



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE
AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**

Noemí Ana Belén Contreras López

Asesorado por el Ing. Norman Leonel Siguí Gil

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE
AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NOEMÍ ANA BELÉN CONTRERAS LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. NORMAN LEONEL SIGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Judith Pérez Loarca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de octubre de 2020.

Noemí Ana Belén Contreras López

Guatemala, 28 de febrero de 2022

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.


Estimado Ingeniero Aguilar:

Por este medio hago de su conocimiento que en mi calidad de asesor he revisado el trabajo de graduación titulado “**ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**”, desarrollado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Civil **Noemí Ana Belén Contreras López**, identificada con registro académico número 201603088, el cual cumple con los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil.

En tal virtud, doy por APROBADO el trabajo y recomiendo su publicación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



MSc. Ing. Norman Siguí Gil
Ingeniero Sanitarista
Col. 11524

Ing. Norman Leonel Siguí Gil
Asesor de trabajo de graduación
Colegiado No. 11524



Guatemala, 01 de marzo 2022

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente comunico a usted, que a través del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil se ha revisado el Trabajo Final de Graduación, **ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**, de la estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil **NOEMÍ ANA BELÉN CONTRERAS LÓPEZ**, Registro Académico: **201603088**, como Asesor al **MSc. ING. NORMAN LEONEL SIGUI GIL**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte académico para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor del Departamento de Hidráulica

Asesor
Interesado





Guatemala, 01 de marzo 2022

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Guatemala

Ingeniero Fuentes.

Por medio de la presente comunico a usted, que a través del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil se ha revisado el Trabajo Final de Graduación, **ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**, de la estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil **NOEMÍ ANA BELÉN CONTRERAS LÓPEZ**, Registro Académico: **201603088**, como Asesor al **MSc. ING. NORMAN LEONEL SIGUI GIL**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte académico para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C
Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Del Departamento de Hidráulica
Cc: Estudiante suscribido
Activar

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador del Departamento de Hidráulica

Asesor
Interesado





LNG.DIRECTOR.097.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**, presentado por: **Noemí Ana Belén Contreras López**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, mayo de 2022





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.333.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ECONÓMICO DE INSTALACIONES TÍPICAS DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN GUATEMALA**, presentado por: **Noemí Ana Belén Contreras López**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la vida, sabiduría y aliento para culminar esta etapa de mi vida.

Mis padres

Yudith López y Mynor Contreras. Por apoyarme incondicionalmente a lo largo de esta trayectoria, siendo pilar fundamental de mi vida y guiándome en todo momento con sabiduría, paciencia y amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Yudith López y Mynor Contreras, gracias por confiar y creer en mí de la manera en que lo han hecho y lo siguen haciendo hasta hoy. Prometo que tendrán una hija de la cual estén orgullosos, así como yo lo estoy de ustedes.

Mi hermana y mi cuñado

Lucía Contreras y Allan Cordero, gracias por brindarme consejo profesional y personal cada que lo necesito. Los amo infinitamente.

Mi familia

Por acompañarme en esta travesía, a veces cerca y otras a la distancia. Esto no habría sido posible sin sus palabras de aliento y apoyo incondicional.

Mis amigos y amigas

Por darme un sentido de pertenencia, ser sustento y compañía durante los días buenos y los no tan buenos. Les estaré agradecida de por vida, Alejandro De León, Víctor Flores, Josué Barrios, Mónica Mercedes, Cindy Luna, Gensuya Won, Byron Fuentes, Gabriela Recinos, Sharon Archila, Alejandra Zapata, José González, Leonel Vivar, Rolando Ramos y todos aquellos que siempre estuvieron.

Mi asesor

Ing. Norman Leonel Siguí Gil, por compartir sus conocimientos y guiarme para realizar este trabajo de graduación de manera exitosa.

Mis mentores

Por enseñarme desde la estima, el respeto y la empatía, predicando con el ejemplo y brindándome herramientas para desenvolverme profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1. Disposiciones generales.....	1
1.1.1. Generalidades.....	1
1.1.2. Gestión integrada de los recursos hídricos.....	3
1.1.3. Agua y calidad de vida.....	4
1.2. Normas y reglamentos aplicados a instalaciones hidráulicas.....	5
1.2.1. Norma NTC 1500.....	5
1.2.1.1. Suministro y distribución de agua.....	5
1.2.1.2. Presión de agua en la red de distribución de agua.....	6
1.2.1.3. Velocidad de la tubería de agua potable.....	6
1.2.1.4. Redes de tuberías.....	7
1.2.2. Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones.....	7
1.2.2.1. Dotaciones de agua potable en viviendas.....	8

	1.2.2.2.	Presiones y gastos mínimos en la tubería de distribución.....	8
	1.2.3.	Normas de planificación y construcción del FHA	10
	1.2.3.1.	Agua potable	10
1.3.		Entidades involucradas o relacionadas al marco institucional del agua	11
	1.3.1.	Instituto de Fomento Municipal (Infom).....	11
	1.3.2.	Municipalidades.....	13
	1.3.3.	Empresa Municipal de Agua (Empagua)	14
1.4.		Sistema de abastecimiento de agua potable	15
	1.4.1.	Instalación domiciliar	16
	1.4.1.1.	Instalación de agua fría.....	17
	1.4.1.2.	Instalación de agua caliente	18
	1.4.2.	Consumos de agua (dotación).....	25
	1.4.3.	Simultaneidad en artefactos sanitarios	26
	1.4.3.1.	Método empírico	26
	1.4.3.2.	Método probabilístico.....	26
	1.4.3.3.	Método del factor de simultaneidad	28
	1.4.3.4.	Método de Hunter	29
	1.4.4.	Parámetros de diseño	32
	1.4.4.1.	Presión mínima de operación	32
	1.4.4.2.	Pérdidas por fricción	34
	1.4.4.3.	Velocidad.....	37
	1.4.5.	Potabilización y desinfección del agua	38
2.		MARCO CONTEXTUAL	41
	2.1.	Guatemala	41
	2.1.1.	Reseña histórica.....	41

2.1.2.	Situación de los servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala	41
2.1.3.	Tasa por servicio o canon de agua	43
2.2.	Deficiencia del sistema de agua potable en viviendas unifamiliares	44
2.2.1.	Continuidad del agua	44
2.2.2.	Calidad del agua	46
2.2.3.	Cantidad de agua.....	47
2.2.4.	Instalaciones típicas de agua potable en viviendas unifamiliares en Guatemala.....	48
3.	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN GUATEMALA ...	53
3.1.	Sistema típico o empírico (sin aplicar ingeniería)	53
3.1.1.	Descripción del sistema	53
3.1.2.	Longitud total de cada tramo.....	53
3.1.2.1.	Longitud física (m).....	54
3.1.2.2.	Longitud equivalente por accesorios (m)	55
3.1.3.	Dimensionamiento de tubería	60
3.1.4.	Determinación de caudal (l/s).....	65
3.1.5.	Cálculo de velocidad (m/s).....	65
3.1.6.	Cálculo de pérdida de energía	66
3.1.7.	Cálculo de presiones (m.c.a.).....	71
3.1.8.	Planos.....	71
3.1.9.	Integración de costos unitarios.....	72
3.2.	Sistema hidráulico (aplicando ingeniería)	76
3.2.1.	Descripción del sistema	76
3.2.2.	Longitud total de cada tramo.....	76

3.2.2.1.	Longitud física	76
3.2.2.2.	Longitud equivalente por accesorios	76
3.2.3.	Dimensionamiento de tubería	80
3.2.4.	Determinación de caudal (l/s)	84
3.2.5.	Cálculo de velocidad (m/s)	85
3.2.6.	Cálculo de pérdida de energía.....	85
3.2.7.	Cálculo de presiones (m.c.a.)	89
3.2.8.	Planos	90
3.2.9.	Integración de costos unitarios	90
3.3.	Análisis hidráulico y económico de los sistemas evaluados	95
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES		101
BIBLIOGRAFÍA		103
APÉNDICES		109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua.....	16
2.	Esquema general de una conexión domiciliar	17
3.	Calentadores de depósito	20
4.	Calentador de paso de rápida recuperación.....	21
5.	Calentador de paso instantáneo.....	22
6.	Esquema de calentador instantáneo de uno o más puntos de uso.....	23
7.	Gráfica del calentador de paso.....	24
8.	Denuncias ante la Procuraduría de los Derechos Humanos respecto del agua y saneamiento.	43
9.	Precio promedio mensual del agua/hogar, año 2014. (quetzales)	44
10.	Cortes del servicio de agua por red (en porcentaje de hogares).....	45
11.	Resumen de los requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud.....	47
12.	Instalación típica de agua potable en vivienda unifamiliar	49
13.	Datos hidráulicos proporcionados por EPANET 2.0	66

TABLAS

I.	Caudales y presiones mínimas de operación para aparatos sanitario	6
II.	Dotaciones mínimas diarias	8
III.	Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias	9

IV.	Dotaciones según INFOM-MSPAS	12
V.	Sistemas de abastecimiento de agua en Guatemala	13
VI.	Parámetros f, i, m en edificaciones domésticas	28
VII.	Caudales mínimos para cada aparato.	29
VIII.	Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución de agua.....	30
IX.	Gastos probables para la aplicación del Método Hunter (l/s).	31
X.	Presiones mínimas y gastos por mueble sanitario	33
XI.	Longitudes equivalentes de accesorios PVC	36
XII.	Cantidad de tubos PVC y CPVC en el sistema típico.....	54
XIII.	Longitud total en instalación de agua fría planta alta	56
XIV.	Longitud total en instalación de agua fría planta baja	57
XV.	Longitud total en instalación de agua caliente planta alta	58
XVI.	Longitud total en instalación de agua caliente planta baja	59
XVII.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta alta ..	61
XVIII.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta baja	62
XIX.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta alta.....	63
XX.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente de planta baja.....	64
XXI.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta alta	67
XXII.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta baja	68
XXIII.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta alta.....	69
XXIV.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta baja.....	70

XXV.	Integración de costos unitarios instalación de agua fría	72
XXVI.	Integración de costos unitarios instalación de agua caliente	74
XXVII.	Cantidad de tubos PVC y CPVC en el sistema hidráulico	77
XXVIII.	Longitud total en instalación de agua fría planta alta	77
XXIX.	Longitud total en instalación de agua fría planta baja	78
XXX.	Longitud total en instalación de agua caliente planta alta	79
XXXI.	Longitud total en instalación de agua caliente planta baja	80
XXXII.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta alta ...	81
XXXIII.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta baja	82
XXXIV.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta alta	83
XXXV.	Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta baja	84
XXXVI.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta alta	86
XXXVII.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta baja	87
XXXVIII.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta alta	88
XXXIX.	Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta baja	89
XL.	Integración de costos unitarios instalación de agua fría	91
XLI.	Integración de costos unitarios instalación de agua caliente	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Coeficiente de fricción
K	Coeficiente de simultaneidad
D	Diámetro de la tubería
°C	Grado centígrado
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
kPa	Kilopascal
l/s	Litro sobre segundo
m	Metro
m.c.a.	Metro columna de agua
m³/s	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metro sobre segundo
mg/l	Miligramo sobre litro
mm	Milímetro
H_f	Pérdida de carga expresada en metros
U.H.	Unidades Hunter

GLOSARIO

Agua potable	Agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos.
Artefacto sanitario	Aparato destinado para funciones higiénicas. Recibe agua limpia de la instalación y la descarga en un sistema de evacuación como agua residual luego de ser utilizada.
ASTM	Sociedad americana para pruebas y materiales.
Calentador de agua	Equipo que debidamente instalado y en condiciones de operación aumenta la temperatura del agua a su salida.
Caudal	Volumen de un fluido por unidad de tiempo a través de una sección dada.
Circuito abierto	Cuenta con una tubería principal de distribución desde la cual parten ramales hacia los diferentes puntos de consumo.
Circuito cerrado	Está formada por una malla o redes de agua interconectadas entre sí.

Conexión domiciliar	Comprende la unión física (instalación de tubería y accesorios) entre la red matriz de agua y la red de distribución al interior de la vivienda.
CPVC	Policloruro de vinilo clorado. Ducto circular con una pared de espesor específico utilizado para la conducción de agua caliente.
Diámetro interno	Representa el valor real del diámetro interior de la tubería.
Diámetro nominal	Representa el valor comercial del diámetro de tubería.
Dotación	Estimación de la cantidad de agua que en promedio consume un habitante por día.
Empagua	Empresa municipal de agua.
EPANET	Es un programa de ordenador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable.
FHA	Fomento de Hipotecas Aseguradas.
Infom	Instituto de Fomento Municipal.
NTC	Norma técnica colombiana.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

Pérdida por fricción	Disminución de energía debido a la fricción del fluido en una sección dada.
Presión dinámica	Se define como la presión en el accesorio o equipo, mientras el agua está fluyendo al gasto requerido.
PSI	<i>Pound per square inch</i> , libra por pulgada cuadrada.
PVC	Cloruro de polivinilo.
Redes de distribución	Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.
SDR	<i>Standar Dimension Ratio</i> , relación de dimensión estándar, define la relación entre el diámetro nominal y el espesor de la tubería.
Simulador	Uso formal de herramientas matemáticas o computacionales para representar una realidad específica de un sistema y su comportamiento.
Vivienda unifamiliar	Inmueble destinado para que habite una sola familia.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación analiza el comportamiento hidráulico y costo de inversión (análisis económico) de la red de agua potable de una vivienda unifamiliar de dos niveles en Guatemala, en base a un diseño arquitectónico que cumple con las necesidades básicas de la clase social media a media alta en el país. Inicialmente se contempla toda la información bibliográfica y pese a que para edificaciones de índole domiciliar no hay ninguna ley o reglamento que estipule los parámetros por tomar en cuenta, se presentan documentos que respalde el análisis hidráulico aplicado a dichos sistemas.

El tipo de suministro que se consideró para esta edificación es directo y con una presión de entrada de 20 m.c.a. Se utilizó AutoCAD para realizar los planos de las instalaciones en la vivienda desde la conexión domiciliar, desglosando las ramificaciones hacia los diferentes artefactos sanitarios siendo el punto más crítico la ducha del segundo nivel. Tomando en cuenta cada tramo, se evaluaron los parámetros del modelo empírico (instalación hecha en base a experiencia y sin diseño hidráulico) y posteriormente del modelo aplicando ingeniería hidráulica con el fin de comparar las mejoras que implicaría realizar el análisis de ingeniería para el dimensionamiento de la red, tanto para agua fría como para la instalación de agua caliente.

Así mismo, se evaluó económicamente cada sistema por medio de los costos unitarios según los precios de tubería y accesorios en PVC y CPVC, del catálogo de la empresa AMANCO-WAVIN, 2021 y diversas fuentes para otros materiales de construcción y de mano de obra.

OBJETIVOS

General

Analizar hidráulica y económicamente una instalación típica de agua potable en una vivienda unifamiliar de dos niveles en Guatemala.

Específicos

1. Evaluar el funcionamiento hidráulico de una instalación típica de agua potable en una vivienda unifamiliar de dos niveles, mediante el estudio de velocidades de flujo y presiones de servicio en cada artefacto sanitario.
2. Cuantificar el costo de material e instalación de tubería y artefactos sanitarios que pueden ser utilizados en la red de agua potable de una vivienda unifamiliar de dos niveles.
3. Analizar económicamente la instalación típica de agua potable en una vivienda unifamiliar de dos niveles frente a los costos de una instalación óptima en base a ingeniería hidráulica.

INTRODUCCIÓN

Los problemas socio – económicos son cada vez más y más evidentes en Guatemala. Uno de ellos, y quizá de los más importantes por su índole, es la carencia de agua potable; la gestión, administración y distribución por parte de las municipalidades o entidades encargadas no suele ser la adecuada y, además, en reiteradas ocasiones el usuario en su hogar no cuenta con una instalación hidráulica correcta, magnificando el problema y generando, de alguna u otra manera, pérdidas en la calidad de vida de los guatemaltecos.

Tomando en consideración el déficit que suele presentarse en la red de agua potable de algunas edificaciones de dos niveles, se presenta una alternativa que ayude a evitar el servicio deficiente de agua en viviendas. Se hace énfasis en que, si se diseña correctamente la instalación hidráulica, prestándole atención a las presiones, velocidades de flujo, dimensionamiento de la tubería y cantidad de servicios sanitarios, se podrán favorecer directamente tanto los puntos de consumo de la red de distribución dentro del hogar como el costo de inversión y operación del sistema, garantizando el eficiente funcionamiento dentro de la edificación.

En este caso, se presentan dos modelos de agua potable, uno con una instalación meramente empírica y sin diseño previo y otra aplicando ingeniería hidráulica con el objetivo de evaluar los parámetros de ambos sistemas y determinar las mejoras que se presentan al implementar un análisis en las instalaciones de agua potable en viviendas unifamiliares de Guatemala.

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Disposiciones generales

A continuación, se desglosan los temas relacionados con el problema central por abordar en esta investigación.

1.1.1. Generalidades

El problema en Guatemala relacionado al recurso hídrico es que este es escaso, tanto por el servicio con el que se cuenta, como por el acceso que tenga la población a ese recurso. La gestión, administración y distribución del agua potable es responsabilidad de las municipalidades¹ o bien, de las empresas privadas autorizadas para ello. Así también, el sistema de consejos de desarrollo nacional, regionales, departamentales y comunitarios desarrolla planes y programas que permitan mejorar la prestación de los servicios públicos de abastecimiento de agua potable y saneamiento.

Para que una red de distribución de agua dentro de una vivienda funcione correctamente existen varios parámetros imprescindibles por tomar en cuenta y pese a que está establecido que deben utilizarse tanto las Normas de Planificación y Construcción del FHA como lo estipulado por INFOM/UNEPAR y Empagua para realizar el diseño hidráulico en las viviendas unifamiliares, en la mayoría de edificaciones de tamaño pequeño no se toma en consideración lo anteriormente mencionado sino un patrón meramente empírico.

¹ Contraloría General de Cuentas. *Código Municipal de Guatemala*. p. 24.

Dicho patrón probablemente permite que el sistema funcione bien para este tipo de edificaciones, porque no se requiere de una red que alimente a muchos artefactos sanitarios y la simultaneidad de uso, suele ser baja. Sin embargo, esto no aplica para una edificación que posea el doble de artefactos distribuidos en más de un nivel, o que necesite brindar cierto caudal mínimo a una familia con más integrantes, creando deficiencia en el sistema y generando costos que pueden evitarse desde un inicio.

A esto aún no se le conoce teóricamente como algo concreto y hay poca documentación al respecto, aunque, no significa que no sea un paradigma real en Guatemala, siendo toda responsabilidad del propietario y de quienes construyen.²

El 9 % de los hogares de todo el país pasa sin servicio de agua en promedio al menos 6 días al mes³ y tomando en cuenta que con el paso del tiempo a más y más personas se le dificulta el acceso a ella, se ve la necesidad de abordar la forma correcta para distribuir el recurso hídrico que se posee y eficientizar el sistema en los hogares.

Es verdad que, si bien es responsabilidad de los encargados del servicio de agua potable, garantizar su continuidad, cantidad y calidad. Muchas veces las entidades no pueden asegurar estos tres parámetros, lo que repercute directamente en la red de agua potable dentro de las viviendas. A la fecha, los encargados del servicio de agua solo son responsables de la potabilidad del líquido hasta la acometida domiciliar, a partir de ahí, mantener la calidad en las instalaciones internas es responsabilidad del usuario.

² Congreso de la República de Guatemala. *Código Civil de Guatemala*. p. 887.

³ LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. <https://bit.ly/3sMtF16>. Consulta: 12 de enero de 2021.

Al no haber un diseño hidráulico, se pueden presentar carencias de presión o de velocidad de flujo en el servicio de agua potable de las viviendas, a tal punto de tener que instalar equipos de presurización o algún tipo de tanque de almacenamiento como cisternas elevadas, sin garantizar que esto le dé solución al problema en la red a menos que se analice y diseñe hidráulicamente. Sin embargo, esta opción no es la más adecuada ya que implica una inversión adicional dependiendo de las características de cada vivienda y de los problemas que se necesiten resolver.

1.1.2. Gestión integrada de los recursos hídricos

Un tema importante es el que se refiere a la gestión de recursos hídricos:

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) es un concepto que busca transformar los sistemas de desarrollo insostenibles y gestión hídrica. Este término se define como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.⁴

La carencia del recurso hídrico que se presenta en Guatemala va estrechamente ligada a la falta de sistemas adecuados de saneamiento doméstico, industrial, agrícola, urbano y agroindustrial, ya que, al producirse descargas líquidas, directa o indirectamente, se contribuye a la contaminación de las fuentes de agua que se encuentran disponibles. Se estima que del total de aguas residuales que se producen a nivel nacional, solo el 5 % recibe algún tipo de tratamiento, deteriorando y afectando directamente las condiciones naturales del agua y la calidad de vida de quienes la consumen para subsistir.⁵

⁴ Global Water Partnership. *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. <https://bit.ly/3KgRbwg>. Consulta: 12 de diciembre de 2020.

⁵ SEGEPLAN. *Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. https://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh_guatemala.pdf. Consulta: 12 de diciembre de 2020.

Las intervenciones del aprovechamiento del recurso natural con fines domésticos, tienen como hilo conductor la gestión integrada de los recursos hídricos basada en la equidad social, la eficiencia en el funcionamiento de los sistemas de distribución de agua, la eficiencia económica y la sostenibilidad ambiental.⁶

1.1.3. Agua y calidad de vida

Coloquialmente se conoce la frase: el agua es vida, haciendo referencia al fundamental papel que esta juega en la salud de los seres humanos. El acceso al agua potable, más allá de ser un derecho humano, forma parte de la mayoría de las actividades diarias ya sea directa o indirectamente; así también, este recurso influye en nuestra calidad de vida, dado que más del 60 % del peso del cuerpo está compuesto por agua y se requiere de una cantidad de entre dos y tres litros al día para subsistir.⁷

Para que el agua que se consume en una vivienda sea considerada potable, debe cumplir con los requerimientos establecidos en la norma COGUANOR NTG 29 001. También es importante que tenga continuidad dentro de la tubería y se presente en una cantidad prudencial que pueda satisfacer las necesidades de los usuarios. Cuando por alguna circunstancia no se tenga la cantidad adecuada de agua en una vivienda puede, o no, ser consecuencia de un mal diseño en el sistema hidráulico, además de otros factores que se describirán más adelante.

En esta investigación se enfatiza la relevancia de darle continuidad al agua en una buena cantidad manteniendo su calidad y evitando su envejecimiento.

⁶ Gabinete Específico del Agua. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. p.13.

⁷ Instituto de Medicina. *La importancia de beber agua*. <https://www.allianzcare.com/es/acerca-de-nosotros/blog/2017/05/agua.html>. Consulta: 13 de diciembre de 2020.

1.2. Normas y reglamentos aplicados a instalaciones hidráulicas

En el marco técnico existen normas y reglamentos que rigen especificaciones y parámetros para las instalaciones hidráulicas domiciliarias y, pese a que en Guatemala no se establece ninguna para proyectos de esta índole, se toma en consideración la información brindada por dichos documentos según corresponda.

1.2.1. Norma NTC 1500

La Norma Técnica Colombiana NTC 1500 se creó con el objetivo de proporcionar las directrices y los requisitos mínimos que deben cumplir las instalaciones hidráulicas, para garantizar la protección de la salud, seguridad y el bienestar común. Esta permite regular el diseño de instalaciones hidráulicas y sanitarias internas en edificaciones.⁸

Algunos de los puntos más importantes (relacionados al objeto de estudio) que se especifican en la Norma NTC 1500 son:

1.2.1.1. Suministro y distribución de agua

El sistema de suministro de agua debe diseñarse e instalarse para abastecer agua continuamente a los aparatos sanitarios, con el caudal y las presiones que se establecen en el numeral 1.2.1.3 y 1.2.1.4 para que funcionen satisfactoriamente y sin ruidos excesivos en las condiciones normales de uso.

⁸ ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana de Fontanería 1500*. p. 1.

1.2.1.2. Presión de agua en la red de distribución de agua

La presión de agua en la red de distribución no debe exceder los 550 kPa (56,09 mca). En los casos donde se superen estos valores se deben instalar dispositivos reductores de presión. Por el contrario, si se necesita una mayor presión de servicio, se debe evaluar el caso en específico y aplicar el sistema de refuerzo que mejor convenga.

Tabla I. Caudales y presiones mínimas de operación para aparatos sanitarios

Aparato sanitario	Presión residual mínima en kPa ¹	Caudal mínimo en L/s
Duchas	10	0,32
Sanitario tanque	7	0,19
Sanitario fluxómetro	15	0,95 a 2,5 ²
Orinal	5	0,19
Orinal fluxómetro	15	0,95
Lavamanos	5	0,19
Vertederos o lavaplatos	5	0,28
Lavadoras	5	0,32
Llaves de manguera	5	0,32

1) La presión residual mínima es la presión en la tubería a la entrada del aparato que se esté considerando.
2) Se presenta un amplio rango de variación debido a los diferentes tipos y diseños de válvulas de fluxómetro para sanitario.

Fuente: ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana de Fontanería 1500*. p. 36.

1.2.1.3. Velocidad de la tubería de agua potable

La velocidad máxima de diseño en el sistema de distribución de agua en una edificación debe ser de 2 m/s para tubería de diámetro inferior a 76,2 mm, mientras que, para diámetros que sean de 76,2 mm o mayores a este, la velocidad máxima debe ser 2,50 m/s.

1.2.1.4. Redes de tuberías

Para calcular el diámetro que deben tener las tuberías que conforman las redes o tramos, se toma en cuenta el caudal, las características físicas del agua o fluido que se conduzca y las propiedades del material utilizado.

Las dimensiones y disposición de las tuberías de la red de distribución deberán ser tal que el diferencial de las presiones residuales en los diferentes aparatos no sea mayor al 15 % del valor medio.⁹

1.2.2. Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones

Este código fue creado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica principalmente para establecer los requisitos básicos que aseguren calidad y eficiencia en las instalaciones hidráulicas y sanitarias dado que estas influyen directamente en la salubridad humana.

El Artículo 1-1 del Código de Instalaciones hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones establece lo siguiente: “El presente Código tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos para proteger la salud pública, la seguridad, el bienestar general en las edificaciones destinadas para uso, ocupación o habitación humana”.¹⁰

⁹ ICONTEC. *Norma Técnica Colombiana de Fontanería 1500*. p. 45.

¹⁰ CFIA. *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. p. 15.

1.2.2.1. Dotaciones de agua potable en viviendas

Para que las actividades diarias de los usuarios puedan satisfacerse de la manera adecuada, se debe considerar la dotación mínima de agua que se requiere según la cantidad de integrantes que habiten en el domicilio.

Tabla II. Dotaciones mínimas diarias

Clase de edificación	Dotación (Litros/persona/día)
Casas de interés social	150
Casas unifamiliares	250
Apartamentos y condominios	250
Hoteles y alojamientos ⁽¹⁾	200

Fuente: CFIA. *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. p. 30.

En las edificaciones unifamiliares y multifamiliares, como mínimo, debe contarse con:

- Servicio sanitario con inodoro, lavamanos y ducha.
- Cocina, que dispondrá de un lavaplatos o fregadero específicamente para esta área.
- Pila para lavar la ropa o tareas similares a esta como lavar trapeadores.
- Lavadora.

1.2.2.2. Presiones y gastos mínimos en la tubería de distribución

La presión mínima en los nodos del sistema de distribución deberá permitir el funcionamiento adecuado de las piezas sanitarias correspondientes.

