

Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones



Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones

RENÁN ALONSO ZAMORA ÁLVAREZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre de 2013

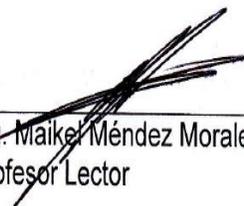
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

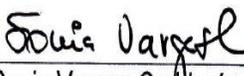
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, Ing. José Andrés Araya Obando, Ing. Maikel Méndez Morales, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.


Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.
Representante del Director


Ing. José Andrés Araya Obando.
Profesor Guía


Ing. Maikel Méndez Morales.
Profesor Lector


Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Abstract

The design methodologies of the probable max flow in buildings is based on empirical, half empirical and probabilistic subsistence, most of them estimated long time ago with high intake health hardware, what makes its implementation today involve in most of the cases an over estimation of the estimated volume making more expensive the designs of the internal edifications. The present work evaluated eight theoretical methods which contrasted with the probable max caudal graduated in four buildings using a Innova Sonic 210-I ultrasonic flow measurer.

The research contemplates the measurements of volume of an offices building, a school, an apartment building, and in a house-room.

In addition, is made a comparison of the intake reported for the health hardware in the theoretical models and the gauging done on each one of the hardware installed on the edifications. It was obtained that the French Norm and Hunter Colombia methods are the ones who generated the closest values graduated on an error percentage of 6.9% and 5.5% in the case of Hunter Colombia for the school and the apartment building respectively and a 5.9% and 15.5% for the houseroom and the offices building reported by the French Norm. The health hardware that are actually on the market differ on the spending values in liters/ second, respect to the normed values in the theoretical methodologies, with a mistake percent that goes from the 30% to a 75% average. This research is a base for cementing the future investigations that allow the compilation of enough information to obtain more general results respect to the max probable flow and the variation on the time demand.

Key words: Maximal probable flow, Design methods, Drinkable water supply

Resumen

Las metodologías de diseño de caudal máximo probable en edificaciones se basan en sustentaciones, empíricas, semi empíricas y probabilísticas, la mayoría estimadas hace muchos años con aparatos sanitarios de alto consumo, por lo que su implementación hoy en día involucra en la mayoría de los casos una sobre estimación del caudal estimado encareciendo los diseños de las instalaciones internas en las edificaciones. El presente trabajo evaluó 8 métodos teóricos los cuales se contrastaron con el caudal máximo probable aforado en cuatro edificaciones utilizando un medidor de flujo ultrasónico Innova Sonic 210-i. El estudio contempló las mediciones de caudal en un edificio de oficinas, una escuela, un edificio de apartamentos y en una casa de habitación. Adicionalmente, se realizó una comparación del consumo reportado para los aparatos sanitarios en los modelos teóricos y los aforos realizados en cada uno de los aparatos instalados en las edificaciones. Se obtuvo que los métodos de la norma Francesa y Hunter Colombia son los que generaron valores más cercanos a los valores aforados con porcentajes de error del 6.9% y 5.5% en el caso de Hunter Colombia para el centro educativo y edificio de apartamentos respectivamente y 5.9% y 15.5% para la casa de habitación y edificio de oficinas reportado por el método de la norma Francesa. Los aparatos sanitarios actualmente en el mercado difieren en los valores del gasto en litros/segundo, con respecto a los valores normados en las metodologías teóricas, con porcentajes de error que van de 30% a 75% en promedio. Este estudio es una base para cimentar las investigaciones futuras que permitan la recopilación de suficiente información para obtener resultados de carácter más general con respecto a los máximos caudales probables y a la variación horaria de la demanda.

Palabras claves: Caudales máximos probables, Métodos de diseño, suministro de agua potable

Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones

Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones

RENÁN ALONSO ZAMORA ÁLVAREZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre de 2013

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Introducción.....	5
Caracterización de la zona de estudio.....	19
Metodología.....	28
Análisis de resultados.....	41
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	52
Apéndices.....	53
Anexos.....	54
Referencias.....	55

Prefacio

La óptima utilización de agua de consumo humano, desde su captación hasta su uso en un aparato sanitario, involucra necesariamente la precisa estimación de la demanda del líquido (Blokker *et al.*, 2011). Uno de los campos de interés creciente de estudio, es el relacionado con la optimización de los métodos de diseño para redes internas de suministro de agua potable en edificaciones (Aksela & Aksela, 2011). Todos los métodos de diseño para definir diámetros de tubería, son dependientes del máximo caudal que puede ser esperado en un tramo de la red de un edificio (Castro *et al.*, 2006), es decir, el caudal correspondiente considerando el uso normal probable de los aparatos sanitarios instalados en un instante dado. En caso de las instalaciones potables en edificaciones es importante tener en cuenta que no todos los aparatos sanitarios son utilizados al mismo tiempo (Pancorbo, 2011), aunado al hecho que se usan de maneras diferentes según el tipo de edificación, en función también de factores constructivos.

Los métodos teóricos empíricos, semi empíricos y probabilísticos (Nañez *et al.*, 2012) de uso más generalizado, fueron desarrollados en su mayoría a inicios del siglo XX, por tanto los aparatos sanitarios considerados así como las costumbres de las personas han sufrido evidentes variaciones con respecto al tiempo actual (Granados *et al.*, 2006). Estudios realizados recientemente han demostrado que para para el cálculo de la demanda debe considerarse aspectos estocásticos (Nañez *et al.*, 2012), cuya principal limitación es la carga computacional que conlleva su uso. Por tal motivo resulta pertinente evaluar la vigencia de estos métodos siendo necesario obtener información de campo sobre el consumo de agua potable en edificaciones con tipologías diferentes.

Ahora bien, en el país existe poca información sobre los consumos reales de las edificaciones. El no contar con datos de consumo de edificaciones para casos de la realidad

nacional dificulta contrastar los valores de caudal probable teóricos contra los consumos reales presentes. De esta forma no se tiene información fiable sobre la necesidad o no de personalizar los métodos de cálculo, tal cual lo han hecho otros países como Colombia (Castro *et al.*, 2006), donde se tiene normado el método Hunter Colombia. Para efectos de este trabajo se seleccionaron cuatro tipos diferentes de edificaciones contemplando las tipologías constructivas de centros educativos, oficinas y residenciales.

El presente trabajo, va a permitir, a través de la estimación experimental del caudal máximo probable de cada edificación, realizar comparaciones con respecto a los valores de los métodos teóricos e identificar cual método se aproxima mejor al valor medido en campo, para evitar así el eventual sobredimensionamiento de las tuberías que se pueda dar por el uso de métodos teóricos que considerablemente sobreestimen la demanda. Del aforo de aparatos sanitarios y su contrastación con los valores reportados en la literatura se muestran las diferencias que se marcan entre éstos. Asimismo con el cálculo de la variación horaria del consumo en cada edificación se establecen criterios preliminares sobre los hábitos actuales de uso del agua potable en las edificaciones. De todo lo anterior existe información escasa en nuestro medio nacional.

La culminación de este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de los encargados de las edificaciones: Sr. John Sanint propietario de los Condominios, Al Ing. Kenneth Sevilla y personal docente y administrativo del Liceo de Magallanes, a la familia Barahona Chaves, al Ing. Carlos Rodríguez V. encargado de mantenimiento del ITCR. Agradezco también la invaluable e imprescindible guía del profesor Andrés Araya, tutor de tesis. Por último, gracias infinitas a mi familia, mamá y papá por el apoyo dado a lo largo de esta carrera y a mi hermano por su colaboración en el trabajo de campo.

Resumen ejecutivo

Como formas de diseño formalmente aceptadas mediante su publicación en normas técnicas o códigos de diseño de diferentes países, se distingue el desarrollado de tres métodos para la determinación de los caudales de diseño de las diferentes partes de un sistema de distribución de agua. Estos métodos se dividen en tres grupos i) métodos empíricos ii) métodos semi empíricos, iii) los métodos probabilísticos. Para el caso de Costa Rica, se tienen normados en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, el Método de Hunter sin ningún tipo de modificación y uno basado en un coeficiente de simultaneidad. En cambio, otros países han invertido recursos y desarrollado numerosas investigaciones, tal es el caso de Colombia donde se ha desarrollado una versión adaptada del método de Hunter.

Una de las variables con mayor incidencia en los resultados, es el caudal de funcionamiento de cada uno de los aparatos sanitarios. Esto debido a que, el caudal real demandado de los aparatos, es un insumo básico para el desarrollo de la formulación de los razonamientos matemáticos que dan soporte a cada metodología, de modo que, una variación en estos, tiene impacto directo en la validez del resultado final. Una sobre estimación del gasto de los aparatos es motivo de sobredimensionamientos de tuberías en las redes internas de abastecimiento de agua potable.

En los últimos años han surgido metodologías basadas en modelos estocásticos, que definen la dinámica del consumo, la intensidad, la duración y la frecuencia de uso (Alcocer & Tzatchkov, 2088). Estas técnicas fueron ideadas inicialmente para redes de distribución, sin embargo, su aplicabilidad puede extenderse a redes internas sin ningún problema. pero la alta demanda computacional de los métodos hace que su uso no se pueda generalizar para todo tipo de usuario (Nañez, 2012).

En el marco del contexto en mención se realizó el presente trabajo el cual se clasifica

como un estudio aplicado, que incluye trabajo de campo, estimaciones teóricas y una serie de 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 cuatro edificaciones.

Específicamente, se analizó un colegio, un edificio de apartamentos, una casa de habitación y uno de oficinas. Se incluyó además un estudio del consumo real de los aparatos y la caracterización de la variación horaria de la demanda en cada una de las edificaciones.

