



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

**COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS
EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**

Lilia del Carmen Escobar Fuentes

Asesorado por el Ing. Francisco Alberto Castañeda Ocaña

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS
EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LILIA DEL CARMEN ESCOBAR FUENTES

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO ALBERTO CASTAÑEDA OCAÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

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 Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 7 de noviembre de 2016.

Lilia del Carmen Escobar Fuentes

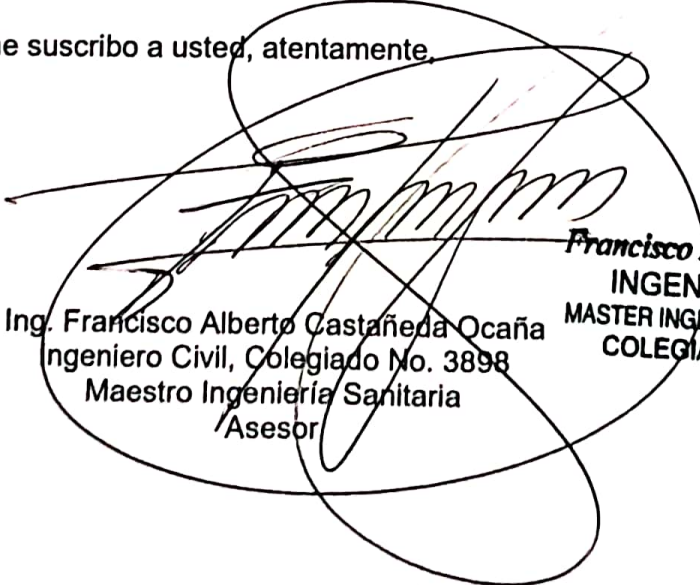
Guatemala, 07 de julio de 2021

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

Estimado Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente me permito informar que en mi calidad de asesor he procedido a la revisión final del trabajo de graduación titulado: "**COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**", desarrollado por la estudiante universitaria, Lilia del Carmen Escobar Fuentes con registro académico 201213491; determinando que el mismo cumple con los objetivos del referido trabajo, por lo que doy mi aprobación al mismo solicitando continuar con los trámites respectivos.

Sin otro particular, me suscribo a usted, atentamente.



Ing. Francisco Alberto Castañeda Ocaña
Ingeniero Civil, Colegiado No. 3898
Maestro Ingeniería Sanitaria
Asesor

Francisco A. Castañeda O.
INGENIERO CIVIL
MASTER INGENIERIA SANITARIA
COLEGIADO No. 3898

Guatemala, 21 julio de 2021
EIC-AH-001-2021/pap

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

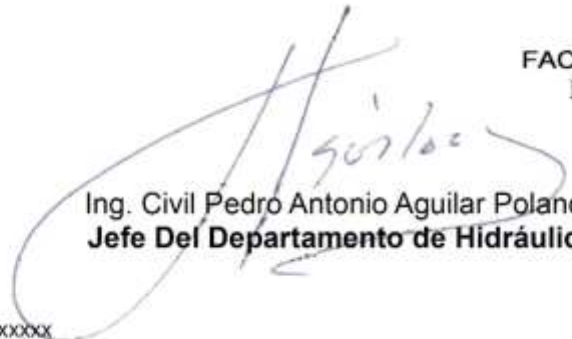
Ingeniero Fuentes:

Le informo que he revisado Trabajo de Graduación **COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil, **Lilia del Carmen Escobar Fuentes**, Registro Académico: **201213491**, quien contó con la asesoría del Ingeniero, **MSc. Ing. Francisco Alberto Castañeda Ocaña**.

Considero el perfil bien desarrollado y representará un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, por lo que solicito su aprobación al mismo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Del Departamento de Hidráulica

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C

Cc: Estudiante xxxxxxxxxx
Archivo



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Alberto Castañeda Ocaña y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco al trabajo de graduación de la estudiante Lilia del Carmen Escobar Fuentes **COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, octubre 2021
/mrrm.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

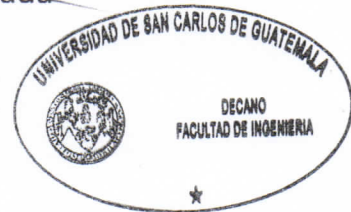
**Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102**

DTG.469.2021

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: **COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO DE INSTALACIONES HIDRÁULICAS EN CENTROS COMERCIALES Y SU ADAPTACIÓN PARA GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Lilia del Carmen Escobar Fuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de su fuerza para vencer todos los obstáculos para llegar a alcanzar con satisfacción este triunfo.
- Mamá María** Por ser una madre de amor y por interceder ante tu Divino Hijo y nuestro Padre Celestial para alcanzar este logro.
- Mis padres** Ilma Jeannette Fuentes Orozco de Escobar y Mauro Alberto Escobar Maldonado, como un pequeño homenaje por sus esfuerzos, su paciencia y sacrificios para hacer de mí lo que ahora soy, porque han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, que Dios los bendiga siempre y me los preste por muchos años más.
- Mis hermanos** Ilma Sofía y Jorge Antulio Escobar, por su amor y compañía en estos años de estudio, exhortándolos que continúen en el sendero de la luz y el saber. Gracias por alentarme a no darme por vencida, ustedes son mi mayor ejemplo.

Mis abuelitos

Jorge Fuentes (q. e. p. d.), Lilia Orozco, Antulio Escobar y Carmen Maldonado, por sus consejos, apoyo y amor que me motivaron a no rendirme y a dar todo de mí para conseguir este triunfo.

Mi bisabuelita

Esperanza Barrios por su motivación y oraciones para llegar a alcanzar esta meta.

Mis tíos y primos

Por estar siempre presentes y compartir este éxito en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por abrirme las puertas y convertirse en mi casa de estudios, por el honor de decir que orgullosamente soy Sancarlista.
- Facultad de Ingeniería** Por formarme académicamente en sus salones de clase.
- Ing. Francisco Castañeda** Quien me acompañó y asesoró en el desarrollo de este trabajo, además de agradecer su paciencia, comprensión e intercambiar su amplia experiencia para la culminación del presente documento.
- Ing. Jorge Pérez** Por la oportunidad de realizar el estudio de campo y brindarme su apoyo incondicional.
- Mis amigos de la Facultad** Horacio Linares, Olegario Margos, Oscar Montoya, Cristian Franco, José Luis Paz, Emerson Curup, Stefanie Gramajo, Darwin Sumpalaj, Walter Trinidad con quienes compartimos conocimientos, alegrías, tristezas, enojos y muchos desvelos a lo largo de toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. GENERALIDADES DEL SISTEMA HIDRÁULICO EN EDIFICACIONES	1
1.1. Sistemas de abastecimiento en agua.....	1
1.1.1. Sistema de abastecimiento de agua directo	1
1.1.2. Sistema de abastecimiento indirecto.....	2
1.1.3. Sistema combinado	2
1.1.4. Sistema hidroneumático	3
1.2. Edificaciones tipo y características de la alimentación de una red de agua potable	3
1.2.1. Viviendas unifamiliares	3
1.2.2. Residenciales.....	4
1.2.3. Apartamentos.....	4
1.2.4. Centros comerciales	4
1.3. Instalaciones sanitarias en edificaciones tipo.....	4
1.3.1. Inodoro	5
1.3.2. Mingitorio	5
1.3.3. Lavaderos	6
1.3.4. Lavamanos	7

1.3.5.	Ducha.....	8
1.3.6.	Bebederos	8
1.4.	Condiciones básicas de funcionamiento para los aparatos sanitarios.....	9
1.4.1.	Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario	9
1.4.2.	Diámetros mínimos en la alimentación	10
1.4.3.	Presión de servicio mínima requerida por artefacto	12
1.4.4.	Velocidad de agua	13
2.	PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO	15
2.1.	Características de la red hidráulica	15
2.1.1.	Partes constitutivas del sistema de agua potable ...	15
2.1.2.	Trazado de la red.....	16
2.1.3.	Vista isométrica de la red	17
2.2.	Dotación de agua en edificios.....	17
2.3.	Patrones de consumo	18
2.4.	Caudales máximos instantáneos en edificaciones.....	19
2.4.1.	Caudal máximo o caudal máximo posible.....	19
2.4.2.	Caudal máximo probable.....	19
2.4.3.	Caudal de consumo diario	20
3.	MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES EN EDIFICACIONES	21
3.1.	Cálculo de redes interiores.....	21
3.2.	Métodos de cálculo de caudales máximos probables.....	21
3.2.1.	Métodos empíricos	21
3.2.1.1.	Método británico.....	22

	3.2.1.2.	Método de Dawson y Browman	23
3.2.2.		Métodos semiempíricos.....	24
	3.2.2.1.	Método alemán de la raíz cuadrada.....	24
	3.2.2.2.	Método del factor de simultaneidad	25
	3.2.2.3.	Método racional o español	27
3.2.3.		Métodos probabilísticos	29
	3.2.3.1.	Método Hunter.....	29
	3.2.3.2.	Método Hunter Modificado	33
	3.2.3.3.	Método de Hunter de Colombia	34
3.2.4.		Métodos de medición de caudal.....	36
	3.2.4.1.	Medidores de caudal	37
	3.2.4.2.	Tipos de medidores de caudal	37
4.		APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS EN EDIFICACIONES DE TIPO COMERCIAL.....	39
4.1.		Memoria descriptiva.....	39
	4.1.1.	Caracterización de la zona de estudio	39
	4.1.2.	Sistema de agua potable existente	39
4.2.		Memoria de cálculo para la determinación de caudales teóricos.....	40
	4.2.1.	Aplicación de los métodos empíricos	40
	4.2.1.1.	Método británico	40
	4.2.1.2.	Método de Dawson y Bowman.....	41
	4.2.2.	Aplicación de métodos semiempíricos	42
	4.2.2.1.	Método Alemán de la Raíz Cuadrada ..	42
	4.2.2.2.	Método del Factor de Simultaneidad ...	43
	4.2.2.3.	Método Racional o Español	45
	4.2.3.	Aplicación de métodos probabilísticos	47
	4.2.3.1.	Método Hunter.....	47

4.2.3.2.	Método Hunter Modificado	49
4.2.3.3.	Método Hunter de Colombia	49
4.3.	Aforo del caudal máximo	51
4.3.1.	Análisis de aforo	52
4.4.	Análisis comparativo de métodos teóricos versus aforo	57
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		63
BIBLIOGRAFÍA		65
APÉNDICE		67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Medidor Woltman Silver turbo, ARAD	52
2.	Consumos aforados en campo el 19 de diciembre de 2019.....	53
3.	Consumos aforados en campo el 20 de diciembre de 2019.....	53
4.	Consumos aforados en campo el 21 de diciembre de 2019.....	54
5.	Consumos aforados en campo el 22 de diciembre de 2019.....	54
6.	Consumos aforados en campo el 23 de diciembre de 2019.....	55
7.	Consumos aforados en campo el 24 de diciembre de 2019.....	55
8.	Caudales teóricos y aforados para el centro comercial	58

TABLAS

I.	Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario en sectores de uso privado	9
II.	Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario en sectores de uso público.....	10
III.	Diámetros de alimentación mínimos en sectores de uso privado.....	11
IV.	Diámetros de alimentación mínimos en sectores de uso público	11
V.	Presión de servicio mínima por artefacto en sectores de uso privado.	12
VI.	Presión de servicio mínima por artefacto en sectores de uso público..	13
VII.	Velocidades máximas admisibles.....	13
VIII.	Dotación de agua en edificios.....	18
IX.	Descargas aproximadas para muebles sanitarios. Método Británico..	22