La tabla III indica las presiones mínimas recomendadas para la operación de varios aparatos sanitarios.

En ningún caso la presión de entrada puede ser menor a los dos metros de columna de agua (2 m.c.a.). Por otro lado, si la presión máxima en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias es mayor a cuarenta metros columna de agua (40 m.c.a.). El sistema deberá dividirse en zonas de presión o instalar válvulas reductoras de presión según se requiera. Para un correcto funcionamiento del sistema se establece que la presión de servicio después del medidor deba ser mayor a diez metros de columna de agua (10 m.c.a.).¹¹

Tabla III. **Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias**

Accesorio	Diámetro Mínimo ¹ (mm)	Presión Mínima ² (mca)	Unidades de accesorio (u.a)	
			Uso Privado	Uso Público
Tina de baño	12	2	2	4
Bidé	12	3	1	2
Ducha	12	2	2	4
Fregadero				
Doméstico	12	2	2	4
Comercial	12	2	-	4
Clínicas	12	4	-	8
Inodoro				
Con Tanque	12	2	3	5
Con fluxómetro ³	32	7 a 14	6	10
Fuente para beber	12	2,5	-	1
Lavatorio	12	2	1	2
Lavadora	12	3,5	4	-
Llave para riego (jardín)	12	10	2	2
Mingitorios				
Con tanque	18	2	-	3
Con fluxómetro	18	5 a 10	4 a 5	5 a 6
Lavaplatos doméstico	12	2	1,5	
Pileta de lavar	12	2	2	4

Fuente: CFIA. *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. p. 59.

¹¹ CFIA. *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. p. 59.

1.2.3. Normas de planificación y construcción del FHA

En Guatemala para la construcción de viviendas existen reglamentos municipales, así como también normas de planificación y construcción del Fondo de Hipotecas Aseguradas (FHA). Este es un ente regulador de créditos bancarios, por lo tanto, para avalar este tipo de proyectos es necesario cumplir con las regulaciones que se presentan a continuación.

1.2.3.1. Agua potable

La potabilidad del agua reunirá los requisitos especificados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y puede provenir de servicios públicos establecidos, pozos que reúnan condiciones aceptables o de otras fuentes que llenen las condiciones establecidas en el FHA y norma COGUANOR 29 001.

Generalmente, el agua potable es suministrada a las viviendas por un servicio público; sin embargo, cuando el agua ya no es suficiente para satisfacer a todos los usuarios se contrata un servicio privado o incluso se procede a utilizar un sistema propio. La dotación mínima que se acepta es de 200 litros/persona/día y el servicio debe ser continuo durante las 24 horas del día, tomando como base la razón de 1,75 personas / dormitorio.

Dentro de cada unidad de vivienda se aceptan redes de distribución formadas por líneas abiertas únicamente cuando sirvan artefactos sanitarios cuya utilización simultánea sea poco probable o casi nula. De no ser así, el diseño de la red debe ser con circuitos cerrados. El diámetro de las tuberías debe estar de acuerdo con el cálculo respectivo, pero nunca menor de 1/2".

La presión mínima aceptable para el caso crítico es de 15 lbs/plg² (10,5 metros columna de agua) y la presión máxima de 60 lbs/plg² (42 m.c.a.), procurando que no sea mayor de 40 lbs/plg² (28 m.c.a.). En caso de excederse del valor máximo estipulado, se deben prever los medios adecuados para proteger las salidas o artefactos de la presión excesiva.

Por otra parte, cuando el agua provenga de un servicio municipal que no garantice la potabilidad del agua, de pozos propios o de otro tipo de fuente, deberá efectuarse un tratamiento de acuerdo con la calidad del agua, pero como mínimo se instalará un sistema de desinfección a base de cloro gaseoso con una dosificación de 1 mg/l.¹²

1.3. Entidades involucradas o relacionadas al marco institucional del agua

Los diversos entes vinculados al tema de estudio a nivel nacional son:

1.3.1. Instituto de Fomento Municipal (Infom)

Al Instituto de Fomento Municipal (INFOM), le fue atribuida la gestión y organización de las políticas y estrategias del sector agua potable y saneamiento, además de encargarse de la asesoría técnica y financiera relacionada al agua y saneamiento a las municipalidades.¹³ Debido a la labor desarrollada en el área urbana del interior del país, también se le asigna la Unidad Ejecutora de Acueductos Rurales (Unepar) que pertenece al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

¹² COGUANOR. *NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.* p. 7.

¹³ MAGA. *Acuerdo Gubernativo 376-97.* <https://bit.ly/3LiN0R0>. Consulta: 20 de diciembre de 2020

El INFOM, de acuerdo con lo que establece su ley orgánica, incluye la prestación de los servicios de agua potable; sin embargo, esta entidad no cuenta con una política institucional definida para ello.

Si bien se cuenta con la organización del Sistema Nacional de Información de Agua Potable y Saneamiento SAS (1997), este sistema no ha sido consolidado, ni publica datos o información de primera mano, si no que realiza estimaciones sobre aproximadamente el 57 % de las comunidades del país.¹⁴

En la *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*, uno de los documentos técnicos proporcionados por INFOM-MSPAS, se establecen valores de dotación que podrían considerarse para viviendas unifamiliares ubicadas en áreas rurales.

Tabla IV. **Dotaciones según INFOM-MSPAS**

Tipo de servicio	Dotación (l/hab./día)
Servicio a base de llenacántaros exclusivamente	30 a 60
Servicio mixto de llenacántaros y conexiones prediales	60 a 90
Servicio exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda	60 a 120
Servicio de conexiones intradomiciliarias con opción a varios grifos por vivienda	90 a 170
Servicio de pozo excavado o hincado con bomba manual	Mínimo 20
Servicio de aljibes	20

Fuente: INFOM-MSPAS. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. p. 27.

¹⁴ INFOM-MSPAS. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. <http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0286/doc0286.pdf>. Consulta: 20 de diciembre de 2020.

1.3.2. Municipalidades

Se estipula que es competencia de la comuna el abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada, por lo que las municipalidades están obligadas a proteger y conservar las fuentes que proporcionan este líquido de gran importancia para la vida.¹⁵

En Guatemala, el agua potable es suministrada por 341 municipalidades de las cuales un 70 % proviene de aguas superficiales y un 30 % de aguas subterráneas; un 66,26 % usa sistemas de gravedad, 18,54 % utiliza equipo de bombeo y 15,20 % son sistemas mixtos.¹⁶

Tabla V. **Sistemas de abastecimiento de agua en Guatemala**

Sistemas	No.	Porcentaje
Gravedad	218	66.26 %
Bombeo	61	18.54 %
Mixto	50	15.20 %
Total	329	100.00 %

Fuente: Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemala*. p. 118.

Pese a que las municipalidades tienen total libertad en la fijación de las tarifas por el servicio de agua potable, estas suelen ser bajas y no alcanzan para cubrir siquiera los costos de operación.

¹⁵ Código Municipal. *Decreto No. 12-2002 y su Reforma, Decreto No. 56-2002*. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6698.pdf>. Consulta: 20 de diciembre de 2020.

¹⁶ Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemala*. p. 117.

Para mejorar el sistema, que generalmente es deficiente, se ha intentado reajustar los montos, pero la población simplemente no acepta pagar más por el agua.

En Guatemala no se cuenta con empresas nacionales, regionales o departamentales de agua y saneamiento. Cada municipalidad tiene a cargo la operación de su sistema, que se restringe al área urbana; por lo tanto, se puede decir que cada comunidad, sea urbana o rural, tiene a su cargo la operación de su propio sistema.

1.3.3. Empresa Municipal de Agua (Empagua)

El área de intervención de Empagua está delimitado en el área metropolitana y es responsable de proveer el agua a un quinto de la población del país. La Empresa Municipal de Agua cuenta con siete fuentes de agua superficial (sin contar los pozos), para la utilización del agua en la ciudad las cuales son: La Brigada, Xayá-Pixcayá, Santa Luisa, El Cambray y Las Ilusiones.

A pesar de tener acciones definidas para responder a las necesidades de la población en este sector, se presenta un déficit de 1 m³/s para el municipio de Guatemala y 2 a 2,5 m³/s si se incluyen los municipios aledaños, que conforman el área metropolitana.¹⁷

Una de las razones por las que se presenta el déficit en este sector es la mala gestión del recurso hídrico, ocasionado principalmente por la falta de un inventario de agua y de una mala administración por parte de las autoridades en el área urbana del país.

¹⁷ Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemala*. p. 132.

A raíz de esto, los acuíferos del valle de la ciudad de Guatemala sufren una disminución de volumen considerable y, por consiguiente, el nivel freático al que se puede acceder al agua también disminuye dependiendo de la zona. Cabe mencionar que esto está causado no solamente por la alta urbanización de las zonas de recarga, sino también por la falta de regulación en la perforación de pozos.

1.4. Sistema de abastecimiento de agua potable

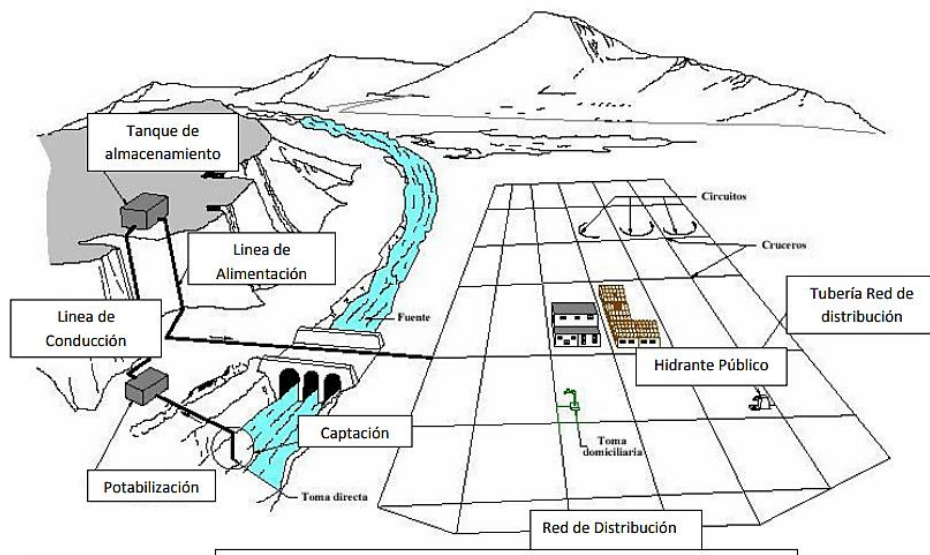
El sistema de abastecimiento de agua potable de las edificaciones debe diseñarse de acuerdo con las condiciones que preste el servicio público de agua.

Los componentes principales de dicho sistema son:

- Fuente: provee agua al sistema en cantidad y calidad suficiente. Los manantiales, lagos, ríos y el agua subterránea son los tipos de fuente que más se utilizan.
- Línea de conducción: está conformada por los dispositivos encargados de transportar el agua desde el punto en que se capta hasta el punto en el cual se potabiliza o almacena.
- Almacenamiento / tanque de distribución: es el punto, o los puntos en donde se regula y almacena el agua que va a ser distribuida en una comunidad, según la oferta y demanda que se requiera en un tiempo determinado.

- Distribución (líneas y redes): es el conjunto de dispositivos (líneas, redes, válvulas y otros dispositivos de control) que, en un sistema de abastecimiento de agua potable, cumple con la función de distribuir el agua en la comunidad correctamente.

Figura 1. **Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua**



Fuente: INFOM-MSPAS. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano.* p.18.

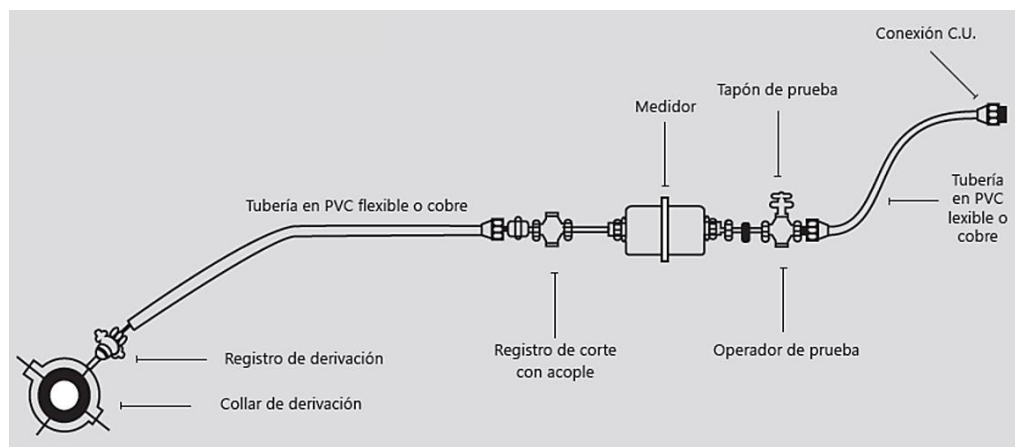
1.4.1. **Instalación domiciliar**

Es el tramo de tubería comprendida entre la tubería pública de agua potable, y el medidor ubicado en el exterior de una edificación. Este tipo de conexión no es más que la tubería y los accesorios que llevan el servicio de agua desde la red de distribución al interior de la vivienda.

Los componentes más importantes en una conexión domiciliaria son:

- Tubería PVC de ½” a ¾” de diámetro
- Válvula de paso de compuerta
- Llave de cheque o de retención de ½” de bronce
- Medidor volumétrico de ½” a ¾” de bronce

Figura 2. **Esquema general de una conexión domiciliar**



Fuente: PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. p. 3.

1.4.1.1. Instalación de agua fría

Luego de la instalación domiciliar, se desglosa una serie de ramificaciones que conducen a lo que coloquialmente se denomina como agua fría, hacia los aparatos o artefactos sanitarios de la vivienda, tomando en cuenta los diferentes accesorios, tee, reducidos, codo de 90°, entre otros, que permiten el flujo requerido del agua por toda la instalación a una temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C que se considera la media a la que debería estar el agua potable mientras circula en el sistema.¹⁸

¹⁸ COGUANOR NTG 29001. *Agua para consumo humano (Agua potable)*. p. 6.

1.4.1.2. Instalación de agua caliente

Se considera agua caliente a aquella que se encuentra a una temperatura por encima de lo normal sin llegar al punto de ebullición. Este sistema se puede considerar como un subsistema del de agua fría, dado que la demanda de agua caliente está incluida en la de agua fría.¹⁹

Para obtener agua caliente en las viviendas, se instalan calentadores de agua que utilizan cierta fuente de energía para elevar la temperatura del fluido procedente de la instalación de agua fría y, posteriormente, dirigirla hacia los artefactos sanitarios destinados a la higiene personal, propósitos culinarios o uso doméstico, como por ejemplo las duchas, lavandería o cocina. La instalación de agua caliente está formada por una red que conduce y distribuye el agua caliente por tuberías que resistan las temperaturas a las cuales serán expuestas. Estas pueden ser de hierro galvanizado, cobre, CPVC (policloruro de vinilo clorado) u otro material que cumpla con las especificaciones estipuladas.

En general los calentadores tienen una capacidad de almacenamiento de agua, estos deben instalarse lo más cercano posible al punto de máxima demanda de agua caliente tomando en consideración los dispositivos de seguridad que se requieran para evitar que la temperatura del agua exceda los 98,9 °C. Dicha temperatura varía según el uso que se le da al agua, por ejemplo, para uso residencial esta debe estar entre 45 °C y 60 °C y el agua mezclada (entre la caliente y la fría) entre 38 °C y 45 °C de acuerdo con las preferencias del usuario.²⁰

¹⁹ HARPER, Enríquez. *El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias*. p. 228.

²⁰ *Ibíd.*, p. 239.

Al incluir el aumento de temperatura en el fluido, se obtiene una variación en las pérdidas de presión debido al cambio de viscosidad cinemática y densidad del agua. Esto indica que teniendo la misma rugosidad en la tubería con el mismo fluido a una mayor temperatura se obtendrá una menor caída de presión.²¹

La caída de presión que producen los calentadores de agua es un factor fundamental por tomar en cuenta en el sistema de suministro de agua caliente dado que dicha pérdida influye en el volumen y la presión con que llega el agua hacia cada punto de consumo. Esto varía según el tipo de calentador que se instale en la vivienda entre los cuales se puede mencionar:

- Calentador de depósito

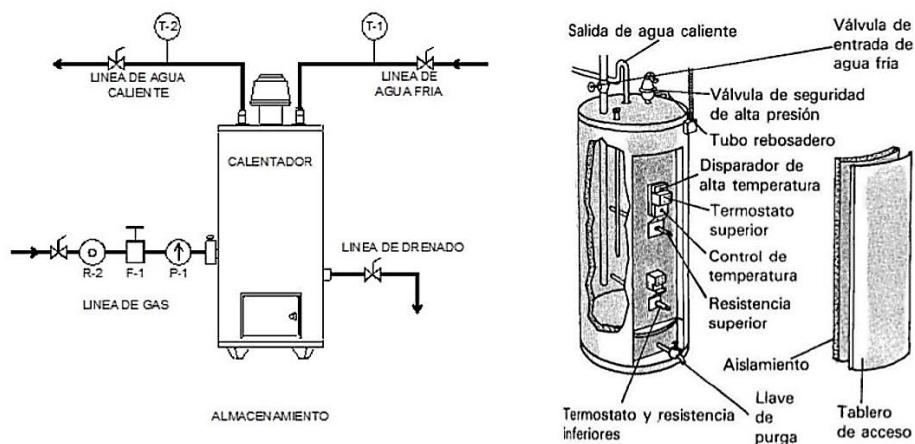
Estos calentadores cuentan con un depósito o contenedor metálico que es buen conductor del calor generalmente de forma cilíndrico, al cual ingresa agua fría y se calienta, de acuerdo con la temperatura seleccionada en el termostato y la almacena en su interior. Utiliza como fuente de energía ya sea la electricidad, el gas propano (LP) o incluso el gas natural y tienen capacidad para almacenar de 10 hasta los 400 litros según su tamaño.

Un calentador de depósito tiene la ventaja de utilizar energía (electricidad o gas) para calentar el agua a una tasa relativamente baja, reservándola caliente para su uso posterior; sin embargo, al pasar el tiempo cada vez que el agua del depósito se enfría, el termostato se activará de nuevo para calentarla, sin importar si esta se utilizará o no.

²¹ SALDARRIAGA, Juan. *Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riego*.
<https://es.scribd.com/document/400220359/Hidraulica-de-Tuberias-Juan-Saldarriaga-pdf>.
Consulta: 20 de diciembre de 2020.

Al terminarse el agua del depósito, se debe esperar un tiempo antes de poderlo utilizar nuevamente, a esto se le conoce como período de recuperación y depende del modelo o la marca del calentador; usualmente, por ejemplo, un calentador con capacidad de 200 litros de agua tarda entre 35 a 50 minutos en calentar su depósito nuevamente.²²

Figura 3. Calentadores de depósito



Fuente: ACOSTA, Víctor; RIVAS Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. p. 37.

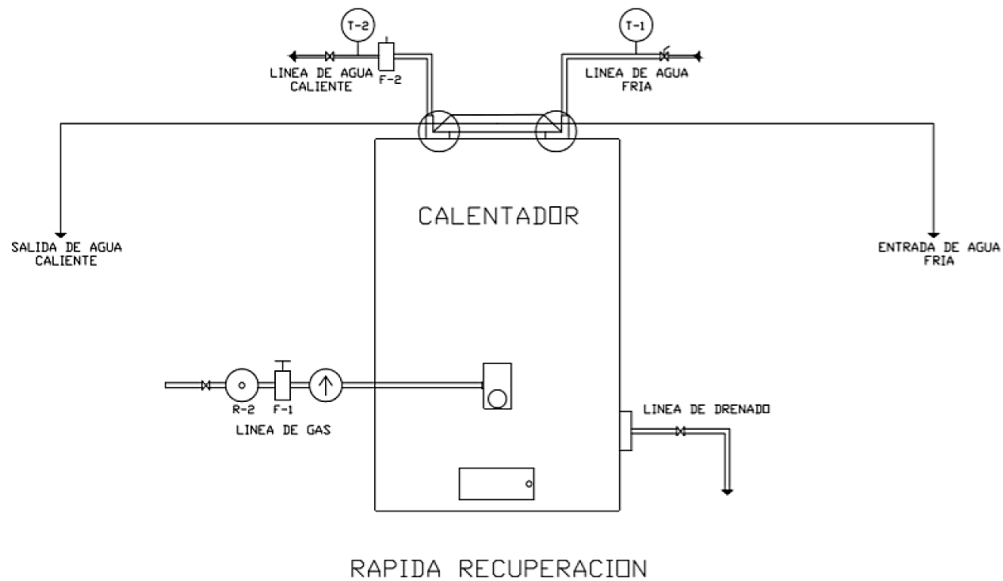
- Calentador de paso

Estos son un híbrido entre los calentadores de depósito y los instantáneos; la diferencia entre los de depósito y estos radica en que el agua fría ingresa por tubería precalentada y al llegar al tanque o depósito (de menor tamaño al del calentador anterior), el agua se demora menos tiempo en calentar por lo que esta se mantiene caliente de manera constante.

²² ACOSTA, Víctor; RIVAS, Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. p. 38.

La temperatura dependerá de la cantidad de agua demandada por minuto, estos calentadores son más eficientes que los de depósito, pero gastan más que los instantáneos.

Figura 4. **Calentador de paso de rápida recuperación**



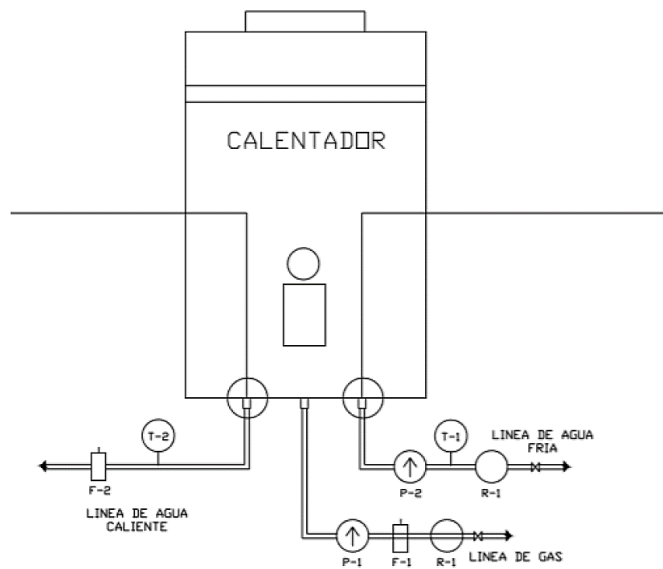
Fuente: ACOSTA, Víctor; RIVAS Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. p. 39.

- **Calentador de paso instantáneo**

También son conocidos como instantáneos, de flujo continuo, en línea, sobre demanda o *point-of-use* (POU) por sus siglas en inglés. Al instalar este tipo de calentadores, se debe considerar el número de servicios simultáneos requeridos en la vivienda. Estos pueden utilizar como fuente de energía el gas o la electricidad.

Este tipo de calentadores permite calentar el agua de manera inmediata; no tienen depósito de almacenamiento y el calentamiento se realiza mientras el agua fría fluye en la tubería interna a través del calentador.²³

Figura 5. **Calentador de paso instantáneo**

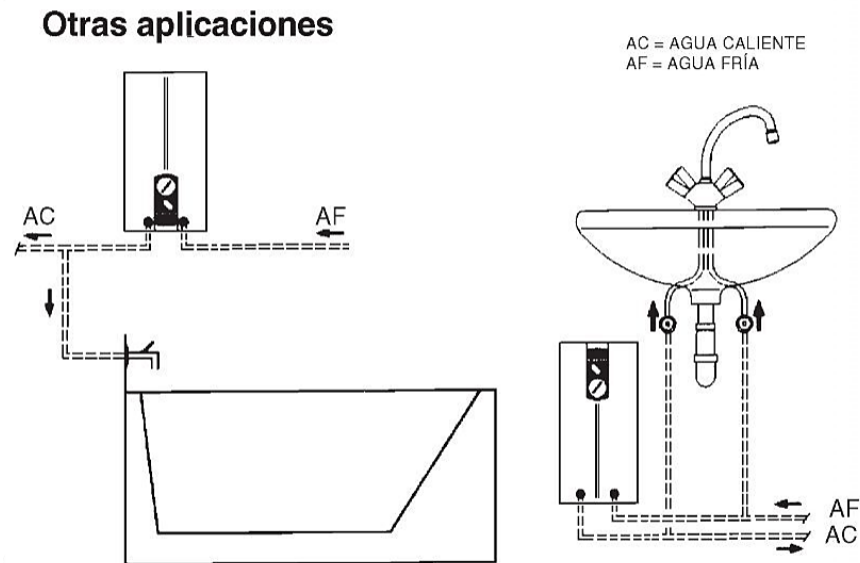


Fuente: ACOSTA, Víctor; RIVAS Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. p. 40.

Los calentadores llamados POU (uno o más puntos de uso) tienden a instalarse a lo largo de la línea de distribución de agua donde se requiera su uso, tal y como su nombre lo indica, por ejemplo, al lado de la regadera o debajo de un lavamanos. Este tipo de calentadores son más pequeños que los tradicionales y su principal ventaja es el flujo abundante y continuo de agua caliente dado que únicamente se accionan los quemadores cuando el calentador detecta el paso del agua al abrir la llave.

²³ ACOSTA, Víctor; RIVAS, Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. p. 40.

Figura 6. **Esquema de calentador instantáneo de uno o más puntos de uso**

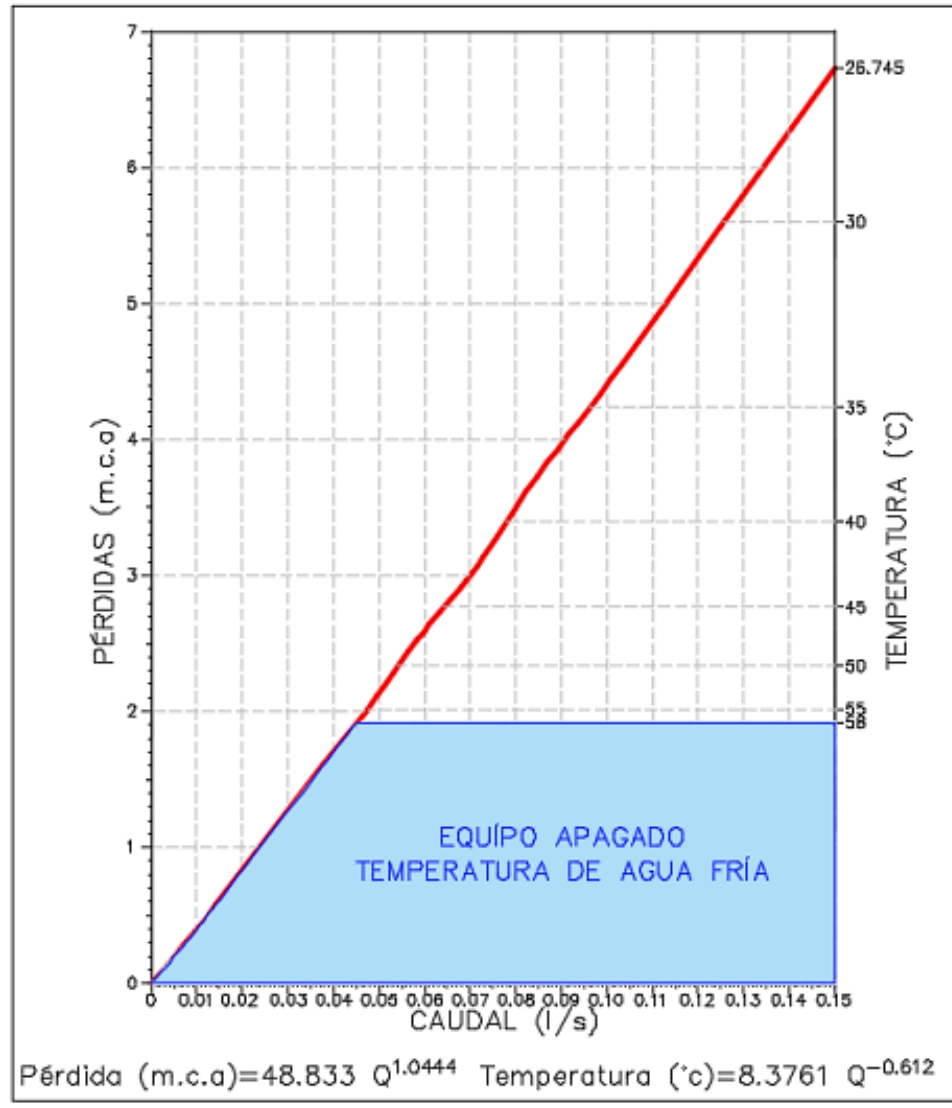


Fuente: Stiebel Eltron. *Manual técnico de calentadores eléctricos instantáneos*. p. 23.