Las mediciones de gasto de los aparatos sanitarios, consistieron en tomar el tiempo que se tarda en llenar un recipiente debidamente graduado. Para el caso de este estudio se utilizó un beaker de capacidad máxima de 2000 ml. Se seleccionó una muestra del 10% de los aparatos sanitarios acorde a lo expuesto por Gómez (2000). Los aparatos sanitarios aforados fueron: i) lavatorios ii) duchas iii) fregaderos iv) llaves de riego v) pilas. Para realizar estos aforos se utilizó un formulario de campo mostrado en el Apéndice X, en el cual se anotó el aparato sanitario a medir, volumen del recipiente utilizado y la duración de llenado del recipiente. Para la medición de caudales en las distintas edificaciones se utilizó el medidor de flujo ultrasónico Innova-Sonic 210-i, debido a que tolera líquidos con pequeñas cantidades de burbujas de aire o de sólidos suspendidos, es de bajo consumo energético, bajo voltaje, posee protección contra interferencias, fácil adquisición de datos y procesamiento, interfaz clara y de fácil manejo. Los datos son adquiridos cada segundo y almacenados en la memoria del dispositivo para luego ser procesados.

Se obtuvo que en todos los aparatos sanitarios a excepción de la pila y llaves de riego, los valores reportados en la literatura son mayores entre un 30%-70% a los valores aforados.

La edificación que más consumo reporta es el edificio de apartamentos (2.7 L/s), seguido

del centro educativo (2.5 L/s), el edificio de oficinas (1.1 L/s) y la casa de habitación (0.86 L/s). Lo cual resulta lógico dado el uso y tamaño de cada edificación, según se muestra en el Cuadro 13. Es notable como el método del CIHSE es el que genera valores más altos con un porcentaje de error promedio del 67.15% y el método Racional español el que genera los valores más bajos con respecto a los valores aforados con un porcentaje de error del 153.04%. Otro dato que resalta es como el método Hunter Colombia es el que reporta valores cercanos al consumo máximo aforado para las edificaciones con mayor cantidad de aparatos sanitarios.

Las metodologías tradicionales para el cálculo del caudal máximo probable generan valores menores y mayores con respecto al valor aforado en campo, con esto no se puede generalizar que su utilización necesariamente genere sobre diseños. No obstante, para el caso específico de los métodos normados en el Código de Instalaciones Hidráulicas del país (CIHSE y Hunter) presentan porcentajes de error promedio de 67.15% y 40.13% respectivamente, por encima del valor aforado, en estos casos específicos si es válido presumir que su uso devenga en instalaciones potables sobrediseñadas.

Se obtuvo mejor predicción en la estimación del caudal máximo probable utilizando el método de la norma francesa en las edificaciones con los caudales máximos de menor magnitud, los cuales son el edificio de oficinas con un valor 20.7% mayor al valor aforado (1.1 L/s) y la casa de habitación con valor 5.6% menor que el medido en campo (0.8L/s). Este cálculo tiene la desventaja que su coeficiente de simultaneidad carece de fundamentación matemática o probabilística que lo sustente, por lo que su uso resulta arbitrario.

El método de Hunter Colombia predijo satisfactoriamente el caudal máximo probable en

las edificaciones que reportan caudales altos para los efectos de esta investigación, como lo son el centro educativo con un valor de caudal 1% menor al medido en campo (2.6 L/s) y el edificio de apartamentos con valor 5.8% mayor al aforado (2.7L/s). El método de Hunter Colombia, tiene una base teórica cimentada en la teoría de las probabilidades que lo hace más fiable y esta versión colombiana actualizada del método de Hunter, se adapta más favorablemente a las condiciones actuales.

En lo que respecta a la variación horaria de la demanda, analizando el comportamiento general de las 4 edificaciones, es notorio que las máximas demandas se dan en una franja horaria de 10:00 a.m. a 2:00p.m. Para el caso de los edificios de oficinas, que cuenta con aulas especializadas y el centro educativo se dan máximas demanda también entre 8:00 a.m. a 9:00 a.m. En el caso de la casa de habitación y el edificio de apartamentos se reportan demandas máxima también en horas de la tarde entre 3:00 p.m. y 6:00 p.m. Se pudo constatar experimentalmente que la duración de los caudales punta, es de pocos minutos con un intervalo de duración de entre 4 y 7 minutos.

Es de suma importancia para evitar el sobredimensionamiento de tuberías en las redes internas de distribución de agua potable, dedicar investigación científica a este campo de estudio, que permita ahondar en el conocimiento sobre los requerimientos, de los sistemas de distribución de agua potable. Este estudio es exploratorio, por tanto requiere darle validez estadística a todos los datos sugeridos, no obstante es toda una base para cimentar las investigaciones futuras que permitan la recopilación de suficiente información para obtener resultados de carácter más general con respecto a los máximos caudales probables y a la variación horaria de la demanda

Introducción

Determinar el caudal demandado por una tubería considerando la no operación simultánea de todos los accesorios sanitarios que abastece dicha tubería, es uno de los aspectos de mayor dificultad técnica en el diseño de estos elementos (Náñez et., al 2012). El motivo son las múltiples combinaciones que se pueden dar en el uso simultáneo de los accesorios sanitarios lo que provoca que la demanda varíe constantemente. Un aspecto condicionante es la variabilidad del uso en función del equipamiento y las particularidades de la grifería, de cada aparato sanitario. Lo anterior va a depender de la tipología constructiva de la edificación, dado que esta determina el tipo de uso que se hace de la misma.

Como modelos de diseño formalmente aceptados por la comunidad científica, y validados mediante su publicación en normas técnicas o códigos de diseño de diferentes países, se distinguen los desarrollados por tres métodos para la determinación de los caudales de diseño de las diferentes partes de un sistema de distribución de agua. Éstos métodos se dividen en tres grupos i) métodos empíricos ii) métodos semiempíricos, iii) los métodos probabilísticos. Para el caso de Costa Rica, se tienen normados en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, el Método de Hunter sin ningún tipo de modificación y uno basado en un coeficiente de simultaneidad. En cambio, otros países han invertido recursos y desarrollado numerosas investigaciones, tal es el caso del Hunter Colombia (Castro et al., 2006).

Aunado a todo lo explicado anteriormente, es evidentemente que, una de las variables con mayor incidencia en los resultados, es el caudal de funcionamiento de cada uno de los aparatos. Esto debido a que, el caudal real demandado de los aparatos, es un insumo básico para el desarrollo de la formulación de los razonamientos matemáticos que dan soporte a cada metodología, de forma tal que una variación en estos genera impacto directo en la validez del resultado final.

Para este estudio se evalúan 8 metodologías con el propósito de determinar los caudales de diseño para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua basadas en el número de grifos existentes en la instalación y los consumos de cada uno. Se utilizan, métodos empíricos, sustentados en la experiencia, semi empíricos, que aunque se basan en la experiencia, tienen un cierto sustento teórico que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas, tales como el Método de la Raíz Cuadrada, el Método de la Norma Francesa, la Norma Española y los métodos probabilísticos considerados los más racionales, tales como el Método de Hunter, Hunter Modificado y Hunter Colombia (Pancorbo, 2011).

En los últimos años han surgido metodologías basadas en modelos estocásticos (Alcocer & Tzatchkov, 2008), que definen la dinámica del consumo, la intensidad, la duración y la frecuencia de uso. Estas técnicas fueron ideadas inicialmente para redes de distribución no obstante, su aplicabilidad puede extenderse a redes internas sin ningún problema (Náñez et al 2012). Ellas se pueden modelar mediante pulsos rectangulares, en donde cada rectángulo representa el uso de un consumidor, evidenciando el momento en la escala del tiempo en que llega el usuario, la intensidad del uso del aparato hidráulico y el tiempo durante el cual, éste es usado, esto genera los parámetros necesarios para describirla por medio de funciones estocásticas. Sin embargo, debido al alto costo computacional del procesamiento de las señales de consumo, es necesario desarrollar esquemas de procesamiento de datos que reduzcan la carga computacional, y permita a cualquier tipo de usuario, hacer uso de esta metodología (Náñez et al 2012).

Los métodos de más antigüedad, consideran caudales altos generando un sobredimensionamiento en las instalaciones de agua potable (Castro et al., 2006).

Caudal máximo probable

Se refiere al máximo consumo que pueda presentarse en una edificación. Es un valor punta que va a definir el requerimiento de demanda de la edificación. El máximo caudal probable se va a producir cuando se encuentre los edificios, con la mayor cantidad de habitantes o usuarios haciendo un uso activo de los mismos (Pancorbo, 2011).

Son pocos los estudios relacionados con este tópico, por lo que la literatura es escasa, a pesar de ser un tema que actualmente se implementa para el diseño de redes internas de distribución de agua potable. Otro aspecto por considerar es que, en la literatura no se encuentran datos referentes a la duración del pico que se considere como el caudal máximo probable; situación que limita la contratación de los datos experimentales.

Métodos empíricos

Los métodos empíricos según Pancorbo (2011) son aquellos que su fundamentación científica se basa en la experiencia, es decir su procedimiento de cálculo está basado en una decisión arbitraria; la cual toma como fundamento la exhaustiva observación de un fenómeno de forma prolongada en el tiempo. Son métodos basados en experiencias previas de profesionales en relación con el número de aparatos que puedan funcionar simultáneamente, tales como el método Británico y el Método de Dawson y Bowman. Para efectos de este estudio se aplicará el método británico.

Método Británico

Este método establece tablas de “probables demandas simultaneas” las cuales toman en consideración el criterio de un grupo de personas especializadas en diseños de sistemas hidráulico (Castro et al., 2006). Estas tablas corresponden a variadas cargas potenciales, correspondientes a diversas situaciones posibles (Pancorbo, 2011). En una primera tabla se establecen las demandas para los diferentes aparatos sanitarios, posteriormente en función del sistema de distribución hidráulico, se procede a la sumatoria de las demandas de todos los muebles sanitarios que son servidos por la misma línea de tubería en el sistema. Luego en una segunda tabla donde se

muestra, en una columna los diferentes valores límites de caudal en litros por minuto correspondiente a los posibles resultados de las sumatorias de demandas de los diversos aparatos sanitarios, y en la otra columna, se indican las demandas probables en litros por segundo, asociadas a cada valor de demanda total.

Cuadro 1. Descargas aproximadas para muebles sanitarios. Método Británico.

