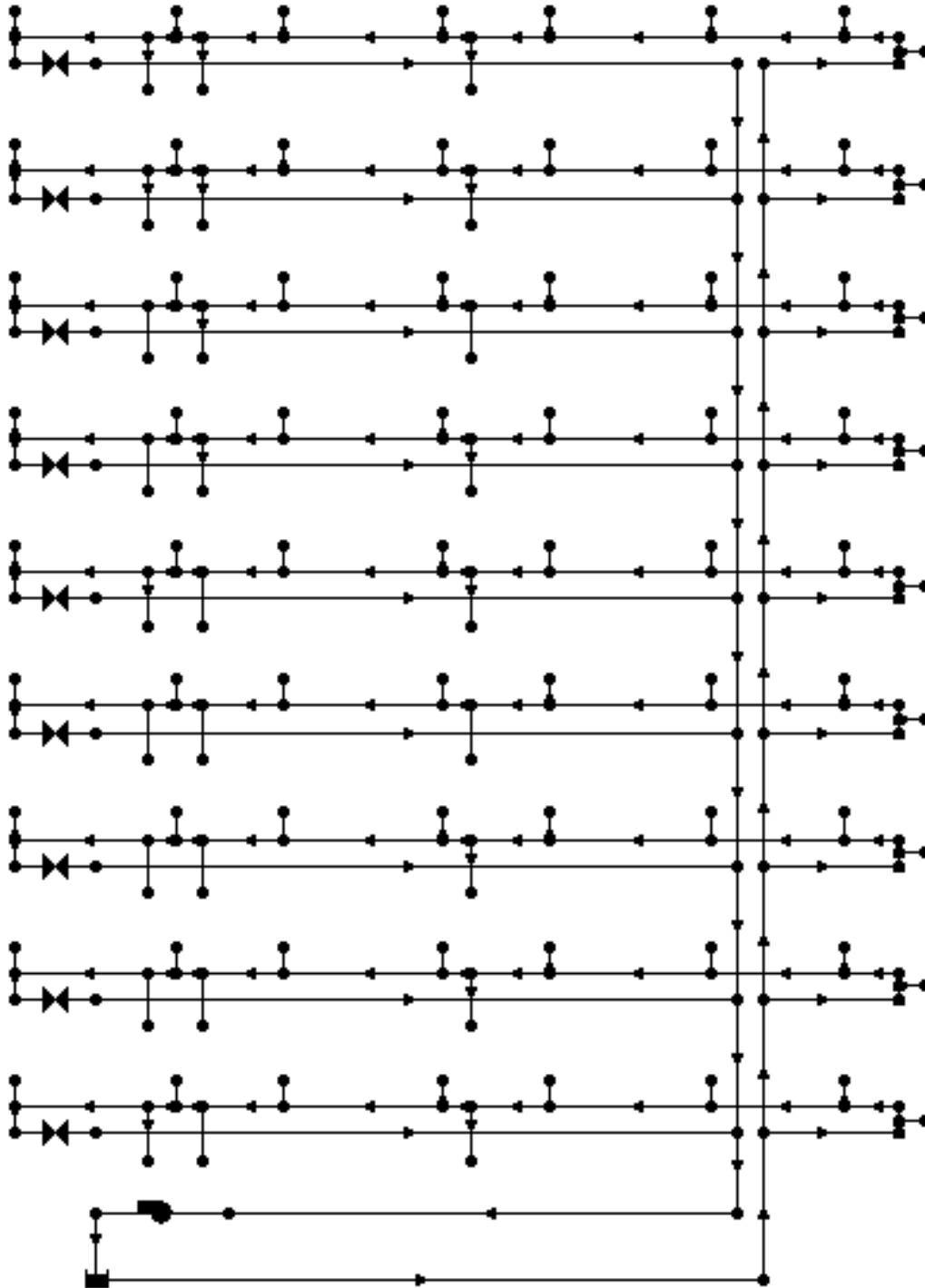


Figura 6-10. Modelo completo en Epanet, listo para realizar chequeos

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

A continuación se realizaron los chequeos de velocidad, presiones y demás parámetros. En las figuras 6-11 a 6-13 se presentan estos chequeos para la red con las llaves abiertas.

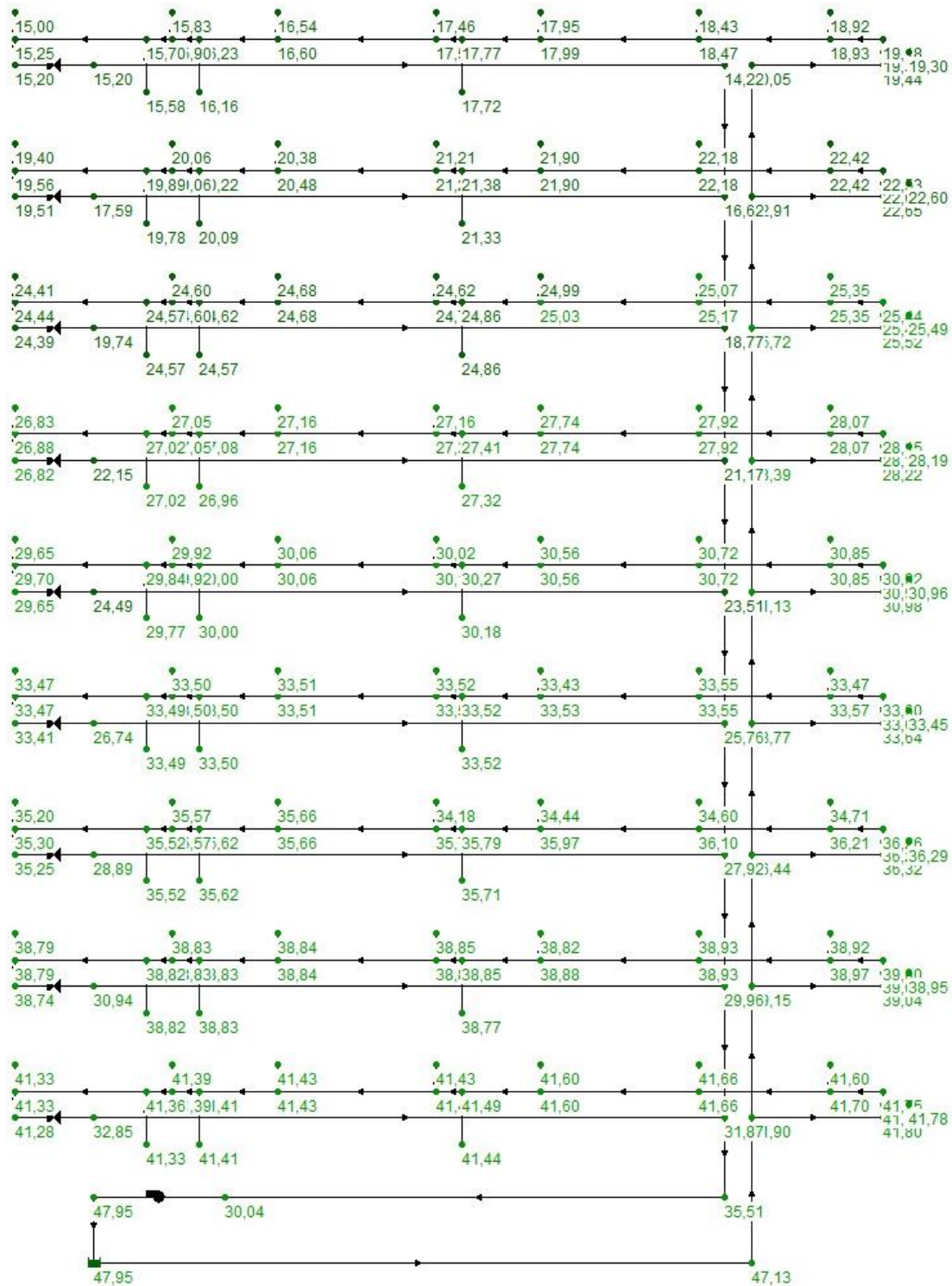


Figura 6-11. Presiones del modelo con las llaves abiertas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

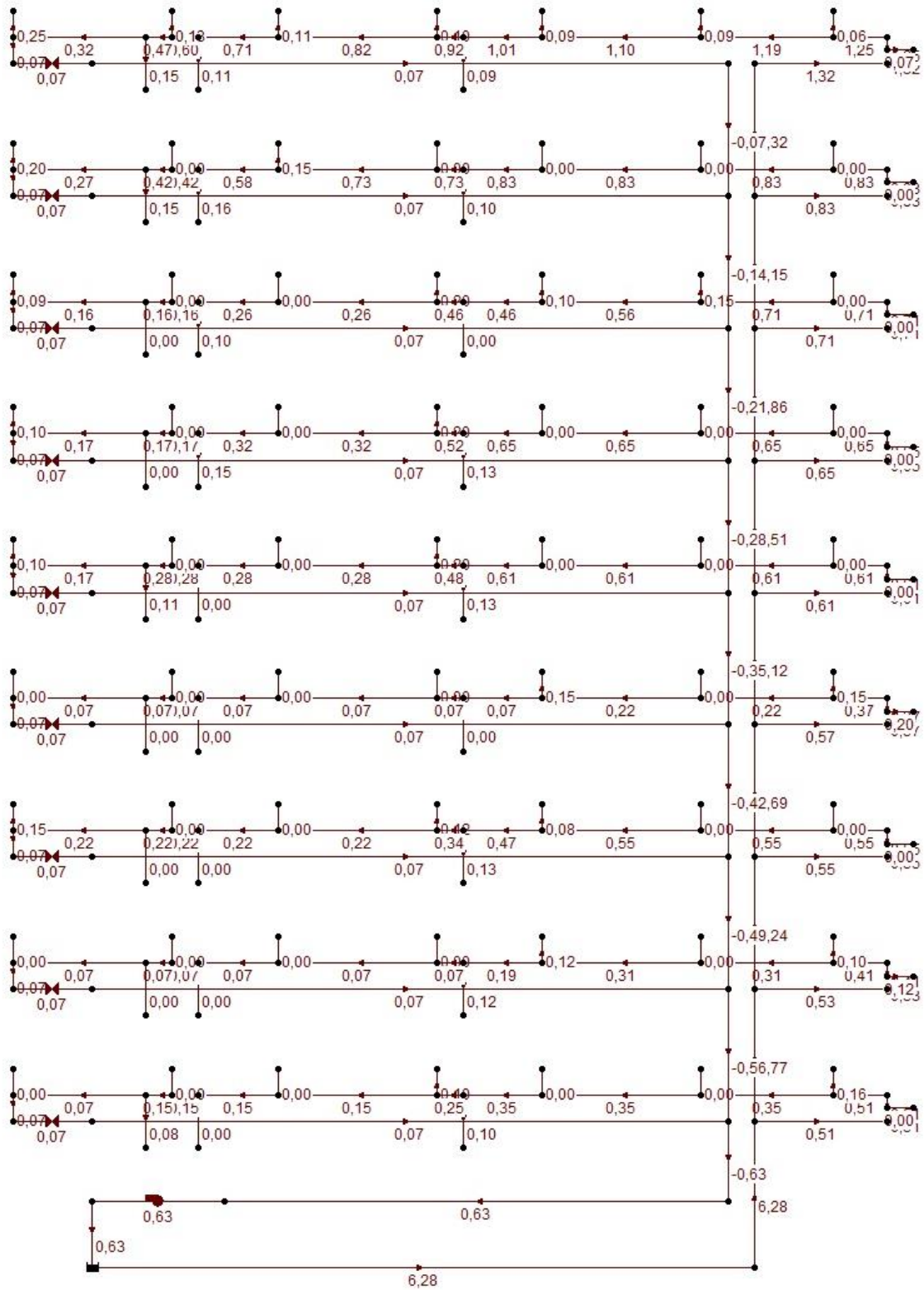


Figura 6-12. Caudales del modelo con las llaves abiertas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