A través de un estudio experimental, Sebastián Parada analizó el comportamiento de un calentador de paso eléctrico marca BOSCH con el fin de evaluar la caída de presión entre la entrada de suministro de agua fría y la salida de agua caliente del aparato.

Con los datos obtenidos se generaron modelos matemáticos que permiten estandarizar el comportamiento de un calentador de paso y determinar las pérdidas de energía provocadas por el mismo en función de factores hidráulicos tales como presión, caudal y temperatura del agua.

Figura 7. Gráfica del calentador de paso



Fuente: PARADA, Sebastián. *Caracterización y análisis de fenómenos hidráulicos en un calentador de paso eléctrico*. p. 51.

La ecuación que rige este gráfico permite determinar en base al caudal de diseño (l/s), la pérdida de carga del calentador expresada en metros columna de agua. Para ello deben seguirse los siguientes pasos:

- Identificar el caudal de diseño (l/s).
- Verificar que dicho caudal se encuentre dentro del rango de la gráfica.
- Ubicar el caudal en el eje de las abscisas.
- Trazar una línea vertical desde el caudal hasta interceptar la curva.
- Desde la intersección, trazar una línea horizontal hacia la izquierda para determinar las pérdidas en el eje vertical.

1.4.2. Consumos de agua (dotación)

La dotación es la cantidad de agua que consume, en promedio, una persona durante el día. Es un valor expresado usualmente en litros/habitante/día que incluye la cantidad de agua necesaria para satisfacer las actividades diarias del usuario tal como su aseo personal, alimentos y demás necesidades. En el consumo de agua también interviene el número y tipo de artefactos sanitarios instalados, su probable uso simultáneo y el tipo de edificación. Ver sección 1.2.2.1.

Para la elección adecuada de la dotación debe tomarse en cuenta diferentes factores tales como: clima, calidad y cantidad de agua, nivel de vida, administración del sistema y presiones. Todo sistema de abastecimiento de agua potable se ve afectado por un sinnúmero de factores que incurren directamente en el sistema a lo largo del tiempo. Estos deben tomarse en cuenta debido a que durante el día el caudal de una red sufre variaciones y durante diferentes horas, toma valores máximos o mínimos.

1.4.3. Simultaneidad en artefactos sanitarios

Se refiere al porcentaje de muebles o aparatos sanitarios que probablemente pueden funcionar al mismo tiempo dentro de la edificación; esto se define de acuerdo con el tipo, uso y cantidad de cada uno de ellos, así como de las costumbres de los usuarios. Cabe mencionar que en las viviendas unifamiliares más numerosas se debe analizar este parámetro para eficientizar la red de agua potable y no sub dimensionar las instalaciones.

Los métodos para el cálculo del gasto máximo instantáneo se describen a continuación:

1.4.3.1. Método empírico

Se basa en datos experimentales, tomando una decisión arbitraria (subjetiva), con base en la experiencia del diseñador y según el número de aparatos que pueden funcionar simultáneamente. En teoría, los métodos empíricos se pueden considerar como los más adecuados para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos ya que permiten calcular el gasto de una derivación, de acuerdo con la simultaneidad de uso de los aparatos que alimenta, considerando que es muy poco probable el uso simultáneo de más de dos aparatos en un cuarto de baño (ver apéndice 1).

1.4.3.2. Método probabilístico

Este método es más racional que el anterior, está basado en cálculos matemáticos de probabilidad para establecer una fórmula que defina la relación del número de aparatos a la que sirve la tubería considerada con el porcentaje de la suma de los gastos de los muebles que pueden abastecerse en forma simultánea, dicha fórmula es:

$$C_p^n = A^{p-1}/B$$

(Ec. 1)

Donde:

C_p^n = es el número de combinaciones de “p” muebles de los “n”, que probablemente entrarán en funcionamiento simultáneo en un momento dado, en porcentaje.

n = número total de aparatos

p = es el número de aparatos que están en uso simultáneo

$A = i/f$

$A = m/i$

Siendo:

f = duración media, en minutos, de la salida del agua en cada uso del aparato.

m = duración en horas del periodo de máximo uso.

i = duración media, en minutos cuando interviene en “A” y en horas cuando interviene en “B”, del intervalo entre dos usos consecutivos del mueble o aparato en el periodo de máximo uso durante el día.

Los valores medios recomendados para estos parámetros en instalaciones de tipo doméstico, según la práctica europea son los siguientes:

Tabla VI. **Parámetros f, i, m en edificaciones domésticas**

MUEBLE	f	i	m
Lavabo	2 min	20 – 40 min	2 h
WC (tanque)	2 min	20 – 40 min	2 h
Bidé	2 min	20 – 40 min	2 h
Tina	10 min	1 – 2 h	2 h
Regadera	2 min	1 – 2 h	2 h
WC (fluxómetro)	8 seg	20 – 40 min	2 h

Nota. El valor máximo de "i" se utiliza cuando se tiene demasiados usuarios con pocos muebles.

Fuente: PÉREZ, Guillermo. *Apuntes de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*.

p. 44.

1.4.3.3. Método del factor de simultaneidad

El factor de simultaneidad es la relación de la demanda máxima probable con la demanda máxima posible. Esta relación depende del uso de la instalación y la característica del proyecto. Para la obtención del caudal máximo probable (Q_p) se hace preciso establecer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de simultaneidad.

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{n - 1}}$$

(Ec. 2)

Siendo:

n = número de salidas

Esta ecuación es la establecida por la norma francesa NP 41-204 para toda clase de edificios tomando en consideración los siguientes caudales mínimos:

Tabla VII. **Caudales mínimos para cada aparato**

Aparato	Qmín (l/s)	Aparato	Qmín (l/s)
Calentador eléctrico	0,30	Lavadero	0,20 - 0,30
Ducha	0,20	Lavaplatos	0,25 - 0,30
Inodoro de tanque	0,15	Lavadora	0,20 - 0,30
Inodoro de fluxómetro	1,25	Llave externa	0,25
Lavamanos	0,20		

Fuente: PÉREZ, Guillermo. *Apuntes de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. p. 20.

Para determinar el caudal máximo probable Q_p se debe emplear la siguiente ecuación:

$$Q_p = K_1 * q_{max} \quad (\text{Ec. 3})$$

De diferentes congresos internacionales sobre el tema se ha concluido por conveniencia que K_1 en ningún caso será inferior a 0,2 ni mayor a 1; aunque es una condición que puede ser reevaluada.²⁴

1.4.3.4. **Método de Hunter**

Este método consiste en asignar a cada artefacto sanitario un determinado número de unidades de descarga o peso a las cuales se les conoce como Unidades Hunter. Estas se obtuvieron de mediciones estadísticas de consumo y se basa en el criterio de que cada uno de los aparatos representa un determinado número de unidades de consumo, las cuales sumadas, permiten establecer el caudal equivalente que fluye por la instalación.

²⁴ PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. p. 7.

Es importante establecer el tipo de servicio de la edificación ya que va estrechamente ligado con la cantidad de agua demandada. En este trabajo de graduación se hará énfasis en el servicio privado brindado para viviendas unifamiliares.

Tabla VIII. Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución de agua

Aparatos	Público			Privado		
	Fría	Caliente	Total	Fría	Caliente	Total
Ducha o tina	2.00	2.00	4.00	1.50	1.50	2.00
Bidé o lavamanos				1.00	1.00	2.00
Lavaplatos				1.50	1.50	2.00
Lavaplato eléctrico	3.00	3.00	6.00	2.00	2.00	3.00
Lavadora	2.00	2.00	4.00	2.00	1.00	3.00
Inodoro con Fluxometro	10.00		10.00	6.00		6.00
Inodoro de tanque	5.00		5.00	3.00		3.00
Orinal de fluxometro	10.00		10.00			
Orinal de llave	2.00		2.00			
Lavamanos de llave	4.00		4.00			
Fregadero uso hotel	4.00		4.00	1.0		1.0
Lavadero				2.0		2.0

Fuente: PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*.

p. 9.

Pese a que la demanda máxima de agua potable en una vivienda no puede determinarse con exactitud, la aplicación de este método permite establecer por medio de parámetros conservadores, dimensiones pequeñas de tubería que optimizan el sistema de agua potable.

En el método Hunter, inicialmente se le asigna a cada artefacto sanitario la cantidad de unidades de gasto o unidades de consumo que requieran de acuerdo con lo que se indica en la tabla VIII.

Teniendo identificadas la cantidad de unidades Hunter en cada punto de alimentación, se puede determinar el caudal o gasto que le corresponde según lo establecido en la tabla IX.

Tabla IX. **Gastos probables para la aplicación del método Hunter (l/s)**

Unidades de consumo	Caudal (l/s)	Unidades de consumo	Caudal (l/s)	Unidades de consumo	Caudal (l/s)
1	0,06	27	1,13	200	4,10
2	0,13	30	1,26	225	4,42
3	0,19	32	1,32	250	4,73
5	0,25	38	1,51	275	5,05
6	0,32	45	1,70	300	5,36
7	0,38	46	1,77	325	5,68
8	0,44	60	2,02	350	5,99
10	0,50	70	2,21	375	6,31
12	0,57	75	2,27	400	6,62
14	0,63	85	2,52	425	6,94
16	0,76	110	2,84	475	7,57
20	0,88	130	3,15	525	8,20
22	0,95	155	3,47	585	8,83
23	1,01	175	3,79	645	9,46

Fuente: PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. p. 292.

La sumatoria total de unidades de consumo representa la demanda total de agua potable en la vivienda; sin embargo, asumir este resultado como la cantidad de agua exacta necesaria podría ser un poco exagerado ya que es poco probable que se requiera este caudal para que todos los aparatos conectados funcionen al mismo tiempo. Por ello se aplica un factor de simultaneidad (ver sección 1.4.3.3).

1.4.4. Parámetros de diseño

Según el Código Internacional de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, el procedimiento de diseño está basado en los siguientes parámetros:

- Cálculo de la pérdida por fricción en cada tramo de la tubería.
- Pérdidas de carga del sistema.
- Dimensionado de la tubería, pérdidas totales de presión y presión requerida en el artefacto más alejado, pérdidas a través de la conexión domiciliar, pérdidas en accesorios, filtros, válvulas y calentadores de agua.²⁵

El diseño de la red debe cumplir con factores tales como: dotación, período de diseño, calidad del agua, caudal máximo diario, caudal máximo horario, presiones, velocidades (máximas y mínimas) y desinfección del agua.

A continuación, se desglosan cada uno de los aspectos que deben tomarse en consideración para el diseño de las instalaciones de agua potable en viviendas unifamiliares.

1.4.4.1. Presión mínima de operación

La red de distribución de agua debe ser diseñada para suministrar la presión mínima de operación a los diversos artefactos sanitarios ubicados en la vivienda; sin embargo, cuando la municipalidad o entidad encargada no puede proporcionar esta presión mínima, se debe recurrir a algún sistema de elevación de presión como podrían ser los tanques elevados, los sistemas hidroneumáticos, o las bombas *booster*.

²⁵ ICC. *Código internacional de instalaciones hidráulicas y sanitarias*. p. 142.

Generalmente, la presión mínima de operación que debe proporcionarse a la mayoría de los artefactos sanitarios que no utilizan fluxómetros es de 0,6 kg/cm² (6,00 m.c.a.) y de 1,0 kg/cm² (10 m.c.a.) a los que sí lo utilizan.

Tabla X. **Presiones mínimas y gastos por mueble sanitario**

APARATO	TOMAS POR APARATO	USO PRIVADO		USO PÚBLICO		PRESIÓN RECOMENDADA		PRESIÓN MÍNIMA
		U. H.	CAUDAL (l/s)	U. H.	CAUDAL (l/s)	m.c.a.	kg/cm ²	m.c.a.
Bañera o tina	2	3	0,19	4	0,22	10,33	1,03	2,00
Ducha	2	2	0,13	3	0,19	10,33	1,03	2,00
Inodoro con fluxómetro	1	6	0,32	10	0,50	10,33	1,03	7,70
Inodoro con tanque	1	3	0,19	5	0,25	7,00	0,70	2,80
Lavadero de servicio	1	3	0,19	4	0,22	4,00	0,40	2,00
Lavadora de platos	2	1	0,06	3	0,19	7,00	0,70	2,80
Lavadora de ropa	2	3	0,19	5	0,25	7,00	0,70	2,80
Lavamanos	2	1	0,06	2	0,13	5,00	0,50	2,00
Lavatrastos	2	2	0,13	4	0,22	2,00	0,20	2,00
Orinal con fluxómetro	1	6	0,32	10	0,50	10,33	1,03	7,70
Orinal con llave	1	1	0,06	3	0,19	7,00	0,70	2,80
Pila	1	3	0,19	5	0,25	7,00	0,70	2,00
Grifo para manguera	1	3	0,19	6	0,33	2,00	0,20	2,00

Fuente: PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*.

p. 5.

A nivel nacional no existe una ley que regule la presión con que las entidades deban proporcionar el agua desde la red de distribución general hasta la acometida domiciliar. Por ello que, planificar y diseñar correctamente las instalaciones hidráulicas de carácter domiciliar, permiten darle un margen de mejora significativo a la red de agua potable interna.

1.4.4.2. Pérdidas por fricción

Las tuberías de la red de distribución de agua deben ser dimensionadas limitando las pérdidas de energía, de tal manera que la salida más alta y remota pueda tener la presión mínima requerida para una operación adecuada durante los períodos de demanda pico. Por tanto, la máxima pérdida de energía que puede tolerarse en un sistema durante la demanda pico es la diferencia entre la presión estática en la salida de agua más alta, sin flujo, y la presión mínima de operación requerida en la salida.

Las pérdidas de energía pueden ser calculadas por cualquiera de las fórmulas conocidas para las pérdidas menores y las pérdidas por fricción. Entre las fórmulas más utilizadas para el cálculo de pérdidas por fricción, están:

- Darcy – Weisbach

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$$

(Ec. 4)

Donde:

h_f = pérdidas por fricción, en m.

f = coeficiente de fricción, adimensional.

L = longitud de la tubería, en m.

D = diámetro de la tubería, en m.

V = velocidad del flujo en la tubería, en m/s

g = aceleración de la gravedad, en m/s²

Por otro lado, las pérdidas menores en accesorios pueden ser calculadas a partir de la expresión:

$$h_1 = k \frac{V^2}{2g}$$

(Ec. 5)

Donde:

h_1 = pérdida de energía de tipo local, en m

k = coeficiente que depende del tipo de accesorio.

V = velocidad del flujo en la tubería, en m/s

g = aceleración de la gravedad, en m/s²

Las pérdidas en accesorios se pueden calcular utilizando el método de longitudes equivalentes el cual consiste en sumar a la longitud del tubo, longitudes estimadas que correspondan a la misma pérdida de carga que causarían los accesorios existentes en la tubería.²⁶ A cada accesorio le corresponde una longitud equivalente específica según su tipo, diámetro y función así con todos los accesorios y demás causas de pérdidas, se llega a la longitud total.

²⁶ PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. p. 59.

Tabla XI. **Longitudes equivalentes de accesorios PVC**

Accesorio	Longitud equivalente (metros) C = 150								
	Diámetro nominal (pulgadas) SDR26								
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
Codo radio corto 90°	0.47	0.58	0.71	0.88	0.99	1.22	1.45	1.74	2.20
Codo 45°	0.19	0.25	0.31	0.40	0.45	0.56	0.68	0.83	1.06
Válvula de compuerta	0.10	0.12	0.15	0.19	0.22	0.27	0.32	0.38	0.49
Válvula de globo	4.33	5.50	7.01	8.89	10.13	12.58	15.16	18.37	23.51
Tee	0.28	0.35	0.45	0.56	0.64	0.80	0.96	1.16	1.48
Tee con reducción	0.48	0.56	0.66	0.79	0.87	1.03	1.20	1.42	1.76
Válvula de retención	1.08	1.36	1.71	2.16	2.45	3.03	3.65	4.41	5.63
Reductor	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.22	0.27	0.33	0.42

Fuente: PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*.

p. 60.

- Hazen & Williams

Esta ecuación surge a principios del siglo XX como una alternativa de la Ecuación de Darcy-Weisbach, ya que resultaba complejo para el cálculo de dichas pérdidas. La fórmula de Hazen & Williams es una fórmula empírica resultante del análisis estadístico de una gran cantidad de datos experimentales. Es la más utilizada debido a la simplicidad del coeficiente de fricción (C) y a los buenos resultados en flujo turbulento y a presión en tuberías entre 0,05 m y 3,50 m de diámetro.²⁷

Se utiliza la ecuación de continuidad para expresarla en función del caudal conducido (Q) así como el diámetro de la tubería (D) y su longitud (L). La expresión en unidades del sistema internacional se define como:

$$h_f = 10,672 \left(\frac{L}{D^{4.871}} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad (\text{Ec. 6})$$

²⁷ CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. p. 14.

Donde:

h_f = pérdida de carga, en m

L = longitud de la tubería, en m

Q = caudal, en m³/s

C = coeficiente de fricción, para PVC se utilizará 150

D = diámetro de tubería interno, en m.

Y la expresión modificada a como normalmente se utiliza se define como:

$$h_f = \frac{1743,811 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

(Ec. 7)

Donde:

h_f = pérdida de carga, en m

L = longitud de la tubería, en m

Q = caudal, en l/s

C = coeficiente de fricción, para PVC se utilizará 150

D = diámetro de tubería interno, en pulg.

1.4.4.3. Velocidad

Puesto que el golpe de ariete va en función de la celeridad de la onda de presión (velocidad del flujo), es fundamental evitar velocidades excesivas en las instalaciones para minimizar los problemas de esta índole. Por el contrario, también es importante eludir las velocidades mínimas para asegurar la auto limpieza dentro del sistema y evitar el estancamiento del agua que provoque la pérdida de su calidad. La ecuación se define como:

$$V = \frac{1,974 * Q}{D^2}$$

(Ec. 8)

Donde:

V = velocidad, en m/s

Q = caudal, en l/s

D = diámetro de tubería, en pulg.

La velocidad máxima de flujo en tuberías durante períodos de demanda pico debe ser de 2,0 m/s. Las velocidades altas producen ruidos en forma de silbidos, erosión en las tuberías, peligro de choques hidráulicos, y otros, por lo que se debe evitar exceder el límite de los 3,0 m/s.

1.4.5. Potabilización y desinfección del agua

El agua, cualquiera que sea su origen (atmosférico, superficial o subterráneo), puede ser portadora de un número considerable de bacterias, ya sea del aire, suelo o incluso de la descomposición de organismos muertos.

Para determinar si las cantidades presentes de microorganismos se encuentran dentro de los límites permisibles debe realizarse un análisis de agua y establecer un sistema de desinfección acorde con las necesidades²⁸ tal y como lo establece la norma COGUANOR 29001.

Los métodos para desinfección del agua pueden ser:

²⁸ OMS. *Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial*. p. 14.

- Desinfección por medio de rayos ultravioleta: en este método se hace pasar el agua en capas delgadas por debajo de lámparas de rayos ultravioleta. Para que la desinfección sea efectiva, el agua debe ser de muy baja turbiedad, lo cual limita su aplicación y adicionalmente no se obtiene una desinfección posterior.²⁹
- Desinfección por medio de cloro: el cloro es un gas tóxico de color amarillo-verdoso que se encuentra en la naturaleza solo en estado combinado, principalmente con el sodio como sal común. Tiene un olor característico penetrante e irritante, es más pesado que el aire y se le puede comprimir para formar un líquido claro de color ámbar. No se recomienda el uso de este en forma de gas para sistemas de agua domiciliar, por su alta toxicidad y su compleja y delicada operación.³⁰

En viviendas unifamiliares usualmente se emplea el hipoclorito de sodio (cloro líquido) para desinfectar el agua destinada para consumo humano. El tratamiento aplica cuando el agua no se encuentra turbia, de ser así, primero debe utilizarse un filtro para remover las partículas y sedimentos presentes. Una vez que el agua esté clara y en un recipiente limpio, debe agregarse el hipoclorito de sodio, en la cantidad adecuada, según las tablas de dosificación que proporciona el Ministerio de Salud y Asistencia Social.

- Desinfección por medio de ozono: el ozono se produce a partir de oxígeno así que aplicando una descarga de alto voltaje se logra oxidar el oxígeno y transformarlo en ozono, convirtiéndolo en un eficiente destructor de bacterias y microorganismos. Cabe resaltar que la implementación de ozonificadores es mucho más costosa que el cloro; sin embargo, en términos de manejo de tiempos, el ozono es 600 veces más rápido que el cloro y posee un poder oxidante 20 veces mayor, además de eliminar y controlar los problemas de olor, sabor y color.³¹

²⁹ AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de ingeniería sanitaria 1*. p. 157.

³⁰ *Ibíd.* p. 159

³¹ SURCO, Alida Merma; VARA LLAMOJHA, Kathia Karen. *Simulación de un proceso de desinfección eficiente de agua a potabilizar, mediante ozono, respetando el medio ambiente*. p. 7.

Otro método utilizado, aunque no precisamente para edificaciones de esta índole, es el hipoclorito de calcio (cloro granulado o en polvo). Los grados comerciales de hipoclorito de calcio generalmente contienen alrededor del 70 % de cloro disponible, lo que lo hace apropiado, tanto para aplicaciones de agua potable como de aguas residuales.³²

³² Sistema de agua potable y alcantarillado municipal. *¿Por qué usamos hipoclorito de calcio para mantener la calidad del agua?*. <https://bit.ly/3tCNyP>. Consulta: 29 de enero de 2021.

2. MARCO CONTEXTUAL

2.1. Guatemala

En Guatemala influyen factores externos en la gestión y administración del agua potable, por ello, se procede a describir alguno de los asuntos o inconvenientes que se han detectado a nivel nacional.

2.1.1. Reseña histórica

Los déficits de cobertura de los servicios evidencian solo una parte de los problemas del sector de agua potable y saneamiento de Guatemala. Otro aspecto relevante es la calidad de los servicios que se suministran, cuyos niveles son altamente deficientes.³³ Si bien, existen importantes diferencias entre las entidades prestadoras del servicio de agua potable (por ejemplo, la calidad del servicio de Empagua es mejor en comparación con el resto del sector), estos problemas son generalizados en todo el país.

2.1.2. Situación de los servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala

Una forma para entender la escasez de agua es a través del índice de pobreza hídrica (IPH), el cual está definido por factores biofísicos, sociales, económicos e institucionales que relacionan agua y pobreza.

³³ LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. <https://bit.ly/3sMtFI6>. Consulta: 12 de enero de 2021.

Dichos factores están vinculados entre ellos por medio de un índice compuesto único. Este índice se apoya sobre cinco componentes:

- Recurso: disponibilidad física del agua, teniendo en cuenta su variabilidad y calidad.
- Acceso: nivel de acceso al agua para uso humano. El acceso hace referencia al uso de agua apta para el abastecimiento humano, doméstico, agrícola e industrial.
- Capacidad: eficacia de la capacidad de la población para manejar el agua.
- Uso: formas de uso en las cuales el agua se utiliza para diversos propósitos, incluye uso doméstico, agrícola, ganadero e industrial.
- Ambiente: evaluación de la integridad ambiental que relaciona el agua con el uso de recurso natural, productividad agrícola y degradación de tierras.

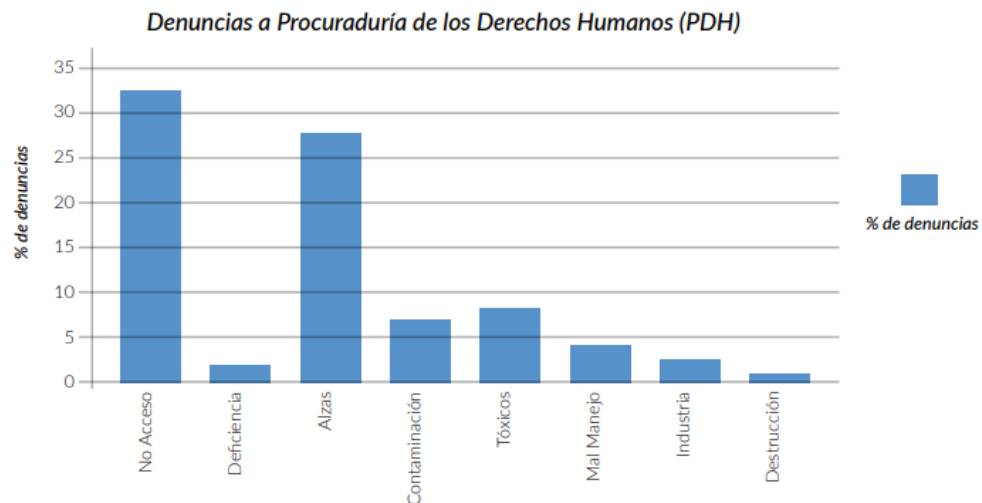
Guatemala está colocada en el rango medio a nivel mundial del Índice de Pobreza Hídrica (IPH), con un valor de entre 56 y 61, según el mapa de IPH adaptado de Lawrence, Meight & Sullivan (2002). El trabajo desarrollado indica que, en el altiplano guatemalteco, para determinar el Índice de gestión hídrica basados en el concepto del IPH (evaluando de 1 a 100), reporta que de 129 municipios evaluados 49,6 % tiene un índice adecuado (≥ 50), el 40,4 % índice inadecuado ($\leq 49,9 \geq 25$), y 8,5 % un índice deficiente ($\leq 24,9$), (el restante 1,5 % no contó con datos suficientes para el cálculo). Esto indica que casi la mitad de este territorio tiene un bajo índice de gestión hídrica.³⁴

Las estimaciones acerca de la calidad de los servicios son que la continuidad, presión y calidad del agua no son buenas y que las tarifas, no cubren la fase de operación y mantenimiento en donde existen sistemas de conexión domiciliar; y en donde no los hay, la situación es aún más delicada, pues las aguas son suministradas por medios no convencionales, como camiones cisterna y toneles, que son de menor calidad y el costo mucho más elevado que con la

³⁴ MARN. *Informe del estado ambiental de Guatemala*.
<https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7023F81E-EFBD-F578-8B84-4E4045E2E8A3/attachments/209788/Informe%20ambiental%20del%20estado%20de%20Guatemala%202016.pdf>. Consulta: 12 de enero de 2021.

tarifa municipal. En cuanto a la continuidad y presión del servicio de agua potable, casi ninguno lo ofrece ni las 24 horas del día, ni a buena presión; y en general el agua no recibe el tratamiento de desinfección necesario para asegurar que sea potable.