Aparatos sanitarios	Descarga (lpm)
Baño privado	18.93
Baño público	30.28
Lavadero	15.14
Lavamanos	7.57
Ducha	7.57
Regadera de 4"	15.14
Regadera de 6"	30.28
Válvulas de fluxómetro	57

Fuente: Adaptado de Castro et al., 2006

Cuadro 2. Descargas simultaneas para muebles sanitarios. Método Británico.

Demanda total (lpm)	Demanda probable (lpm)
	100% del máximo posible
Hasta 12	
53	49,2
60.6	54.9
68.1	60.6
75.7	66.2
87.1	71.9
98.4	77.6
113.6	85.2
132.5	90.8
151.4	98.4
174.1	106
200.6	113.6
230.9	121.1
268.8	128.7
306.6	140.1
318.8	147.6
405	159
465.6	170.3
537.5	181.7
617	196.8
711.7	212
817.6	230.9
938.8	246.1

1082.8	268.8
1245.4	291.5
1430.9	321.8
1646.6	359.6
1892.7	393.7
	20% del máximo posible
Más de 1892.7	

Fuente: Adaptado de Castro et al., 2006

Este método será utilizado en el presente estudio, por su aplicabilidad con los tipos de edificios que se están analizando

Métodos semiempíricos

Estos métodos también se basan en la experiencia, aunque tienen un cierto sustento teórico que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas. Los métodos más comunes son el método de la Raíz Cuadrada, el método de la Norma Francesa, la Norma Española, la Norma Alemana (Pancorbo, 2011)

Método Alemán de la raíz cuadrada.

Este es un método semi empírico, su procedimiento consiste en establecer como unidad de gasto, la descarga de una llave de 3/8" bajo ciertas condiciones, y determinando un "factor de carga" unitario a dicho gasto (Castro et al., 2006). De esta manera cualquier otro aparato sanitario que tenga un consumo diferente, se le establece un factor de carga basado en la relación entre el gasto del aparato sanitario en estudio y el gasto unitario ya normado, 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 de para cada tipo de aparato sanitario de la edificación se multiplica por el número de aparatos sanitarios del mismo tipo servidos por la tubería respectiva. Los resultados de los diferentes de los diferentes aparatos sanitarios son sumados y para obtener la raíz cuadrada de la sumatoria, luego el resultado de esta operación es multiplicado por el gasto unitario, tal como se ha indicado en Castro et

al.,(2006) De esta manera se obtiene el máximo caudal probable de la edificación.

La carga de diseño en función de lo explicado se obtiene de mediante la siguiente formula. (Ver ecuación 1)

$$Q = q_1 * \sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2 + \dots + f_i * n_i} \text{ (Ec.1)}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño (L/s)
 f_i = Factor de carga (adimensional)
 n_i = Número de muebles sanitarios
 q_i = factor de carga (carga unitaria)

La fórmula para la obtención del factor de carga (f_i) es la que se muestra continuación. (Ver ecuación 2).

$$f_i = \left(\frac{GA}{GU} \right)^2 \dots \text{(Ec.2)}$$

Donde:

f_i = factor de carga
GA= Gasto del aparato sanitario (L/s)
GA= Gasto unitario = 0,25 L/s

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

Método de la Norma Francesa

En Francia el cálculo para las instalaciones hidráulicas para todos los edificios se encuentran compiladas en los "Documents Techniques Unifiés sur le réseaux d'eaux immobilières. DTU 60.11" y la norma francesa NFP-202 (Pancorbo, 2011).

Para el cálculo del caudal máximo probable, es necesario en primera instancia establecer las demandas de cada aparato sanitario instalado. A éste demanda se le conoce como el caudal mínimo (Q_{min}), y se obtiene de las multiplicaciones de cantidades totales de cada tipo de aparato sanitario, con la demandas de cada aparato. La sumatoria del Q_{min} de todos los aparatos sanitarios, posteriormente se afecta por un coeficiente de simultaneidad, conocido como K1, el cual es inferior a la unidad (Pancorbo, 2011)

Cuadro 3. Caudales mínimos para aparatos sanitarios. Método de la Norma Francesa.

Aparatos sanitarios	Q _{min} (L/s)
Calentador eléctrico	0.30
Baño público	0.20
Ducha	0.15
Inodoro de fluxómetros	0.95
Lavamanos	0.20
Lavadero	0.2-0.3
Lavaplatos	0.25-0.30
Lavadora	0.20-0.30
Llave externa	0.25

Fuente: Adaptado de Castro et al., 2006

El caudal de diseño se calcula mediante la siguiente fórmula. (Ver ecuación 3)

$$Q_c = K * \sum Q_{min} \dots(\text{Ec.3})$$

Donde:

Q_c=Caudal de diseño (L/s)

K= Coeficiente de simultaneidad

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

El coeficiente de simultaneidad K, es numero siempre inferior a 1; 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 realizaba aplicando la siguiente fórmula. (Ver ecuación 4).

$$K = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \dots(\text{Ec.4})$$

Donde:

K= Coeficiente de simultaneidad

n= Cantidad total de aparatos sanitarios

Posteriormente se sustituyó por esta otra fórmula (Pancorbo, 2011) (Ver ecuación 5)

$$K = \frac{0.8}{\sqrt{(n-1)}} \dots(\text{Ec.5})$$

Donde:

K= Coeficiente de simultaneidad

n= Cantidad total de aparatos sanitarios

En el caso de tuberías de agua caliente los profesionales franceses (Pancorbo, 2011) utilizan la siguiente expresión para el valor de K.(Ver ecuación 6).

$$K = 0.17 + \frac{1}{\sqrt{(n+1)}} \dots(\text{Ec.6})$$

Donde:

K= Coeficiente de simultaneidad

n= Cantidad total de aparatos sanitarios

El valor del coeficiente de simultaneidad según lo estipulado en las normas indicadas no debe ser nunca menor a 0.2; de esta forma éste se constituye en el valor mínimo a introducir en la fórmula, adicionalmente el valor de K nunca puede ser mayor a la unidad.

Como último paso en la determinación del caudal máximo probable, se debe ajustar la fórmula, para dos tipos de edificaciones las cuales en función de sus particularidades de uso requieren que la fórmula genérica de K, se afecte con factores que contemplen el efecto de esas particularidades en el valor final del caudal de diseño (Pancorbo, 2011)

Es así que para el caso de los hoteles la fórmula de caudal de diseño tiene la siguiente forma. (Ver ecuación 7)

$$Q_c = 1.25 * K * \sum Q_{min} \dots(\text{Ec.7})$$

Donde:

Q_c=Caudal de diseño (L/s)

K= Coeficiente de simultaneidad

1,25= Constante que considera el efecto del tipo de uso específico de la edificación.

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

En el caso de los restaurantes se aplica la siguiente fórmula. (Ver ecuación 8)

$$Q_c = 1.50K * \sum Q_{\min} \dots(\text{Ec.8})$$

Donde:

Q_c =Caudal de diseño (L/s)

K = Coeficiente de simultaneidad

1,50= Constante que considera el efecto del tipo de uso específico de la edificación.

Q_{\min} =Caudal de cada aparato sanitarios por su cantidad.

Método Racional

El método Racional o también llamado Español, considera el tipo de edificaciones constituidos por una serie de unidades habitacionales con similares características. Este método establece los mismos principios que el Método Francés, de esta forma se establece un gasto para cada aparato sanitario, que luego se multiplica por la cantidad de aparatos del mismo tipo presentes en la edificación y la sumatoria de los caudales se afecta por un coeficiente k_1 de simultaneidad(Castro et al.,2006). A diferencia del método de la Norma Francesa, en este caso el valor de K_1 se utiliza la siguiente formula, donde n represente el número de aparatos sanitarios instalados en una unidad habitacional. (Ver ecuación 9).

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \dots(\text{Ec.9})$$

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 afecta la sumatoria de los caudales puntas de cada unidad, por el siguiente valor. (Ver ecuación 10)

$$K_2 = \frac{(N + 19)}{10 * (N + 1)} \dots(\text{Ec.10})$$

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. (Ver ecuación 11)

$$QP = N * K_2 * K_1 * \sum Q_{\min} \dots(\text{Ec 11})$$

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 sanitarios por su cantidad.

Este método establece los gastos de los aparatos sanitarios al igual que el método anterior.

Cuadro 4. Gastos de aparatos sanitarios. Método Racional.

Aparatos sanitarios	Q_{\min} (L/s)
Lavabo	0.10
Sanitario con deposito	0.10
Ducha	0.20
Lavadero	0.20
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: Adaptado de Castro et al., 2006

Método CIHSE

El Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones, de Costa Rica, establece un procedimiento matemático para la cuantificación del caudal diseño o máxima demanda probable. El método está en función de las demandas de cada aparato sanitario y su probabilidad de uso

simultáneo (Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Costa Rica, 2010)
El código, indica cuales son los gastos de los aparatos sanitarios.

Cuadro 5. Gastos de aparatos sanitarios. Método CIHSE.

Fuente: Adaptado del CIHSE,2010

Aparato sanitario	Gasto de Uso Público (L/s)	Gasto de Uso Privado (L/s)
Bañera	NI	0.3
Bidet	NI	0.1
Ducha	0,3	0.2
Fregadero	0,3	0.2
Fuente	NI	0.1
Inodoro con tanque	0,25	0.2
Inodoro con válvula	1,9	1.5
Lavatorio	0,2	0.15
Lavadora	NI	0.3
Llave de riego para jardín	NI	0.3
Orinal corrido	NI	0.075/ML
Orinal con válvula	NI	1
Pileta de lavar	NI	0.3

Fuente: Adaptado de Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitaria en Edificaciones.

El método consiste es sumar todo los gastos generados por los aparatos sanitarios (Q_i) ligados a una tubería elevar el dato al cuadrado y luego, obtener la raíz cuadrada de ese resultado. Finalmente este resultado se afecta por la multiplicación de la sumatoria de todos los Q_i por la variable dicotómica alfa (α), la cual diferencia si la edificación en estudio tenga predominancia de servicios sanitarios con sistema de tanque o fluxómetros (CHISE, 2010)

Entonces el caudal de diseño tiene la siguiente fórmula. (Ver ecuación 12)

$$Q = \alpha * \sum_{i=1}^n Q_i + \sqrt{\sum_{i=1}^n Q_i^2} \quad \text{(Ec.12)}$$

Donde

n= Número de piezas sanitarias alimentadas por una misma tubería de distribución.