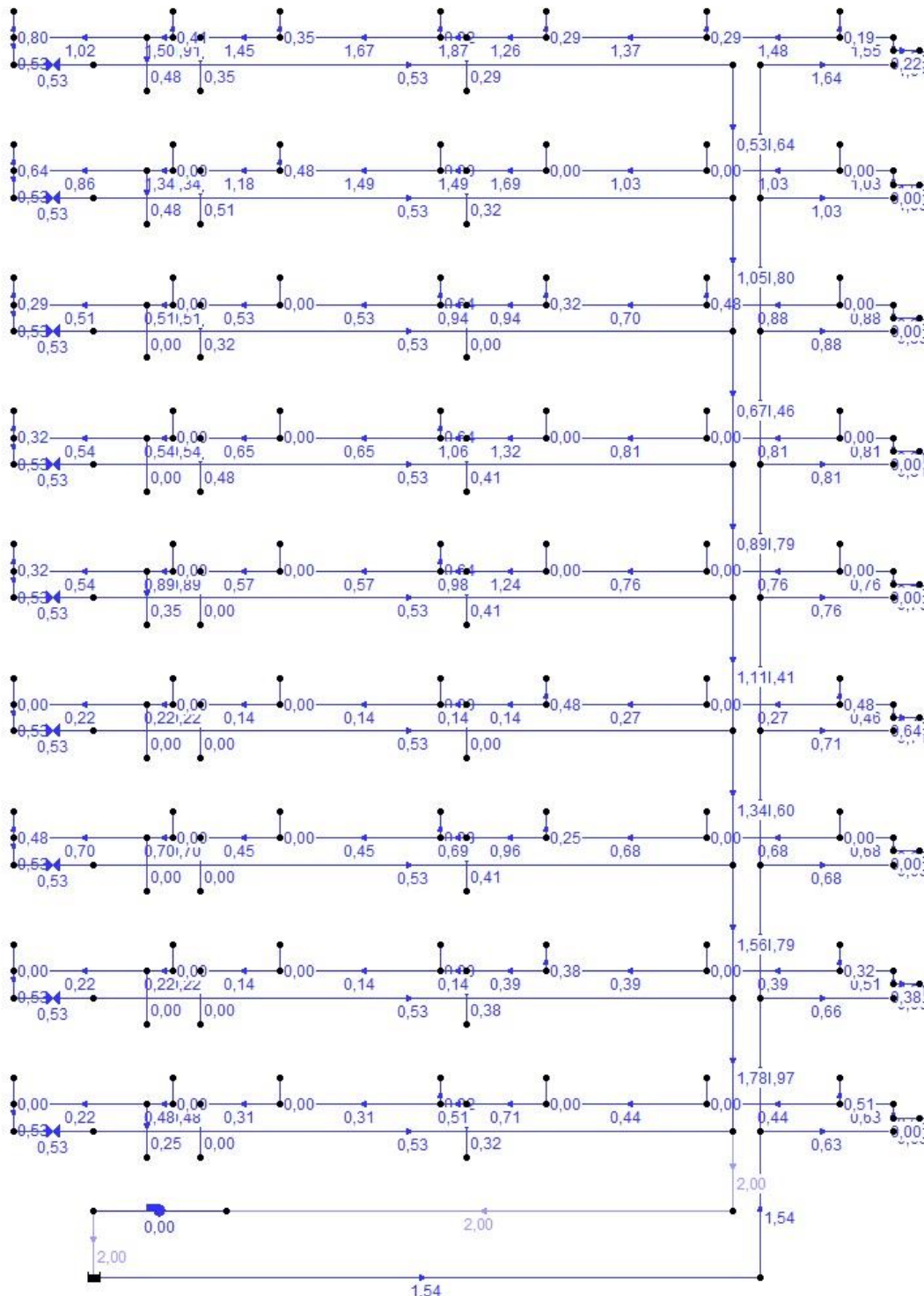


Figura 6-13. Velocidades del modelo con las llaves abiertas

Como se observa, ninguna tubería presenta velocidades mayores a 2 m/s, cumpliendo con el criterio de velocidad máxima del flujo en tuberías estipulado en la norma NTC-1500.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Las figuras 6-14 a 6-16 muestran los chequeos de presiones, caudales y velocidades del modelo con las llaves cerradas.

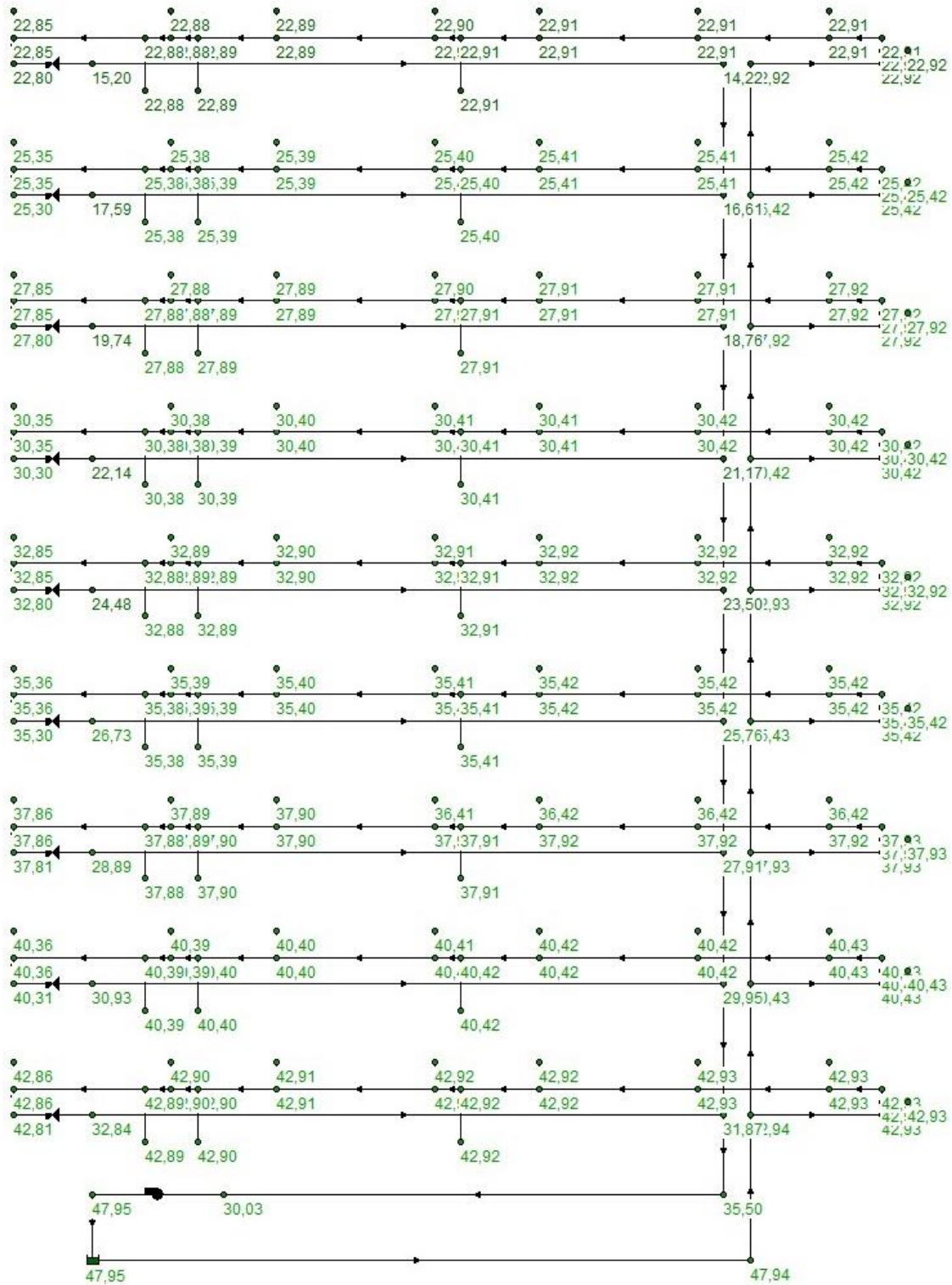


Figura 6-14. Presiones del modelo con las llaves cerradas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

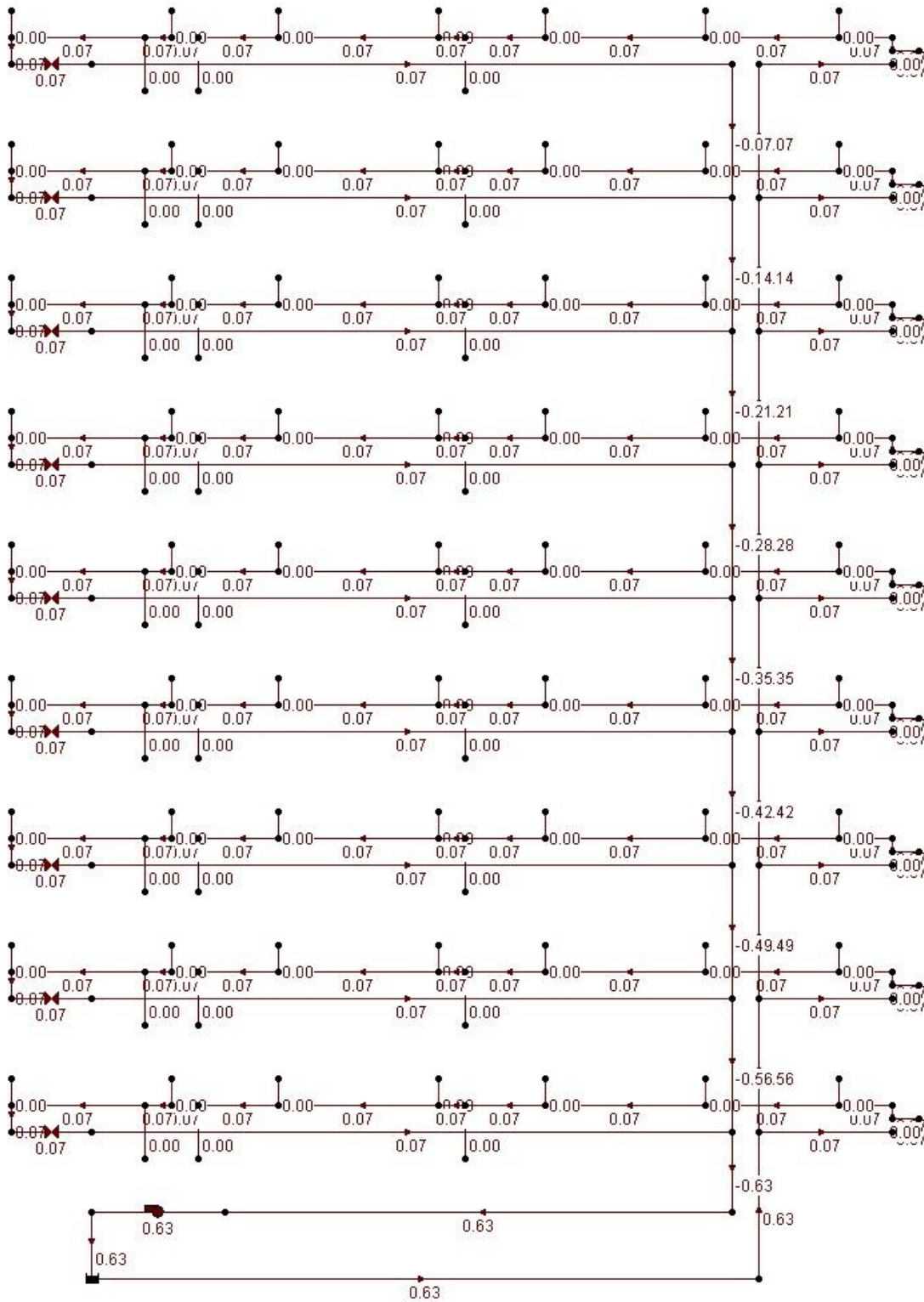


Figura 6-15. Caudales del modelo con las llaves cerradas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