Figura 8. **Denuncias ante la Procuraduría de los Derechos Humanos respecto del agua y saneamiento**



Fuente: MARN. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala con datos de PDH*. p. 202.

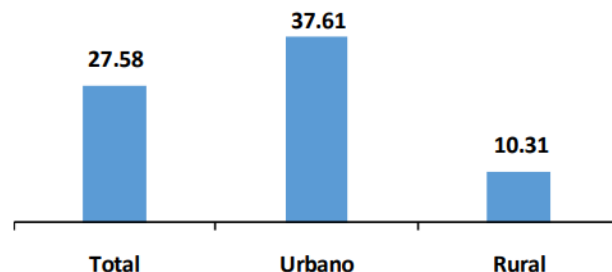
2.1.3. Tasa por servicio o canon de agua

El Instituto Nacional de Estadística se encarga de registrar el precio promedio mensual por servicio de agua en los hogares según el período de tiempo y el departamento, tanto en el área urbana como rural, independientemente si es por tarifa mensual o por metro cúbico; o bien, la disponibilidad o suministro y mucho menos la calidad del agua.³⁵

³⁵ INE. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala*. p. 50.

Existe una gran diferencia en el costo del servicio de agua domiciliar del área urbana y el área rural de los departamentos. Esto se debe principalmente a la complejidad que se tiene para conducir y distribuir el agua en ciertos municipios además de la notable carencia que existe en muchos otros.

Figura 9. **Precio promedio mensual del agua/hogar, año 2014 (quetzales)**



Fuente: INE. *Compendio estadístico ambiental*. p. 50

2.2. Deficiencia del sistema de agua potable en viviendas unifamiliares

Parte del déficit percibido por los usuarios que ocupan agua potable en sus viviendas va ligado principalmente a tres parámetros: continuidad, calidad y cantidad del agua que reciben en su domicilio.

2.2.1. Continuidad del agua

Según el análisis sectorial de agua potable y saneamiento, en Guatemala la totalidad de servicios prestados por las municipalidades son de forma interrumpida, es decir, que presenta falta de continuidad en el suministro, debido al déficit de la oferta ante la demanda y a las deficiencias en la distribución, control en la operación y mantenimiento del sistema.

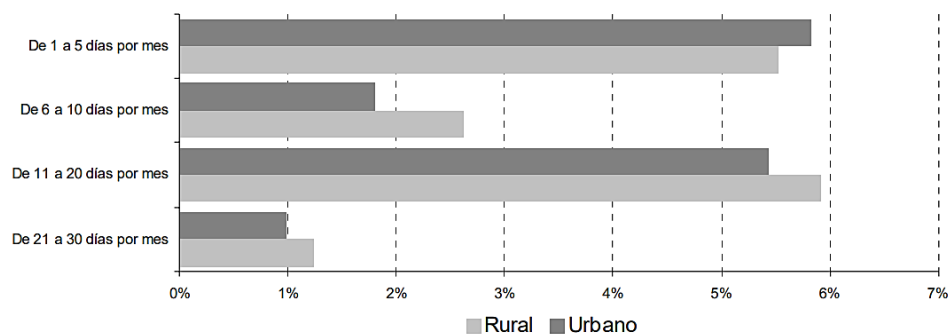
En todos los sistemas existen intermitencias y falta de continuidad en el servicio, presentándose muy especialmente el problema en la zona metropolitana de la ciudad de Guatemala, el mayor centro poblacional y de consumo del país.³⁶

En el área cubierta por Empagua se calcula que el promedio de continuidad es de 12 horas por día, que en muchos casos se mitiga con el almacenamiento domiciliar.

Es muy alto el porcentaje de hogares que recibe el servicio de manera discontinua por un mayor período de tiempo. Alrededor del 14 % de los hogares urbanos se encuentran en promedio al menos 1 día al mes sin servicio y en similar situación se encuentran cerca del 15 % de los hogares rurales.

Por otra parte, el 9 % de los hogares de todo el país pasan en promedio al menos 6 días al mes sin agua potable.³⁷

Figura 10. **Cortes del servicio de agua por red (en porcentaje de hogares)**



Fuente: LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. p. 15.

³⁶ Gobierno de Guatemala. *análisis sectorial del agua potable y saneamiento*. p. 112.

³⁷ LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. p.15.

Es probable que cualquier interrupción del servicio traiga como resultado el deterioro de la calidad del agua, un mayor riesgo de exposición a agua contaminada y, por lo tanto, un mayor riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. La discontinuidad diaria o semanal ocasiona una menor presión del suministro y un riesgo consecuente de contaminación en la red de distribución.

Otras consecuencias incluyen una menor disponibilidad y el uso de un volumen reducido de agua, lo que influye negativamente en la higiene y calidad de vida de los guatemaltecos ya que se vuelve necesario almacenar agua intradomiciliaria lo cual puede conducir a un incremento en el riesgo de contaminación durante dicho almacenamiento y su correspondiente manipulación.

2.2.2. Calidad del agua

En Guatemala existe una norma para agua potable establecida por la Comisión de Guatemala de Normas, COGUANOR. En ella se establecen límites máximos aceptables y permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y límites microbiológicos, así como las concentraciones de cloro y métodos de análisis bacteriológicos.

Uno de los problemas de mayor importancia respecto de la calidad de la prestación se refiere a las condiciones físico-químicas de agua. Se estima que el 15 % del agua abastecida por los sistemas de red es desinfectada previamente y solo el 25 % de los municipios cuenta con algún sistema de desinfección, desconociéndose el estado de su funcionamiento.³⁸

³⁸ LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. p.14.

2.2.3. Cantidad de agua

Hasta la fecha, no se han proporcionado datos sobre la cantidad de agua domiciliar que se requiere para promover una buena salud como tal, sin embargo, la OMS estima requerimientos de agua relacionados con la salud a fin de obtener una cifra mínima aceptable que permita satisfacer las necesidades de consumo (para bebida y preparación de alimentos) e higiene básica.

Figura 11. **Resumen de los requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud**

Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/r/d)	Más de 1.000 m ó 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no se puede garantizar Higiene – no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20l/r/d)	Entre 100 y 1.000 m ó de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – se debe asegurar Higiene – el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/r/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m ó 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo – asegurado Higiene – la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; se debe asegurar también la lavandería y el baño	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/r/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo – se atienden todas las necesidades Higiene – se deben atender todas las necesidades	Muy bajo

Fuente: Organización Mundial de la Salud. *Domestic water quantity, service level and health*.

p. 3.

El cuadro anterior indica la cantidad de agua que se usa en los diferentes niveles del servicio según lo propuesto por la OMS, Las cantidades estimadas de agua en cada nivel pueden ser menores si el abastecimiento de agua es intermitente, lo que incrementará el riesgo de que regrese agua contaminada a los sistemas de abastecimiento de agua. Si el acceso es óptimo pero el abastecimiento es intermitente, la operación de los sistemas de saneamiento relacionados con el abastecimiento de agua podría verse afectada y generar mayores riesgos de salud.

2.2.4. Instalaciones típicas de agua potable en viviendas unifamiliares en Guatemala

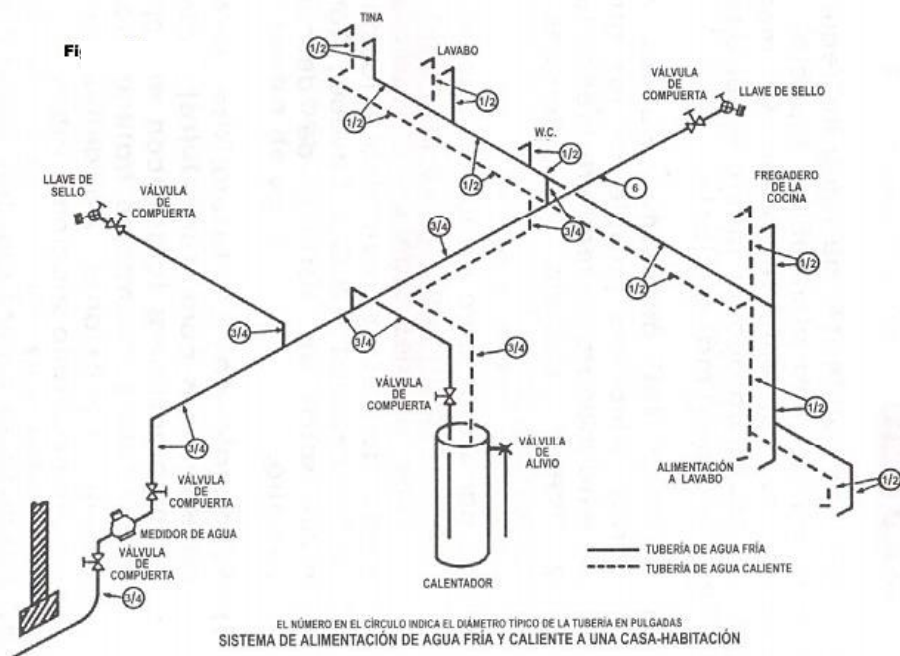
Las instalaciones interiores son el conjunto de tuberías de conducción y distribución del agua que se encuentran ubicadas dentro de la vivienda, tomando en cuenta a partir de la salida del medidor hacia la red principal y la conexión a los artefactos sanitarios como lavamanos, cocina, lavadero u otros receptores.

Dado que la red de agua intradomiciliaria es responsabilidad del propietario de la vivienda, el dimensionado de la tubería no suele diseñarse, ni utilizarse cálculos hidráulicos que determinen el diámetro correcto de la tubería en el sistema. Típicamente el diámetro de la tubería que se utiliza para tuberías principales de agua fría es de $\frac{3}{4}$ " y luego para conectar a los artefactos sanitarios se emplea tubería de $\frac{1}{2}$ " de material PVC que es el más común para este tipo de vivienda.³⁹

³⁹ VANDERVORT, Don. *Tuberías y fontanería doméstica para plomeros de bricolaje*. <https://bit.ly/3HNAKGd>. Consulta: 12 de enero de 2021.

Si bien, la instalación puede llegar a ser funcional con el diámetro de 1/2", influye mucho la cantidad de conexiones o artefactos sanitarios que se deban alimentar, según los miembros de la familia que habiten en el lugar. El tamaño de la vivienda, la ubicación de los artefactos, altura entre pisos y factores similares a estos también influyen en el funcionamiento del sistema. Por ello, no pueden emplearse los mismos criterios para una red de distribución que satisfaga las necesidades de una familia de 4 integrantes, que una que satisfaga la de 7 integrantes y una cantidad mayor de artefactos sanitarios en un primer y segundo nivel, en donde en ningún caso el diámetro de la tubería será mayor de 2 1/2".⁴⁰

Figura 12. **Instalación típica de agua potable en vivienda unifamiliar**



Fuente: HARPER, Enríquez. *El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias*. p. 192.

⁴⁰ FOPAVI. *Manual de especificaciones técnicas, construcción de vivienda y urbanizaciones*. p. 27.

Colocar una instalación empírica en la vivienda puede generar inconvenientes y deficiencias inmediatas o a largo plazo. La inversión que representa inicialmente puede no ser suficiente y requerir un gasto adicional para solucionar el problema que pudo evitarse desde el principio si se hubiera calculado el diámetro óptimo de la tubería en toda la instalación. Los problemas más frecuentes en las redes de distribución de agua, por causa de un diseño inadecuado o carencia de este, son:

- Falta de energía hidráulica para la operación de los muebles sanitarios, la cual se nota en artefactos especiales como calentadores de agua, y si los hay, fluxómetros.
- Ruidos excesivos y golpe de ariete, debido a velocidades excesivas de diseño (el límite es de 3 m/s).

En la etapa de planificación de la construcción, es cuando se pueden corregir estos problemas antes de que sucedan. El propietario puede pedirle al constructor o persona a cargo que se diseñe la instalación para que haya un suministro de agua abundante hacia cada artefacto (en especial en momentos de uso simultáneo), asegurándose de que la conexión domiciliar y la línea de alimentación principal dentro de la casa tengan el tamaño adecuado según la presión que proporcione la municipalidad o entidad encargada, así también debe velarse por que el sistema cumpla con:

- Los materiales y sistemas más idóneos para las condiciones de trabajo previstas.
- Los mínimos de resistencia exigidos para su perfecto funcionamiento y durabilidad.
- Las pérdidas mínimas de carga para disponer de la presión de servicio con el menor coste energético posible.

- Una ejecución en base a prácticas de montaje que garanticen una óptima conservabilidad y con el presupuesto más atractivo para el usuario.

3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN GUATEMALA

3.1. Sistema típico o empírico (sin aplicar ingeniería)

Como parte del proceso comparativo de la investigación se utilizó un modelo típico de agua potable en una vivienda unifamiliar planteado en base a los incisos que se desglosan a continuación.

3.1.1. Descripción del sistema

El sistema típico de agua potable considera principalmente una red de circuitos cerrados formados por la interconexión de los ramales entre sí (principales y secundarios) con el objetivo de garantizar la continuidad del agua por rutas alternas dentro del sistema. Para dicho sistema se utilizó tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro para la tubería principal y $\frac{1}{2}$ " de diámetro para la tubería secundaria que lleva el agua hasta cada punto de consumo tomando en cuenta tubería PVC para la instalación de agua fría y CPVC para la instalación de agua caliente, con sus respectivos accesorios.

3.1.2. Longitud total de cada tramo

Este valor permite realizar el análisis descrito en el capítulo uno en donde se utiliza la longitud total de cada tramo de tubería en las ecuaciones correspondientes y según los objetivos de esta investigación.

3.1.2.1. Longitud física (m)

Se le denomina longitud física a cada tramo de tubería dentro de la instalación que va desde la conexión domiciliar hasta el punto de alimentación más lejano (punto crítico) para agua fría y agua caliente. Engloba tanto la tubería horizontal como la tubería vertical para las respectivas subidas de agua hacia cada punto de consumo. Para comprender de mejor manera el sistema, se identificó el punto inicial y el punto final de cada tramo y se registró la distancia a ejes entre ellos.

La longitud física permite determinar la cantidad de tubería PVC que se requiere en la instalación de agua fría y la cantidad de tubería CPVC para la instalación de agua caliente, siendo los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Cantidad de tubos PVC y CPVC en el sistema típico**

CANTIDAD DE TUBOS PVC	
No. TUBOS	MATERIAL
5	PVC Ø 1/2"
11	PVC Ø 3/4"
CANTIDAD DE TUBOS CPVC	
No. TUBOS	MATERIAL
4	CPVC Ø 1/2"
8	CPVC Ø 3/4"

Fuente: elaboración propia.

3.1.2.2. Longitud equivalente por accesorios (m)

Con el método de longitud equivalente se estimó una pérdida de carga para cada accesorio expresada como una longitud equivalente en metros, esta permite valorar cuántos metros de tubería recta del mismo diámetro producen una pérdida de carga continua que equivale a la pérdida que se produce en el punto donde va colocado dicho accesorio. Ver tabla XI.

Al tener la longitud física de cada tramo y la longitud equivalente por los accesorios correspondientes, se sumaron ambos valores para así obtener la longitud total de cada tramo tal y como se muestra de la tabla XIII a la XVI.

Tabla XIII. Longitud total en instalación de agua fría planta alta

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
22A	39	0,30	0,35	0,65
39	40	1,55	0,58	2,13
40	41	0,45	0,35	0,80
41	42	1,40	1,04	2,44
41	43	0,40	0,35	0,75
43	44	1,05	1,04	2,09
43	45	1,15	0,35	1,50
45	46	2,55	1,04	3,59
45	39	0,45	0,00	0,45
47	48	2,60	1,04	3,64
48	49	0,30	0,35	0,65
49	37A	0,45	0,00	0,45
49	50	1,40	0,58	1,98
50	51	0,30	0,35	0,65
51	52	1,45	1,04	2,49
51	53	0,40	0,35	0,75
53	54	1,10	1,04	2,14
53	48	1,00	0,35	1,35
55	56	2,40	1,04	3,44
56	57	1,65	0,58	2,23
57	58	1,00	0,58	1,58
58	59	1,00	0,35	1,35
59	60	1,65	1,04	2,69
59	61	0,35	0,35	0,70
61	62	1,30	1,04	2,34
61	63	0,30	0,58	0,88
63	64	0,65	0,35	1,00
64	10A	0,40	0,58	0,98
64	56	0,35	0,56	0,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Longitud total en instalación de agua fría planta baja

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
0	1	3,65	0,35	4,00
1	2	1,20	0,57	1,77
2	3	0,70	0,94	1,64
1	4	1,05	0,35	1,40
4	5	0,85	0,35	1,20
5	6	1,00	1,04	2,04
5	11	0,50	0,35	0,85
11	12	1,35	1,04	2,39
11	9	0,60	0,35	0,95
4	7	1,10	0,35	1,45
7	8	0,55	0,35	0,90
8	10	0,20	0,58	0,78
10	10A	3,00	0,58	3,58
8	9	0,30	0,00	0,30
7	13	4,70	0,35	5,05
13	14	0,85	0,85	1,70
14	14A	3,30	0,47	3,77
13	17	3,70	0,35	4,05
17	18	1,25	1,04	2,29
17	19	0,95	0,35	1,30
19	20	0,85	1,04	1,89
19	21	0,45	0,35	0,80
21	22	0,55	0,58	1,13
22	22A	3,00	0,58	3,58
21	23	3,90	0,35	4,25
23	24	0,95	0,35	1,30
24	39	1,80	1,04	2,84
24	26	1,10	0,35	1,45
26	C	0,55	0,47	1,02
26	27	0,80	0,35	1,15
27	31	1,55	1,04	2,59
27	28	0,80	0,35	1,15
28	29	0,30	0,35	0,65
29	30	1,45	1,04	2,49

Continuación de la tabla XIV.

29	32	0,30	0,35	0,65
32	33	1,10	1,04	2,14
32	36	1,10	0,35	1,45
35	36	2,60	1,04	3,64
34	36	0,30	0,35	0,65
28	34	1,40	0,00	1,40
34	37	0,40	0,58	0,98
37	37A	3,00	0,58	3,58
23	25	1,25	0,58	1,83
25	9	4,65	0,00	4,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Longitud total en instalación de agua caliente planta alta**

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
22A	25	0,65	0,35	1,00
25	26	0,65	0,35	1,00
26	27	1,85	1,04	2,89
26	28	0,55	0,58	1,13
28	29	0,65	0,35	1,00
25	29	0,55	0,00	0,55
29	30	2,75	1,04	3,79
15A	31	1,15	0,58	1,73
31	32	0,60	0,35	0,95
32	33	0,45	0,35	0,80
33	34	1,55	1,04	2,59
32	35	1,50	0,58	2,08
33	36	1,50	0,35	1,85
35	36	0,45	0,58	1,03
36	37	2,70	1,04	3,74
38	39	1,55	1,39	2,94
39	40	0,35	0,58	0,93

Continuación de la tabla XV.

40	41	1,35	0,35	1,70
41	42	0,35	0,58	0,93
39	42	1,35	0,00	1,35
42	43	2,70	1,04	3,74
8A	41	0,65	0,00	0,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Longitud total en instalación de agua caliente planta baja**

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
C	1	0,45	0,35	0,80
1	2	0,90	0,35	1,25
2	3	1,35	1,04	2,39
2	4	0,40	0,35	0,75
4	5	0,40	0,35	0,75
5	6	1,40	0,35	1,75
6	7	0,40	0,35	0,75
4	7	1,40	0,00	1,40
5	9	1,45	1,04	2,49
6	10	2,60	1,04	3,64
7	8	0,60	0,58	1,18
8	8A	3,00	0,58	3,58
1	11	3,40	0,35	3,75
11	12	3,70	0,35	4,05
12	13	0,35	0,35	0,70
13	14	1,40	1,04	2,44
12	17	1,00	0,58	1,58
13	16	1,00	0,35	1,35
15	16	0,70	0,58	1,28
16	17	0,30	0,00	0,30
15	15A	3,00	0,58	3,58
11	18	3,90	0,58	4,48

Continuación de la tabla XVI.

18	19	1,15	0,35	1,50
19	23	0,45	0,35	0,80
23	24	1,25	1,04	2,29
19	20	0,65	0,58	1,23
20	21	0,45	0,35	0,80
21	22	0,40	0,58	0,98
21	23	0,65	0,00	0,65
22	22A	3,00	0,58	3,58

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Dimensionamiento de tubería

El sistema típico de agua potable, tanto para el agua fría como el agua caliente, se caracteriza precisamente por no dimensionar la tubería; en su lugar, se coloca tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro para la tubería principal y de $\frac{1}{2}$ " de diámetro para los ramales secundarios, ya que, empíricamente hablando, es lo que más se utiliza en campo al momento de realizar las instalaciones de agua potable en las viviendas. En el modelo empírico presentado se consideró tubería PVC 1120 ASTM D 2241 para la instalación de agua fría y CPCV 1120 ASTM D 2241 para la instalación de agua caliente.

Para evaluar este sistema, se utilizó el software EPANET 2.0 el cual permite analizar el comportamiento hidráulico en redes de distribución de agua a presión. Esquematisando la red completa, identificando cada tramo y asignándole el diámetro y longitud correspondiente, se obtuvieron los valores hidráulicos de cada ramal, los cuales se desglosarán más adelante.

Tabla XVII. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta alta**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
22A	39	Circuito	3/4
39	40	Circuito	3/4
40	41	Circuito	3/4
41	42	Lavamanos	1/2
41	43	Circuito	3/4
43	44	Inodoro de tanque	1/2
43	45	Circuito	3/4
45	46	Ducha	1/2
45	39	Circuito	3/4
47	48	Ducha	1/2
48	49	Circuito	3/4
49	37A	Circuito	3/4
49	50	Circuito	3/4
50	51	Circuito	3/4
51	52	Lavamanos	1/2
51	53	Circuito	3/4
53	54	Inodoro de tanque	1/2
53	48	Circuito	3/4
55	56	Ducha	1/2
56	57	Circuito	3/4
57	58	Circuito	3/4
58	59	Circuito	3/4
59	60	Lavamanos	1/2
59	61	Circuito	3/4
61	62	Inodoro de tanque	1/2
61	63	Circuito	3/4
63	64	Circuito	3/4
64	10A	Circuito	3/4
64	56	Circuito	3/4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría
planta baja**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
0	1	Circuito	3/4
1	2	Circuito	3/4
2	3	Grifo	1/2
1	4	Circuito	3/4
4	5	Circuito	3/4
5	6	Inodoro de tanque	1/2
5	11	Circuito	3/4
11	12	Lavamanos	1/2
11	9	Circuito	3/4
4	7	Circuito	3/4
7	8	Circuito	3/4
8	10	Circuito	3/4
10	10A	Sube a 2N	3/4
8	9	Circuito	3/4
7	13	Circuito	3/4
13	14	Grifo para manguera	1/2
14	14A	Sube a 2N	3/4
13	17	Circuito	3/4
17	18	Fregadero de cocina	1/2
17	19	Circuito	3/4
19	20	Grifo para manguera	1/2
19	21	Circuito	3/4
21	22	Circuito	3/4
22	22A	Sube a 2N	3/4
21	23	Circuito	3/4
23	24	Circuito	3/4
24	39	Pila	1/2
24	26	Circuito	3/4
26	C	Circuito hacia calentador	3/4
26	27	Circuito	3/4
27	31	Lavadora	1/2
27	28	Circuito	3/4
28	29	Circuito	3/4
29	30	Lavamanos	1/2
29	32	Circuito	3/4
32	33	Inodoro de tanque	1/2

Continuación de la tabla XVIII.

32	36	Circuito	3/4
35	36	Ducha	1/2
34	36	Circuito	3/4
28	34	Circuito	3/4
34	37	Circuito	3/4
37	37A	Sube a 2N	3/4
23	25	Circuito	3/4
25	9	Circuito	3/4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta alta**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
22A	25	Circuito	3/4
25	26	Circuito	3/4
26	27	Lavamanos	1/2
26	28	Circuito	3/4
28	29	Circuito	3/4
25	29	Circuito	3/4
29	30	Ducha	1/2
15A	31	Circuito	3/4
31	32	Circuito	3/4
32	33	Circuito	3/4
33	34	Lavamanos	1/2
32	35	Circuito	3/4
33	36	Circuito	3/4
35	36	Circuito	3/4
36	37	Ducha	1/2
38	39	Lavamanos	1/2
39	40	Circuito	3/4
40	41	Circuito	3/4
41	42	Circuito	3/4
39	42	Circuito	3/4
42	43	Ducha	1/2
8A	41	Circuito	3/4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente de planta baja**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
C	1	Circuito	3/4
1	2	Circuito	3/4
2	3	Lavadora	1/2
2	4	Circuito	3/4
4	5	Circuito	3/4
5	6	Circuito	3/4
6	7	Circuito	3/4
4	7	Circuito	3/4
5	9	Lavamanos	1/2
6	10	Ducha	1/2
7	8	Circuito	3/4
8	8A	Sube a 2N	3/4
1	11	Circuito	3/4
11	12	Circuito	3/4
12	13	Circuito	3/4
13	14	Fregadero de cocina	1/2
12	17	Circuito	3/4
13	16	Circuito	3/4
15	16	Circuito	3/4
16	17	Circuito	3/4
15	15A	Sube a 2N	3/4
11	18	Circuito	3/4
18	19	Circuito	3/4
19	23	Circuito	3/4
23	24	Lavamanos	1/2
19	20	Circuito	3/4
20	21	Circuito	3/4
21	22	Circuito	3/4
21	23	Circuito	3/4
22	22A	Sube a 2N	3/4

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Determinación de caudal (l/s)

El caudal en cada punto de consumo varía según el artefacto sanitario que se vaya a alimentar (ver tabla X). Si bien, se estipula un caudal específico para cada artefacto, se aplicó un factor de simultaneidad (ver sección 1.4.3.3) para determinar el caudal total necesario en la vivienda tanto para la instalación de agua fría como la de agua caliente en cada tramo de tubería del primer y segundo nivel.

Para simular el sistema, en EPANET 2.0 se ingresaron los valores de demanda base (l/s) en cada nudo según el artefacto sanitario por alimentar en la red y tomando en consideración la simultaneidad anteriormente mencionada. De esta manera, se obtuvo el caudal de circulación exacto en cada línea y el que llega a cada nudo de la red de agua potable.

3.1.5. Cálculo de velocidad (m/s)

La velocidad de flujo en cada tramo de tubería, principal y secundaria, la calcula el mismo software en forma de una escala de colores con su respectivo valor, siempre y cuando se realice una simulación con éxito.

Cabe aclarar que, en algunos tramos del sistema, se cuenta con un flujo nulo (0 m/s) debido a que se asumió que el artefacto sanitario conectado en ese tramo no estaría en uso al momento de realizar la simulación en el software, de acuerdo con el criterio de simultaneidad empírico aplicado. Dichos valores los presenta el programa de forma detallada en un informe tal y como se presenta a continuación:

Figura 13. **Datos hidráulicos proporcionados por EPANET 2.0**

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 8	3.12	18.18	0.00	0.00
Tubería 3	0.45	23.53	0.14	0.32
Tubería 9	1.97	18.18	0.06	0.23
Tubería 4	0.80	23.53	0.11	0.25
Tubería 6	0.75	23.53	0.05	0.11
Tubería 7	1.62	18.18	0.19	0.73
Tubería 2	2.13	23.53	0.11	0.25
Tubería 11	1.50	23.53	0.14	0.32
Tubería 1	2.02	18.18	0.06	0.23
Tubería 5	1.67	18.18	0.19	0.73
Tubería 12	3.52	18.18	0.00	0.00
Tubería 13	0.75	23.53	0.05	0.11
Tubería 14	1.00	23.53	0.14	0.33
Tubería 15	0.65	23.53	0.14	0.33
Tubería 16	1.98	23.53	0.11	0.25
Tubería 17	0.65	23.53	0.11	0.25

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EPANET 2.0.