Q=Caudal de diseño de la tubería (L/s).

Q_i =Caudales correspondientes a todas las piezas sanitarias ligadas a la tubería (L/s).

$\alpha = 0$, en sistemas con predominancia con inodoros de descarga o fluxómetros.

$\alpha = 1/12$, en sistemas con predominancia con inodoros de tanque.

Métodos Probabilísticos

Al igual que los métodos anteriores, se parte del hecho que no todos los aparatos sanitarios instalados funcionan simultáneamente. Los métodos probabilísticos son los métodos que se basan en la teoría de la probabilidad para determinar un caudal máximo probable, para efectos de ser utilizado como caudal de diseño. La primera aplicación de un método que aplicara esta teoría data de 1940, cuando la Oficina Nacional de Normas del Departamento de Comercio de los EEUU publicó, bajo el título "Methods of estimating load in Plumbing systems" el método elaborado por el Dr. Roy Hunter (Pancorbo, 2011). Desde entonces se han producido cambios en los tipos de tubería y grifería utilizados en los sistemas hidráulicos, lo que ha generado el desarrollo de otras metodologías basadas en la teoría de la probabilidad.

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 (Castro et al., 2006). Además, los caudales y las frecuencias de uso considerados en algunos de los procedimientos son demasiadas altas para algunos de los países por lo que han debido adaptar para su aplicación o para incorporarlos en las normas, tales como el Método de Hunter, Hunter Modificado y el Método de Hunter Colombia.

Método de Hunter

Este método se basa en el concepto, de que únicamente una pequeña cantidad de aparatos sanitarios conectados al sistema entrarán en operación simultánea en un instante dado (Castro et al., 2006). Según este método, el efecto causado por cada aparato sanitario que forma parte de una red con un nodo en común depende de tres factores fundamentales que son i)Gasto

del aparato(q) ii)Frecuencia de uso (T) y iii)Duración de uso (t).El factor del gasto o caudal del aparato (q) consiste en el volumen de líquido por unidad de tiempo que fluye a través del aparato sanitario mientras está en uso. La frecuencia de uso (T) se refiere al tiempo transcurrido entre usos sucesivos del aparato sanitario. Por último la duración de uso (t) es el tiempo que el agua fluye para atender la demanda del aparato (Pancorbo, 2011). Además, 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.

La base matemática del método, utiliza la teoría de la probabilidad para describir la condición señalada por Hunter, 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; se tiene un funcionamiento satisfactorio del sistema (Castro et al., 2006).

Al considerar entonces que en una instalación de n aparatos, un número m de estos se encuentre en uso simultáneo por más del 1%, se puede expresar mediante la siguiente fórmula. (Ver ecuación 13)

$$p_0^n + p_1^n + p_2^n + \dots + p_{m-1}^n + p_m^n \geq 0.99 \dots (\text{Ec.13})$$

Donde

p_i = Probabilidad de no encontrar i aparato funcionando.

La forma general para obtener la probabilidad 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 de la siguiente forma (Ver ecuación 14) (Pancorbo, 2011).

$$p_r^n = C_r^n (1-p)^{n-r} * p^r \dots (\text{Ec.14})$$

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

Este método es aplicable preferentemente a grandes grupos de elementos. De esta manera si sumamos todas las probabilidades representadas por la ecuación anterior, la cual describe un evento particular de todos los posibles, se obtiene la siguiente expresión (Pancorbo, 2011). (Ver ecuación 15).

$$p_r^n = \sum_{r=0}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} * p^r \dots (\text{Ec.15})$$

La ecuación inicial es suficiente para obtener el valor de m, pero el cálculo es muy laborioso (Pancorbo, 2011), por lo que se han desarrollado métodos para reducir el cálculo matemático. Se tienen tablas que nos dan la sumatoria del residuo de la serie de la ecuación mencionada. Se puede escribir de la siguiente manera.).(Ver ecuación 16).

$$p_r^n = \sum_{r=m+1}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} * p^r \leq 0,01 \dots (\text{Ec. 16})$$

Esta ecuación corresponde a la forma dada en las tablas de distribuciones de probabilidad binomial (Pancorbo, 2011).

Con el objeto de buscar la simplificación del uso de este principio matemático, Hunter definió un método que se basa en asignar factores de carga o unidades de carga a cada clase de aparato sanitario. Esta unidad de carga se determina experimentalmente y representa el grado de afectación de cada clase de aparato sanitario al sistema hidráulico (Pancorbo, 2011). Al ser la unidad de carga un factor numérico, su valor se relaciona con un determinado caudal. De esta forma para una edificación, se suman todas las unidades de carga y el valor total se evalúa ya sea en una tabla o gráfica en la cual se establezca la relación entre las unidades de carga y la demanda asociada.

El valor numérico para la unidad de carga es una relación entre el número de válvulas de fluxómetro que produce un caudal determinado al número de aparatos de otro tipo que producen el mismo caudal (Castro et al, 2006).

Para el caso de nuestro país tanto el Colegio Federado de Colegios y Arquitectos,

como el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones han publicado tablas indicando los valores de unidades de carga para diferentes clases de aparatos sanitarios. A nivel internacional las curvas con los valores de caudal en función de las unidades de carga se pueden obtener de los reglamentos de plomería de los

EEUU (Uniform Plumbing Code), en esta nación se aplican cinco modelos de códigos, según la zona del país. También han publicado curvas la ASPE (American Society of Plumbing Engineers) y ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) (Pancorbo, 2011).

Cuadro 6. Unidades de carga para el método de hunter

Aparato sanitario	Tipo de suministro	Unidades de Uso Público	Unidades de Uso Privado
Bañera	Llave	4	2
Bidet	Llave	2	1
Ducha	Llave	4	2
Fregadero	Llave	4	2
Fuente	Llave	1	1
Inodoro con tanque		5	3
Inodoro con válvula		10	6
Lavatorio	Llave	2	1
Lavadora	Llave	4	2
Llave de riego para jardín		1	1
Orinal corrido	Flujómetro	10	
Orinal con válvula		3	
Pileta de lavar		4	2

Fuente: Adaptado de Tabla del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2006.

Cuadro 7. Unidades de carga para el método de hunter

Aparato sanitario	Tipo de suministro	Unidades de Uso Público	Unidades de Uso Privado
Bañera (con o sin ducha)	Llave	4	2
Bidet	Válvula mezcladora	2	1
Ducha (regadera)	Llave	4	2
Fregadero de cocina		4	2
Fuente de agua potable	Tanque	1	
Inodoro	Flujómetro	5	3
Inodoro	Llave	10	6
Lavatorio	Llave	2	1
Lavadero o pileta	Flujómetro 25mm	4	2
Mingitorio	Flujómetro 19mm	10	
Mingitorio	Tanque	5	
Mingitorio	Inodoro con tanque	3	
Cuarto de baño	Inodoro con fluxómetro		6
Cuarto de baño			8

Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas Sanitarias en Edificaciones

Para el caso de Costa Rica estos son los valores utilizados, estos mismos son los aceptados en la mayoría de Códigos (Castro et al, 2006). Es importante hacer hincapié que los valores indicados en las tablas no son gastos sino un simple valor (Pancorbo, 2011) El método de Hunter no especifica, en determinada o en muy raras ocasiones se especifica alguna fórmula. Este es uno de los métodos que, hasta el presente ha satisfecho la necesidad de calcular de una manera confiable y racional la demanda de agua en los sistemas de abastecimiento para diferentes tipos de edificaciones (Pancorbo, 2011).

Este método no solo en los EEUU es el más utilizado por los profesionales en este campo, sino también en los países donde esta nación tiene influencia tecnológica (Pancorbo, 2011). En el cuadro 9, se presentan la relación entre las unidades de carga y los valores de caudal en las edificaciones. Los valores son tomados del Código nacional de instalaciones mecánicas.

Cuadro 8. Relación entre las unidades de accesorio y los valores de caudal en las edificaciones. Método de Hunter.

Unidades accesorio	Sistemas con tanque de lavado	Sistemas con fluxómetro
	Demanda (L/s)	Demanda (L/s)
6	0.31	NA
8	0.41	NA
10	0.50	1.70
12	0.58	1.80
14	0.66	1.90
16	0.74	2.00
18	0.81	2.11
20	0.88	2.21
25	1.96	2.40
30	1.26	2.59
35	1.42	2.76
40	1.56	2.93
45	1.70	3.09
50	1.83	2.35
60	2.02	3.47
70	2.21	3.69
80	2.40	3.91
90	2.57	4.09
100	2.74	4.26
120	3.03	4.57
140	3.31	4.89
160	3.60	5.20
180	3.85	5.49
200	4.10	5.77
225	4.42	6.12
250	4.73	6.37
275	5.05	6.66
400	6.62	7.95
500	7.89	8.96
750	10.73	11.23
1000		13.12
1250		14.12
1500		15.12
1750		16.12
2000		17.12
2250		18.12
2500		19.12
2750		20.12
3000		21.12
4000		22.12
5000		23.12
6000		24.12
7000		25.12
8000		26.12
9000		27.12
10000		28.12

Fuente: Adaptado del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Costa Rica

Método de Hunter Modificado

Este es un método que se basa en el método anterior, además el cálculo del factor de carga para cada clase de aparato sanitario, se realiza de forma idéntica (Castro et al., 2006). El método de Hunter genera datos de simultaneidad un tanto elevados para el medio latinoamericano, lo que ocasiona el sobredimensionamiento de los diámetros de las tuberías. Esta situación se da debido a que en la actualidad la frecuencia, uso y tecnología de los aparatos sanitarios difieren a las condiciones imperantes en la época en la cual fue desarrollado el método anterior (Pancorbo, 2011).

Es así que el método de Hunter Modificado, contempla únicamente un 40% del valor de carga unitaria obtenida con el método anterior, y con este valor reducido se ingresa a las curvas o tablas ya definidas por el método de Hunter (Pancorbo, 2011).