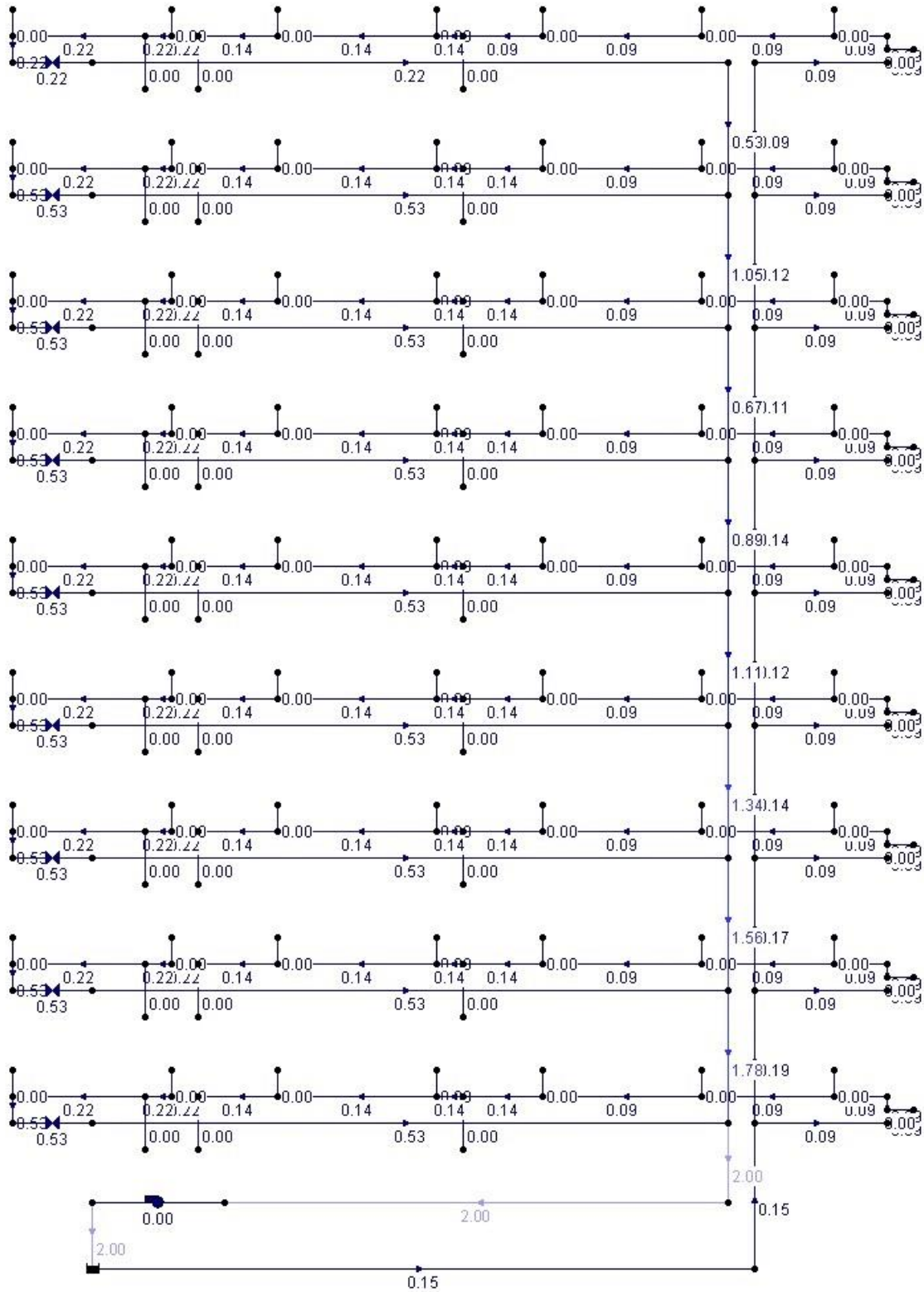


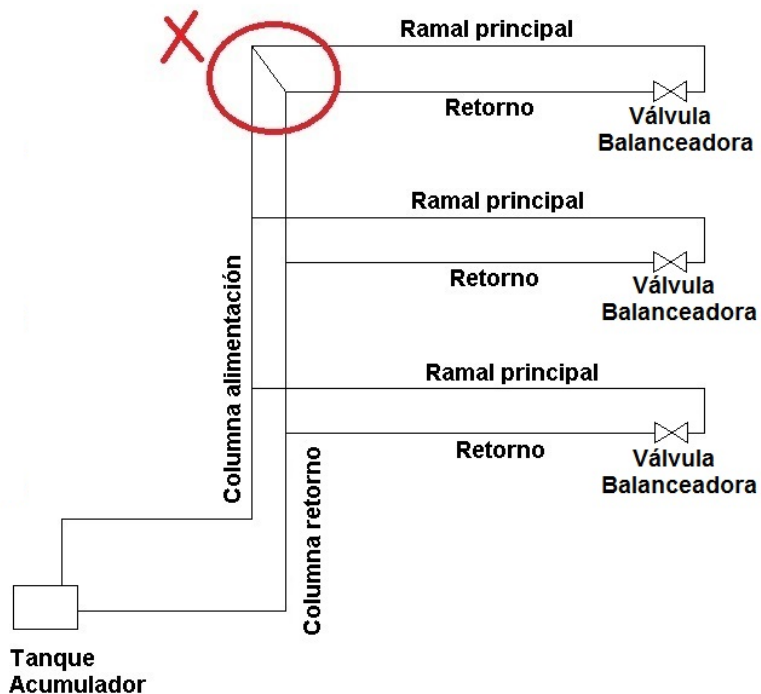
Figura 6-16. Velocidades del modelo con las llaves cerradas

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Una red de agua caliente exige un sistema de retorno si los aparatos sanitarios requieren agua caliente de manera inmediata. En este proyecto fue posible establecer criterios de diseño sobre este sistema de retorno para asegurar el funcionamiento adecuado de un sistema de agua caliente con recirculación.
- Las topologías más adecuadas para las redes con recirculación de agua caliente (RAC) resultan ser las que están conformadas por una columna de suministro, una de retorno y circuitos horizontales en cada nivel de una edificación. Con esta única columna de suministro de agua caliente se pueden alimentar tantos puntos en cada nivel como sea necesario. Los recorridos del flujo resultan ser los más cortos posibles y esta configuración permite la medición de caudales en proyectos residenciales.

Adicionalmente, esta configuración se puede aplicar a proyectos con más de una torre, diseñando un solo sistema de calentamiento y una sola columna de suministro con retorno por cada edificio.

- Una vez realizadas todas las modelaciones e investigado sobre el diseño de redes de agua caliente con recirculación, se puede concluir que la consideración más importante para que el sistema funcione sin ningún problema es la colocación de válvulas balanceadoras (circuit setter valves) en cada circuito horizontal de la red. También es indispensable un correcto trazado, especialmente no se deben realizar conexiones erradas entre las columnas con flujo ascendente, que suministren agua caliente con las columnas de retorno que van hacia el tanque acumulador.
- Se realizaron modelaciones incluyendo válvulas sostenedoras y limitadoras de presión en los retornos en lugar de válvulas balanceadoras, lo cual permitió establecer que el accesorio ideal para garantizar los caudales de retorno fijos son estas últimas. Cuando se instalan válvulas sostenedoras o limitadoras de presión es necesario conocer previamente la presión que se requiere aguas arriba de la válvula, lo cual requiere cálculos adicionales o buscar dichas presiones por ensayo y error. Cuando se instalan válvulas balanceadoras, las cuales solicitan el caudal que se quiere fijar, éstas ajustan automáticamente las presiones que se requieren aguas arriba del accesorio.
- Se comprobó que las válvulas balanceadoras no sólo regulan el flujo y fijan los caudales sino que además lo direccionan en un solo sentido, lo que permite medir el volumen de agua que se consume en cada circuito, instalando un medidor a la entrada del circuito y otro a la salida. La diferencia de estas dos mediciones es igual al volumen de agua consumida.
- En el trazado de la red se detectaron fallas del sistema cuando se corrieron modelos, como se muestra a continuación.



Este tipo de conexiones genera problemas hidráulicos, pues desbalancea el sistema generando que el flujo se mueva en direcciones contrarias a las que se espera, ocasionando pérdidas de temperatura adicionales y dificultando las labores de medición del consumo.

- No es necesario colocar válvulas check en los retornos de los circuitos cuando se instalan válvulas balanceadoras, pues una de sus funciones es garantizar el sentido del flujo sin importar si el sistema funciona en el momento de mayor demanda o cuando todas las llaves o grifos se encuentran cerrados.
- Para calcular los caudales de retorno se recomienda el método que se presenta en este documento; sin embargo, existen diversas metodologías para realizar estos cálculos. En la mayoría de modelaciones realizadas el caudal de retorno total fue del orden de 10% del caudal de consumo en el momento de mayor demanda. Si se quiere ejecutar un modelo de forma preliminar, este resulta ser un buen criterio para definir el caudal de retorno total.
- Cuando sea necesario definir los diámetros de consumo de la ruta crítica se recomienda tomar como criterio de velocidad máxima 1,8 m/s para diámetros < 3" o 2,3 m/s para diámetros ≥ 3 ", teniendo en cuenta que después de este paso se deben calcular los caudales de retorno y sumarlos a los caudales calculados por consumo de los aparatos, por lo cual se incrementarán las velocidades, que podrían no cumplir el criterio de velocidad máxima de 2 m/s para tuberías menores de 3" o de 2,5 m/s para tuberías de 3" o mayores, que son los criterios que establece la norma NTC 1500.

- Cuando se tienen varias torres en un proyecto el procedimiento resulta ser el mismo que se mostró en el caso práctico. La diferencia radica en el cálculo de los caudales de retorno, pues se debe definir una ruta crítica por cada torre, desde el tanque acumulador hasta cada uno de los puntos más alejados. De esta manera se puede realizar el cálculo del caudal de retorno en cada torre. Así mismo, en todas las torres se deben instalar válvulas balanceadoras en el retorno de cada circuito interno. No es necesario instalar válvulas balanceadoras en ningún otro tramo de la red, pues las que se definen en cada circuito interno balancean el sistema y fijan el caudal de retorno total que debe impulsar la bomba de recirculación.

8. REFERENCIAS

- 1) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (noviembre de 2000), Título E. RAS 2000.
- 2) Prabhata K., S. (2008). Design of water supply pipe networks, Wiley-Interscience.
- 3) Matiax, C. (2010). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, 2ª ed., Oxford.
- 4) Granados, J. A. (2008). *Redes hidráulicas y sanitarias en edificios*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- 5) Rodríguez, H.A. (2005). *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- 6) Pérez C., R. (2005). *Agua, desagües y gas para edificaciones*. Bogotá, Ecoe Ediciones, 5ta ed.
- 7) Código Colombiano de Fontanería, Norma Técnica Colombiana NTC 1500, Incontec 2004.
- 8) Roca, M. & Solís, J. (s.f.). Fontanería. Tema VII. Dimensionamiento de las redes centralizadas. España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- 9) Junkers (2006). *Guía del instalador de agua caliente sanitaria*. Robert Bosch España.

ANEXO 1. MODELACIONES

A-1.1 MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA CINCO NIVELES

Para comprobar que el modelo básico que se presentó en el numeral 4.2 puede aplicarse para diferentes diseños se realizaron modelaciones con distintos niveles. A continuación se muestra el modelo para una edificación de cinco pisos, con tres salidas de agua en cada nivel (Figura A-1).