3.1.6. Cálculo de pérdida de energía

Para calcular la pérdida de energía o pérdida de carga que se da por la fricción del agua en cada tramo de tubería, se utilizó la ecuación de Hazen & Williams (Ec. 7).

$$h_f = \frac{1743,811 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

$$h_f = \frac{1743,811 * 0,65 * 0,25^{1.85}}{150^{1.85} * 0,926^{4.87}} = 0,0122 \text{ m}$$

Aplicando la misma ecuación para cada uno de los tramos de tubería se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla XXI a la tabla XXIV.

Tabla XXI. **Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta alta**

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
22 ^a	39	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0122
39	40	3/4	0,926	0,11	0,25	0,0087
40	41	3/4	0,926	0,11	0,25	0,0033
41	42	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0114
41	43	3/4	0,926	0,05	0,12	0,0007
43	44	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0826
43	45	3/4	0,926	0,14	0,32	0,0096
45	46	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
45	39	3/4	0,926	0,14	0,32	0,0029
47	48	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
48	49	3/4	0,926	0,14	0,32	0,0042
49	37A	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0084
49	50	3/4	0,926	0,11	0,25	0,0081
50	51	3/4	0,926	0,11	0,25	0,0027
51	52	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0117
51	53	3/4	0,926	0,05	0,12	0,0007
53	54	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0845
53	48	3/4	0,926	0,14	0,32	0,0087
55	56	1/2	0,716	0,13	0,50	0,0673
56	57	3/4	0,926	0,08	0,18	0,0051
57	58	3/4	0,926	0,08	0,18	0,0036
58	59	3/4	0,926	0,08	0,18	0,0031
59	60	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0126
59	61	3/4	0,926	0,02	0,05	0,0001
61	62	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0924
61	63	3/4	0,926	0,17	0,39	0,0081
63	64	3/4	0,926	0,17	0,39	0,0092
64	10A	3/4	0,926	0,38	0,87	0,0399
64	56	3/4	0,926	0,21	0,48	0,0124

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EPANET 2.0.

Tabla XXII. Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría
planta baja

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
0	1	3/4	0,926	2,07	4,77	3,7458
1	2	3/4	0,926	0,00	0,00	0,0000
2	3	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
1	4	3/4	0,926	2,07	4,77	1,3110
4	5	3/4	0,926	0,94	2,16	0,2609
5	6	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0806
5	11	3/4	0,926	0,75	1,73	0,1217
11	12	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0112
11	9	3/4	0,926	0,69	1,59	0,1166
4	7	3/4	0,926	1,13	2,60	0,4431
7	8	3/4	0,926	0,49	1,13	0,0586
8	10	3/4	0,926	0,38	0,87	0,0317
10	10A	3/4	0,926	0,38	0,87	0,1457
8	9	3/4	0,926	0,11	0,25	0,0012
7	13	3/4	0,926	0,65	1,50	0,5548
13	14	1/2	0,716	0,12	0,46	0,0287
14	14A	3/4	0,926	0,06	0,14	0,0050
13	17	3/4	0,926	0,53	1,22	0,3050
17	18	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
17	19	3/4	0,926	0,53	1,22	0,0979
19	20	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0089
19	21	3/4	0,926	0,47	1,08	0,0482
21	22	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0212
22	22A	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0671
21	23	3/4	0,926	0,22	0,51	0,0629
23	24	3/4	0,926	1,01	2,33	0,3228
24	39	1/2	0,716	0,13	0,50	0,0556
24	26	3/4	0,926	0,88	2,03	0,2790
26	C	3/4	0,926	0,50	1,15	0,0690
26	27	3/4	0,926	0,38	0,87	0,0468
27	31	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
27	28	3/4	0,926	0,38	0,87	0,0468
28	29	3/4	0,926	0,15	0,35	0,0047
29	30	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
29	32	3/4	0,926	0,15	0,35	0,0047
32	33	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
32	36	3/4	0,926	0,15	0,35	0,0106
35	36	1/2	0,716	0,13	0,50	0,0713
34	36	3/4	0,926	0,02	0,05	0,0001
28	34	3/4	0,926	0,23	0,53	0,0225

Continuación de la tabla XXII.

34	37	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0184
37	37A	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0671
23	25	3/4	0,926	0,79	1,82	0,2884
25	9	3/4	0,926	0,79	1,82	0,7328

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EPANET 2.0.

Tabla XXIII. Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta alta

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
22A	25	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0374
25	26	3/4	0,724	0,08	0,30	0,0076
26	27	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0596
26	28	3/4	0,724	0,02	0,08	0,0007
28	29	3/4	0,724	0,02	0,08	0,0006
25	29	3/4	0,724	0,11	0,41	0,0075
29	30	1/2	0,528	0,13	0,92	0,3270
15A	31	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0077
31	32	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0042
32	33	3/4	0,724	0,05	0,19	0,0025
33	34	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0535
32	35	3/4	0,724	0,01	0,04	0,0003
33	36	3/4	0,724	0,01	0,04	0,0003
35	36	3/4	0,724	0,01	0,04	0,0002
36	37	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
38	39	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0607
39	40	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0011
40	41	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0021
41	42	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0011
39	42	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0017
42	43	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
8A	41	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0029

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EPANET 2.0.

Tabla XXIV. Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta baja

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
C	1	3/4	0,724	0,50	1,88	0,1793
1	2	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0468
2	3	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
2	4	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0281
4	5	3/4	0,724	0,08	0,30	0,0057
5	6	3/4	0,724	0,08	0,30	0,0132
6	7	3/4	0,724	0,05	0,19	0,0024
4	7	3/4	0,724	0,11	0,41	0,0191
5	9	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
6	10	1/2	0,528	0,13	0,92	0,3141
7	8	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0052
8	8A	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0159
1	11	3/4	0,724	0,31	1,17	0,3471
11	12	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0180
12	13	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0009
13	14	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
12	17	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0019
13	16	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0017
15	16	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0057
16	17	3/4	0,724	0,03	0,11	0,0004
15	15A	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0159
11	18	3/4	0,724	0,25	0,94	0,2785
18	19	3/4	0,724	0,25	0,94	0,0933
19	23	3/4	0,724	0,15	0,56	0,0193
23	24	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0473
19	20	3/4	0,724	0,10	0,38	0,0140
20	21	3/4	0,724	0,10	0,38	0,0091
21	22	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0367
21	23	3/4	0,724	0,09	0,34	0,0061
22	22A	3/4	0,724	0,19	0,72	0,1340

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EPANET 2.0.

3.1.7. Cálculo de presiones (m.c.a.)

EPANET 2.0 permite determinar la presión exacta en cada nudo de la red. Para que el software pueda simular el sistema hidráulico lo más realista posible, se deben incluir los artefactos o elementos externos que influyan en la presión de la red, tales como: conexión domiciliar (ver tabla XI), el calentador de agua, que en este caso por ser un calentador de paso eléctrico presenta una pérdida de carga de 10,0448 m.c.a. considerando una simultaneidad de dos duchas y las subidas de agua hacia el segundo nivel que son de 3 m.c.a. Es importante considerar estos factores dado que cada uno de ellos produce una pérdida de energía y, por consiguiente, una disminución de presión en el sistema.

Al inicio, se consideró una presión de entrada desde la red municipal de 20 m.c.a. y a partir de ahí se colocaron en el programa los datos puntuales de pérdida según corresponde para realizar la simulación con éxito y obtener la presión exacta en cada punto de consumo. Dichas presiones fueron proporcionadas por EPANET 2.0 y se presentan junto al resumen completo de cálculos hidráulicos en el apéndice 1 para la instalación de agua fría y apéndice 2 para la de agua caliente. En ellos se puede visualizar que, en el punto crítico de la vivienda, la ducha del segundo nivel del cuarto principal, se tiene una presión de servicio de 0,13 m.c.a. cuando se requiere de agua caliente lo cual claramente indica la ineficiencia del sistema para el caso estudiado.

3.1.8. Planos

En el apéndice 5 se presentan los planos correspondientes a un sistema típico de agua potable en vivienda unifamiliar de dos niveles en Guatemala. Entre ellos se encuentra la planta instalación de agua potable fría y agua caliente del modelo empírico y posteriormente el isométrico de cada una de las plantas.

3.1.9. Integración de costos unitarios

Para la integración de costos unitarios se consideraron los precios proporcionados por el catálogo de la empresa AMANCO, 2021. Este indica los precios de los materiales por utilizar para la instalación de agua fría y agua caliente; por otro lado, la mano de obra se cotizó según el tipo de proyecto y su magnitud.

Tabla XXV. Integración de costos unitarios instalación de agua fría

INTEGRACIÓN DE COSTOS UNITARIOS						
VIVIENDA UNIFAMILIAR						
RENLÓN: INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
DESCRIPCIÓN		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA			
MATERIALES						
Tubo PVC Ø 1/2" SDR 13.5	Tubos 6 m.	14,50	15,50	Q 39,95	Q	199,75
Tubo PVC Ø 3/4" SDR 17	Tubos 6 m.	50,45	13,85	Q 51,48	Q	551,69
Codo 90° cementada Ø 1/2"	Unidad	14	12	Q 2,18	Q	56,68
Codo 90° cementada Ø 3/4"	Unidad	5	8	Q 3,03	Q	39,39
Tee cementada Ø 3/4"	Unidad	20	12	Q 3,64	Q	116,48
Tee cementada Ø 1/2"	Unidad	8	6	Q 2,78	Q	38,92
Reducidor Bushing liso 3/4" X 1/2"	Unidad	11	9	Q 2,21	Q	44,20
Tapón hembra Ø 1/2"	Unidad	7	6	Q 2,18	Q	28,34
Pegamento para PVC 240 ml	1/16 Galón	0,6	0,4	Q 39,37	Q	39,37
Total de materiales con IVA					Q	1 114,82
TOTAL DE MATERIAL SIN IVA					Q	995,38

Continuación de tabla XXV.

HERRAMIENTA Y EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Herramientas y equipo para instalación de agua fría (10% de mano de obra)	Global	10%		Q 4 257,24	Q 425,72
Total de herramienta y equipo con IVA					Q 425,72
TOTAL DE HERRAMIENTA Y EQUIPO SIN IVA					Q 380,11
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA		
Trazo y estaqueado	m.l.	64,95	29,35	Q 19,05	Q 1 796,42
Excavación terreno duro hasta 0.5 m	m³	13,81	0,00	Q 16,62	Q 229,60
Acarreo de tierra	m³	13,81	0,00	Q 16,46	Q 227,39
Relleno a mano por capas	m³	13,81	0,00	Q 24,32	Q 335,98
Instalación de tubería PVC	m.l.	64,95	29,35	Q 3,89	Q 366,83
Colocación de accesorios PVC	unidad	65,00	53,00	Q 3,81	Q 449,58
Subtotal mano de obra					Q 3 405,80
AYUDANTES				15%	Q 510,87
PRESTACIONES				10%	Q 340,58
TOTAL MANO DE OBRA					Q 4 257,24
TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):					Q 5 632,73
TOTAL COSTO INDIRECTO (administrativos + fianzas + supervisión + UTILIDAD):				32%	Q 1 802,47
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):					Q 7 435,21
IVA				12%	Q 892,23
TOTAL					Q 8 327,43

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Integración de costos unitarios instalación de agua caliente

INTEGRACIÓN DE COSTOS UNITARIOS					
VIVIENDA UNIFAMILIAR					
REGLÓN: INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DESCRIPCIÓN		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA		
MATERIALES					
Tubo CPVC Ø 1/2" SDR 11	Tubos 6 m.	8,05	13,10	Q 157,21	Q 554,17
Tubo CPVC Ø 3/4" SDR 11	Tubos 6 m.	33,05	12,75	Q 263,34	Q 2 010,16
Codo a 90° Ø 1/2"	Unidad	6	9	Q 8,89	Q 133,35
Codo a 90° Ø 3/4"	Unidad	8	7	Q 21,44	Q 321,60
Tapón hembra Ø 1/2"	Unidad	4	3	Q 12,19	Q 85,33
Tee Ø 1/2"	Unidad	4	3	Q 10,27	Q 71,89
Tee Ø 3/4"	Unidad	13	9	Q 24,05	Q 529,10
Reductor Bushing liso 3/4" X 1/2"	Unidad	5	6	Q 9,00	Q 99,00
Pegamento para CPVC	1/32 Galón	0,7	0,3	Q 57,75	Q 57,75
Calentador de paso eléctrico 220V marca Stiebel Eltron	Unidad	1	0	Q 4 395,00	Q 4 395,00
Total de materiales con IVA					Q 8 257,35
TOTAL DE MATERIAL SIN IVA					Q 7 372,63
HERRAMIENTA Y EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Herramientas y equipo para instalación de agua caliente (10% de mano de obra)	Global	10%		Q 2 974,29	Q 297,43
Total de herramienta y equipo con IVA					Q 297,43
TOTAL DE HERRAMIENTA Y EQUIPO SIN IVA					Q 265,56

Continuación de tabla XXVI.

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA		
Trazo y estaqueado	m.l.	41,10	25,85	Q 19,05	Q 1 275,40
Excavación terreno duro hasta 0.5 m	m³	8,74	0,00	Q 16,62	Q 145,29
Acarreo de tierra	m³	8,74	0,00	Q 16,46	Q 143,89
Relleno a mano por capas	m³	8,74	0,00	Q 24,32	Q 212,60
Instalación de tubería CPVC	m.l.	41,10	25,85	Q 4,05	Q 271,15
Colocación de accesorios CPVC	unidad	40	37	Q 4,30	Q 331,10
Subtotal mano de obra					Q 2 379,43
AYUDANTES				15%	Q 356,92
PRESTACIONES				10%	Q 237,94
TOTAL MANO DE OBRA					Q 2 974,29
TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):					Q 10 612,49
TOTAL COSTO INDIRECTO (administrativos + fianzas + supervisión + UTILIDAD):				32%	Q 3 396,00
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):					Q 14 008,48
IVA				12%	Q 1 681,02
TOTAL					Q 15 689,50

Fuente: elaboración propia.

3.2. Sistema hidráulico (aplicando ingeniería)

Como parte del proceso comparativo de esta investigación se utilizó un segundo modelo donde se aplicó ingeniería hidráulica para optimizar el sistema de una red de agua potable en una vivienda unifamiliar planteada en base a los incisos que se desglosan a continuación.

3.2.1. Descripción del sistema

Para el sistema de agua potable en el cual se aplicó ingeniería hidráulica, se consideraron las rutas de tubería que mejor funcionan para la red en conjunto; siendo estas directas, evitando tramos innecesarios donde el flujo del agua sea muy bajo o casi nulo y con sus diámetros óptimos a fin de minimizar las pérdidas de carga por la fricción en la tubería, mejorar la presión de llegada a cada punto de consumo o artefacto sanitario y disminuir los costos al comprar e instalar una menor cantidad de tubos, tanto en la red de agua fría como en la de agua caliente.

3.2.2. Longitud total de cada tramo

Este tema se desglosa detalladamente en la sección 3.1.2.

3.2.2.1. Longitud física

Este tema se desglosa detalladamente en la sección 3.1.2.1.

3.2.2.2. Longitud equivalente por accesorios

Este tema se desglosa detalladamente en la sección 3.1.2.2. Ver tabla XI.

Tabla XXVII. Cantidad de tubos PVC y CPVC en el sistema hidráulico

CANTIDAD DE TUBOS PVC	
No. TUBOS	MATERIAL
3	PVC Ø 1/2"
4	PVC Ø 3/4"
7	PVC Ø 1"
CANTIDAD DE TUBOS CPVC	
No. TUBOS	MATERIAL
3	CPVC Ø 1/2"
3	CPVC Ø 3/4"

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Longitud total en instalación de agua fría planta alta

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
31A	32	0,45	1,19	1,64
32	33	0,95	0,35	1,30
33	34	0,40	0,57	0,97
34	35	1,35	0,94	2,29
33	36	1,05	1,16	2,21
32	37	2,90	1,16	4,06
19A	38	0,35	1,19	1,54
38	43	2,75	1,16	3,91
38	39	1,15	0,45	1,60
39	40	0,40	0,47	0,87
40	41	1,30	0,94	2,24
39	42	1,00	1,16	2,16
5A	46	0,40	1,19	1,59
44	45	2,40	1,16	3,56
45	46	0,40	0,58	0,98
46	47	0,30	0,35	0,65
47	C	0,20	0,00	0,20
47	48	0,35	0,58	0,93
48	49	0,30	0,45	0,75
49	50	1,05	1,16	2,21
49	51	0,35	0,47	0,82
51	52	1,35	0,94	2,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Longitud total en instalación de agua fría planta baja

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
0	1	3,80	0,45	4,25
1	2	1,35	0,53	1,88
2	3	0,65	0,71	1,36
3	4	0,55	0,71	1,26
4	5	0,20	0,71	0,91
5	5A	3,00	0,00	3,00
2	6	0,85	0,28	1,13
6	7	0,65	0,28	0,93
7	52	0,60	0,94	1,54
7	54	0,35	0,47	0,82
54	53	0,65	0,94	1,59
6	8	1,05	0,94	1,99
1	9	5,85	0,71	6,56
9	10	2,00	0,45	2,45
10	11	0,85	1,07	1,92
11	11A	3,00	0,00	3,00
10	12	2,60	0,45	3,05
12	C	0,65	0,00	0,65
12	13	1,10	0,45	1,55
13	14	1,25	1,29	2,54
13	15	1,85	0,71	2,56
15	16	0,95	0,45	1,40
16	17	0,65	1,07	1,72
16	18	0,45	0,45	0,90
18	19	0,35	0,71	1,06
19	19A	3,00	0,00	3,00
18	20	2,50	0,45	2,95
20	21	2,30	1,29	3,59
20	22	1,90	0,45	2,35
22	23	2,00	1,29	3,29
22	24	0,90	0,45	1,35
24	32	0,45	0,71	1,16
32	C	0,85	0,00	0,85
24	25	1,60	0,45	2,05
25	26	1,35	1,07	2,42

Continuación de la tabla XXIX.

25	27	0,30	0,45	0,75
27	28	1,05	1,29	2,34
27	29	1,05	0,45	1,50
29	30	2,80	1,29	4,09
29	31	0,40	0,71	1,11
31	31A	3,00	0,00	3,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Longitud total en instalación de agua caliente planta alta**

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
C	21	0,30	0,28	0,58
21	22	0,75	0,47	1,22
22	23	1,50	0,94	2,44
21	24	0,70	0,47	1,17
24	25	2,50	0,94	3,44
3A	16	0,50	0,96	1,46
16	19	0,40	0,47	0,87
19	20	1,10	0,94	2,04
16	17	1,15	0,47	1,62
17	18	2,50	0,94	3,44
14	15	1,05	0,94	1,99
12	14	1,35	0,47	1,82
12	13	2,50	0,94	3,44
8A	12	0,65	0,96	1,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Longitud total en instalación de agua caliente planta baja**

Tramo		Longitud (m)		
De	A	Longitud física	Longitud equivalente por accesorios	Longitud total
C	1	0,50	0,58	1,08
1	2	0,65	0,58	1,23
2	3	0,95	0,93	1,88
3	3A	3,00	0,00	3,00
C	4	0,45	0,35	0,8
4	5	1,05	1,16	2,21
4	6	0,35	0,35	0,70
6	10	0,95	0,58	1,53
10	11	1,65	1,16	2,81
6	7	1,05	0,35	1,40
7	9	2,50	1,16	3,66
7	8	0,60	0,58	1,18
8	8A	3,00	0,00	3,00

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Dimensionamiento de tubería

Al tener localizados dentro de la vivienda cada uno de los puntos de consumo de la instalación de agua potable, se evaluaron las variantes que intervienen en el sistema para determinar el diámetro de tubería óptimo en cada tramo de la red y que, a la vez, represente un menor costo tanto en instalación como en materiales.

El análisis hidráulico-económico permite elegir el diámetro de tubería que mejor convenga en el sistema y va ligado principalmente a las siguientes tres interrogantes: ¿cuánta pérdida de carga me representa utilizar la tubería de este diámetro?, ¿con cuánta presión me llega el agua a este artefacto si utilizo este diámetro?, y ¿qué costo me representa comprar e instalar la tubería con sus respectivos accesorios si es de este diámetro? A partir de ahí, la selección del diámetro para cada tramo depende del criterio del diseñador o quién esté a cargo.

En el sistema propuesto donde se aplicó ingeniería y el respectivo análisis hidráulico para el dimensionamiento de la tubería, se utilizó tubería PVC 1120 ASTM D 2241 de diámetro de 1" para la red principal de agua y tubería de ¾" y ½" de diámetro para los ramales secundarios según su eficiencia y costo; esto para la instalación de agua fría. Por otro lado, para la instalación de agua caliente, se utilizó tubería CPCV 1120 ASTM D 2241 de ¾" y ½" de diámetro según los criterios previamente mencionados.

Tabla XXXII. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta alta**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
31A	32	Circuito	3/4
32	33	Circuito	3/4
33	34	Circuito	1/2
34	35	Lavamanos	1/2
33	36	Inodoro de tanque	3/4
32	37	Ducha	3/4
19A	38	Circuito	3/4
38	43	Ducha	3/4
38	39	Circuito	3/4
39	40	Circuito	½
40	41	Lavamanos	½
39	42	Inodoro de tanque	¾
5A	46	Circuito	¾
44	45	Ducha	¾
45	46	Circuito	¾
46	47	Circuito	3/4
47	C	Circuito	3/4
47	48	Circuito	3/4
48	49	Circuito	3/4
49	50	Inodoro de tanque	3/4
49	51	Circuito	1/2
51	52	Lavamanos	1/2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua fría planta baja**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
0	1	Circuito	1
1	2	Circuito	1
2	3	Circuito	1
3	4	Circuito	1
4	5	Circuito	1
5	5A	Sube a 2N	1
2	6	Circuito	1/2
6	7	Circuito	1/2
7	52	Inodoro de tanque	1/2
7	54	Circuito	1/2
54	53	Grifo para manguera	1/2
6	8	Lavamanos	1/2
1	9	Circuito	1
9	10	Circuito	1
10	11	Grifo	1/2
11	11A	Sube a 2N	1/2
10	12	Circuito	1
12	C	Circuito	1
12	13	Circuito	1
13	14	Fregadero de cocina	3/4
13	15	Circuito	1
15	16	Circuito	1
16	17	Grifo para manguera	1/2
16	18	Circuito	1
18	19	Circuito	1
19	19A	Sube a 2N	1
18	20	Circuito	1
20	21	Pila	3/4
20	22	Circuito	1
22	23	Lavadora	3/4
22	24	Circuito	1
24	32	Circuito	1
32	C	Circuito	1
24	25	Circuito	1
25	26	Lavamanos	1/2

Continuación de la tabla XXXIII.

25	27	Circuito	1
27	28	Inodoro de tanque	3/4
27	29	Circuito	1
29	30	Ducha	3/4
29	31	Circuito	1
31	31A	Sube a 2N	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta alta**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
C	21	Circuito	1/2
21	22	Circuito	1/2
22	23	Lavamanos	1/2
21	24	Circuito	1/2
24	25	Ducha	1/2
3A	16	Circuito	1/2
16	19	Circuito	1/2
19	20	Lavamanos	1/2
16	17	Circuito	1/2
17	18	Ducha	1/2
14	15	Lavamanos	1/2
12	14	Circuito	1/2
12	13	Ducha	1/2
8A	12	Circuito	1/2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Dimensionamiento de tubería en instalación de agua caliente planta baja**

Tramo		Descripción	Diámetro nominal (pulg)
De	A		
C	1	Circuito	3/4
1	2	Circuito	3/4
2	3	Fregadero de cocina	3/4
3	3A	Sube a 2N	3/4
C	4	Circuito	3/4
4	5	Lavamanos	3/4
4	6	Circuito	3/4
6	10	Circuito	3/4
10	11	Lavadora	3/4
6	7	Circuito	3/4
7	9	Ducha	3/4
7	8	Circuito	3/4
8	8A	Sube a 2N	3/4

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Determinación de caudal (l/s)

Para este sistema se utilizó el método de Hunter el cual establece cierta cantidad de unidades de consumo y caudal (l/s) para cada artefacto sanitario, así que, aplicando el factor de simultaneidad (ver sección 1.4.3.3 y 1.4.3.4), se determinó la cantidad de unidades Hunter que se requiere en cada ambiente, en cada punto de consumo y posteriormente en toda la vivienda.

Entre más Unidades Hunter se necesiten en la vivienda, más caudal debe ingresar a ella para satisfacer cada punto de consumo cuando se precise. En este caso se cuantificó un total de 60 U.H que representa un caudal de 2,02 l/s, incluyendo la instalación de agua fría y la de agua caliente.

Dicho caudal ingresa a la vivienda de forma directa por la conexión domiciliar y se distribuye por toda la tubería según la configuración de la red hasta el punto más lejano (crítico).

3.2.5. Cálculo de velocidad (m/s)

El cálculo de la velocidad del flujo del agua en cada tramo de tubería, el principal y el secundario, se realiza en función del caudal que la recorre y su diámetro (Ec. 8).

$$V = \frac{1,974 * Q}{D^2}$$

$$V = \frac{1,974 * 0,26}{0,926^2} = 0,598 \text{ m/s}$$

Aplicando la misma ecuación para cada uno de los tramos de tubería se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla XXXVI a la XXXIX. Cabe aclarar que, en algunos tramos de la red, tanto de agua fría como de agua caliente, se cuenta con un flujo de 0 m/s debido a que se estableció que el artefacto sanitario conectado a ese tramo, no estaría en uso al momento de analizar el modelo hidráulicamente y de acuerdo con el criterio de simultaneidad aplicado, en donde de manera realista se asume que es casi improbable que todos y cada uno de los artefactos sanitarios instalados en la vivienda necesiten ser alimentados a una misma vez.

3.2.6. Cálculo de pérdida de energía

Este tema se desglosa detalladamente en la sección 1.4.4.2 y los cálculos son iguales a los mencionados en la sección 3.1.6.

$$h_f = \frac{1743,811 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

$$h_f = \frac{1743,811 * 1,64 * 0,26^{1.85}}{150^{1.85} * 0,926^{4.87}} = 0,0331 \text{ m}$$

Aplicando la misma ecuación para cada uno de los tramos de tubería se obtienen los resultados mostrados en la tabla XXXVI a la XXXIX.