Método de Hunter Colombia

En el caso de Colombia se realizaron algunas modificaciones al método de Hunter. Este método introduce cambios en el caudal de los aparatos a abastecer y se adapta a las condiciones del país suramericano. Estas modificaciones se basan en trabajos de aforos realizados en tesis universitarias por tanto las mismas están sujetas a modificaciones y/o comprobaciones (Castro et al., 2006).

Para establecer el uso simultáneo de los aparatos se siguen los mismos fundamentos probabilísticos del método original, empero se han fijado nuevos valores para la duración del uso de las válvulas de tanque, por lo que varía la probabilidad del uso simultáneo (Castro et al., 2006). También se consideró una reducción de los caudales promedios de los aparatos sanitarios en comparación con el método original, con lo que se busca establecer caudales más cercanos a las demandas de los aparatos actuales.

Cuadro 9. Duración (t) y frecuencia (T) de uso.

Control	t(s)	T(s)	P=t/T
Fluxómetro	9	300	0,03
Tanque	30	300	0,10

Fuente: Castro et al., 2006

Es importante tener presente que el caudal promedio a utilizar solo se podrá establecer con mayor certeza con el profundo estudio sobre caudales y presiones de funcionamiento de los aparatos sanitarios que se encuentran actualmente en el mercado.

La norma INCOTEC 1500 del Código Colombiano de fontanería establece los valores de las unidades de carga de cada clase de aparato sanitario. En el Cuadro 11 se muestra la tabla que relaciona las unidades accesorio (UA) con los valores de caudal asociados. Los valores de caudal del método de Hunter Colombia, genera valores inferiores a los del método original (Pancorbo, 2011). De igual forma en la literatura se pueden encontrar gráficas con curvas características que relacionan las unidades de carga con el caudal probable.

Cuadro 10. Unidades de carga según norma INCOTEC 1500 del Código colombiano.

Aparato sanitario	Ocupación	Tipo de control de suministro	Unidad de carga
Inodoro	Público	Fluxómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de Limpieza	5
Orinal	Público	Fluxómetro $\Phi = 2.5\text{cm}$	10
Orinal	Público	Fluxómetro $\Phi = 2\text{ cm}$	5
	Público	Tanque de Limpieza	3
Orinal	Público	Llave	2
lavamanos	Público	Llave	4
Ducha	Público	Válvula mezcladora	4
	Hotel		
Fregadero de servicio	restaurante	Llave	3
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
Cuarto de baño	Privado	Un fluxómetro por cuarto	8
		Un tanque de limpieza por cuarto	
Cuarto de baño	Privado		6
Ducha separada	Privado	Válvula mezcladora	2
Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
Lavadero	Privado	Llave	3
Lavadora	Privado	Llave	3
Combinación de accesorios	Privado	Llave	3

Fuente: Pancorbo, 2011

Cuadro 11. Relación entre las unidades de accesorio y los valores de caudal en las edificaciones. Método de Hunter Colombia.

UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)		UA	Caudal (L/s)	
	Flujómetro	Tanque		Flujómetro	Tanque		Flujómetro	Tanque		Flujómetro	Tanque
1	0.63	0.13	42	1.66	0.50	205	2.75	1.31	1418	9.19	5.08
2	0.67	0.14	44	1.69	0.52	214	2.80	1.34	1500	9.57	5.31
3	0.71	0.15	46	1.71	0.54	223	2.86	1.37	1583	9.94	5.55
4	0.75	0.16	48	1.74	0.55	234	2.92	1.40	1668	10.32	5.78
5	0.78	0.17	50	1.76	0.57	245	2.98	1.44	1755	10.69	6.02
6	0.82	0.18	52	1.78	0.58	270	3.13	1.51	1845	11.08	6.27
7	0.86	0.19	54	1.80	0.60	295	3.28	1.59	1926	11.41	6.49
8	0.89	0.20	57	1.83	0.62	329	3.48	1.69	2018	11.78	6.74
9	0.92	0.21	60	1.86	0.64	365	3.69	1.80	2110	12.14	6.99
10	0.96	0.22	63	1.88	0.66	396	3.87	1.90	2204	12.5	7.24
11	0.99	0.23	66	1.91	0.68	430	4.06	2.01	2298	12.86	7.49
12	1.02	0.24	69	1.93	0.70	460	4.23	2.11	2388	13.18	7.74
13	1.05	0.25	73	1.96	0.72	490	4.40	2.21	2480	13.51	7.98
14	1.08	0.26	76	1.92	0.74	521	4.58	2.32	2575	13.83	8.24
15	1.11	0.27	82	2.02	0.78	559	4.79	2.45	2670	14.15	8.49
16	1.14	0.28	88	2.05	0.82	596	5.00	2.58	2765	14.45	8.74
18	1.19	0.30	95	2.09	0.86	631	5.19	2.70	2862	14.76	9.00
20	1.24	0.32	102	2.13	0.89	666	5.38	2.82	2960	15.12	9.26
21	1.27	0.33	108	2.17	0.92	700	5.57	2.93	3060	15.49	9.53
23	1.32	0.34	116	2.21	0.96	739	5.78	3.05	3150	15.82	9.76
25	1.36	0.36	124	2.25	1.00	775	5.97	3.16	3620	17.61	11.01
26	1.38	0.37	132	2.30	1.04	811	6.17	3.27	4070	19.38	12.18
28	1.42	0.39	140	2.35	1.07	850	6.37	3.39	4480	21.04	13.24
30	1.46	0.41	148	2.39	1.11	931	6.80	3.66	5380	24.69	15.53
31	1.48	0.41	158	2.45	1.15	1009	7.20	3.89	6280	28.13	17.78
33	1.52	0.43	168	2.52	1.18	1091	7.61	4.13	7280	31.65	20.28
35	1.55	0.45	176	2.57	1.21	1173	8.02	4.38	8300	35.21	22.93
37	1.58	0.46	186	2.63	1.25	1254	8.41	4.61	9000	37.81	24.89
39	1.62	0.48	195	2.69	1.28	1335	8.8	4.85	10000	41.52	28.01

Fuente: Adaptado de Castro et al., 2006

Alcance de la investigación

Objetivo General

Identificar una metodología que permita establecer con mayor certeza los consumos reales en diferentes tipos de edificaciones con el fin racionalizar el agua y hacer más eficientes las instalaciones hidráulicas.

Objetivos específicos

1. Comparar los valores de gasto de los aparatos de consumo especificados en los modelos teóricos con los gastos reales de

los aparatos ubicados en cuatro edificaciones.

2. Evaluar la precisión de 8 métodos teóricos para la estimación de los caudales máximos probables para cada una de las edificaciones.

3. Caracterizar la variación horaria del consumo para cada tipo de edificación.

Caracterización de la zona de estudio.

En este estudio de campo se estudiaron cuatro edificaciones localizadas en las provincias de Guanacaste, Alajuela, San José y Cartago. La ubicación geográfica de cada edificación se muestra en la Figura 1. Las características de la instalación

potable, aparatos de consumo y tipo de demanda de cada edificación se muestra en el Cuadro 12. En el Apéndice 2 se muestra representaciones gráficas de las vistas en planta e isométricos de la instalación potable de cada edificación.

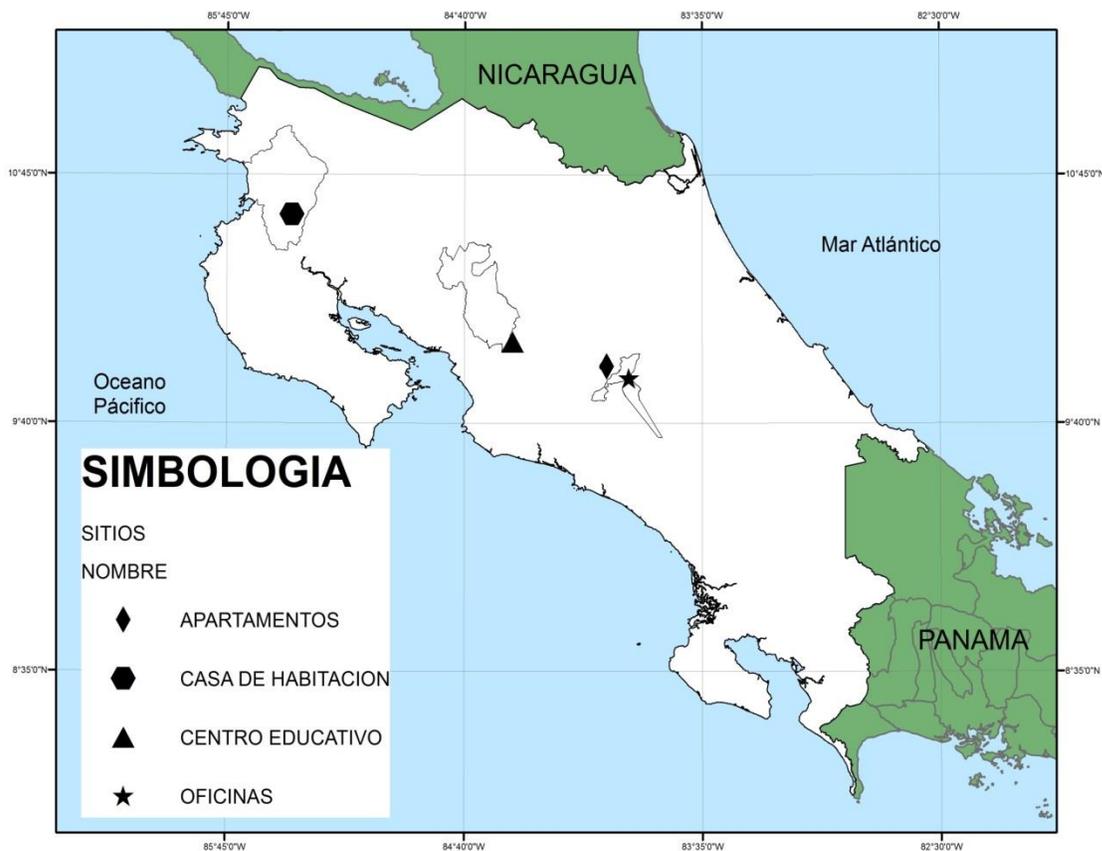


Figura 1. Localización geográfica de los sitios de estudio

Cuadro 12. Tipo de edificación, descripción de instalación potable e imagen representativa.