X.	Descargas simultáneas para muebles sanitarios. Método Británico. ...	23
XI.	Caudales mínimos para aparatos sanitarios. Método del Factor de Simultaneidad.	26
XII.	Gastos de aparatos sanitarios. Método Racional.....	28
XIII.	Unidades de descarga y caudales de aparatos sanitario según su tipo de uso. Método Hunter.	32
XIV.	Gastos probables en litros/segundo para más de 1 000 unidades Hunter.....	33
XV.	Unidades de carga. Método Hunter de Colombia.	35
XVI.	Valores de caudal en las edificaciones para más de 931 unidades de carga. Método Hunter de Colombia.	36
XVII.	Evaluación caudal máximo probable, método Británico.	40
XVIII.	Evaluación caudal máximo probable, método Alemán de la Raíz Cuadrada.....	42
XIX.	Evaluación caudal máximo probable, método del Factor de Simultaneidad	44
XX.	Evaluación caudal máximo probable, método Racional o Español	46
XXI.	Evaluación caudal máximo probable, método Hunter.....	48
XXII.	Evaluación caudal máximo probable, método Hunter de Colombia	50
XXIII.	Resumen de los caudales máximos probables obtenidos	57
XXIV.	Factores de corrección para cada método en base al aforo realizado	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
bar	Barra equivalente a unidad de presión
N	Cantidad total de unidades habitacionales
Q	Caudal de diseño
Q_p	Caudal máximo probable
Cm	Centímetro
K	Coeficiente de simultaneidad
K₂	Coeficiente de simultaneidad del conjunto habitacional
K₁	Coeficiente de simultaneidad individual
PVC	Cloruro de polivinilo
φ	Diámetro
Q_i	Factor de carga unitaria
F_i	Factor de carga
GU	Gasto unitario de 0,25 l/s
hrs/día	Horas sobre día
kg	Kilogramo
psi	Libra por pulgada cuadrada
l	Litros
l/hab/día	Litros por habitante y día
l/h	Litros sobre hora
l/m	Litros sobre minutos
l/s	Litros sobre segundos
m.c.a.	Metro de columna de agua

mts	Metros
m/s	Metros sobre segundo
m	Minutos
Ni	Número de aparatos sanitarios
plg	Pulgada
s	Segundos
t	Tiempo
v	Velocidad

GLOSARIO

Aforo	Medir el caudal que una fuente de agua es capaz de proporcionar.
Agua potable	Agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos.
Aparatos sanitarios	Son todos los artefactos que se colocan en las viviendas y locales para facilitar la recepción de aguas utilizadas en la higiene y necesidades de las personas.
Caudal	Volumen de agua por unidad de tiempo.
Consumo	Cantidad de agua usada por una persona.
Instalación interior	Conjunto de tuberías e implementos de la red interna de agua potable de la propiedad, considerada desde la salida de la llave de paso después del medidor de agua potable hasta los puntos de consumo.
Medidor de caudal	Es un mecanismo de relojería a través del cual se obliga a pasar el flujo de agua, con el fin de medir el volumen de agua potable que ingresa a la instalación interior de agua potable.

Servicio privado	Se presenta cuando los baños son de uso más limitado.
Servicio público	Cuando los aparatos sanitarios pueden ser utilizados por varias personas que pueden ingresar al baño y utilizar diferentes aparatos sanitarios.
Sifa	Tubo curvo que se coloca en el desagüe de los aparatos sanitarios, el cual impide la salida de gases y malos olores. En forma popular es conocido como sifón.
Sistema distribución	Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o cisterna hasta los puntos de consumo.
Sistema agua potable	Conjunto de obras de captación, tratamiento, conducción, regulación, distribución y suministro intradomiciliario de agua potable.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue elaborado para ser una herramienta para el estudiante y los profesionales que deseen verificar términos y procedimientos de diferentes métodos teóricos utilizados en todo el mundo para la determinación del caudal máximo probable, los cuales se dividen en: métodos empíricos, métodos semiempíricos y métodos probabilísticos.

Facilita la relación de un estudio o análisis, ya que fue elaborado para comparar los resultados de los caudales máximos probables teóricos obtenidos versus los caudales pico arrojados por un aforo llevado a cabo en el medidor de caudal propio del centro comercial, el cual fue elaborado en un rango de tiempo considerable durante 6 días consecutivos.

Por lo anterior, se considera que el presente trabajo es un estudio aplicado, ya que incluye trabajo de campo, estimaciones teóricas y comparaciones para valorar cuál de los modelos teóricos para la estimación del caudal máximo probable se ajusta de mejor forma con base al caudal aforado en el centro comercial en estudio y así proponer un factor de corrección para cada método adaptado a nuestro país.

OBJETIVOS

General

Determinar la metodología que permita estimar con mayor certeza los consumos reales de las instalaciones hidráulicas en los centros comerciales de Guatemala.

Específicos

1. Describir cada uno de los métodos de cálculo para la determinación del caudal máximo probable.
2. Analizar los diferentes métodos teóricos existentes para la estimación de caudales máximos probables.
3. Elaborar un aforo por medio del contador de agua ubicado en el centro comercial establecido.
4. Comparar los resultados obtenidos por las demandas reales con los datos conseguidos en los cálculos de los métodos existentes.
5. Proponer un factor para aplicar a alguno de los métodos teóricos existentes a fin de personalizarlo para Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Guatemala no cuenta con una metodología propia del diseño de edificaciones a nivel hidráulico para calcular el caudal máximo probable, por lo que en las diversas edificaciones con las que cuenta nuestro país ha sido necesaria la utilización de métodos para cálculo que se desarrollan en otros países del mundo.

En virtud de lo anterior y debido a que las costumbres, usos de aparatos, cultura y especialmente la utilización de artefactos sanitarios ubicados en el mercado local, es necesario aportar estudios de campo que puedan calcular los consumos reales de los usuarios en Guatemala.

El presente trabajo de graduación pretende estimar un caudal máximo probable para un edificio de tipo comercial conforme a los siguientes métodos: Método Británico, Método de Dawson y Bowman, Método Alemán de la Raíz Cuadrada, Método del Factor de Simultaneidad, Método Racional, Método Hunter, Método Hunter Modificado y Método Hunter de Colombia; esto con la finalidad de comparar cada uno de los resultados teóricos con los caudales reales de abastecimiento en un centro comercial ubicado en la ciudad de Guatemala.

La metodología propuesta y realizada en campo inicia con el aforo del medidor de caudal en un rango de tiempo promedio de 12 hrs/día, el cual abarca cada 30 minutos la lectura durante seis días consecutivos. Dicho medidor se encuentra ubicado en el sótano 2 del Centro Comercial en estudio y abastece el área a analizar para que paralelamente se proceda con el catastro

de los diferentes tipos y cantidades de accesorios que conforman la red de agua potable.

Finalmente, se procederá a la comparación de los caudales teóricos calculados por los diferentes métodos anteriormente mencionados con el caudal real máximo aforado en el Centro Comercial en estudio, para con ello definir los factores de corrección para cada método aplicado a los centros comerciales en Guatemala.

1. GENERALIDADES DEL SISTEMA HIDRÁULICO EN EDIFICACIONES

1.1. Sistemas de abastecimiento en agua

El tipo de abastecimiento de una red es determinado según las condiciones particulares de la edificación diseñada, la presión mínima de servicio requerida y el caudal de diseño.

1.1.1. Sistema de abastecimiento de agua directo

Este tipo de sistema surte directamente a un edificio desde una matriz de agua potable, en donde la presión de servicio mínima es la suficiente para lograr el adecuado funcionamiento de los artefactos sanitarios sin necesidad de contar con una reserva de agua; sin embargo, el suministro de la red pública debe ser permanente para lograr abastecer a todas las instalaciones internas.

El sistema de alimentación directa se caracteriza por contar con una presión de servicio mínima de 15 m.c.a., mientras que la presión de entrada generalmente no supera los 40 m.c.a.

Este tipo de sistema abastece únicamente a edificios de baja altura, generalmente hasta dos niveles, por lo que las variaciones horarias afectan directamente al abastecimiento en los puntos de consumo más elevados, ya que la presión de servicio debe ser superior o igual a la necesitada para la alimentación de cada aparato en la edificación.

1.1.2. Sistema de abastecimiento indirecto

Consiste en elevar la red pública hacia reservorios domiciliarios (cisternas y tanques elevados) para lograr elevar la presión y dar servicio a los artefactos sanitarios en los niveles más altos por medio de un sistema de bombeo o gravedad. Generalmente el agua llega al depósito por medio de alimentación directa para las edificaciones que no exceden cuatro pisos y, por medios mecánicos, cuando exceden la cantidad de pisos anteriormente mencionados.

Una de las ventajas de este tipo de sistema de abastecimiento es que existe una reserva de agua en el caso de interrupción del servicio y, por lo tanto, una presión constante en cualquier punto de la red interior.

1.1.3. Sistema combinado

Este tipo de sistema, también llamado mixto, es utilizado en edificaciones generalmente de hasta cuatro niveles, que no requieren la instalación de bombas. Se adopta cuando la presión que se tiene en la red general para el abastecimiento de agua fría no es la suficiente para que llegue hacia el tanque elevado, por lo que es necesario construir cisternas.

Este sistema combina la alimentación directa con la distribución por gravedad y se presenta en dos etapas de funcionamiento, las cuales son:

- Cuando existe presión suficiente en la red exterior. Existe alimentación directa de los servicios de cada piso y también del tanque elevado.
- Por falta de agua en la red exterior. Entra en servicio el tanque de reserva para abastecer la edificación por gravedad.

1.1.4. Sistema hidroneumático

El sistema hidroneumático se utiliza en zonas donde el abastecimiento de agua no garantiza la presión suficiente y se busca mantener una presión adecuada. La instalación y el empleo de este tipo de sistema es válido para el abastecimiento de agua potable en edificios de gran altura.

Este sistema suministra directamente la presión al agua de la red interior o una parte de ésta, sin necesidad de tener un tanque elevado.

1.2. Edificaciones tipo y características de la alimentación de una red de agua potable

Existen diferentes tipos de edificaciones para los cuales será posible calcular y diseñar las instalaciones hidráulicas dependiendo del número de aparatos sanitarios dispuestos y las cantidades de tubería y accesorios.

Uno de los aspectos de diferenciación entre los tipos de edificaciones es que el consumo de éstas varía de acuerdo con el tipo, el tamaño y las condiciones del establecimiento, es decir si es de uso público o privado.

1.2.1. Viviendas unifamiliares

Casas de uno o dos pisos para las cuales generalmente pertenece una sola familia. Su suministro puede ser directo, por tanque elevado o combinado.

1.2.2. Residenciales

Es el caso de viviendas unifamiliares grupales, generalmente de uno o dos pisos en donde el suministro para estas proviene de una sola acometida por lo que al momento de diseñar la red que irá a distribuir el agua a las casas se distribuye de manera directa o por un tanque elevado o combinado.

1.2.3. Apartamentos

Edificaciones que pueden llegar a tener desde dos hasta veinte o más niveles. Su suministro puede ser directo o combinado si es menor de cuatro pisos y alcanza la presión con la que viene la red; de lo contrario, puede ser mediante un equipo hidroneumático.

1.2.4. Centros comerciales

Edificaciones sobre grandes extensiones de terreno que, por lo general, están destinados al comercio y al uso público de las instalaciones. Su suministro puede ser por medio de equipos hidroneumáticos o por medio de sistema de bombas para lograr que la presión sea la suficiente a lo largo de toda la edificación.

1.3. Instalaciones sanitarias en edificaciones tipo

Las instalaciones sanitarias corresponden a los aparatos sanitarios generalmente mecánicos, compuestos de diferentes piezas combinadas que se utilizan mediante el uso del agua con el fin de cubrir las necesidades de los usuarios, ya sea de limpieza, aseo personal, evacuación de las aguas servidas o pluviales, limpieza de objetos, cocina, entre otros.

Los aparatos sanitarios cumplen con una doble función, las cuales son de terminales de suministro de agua y de origen del sistema de evacuación. Por ello, para garantizar un buen diseño y un buen funcionamiento del sistema, es necesario definir la cantidad de agua que debe abastecerse en base al número y disposición de los aparatos, del tipo elegido y de sus características.

1.3.1. Inodoro

Un inodoro consta de dos partes, la taza y el tanque de descarga. La taza consta de un asiento y una tapa, asimismo de un reborde superior acanalado que se encarga de distribuir el agua que proviene del tanque de descarga, permitiendo que se lave toda la superficie interior de la taza, esta debe tener un diseño apropiado para evacuar rápidamente todas las materias fecales, debe ser resistente a la corrosión y de facilidad limpieza. El depósito de descarga o cisterna puede estar incorporado detrás del inodoro o bien, estar empotrado en la pared o colgado por encima de la taza, este debe ser de llenado silencioso y debe contar con un mecanismo duradero, rápido y sencillo.

La búsqueda de idoneidad fisiológica ha logrado un gran desarrollo y perfección en el funcionamiento del inodoro, lo que ha permitido la búsqueda de reducciones en el consumo de agua, por ello, actualmente todos los inodoros que se producen tienen una sifa incorporada al aparato, la cual impide la filtración de malos olores hacia el exterior del inodoro.