Tabla XXXVI. Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta alta

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
31A	32	3/4	0,926	0,26	0,60	0,0331
32	33	3/4	0,926	0,26	0,60	0,0262
33	34	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0045
34	35	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0107
33	36	3/4	0,926	0,19	0,44	0,0249
32	37	3/4	0,926	0,00	0,00	0,0000
19A	38	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0289
38	43	3/4	0,926	0,00	0,00	0,0000
38	39	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0300
39	40	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0041
40	41	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0105
39	42	3/4	0,926	0,19	0,44	0,0244
5A	46	3/4	0,926	0,57	1,31	0,1370
44	45	3/4	0,926	0,13	0,30	0,0199
45	46	3/4	0,926	0,13	0,30	0,0055
46	47	3/4	0,926	0,57	1,31	0,0560
47	C	3/4	0,926	0,19	0,44	0,0023
47	48	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0174
48	49	3/4	0,926	0,25	0,58	0,0141
49	50	3/4	0,926	0,19	0,44	0,0249
49	51	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0038
51	52	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0107

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua fría planta baja**

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
0	1	1	1,161	2,02	2,96	1,2644
1	2	1	1,161	0,82	1,20	0,1055
2	3	1	1,161	0,57	0,83	0,0389
3	4	1	1,161	0,57	0,83	0,0361
4	5	1	1,161	0,57	0,83	0,0261
5	5A	1	1,161	0,57	0,83	0,0859
2	6	1/2	0,716	0,25	0,96	0,0742
6	7	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0367
7	52	1/2	0,716	0,19	0,73	0,0608
7	54	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
54	53	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000
6	8	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0093
1	9	1	1,161	1,20	1,76	0,7447
9	10	1	1,161	1,20	1,76	0,2781
10	11	1/2	0,716	0,12	0,46	0,0324
11	11A	1/2	0,716	0,06	0,23	0,0140
10	12	1	1,161	1,08	1,58	0,2849
12	C	1	1,161	0,19	0,28	0,0024
12	13	1	1,161	1,02	1,49	0,1303
13	14	3/4	1,161	0,00	0,00	0,0000
13	15	1	1,161	1,02	1,49	0,2152
15	16	1	1,161	1,02	1,49	0,1177
16	17	1/2	1,161	0,06	0,09	0,0008
16	18	1	1,161	0,96	1,41	0,0676
18	19	1	1,161	0,25	0,37	0,0066
19	19A	1	1,161	0,25	0,37	0,0187
18	20	1	1,161	0,71	1,04	0,1268
20	21	3/4	0,926	0,13	0,30	0,0201
20	22	1	1,161	0,58	0,85	0,0695
22	23	3/4	0,926	0,00	0,00	0,0000
22	24	1	1,161	0,58	0,85	0,0399
24	32	1	1,161	0,19	0,28	0,0044
32	C	1	1,161	0,19	0,28	0,0032
24	25	1	1,161	0,39	0,57	0,0291
25	26	1/2	0,716	0,00	0,00	0,0000

Continuación de la tabla XXXVII.

25	27	1	1,161	0,39	0,57	0,0106
27	28	¾	0,926	0,00	0,00	0,0000
27	29	1	1,161	0,39	0,57	0,0213
29	30	¾	0,926	0,13	0,30	0,0229
29	31	1	1,161	0,26	0,38	0,0074
31	31A	1	1,161	0,26	0,38	0,0201

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta alta**

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
C	21	1/2	0,528	0,19	1,35	0,1010
21	22	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0252
22	23	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0504
21	24	1/2	0,528	0,13	0,92	0,1009
24	25	1/2	0,528	0,13	0,92	0,2968
3A	16	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0301
16	19	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0180
19	20	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0421
16	17	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
17	18	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
14	15	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0411
12	14	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0376
12	13	1/2	0,528	0,00	0,00	0,0000
8A	12	1/2	0,528	0,06	0,42	0,0332

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Resumen de datos hidráulicos en instalación de agua caliente planta baja**

Tramo		Diámetro nominal (pulg)	Diámetro interno (pulg)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)
De	A					
C	1	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0404
1	2	3/4	0,724	0,13	0,49	0,0228
2	3	3/4	0,724	0,13	0,49	0,0349
3	3A	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0133
C	4	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0299
4	5	3/4	0,724	0,00	0,00	0,0000
4	6	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0262
6	10	3/4	0,724	0,00	0,00	0,0000
10	11	3/4	0,724	0,00	0,00	0,0000
6	7	3/4	0,724	0,19	0,72	0,0524
7	9	3/4	0,724	0,13	0,49	0,0679
7	8	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0052
8	8A	3/4	0,724	0,06	0,23	0,0133

Fuente: elaboración propia.

3.2.7. Cálculo de presiones (m.c.a.)

Para determinar la presión de servicio que llega a cada punto de consumo, inicialmente se consideró una presión de entrada desde la red municipal de 20 m.c.a. y a partir de ahí se tomaron en cuenta los artefactos o elementos externos que influyen en la presión de la red tales como: conexión domiciliar (ver tabla XI), los calentadores de agua y las subidas de agua hacia el segundo nivel que son de 3 m.c.a.

Con el objetivo de mejorar el sistema, en lugar de utilizar un calentador general para suplir la demanda de toda la vivienda, se propusieron tres calentadores individuales colocados estratégicamente donde se requiera agua caliente.

Si se considera la simultaneidad de una ducha y un lavamanos, estos calentadores representan una pérdida de 8,6187 m.c.a cada uno, según el gráfico mostrado en la figura 7. Al instalarlos cerca de los puntos de consumo de agua caliente se mejoran las presiones de servicio, obteniendo un sistema más directo y disminuyendo en gran manera las pérdidas de energía por fricción en la tubería, sin tanta ramificación secundaria y sin tantas pérdidas de carga menores.

Dichas presiones se presentan junto al resumen completo de cálculos hidráulicos en el apéndice 3 para la instalación de agua fría y apéndice 4 para la de agua caliente. En ellos se puede visualizar como aplicando ingeniería hidráulica se eleva la presión de servicio en el punto crítico de la vivienda, correspondiente a la ducha del segundo nivel del cuarto principal, la cual es de 4,03 m.c.a. cuando se requiere agua caliente.

3.2.8. Planos

En el apéndice 6 se presentan los planos correspondientes a un sistema de agua potable en vivienda unifamiliar de dos niveles en Guatemala. Entre ellos se encuentra la planta instalación de agua potable fría y agua caliente del modelo aplicando ingeniería hidráulica y posteriormente el isométrico de cada una de las plantas.

3.2.9. Integración de costos unitarios

Para la integración de costos unitarios se utilizaron los mismos precios considerados en el modelo empírico (sin aplicar ingeniería). Estos se obtuvieron del catálogo de AMANCO-WAVIN 2021 y la mano de obra según la cotización relacionada al tipo de proyecto y su magnitud.

Tabla XL. Integración de costos unitarios instalación de agua fría

INTEGRACIÓN DE COSTOS UNITARIOS						
VIVIENDA UNIFAMILIAR						
REGLÓN: INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
DESCRIPCIÓN		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA			
MATERIALES						
Tubo PVC Ø 1/2" SDR 13.5	Tubos 6 m.	10,00	5,15	Q 39,95	Q	100,87
Tubo PVC Ø 3/4" SDR 17	Tubos 6 m.	9,40	16,00	Q 51,48	Q	217,93
Tubo PVC Ø 1" SDR 17	Tubos 6 m.	41,30	0,00	Q 79,65	Q	548,26
Codo 90° cementada Ø 1/2"	Unidad	13	10	Q 2,18	Q	50,14
Codo 90° cementada Ø 3/4"	Unidad	10	14	Q 3,03	Q	72,72
Codo 90° cementada Ø 1"	Unidad	8	3	Q 6,68	Q	73,48
Tee cementada Ø 1/2"	Unidad	2	0	Q 2,78	Q	5,56
Tee cementada Ø 3/4"	Unidad	0	7	Q 3,64	Q	25,48
Tee cementada Ø 1"	Unidad	13	0	Q 6,68	Q	86,84
Reductor Bushing liso 3/4" X 1/2"	Unidad	0	3	Q 2,21	Q	6,63
Reductor Bushing liso 1" X 1/2"	Unidad	4	0	Q 4,48	Q	17,92
Reductor Bushing liso 1" X 3/4"	Unidad	5	3	Q 4,28	Q	34,24
Pegamento para PVC 240 ml	1/32 Galón	0,7	0,3	Q 28,87	Q	28,87
Total de materiales con IVA					Q	1 268,94
TOTAL DE MATERIAL SIN IVA					Q	1 132,99
HERRAMIENTA Y EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
Herramientas y equipo para instalación de agua fría (10% de mano de obra)	Global	10%		Q 3 725,84	Q	372,58
Total de herramienta y equipo con IVA					Q	372,58
TOTAL DE HERRAMIENTA Y EQUIPO SIN IVA					Q	332,66

Continuación de tabla XL.

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA		
Trazo y estaqueado	m.l.	60,70	21,15	Q 19,05	Q 1 559,24
Excavación terreno duro hasta 0.5 m	m³	12,91	0,00	Q 16,62	Q 214,58
Acarreo de tierra	m³	12,91	0,00	Q 16,46	Q 212,51
Relleno a mano por capas	m³	12,91	0,00	Q 24,32	Q 313,99
Instalación de tubería PVC	m.l.	60,70	21,15	Q 3,89	Q 318,40
Colocación de accesorios PVC	m.l.	55,00	40,00	Q 3,81	Q 361,95
Subtotal mano de obra					Q 2 980,67
AYUDANTE				15%	Q 447,10
PRESTACIONES				10%	Q 298,07
TOTAL MANO DE OBRA					Q 3 725,84
TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):					Q 5 191,49
TOTAL COSTO INDIRECTO (administrativos + fianzas + supervisión + UTILIDAD):				32%	Q 1 661,28
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):					Q 6 852,77
IVA				12%	Q 822,33
TOTAL					Q 7 675,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Integración de costos unitarios instalación de agua caliente

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
VIVIENDA UNIFAMILIAR					
REGLÓN: INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DESCRIPCIÓN		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA		
MATERIALES					
Tubo CPVC Ø 1/2" SDR 11	Tubos 6 m.	0,00	16,95	Q 157,21	Q 444,12
Tubo CPVC Ø 3/4" SDR 11	Tubos 6 m.	16,70	0,00	Q 263,34	Q 732,96
Codo a 90° Ø 1/2"	Unidad	0	17	Q 8,89	Q 151,13
Codo a 90° Ø 3/4"	Unidad	12	2	Q 21,44	Q 300,16
Tee Ø 1/2"	Unidad	0	3	Q 10,27	Q 30,81
Tee Ø 3/4"	Unidad	3	0	Q 24,05	Q 72,15
Reductor Bushing 3/4" X 1/2"	Unidad	0	2	Q 9,00	Q 18,00
Pegamento para CPVC	1/32 Galón	0,50	0,2	Q 57,75	Q 40,43
Calentador de paso eléctrico BOSCH Tronic 4000	Unidad	2	0	Q 2 400,00	Q 4 800,00
Calentador de paso eléctrico BOSCH Tronic 3000	Unidad	0	1	Q 1 600,00	Q 1 600,00
Total de materiales con IVA					Q 8 189,76
TOTAL DE MATERIAL SIN IVA					Q 7 312,28
HERRAMIENTA Y EQUIPO					
DESCRIPCIÓN REGLÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Herramientas y equipo para instalación de agua caliente (10% de mano de obra)	Global	10%		Q 1 436,13	Q 143,61
Total de herramienta y equipo con IVA					Q 143,61
TOTAL DE HERRAMIENTA Y EQUIPO SIN IVA					Q 128,23

Continuación de tabla XLI.

MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN REGLÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
		PLANTA BAJA	PLANTA ALTA			
Trazo y estaqueado	m.l.	16,70	16,95	Q 19,05	Q	641,03
Excavación terreno duro hasta 0.5 m	m³	3,55	0,00	Q 16,62	Q	59,04
Acarreo de tierra	m³	3,55	0,00	Q 16,46	Q	58,47
Relleno a mano por capas	m³	3,55	0,00	Q 24,32	Q	86,39
Instalación de tubería CPVC	m.l.	16,70	16,95	Q 4,05	Q	136,28
Colocación de accesorios CPVC	unidad	15	24	Q 4,30	Q	167,70
Subtotal mano de obra					Q	1 148,90
AYUDANTE				15%	Q	172,34
PRESTACIONES				10%	Q	114,89
TOTAL MANO DE OBRA					Q	1 436,13
TOTAL COSTO DIRECTO (materiales + equipo + combustibles + mano de obra + otros):					Q	8 876,64
TOTAL COSTO INDIRECTO (administrativos + fianzas + supervisión + UTILIDAD):				32%	Q	2 840,52
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):					Q	11 717,16
IVA				12%	Q	1 406,06
TOTAL					Q	13 123,22

Fuente: elaboración propia.

3.3. Análisis hidráulico y económico de los sistemas evaluados

Analizando el modelo empírico, se prestó atención a ciertos tramos de tubería de los circuitos cerrados como por ejemplo el tramo 32 – 35 de la planta alta (ver apéndice 1) donde se tienen velocidades muy bajas de hasta 0,04 m/s y caudal de 0,01 l/s. El que los valores sean tan bajos indica la irrelevancia de esa ruta de tubería, porque pese a que sirva para darle continuidad al flujo del agua dentro de la vivienda, el que haya una cantidad excesiva de tubería instalada para interconectar toda la red entre sí, influye negativamente en todo el sistema y más específicamente en los puntos de consumo ya que la presión de servicio es menor y por consiguiente, la cantidad de agua que llega (caudal), también.

Otro punto por destacar de la velocidad baja en estos tramos de tubería es que esto provoca el envejecimiento del agua y dado que esta prácticamente no se mueve, perjudica el sistema y lo vuelve deficiente en cuanto a la calidad de la misma.

Para el sistema de agua caliente, se instaló un calentador general de paso eléctrico que provoca una pérdida de energía de 10,0448 m.c.a. Este se colocó en la lavandería situada en la planta baja de la vivienda y se conectó hacia cada artefacto sanitario. Cabe mencionar que al ser un circuito cerrado de agua caliente que va desde el primer nivel, se tienen tramos con mucha longitud que hacen muy tardada la llegada del agua caliente para alcanzar la temperatura de confort de aproximadamente 45 °C hacia los artefactos más lejanos, volviendo ineficiente el sistema y presentando un desperdicio de agua que se debería evitar. Así también, al aumentarse la cantidad de nodos por los tramos que se conectan entre sí, los accesorios potencian los posibles puntos de falla dentro del sistema.

Ahora bien, para realizar el análisis del segundo modelo aplicando ingeniería hidráulica, al ser este un diseño de circuitos abiertos se destacan tres datos fundamentales los cuales son: el diámetro de tubería, la pérdida de carga por fricción y la presión en ella. El diámetro de tubería es inversamente proporcional a la pérdida de carga y la pérdida de carga es directamente proporcional a la disminución de la presión en el sistema. Es decir, si en una instalación de agua potable utilizó una tubería de mayor diámetro, esta va a generar una menor pérdida de carga por fricción y, por consiguiente, se tendrá una mayor presión en el punto de alimentación. Por otro lado, si se utiliza una tubería de menor diámetro, esta va a generar una mayor pérdida de carga y, por lo tanto, se tendrá una menor presión en el punto de alimentación.

Al inicio, en el tramo 0 – 1 después de la conexión domiciliar, se propone un cambio en el diámetro de la tubería de la instalación de agua fría, aumentando la sección de $\frac{3}{4}$ " de diámetro a una de 1". Esto influye directamente en la velocidad de entrada del flujo de agua, disminuyéndola de 4,77 m/s a 2,96 m/s lo cual mejora el sistema, ya que el primer valor es demasiado elevado y peligroso para una red de distribución de agua.

En el resto del sistema, para determinar el diámetro de tubería óptimo, en este caso se plantea conectar la red de agua potable de la forma más directa posible desde la conexión domiciliar, con el objetivo de minimizar tramos de tubería insignificantes, pérdidas de carga por la fricción del flujo en la tubería y aumentar ante todo la presión de llegada hacia cada artefacto sanitario. Aplicando ingeniería hidráulica se logró optimizar el sistema e incrementar los valores hidráulicos de la tubería ya que, al examinar la ducha del segundo nivel del cuarto principal, que es el punto más crítico de toda la vivienda, se tiene un aumento de presión de 3,9 m.c.a. en la red de agua caliente.

El método de Hunter aplicado en el sistema propuesto mejora significativamente el sistema de agua potable, obteniendo mejores presiones y optimizando recursos técnicos y financieros.

Otro de los cambios propuestos, pero para la red de agua caliente es que en lugar de instalar un calentador general para toda la vivienda se sugiere instalar varios calentadores de menor capacidad colocados en puntos clave que permitan suplir las demandas de agua en los ambientes que lo requieran de forma más rápida. El uso de estos calentadores permite disminuir considerablemente la cantidad de tubería de la red ya que en lugar de que el agua recorra toda la vivienda para llegar de un punto a otro, ésta tendrá un recorrido más pequeño y directo. Así también, los calentadores presentan una menor pérdida de carga por lo que mejora la presión con la que llega el agua caliente a los artefactos sanitarios.

En cuanto a la parte económica de ambos sistemas analizados, se obtuvo un estimado para cada uno de los modelos, cuantificando los materiales por utilizar y el costo que conlleva instalar los diferentes elementos de la red (mano de obra). La variación entre ellos es significativa, siendo el modelo empírico el más costoso por Q 3 218,61. Esto debido a que cuánta más tubería conforme la red, más se van a elevar los costos.

A partir de la comparación entre los dos modelos presentados se hace la aclaración que el que un sistema represente una mayor inversión no indica precisamente que este sea el mejor o más óptimo; por lo tanto, luego de finalizar esta investigación se propone realizar un análisis que englobe cada una de las partes de la red a fin de evaluar los elementos que mejor funcionen en la vivienda unifamiliar según sea el caso.

CONCLUSIONES

1. Al evaluar el funcionamiento hidráulico de una instalación típica de agua potable en una vivienda unifamiliar de dos niveles se obtuvieron velocidades de flujo bajas de hasta 0,04 m/s en tramos irrelevantes y presiones de servicio de apenas 0,13 m.c.a en el punto más crítico. Ya que se trata de una red de circuitos cerrados sin dimensionamiento de los diámetros y con tramos de tubería innecesarios que solo generan una pérdida de carga adicional, los puntos de consumo se ven perjudicados.
2. Se cuantificó tubería PVC 1120 ASTM D 2241 para la red de agua potable fría y tubería CPVC ASTM D 2846 para la red de agua caliente con sus respectivos accesorios y la mano de obra requerida. Con ello se obtuvo un costo de Q 24 016,93 por la instalación típica de agua potable en la vivienda según el catálogo de precios proporcionados por la empresa AMANCO 2021.
3. El costo del modelo empírico fue de Q 24 016,93 y el del modelo óptimo en base a ingeniería hidráulica de Q 20 798,33. La variación entre ambos sistemas representa un ahorro considerable de Q 3 218,61 por lo que se interpreta que, pese a requerir un análisis y diseño específico para cada vivienda, dicho sistema es más asequible y se antepone al empírico. El cambio de tubería que se propone aumenta la presión del agua que llega a cada punto de consumo y optimiza el servicio de agua potable en la vivienda unifamiliar.

RECOMENDACIONES

A las autoridades municipales y encargados de suministrar el agua potable a las viviendas:

1. Velar por que la presión de agua proporcionada desde la red matriz, sea suficiente para que los usuarios puedan suplir sus necesidades básicas de la mejor manera posible y tengan un servicio de agua potable eficiente en su vivienda.
2. Asegurar un servicio de agua potable de calidad, cantidad, continuidad, accesibilidad y precio justo.
3. Desarrollar planes de gestión que ayuden a mejorar la calidad del agua brindada a los guatemaltecos para que estos puedan consumirla, evitando el uso de filtros y sistemas de purificación adicionales dentro de las viviendas.

A los usuarios y encargados del sistema de agua potable intradomiciliaria:

4. Contratar a un profesional capacitado, de preferencia ingeniero civil con especialidad en ingeniería hidráulica o similar, que se encargue de planificar y diseñar la red de agua potable en las viviendas para evitar carencias en el sistema que posteriormente obliguen a la instalación de equipos de presurización o instalación de cisternas para que suplan deficiencias hidráulicas que pudieron haberse prevenido desde un inicio y que, además, implique un aumento de costos.

5. Contemplar un diseño con simultaneidad baja en viviendas donde se cuente con muchos artefactos sanitarios, dado que es poco probable que todos los puntos de consumo se estén alimentando a la misma vez.
6. Utilizar los diámetros mayores en la red principal de agua para disminuir las pérdidas de carga del sistema y optimizarlo.
7. Instalar la tubería que conforma la red de agua fría y la de agua caliente fuera de la vivienda hacia cada artefacto sanitario tomando en consideración posibles futuras reparaciones que se necesiten realizar en el sistema.
8. Conectar la acometida domiciliar desde el sitio más óptimo, a fin de evitar tramos de tubería innecesarios y mejorar el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA CHÁVEZ, Victor; RIVAS ROLDÁN, Javier. *Propuesta de reglamento para el diseño de instalaciones hidráulicas en edificaciones y aplicación práctica*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, 2019. 242 p.
2. AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de ingeniería sanitaria 1*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 196 p.
3. AMANCO WAVIN. *Listado de precios*. Guatemala: s.e. 2021. 52 p.
4. CANO MARROQUÍN, Marlyn. *Gobernabilidad nacional e internacional de la gestión integrada de los recursos hídricos en Guatemala*. Trabajo de graduación de Relaciones Interiores. Escuela de Ciencia Política, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 126 p.
5. Código Municipal. *Decreto No. 12-2002*. [en línea]. <<https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6698.pdf>>. [Consulta: 20 de diciembre de 2020].
6. COGUANOR NTG 29001. *Agua para consumo humano (agua potable)*. Guatemala: 2010. 12 p.

7. Colegio Federados de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. Costa Rica: CFIA, 2017. 222 p.
8. CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de redes de distribución de agua potable*. [en línea]. <https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf>. [Consulta: 15 de diciembre de 2020].
9. Congreso de la República de Guatemala. *Código Civil de Guatemala*. [en línea]. <<https://mcd.gob.gt/wp-content/uploads/2013/07/codigo-civil.pdf>>. [Consulta: 12 de diciembre de 2020].
10. FOPAVI. *Manual de especificaciones técnicas, construcción de vivienda y urbanizaciones*. [en línea]. <http://fopavi.gob.gt/Documentos_Tecnico/MANUAL%20ESPECIFICACIONES%20TECNICAS%20FOPAVI.pdf>. [Consulta: 12 de enero de 2021].
11. Gabinete específico del agua. *Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia*. [en línea]. <http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf>. [Consulta: 12 de diciembre de 2020].
12. GARCÍA SOSA, Jorge. *Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios*. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Yucatán. México: Fundación ICA, 2001. 290 p.

13. Global Water Partnership (GWP). *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. [en línea] <<https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>>. [Consulta: 12 de diciembre de 2020].
14. Gobierno de Guatemala. *Análisis sectorial del agua potable y saneamiento*. [en línea] <<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/37207/ANALISIS%20SECTORIAL%20DE%20AGUA%20POTABLEY%20SANEAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 27 de diciembre de 2020].
15. HARPER, Enríquez. *El ABC de las Instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias*. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2004. p. 306.
16. ICC. *Código Internacional de instalaciones hidráulicas y sanitarias*. International Code Council: 2009. 299 p.
17. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Norma Técnica Colombiana de Fontanería 1500*. Colombia: ICONTEC, 2004. 96 p.
18. Instituto de fomento municipal. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. [en línea] <<http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0286/doc0286.pdf>>. [Consulta: 20 de diciembre de 2020].
19. Instituto de Medicina. *La importancia de beber agua*. [en línea]. <<https://www.allianzcare.com/es/acerca-de-nosotros/blog/2017/05/agua.html/>>. [Consulta: 13 de diciembre de 2020].

20. Instituto Nacional de Estadística. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala*. [en línea] <<https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/12/12/akJPkytmTIGr1QQoommBxUNXhZ9Qhwph.pdf>>. [Consulta: 27 de diciembre de 2020].
21. LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. CEPAL & GTZ, 2010. 95 p.
22. MAGA. *Acuerdo Gubernativo 376-97*. [en línea]. <<https://bit.ly/3LiN0R0>>. [Consulta: 20 de diciembre de 2020].
23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Informe Ambiental del Estado de Guatemala*. Guatemala: MARN, 2016. 138 p.
24. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial*. [en línea]. <<https://bit.ly/3pJIIAn>>. [Consulta: 6 de enero de 2021].
25. PARADA CELIS, Sebastián. *Caracterización y análisis de fenómenos hidráulicos en un calentador de paso eléctrico*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2019. 93 p.
26. PÉREZ CARMONA, Rafael. *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: Eco Ediciones, 2010. 570 p.
27. PÉREZ MORALES, Guillermo. *Apuntes de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones* [notas de clase]. UMSNH: 2009. 120 p.

28. RODRÍGUEZ SOSA, Luis. *Guía para las instalaciones sanitarias en edificios*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 117 p.
29. SALDARRIAGA, Juan. *Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riegos*. Bogotá: Alfaomega, 2016. 932 p.
30. SEGEPLAN. *Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. [en línea]. <https://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh_guatemala.pdf>. [Consulta: 12 de diciembre de 2020].
31. Sistema de agua potable y alcantarillado municipal. *¿Por qué usamos hipoclorito de calcio para mantener la calidad del agua?*. [en línea]. <<https://bit.ly/3tCNnyP>>. [Consulta: 29 de enero de 2021].
32. Stiebel Eltron. *Manual técnico de calentadores eléctricos instantáneos*. [en línea]. <<https://www.yumpu.com/es/document/read/35382766/manual-tecnico-calentadores-elect-stiebel-eltron-salvador->>. [Consulta: 3 de febrero de 2022].
33. SURCO, Alida Merma; VARA LLAMOJHA, Kathia Karen. *Simulación de un proceso de desinfección eficiente de agua a potabilizar, mediante ozono, respetando el medio ambiente*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2015. 133 p.

34. Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemala*. Guatemala:
URL: 2004. p. 478.