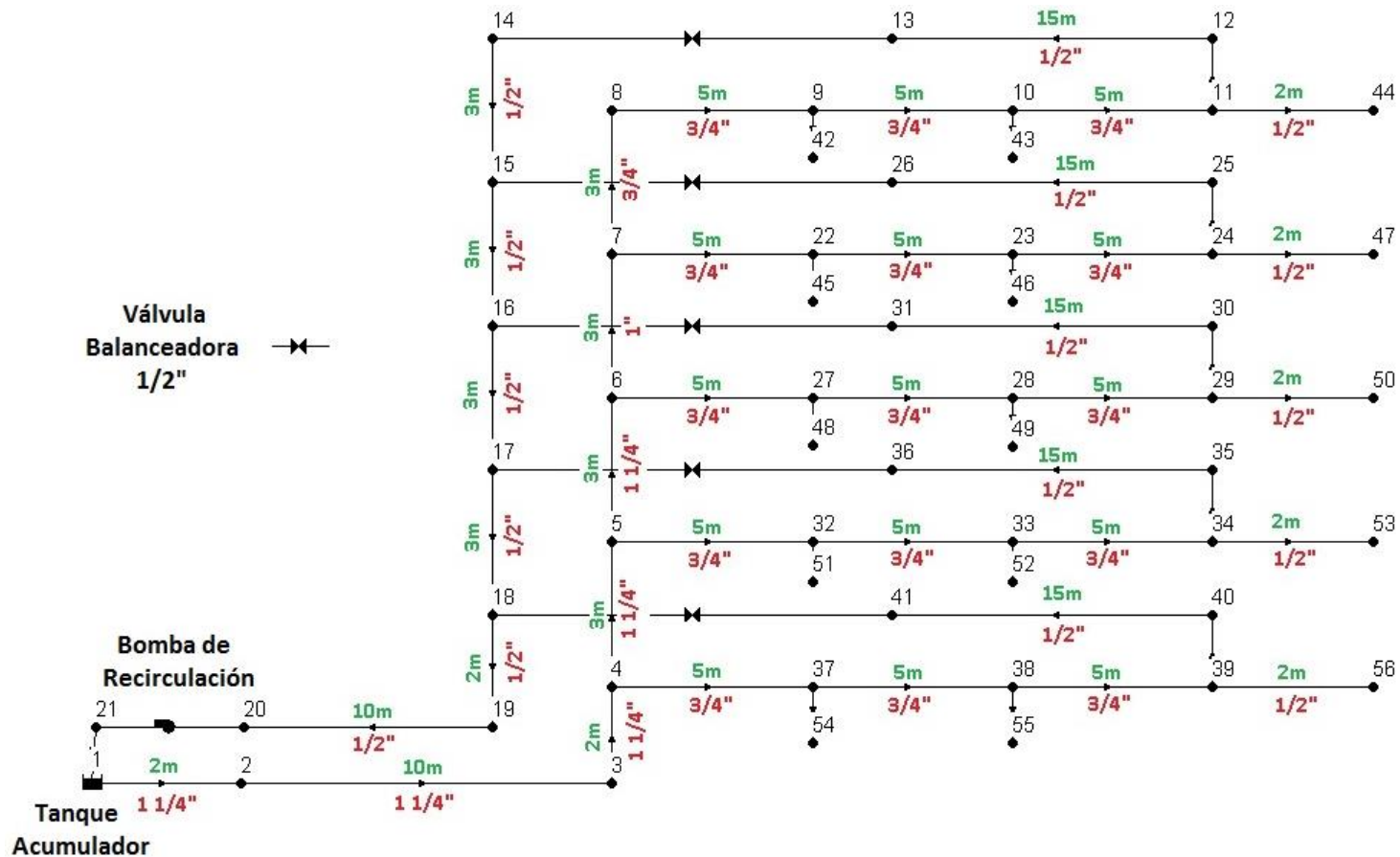


Figura A-1. Modelo de red de agua caliente con recirculación para un edificio de cinco niveles y tres salidas de agua en cada piso

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Para ejecutar este modelo primero se calcularon los caudales de consumo y se definieron los diámetros mediante el método de Hunter (numeral 3.1). En la Figura A-2 se presenta la ruta crítica definida y en la Tabla A-1 los cálculos realizados.

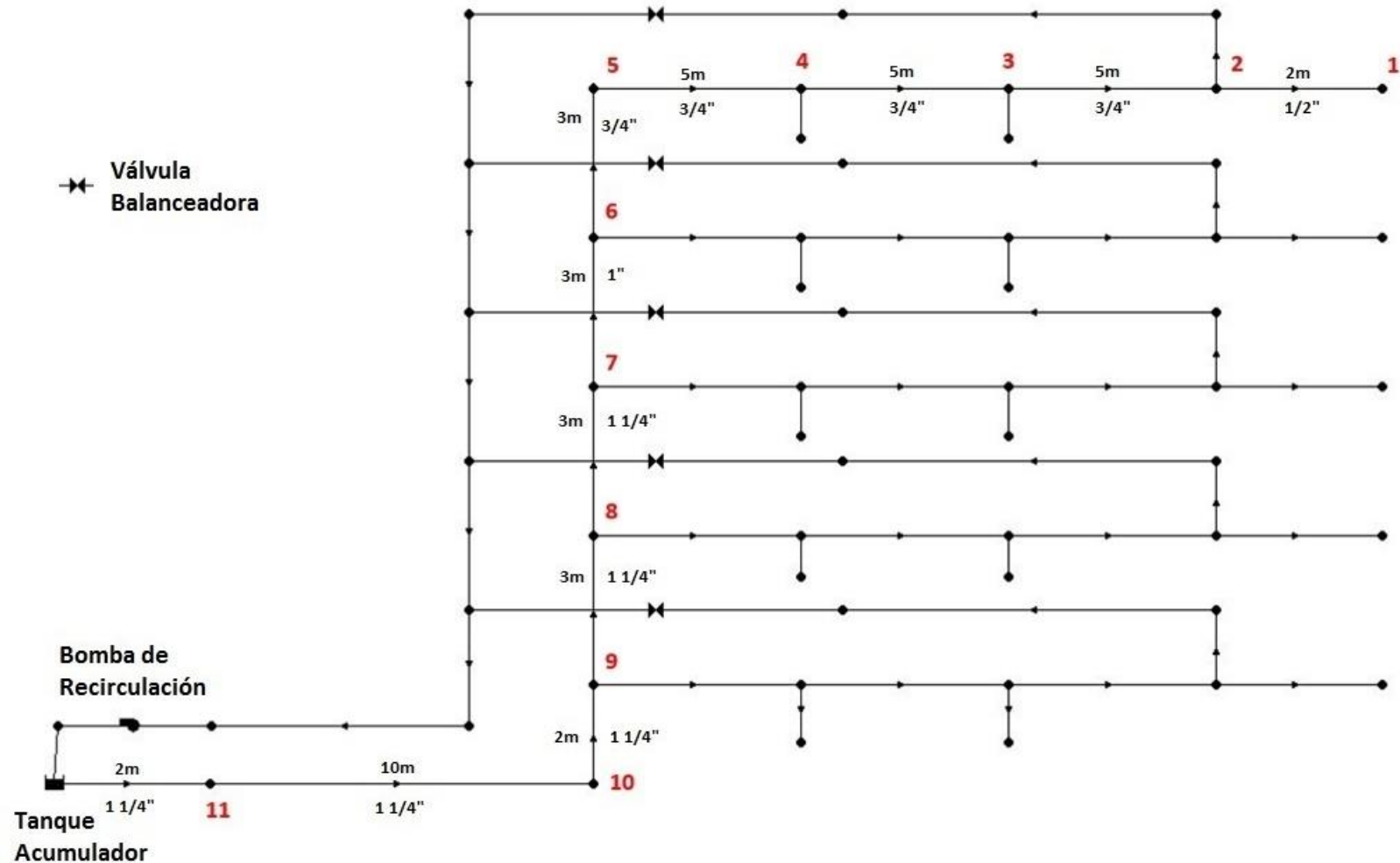


Figura A-2. Ruta crítica para el modelo de red de agua caliente

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Tabla A-1. Cálculo de caudales, diámetros y presiones para la ruta crítica de la red de agua caliente

Tramo		Unid	Q	Ø		Longitud (m)			j	Hf	v	Nivel		Presión
De	A	Hunter	l/s	pulg	mm	Equiv	Real	Total	m/m	m	m/s	Entrada	Salida	m.c.a
Qretorno = 0.05 l/s						Coeficiente Hazen para el cobre C=140								
														15,0
1	2	2,3	0,20	1/2	13,00	0,00	2,00	2,00	0,2524	0,50	1,53	14,00	14,00	15,5
2	3	2,3	0,25	3/4	20,00	0,00	5,00	5,00	0,0465	0,23	0,81	14,00	14,00	15,7
3	4	4,5	0,38	3/4	20,00	0,00	5,00	5,00	0,0974	0,49	1,20	14,00	14,00	16,2
4	5	6,8	0,48	3/4	20,00	0,00	5,00	5,00	0,1536	0,77	1,54	14,00	14,00	17,0
5	6	6,8	0,48	3/4	20,00	0,00	3,00	3,00	0,1536	0,46	1,54	14,00	11,00	20,5
6	7	13,5	0,80	1	25,00	0,00	3,00	3,00	0,1311	0,39	1,62	11,00	8,00	23,8
7	8	20,3	1,07	1 1/4	32,00	0,00	3,00	3,00	0,0681	0,20	1,33	8,00	5,00	27,0
8	9	27,0	1,32	1 1/4	32,00	0,00	3,00	3,00	0,1006	0,30	1,64	5,00	2,00	30,3
9	10	33,8	1,56	1 1/4	32,00	0,00	2,00	2,00	0,1364	0,27	1,94	2,00	0,00	32,6
10	11	33,8	1,56	1 1/4	32,00	0,00	10,00	10,00	0,1364	1,36	1,94	0,00	0,00	33,9
11	Tanque	33,8	1,56	1 1/4	32,00	0,00	2,00	2,00	0,1364	0,27	1,94	0,00	0,00	34,2

Para cada salida de agua se asumieron tres unidades de Hunter correspondientes a una ducha y un lavamanos privado (Tabla 3-1). Cabe destacar que para la red de agua caliente se deben tomar el 75% de las unidades de Hunter, puesto que estos aparatos tienen suministro de agua fría simultáneamente. De acuerdo con el conteo de unidades de gasto se calculó el caudal; sin embargo, se debe ir sumando el caudal de retorno. Para este caso se adoptó un caudal de retorno de 0,05 l/s en cada nivel.

Las pérdidas por fricción se calcularon por medio de la ecuación de Hazen-Williams (numeral 2.1.9). Para este diseño no se tuvieron en cuenta las pérdidas locales. Como se muestra en la tabla, la velocidad de la red no supera los 2 m/s en cada uno de los tramos con los diámetros adoptados. La presión en el punto más alejado se estableció en 15 m, por lo cual el sistema requiere una presión en el tanque acumulador de 34,2 m. A continuación se presenta el modelo y los resultados de las modelaciones en Epanet (figuras A-3 a A-10).

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

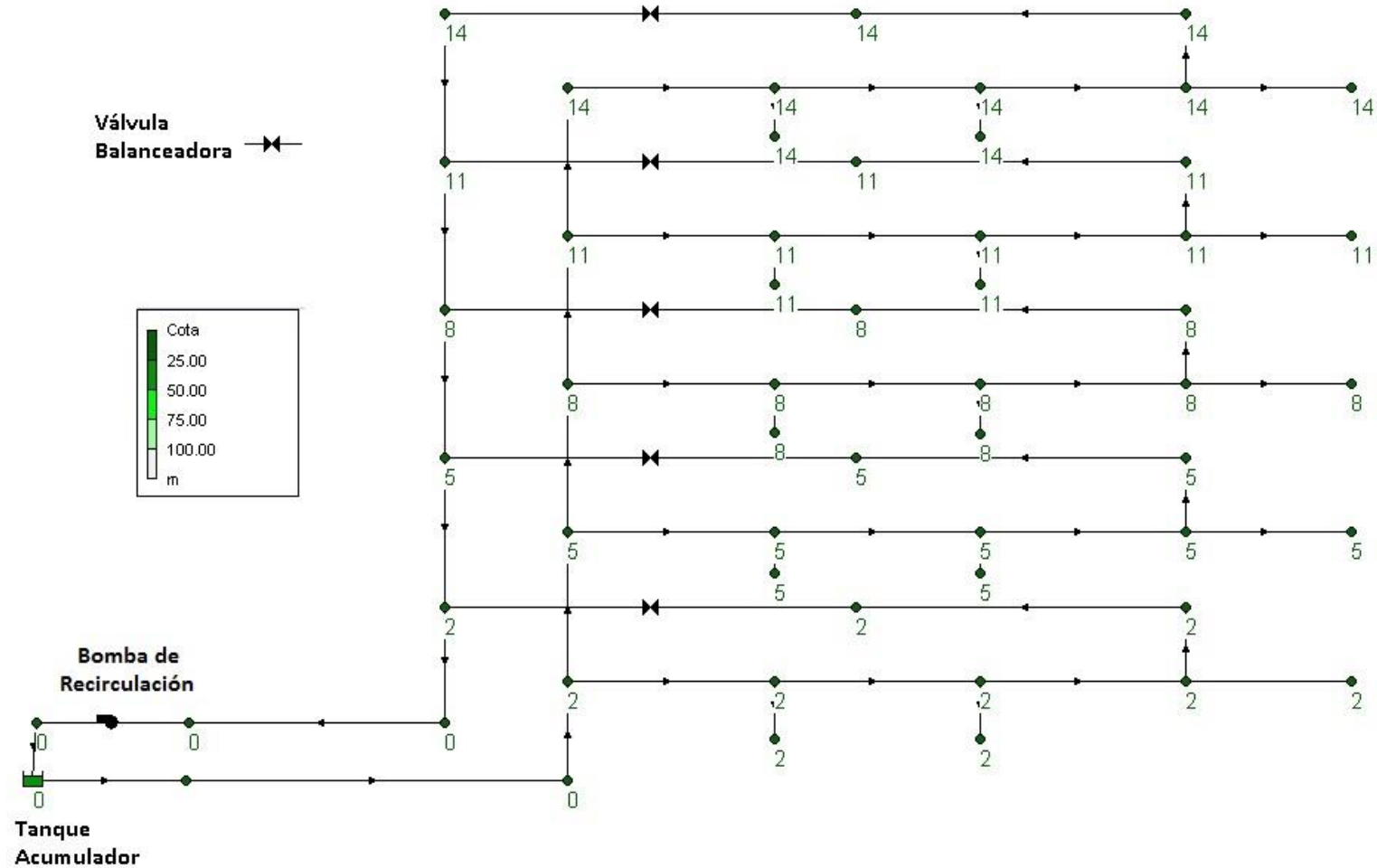


Figura A-3. Elevación en cada punto de la red de agua caliente (m)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Las demandas de cada punto en la red de agua caliente se definieron aleatoriamente, teniendo en cuenta el caudal calculado en la ruta crítica. Estas demandas son en el momento más desfavorable de la red, cuando se espera que se estén usando más aparatos a un mismo tiempo.