1.3.2. Mingitorio

Los mingitorios u orinales, son dispositivos destinados exclusivamente a servicios higiénicos masculinos. Se utilizan generalmente en lugares de gran

conurrencia de público, deben ser de porcelana vidriada y de una pieza, sin juntas. Se distinguen tres tipos:

- Mingitorios de grifería sencilla: son los que controlan el suministro del agua por medio de una llave reguladora.
- Mingitorios con válvula de fluxómetro: se instalan en el muro, este tipo de mingitorios son los más comunes hoy en día.
- Mingitorios con sensores de movimientos: se basan en el movimiento de la persona, ya que detecta cuándo va a usarlo para que posteriormente al retirarse, se descargue el agua del lavado para su respectiva evacuación.

1.3.3. Lavaderos

Estos aparatos se utilizan para el lavado de utensilios, ropa, entre otros, son diseñados y construidos en varios tipos, dependiendo de la función específica para la que son utilizados. Los más comunes son:

- Lavadero de cocina: utilizado en el lavado de vajilla y utensilios. Por lo general, se encuentran empotrados en el apoyo de la cocina, los hay de una o dos fosas y los materiales empleados en su fabricación son: mármol, granito, porcelana vitrificada o acero inoxidable; también se construyen con ladrillos y concreto.

La grifería se compone de dos grifos: uno para agua fría y otro para agua caliente. Si el fregadero es de dos fosas, una disposición muy práctica

consiste en colocar dos grifos de mezcla y un caño giratorio que enviará el agua a una u otra fosa.

- Lavadero de ropa: también denominado pila, su forma es la de un recipiente rectangular que consta de un área destinada para el almacenamiento de agua y otra, sobre la que se frota la ropa. Generalmente estos son localizados en los patios de la construcción, gracias a la ventilación que tiene esta zona.

Son construidos normalmente con las dimensiones que se adapten a las necesidades y espacio disponible, son equipados con llaves individuales o de combinación, desagües con rejilla y tapón.

- Lavaderos de servicio o lava trapeadores: son fabricados en porcelana vitrificada, fierro enlozado o construidos en obra. Generalmente son utilizados en edificios públicos, centros comerciales, hospitales, clínicas y hoteles, para el lavado de utensilios de aseo y limpieza.

1.3.4. Lavamanos

Es uno de los aparatos más utilizados en el aseo personal, destinado para el lavado de la cara y de las manos. Fabricado normalmente en porcelana vitrificada, pueden ser rectangulares, semicirculares u ovalados, pueden estar apoyados en un pedestal, suspendidos en la pared o en un top.

Como aparatos indispensables, el lavamanos se complementa con las llaves de suministro de agua fría o caliente. Cuando su uso es público, se pueden evitar consumos excesivos de agua con la instalación de grifos automáticos, su única desventaja es que no se pueden evitar los golpes de

ariete, dado que su cierre es instantáneo. En centros comerciales, escuelas, fábricas, entre otros, tienen aplicación los lavamanos colectivos que permiten su utilización por varias personas a la vez.

1.3.5. Ducha

Consiste esencialmente en un rociador ubicado más alto que la cabeza, que descarga una lluvia fina sobre la persona que la utiliza y va instalada generalmente sobre la bañera o sobre un área impermeable dispuesta en el suelo con objeto de recoger el agua vertida.

En las duchas aisladas la alimentación de agua se debe realizar con un grifo para agua fría y otro para el agua caliente, esto se realiza a través de válvulas unitarias o de combinación, instaladas a una altura conveniente que oscila entre 1,00 a 1,10 mts. Se considera al baño de ducha como el más ventajoso desde el punto de vista higiénico, por lo que es utilizado con mayor frecuencia en instalaciones públicas, o donde la utilizan mayor número de personas.

1.3.6. Bebederos

Estos aparatos son instalados para suministrar un chorro vertical u oblicuo de agua a una altura adecuada para que un usuario pueda ingerirla directamente.

Existen varios tipos, como el de pared y el de pedestal, son instalados generalmente en edificios públicos o en lugares abiertos cálidos, ya que cuentan con un suministro de agua fría, por lo que es común ubicarlos en gimnasios deportivos, universidades, parques y otros.

Los bebederos deben tener una presión de agua regulada para garantizar la permanencia del chorro constante y deben contar con una llave de cierre automático que pueda accionarse fácilmente.

1.4. Condiciones básicas de funcionamiento para los aparatos sanitarios

Las diversas actividades que desarrolla el ser humano a lo largo de su vida cotidiana producen variaciones de demanda de agua, provocando fluctuaciones diarias en el sistema de agua potable; por ello, es importante tomar en cuenta los parámetros básicos de diseño, los cuales responden a esa demanda de agua utilizada por el hombre. Para que los aparatos sanitarios funcionen en óptimas condiciones se debe considerar en el diseño los caudales mínimos y recomendables, los diámetros en la alimentación, la presión de servicio mínima y las unidades de consumo del aparato, los cuales dependen directamente del uso al cual pertenezcan y al sector al que pertenezcan, ya sea público o privado.

1.4.1. Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario

Los cuales mínimos son indispensables identificarlos ya que a partir de ellos se conoce la cantidad de agua recomendable que debe llegar a cada uno de los aparatos sanitarios para obtener su correcto funcionamiento.

Tabla I. **Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario en sectores de uso privado**

Aparato	Q_{\min} en l/s	$Q_{\text{recomendado}}$ en l/s
Bebederos	0,10	0,15
Ducha	0,20	0,30

Continuación tabla I.

Inodoro de tanque	0,30	0,35
Lavadora	0,25 – 0,30	0,40 – 0,45
Lavamanos	0,20	0,30
Lavaplatos	0,25 – 0,30	0,40 – 0,45
Mingitorio	0,15	0,25
Pila	0,20 – 0,30	0,30 – 0,45

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

Tabla II. **Caudales mínimos requeridos por aparato sanitario en sectores de uso público**

Aparato	Q_{\min} en l/s	$Q_{\text{recomendado}}$ en l/s
Bebedero	0,10	0,15
Ducha	0,20	0,30
Inodoro de fluxómetro	1,0 – 2,0	2,50
Lavamanos	0,20	0,30
Lavaplatos	0,25 – 0,30	0,40 – 0,45
Mingitorio	1,0	2,0

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

1.4.2. Diámetros mínimos en la alimentación

Para abastecer a cada uno de los aparatos sanitarios, es necesario conocer cada uno de los diámetros mínimos que permitan la llegada de agua potable sin presentar ningún tipo de inconveniente.

Con esta condición básica de diseño se pretende calcular, en base a los diámetros comerciales, los diferentes tramos de la red en función de los caudales de los aparatos sanitarios. Es importante tomar en cuenta que para

realizar este cálculo es necesario determinar el aparato más desfavorable del sistema, el cual corresponde a ser el más alto y alejado con respecto a la matriz de alimentación.

Los diámetros mínimos necesarios de acuerdo al sector de uso son:

Tabla III. **Diámetros de alimentación mínimos en sectores de uso privado**

Aparato	Diámetro de alimentación en pulgadas
Bebederos	$\frac{1}{2}$
Ducha	$\frac{1}{2}$
Inodoro de tanque	$\frac{1}{2}$
Lavadora	$\frac{1}{2}$
Lavamanos	$\frac{1}{2}$
Lavaplatos	$\frac{1}{2}$
Mingitorio	$\frac{1}{2}$
Pila	$\frac{1}{2}$

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

Tabla IV. **Diámetros de alimentación mínimos en sectores de uso público**

Aparato	Diámetro de alimentación en pulgadas
Bebedero	$\frac{1}{2}$
Ducha	$\frac{1}{2}$
Inodoro de fluxómetro	1 – $1\frac{1}{2}$
Lavamanos	$\frac{1}{2}$
Lavaplatos	$\frac{1}{2}$
Mingitorio	$\frac{3}{4}$

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

1.4.3. Presión de servicio mínima requerida por artefacto

La presión mínima también es llamada presión necesaria y se obtiene al aplicarse la ecuación de la energía en el circuito que conduce al agua desde el punto de derivación hasta el aparato más desfavorable. En los puntos de consumo ubicados dentro del edificio se establece un rango de presiones aceptables, las cuales funcionan como restricciones para los consumos en función del uso de la edificación.

En el caso en que la presión disponible en el punto de consumo fuera inferior a la presión mínima exigida, se vuelve necesaria la instalación de un grupo de aparatos de presión para poder controlarla. Los valores de presión mínima se presentan en las siguientes tablas:

Tabla V. **Presión de servicio mínima por artefacto en sectores de uso privado**

Aparato	Presión mínima m.c.a.	Presión recomendada m.c.a.
Bebederos	2,5	7,0
Ducha	1,5	7,0
Inodoro de tanque	2,0	7,0
Lavadora	2,0	7,0
Lavamanos	2,0	7,0
Lavaplatos	2,0	7,0
Mingitorio	2,0	7,0
Pila	2,0	7,0

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

Tabla VI. **Presión de servicio mínima por artefacto en sectores de uso público**

Aparato	Presión mínima m.c.a.	Presión recomendada m.c.a.
Bebedero	2,5	7,0
Ducha	1,5	7,0
Inodoro de fluxómetro	7,0 – 14,0	14,0
Lavamanos	2,0	7,0
Lavaplatos	2,0	7,0
Mingitorio	5,0 – 10,0	7,0

Fuente: RODRÍGUEZ, Héctor. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. p. 29.

1.4.4. Velocidad de agua

La velocidad de agua en las tuberías es un parámetro importante, ya que si existiera una velocidad menor a 0,60 m/s podría producirse sedimento de partículas en las tuberías, asimismo, si se obtuviese una mayor a 0,60 m/s se produciría un arrastre de sedimentos y si fuesen velocidades mayores de 2,0 m/s se produciría un desgaste en la tubería. Por ello, al momento de realizar cualquier diseño se debe reconocer que las velocidades máximas permitidas dependen de la calidad y del diámetro de la tubería a utilizar.

Tabla VII. **Velocidades máximas admisibles**

Φ de tubería en pulgadas	Velocidad máxima en m/s
Hasta 2 ½	2,00
Mayores a 2 ½	2,50

Fuente: elaboración propia, empleando Word.

2. PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO

2.1. Características de la red hidráulica

Para el diseño y cálculo de una red de distribución de agua potable es necesario tener en cuenta los conceptos básicos que se requieren para lograr realizar un predimensionamiento de la misma.

2.1.1. Partes constitutivas del sistema de agua potable

La distribución de agua llega a un edificio comercial por medio de una acometida general que se distribuye a todos los puntos de agua por medio de un conjunto de tuberías. En dicha distribución se pueden diferenciar cuatro clases de tuberías diferentes encargadas de transportar el agua, las cuales son:

- Distribuidor: tubería horizontal que inicia desde la llave de paso principal y se encarga de conducir el agua hacia las columnas del edificio tipo.
- Columnas: tuberías verticales que van desde el distribuidor y se conectan con las derivaciones de cada nivel del edificio.
- Derivaciones: tuberías horizontales que se encargan de conducir el agua desde las columnas hasta el local de interés.
- Ramales: tuberías que conducen el agua desde las derivaciones hacia cada uno de los aparatos sanitarios.

2.1.2. Trazado de la red

Una vez definido el diseño arquitectónico del edificio, se procede a la ubicación en planta de los aparatos sanitarios, luego con la definición de la red principal o distribuidor.

A partir de la ubicación de la red distribuidora se continúa con el trazo de las columnas de agua potable hacia los diferentes niveles del edificio tipo, las cuales ayudan a conducir el agua hacia unas pequeñas derivaciones horizontales definidas para satisfacer las necesidades de las baterías de los aparatos sanitarios por medio de pequeñas ramificaciones de tubería conocidas como ramales. En este trazado horizontal se busca hacer un trazado de longitud mínima con el fin de obtener un costo mínimo de acuerdo a las dimensiones de tubería de diseño.

Es indispensable disponer del plano arquitectónico para poder realizar este trazado, ya que el mismo ayudará a conocer los espacios ya distribuidos y los aparatos sanitarios en el lugar correspondiente. Igualmente, se debe disponer de los planos estructurales, con el fin de asegurarse de que el trazado de la red no afecte la construcción de la estructura principal del edificio.

En el diseño general de agua potable se utilizan diámetros hasta de 4 pulgadas, recomendándose que cuando por la magnitud de los caudales se supere este valor, se fraccione la red.

Como recomendación general para el trazado en planta de la red, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La red debe ser abierta y de longitud mínima.