35. VANDERVORT, Don. *Tuberías y fontanería doméstica para plomeros de bricolaje*. [en línea] <<https://www.hometips.com/how-it-works/pipes-water-supply.html#:~:text=In%20most%20cases%2C%20the%20main,extend%20above%20your%20water%20supply>>.
[Consulta: 12 de enero de 2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. Resumen de cálculo hidráulico de la instalación de agua potable fría con el método empírico

PLANTA BAJA TUBERÍA DE AGUA FRÍA PVC 1120 ASTM D 2241											
TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/s)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS	LONGITUD TOTAL							
0	Conexión domiciliar										20,00
0 - 1	Circuito	3,65	0,35	4,00	3/4	17	0,926	2,07	4,77	3,7458	17,90
1 - 2	Circuito	1,20	0,57	1,77	3/4	17	0,926	0,00	0,00	0,0000	17,90
2 - 3	Grifo	0,70	0,94	1,64	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	17,90
1 - 4	Circuito	1,05	0,35	1,40	3/4	17	0,926	2,07	4,77	1,3110	16,67
4 - 5	Circuito	0,85	0,35	1,20	3/4	17	0,926	0,94	2,16	0,2609	16,41
5 - 6	Inodoro de tanque	1,00	1,04	2,04	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0806	16,37
5 - 11	Circuito	0,50	0,35	0,85	3/4	17	0,926	0,75	1,73	0,1217	16,29
11 - 12	Lavamanos	1,35	1,04	2,39	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0112	16,29
11 - 9	Circuito	0,60	0,35	0,95	3/4	17	0,926	0,69	1,59	0,1166	16,18
4 - 7	Circuito	1,10	0,35	1,45	3/4	17	0,926	1,13	2,60	0,4431	16,24
7 - 8	Circuito	0,55	0,35	0,90	3/4	17	0,926	0,49	1,13	0,0586	16,18
8 - 10	Circuito	0,20	0,58	0,78	3/4	17	0,926	0,38	0,87	0,0317	16,15
10 - 10A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	17	0,926	0,38	0,87	0,1457	13,15
8 - 9	Circuito	0,30	0,00	0,30	3/4	17	0,926	0,11	0,25	0,0012	16,18
7 - 13	Circuito	4,70	0,35	5,05	3/4	17	0,926	0,65	1,50	0,5548	15,68
13 - 14	Grifo para maniguera	0,85	0,85	1,70	1/2	13,5	0,716	0,12	0,46	0,0287	15,66
14 - 14A	Sube a 2N	3,30	0,47	3,77	3/4	13,5	0,926	0,06	0,14	0,0050	12,66
13 - 17	Circuito	3,70	0,35	4,05	3/4	17	0,926	0,53	1,22	0,3050	15,38
17 - 18	Fregadero de cocina	1,25	1,04	2,29	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	15,38
17 - 19	Circuito	0,95	0,35	1,30	3/4	17	0,926	0,53	1,22	0,0979	15,28
19 - 20	Grifo para maniguera	0,85	1,04	1,89	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0089	15,27
19 - 21	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	17	0,926	0,47	1,08	0,0482	15,23
21 - 22	Circuito	0,55	0,58	1,13	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0212	15,22
22 - 22A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0671	12,22
21 - 23	Circuito	3,90	0,35	4,25	3/4	17	0,926	0,22	0,51	0,0629	15,16
23 - 24	Circuito	0,95	0,35	1,30	3/4	17	0,926	1,01	2,33	0,3228	14,84
24 - 39	Pila	1,80	1,04	2,84	1/2	13,5	0,716	0,13	0,50	0,0556	14,79
24 - 26	Circuito	1,10	0,35	1,45	3/4	17	0,926	0,88	2,03	0,2790	14,57
26 - C	Circuito	0,55	0,47	1,02	3/4	17	0,926	0,50	1,15	0,0690	14,57
26 - 27	Circuito	0,80	0,35	1,15	3/4	17	0,926	0,38	0,87	0,0468	14,52
27 - 31	Lavadora	1,55	1,04	2,59	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	14,52
27 - 28	Circuito	0,80	0,35	1,15	3/4	17	0,926	0,38	0,87	0,0468	14,47
28 - 29	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,15	0,35	0,0047	14,47
29 - 30	Lavamanos	1,45	1,04	2,49	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	14,47
29 - 32	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,15	0,35	0,0047	14,46
32 - 33	Inodoro de tanque	1,10	1,04	2,14	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	14,46
32 - 36	Circuito	1,10	0,35	1,45	3/4	17	0,926	0,15	0,35	0,0106	14,45
35 - 36	Ducha	2,60	1,04	3,64	1/2	13,5	0,716	0,13	0,50	0,0713	14,38
34 - 36	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,02	0,05	0,0001	14,45
28 - 34	Circuito	1,40	0,00	1,40	3/4	17	0,926	0,23	0,53	0,0225	14,47
34 - 37	Circuito	0,40	0,58	0,98	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0184	14,44
37 - 37A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0671	11,44
23 - 25	Circuito	1,25	0,58	1,83	3/4	17	0,926	0,79	1,82	0,2884	15,45
25 - 9	Circuito	4,65	0,00	4,65	3/4	17	0,926	0,79	1,82	0,7328	16,18

Continuación del apéndice 1.

PLANTA ALTA TUBERÍA DE AGUA FRÍA PVC 1120 ASTM D 2241											
TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS	LONGITUD TOTAL							
22A - 39	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0122	12,19
39 - 40	Circuito	1,55	0,58	2,13	3/4	17	0,926	0,11	0,25	0,0087	12,18
40 - 41	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	17	0,926	0,11	0,25	0,0033	12,18
41 - 42	Lavamanos	1,40	1,04	2,44	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0114	12,17
41 - 43	Circuito	0,40	0,35	0,75	3/4	17	0,926	0,05	0,12	0,0007	12,18
43 - 44	Inodoro de tanque	1,05	1,04	2,09	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0826	12,11
43 - 45	Circuito	1,15	0,35	1,50	3/4	17	0,926	0,14	0,32	0,0096	12,19
45 - 46	Ducha	2,55	1,04	3,59	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	12,19
45 - 39	Circuito	0,45	0,00	0,45	3/4	17	0,926	0,14	0,32	0,0029	12,19
47 - 48	Ducha	2,60	1,04	3,64	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	11,42
48 - 49	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,14	0,32	0,0042	11,42
49 - 37A	Circuito	0,45	0,00	0,45	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0084	11,42
49 - 50	Circuito	1,40	0,58	1,98	3/4	17	0,926	0,11	0,25	0,0081	11,41
50 - 51	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,11	0,25	0,0027	11,41
51 - 52	Lavamanos	1,45	1,04	2,49	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0117	11,40
51 - 53	Circuito	0,40	0,35	0,75	3/4	17	0,926	0,05	0,12	0,0007	11,41
53 - 54	Inodoro de tanque	1,10	1,04	2,14	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0845	11,34
53 - 48	Circuito	1,00	0,35	1,35	3/4	17	0,926	0,14	0,32	0,0087	11,42
55 - 56	Ducha	2,40	1,04	3,44	1/2	13,5	0,716	0,13	0,50	0,0673	13,03
56 - 57	Circuito	1,65	0,58	2,23	3/4	17	0,926	0,08	0,18	0,0051	13,10
57 - 58	Circuito	1,00	0,58	1,58	3/4	17	0,926	0,08	0,18	0,0036	13,90
58 - 59	Circuito	1,00	0,35	1,35	3/4	17	0,926	0,08	0,18	0,0031	13,09
59 - 60	Lavamanos	1,65	1,04	2,69	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0126	13,07
59 - 61	Circuito	0,35	0,35	0,70	3/4	17	0,926	0,02	0,05	0,0001	13,09
61 - 62	Inodoro de tanque	1,30	1,04	2,34	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0924	13,01
61 - 63	Circuito	0,30	0,58	0,88	3/4	17	0,926	0,17	0,39	0,0081	13,10
63 - 64	Circuito	0,65	0,35	1,00	3/4	17	0,926	0,17	0,39	0,0092	13,11
64 - 10A	Circuito	0,40	0,58	0,98	3/4	17	0,926	0,38	0,87	0,0399	13,11
64 - 56	Circuito	0,35	0,56	0,91	3/4	17	0,926	0,21	0,48	0,0124	13,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Resumen de cálculo hidráulico de la instalación de agua caliente con el método empírico

PLANTA BAJA TUBERÍA DE AGUA CALIENTE CPVC ASTM D 2846

TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS	LONGITUD TOTAL							
CALENTADOR											
C - 1	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	11	0,724	0,50	1,88	0,1793	4,34
1 - 2	Circuito	0,90	0,35	1,25	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0468	4,29
2 - 3	Lavadora	1,35	1,04	2,39	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	4,29
2 - 4	Circuito	0,40	0,35	0,75	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0281	4,26
4 - 5	Circuito	0,40	0,35	0,75	3/4	11	0,724	0,08	0,30	0,0057	4,25
5 - 6	Circuito	1,40	0,35	1,75	3/4	11	0,724	0,08	0,30	0,0132	4,24
6 - 7	Circuito	0,40	0,35	0,75	3/4	11	0,724	0,05	0,19	0,0024	4,24
4 - 7	Circuito	1,40	0,00	1,40	3/4	11	0,724	0,11	0,41	0,0191	4,24
5 - 9	Lavamanos	1,45	1,04	2,49	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	4,25
6 - 10	Ducha	2,60	1,04	3,64	1/2	11	0,528	0,13	0,92	0,3141	3,89
7 - 8	Circuito	0,60	0,58	1,18	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0052	4,23
8 - 8A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0159	1,23
1 - 11	Circuito	3,40	0,35	3,75	3/4	11	0,724	0,31	1,17	0,3471	3,98
11 - 12	Circuito	3,70	0,35	4,05	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0180	3,96
12 - 13	Circuito	0,35	0,35	0,70	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0009	3,96
13 - 14	Fregadero de cocina	1,40	1,04	2,44	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	3,96
12 - 17	Circuito	1,00	0,58	1,58	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0019	3,96
13 - 16	Circuito	1,00	0,35	1,35	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0017	3,96
15 - 16	Circuito	0,70	0,58	1,28	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0057	3,95
16 - 17	Circuito	0,30	0,00	0,30	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0004	3,96
15 - 15A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0159	0,95
11 - 18	Circuito	3,90	0,58	4,48	3/4	11	0,724	0,25	0,94	0,2785	3,68
18 - 19	Circuito	1,15	0,35	1,50	3/4	11	0,724	0,25	0,94	0,0933	3,58
19 - 23	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	11	0,724	0,15	0,56	0,0193	3,56
23 - 24	Lavamanos	1,25	1,04	2,29	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0473	3,50
19 - 20	Circuito	0,65	0,58	1,23	3/4	11	0,724	0,10	0,38	0,0140	3,50
20 - 21	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	11	0,724	0,10	0,38	0,0091	3,55
21 - 22	Circuito	0,40	0,58	0,98	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0367	3,51
21 - 23	Circuito	0,65	0,00	0,65	3/4	11	0,724	0,09	0,34	0,0061	3,55
22 - 22A	Sube a 2N	3,00	0,58	3,58	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,1340	0,51

PLANTA ALTA TUBERÍA DE AGUA CALIENTE CPVC ASTM D 2846

TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS	LONGITUD TOTAL							
22A - 25	Circuito	0,65	0,35	1,00	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0374	0,50
25 - 26	Circuito	0,65	0,35	1,00	3/4	11	0,724	0,08	0,30	0,0076	0,49
26 - 27	Lavamanos	1,85	1,04	2,89	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0596	0,42
26 - 28	Circuito	0,55	0,58	1,13	3/4	11	0,724	0,02	0,08	0,0007	0,49
28 - 29	Circuito	0,65	0,35	1,00	3/4	11	0,724	0,02	0,08	0,0006	0,49
25 - 29	Circuito	0,55	0,00	0,55	3/4	11	0,724	0,11	0,41	0,0075	0,50
29 - 30	Ducha	2,75	1,04	3,79	1/2	11	0,528	0,13	0,92	0,3270	0,13
15A - 31	Circuito	1,15	0,58	1,73	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0077	0,94
31 - 32	Circuito	0,60	0,35	0,95	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0042	0,93
32 - 33	Circuito	0,45	0,35	0,80	3/4	11	0,724	0,05	0,19	0,0025	0,93
33 - 34	Lavamanos	1,55	1,04	2,59	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0535	0,87
32 - 35	Circuito	1,50	0,58	2,08	3/4	11	0,724	0,01	0,04	0,0003	0,93
33 - 36	Circuito	1,50	0,35	1,85	3/4	11	0,724	0,01	0,04	0,0003	0,93
35 - 36	Circuito	0,45	0,58	1,03	3/4	11	0,724	0,01	0,04	0,0002	0,93
36 - 37	Ducha	2,70	1,04	3,74	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	0,93
38 - 39	Lavamanos	1,55	1,39	2,94	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0607	1,15
39 - 40	Circuito	0,35	0,58	0,93	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0011	1,22
40 - 41	Circuito	1,35	0,35	1,70	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0021	1,22
41 - 42	Circuito	0,35	0,58	0,93	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0011	1,23
39 - 42	Circuito	1,35	0,00	1,35	3/4	11	0,724	0,03	0,11	0,0017	1,23
42 - 43	Ducha	2,70	1,04	3,74	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	1,23
8A - 41	Circuito	0,65	0,00	0,65	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0029	1,23

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resumen de cálculo hidráulico de la instalación de agua potable fría aplicando ingeniería

PLANTA BAJA TUBERÍA DE AGUA FRÍA PVC 1120 ASTM D 2241											
TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (l/s)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE	LONGITUD TOTAL							
0	Conexión Domiciliar										20.00
0 - 1	Circuito	3,80	0,45	4,25	1	17	1,161	2,02	2,96	1,2644	16,64
1 - 2	Circuito	1,35	0,53	1,88	1	17	1,161	0,82	1,20	0,1055	16,53
2 - 3	Circuito	0,65	0,71	1,36	1	17	1,161	0,57	0,83	0,0389	16,49
3 - 4	Circuito	0,55	0,71	1,26	1	17	1,161	0,57	0,83	0,0361	16,46
4 - 5	Circuito	0,20	0,71	0,91	1	17	1,161	0,57	0,83	0,0261	16,43
5 - 5A	Sube a 2N	3,00	0,00	3,00	1	17	1,161	0,57	0,83	0,0859	13,34
2 - 6	Circuito	0,85	0,28	1,13	1/2	13,5	0,716	0,25	0,96	0,0742	16,46
6 - 7	Circuito	0,65	0,28	0,93	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0367	16,42
7 - 52	Inodoro de tanque	0,60	0,94	1,54	1/2	13,5	0,716	0,19	0,73	0,0608	16,36
7 - 54	Circuito	0,35	0,47	0,82	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	16,42
54 - 53	Grifo para manquera	0,65	0,94	1,59	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	16,42
6 - 8	Lavamanos	1,05	0,94	1,99	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0093	16,45
1 - 9	Circuito	5,85	0,71	6,56	1	17	1,161	1,20	1,76	0,7447	15,89
9 - 10	Circuito	2,00	0,45	2,45	1	17	1,161	1,20	1,76	0,2781	15,61
10 - 11	Grifo	0,85	1,07	1,92	1/2	13,5	0,716	0,12	0,46	0,0324	15,58
11 - 11A	Sube a 2N	3,00	0,00	3,00	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0140	12,57
10 - 12	Circuito	2,60	0,45	3,05	1	17	1,161	1,08	1,68	0,2849	15,33
12 - C	Circuito	0,65	0,00	0,65	1	17	1,161	0,13	0,19	0,0012	15,33
12 - 13	Circuito	1,10	0,45	1,55	1	17	1,161	0,95	1,39	0,1142	15,21
13 - 14	Fregadero de cocina	1,25	1,29	2,54	3/4	17	1,161	0,00	0,00	0,0000	15,21
13 - 15	Circuito	1,85	0,71	2,56	1	17	1,161	0,95	1,39	0,1886	15,02
15 - 16	Circuito	0,95	0,45	1,40	1	17	1,161	0,95	1,39	0,1032	14,92
16 - 17	Grifo para manquera	0,65	1,07	1,72	1/2	13,5	1,161	0,06	0,09	0,0008	14,92
16 - 18	Circuito	0,45	0,45	0,90	1	17	1,161	0,89	1,30	0,0588	14,86
18 - 19	Circuito	0,35	0,71	1,06	1	17	1,161	0,25	0,37	0,0066	14,86
19 - 19A	Sube a 2N	3,00	0,00	3,00	1	17	1,161	0,25	0,37	0,0187	11,84
18 - 20	Circuito	2,50	0,45	2,95	1	17	1,161	0,64	0,94	0,1047	14,76
20 - 21	Pila	2,30	1,29	3,59	3/4	17	0,926	0,13	0,30	0,0201	14,74
20 - 22	Circuito	1,90	0,45	2,35	1	17	1,161	0,51	0,75	0,0548	14,70
22 - 23	Lavadora	2,00	1,29	3,29	3/4	17	0,926	0,00	0,00	0,0000	14,70
22 - 24	Circuito	0,90	0,45	1,35	1	17	1,161	0,51	0,75	0,0315	14,67
24 - 32	Circuito	0,45	0,71	1,16	1	17	1,161	0,19	0,28	0,0044	14,67
32 - C	Circuito	0,85	0,00	0,85	1	17	1,161	0,19	0,28	0,0032	14,66
24 - 25	Circuito	1,60	0,45	2,05	1	17	1,161	0,32	0,47	0,0202	14,65
25 - 26	Lavamanos	1,35	1,07	2,42	1/2	13,5	0,716	0,00	0,00	0,0000	14,65
25 - 27	Circuito	0,30	0,45	0,75	1	17	1,161	0,32	0,47	0,0074	14,64
27 - 28	Inodoro de tanque	1,05	1,29	2,34	3/4	17	0,926	0,00	0,00	0,0000	14,64
27 - 29	Circuito	1,05	0,45	1,50	1	17	1,161	0,32	0,47	0,0148	14,63
29 - 30	Ducha	2,80	1,29	4,09	3/4	17	0,926	0,13	0,30	0,0229	14,61
29 - 31	Circuito	0,40	0,71	1,11	1	17	1,161	0,19	0,28	0,0042	14,62
31 - 31A	Sube a 2N	3,00	0,00	3,00	1	17	1,161	0,19	0,28	0,0113	11,61

PLANTA ALTA TUBERÍA DE AGUA FRÍA PVC 1120 ASTM D 2241											
TRAMO		LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (l/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)
		LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS	LONGITUD TOTAL							
31A - 32	Circuito	0,45	1,19	1,64	3/4	17	0,926	0,19	0,44	0,0185	11,59
32 - 33	Circuito	0,95	0,35	1,30	3/4	17	0,926	0,06	0,14	0,0017	11,59
33 - 34	Circuito	0,40	0,57	0,97	1/2	17	0,716	0,06	0,23	0,0045	11,59
34 - 35	Lavamanos	1,35	0,94	2,29	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0107	11,58
33 - 36	Inodoro de tanque	1,05	1,16	2,21	3/4	17	0,926	0,00	0,00	0,0000	11,59
32 - 37	Ducha	2,90	1,16	4,06	3/4	17	0,926	0,13	0,30	0,0227	11,57
19A - 38	Circuito	0,35	1,19	1,54	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0289	11,81
38 - 43	Ducha	2,75	1,16	3,91	3/4	17	0,926	0,00	0,00	0,0000	11,81
38 - 39	Circuito	1,15	0,45	1,60	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0300	11,78
39 - 40	Circuito	0,40	0,47	0,87	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0041	11,77
40 - 41	Lavamanos	1,30	0,94	2,24	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0105	11,76
39 - 42	Inodoro de tanque	1,00	1,16	2,16	3/4	17	0,926	0,19	0,44	0,0244	11,75
5A - 46	Circuito	0,40	1,19	1,59	3/4	17	0,926	0,57	1,31	0,1370	13,21
44 - 45	Ducha	2,40	1,16	3,56	3/4	17	0,926	0,13	0,30	0,0199	13,18
45 - 46	Circuito	0,40	0,58	0,98	3/4	17	0,926	0,13	0,30	0,0055	13,20
46 - 47	Circuito	0,30	0,35	0,65	3/4	17	0,926	0,57	1,31	0,0560	13,15
47 - C	Circuito	0,20	0,00	0,20	3/4	17	0,926	0,19	0,44	0,0023	13,15
47 - 48	Circuito	0,35	0,58	0,93	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0174	13,13
48 - 49	Circuito	0,30	0,45	0,75	3/4	17	0,926	0,25	0,58	0,0141	13,12
49 - 50	Inodoro de tanque	1,05	1,16	2,21	3/4	17	0,926	0,19	0,44	0,0249	13,09
49 - 51	Circuito	0,35	0,47	0,82	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0038	13,11
51 - 52	Lavamanos	1,35	0,94	2,29	1/2	13,5	0,716	0,06	0,23	0,0107	13,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Resumen de cálculo hidráulico de la instalación de agua caliente aplicando ingeniería

PLANTA BAJA TUBERÍA DE AGUA CALIENTE CPVC ASTM D 2846

TRAMO	LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	
	LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE	LONGITUD TOTAL								
CALENTADOR										9,53	
C - 1	Circuito	0,50	0,58	1,08	3/4	11	0,724	0,13	0,49	0,0200	9,51
1 - 2	Circuito	0,65	0,58	1,23	3/4	11	0,724	0,13	0,49	0,0228	9,49
2 - 3	Fregadero de cocina	0,95	0,93	1,88	3/4	11	0,724	0,13	0,49	0,0349	9,45
3 - 3A	Sube a 2N	3,00	0	3	3/4	11	0,724	0,13	0,49	0,0556	6,39
C - 4	Circuito	0,45	0,35	0,8	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0299	6,01
4 - 5	Lavamanos	1,05	1,16	2,21	3/4	11	0,724	0,00	0,00	0,0000	6,01
4 - 6	Circuito	0,35	0,35	0,7	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0262	5,99
6 - 10	Circuito	0,95	0,58	1,53	3/4	11	0,724	0,00	0,00	0,0000	5,99
10 - 11	Lavadora	1,65	1,16	2,81	3/4	11	0,724	0,00	0,00	0,0000	5,99
6 - 7	Circuito	1,05	0,35	1,4	3/4	11	0,724	0,19	0,72	0,0524	5,94
7 - 9	Ducha	2,50	1,16	3,66	3/4	11	0,724	0,13	0,49	0,0679	5,87
7 - 8	Circuito	0,60	0,58	1,18	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0052	5,93
8 - 8A	Sube a 2N	3,00	0,00	3,00	3/4	11	0,724	0,06	0,23	0,0133	2,92

PLANTA ALTA TUBERÍA DE AGUA CALIENTE CPVC ASTM D 2846

TRAMO	LONGITUD (m)			DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	SDR	DIÁMETRO INTERNO (pulg)	CAUDAL (lt/seg)	VELOCIDAD (m/s)	PÉRDIDA DE CARGA (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	
	LONGITUD FÍSICA	LONGITUD EQUIVALENTE	LONGITUD TOTAL								
C - 21	Circuito	0,30	0,28	0,58	1/2	11	0,528	0,19	1,35	0,1010	4,43
21 - 22	Circuito	0,75	0,47	1,22	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0252	4,40
22 - 23	Lavamanos	1,50	0,94	2,44	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0504	4,35
21 - 24	Circuito	0,70	0,47	1,17	1/2	11	0,528	0,13	0,92	0,1009	4,33
24 - 25	Ducha	2,50	0,94	3,44	1/2	11	0,528	0,13	0,92	0,2968	4,03
3A - 16	Circuito	0,50	0,96	1,46	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0301	6,36
16 - 19	Circuito	0,40	0,47	0,87	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0180	6,35
19 - 20	Lavamanos	1,10	0,94	2,04	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0421	6,30
16 - 17	Circuito	1,15	0,47	1,62	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	6,35
17 - 18	Ducha	2,50	0,94	3,44	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	6,35
14 - 15	Lavamanos	1,05	0,94	1,99	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0411	2,81
12 - 14	Circuito	1,35	0,47	1,82	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0376	2,85
12 - 13	Ducha	2,50	0,94	3,44	1/2	11	0,528	0,00	0,00	0,0000	2,88
8A - 12	Circuito	0,65	0,96	1,61	1/2	11	0,528	0,06	0,42	0,0332	2,88

Fuente: elaboración propia.

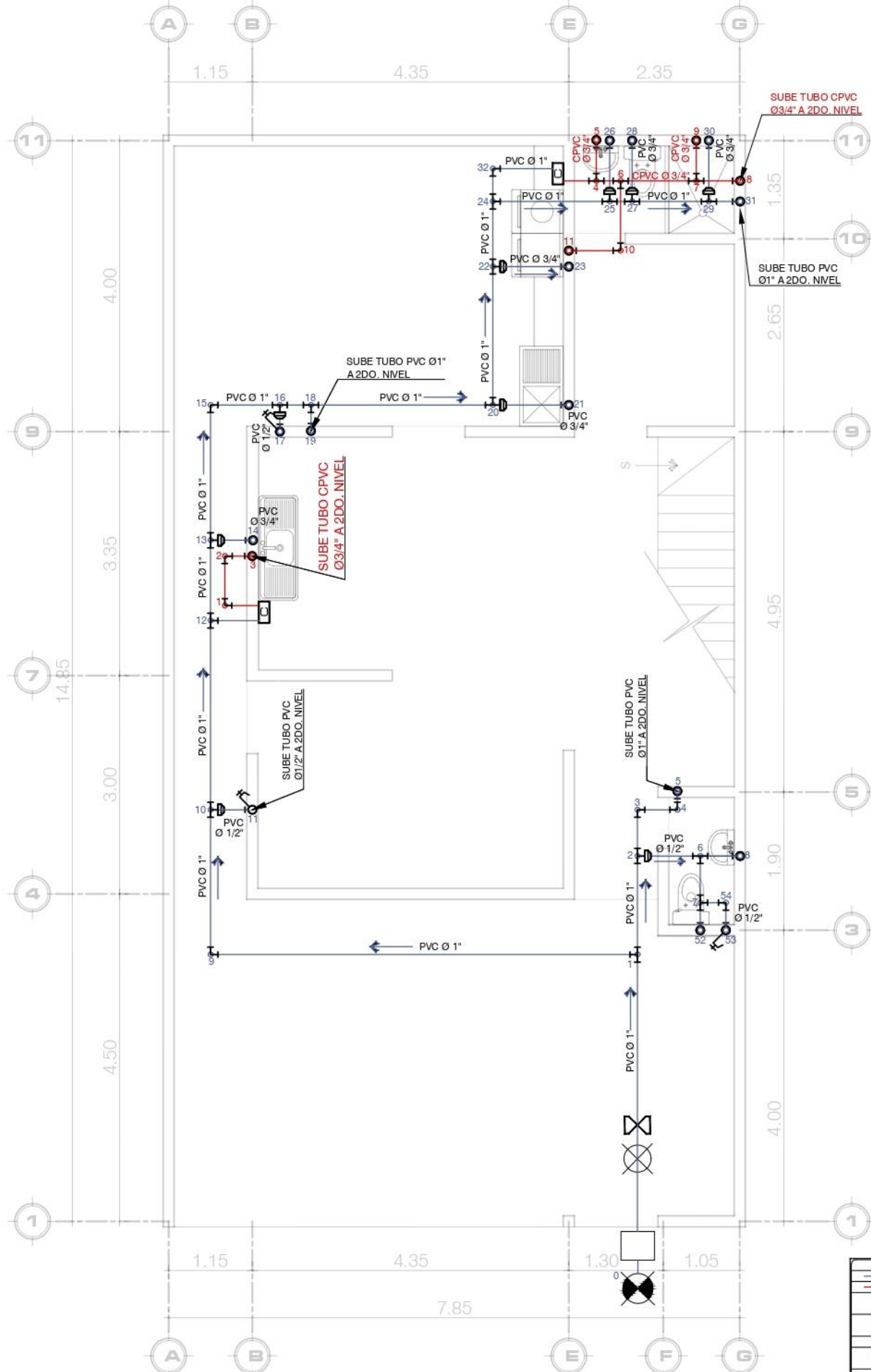
Apéndice 5. Resumen de costos

INFORMACIÓN DEL PROYECTO										
Proy. VI VIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES Dir. CUATEMALA										
SISTEMA EMPÍRICO										
Nº.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	MATERIALES	HERRAMIENTA Y EQUIPO	MANO DE OBRA	COSTOS INDIRECTOS	IVA	TOTAL	
1	INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA	Global	1	Q 995,38	Q 380,11	Q 4.257,24	Q 1.802,47	Q 882,23	Q 8.327,43	
2	INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE	Global	1	Q 7.372,63	Q 265,56	Q 2.974,29	Q 3.396,00	Q 1.681,02	Q 15.689,50	
COSTO TOTAL :				Q						24 016, 93
INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE EN UNA VIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN CUATEMALA										
INFORMACIÓN DEL PROYECTO										
Proy. VI VIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES Dir. CUATEMALA										
SISTEMA APLICANDO INGENIERÍA HIDRÁULICA										
Nº.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	MATERIALES	HERRAMIENTA Y EQUIPO	MANO DE OBRA	COSTOS INDIRECTOS	IVA	TOTAL	
1	INSTALACIÓN DE AGUA FRÍA	Global	1	Q 1.132,99	Q 332,66	Q 3.725,84	Q 1.661,28	Q 822,33	Q 7.675,10	
2	INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE	Global	1	Q 7.312,28	Q 128,23	Q 1.436,13	Q 2.840,52	Q 1.406,06	Q 13.123,22	
COSTO TOTAL :				Q						20 798, 33
INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE EN UNA VIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN CUATEMALA										

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Planta instalación de agua potable modelo empírico y
modelo aplicando ingeniería hidráulica**