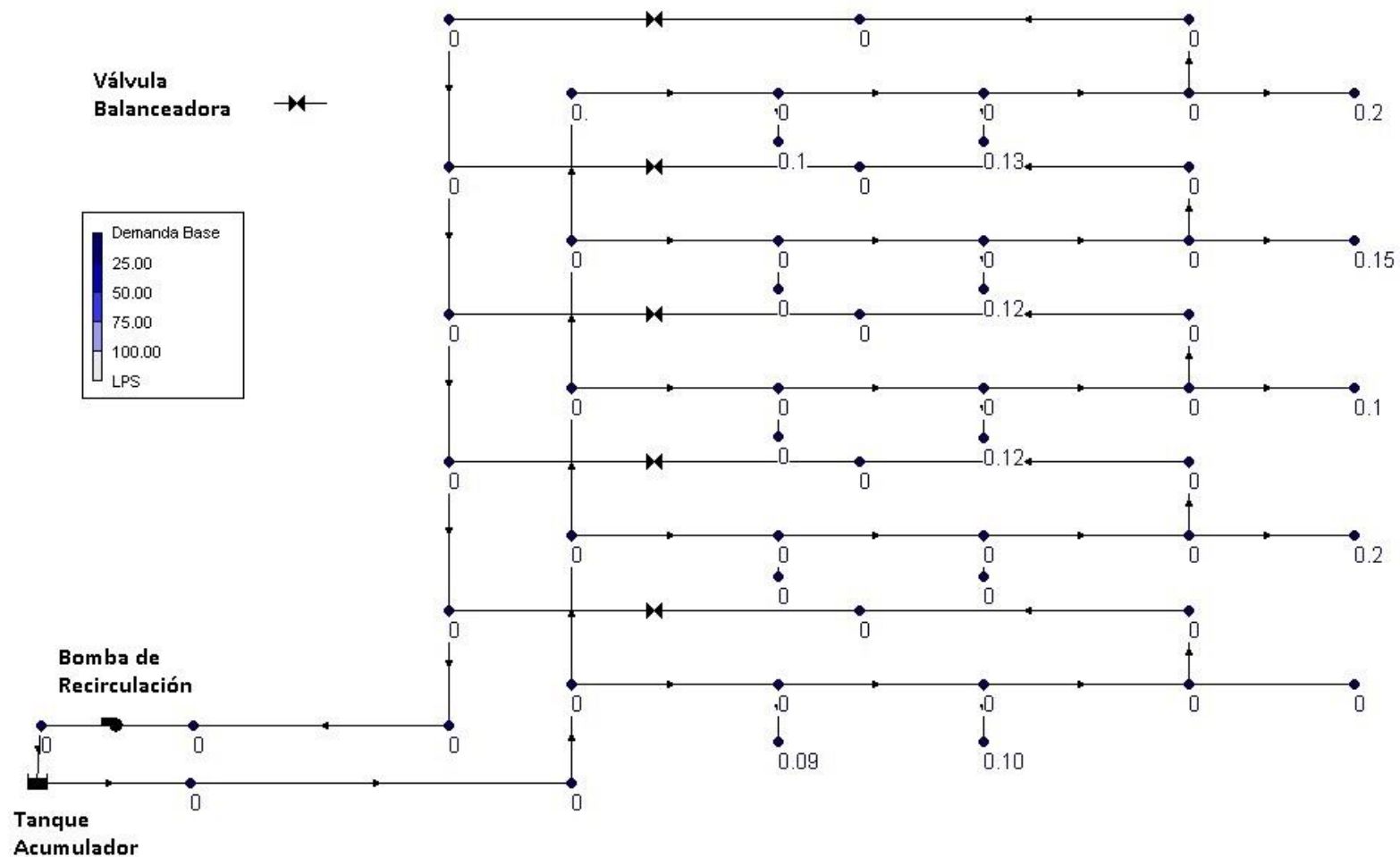


Figura A-4. Demanda aleatoria en cada punto de la red de agua caliente (l/s)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Los caudales son producto de las demandas definidas. Nótese que los caudales en la ruta crítica corresponden a los que se presentaron en la Tabla A-1.

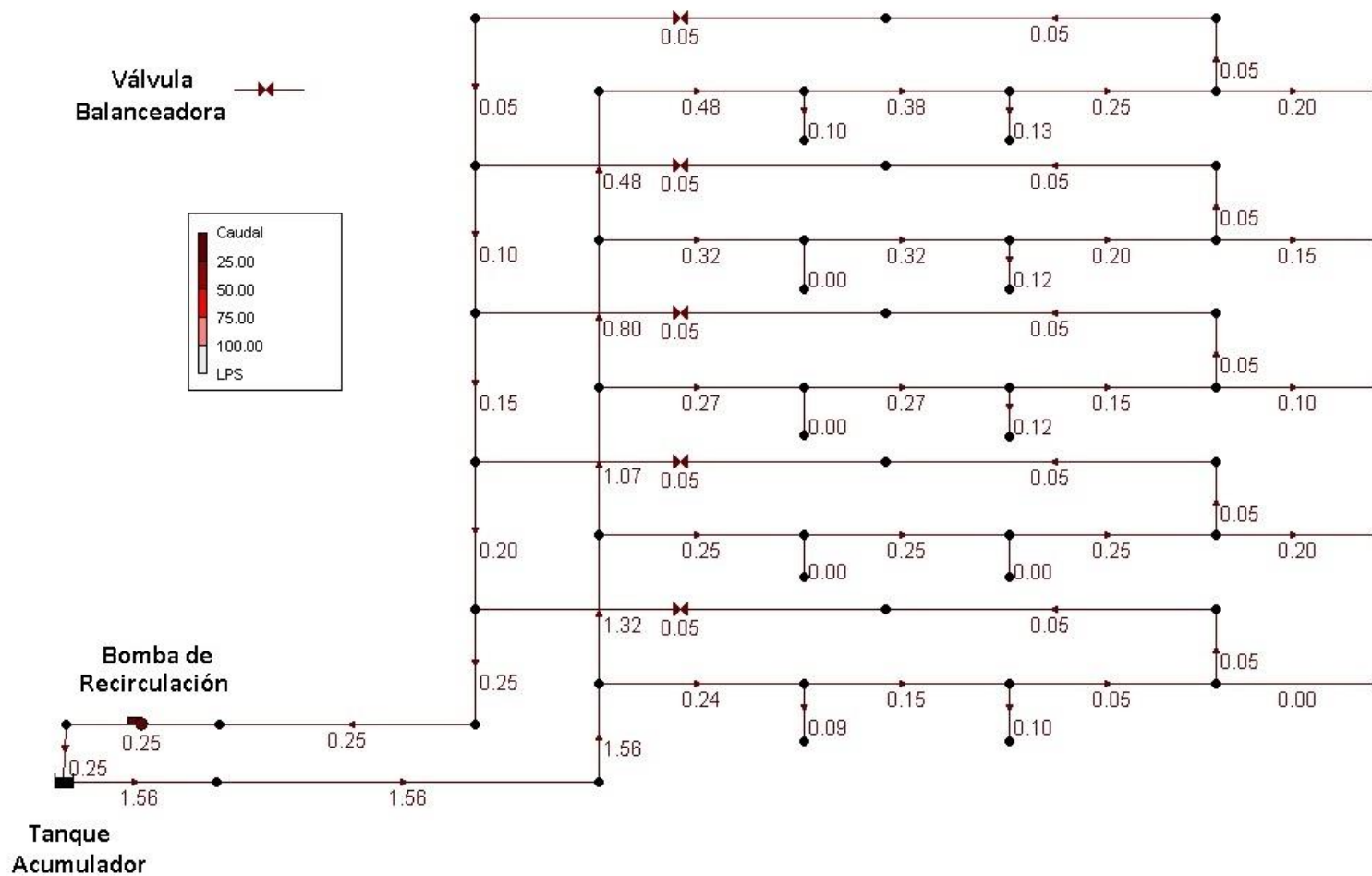


Figura A-5. Caudales en cada tramo de la red de agua caliente con grifos abiertos (l/s)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

En la Figura A-6 se presentan las presiones de la red de agua caliente calculadas en Epanet para los consumos definidos. Nótese que las presiones en la ruta crítica corresponden a las que se presentaron en la Tabla A-1. Adicionalmente se presenta la curva de la bomba de recirculación requerida para impulsar el caudal de retorno.

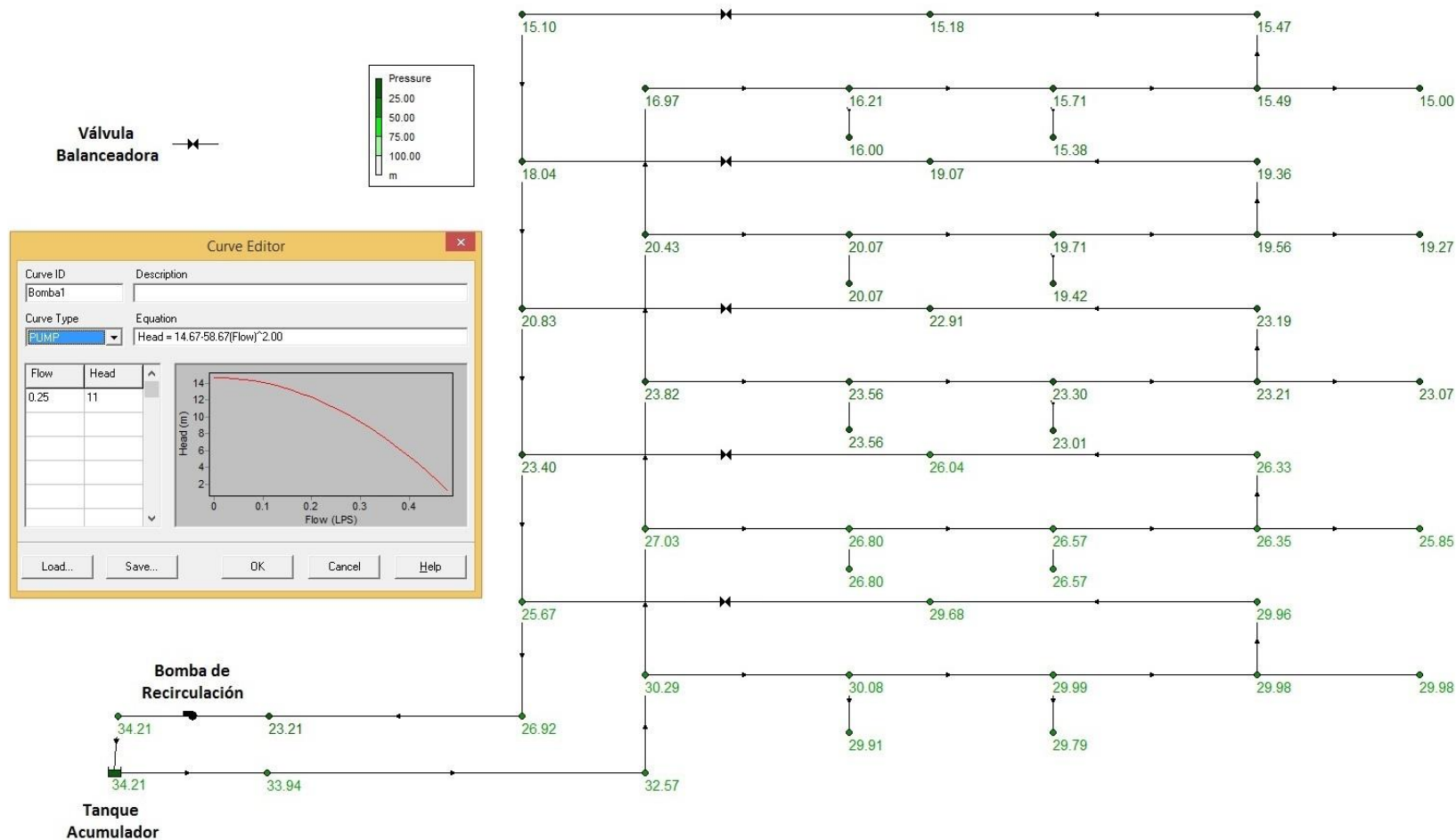


Figura A-6. Presión en cada punto de la red de agua caliente con grifos abiertos (m.c.a.)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