- Efectuar cambios de dirección en donde lo solicite el diseño, en principio sólo a 90°.
- Iniciar el trazado de la red desde los aparatos más alejados hacia el punto de alimentación o distribuidor, que es el medidor.
- El trazado en planta debe realizarse de tal manera que se pueda conseguir el aislamiento hidráulico de la red por baterías de aparatos sanitarios, con el fin de no inhabilitar todo el sistema en caso de avería.

2.1.3. Vista isométrica de la red

Una vez realizado el trazado en planta, es indispensable hacer una vista isométrica con base a éste, la cual debe ser a 45° de tal manera que se pueda ver en detalle la red, teniendo en cuenta dimensiones, accesorios y diámetros, así como también la altura a la que se debe instalar la tubería que alimenta cada aparato sanitario y en general, todas las columnas, derivaciones y ramales de la red debidamente identificadas.

2.2. Dotación de agua en edificios

La cantidad de agua que debe suministrarse a un edificio en función del uso al que se destinará el mismo, al número de ocupantes, necesidades profesionales, entre otros, se conoce como dotación, la cual tiene gran importancia en las instalaciones sanitarias interiores en edificios, dado que ella permite conocer si la fuente de suministro tiene la capacidad suficiente para suplir las necesidades de los usuarios.

Tabla VIII. **Dotación de agua en edificios**

Tipo de edificio y servicio	Dotación
Habitación en zonas rurales	85 litros/habitante/día
Habitación tipo popular	150 litros/habitante/día
Habitación interés social	200 litros/habitante/día
Departamentos de lujo	250 litros/habitante/día
Oficinas	70 litros/habitante/día
Hoteles	500 litros/habitante/día
Cines	2 litros/espectador/función
Baños públicos	500 litros/bañista/día
Clubes	500 litros/bañista/día
Restaurantes	15 - 30 litros/comensal/día
Lavanderías	40 litros/kg de ropa seca
Riego de jardines	5 litros/m ² césped

Fuente: JIMENO BLASCO, Enríquez. *Instalaciones Sanitarias en Edificaciones*. p. 68.

2.3. Patrones de consumo

También es denominado curva patrón de consumo, la cual permite conocer el volumen de agua que se consume para diferentes intervalos de caudal y suele expresarse como el porcentaje del volumen total consumido para cada una de las franjas de caudal establecidas generalmente en l/h, entendiéndose por franjas a las distintas horas del día.

La curva patrón de consumo permite determinar las frecuencias de consumo instantáneo de todos los usuarios de un sistema de abastecimiento de agua potable; su mayor utilidad se ve reflejada en poder determinar en qué rangos de caudales se presenta el mayor volumen de consumo. Esta curva es útil para lograr dimensionar de manera correcta los medidores de agua requeridos y para calcular de manera más precisa el error de registro de cada

contador en función al volumen no registrado que ha circulado en cada rango de caudal.

2.4. Caudales máximos instantáneos en edificaciones

Cada uno de los aparatos sanitarios instalados en cualquier tipo de edificación, representa cierto valor de caudal instantáneo mínimo que corresponde al caudal de descarga con el cual se diseña la red hidráulica.

A continuación, se presentan algunos conceptos básicos necesarios para comprender la determinación del caudal de diseño empleado para el dimensionamiento de redes internas en edificaciones.

2.4.1. Caudal máximo o caudal máximo posible

El caudal instantáneo máximo o caudal máximo posible es la suma de los caudales instantáneos debidos a cada uno de los aparatos sanitarios instalados funcionando simultáneamente. Sin embargo, el consumo real de cualquier edificación es menor que el resultado de hacer esta operación, puesto que el funcionamiento simultáneo de todos los aparatos en condiciones normales de funcionamiento nunca se presenta debido a que los mismos son utilizados de forma discontinua. Por ello, para efectos de diseño, este caudal no se tiene en cuenta, ya que la probabilidad que se presenta es prácticamente nula.

2.4.2. Caudal máximo probable

Es el caudal más alto que probablemente se puede presentar en cada tramo de tubería, ya que representa al caudal efectivo de la tubería con el uso normal de los aparatos sanitarios. Este caudal toma en cuenta que todos los

equipos sanitarios no funcionan al mismo tiempo y se obtiene multiplicando el caudal máximo posible por un factor de simultaneidad o probabilístico, basado en la escasa probabilidad de que funcionen simultáneamente todos los aparatos de un mismo ramal.

El caudal máximo probable brinda información para determinar el caudal de diseño y obtener el predimensionamiento de la red para definir el diámetro de cada uno de los tramos.

2.4.3. Caudal de consumo diario

Es el caudal de consumo en un día por habitante que presenta un tipo de edificación determinado, se expresa en litros/habitantes/día.

Este valor generalmente es de utilidad para determinar la capacidad del depósito de abastecimiento de una red, siempre y cuando la alimentación no sea de manera directa.

3. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES EN EDIFICACIONES

3.1. Cálculo de redes interiores

La red de distribución de agua de un edificio se debe diseñar de tal manera que el sistema cumpla con los requisitos de capacidad suficientes para satisfacer las demandas máximas de acuerdo al tipo y uso del edificio.

3.2. Métodos de cálculo de caudales máximos probables

Para determinar los diámetros óptimos de las tuberías que conducen el agua demandada en un sistema interno de abastecimiento de una edificación, se requiere determinar a priori el pico máximo de consumo, cuyo valor es obtenido por medio de los métodos para determinar el caudal máximo probable existentes.

3.2.1. Métodos empíricos

Los métodos empíricos son aquellos que se fundamentan en la experiencia del diseñador, ya que se diseña en relación al número de aparatos sanitarios que pueden funcionar simultáneamente en un sistema. Este método es considerado el más recomendable para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos y toma como fundamento la exhaustiva observación de un fenómeno de forma prolongada en el tiempo.

3.2.1.1. Método británico

Este método establece tablas de probables demandas simultáneas, correspondientes a diversas cargas potenciales.

La tabla IX hace parte del método, presenta las demandas para distintos aparatos sanitarios en l/m; después, considerando el sistema de distribución hidráulico, se suman las demandas de todos los aparatos sanitarios que puede servir una línea de tubería en el sistema, para continuar con la tabla X, la cual pretende, con el número de litros por minuto que se calcularon, leer la probable demanda máxima simultánea en litros por minuto, y dimensionar la tubería que conducirá dicho flujo.

Tabla IX. **Descargas aproximadas para muebles sanitarios. Método Británico**

Muebles sanitarios	Descarga en l/m	Muebles sanitarios	Descarga en l/m
Baño privado	18,93	Ducha	7,57
Baño público	30,38	Regadera de 4 plg.	15,14
Lavadero	15,14	Regadera de 6 plg.	30,28
Lavamanos	7,57	Válvulas de Fluxómetro*	75,00
*Caudal supuesto			

Fuente: GARZÓN ORDUÑA, Alex. *Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.* p. 21.

Tabla X. **Descargas simultáneas para muebles sanitarios. Método Británico**

Gasto total en l/m	Demanda probable en l/m	% sobre el máx. posible	Gasto total en l/m	Demanda probable en l/m	% sobre el máx. posible
Hasta 12	100 % del máx. posible.	100,0	318,0	147,6	46,4 %
53,0	49,2	92,8	405,0	159,0	39,3
60,6	54,9	90,6	465,6	170,3	36,6
68,1	60,6	89,0	537,5	181,7	33,8
75,7	66,2	87,5	617,0	196,8	31,9
87,1	71,9	82,5	711,7	212,0	29,8
98,4	77,6	78,9	817,6	230,9	28,2
113,6	85,2	75,0	938,8	246,1	26,2
132,5	90,8	68,5	1 082,8	268,8	24,8
151,4	98,4	65,0	1 245,4	291,5	23,4
174,1	106,0	60,9	1 430,9	321,8	22,5
200,6	113,6	56,6	1 646,6	359,6	21,8
230,9	121,1	52,4	1 892,7	393,7	20,8
268,8	128,7	47,9	Más de 1 892	20 % del máx posible.	20,0
306,6	140,1	45,7			

Fuente: GARZÓN ORDUÑA, Alex. *Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.* p. 22.

3.2.1.2. Método de Dawson y Browman

Este método se basa en tablas con el número total de muebles sanitarios existentes en varios tipos de vivienda: unifamiliar pequeña, unifamiliar grande y apartamentos desde 2 hasta 6 unidades de viviendas; en las cuales se especifica el número y la clase de aparatos sanitarios de que suelen disponer y

que podrían estar en uso simultáneo, para así determinar los caudales de diseño.

Para calcular el caudal máximo posible, se consideran los caudales individuales indicados en la tabla IX, presentados en el método Británico.

3.2.2. Métodos semiempíricos

Estos métodos se basan en la experiencia, pero contienen cierto sustento teórico que permite establecer expresiones y fórmulas matemáticas.

3.2.2.1. Método alemán de la raíz cuadrada

Este método toma como unidad de gasto, la descarga de una llave de 3/8 plg. bajo ciertas condiciones, y asigna un factor de carga unitario a dicho gasto. En el caso de cualquier otro tipo de aparato sanitario que tenga un gasto diferente, se aplica un factor de carga establecido tomando una relación entre el gasto del aparato sanitario en estudio y el gasto unitario ya normado, el de la llave de 3/8 de plg., elevando al cuadrado su resultado.

Este método toma como unidad de gasto unitario un caudal de 0,25 l/s, de esta forma el factor de carga para cada tipo de aparato sanitario de la edificación es multiplicado por el número de aparatos del mismo tipo servidos por la tubería respectiva, para después sumar el resultado y finalmente obtener la raíz cuadrada. El resultado es multiplicado por el gasto unitario de una llave de 3/8 plg. para obtener el gasto de abastecimiento al edificio. La obtención de la raíz cuadrada considera el hecho que los aparatos no trabajan simultáneamente.

La carga de diseño en función a lo anterior, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Q = q_i * \sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2 + \dots f_i * n_i}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño en l/s

q_i = Factor de carga unitaria = 0,25 l/s

f_i = Factor de carga adimensional

n_i = Número de aparatos sanitarios

Por último, para la obtención del factor de carga f_i se sigue:

$$f_i = \left(\frac{GA}{GU}\right)^2$$

Donde:

f_i = Factor de carga adimensional

GA = Gasto del aparato sanitario en l/s

GU = Gasto unitario = 0,25 l/s

Cabe mencionar que este método no establece los gastos para los aparatos sanitarios.

3.2.2.2. Método del factor de simultaneidad

Para el cálculo del caudal máximo probable, es necesario en primera instancia establecer el caudal mínimo Q_{min} , el cual se obtiene de las multiplicaciones de las demandas de cada aparato sanitario instalado con las

cantidades totales de cada tipo. Posteriormente se procede a sumar el Q_{min} de todos los aparatos sanitarios para luego multiplicar el resultado por un coeficiente de simultaneidad, conocido como K.

Los caudales mínimos recomendados, en las unidades originales en que fue concebido el método, se muestran en la tabla XI.

Tabla XI. **Caudales mínimos para aparatos sanitarios. Método del Factor de Simultaneidad**

Aparato	Q_{min} en l/s
Calentador eléctrico	0,30
Ducha	0,20
Inodoro de tanque	0,15
Inodoro de fluxómetro	1,25
Lavamanos	0,20
Lavadero	0,20 – 0,30
Lavaplatos	0,25 – 0,30
Lavadora	0,20 – 0,30
Llave externa	0,25

Fuente: GARZÓN ORDUÑA, Alex. *Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá*. p. 26.

El caudal de diseño se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$Q_c = K * \sum Q_{min}$$

Donde:

Q_c = Caudal de diseño

K = Coeficiente de simultaneidad

Q_{min} = Caudal de cada tipo de aparato sanitario multiplicado por su cantidad.

El coeficiente de simultaneidad K, siempre es inferior a la unidad, pero no menor que 0,2; y éste considera el uso no simultáneo de todos los aparatos sanitarios abastecidos por la misma red hidráulica. El cálculo del valor de K, se establece mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{1}{\sqrt{(n - 1)}}$$

Donde:

K = Coeficiente de simultaneidad

n = Cantidad total de aparatos sanitarios

3.2.2.3. Método racional o español

Este método establece los mismos principios que el método de factor de simultaneidad, a diferencia que, en este se considera el tipo de edificaciones constituidos por una serie de unidades habitacionales con similares características.