Tipo de edificación	Descripción de la instalación mecánica	Vista
Edificio de oficinas	<p>Edificio de oficinas y aulas especializadas de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial. El edificio se abastece de agua potable mediante una conexión a la red interna principal del campus universitario del ITCR. La tubería principal de la edificación es de 50mm que alimenta 3 baterías de servicios sanitarios, 1 pileta y llaves de riego. Tiene un total de 53 aparatos sanitarios entre los que destacan lavatorios, mingitorio y servicios sanitarios de tanque, además se tienen duchas, fregadero y una pila de lavado, así como llaves de riego externas. La demanda del edificio es característica de uso de oficinas. Hay que tener en cuenta, que el edificio cuenta con laboratorio y aulas especializadas donde se imparten algunas lecciones por semana.</p>	
Centro educativo	<p>Liceo de Magallanes, centro educativo de enseñanza media el cual en el momento del estudio tenía una matrícula de 235 estudiantes. El edificio se abastece de agua potable mediante una conexión a la red pública, se almacena en un tanque elevado y luego por gravedad se abastece a la edificación. La tubería principal de la edificación es de 38mm diámetro nominal que abastece a, 2 baterías de servicio sanitario y 1 comedor, piletas y llaves de riego para un total de 60 aparatos sanitarios. La demanda del edificio es característica de uso con académicos.</p>	

<p>Edificio de apartamentos</p>	<p>Los condominios Veranda constan de dos torres de edificios de cinco pisos cada una, con 10 apartamentos (2 pent-house) por torre. El edificio se abastece de agua potable mediante una conexión a la red pública, se tiene un sistema de bombeo que distribuye el líquido a todos los apartamentos, la tubería principal de la edificación es de 50mm diámetro nominal abasteciendo por apartamento, 2 baños completos, 1 fregadero, y 1 cuarto de pilas En el momento de estudio se tenía un ocupación del 50% de los condominios totales lo que equivale al uso completo de una torre. Para abastecer de agua potable a todo el edificio se tienen 113 aparatos sanitarios. Los aparatos sanitarios presentes son los servicios sanitarios de tanque, duchas, lavatorios, fregadero, ice maker, pila, lavadora, llaves e riego y en caso de los pent-house bañera. La demanda del edificio es característica de uso residencial.</p>	
<p>Casa de habitación</p>	<p>Casa de habitación de la familia Barahona en la que habitaron durante el estudio 5 adultos y una menor de edad. La vivienda se abastece de agua potable mediante una conexión a la red pública, la tubería principal de la casa de habitación es de 12mm de diámetro. Suministrando agua potable a 4 baños completos 2 fregaderos, 1 cuarto de pilas y llaves de riego. Los aparatos sanitarios presentes son los servicios sanitarios de tanque, duchas, lavatorios, fregadero, pila, lavadora, llaves de riego y en caso del cuarto principal bañera. Tiene 19 aparatos sanitarios. La demanda del edificio es característica de uso residencial</p>	

Metodología

La investigación se clasifica como un estudio aplicado, de carácter exploratorio que incluyó trabajo de campo y estimaciones teóricas. Específicamente, se analizó un colegio, un edificio de apartamentos, una casa de habitación y un edificio de oficinas, con el fin de evaluar los métodos de cálculo de caudales máximo probables instantáneos reportados en la literatura en contraste con el caudal aforado.

El estudio se dividió en dos fases, la primera lo fue la revisión de literatura de los métodos de cálculo, la segunda fase fue de validación tanto de los gastos de los aparatos de consumo con respecto a lo reportado en los modelos teóricos, así como, el caudal máximo probable en cada una de las edificaciones seleccionadas en el que, las estimaciones teóricas y los métodos de cálculo seleccionados, se contrastaron con el caudal aforado. Finalmente con los datos aforados, se procedió a hacer una caracterización de la variación horaria del caudal consumido para cada una de las edificaciones.

Criterios de selección de las edificaciones

La selección de las edificaciones se hizo con los siguientes criterios:

- a. Contar con planos actualizados de las redes hidráulicas.
- b. Facilidades de acceso para la toma de datos y catastro de aparatos.
- c. Aparatos sanitarios relativamente recientes.
- d. Contara con datos de población.
- e. Que tuviera información relevante para caracterizar la demanda (hábitos, frecuencia uso, temporalidad).

Para la realización de este trabajo se tuvo que buscar edificaciones que cumpliesen los

criterios de selección, para lo cual se estableció contactos iniciales con el Ing. Kenneth Sevilla de la Dirección de Infraestructura y el Equipamiento Educativo (DIEE) del Ministerio de Educación Pública (MEP) y con el Ing. Saúl Fernández, de la oficina de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), así como también se estableció contactos con el constructor privado Asdrúbal Marín, quien recientemente laboró en la construcción de un complejo de condominios y la familia Barahona propietaria de una casa de habitación. De estos contactos se obtuvo los planos de las instalaciones mecánicas para cada una de las edificaciones.

Se analizó previamente la información de los casos de estudios, revisando la pertinencia de los datos consignados en los planos suministrados, con respecto a los criterios de selección previamente definidos. Una vez validadas las edificaciones, se establecieron los contactos respectivos con los encargados de las mismas para obtener las autorizaciones respectivas. Para la ejecución de las mediciones se definió realizar los trabajos de campo de catastro de los aparatos sanitarios para validar la información consignada en planos, el aforo de los aparatos sanitarios con descarga directa mediante grifería, y las mediciones de caudal. Para tales efectos se confeccionaron formularios campo (Ver Apéndice 1) para facilitar la recolección de la información requerida.

Catastro y aforo de aparatos sanitarios

Para la ejecución de este estudio se realizó un catastro de todos los aparatos sanitarios de la edificación. Los catastros se realizaron en las mismas fechas de las mediciones. Para esto se procedió a recorrer exhaustivamente cada edificación anotando

en un formulario de campo previamente diseñado (Ver Apéndice 1) las principales características de cada aparato tales como cantidad, marca y modelo. Esta labor se hizo por la necesidad de validar la información consignada en planos y la toma de características básicas de cada aparato sanitario.



Imagen 1. Diferentes aparatos sanitarios de las edificaciones estudiadas.

Los aforos de los aparatos sanitarios se realizaron en horarios diferentes a las mediciones, con el propósito de no registrar alteraciones en los patrones de uso normales de las edificaciones. En cada aparato sanitario aforado se realizaron seis mediciones.



Imagen 2. Aforo de lavatorio del centro educativo.

Las mediciones consistieron en tomar el tiempo que se tarda en llenar un recipiente debidamente graduado. En el caso de este estudio se utilizó un beaker de capacidad

máxima de 2000 ml. Se seleccionó una muestra del 10% de los aparatos sanitarios acorde con lo expuesto por Gómez (2000), los cuales son: i) lavatorios ii) duchas iii) fregaderos iv) llaves de riego v) pilas. Para realizar estos aforos se utilizó un formulario de campo mostrado en el Apéndice 1 en el cual se anotó el aparato sanitario a medir, volumen del recipiente utilizado y la duración de llenado del recipiente.



Imagen 3. Aforo del fregadero del edificio de apartamentos.

Análisis de métodos teóricos

En este estudio se evaluaron los siguientes métodos teóricos.

- Método Británico
- Método de la Raíz Cuadrada,
- Método de la Norma Francesa
- Método de la Norma Española
- Método factor de simultaneidad del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CIHSE)
- Método de Hunter
- Métodos de Hunter Modificado
- Hunter Colombia

Estos métodos se seleccionaron porque son los utilizados en los países que ejercen influencia tecnológica en nuestro país. Además de ser utilizados en su mayoría en estudios previos como los publicados en Pancorbo (2011) y Castro et al., (2006).

En el cálculo de los valores teóricos del caudal máximo probable se utilizó una hoja de Microsoft Excel programada con macros de Visual Basic 6.0, según lo mostrado en el Apéndice 3. Para lo cual en cada método teórico se escribió un programa. De forma general, en el proceso de desarrollo de los programas siguió las siguientes tres fases.

1. Diseño visual de la interfaz
2. Definir parámetros de entrada y salida
3. Escribir procedimientos para responder a los eventos requeridos y calcular el caudal máximo probable.

Cada método teórico calcula el caudal máximo probable, pero existen particularidades en los procedimientos de cálculo según sea el método. Las fórmulas y valores de gastos de aparatos sanitarios utilizados son los indicados en este documento.

.Aforo del caudal máximo probable

Las mediciones en las cuatro edificaciones seleccionadas se realizaron durante dos días. Para la selección de los horarios de medición se seleccionaron las franjas de tiempo correspondientes al mayor uso de las edificaciones y por consiguiente de los aparatos sanitarios. Esto considerando que el máximo caudal probable se va a producir cuando los edificios se encuentren, con la mayor cantidad de habitantes o usuarios haciendo un uso activo de los mismos, de acuerdo a Nañez et al., (2012). De esta forma en el edificio de oficinas y el centro educativo se hicieron las mediciones dos días entre semana, en el edificio de apartamentos se eligió un día de fin de semana y otro entre semana, en la casa de habitación se midió los dos días de fin de semana. Los horarios de medición fueron de las 06:00 a 21:00. La determinación de las franjas de tiempo de mayor uso de las edificaciones fue consultada con las personas encargadas de los edificios.

Para la medición del caudal en las distintas edificaciones se utilizó el medidor de flujo ultrasónico Innova-Sonic 210-i, por

las siguientes razones: tolera líquidos con pequeñas cantidades de burbujas de aire o de sólidos suspendidos, bajo consumo energético, bajo voltaje, posee protección contra interferencias, fácil adquisición de datos y procesamiento, interfaz clara y de fácil manejo. Este equipo utiliza un principio de medición basado en tiempos de tránsito del flujo por ultrasonidos, que consiste en el envío periódico de ondas, a través de las cuales el aparato realiza el cálculo de la velocidad (v) y el caudal (Q) del fluido, por medio de la medición de la variación de los tiempos de tránsito (Δt) entre ondas consecutivas. Los datos son adquiridos cada segundo y almacenados en la memoria del dispositivo para luego ser procesados. En el Anexo 1 se muestra el certificado de calibración de fábrica, lo que garantiza la calidad de la toma de datos.