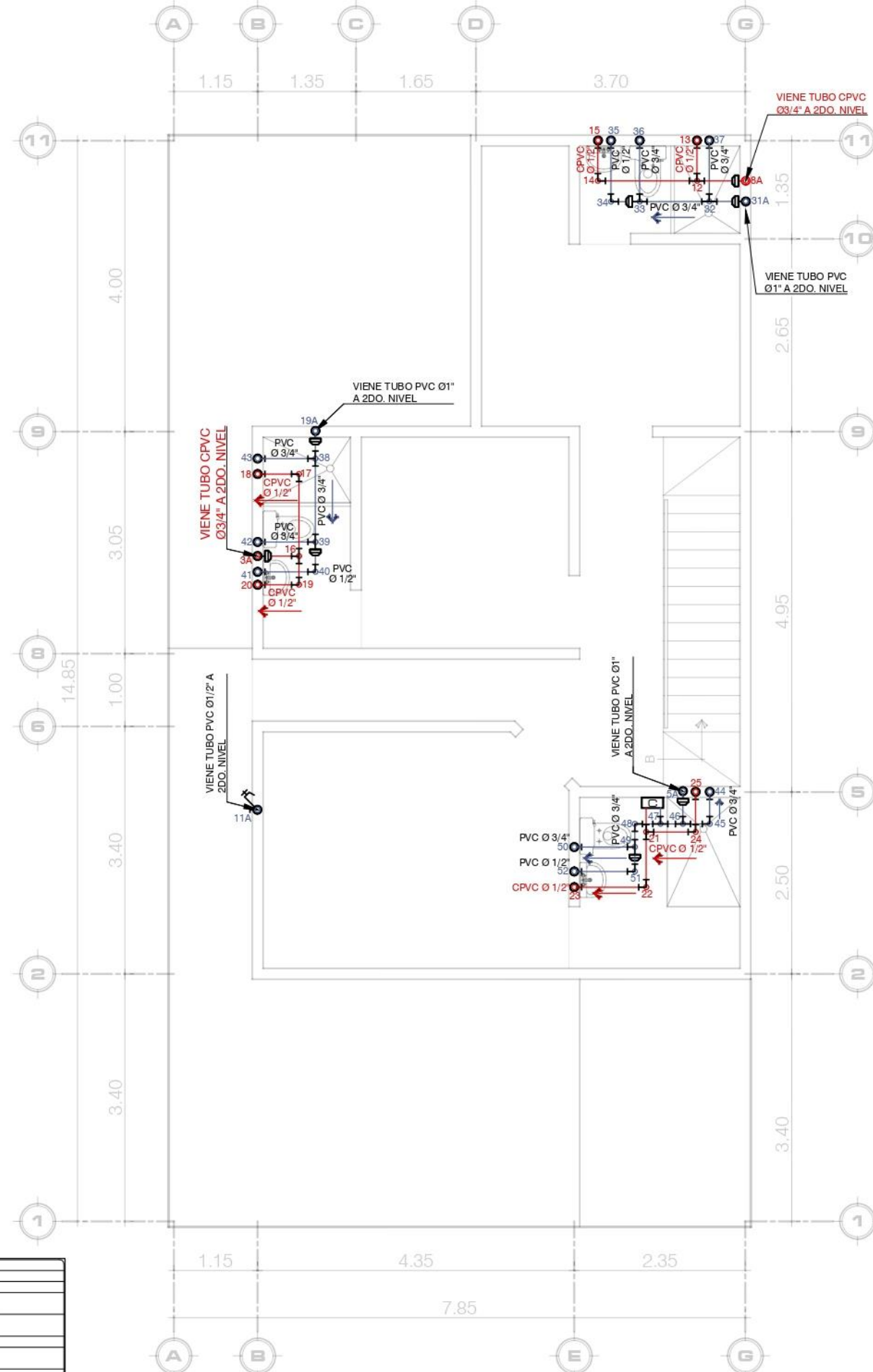
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



MODELO HIDRÁULICO
PLANTA BAJA

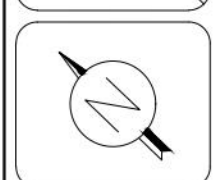
ESCALA 1/75

SIMBOLOGIA	
	TUBERIA PVC PARA AGUA FRIA
	TUBERIA CPVC PARA AGUA
	CALENTADOR DE AGUA
	LLAVE DE CHEQUE
	DIAMETRO DE TUBERIA
	LLAVE DE PASO
	CODDO A 90° HORIZONTAL
	CODDO A 90° VERTICAL
	TEE VERTICAL
	TEE HORIZONTAL
	REDUCTOR
	CONTADOR



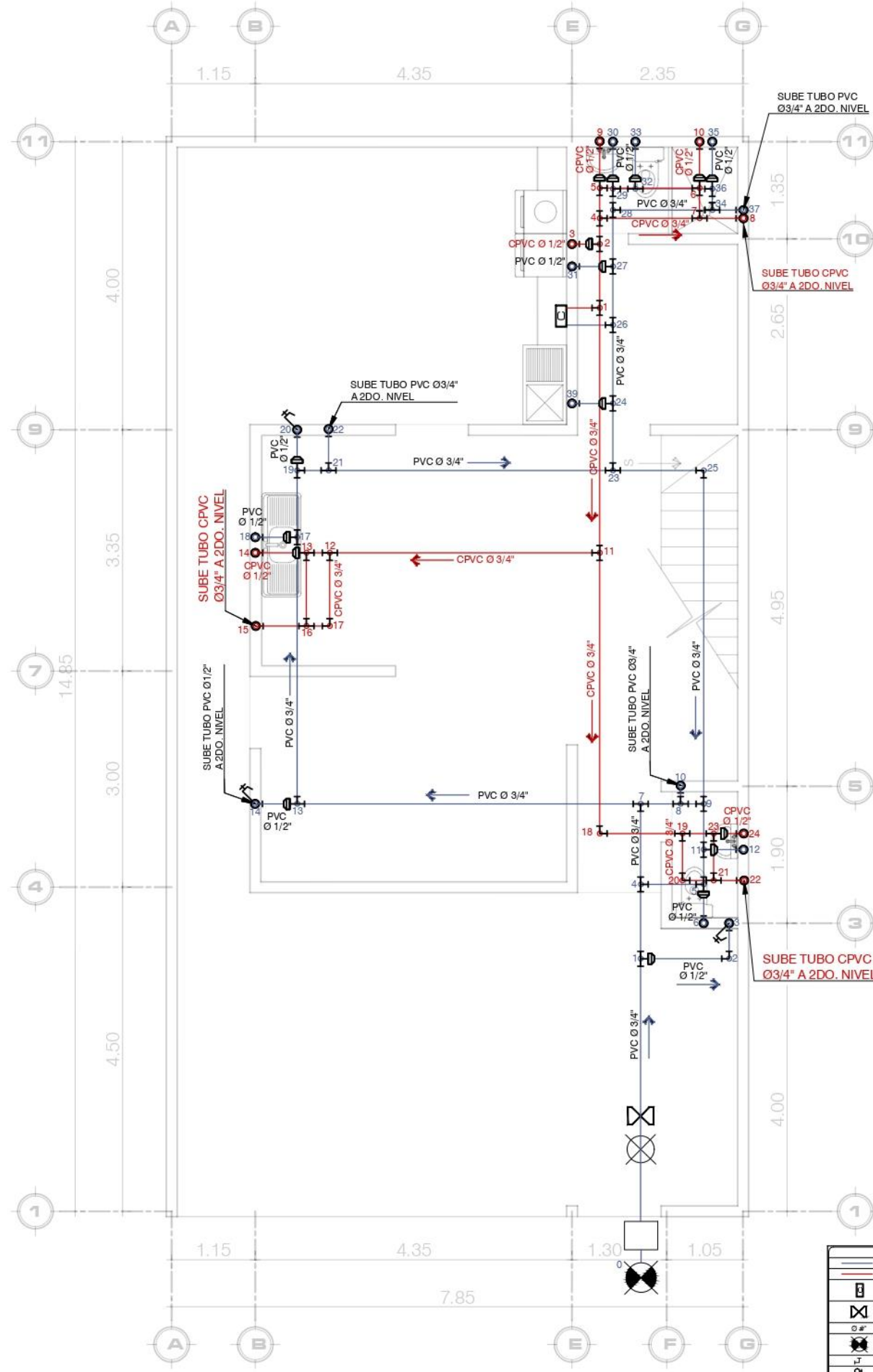
MODELO HIDRÁULICO
PLANTA ALTA

ESCALA 1/75



PROYECTO:
VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN GUATEMALA

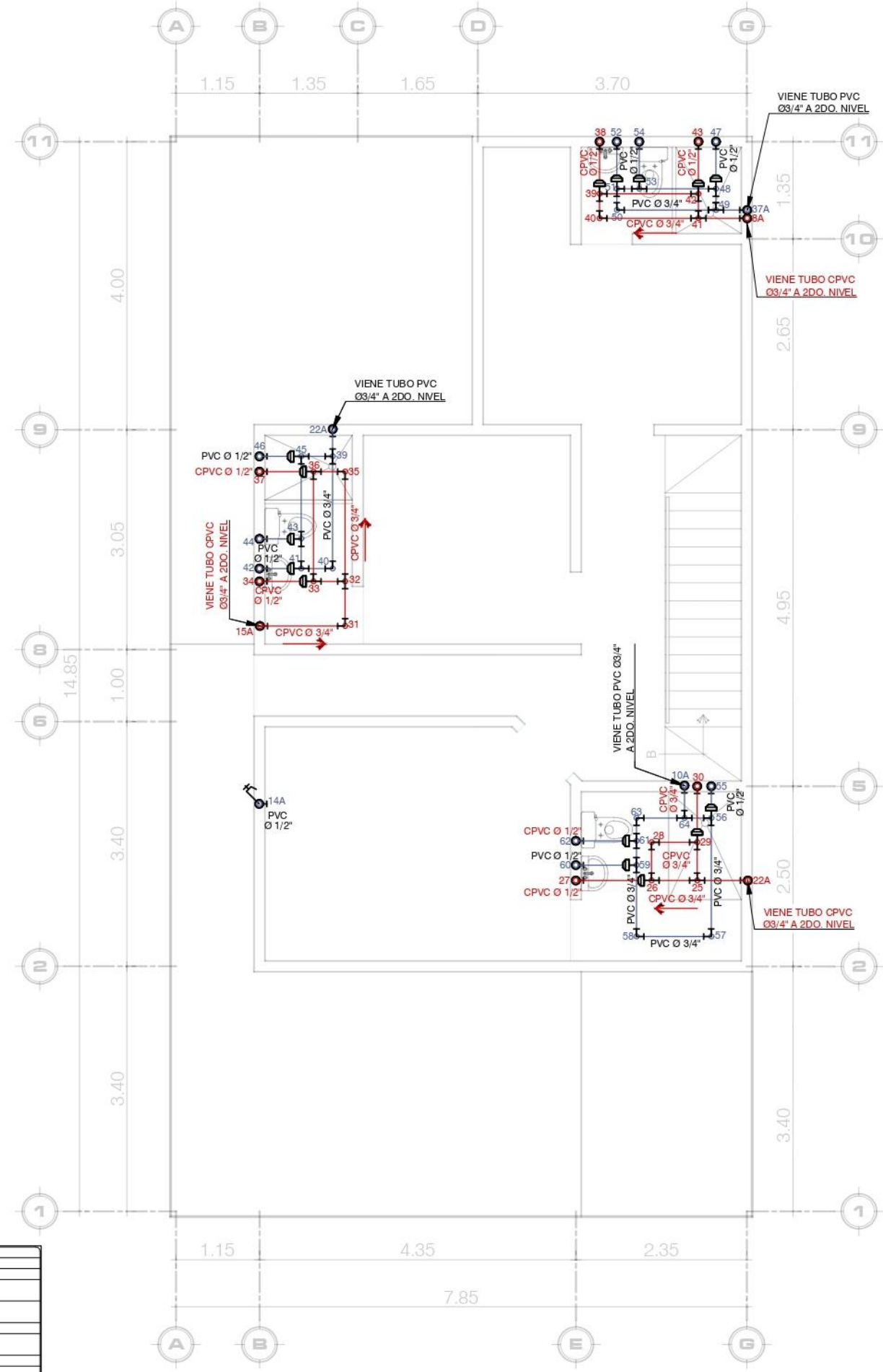
PROYECTO:	VIVIENDA UNIFAMILIAR TRABAJO DE GRADUACIÓN
ÁREA GENERAL	CONTENIDO: PLANTA INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE MODELO HIDRÁULICO
CLASIFICACIÓN PLANO:	UBICACIÓN: GUATEMALA
INSTALACIONES	DIBUJÓ: NOEMI ANA BELÉN CONTRERAS LÓPEZ
	FECHA: 22/02/22
	ESCALA 1/75



**MODELO EMPÍRICO
PLANTA BAJA**

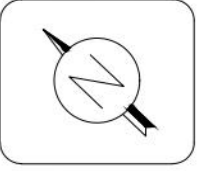
ESCALA 1/75

SIMBOLOGIA	
	TUBERIA PVC PARA AGUA FRIA
	TUBERIA CPVC PARA AGUA
	CALENTADOR DE AGUA
	LLAVE DE CHEQUE
	LLAVE DE PASO
	CODO A 90° HORIZONTAL
	CODO A 90° VERTICAL
	TEE VERTICAL
	TEE HORIZONTAL
	REDUCTOR
	CONTADOR



**MODELO EMPÍRICO
PLANTA ALTA**

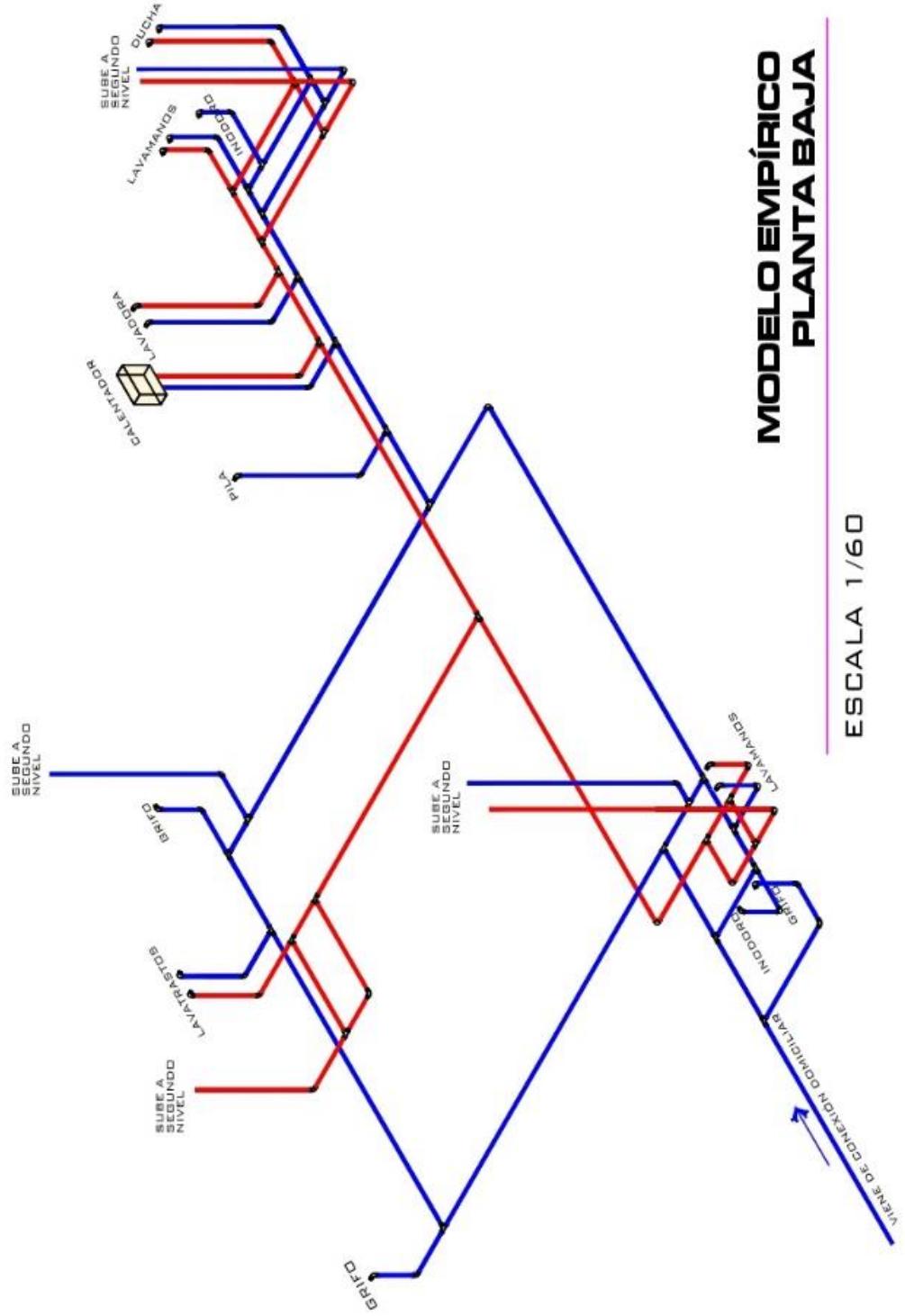
ESCALA 1/75



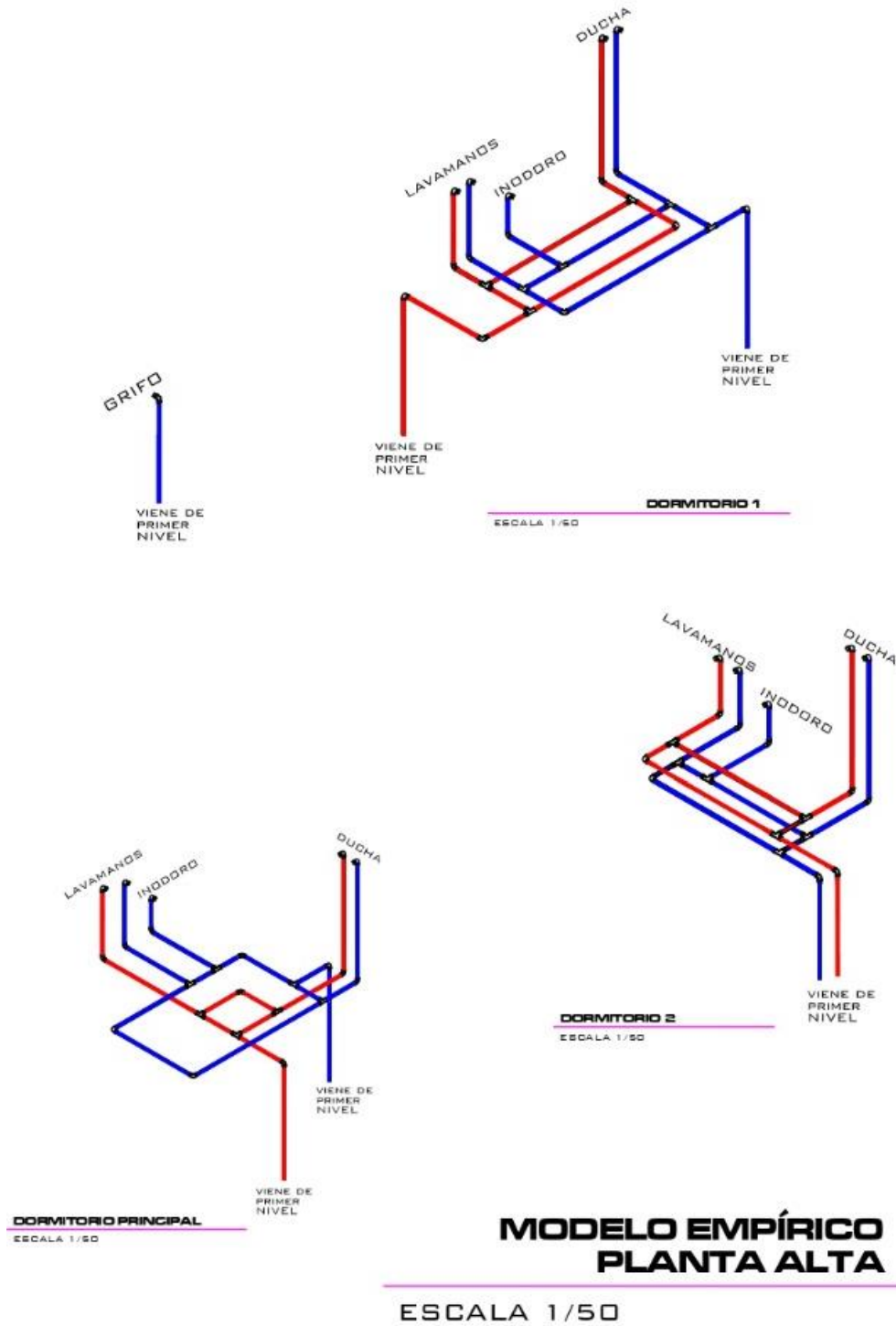
PROYECTO:
VIVIENDA UNIFAMILIAR DE DOS NIVELES EN GUATEMALA

PROYECTO: VIVIENDA UNIFAMILIAR TRABAJO DE GRADUACIÓN	CONTENIDO: PLANTA INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE MODELO EMPÍRICO	FECHA: 22/02/22
	UBICACIÓN: GUATEMALA	ESCALA: 1/75
ÁREA GENERAL	DIBUJO: NOEMÍ ANA BELÉN CONTRERAS LÓPEZ	
CLASIFICACIÓN PLANO: INSTALACIONES		

Apéndice 7. Isométrico de modelo empírico

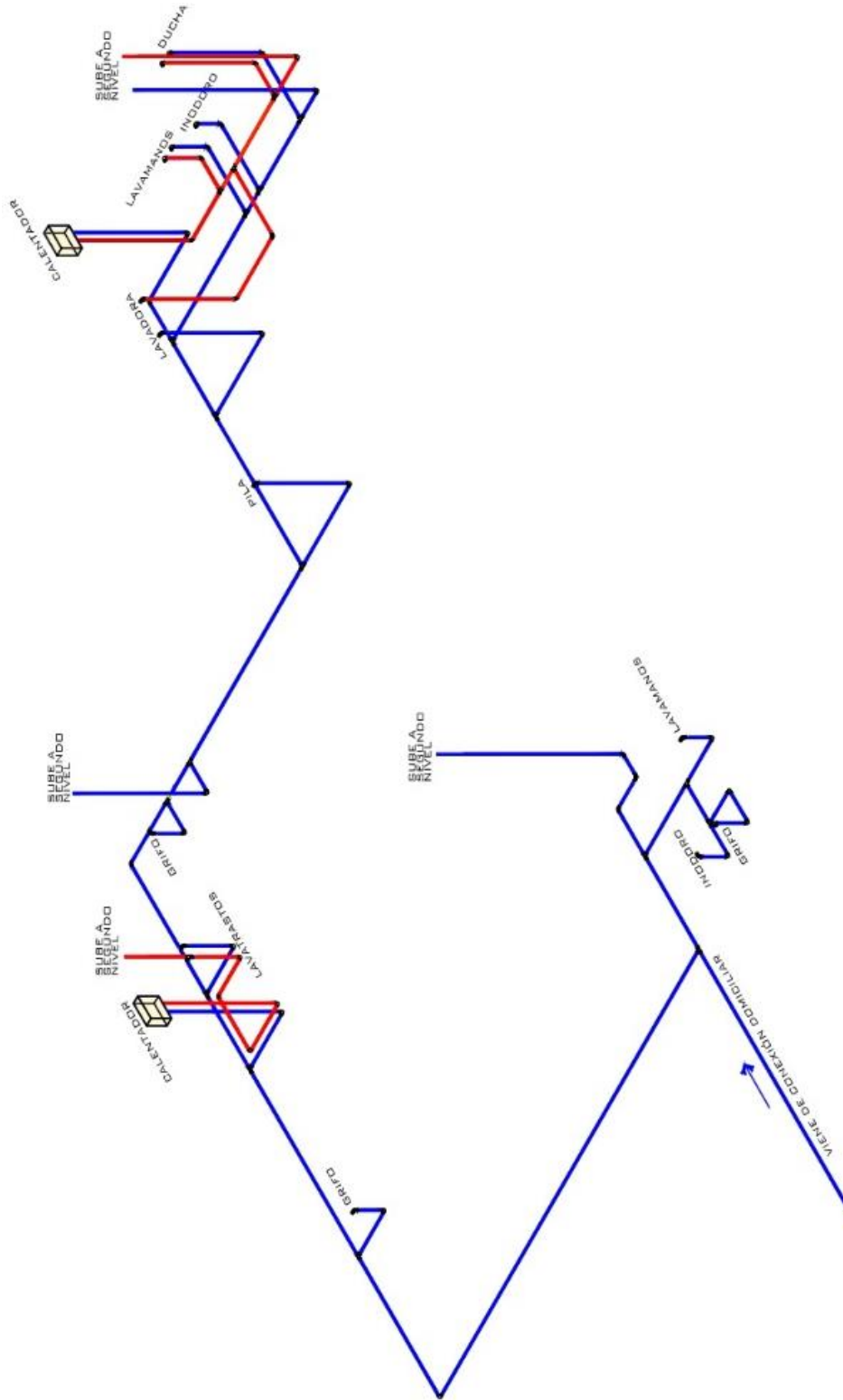


Continuación de apéndice 7.



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2021

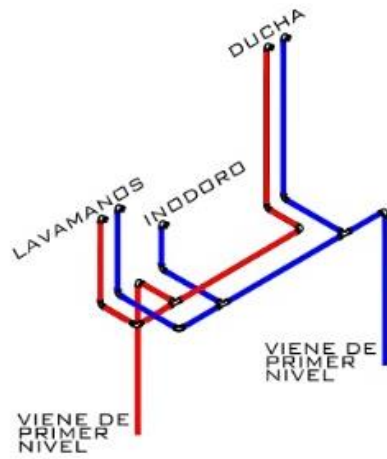
Apéndice 8. Isométrico de modelo aplicando ingeniería hidráulica



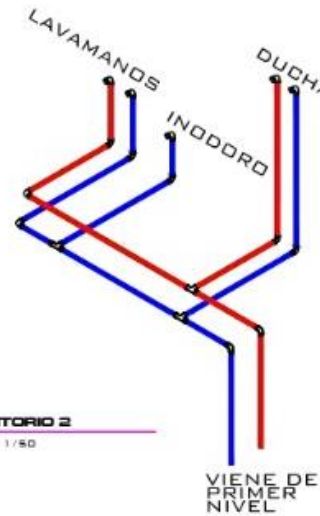
**MODELO APLICANDO INGENIERÍA HIDRÁULICA
PLANTA BAJA**

ESCALA 1/50

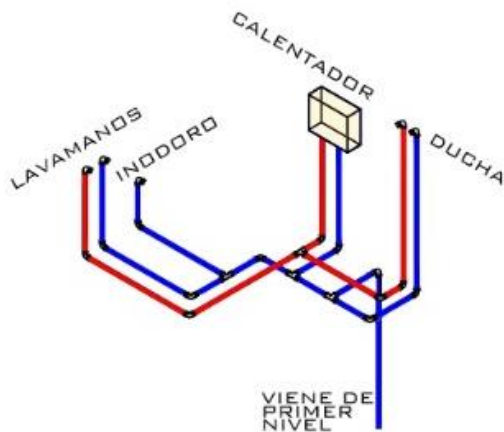
Continuación de apéndice 8.



DORMITORIO 1
ESCALA 1/50



DORMITORIO 2
ESCALA 1/50



DORMITORIO PRINCIPAL
ESCALA 1/50

MODELO APLICANDO INGENIERÍA HIDRÁULICA PLANTA ALTA

ESCALA 1/50

Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2021.