Se inicia por establecer un gasto para cada aparato sanitario, después se multiplica por la cantidad de aparatos del mismo tipo presentes en la edificación y la sumatoria de los caudales se multiplica por un coeficiente K_1 de simultaneidad, el cual se obtiene de la siguiente fórmula:

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

Donde:

K_1 = Coeficiente de simultaneidad.

n = Cantidad total de aparatos sanitarios por unidad habitacional.

Para considerar la simultaneidad del conjunto de unidades habitacionales y obtener el caudal punta QP, del distribuidor común del conjunto habitacional, se debe obtener la sumatoria de los caudales puntas de cada unidad multiplicado por el siguiente factor:

$$K_2 = \frac{(N + 19)}{10 * (N + 1)}$$

Donde:

K_2 = Coeficiente de simultaneidad del conjunto habitacional.

N = Cantidad total de unidades habitacionales.

De modo que, se puede expresar la fórmula del cálculo del caudal de diseño de la siguiente forma:

$$Qp = N * K_2 * K_1 * \sum Q_{min}$$

Donde:

N = Cantidad total de unidades habitacionales.

K_2 = Coeficiente de simultaneidad del conjunto habitacional.

K_1 = Coeficiente de simultaneidad individual.

Q_{min} = Caudal de cada aparato sanitario multiplicado por su cantidad.

Tabla XII. **Gastos de aparatos sanitarios. Método Racional**

Aparato sanitario	Qmin en l/s
Lavabo	0,10
Sanitario con depósito	0,10
Ducha	0,20
Lavadero	0,20

Continuación tabla XII.

Lavadora	0,20
Lavaplatos	0,20
Llave exterior	0,25
Fregadero	0,20
Bidet	0,10
Bañera	0,30
Office	0,15
Fluxómetros	0,95 – 2,0

Fuente: GARZÓN ORDUÑA, Alex. *Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá*. p. 27.

3.2.3. Métodos probabilísticos

Estos métodos se basan en la teoría de la probabilidad para determinar un caudal máximo probable. Aunque se consideran los más racionales, estos métodos son de dudosa aplicación cuando se trata de diseño de instalaciones hidráulicas en edificios con escasos aparatos sanitarios; además los caudales y las frecuencias de uso considerados en algunos de los procedimientos son demasiadas altas para algunos países que han debido de adaptarlas para su aplicación o para incorporarlas a sus normas.

3.2.3.1. Método Hunter

Otro método para determinar el caudal de diseño de las redes de abastecimiento en una edificación es mediante el cálculo de probabilidades desarrollado por el Dr. Roy Hunter, el cual se basa de que únicamente una pequeña cantidad de aparatos sanitarios dentro del sistema operarán simultáneamente en un instante dado. Según este método, el efecto causado

por cada aparato sanitario que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de:

- Gasto o caudal del aparato q : volumen del líquido por unidad de tiempo que fluye a través del aparato sanitario mientras está en uso.
- Frecuencia de uso T : tiempo transcurrido entre usos sucesivos del aparato sanitario.
- Duración de uso t : tiempo que el agua fluye para atender la demanda del aparato.

Este método discierne entre si la edificación es de uso público o privado, y si el sistema de abastecimiento de agua tiene predominancia de inodoros de tanque o inodoros con fluxómetro.

Hunter asumió inicialmente que la operación de los aparatos era aleatoria, además determinó la frecuencia de uso de todos los aparatos basado en datos tomados en edificaciones, por lo que el método es aplicable a grandes grupos de elementos, ya que la carga de diseño es tal que tiene cierta probabilidad de no ser excedida.

La base matemática del método, utiliza la teoría de la probabilidad para describir la condición cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar la carga de demanda para el número m del total de n de aparatos del edificio, de tal forma que no más de m aparatos serán encontrados en uso simultáneo por más del 1 % del tiempo.

$$P_0^n + P_1^n + P_2^n + \dots + P_{m-1}^n + P_m^n \geq 0,99$$

Donde:

P_i = probabilidad de no encontrar i aparato funcionando.

La forma general para obtener la sumatoria de las probabilidades de que cualquier r aparatos y solamente r, sin importar la cantidad n de los aparatos totales, esté en funcionamiento en cualquier instante de observación se describe matemáticamente como:

$$P_r^n = \sum_{r=0}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} * p^r$$

Donde:

P = probabilidad de que r y solo r de n aparatos esté en funcionamiento.

r = cantidad de aparatos funcionando simultáneamente.

n = cantidad total de aparatos.

La ecuación anterior es suficiente para obtener el valor de m, pero el cálculo es muy laborioso, por lo que se han desarrollado métodos para reducir el cálculo matemático, los cuales consisten en tablas que proporcionan la sumatoria del residuo de la serie de la ecuación mencionada. Lo que se podría resumir en:

$$P_r^n = \sum_{r=m+1}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} * p^r \leq 0,01$$

Con el objeto de buscar la simplificación del uso de este principio matemático, Hunter definió un método que se basa en asignar valores de carga o unidades de carga a cada clase de aparato sanitario como en la tabla XIII. Esta unidad de carga se determinó experimentalmente y representa el grado de afectación de cada clase de aparato sanitario al sistema hidráulico; por lo que,

al ser la unidad de carga un factor numérico, su valor se relaciona con un determinado caudal como en tabla XIV.

Tabla XIII. **Unidades de descarga y caudales de aparatos sanitario según su tipo de uso. Método Hunter**

Aparato	Tomas por aparato	Uso privado		Uso público	
		Unidades Hunter	Caudal en l/s	Unidades Hunter	Caudal en l/s
Bañera o tina	2	3	0,19	4	0,22
Bebedero	1	0,5	0,03	1	0,06
Bidet	2	2	0,13	3	0,19
Ducha	2	2	0,13	3	0,19
Inodoro con fluxómetro	1	6	0,32	10	0,50
Inodoro con tanque	1	3	0,19	5	0,25
Lavadero de servicio	1	3	0,19	4	0,22
Lavadora de platos	2	1	0,06	3	0,19
Lavadora de ropa	2	3	0,19	5	0,25
Lavamanos	2	1	0,06	2	0,13
Lavatrastos	2	2	0,13	4	0,22
Orinal con fluxómetro	1	6	0,32	10	0,50
Orinal con llave	1	1	0,06	3	0,19
Pila	1	3	0,19	5	0,25
Grifo para manguera de 15 m.	1	3	0,19	6	0,33

Fuente: GARCIA GATICA, Juan. *Tablas para el cálculo Hidráulico por el método de Hunter Instalaciones 1.* p. 1.

Tabla XIV. **Gastos probables en litros/segundo para más de 1 000 unidades Hunter**

N.U.*	Q en l/s	N.U.*	Q en l/s	N.U.*	Q en l/s	N.U.*	Q en l/s	N.U.*	Q en l/s
1 000	13,07	1 012	13,17	1 024	13,27	1 036	13,37	1 048	13,47
1 001	13,08	1 013	13,18	1 025	13,28	1 037	13,38	1 049	13,48
1 002	13,09	1 014	13,19	1 026	13,29	1 038	13,39	1 050	13,49
1 003	13,10	1 015	13,20	1 027	13,30	1 039	13,40	1 051	13,50
1 004	13,10	1 016	13,20	1 028	13,31	1 040	13,41	1 052	13,51
1 005	13,11	1 017	13,21	1 029	13,31	1 041	13,41	1 053	13,51
1 006	13,12	1 018	13,22	1 030	13,32	1 042	13,42	1 054	13,52
1 007	13,13	1 019	13,23	1 031	13,33	1 043	13,43	1 055	13,53
1 008	13,14	1 020	13,24	1 032	13,34	1 044	13,44	1 056	13,54
1 009	13,15	1 021	13,25	1 033	13,35	1 045	13,45	1 057	13,55
1 010	13,15	1 022	13,25	1 034	13,36	1 046	13,46	1 058	13,56
1 011	13,16	1 023	13,26	1 035	13,36	1 047	13,46	1 059	13,56
*N.U.= Cantidad de unidades Hunter.									

Fuente: GARCIA GATICA, Juan. *Tablas para el cálculo Hidráulico por el método de Hunter Instalaciones 1.* p. 2.

3.2.3.2. Método Hunter Modificado

Este método busca transformar el método Hunter original en un método relativamente económico desde el punto de vista de la estimación de los caudales o gastos de los aparatos sanitarios, ya que el método de Hunter genera datos de simultaneidad un tanto elevados.

Es así que el método de Hunter Modificado se deriva del anterior, por lo que las unidades de consumo se establecen de la misma forma; la variación o modificación con respecto al otro método se da en la lectura del caudal máximo probable, el cual contempla únicamente un 40 % del valor de carga unitaria obtenida con el método de Hunter original.

3.2.3.3. Método de Hunter de Colombia

Este método surgió de las modificaciones basadas en aforos realizados en trabajos de graduación sobre los métodos para el cálculo de los caudales máximos probables instantáneos para diferentes edificaciones en Colombia.

Para establecer el uso simultáneo de los aparatos se siguieron los mismos fundamentos probabilísticos del método Hunter original, por lo que a esta nueva alternativa se le denominó Método de Hunter para Colombia o Método de Hunter Unal, la cual consideró los cambios en los aparatos a abastecer comparados con los aparatos estudiados en el método original, y se adaptó a las condiciones locales.

Las dos principales variaciones que se hicieron al método original son:

- Duración de uso de las válvulas de tanque: este cambio se sustenta en que los aparatos sanitarios de tanque que se utilizan hoy en día, son diseñados como ahorradores de agua, con tanques de 6 litros, con tiempo de llenado menor a 30 segundos, regularmente, que los tanques antiguos de volúmenes mayores a los actuales. Esto incide en la probabilidad del uso simultáneo de los aparatos.
- Caudal del aparato: hoy en día se han implementado sistemas de fluxómetro economizadores.

La aplicación del método sigue el mismo principio del Método de Hunter original y el Método de Hunter Modificado, por lo que, la obtención de las unidades de consumo se realizan de forma idéntica; la modificación se da en la lectura del caudal máximo probable, donde se realiza una reducción del caudal

promedio de los aparatos respecto del que usan los otros dos métodos, en función a caudales de aparatos actuales y tiempos de llenado menores.

Tabla XV. **Unidades de carga. Método Hunter de Colombia**

Aparato sanitario	Ocupación	Tipo de suministro	Unidad de carga
Inodoro	Público	Fluxómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Orinal	Público	Fluxómetro de 2,5 cm	10
Orinal	Público	Fluxómetro 2,0 cm	5
Orinal	Público	Tanque de limpieza	3
Orinal	Público	Llave	2
Lavamanos	Público	Llave	4
Ducha	Público	Válvula mezcladora	4
Fregadero de cocina	Privado	Llave	4
Inodoro	Privado	Fluxómetro	6
Inodoro	Privado	Tanque de limpieza	3
Lavamanos	Privado	Llave	1
Bidet	Privado	Llave	1
Tina	Privado	Llave	2
Ducha	Privado	Válvula mezcladora	2
Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
Lavadero	Privado	Llave	3
Lavadora	Privado	Llave	3

Fuente: ZAMORA ALVAREZ, Renán. *Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones*. p. 16.

Tabla XVI. **Valores de caudal en las edificaciones para más de 931 unidades de carga. Método Hunter de Colombia**

Unidad de carga	Caudal en l/s		Unidad de carga	Caudal en l/s	
	Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque
931	6,80	3,66	2 110	12,14	6,99
1 009	7,20	3,89	2 204	12,50	7,24
1 091	7,61	4,13	2 298	12,86	7,49
1 173	8,02	4,38	2 388	13,18	7,74
1 254	8,41	4,61	2 480	13,51	7,98
1 335	8,80	4,85	2 575	13,83	8,24
1 418	9,19	5,08	2 670	14,15	8,49
1 500	9,57	5,31	2 765	14,45	8,74
1 583	9,94	5,55	2 862	14,76	9,00
1 668	10,32	5,78	2 960	15,12	9,26
1 755	10,69	6,02	3 060	15,49	9,53
1 845	11,08	6,27	3 150	15,82	9,76
1 926	11,41	6,49	3 620	17,61	11,01
2 018	11,78	6,74	4 070	19,38	12,18

Fuente: ZAMORA ALVAREZ, Renán. *Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones*. p. 17.

3.2.4. Métodos de medición de caudal

Para llevar a cabo el proceso de micromedición en un sistema, se suele disponer de medidores que permiten hacer lecturas periódicas de los volúmenes consumidos en una franja de tiempo determinada. Estos equipos de medición suelen ser de dos tipos, volumétricos o de velocidad, y en función a su exactitud en la medición, se puede conocer con mayor aproximación el consumo real, por lo que la implementación de un equipo de medición adecuado, en función a sus características de consumo, permite reducir los errores de medición.