En la Figura A-7 se presentan las velocidades de la red de agua caliente calculadas en Epanet para los consumos definidos. Las velocidades en la ruta crítica corresponden a las que aparecen en la Tabla A-1

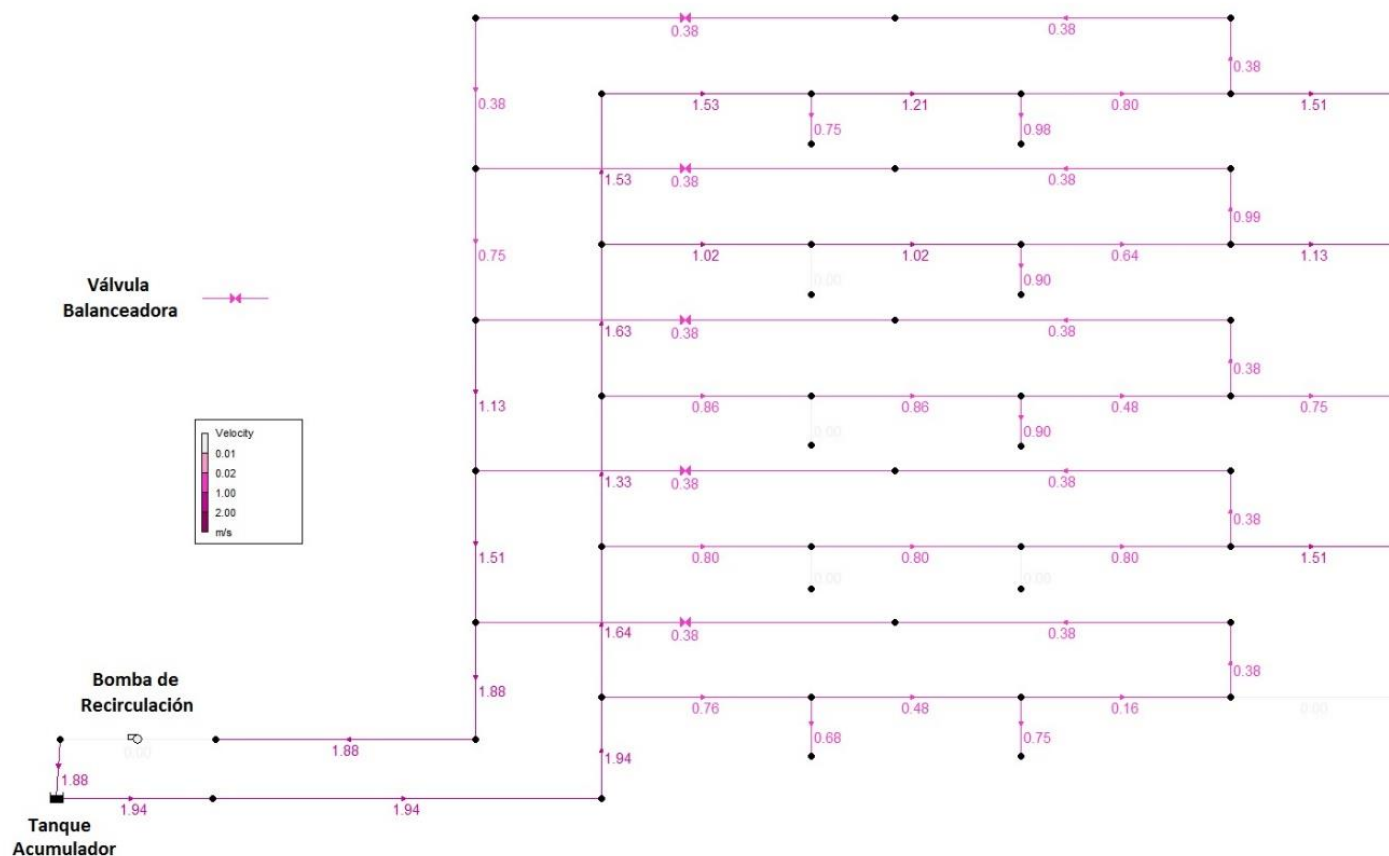


Figura A-7. Velocidades en cada tramo de la red de agua caliente con grifos abiertos (l/s)

Como se observa en las figuras anteriores, para la red modelada con las demandas esperadas el circuito de retorno funciona correctamente. A continuación se presentan los resultados de la misma red a grifo cerrado, es decir, para cuando todas las llaves y duchas de la red se encuentren cerradas.

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

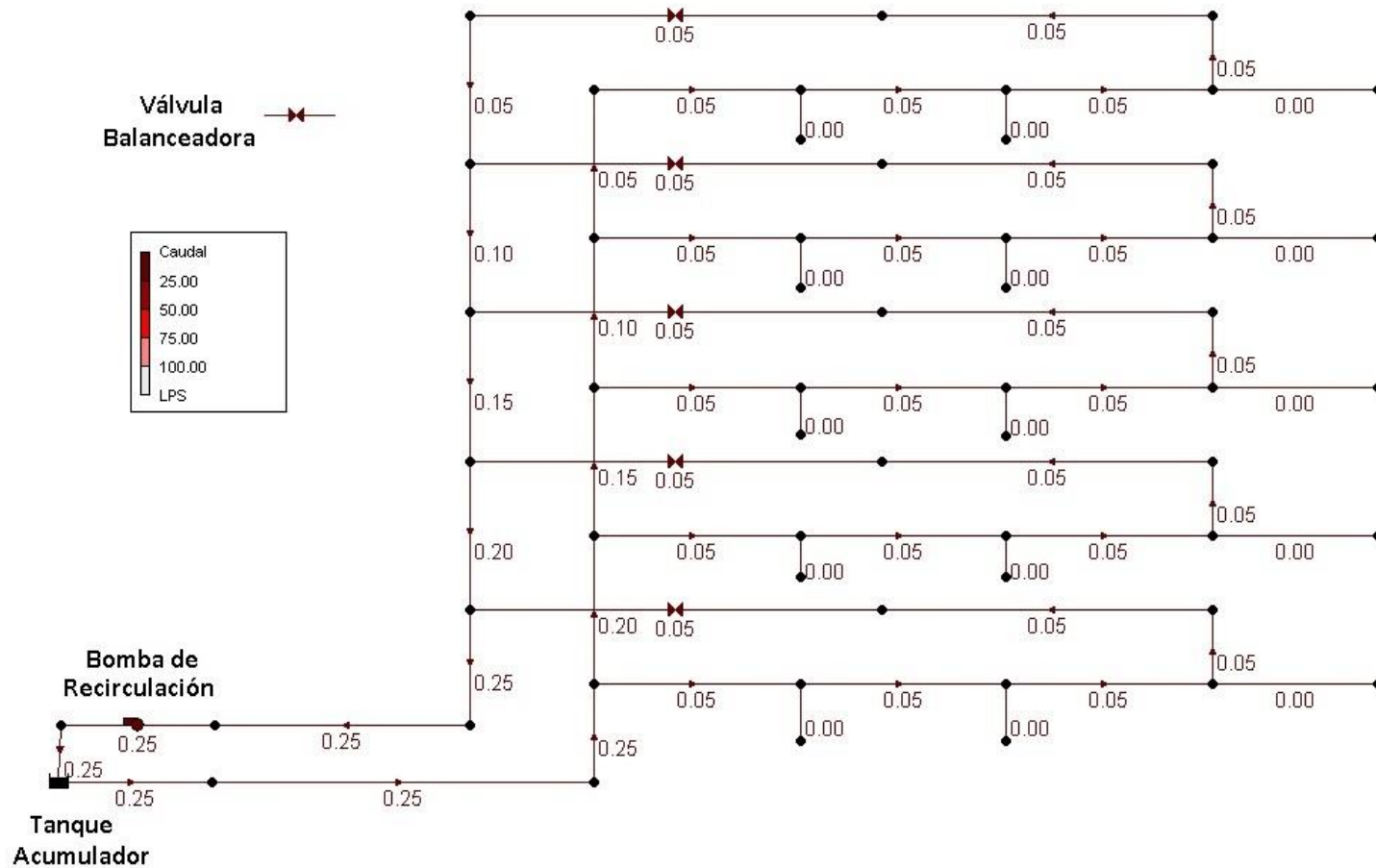


Figura A-8. Caudales en cada tramo de la red de agua caliente con grifos cerrados (l/s)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

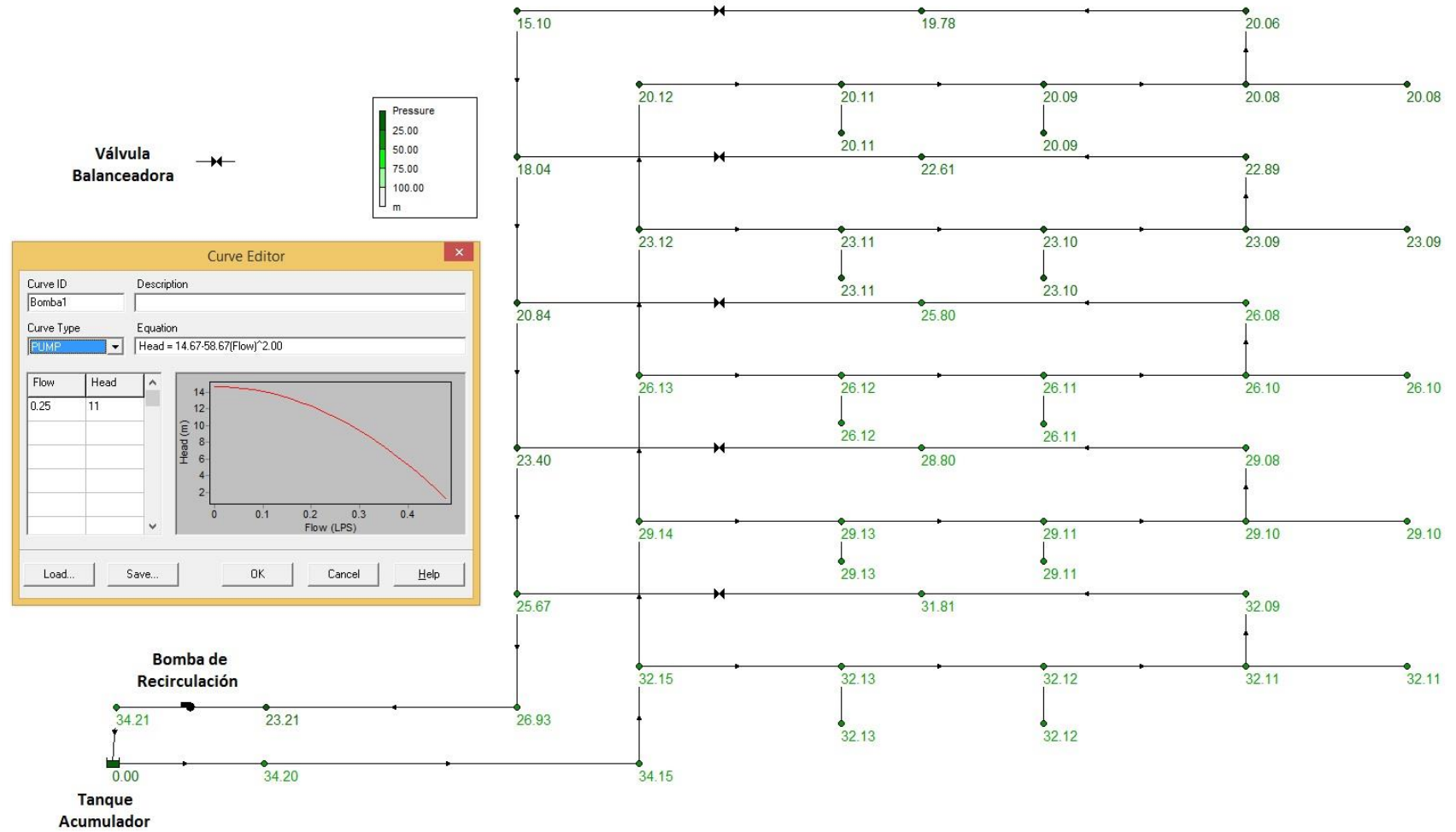


Figura A-9. Presión en cada punto de la red de agua caliente con grifos cerrados (m.c.a.)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