En la figura 5 se muestra el diagrama de flujo básico para la colocación del medidor de flujo ultrasónico y la medición de valores de caudal.

Las siguientes herramientas e instrumentos se emplearon para realizar de forma efectiva el trabajo de campo.

- 1 medidor de flujo ultrasónico Innova-Sonic 210-i
- 1 Cinta métrica de 5m
- 1 Escuadra
- 1 Regla
- 1 Lápiz
- 1 Limpión
- 1 Botella de acetona
- 2 rollo de lija
- 1 Pala tamaño estándar
- 1 Pala pequeña
- 1 Pala de jardinería
- 1 Macana
- 1 Extensión eléctrica de 20m
- 2 Chalecos de seguridad
- 2 Anteojos de seguridad
- 1 Rollo de cinta de precaución
- 4 Estacas
- 1 Cronometro
- 1 Beaker de 2000ml

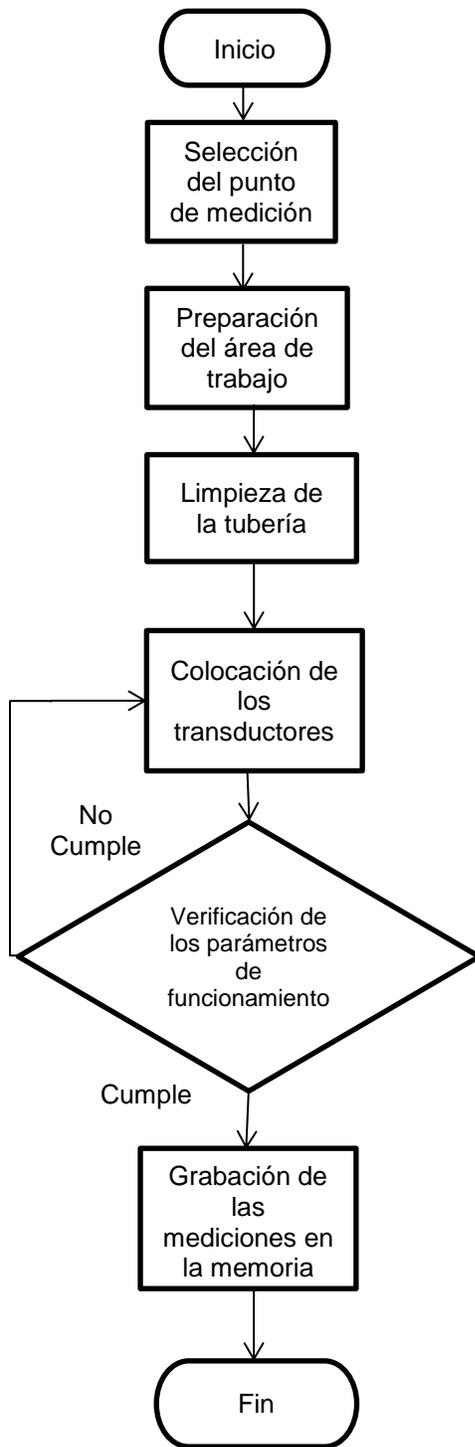


Figura 2. Diagrama de flujo para la colocación del ultrasónico.

Para la selección del punto de medición para cada edificación se ubicó el sitio donde se localizaba la tubería central de alimentación potable, considerando en la selección del punto de medición, las restricciones propias del medidor ultrasónico; que está en función de los accesorios presentes en la tubería, según lo indicado en el manual de uso del equipo.

Una vez ubicado el punto de colocación del aparato, se realizó la preparación del área de trabajo, para lo cual fue necesaria la realización de trabajos de demarcación y excavación. En la demarcación se colocaron cuatro estacas de mínimo 50 cm de altura en los vértices de un rectángulo imaginario, de medidas tales que existiera una distancia libre de cuando mínimo 1.5 m de los bordes del hoyo a excavar. Se colocó un doble anillo de cinta amarilla de precaución alrededor de las estacas, el espaciamiento entre los anillos fue de 0.3 m, por último se debe colocó un rótulo de 0,21m X 0,27m con la información del proyecto. Las excavaciones fueron necesarias para llegar al nivel de la tubería y despejar la zona donde se colocaron los transductores del medidor ultrasónico. Para tener un espacio apto para las maniobras de colocación del equipo se excavó en cada caso un área rectangular hasta llegar al nivel de la tubería. Es importante anotar que fue necesario realizar una excavación adicional debajo del nivel de desplante de la tubería con el fin de instalar los transductores, dado al sistema de montaje, con cadenas que rodean la tubería y los transductores mismos, las cuales se ajustan mediante un mecanismo basado en tornillo sin fin y una tuerca especializada para ser tallada manualmente, dejando los transductores firmemente asidos a la tubería.



Imagen 4. Área de trabajo en Escuela de Producción Industrial, edificio de oficinas.



Imagen 5. Trabajos de excavación en Escuela de Producción Industrial, edificio de oficinas.

Una vez finalizada la excavación se realizó una limpieza exhaustiva de la tubería, en todo el tramo expuesto por la excavación. Se removió todo residuo de tierra u otro material de la tubería. Para limpiar la tubería primero se hizo con un trozo de tela tipo paño y agua, posteriormente se volvió a limpiar utilizando acetona. Esto con el objetivo de eliminar impurezas que pudieran afectar las mediciones.



Imagen 6. Limpieza de tubería de PVC de 50 mm en Condominio Veranda, Curridabat.

Seguidamente se procedió a colocar los transductores, para esto previamente se calculó el espaciamiento entre los transductores, lo cual es función de la forma de colocar los transductores con respecto a la tubería (el manual de usuario indica las configuraciones posibles), diámetro de la tubería y el grosor de la misma, tipo de material de la tubería, recubrimiento y líquido que transporta. Esta medida es generada por

el transmisor del ultrasónico, previo ingreso de los datos de entrada antes indicados. Una vez obtenida esta distancia, se marcó con lápiz sobre la tubería, considerando la forma de colocación de los transductores, en función de la configuración elegida, el marcaje de la distancia se realizó con regla y escuadra de modo de garantizar la precisión. Una vez realizado el marcaje se procedió a colocar el gel dado por el fabricante, para asegurar la calidad de la transmisión de los datos en los lectores de los transductores, posteriormente se fijaron los transductores a la tubería, para lo cual se utilizaron las cadenas especializadas con el procedimiento antes descrito.



Imagen 7. Colocación de transductores en Liceo de Magallanes, centro educativo.

Una vez instalado el aparato se verificó que se cumplieran los parámetros que garantizan la validez de la medición, de conformidad con lo explicado en el manual de uso del equipo. Los parámetros que se revisaron fueron i) calidad de la señal (Q) este parámetro indica la fortaleza de la señal y tiene un rango de 0 a 100 a mayor sea el valor, mayor será la calidad de la señal, su valor siempre debe ser superior a 60; ii) Tasa de tiempo de tránsito, este parámetro indica que la colocación de los transductores fue exacta, el valor de es este parámetro debe ser del 100% con una tolerancia de $\pm 3\%$; iii) Identificación de la normalidad del sistema, este parámetro indica que la medición se está realizando bajo la condiciones adecuadas de funcionalidad del equipo, tales como, adecuado suministro de energía, calidad de señal, buen estado del hardware y ajustes correctos en la medición. Su

cumplimiento se verifica con una letra “R” en la esquina inferior derecha del transmisor.

Confirmado que los parámetros están dentro de los valores correctos se procedió a dar un lapso de mínimo 15 minutos para que el aparato se estabilice, tanto en la medición de flujo como en los parámetros de validación. De modo este modo se garantizó que los parámetros mencionados en el apartado anterior, presentaran valores estables.

Para la grabación de las mediciones se introdujo la memoria SD en el transmisor. Se presionó el botón DATA y se programó la medición indicando el nombre del archivo, la duración total de grabación de la medición y el intervalo de tiempo de toma de lecturas de caudal, en los casos de estudio se tuvo una duración de grabación en promedio de 15 horas y un intervalo de toma de datos de caudal a cada 60 segundos. Para empezar a grabar la medición en la tarjeta SD se presionó la el botón ENTER en el transmisor.

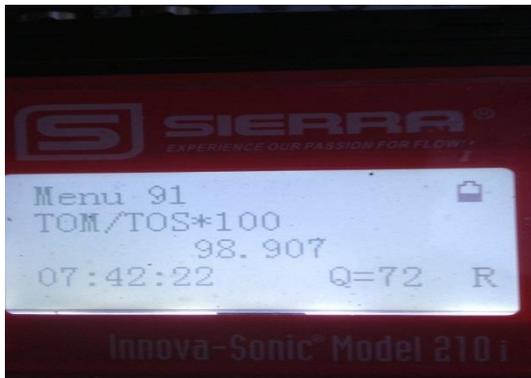


Imagen 8. Datos de la tasa de tiempo de tránsito, calidad de la señal y normalidad del sistema.



Imagen 9. Grabación de mediciones de caudal.

Análisis de la información

La información del catastro sanitario se indicó en cuadros donde se mostró la cantidad real de aparatos sanitarios presentes en cada edificación. Se anotó en los formularios de campo la marca y tipo de grifo. El caso de los aforos de los aparatos sanitarios se procesó estadísticamente y se calcularon los promedios de consumo de las 6 mediciones realizadas por aparato, luego se obtuvo el promedio de los gastos de todos los aparatos del mismo tipo. Los valores promedio de cada aparato sanitario aforado se muestran en gráficos comparativos con los valores de gastos normados para los métodos teóricos que así lo disponen como los son los métodos británico, norma francesa, norma española, factor de simultaneidad del CIHSE y los valores indicados en la tabla del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).Lo anterior se realizó de forma independiente en cada edificación.