3.2.4.1. Medidores de caudal

Su función es contabilizar el volumen de agua consumido en un período de tiempo, es decir, el tiempo transcurrido entre dos lecturas.

Se pueden instalar dentro o fuera de la edificación; en el caso de los centros comerciales o grandes edificios, estos se encuentran comúnmente fuera de cada local o en algún sitio accesible y fácil de apreciar para proceder con las lecturas correspondientes.

Es importante mencionar que los medidores no son precisamente dispositivos para determinar el caudal instantáneo, puesto que disponen de un mecanismo totalizador del volumen de agua, aunque al conocer el volumen consumido durante un cierto periodo de tiempo, es posible determinar el caudal medio circulante.

3.2.4.2. Tipos de medidores de caudal

- Volumétricos:

El medidor de tipo volumétrico corresponde a un dispositivo colocado dentro de un conducto cerrado, compuesto por cámaras de volumen conocido y por un mecanismo de disco oscilante o de pistón rotativo accionado por la presión del flujo, mediante el cual estas cámaras se llenan y vacían sucesivamente con agua. Con base en el conteo del número de los volúmenes que pasan a través de él, el mecanismo registrador totaliza e indica el volumen.

Este medidor presenta como ventaja el hecho de funcionar indiferente del fluido que se esté midiendo sin importar su viscosidad, dado que mide

directamente el volumen del mismo; asimismo, no se ve afectado por turbulencias en el fluido. Por lo contrario, presenta el inconveniente de ser afectado por aguas arenosas, ya que éstas dejan huellas y permiten el paso de agua sin contabilizar.

- De velocidad:

Corresponde a los medidores que aforan el consumo de acuerdo con un dispositivo de medida de velocidad y se basan en el número de vueltas que efectúa una turbina cuya velocidad es proporcional al gasto.

En general, los medidores de velocidad presentan varias ventajas, tales como: costos de mantenimiento bajos, son aparatos silenciosos y producen pérdidas de presión aceptables. Por otro lado, dentro de las desventajas se puede mencionar que se ven afectados por el fluido que registran, debido a las variaciones de la viscosidad en donde se hace necesario calibrarlos.

4. APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS EN EDIFICACIONES DE TIPO COMERCIAL

4.1. Memoria descriptiva

La investigación se clasifica como un estudio aplicado, de carácter exploratorio que incluyó trabajo de campo y estimaciones teóricas.

4.1.1. Caracterización de la zona de estudio

En el presente estudio se consideró un edificio con demanda de uso comercial ubicado en la zona 10 de la ciudad de Guatemala con alrededor de 73 locales comerciales y 550 estacionamientos para automóviles.

4.1.2. Sistema de agua potable existente

El Comercial se abastece de agua potable por medio de un pozo propio, el cual llena una cisterna ubicada en el sótano 3 del centro comercial, dividida en dos recámaras por limpieza y mantenimiento. Asimismo, cuenta con un sistema hidroneumático para suplir de agua a todos los locales comerciales.

El diámetro de succión de la cisterna y descarga hacia el centro comercial es de 3 plg. diámetro nominal en tubería PVC y en su distribución cuenta con 301 aparatos sanitarios entre los que destacan lavamanos, inodoros de tanque, inodoros de fluxómetros, mingitorios de fluxómetro, lavatrastos, lavaplatos, entre otros, con diámetros que varían de 1/2 a 2 plg. Además, no se cuenta con medidores de caudal en cada local comercial.

4.2. Memoria de cálculo para la determinación de caudales teóricos

En la literatura no se encuentran datos referentes a la duración del pico que se considere como el caudal máximo probable para el diseño de una red interior de agua potable, por lo que es necesario recurrir a datos experimentales para evaluar los métodos de cálculo existentes.

4.2.1. Aplicación de los métodos empíricos

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos para el centro comercial según los métodos empíricos.

4.2.1.1. Método británico

El desarrollo del método se basa en la cantidad y clase de aparatos sanitarios que se encuentran en la edificación, para así poder cuantificar el caudal máximo posible que puede demandar el total de aparatos; por ello, tomando como referencia los caudales expresados en la tabla IX se obtuvo:

Tabla XVII. Evaluación caudal máximo probable, método Británico

Aparato sanitario	Cantidad	Caudal unitario en l/m	Caudal total en l/m
Inodoro de tanque	74	7,57	560,18
Inodoro de fluxómetro	26	75,00	1 950,00
Lavamanos privado	42	7,57	317,94
Lavamanos público	62	7,57	469,34
Mingitorio	11	75,00	825,00
Lavatrastos	16	15,14	242,24
Lava trapeadores	9	7,57	68,13
Grifo	28	7,57	211,96
Pila	6	15,14	90,84

Continuación tabla XVII.

Ducha	1	7,57	7,57
Lavadora	2	15,14	30,28
Lavaplatos	14	15,14	211,96
Bebedores	4	7,57	30,28
Máquina de hielo	6	7,57	45,42

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Por lo que se obtuvo un caudal máximo posible en l/m de: 5 061,14, el cual se determinó para proceder con el cálculo del caudal máximo probable empleando la tabla X de la siguiente manera:

$$Q_p = 0.20 * 5\,061,14 \frac{l}{m} = 1\,012,23 \frac{l}{m} = 16,87 \frac{l}{s}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Británico de 16,87 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 4,34 veces el caudal medido.

4.2.1.2. Método de Dawson y Bowman

Este método no pudo aplicarse en el presente estudio debido a que no es adaptable para la determinación del caudal máximo instantáneo en una edificación de tipo comercial, sino únicamente para distintas clases de viviendas.

4.2.2. Aplicación de métodos semiempíricos

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos para el centro comercial según los métodos semiempíricos.

4.2.2.1. Método Alemán de la Raíz Cuadrada

Para este método se consideró lo siguiente:

- Las conexiones de los aparatos de fluxómetro se consideran de 1 plg. de diámetro. Esto incluye los mingitorios.
- Para la lavadora y lavaplatos se consideró una conexión de 3/4 plg.
- El resto de los aparatos se consideraron con una conexión de 3/8 plg.

Tabla XVIII. Evaluación caudal máximo probable, método Alemán de la Raíz Cuadrada

Aparato sanitario	Cantidad n	Caudal unitario en l/s por aparato	f	f*n
Inodoro de tanque	74	0,25	1,00	74,00
Inodoro de fluxómetro	26	1,00	16,00	416,00
Lavamanos privado	42	0,13	0,27	11,36
Lavamanos público	62	1,00	16,00	992,00
Mingitorio	11	1,00	16,00	176,00
Lavatrastos	16	0,25	1,00	16,00
Lava trapeadores	9	0,25	1,00	9,00
Grifo	28	0,25	1,00	28,00
Pila	6	0,25	1,00	6,00
Ducha	1	0,13	0,27	0,27
Lavadora	2	0,75	9,00	18,00
Lavaplatos	14	0,75	9,00	126,00

Continuación tabla XVIII.

Bebedores	4	0,13	0,27	1,08
Máquina de hielo	6	0,25	1,00	6,00
SUMATORIAS	301			1 879,71

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

De esta manera, se obtiene para el Comercial:

$$Q_p = 0,25 * \sqrt{1\ 879,71} \frac{l}{s} = 10,84 \frac{l}{s}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Alemán de la Raíz Cuadrada de 10,84 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 2,79 veces el caudal medido.

4.2.2.2. Método del Factor de Simultaneidad

Este método toma en cuenta la cantidad y clase de aparatos sanitarios para determinar el caudal máximo posible considerando los caudales unitarios indicados en la tabla XI, es importante mencionar que se consideraron los caudales unitarios mínimos de cada aparato para dicho cálculo.

Una vez determinado el caudal se calcula el factor de simultaneidad en función al número de aparatos y, finalmente, se procede a determinar el caudal máximo probable.

De esta manera, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XIX. **Evaluación caudal máximo probable, método del Factor de Simultaneidad**

Aparato sanitario	Cantidad	Caudal unitario en l/s	Caudal total en l/s
Inodoro de tanque	74	0,15	11,10
Inodoro de fluxómetro	26	1,25	32,50
Lavamanos privado	42	0,20	8,40
Lavamanos público	62	0,20	12,40
Mingitorio	11	1,25	13,75
Sink de cocina	16	0,20	3,20
Lava trapeadores	9	0,20	1,80
Grifo	28	0,25	7,00
Pila	6	0,20	1,20
Ducha	1	0,20	0,20
Lavadora	2	0,20	0,40
Lavaplatos	14	0,25	3,50
Bebederos	4	0,20	0,80
Máquina de hielo	6	0,20	1,20
SUMATORIAS	301		97,45

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Teniendo en cuenta la cantidad total de aparatos, se calculó el factor de simultaneidad, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{\sqrt{(301 - 1)}} = 0,06$$

En vista que el valor obtenido de K es 0,06, se procede a emplear el valor de K = 0,20, esto debido a que $0,20 \leq K \leq 1,00$, de lo contrario obtendríamos un

valor de caudal igual a 5,85 l/s, sin embargo por lo anteriormente mencionado, se procede al cálculo del caudal máximo probable como sigue:

$$Q_c = 0,20 * 97,45 \frac{l}{s} = 19,49 \frac{l}{s}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método del Factor de Simultaneidad de 19,49 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 5,01 veces el caudal medido.

4.2.2.3. Método Racional o Español

Este método requiere de la determinación del caudal máximo posible considerando los caudales unitarios reportados en la tabla XII. Una vez determinado el coeficiente de simultaneidad K_1 en función del número de aparatos que se encuentran en el Comercial, posteriormente se halla el coeficiente K_2 y, finalmente, se procede a encontrar el caudal máximo probable como el producto de K_1 , K_2 y el caudal máximo posible.

De esta manera, para el Comercial en estudio se determinó lo siguiente en base a los caudales unitarios mínimos de cada aparato:

Tabla XX. **Evaluación caudal máximo probable, método Racional o Español**

Aparato sanitario	Cantidad	Caudal unitario en l/s	Caudal total en l/s
Inodoro de tanque	74	0,10	7,40
Inodoro de fluxómetro	26	0,95	24,70
Lavamanos privado	42	0,10	4,20
Lavamanos público	62	0,10	6,20
Mingitorio	11	0,95	10,45
Sink de cocina	16	0,20	3,20
Lava trapeadores	9	0,20	1,80
Grifo	28	0,25	7,00
Pila	6	0,20	1,20
Ducha	1	0,20	0,20
Lavadora	2	0,20	0,40
Lavaplatos	14	0,20	2,80
Bebederos	4	0,10	0,40
Máquina de hielo	6	0,10	0,60
SUMATORIAS	301		70,55

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Teniendo en cuenta la cantidad total de aparatos, se calculó el factor de simultaneidad, el cual se determinó de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{\sqrt{(301 - 1)}} = 0,06$$

En vista que el valor obtenido de K es 0,06, se procede a emplear el valor de $K_1 = 0,20$, esto debido a que $0,20 \leq K \leq 1,00$; asimismo se considera el valor

de $N = 1$ y $K_2 = 1$, ya que se obvia su cálculo puesto que se trata de un centro comercial. La determinación del caudal máximo probable se realiza como sigue:

$$Q_p = 1 * 0,20 * 1 * 70,55 \frac{l}{s} = 14,11 \frac{l}{s}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Racional o Español de 14,11 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 3,63 veces el caudal medido.

4.2.3. Aplicación de métodos probabilísticos

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos para el centro comercial según los métodos probabilísticos.

4.2.3.1. Método Hunter

Este método se basa en la determinación de las unidades sanitarias totales del Comercial, las cuales a su vez se definen en función al tipo de aparato y unidades Hunter según la tabla XIII. Una vez establecidas dichas unidades sanitarias, se procede a utilizar la tabla XIV de relación de caudal con las unidades Hunter, la cual determina el caudal de diseño respectivo o el caudal máximo probable.