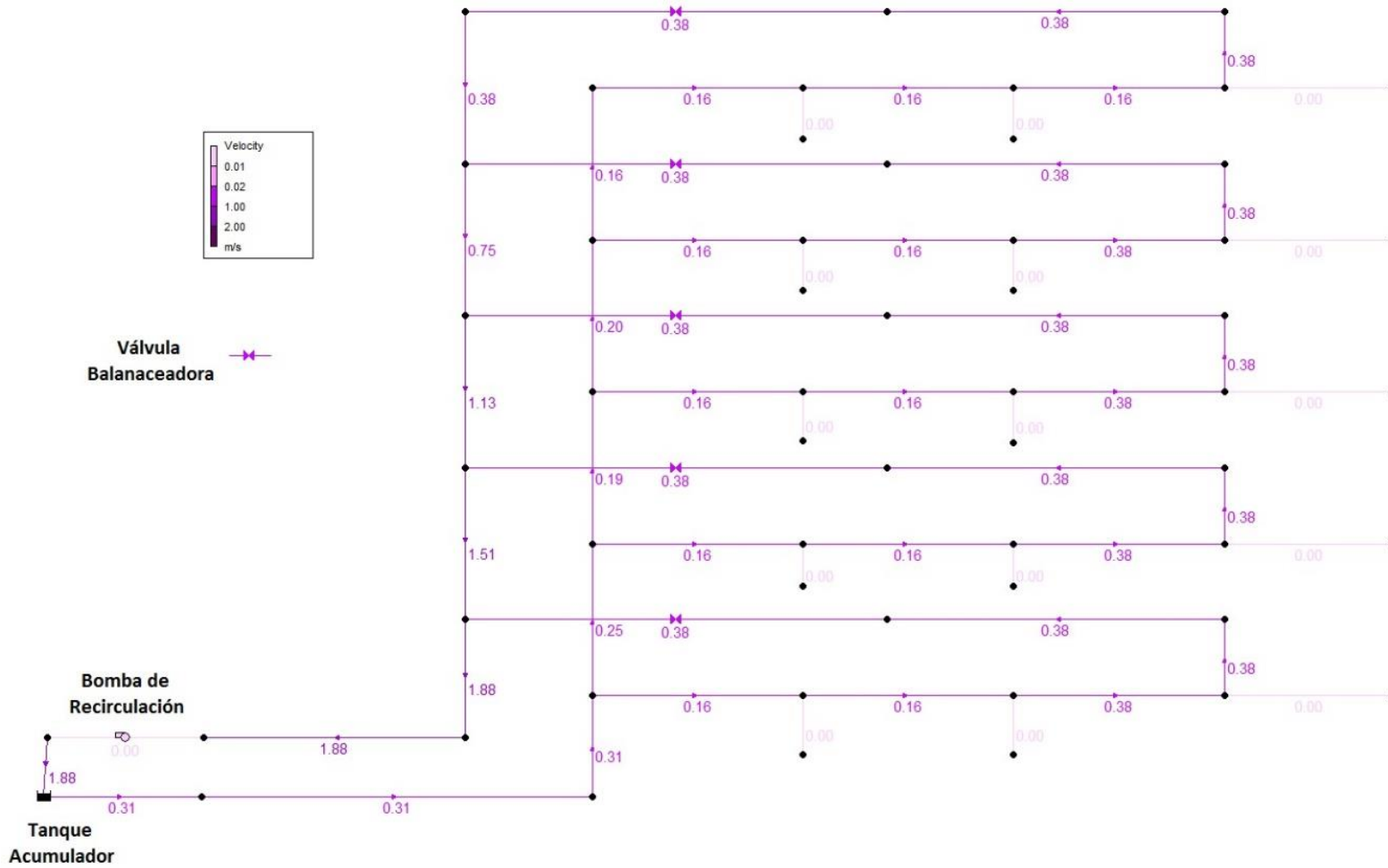


Figura A-10. Velocidades en cada tramo de la red de agua caliente con grifos cerrados (l/s)

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

Se realizaron modelaciones sin las válvulas balanceadoras y los resultados muestran cómo el flujo puede tomar diferentes caminos y hacer que la red no trabaje de forma óptima en los momentos de mayor demanda. La Figura A-11 ilustra los problemas que se presentan cuando no se instalan válvulas balanceadoras.

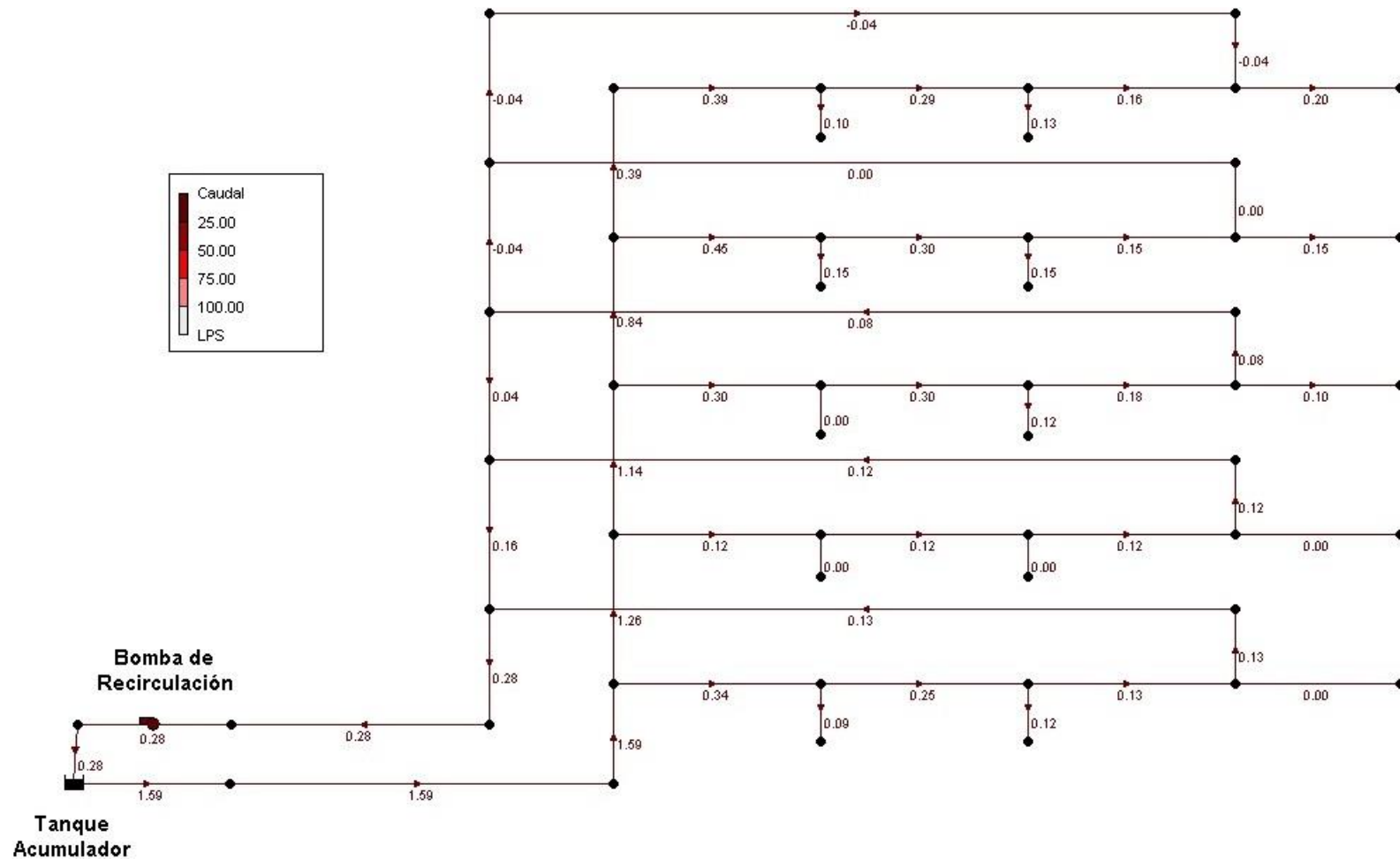


Figura A-11. Caudales en cada tramo de la red de agua caliente con grifos abiertos sin válvulas balanceadoras

A-1.2 MODELO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE PARA DOS TORRES CON DIFERENTES NIVELES

Se hicieron modelaciones con más de una torre para comprobar el comportamiento de la red. Se encontró que para varias torres, incluso con configuraciones diferentes, la metodología funciona sin ningún problema. Las figuras A-12 a A-15 presentan los resultados de las modelaciones que se realizaron para dos torres, una de nueve niveles y otra de cuatro.

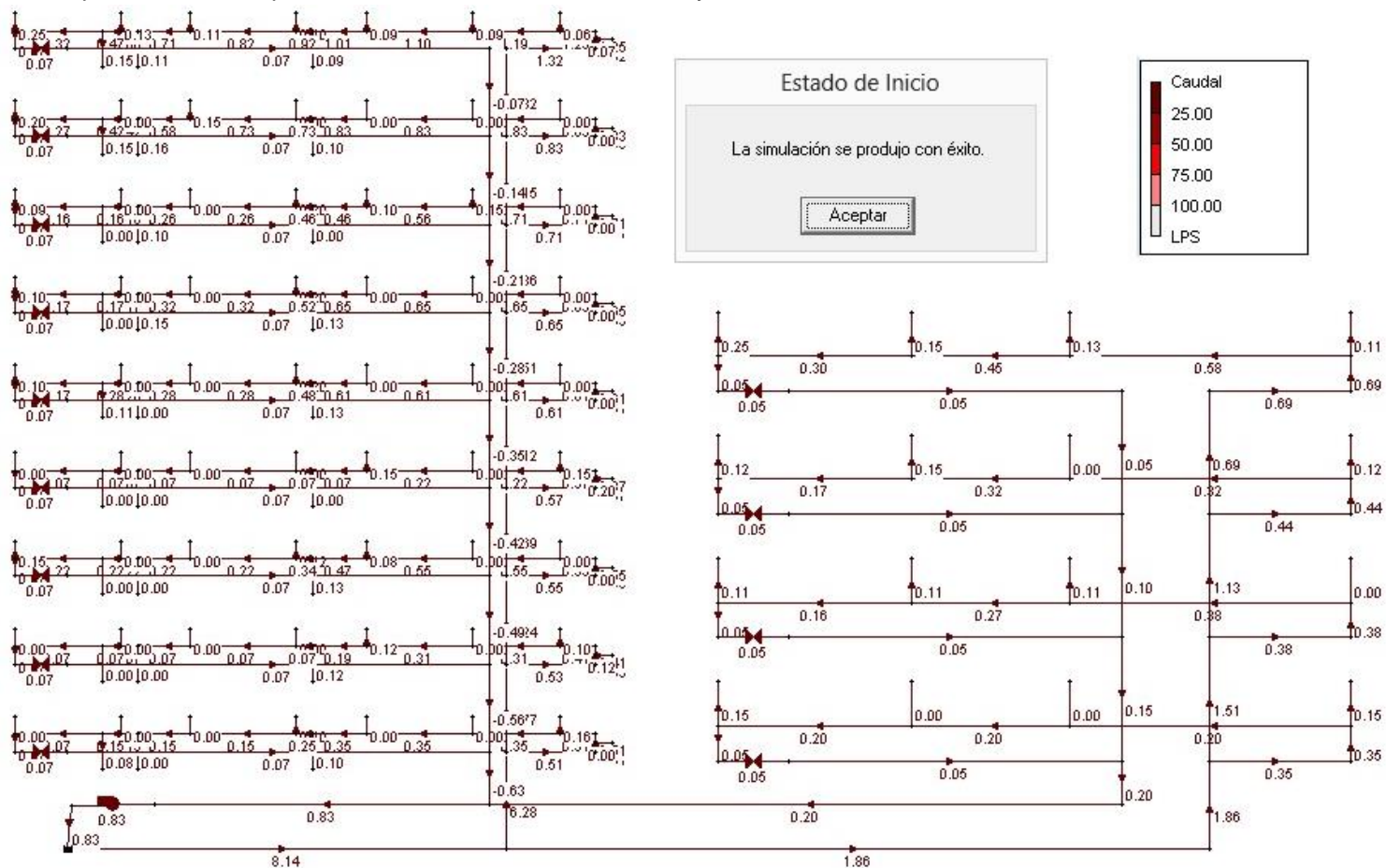


Figura A-12. Modelación de dos torres con diferentes niveles, caudales para llaves abiertas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

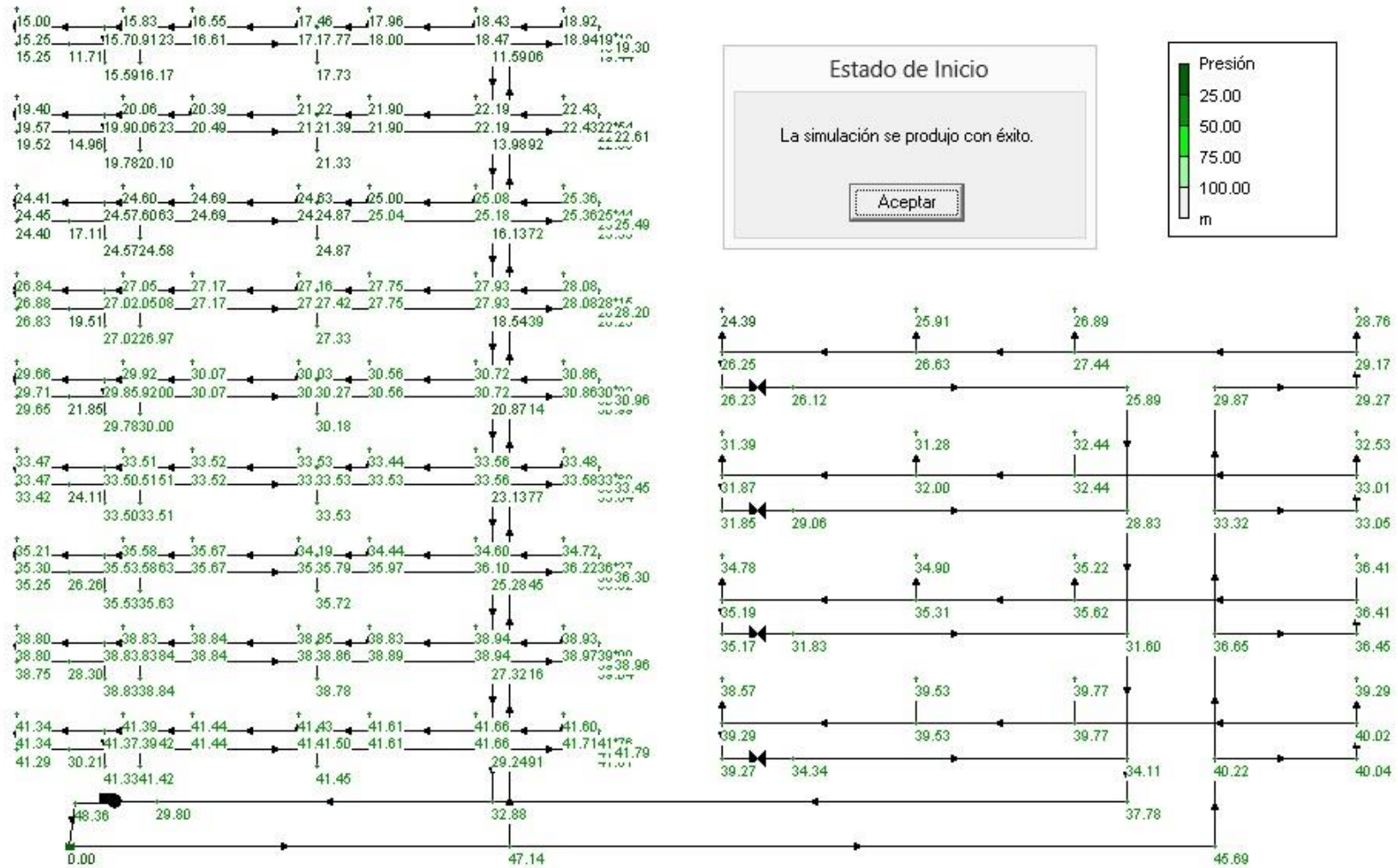


Figura A-13. Modelación de dos torres con niveles diferentes, presiones para llaves abiertas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

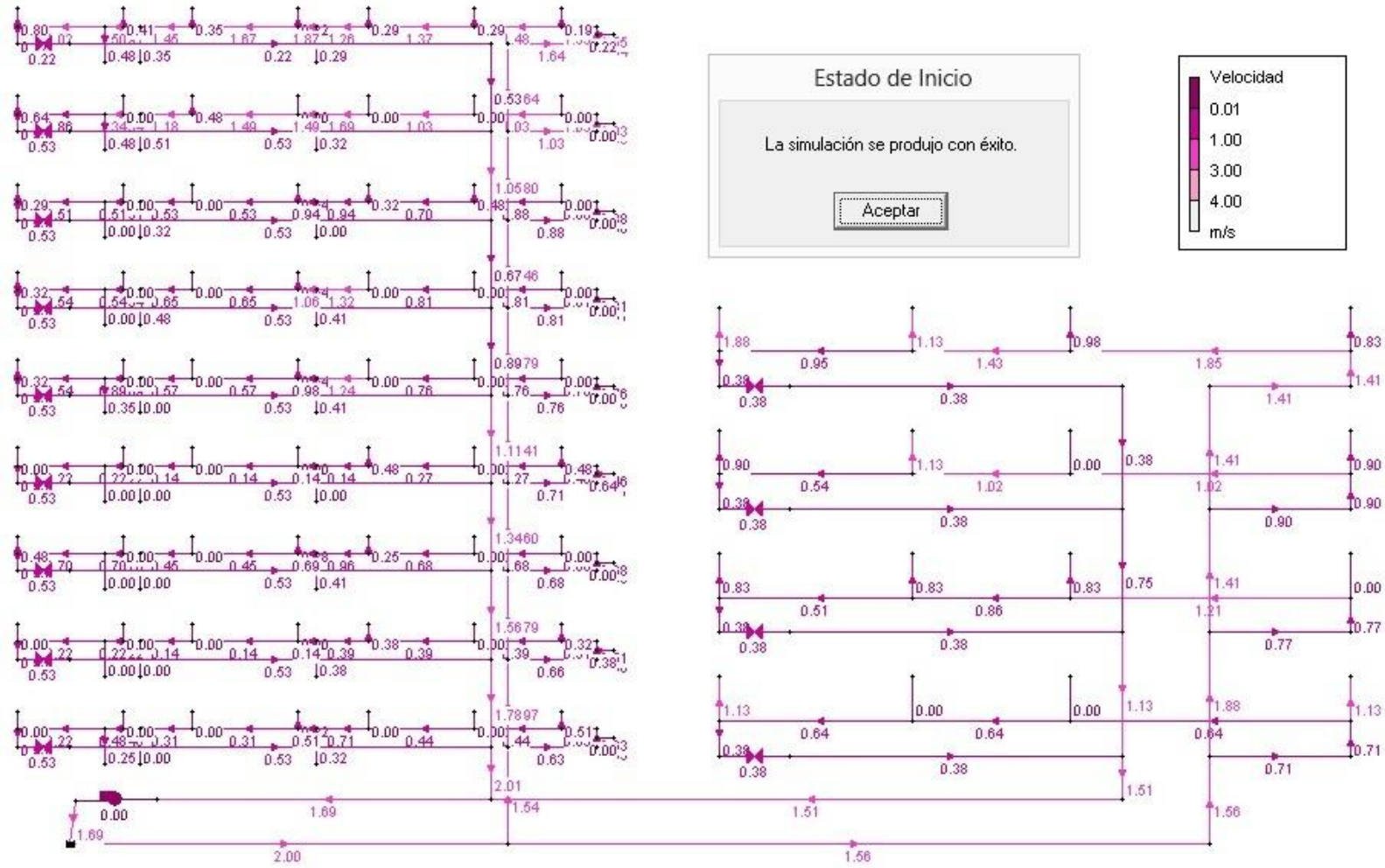


Figura A-14. Modelación de dos torres con niveles diferentes, velocidades para llaves abiertas

REDES DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACIÓN Y EQUIPOS DE CALENTAMIENTO TIPO CALDERA CON TANQUE ACUMULADOR

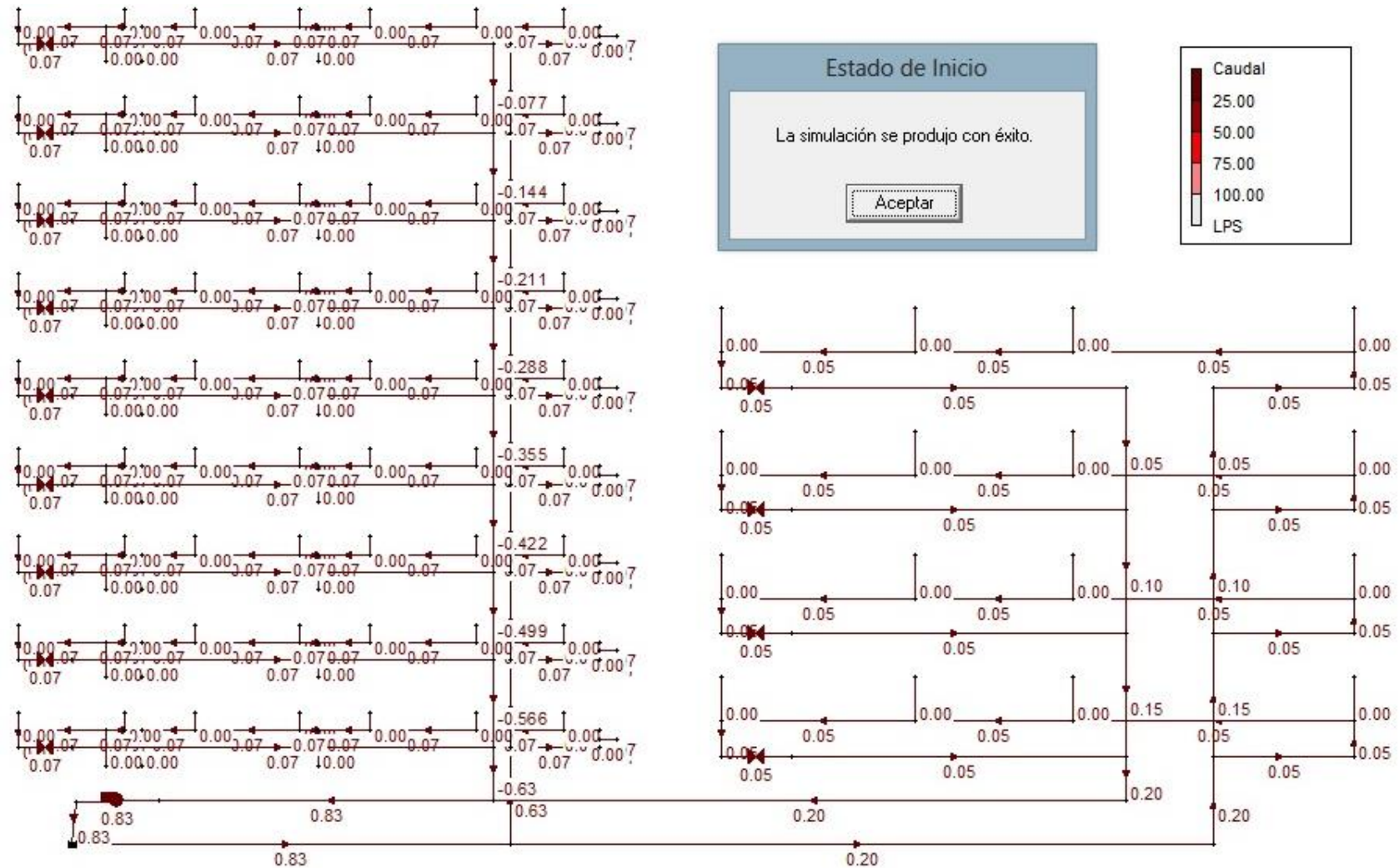


Figura A-15. Modelación de dos torres con diferentes niveles, caudales para llaves cerradas

Como se puede observar, el modelo corre sin ningún problema manteniendo fijos los caudales definidos a través de las válvulas balanceadoras.