Por ello, se obtienen los siguientes datos para el Comercial en estudio:

Tabla XXI. Evaluación caudal máximo probable, método Hunter

Aparato sanitario	Cantidad	Unidades de descarga	Clasificación	Total unidades de descarga
Inodoro de tanque	74	3	Privado	222
Inodoro de fluxómetro	26	10	Público	260
Lavamanos privado	42	1	Privado	42
Lavamanos público	62	2	Público	124
Mingitorio	11	10	Publico	110
Sink de cocina	16	4	Público	64
Lava trapeadores	9	3	Privado	27
Grifo	28	3	Privado	84
Pila	6	3	Privado	18
Ducha	1	2	Privado	2
Tina	0	3	Privado	0
Lavadora	2	3	Privado	6
Lavaplatos	14	3	Publico	42
Bebedores	4	1	Publico	4
Máquina de hielo	6	3	Privado	18
SUMATORIAS	301			1 023

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Según la tabla XIV, el valor del caudal máximo probable para 1 023 unidades Hunter es 13,26 l/s.

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Hunter de 13,26 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 3,42 veces el caudal medido.

4.2.3.2. Método Hunter Modificado

Este método se basa en la determinación de las unidades Hunter totales del Comercial y la determinación del caudal de diseño de la misma manera que el método Hunter original; la diferencia radica en que únicamente se considera el 40 % del caudal máximo probable; por ello, se obtiene:

$$Q_p = 13,26 \frac{l}{s} * 0,40 = 5,30 \frac{l}{s}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Hunter Modificado de 5,30 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 1,36 veces el caudal medido.

4.2.3.3. Método Hunter de Colombia

Este método se basa en la determinación de las unidades sanitarias totales del Comercial, las cuales a su vez se definen de acuerdo al tipo de aparato y unidades de carga según la tabla XV, para luego proceder con la lectura del caudal máximo probable en la tabla XVI.

Por ello, para el Comercial se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XXII. **Evaluación caudal máximo probable, método Hunter de Colombia**

Aparato sanitario	Cantidad	Unidades de descarga	Tipo	Total unidades de tanque	Total unidades con fluxómetro
Inodoro de tanque	74	3	Privado	222	0
Inodoro de fluxómetro	26	10	Público	0	260
Lavamanos privado	42	1	Privado	42	0
Lavamanos público	62	4	Público	0	248
Mingitorio	11	10	Público de 1 plg.	0	110
Sink de cocina	16	3	Público	48	0
Lava trapeadores	9	3	Privado	27	0
Grifo	28	1	Privado	28	0
Pila	6	3	Privado	18	0
Ducha	1	2	Privado	2	0
Tina	0	2	Privado	0	0
Lavadora	2	3	Privado	6	0
Lavaplatos	14	4	Privado	56	0
Bebederos	4	4	Público	16	0
Máquina de hielo	6	1	Privado	6	0
SUMATORIAS	301			471	618

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Según la tabla XVI se obtuvieron los siguientes valores del caudal máximo probable según el tipo de suministro de los aparatos:

$$\begin{aligned} \text{Suministro por tanque} & : 2,14 \text{ l/s} \\ \text{Suministro por fluxómetro: } & \underline{5,12 \text{ l/s}} \\ \text{Qp} & = 7,26 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Para el centro comercial se midió un caudal máximo instantáneo real de 3,89 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado por el método Hunter de Colombia de 7,26 l/s, se observa que este método permite calcular el caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado en el periodo de estudio, en un orden de 1,87 veces el caudal medido.

4.3. Aforo del caudal máximo

Las mediciones en el centro comercial se realizaron durante seis días consecutivos en una franja de tiempo promedio de 12 hrs/día, en un horario de 8:30 a 20:00 hrs., ya que se consideró que las mismas correspondían al mayor uso de las instalaciones y por consiguiente de los aparatos sanitarios.

Para la medición del caudal se utilizó un medidor Woltman Silver Turbo marca ARAD, el cual es aplicable para redes de abastecimiento de agua, aplicaciones agrícolas y para uso industrial.

Dicho medidor cuenta con las siguientes características:

- El caudal mínimo que mide es de 35 hasta 58 % debajo del estándar.
- El caudal máximo que mide es de 150 hasta 233 % sobre el estándar.
- El medidor puede funcionar en condiciones extremas donde otros medidores no pueden mantener un suficiente nivel de precisión, esto debido a su alta resistencia.

- Consta de un acople magnético que garantiza que un elemento móvil, la turbina, esté en contacto con el agua. Los otros componentes se mantienen sellados dentro de un compartimiento seco.
- Presión máxima de funcionamiento: 16 bar, lo cual equivale a 232 psi.

Figura 1. **Medidor Woltman Silver Turbo, ARAD**

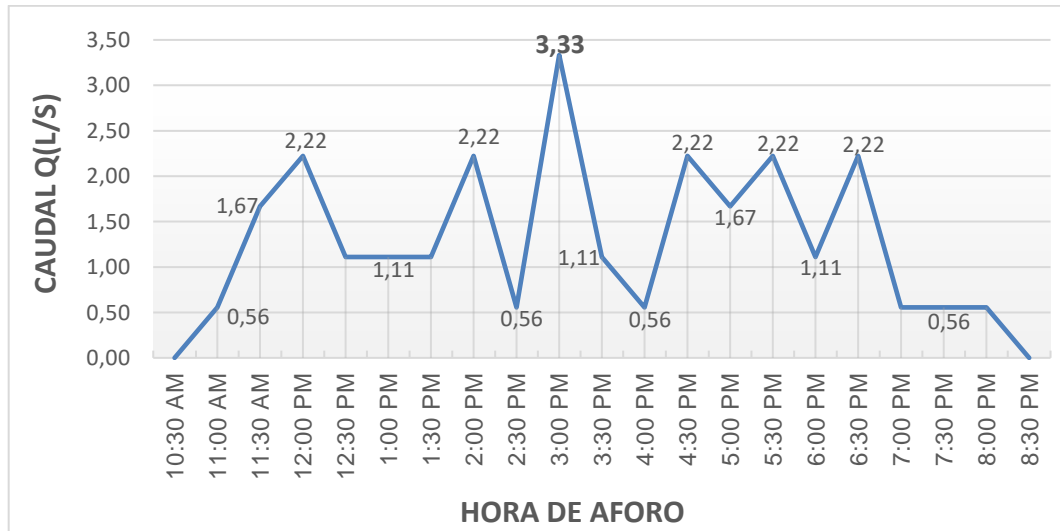


Fuente: elaboración propia, *Medidor Woltman Silver Turbo*. Comercial, zona 10.

4.3.1. Análisis de aforo

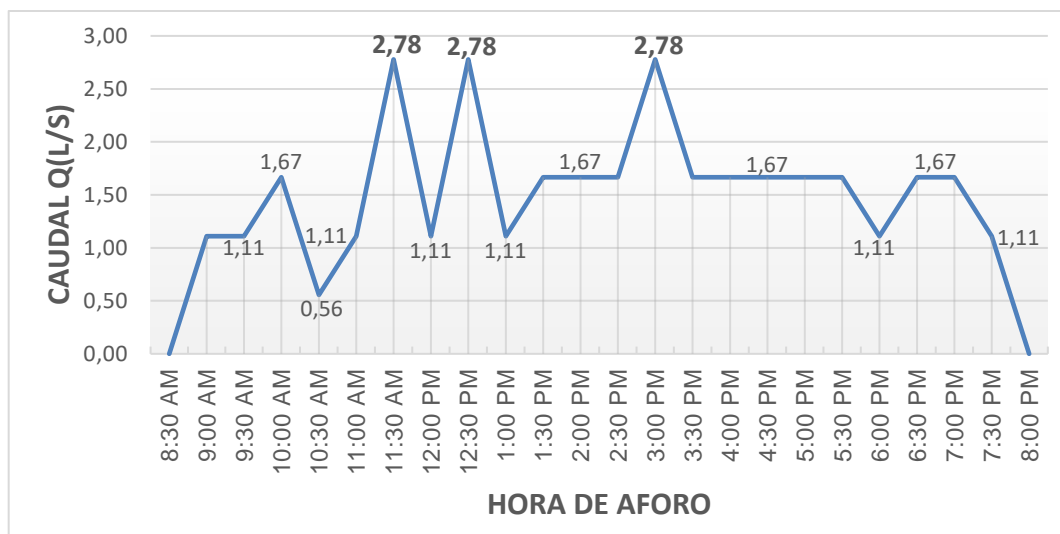
A partir de las mediciones de campo se obtuvo otra información muy valiosa, la cual es la variación horaria de la demanda. Por lo que, a partir de los datos tabulados en la tabla apéndice 1, los cuales demuestran el resumen del aforo llevado a cabo, se graficaron las curvas de consumo diario en función de la demanda versus hora de aforo.

Figura 2. **Consumos aforados en campo el 19 de diciembre de 2019**



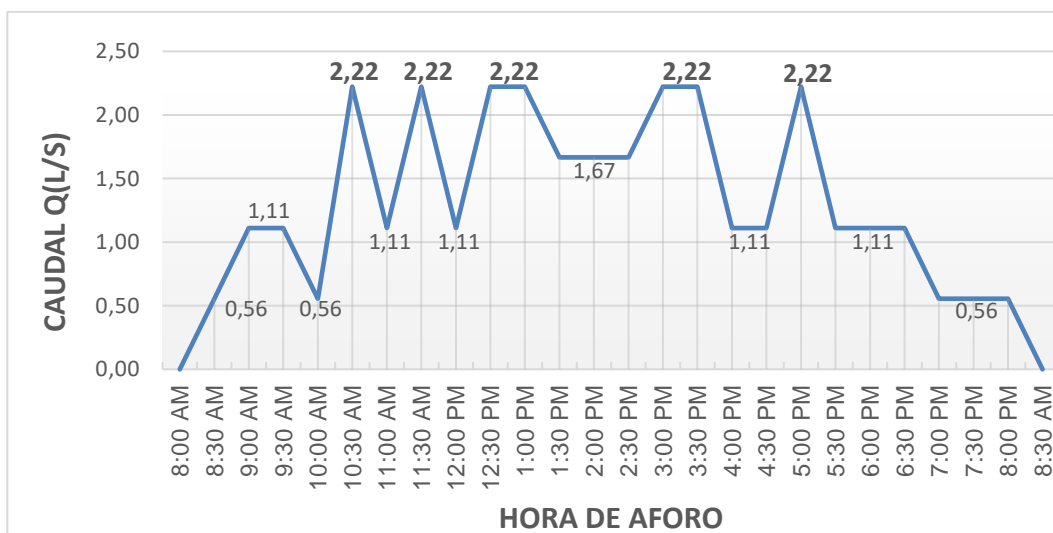
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 3. **Consumos aforados en campo el 20 de diciembre de 2019**



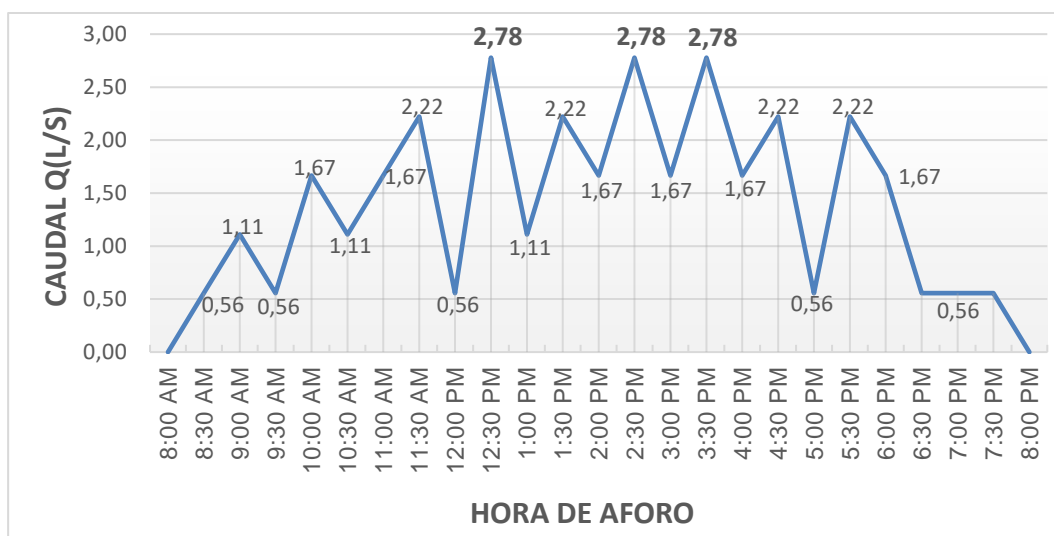
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 4. **Consumos aforados en campo el 21 de diciembre de 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 5. **Consumos aforados en campo el 22 de diciembre de 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 6. **Consumos aforados en campo el 23 de diciembre de 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Figura 7. **Consumos aforados en campo el 24 de diciembre de 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Es importante mencionar que para realizar el estudio se consideraron los días de máxima afluencia al centro comercial, lo cual se determinó con apoyo de los administradores, quienes indicaron que por ser días cercanos a las fiestas de fin de año existe una mayor afluencia de personas.

Basándonos en el día de consumo diario pico, es decir en la figura 6, se observa que durante la mañana el consumo sube hasta 2,22 l/s a las 8:30 hrs., situación que se sustenta en el hecho del uso del edificio por personal que labora dentro del mismo por apertura de locales, a esto se le suma el hecho de que, aún en el transcurso de la mañana, se realizan labores de limpieza dentro del centro comercial.

De 9:00 a 11:30 hrs. la demanda decrece en el rango de 1,11 l/s a 1,67 l/s, para empezar de nuevo a subir sostenidamente desde las 12:30 hasta la 13:30 hrs., en donde se inicia con un valor de 2,22 l/s y finaliza con el valor pico de 3,89 l/s. Esto refleja el mayor consumo producto del horario de almuerzo y actividades de compras por la época del año.

Durante la tarde la demanda decrece de forma sostenida hasta las 15:00 hrs. reportando valores entre el rango de 3,89 l/s a 1,67 l/s, lo cual puede deberse a la baja en la ocupación del inmueble; sin embargo, a las 15:30 hrs. se obtiene un nuevo pico de 2,22 l/s en la demanda, lo que coincide con el aumento de ocupación del comercial por las compras navideñas. Después de dicha hora, la demanda decrece hasta las 17:00 hrs. donde nuevamente vuelve a subir hasta obtener otro pico durante la tarde de 1,67 l/s a las 18:00 hrs., dado que es presumible que durante este horario las personas asisten al comercial por su horario de salida de trabajo, consumo de alimentos y compras de fin de año.

Después de las 18:30 hrs. la demanda decrece, pero siempre con una existencia de flujo de 0,56 l/s constante hasta la última hora en la que se tomó la lectura, la cual fue hasta las 20:00 hrs.

Por lo anterior, se concluye que la demanda máxima ocurre a la 13:30 hrs. obteniendo un valor de 3,89 l/s.

4.4. Análisis comparativo de métodos teóricos versus aforo

Considerando los caudales teóricos obtenidos y el trabajo de campo realizado con el aforo del medidor de caudal ubicado en el centro comercial se genera la tabla XXIII que en resumen muestra los valores obtenidos del caudal máximo probable calculado a través de cada método y el aforado.

Tabla XXIII. Resumen de los caudales máximos probables obtenidos

Método	Caudal máximo probable Qp en l/s
Británico	16,87
Alemán de la Raíz Cuadrada	10,84
Factor de Simultaneidad	19,49
Racional o Español	14,11
Hunter	13,26
Hunter Modificado	5,30
Hunter de Colombia	7,26
Aforo	3,89

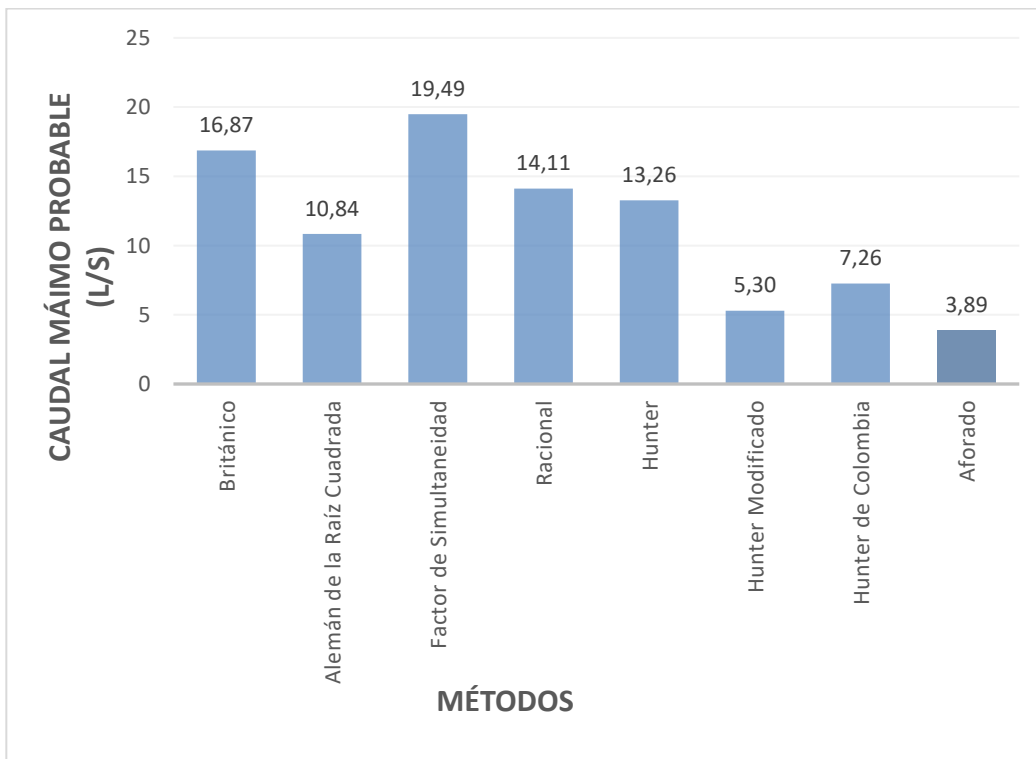
Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Es importante conocer con mejor detalle la distribución del valor del caudal pico aforado versus los valores obtenidos por los métodos teóricos descritos, por lo que resulta oportuno graficarlos para comparar la cantidad de los

resultados por encima o por debajo del valor del caudal máximo probable obtenido en campo.

En la figura 8 se puede observar con mayor detalle que todos los valores del caudal máximo probable obtenidos teóricamente sobrepasan el valor de gasto real pico, por lo que es necesario aplicar un factor de corrección para cada uno de los métodos teóricos evaluados, los cuales se detallan en la tabla XXIV.

Figura 8. **Caudales teóricos y aforados para el centro comercial**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Tabla XXIV. **Factores de corrección para cada método en base al aforo realizado**

Método	Factor de corrección
Británico	4,34
Alemán de la Raíz Cuadrada	2,79
Factor de Simultaneidad	5,01
Racional o Español	3,63
Hunter	3,41
Hunter Modificado	1,36
Hunter de Colombia	1,87

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

CONCLUSIONES

1. Los métodos teóricos que permiten estimar con mayor certeza los consumos reales en los centros comerciales de Guatemala son el Método de Hunter Modificado y Hunter de Colombia, ya que en comparación con el valor del caudal pico aforado 3,89 l/s, generaron valores en el caudal máximo probable de 5,30 l/s y 7,29 l/s respectivamente.
2. Para el centro comercial en estudio solo se empleó un método empírico correspondiente al método Británico, el cual concierne al segundo método que más sobrevalora el caudal comparado con los medidos, ya que cuadruplica el caudal real esperado.
3. De los métodos semiempíricos estudiados y aplicados en su totalidad que son 3 métodos, se encontró que dentro de esta rama, el que proporciona mejores resultados en comparación con el caudal pico real medido es el método Alemán de la Raíz Cuadrada con un resultado de 2,79 veces el caudal real de aforo; sin embargo, este método no constituye uno de los que es posible recomendar para ser empleado en el diseño de redes internas en edificaciones de tipo comercial debido al notorio avance de los aparatos sanitarios en el mercado, los cuales afectan los valores del gasto unitario propuesto por éste método de 0,25 l/s.
4. De los cuatro métodos probabilísticos estudiados y aplicados, se encontró que el Método de Hunter original permite calcular caudales

mayores a los medidos en un orden de casi el triple; mientras que el Método de Hunter Modificado es el que más se ajusta a las condiciones propias de consumo de agua para los centros comerciales de la ciudad de Guatemala.

5. En base al aforo realizado se constató que los valores pico de demanda suceden entre las 12:30 a 15:00 hrs., los cuales son momentos de mayor ocupación de las instalaciones y horas en las que las actividades principalmente son de ingesta de alimentos y actividades relacionadas a compras propias de la época, sin embargo, a lo largo del día se presentan otros picos, aunque estos son de menor magnitud.

6. Para un centro comercial todos los métodos para el cálculo de los caudales máximos probables sobre estiman los valores de gasto reales, siendo que para todos los casos de estudio el porcentaje de error con respecto al valor aforado es mayor; por lo que es necesario aplicar un factor de corrección a cada uno de los métodos teóricos. Basándonos en el método que arroja valores más cercanos al gasto real y para evitar un sobre dimensionamiento en las tuberías, se debe aplicar un factor de 1,36 veces el caudal medido, siendo esto para el método Hunter Modificado.

RECOMENDACIONES

1. Plantear el análisis de los valores del caudal unitario de los aparatos sanitarios existentes en el mercado, debido a que estos difieren en los valores en litros/segundo con respecto a los normados en las metodologías teóricas.
2. Realizar un aforo durante las 24 horas del día para determinar el agua que no se encuentra contabilizada en el presente estudio y así ubicar posibles fugas para posteriormente repararlas.
3. Ahondar mayor investigación científica en este campo de estudio a fin de que los requerimientos del diseño de un sistema de distribución de agua potable sean optimizados de acuerdo a las condiciones de consumo reales presentadas en Guatemala.
4. Recopilar mayor información durante un periodo de tiempo más prolongado, que permita obtener resultados generales con respecto a los máximos caudales probables y la variación horaria de la demanda que genera el estilo de vida de la sociedad guatemalteca.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTRO LADINO, Nelson Yovani. *Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos, en edificaciones de diferente tipo*. Brasil: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006. 14 p.
2. GARCÍA SOZA, Jorge. *Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios*. 1a ed. México: Fundación ICA, 2001. 290 p.
3. GARZÓN ORDUÑA, Alex Javier. *Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá*. Trabajo de Maestría en Ingeniería de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia, 2014. 233 p.
4. JIMENO BLASCO, Enrique. *Instalaciones Sanitarias en Edificaciones*. Trabajo de capítulo de ingeniería sanitaria, Colegio de Ingenieros del Perú, 1995. 315 p.
5. RODRÍGUEZ DÍAZ, Héctor Alfonso. *Diseños Hidráulicos, Sanitarios y de Gas en Edificaciones*. 1a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. 214 p.
6. RODRÍGUEZ SOZA, Luis Carlos. *Guía para las instalaciones sanitarias en edificios*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 157 p.

7. ZAMORA ÁLVAREZ, Renán Alonso. *Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones*. Trabajo de graduación de Ing. en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013. 61 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. **Resumen de aforos**

DICIEMBRE 2019						
DÍA	19	20	21	22	23	24
HORA	Q en l/s	Q en l/s	Q en l/s	Q en l/s	Q en l/s	Q en l/s
8:00			0,00	0,00	0,00	0,00
8:30		0,00	0,56	0,56	2,22	1,11
9:00		1,11	1,11	1,11	1,11	0,56
9:30		1,11	1,11	0,56	1,67	1,11
10:00		1,67	0,56	1,67	1,11	0,56
10:30	0,00	0,56	2,22	1,11	1,67	0,56
11:00	0,56	1,11	1,11	1,67	1,67	1,11
11:30	1,67	2,78	2,22	2,22	1,67	1,67
12:00	2,22	1,11	1,11	0,56	2,22	1,67
12:30	1,11	2,78	2,22	2,78	2,22	1,11
13:00	1,11	1,11	2,22	1,11	2,78	2,22
13:30	1,11	1,67	1,67	2,22	3,89	2,22
14:00	2,22	1,67	1,67	1,67	3,33	3,89
14:30	0,56	1,67	1,67	2,78	2,22	2,78
15:00	3,33	2,78	2,22	1,67	1,67	1,67
15:30	1,11	1,67	2,22	2,78	2,22	0,56
16:00	0,56	1,67	1,11	1,67	1,67	0,56
16:30	2,22	1,67	1,11	2,22	1,11	0,56
17:00	1,67	1,67	2,22	0,56	0,56	0,00
17:30	2,22	1,67	1,11	2,22	1,11	
18:00	1,11	1,11	1,11	1,67	1,67	
18:30	2,22	1,67	1,11	0,56	0,56	
19:00	0,56	1,67	0,56	0,56	0,56	
19:30	0,56	1,11	0,56	0,56	0,56	
20:00	0,56	0,00	0,56	0,00	0,56	
20:30	0,00		0,00		0,00	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