El procesamiento de las mediciones de caudal, se inició migrando los archivos del software original a una hoja de cálculo de Excel. La información se depura manteniendo solo la información referente a la fecha, hora y el valor de caudal medido. Se revisaron los valores contra la bitácora de medición para encontrar valores que representen errores de medición y se eliminaron valores extremos que no tuviesen explicación física. En este paso se depuran los datos y se utilizan solo los que representen una lectura válida. Se generaron graficas estadísticas como la de frecuencias acumuladas, se calculó el percentil 95 y los valores máximos, lo cual es el caudal máximo probable. Finalmente se realizaron cuadros y gráficos comparativos con los valores de caudal máximo probable de los métodos teóricos y los valores aforados, se realizó también el cálculo del porcentaje de error entre los valores teóricos y el valor de caudal aforado. Además se realizaron cuadros y gráficos de la variación horaria durante un día de medición, para cada edificación, con lo que se obtuvieron datos del consumo medio horario. Todo lo anterior se realizó para cada edificación. Se utilizaron los softwares Minitab y Microsoft Excel para realizar lo cálculos, cuadros y gráficos.

Resultados

A continuación se muestran los principales resultados obtenidos para cada edificación. Se mostrará en primera instancia los resultados del catastro sanitario, seguido de ello, el análisis de los valores de los aforos de los aparatos sanitarios y los valores reportados en los modelos teóricos de estimación de caudal máximo probable. Por otra parte se muestra la comparación entre las estimaciones teóricas del caudal máximo probable y los datos aforados, con el fin de discutir acerca de la precisión de la estimación de los métodos de cálculo teóricos descritos en la metodología y por último los resultados del análisis de la

variación horaria del caudal de consumo registrado durante las mediciones.

Catastro sanitario

Al realizar el catastro de los aparatos sanitarios con el respectivo formulario de campo (Apéndice 1), se obtuvieron datos tales como la cantidad y marca de las piezas sanitarias, para realizar los cálculos con los métodos teóricos interesa particularmente la cantidad de total de cada tipo de aparato sanitario presente en la edificación.

Cuadro 13. Cantidades totales de aparatos sanitarios para cada edificación.

Aparato sanitario	Cantidad			
	Edificio de oficinas	Centro educativo	Edificio de apartamentos	Casa de habitación
Fregadero	1	2	12	2
Ice maker	0	0	11	0
Lavadora	0	0	11	2
Pila	1	4	11	1
Lavatorio	12	12	20	4
Inodoro de tanque	12	12	20	4
Mingitorio	3	6	0	0
Ducha	2	2	20	4
Bañera	0	0	2	1
Llave de riego	4	4	6	1
Totales	35	42	113	19

Como se observa en el Cuadro 13 todas las edificaciones comparten aparatos sanitarios, tales como los inodoros, lavatorios, fregaderos, duchas y llaves de riego. Los inodoros catastrados son todos de tanque, en el edificio de apartamentos los baños principales presentan inodoros de doble descarga. Es importante este dato, esto por cuanto la mayoría de los métodos de cálculo,

diferencian los valores de consumo en función de si éstos funcionan con tanque o fluxómetro. En cuanto a la las marcas y gastos catastrados se muestra el Cuadro 14. Del trabajo de campo realizado se constata que se cumplió el criterio de selección referente a contar con aparatos sanitarios de consumo de relativa reciente fabricación. Se distinguen los grifos para lavatorios,

fregaderos, duchas, además de los servicios sanitarios y mingitorios, como los aparatos sanitarios que presentan mayor innovación en los diseños.

Cuadro 14. Marcas catastradas y gasto para los inodoros.

Aparato sanitario	Marcas	Gasto (lpf)
Edificio de oficinas	American Standar	4.8
Centro educativo	Corona	6.0
Edificio de apartamentos	Domus	3-4.8
Casa de habitación	American Standar/ Domus	13.0/3-4.8

En el caso de los mingitorios, estos utilizan mecanismo de suministro de agua, mediante una llave con temporizador. No se registraron mingitorios con fluxómetros. Las marcas catastradas en el caso de los mingitorios fueron Stretto y Corona para el edificio de oficinas y el centro educativo respectivamente, ambas marcas tienen un gasto de 3.8 litros por descarga.

Aforos de aparatos sanitarios

Considerando los gastos teóricos para cada aparato sanitario, indicados en capítulo de Introducción y el trabajo de campo realizado para el aforo de los aparatos sanitarios, se generan las Figuras de 3 a 5, donde se muestran los valores aforados para cada aparato sanitario comparándose con los valores teóricos utilizados para cada método de diseño. Se muestran solo los métodos que asignan valores de consumo a los aparatos sanitarios en términos de volumen trasegado por unidad de tiempo y los valores de la tabla publicada (1996) por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). En los Cuadros 15, 16, 17, 18, se muestra el porcentaje de error de cada valor reportado en la literatura con respecto al valor del gasto aforado experimentalmente para los aparatos sanitarios en estudio.

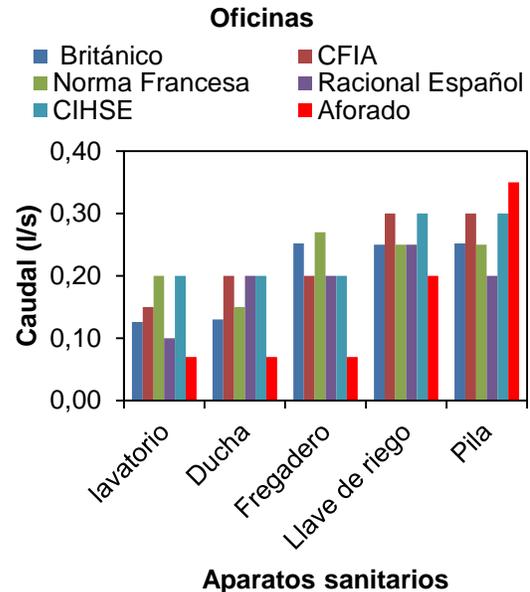


Figura 3. Consumos aforados en campo de aparatos sanitarios comparados con los valores asignados en los métodos teóricos para el caso de estudio del edificio de oficinas.

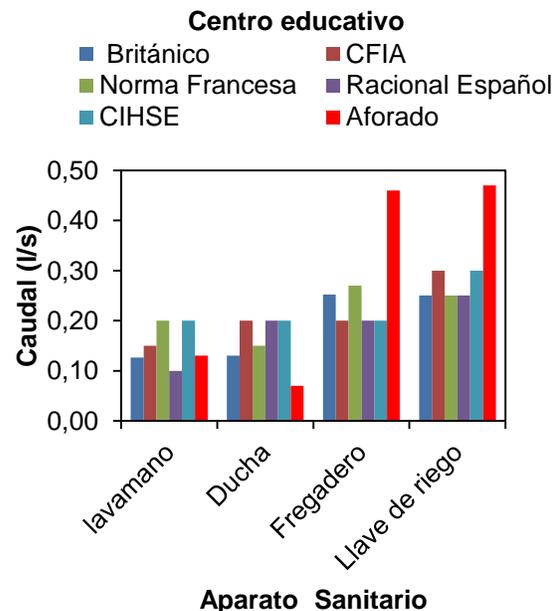


Figura 4. Consumos aforados en campo de aparatos sanitarios comparados con los valores asignados en los métodos teóricos para el caso de estudio del edificio del centro educativo.

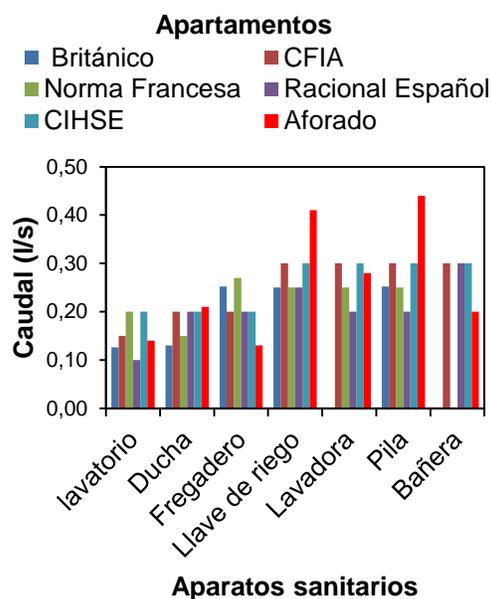


Figura 5. Consumos aforados en campo de aparatos sanitarios comparados con los valores asignados en los métodos teóricos para el caso de estudio del edificio de apartamentos.

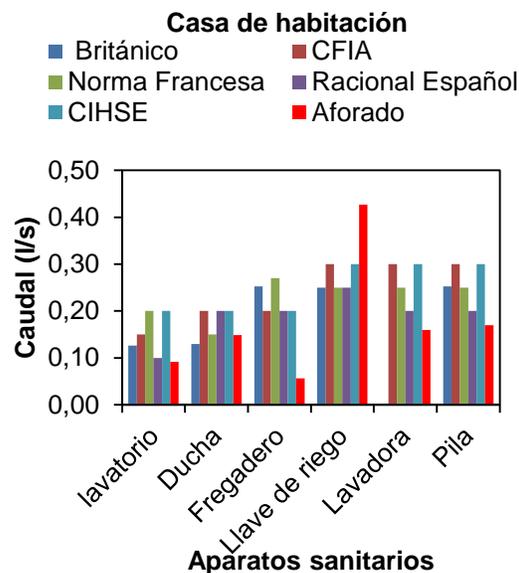


Figura 6. Consumos aforados en campo de aparatos sanitarios comparados con los valores asignados en los métodos teóricos para el caso de estudio del edificio de la casa de habitación.

Cuadro 15. Valores teóricos de gastos de aparatos sanitarios y su porcentaje de error con respecto al valor medido en campo. Edificio de oficinas.

Aparatos sanitarios	Métodos										Aforado (L/s)
	Británico		CFIA		Norma Francesa		Racional Español		CIHSE		
	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	
lavatorio	0.13	44.52	0.15	53.33	0.20	65.00	0.10	30.00	0.20	65.00	0.07
Ducha	0.13	46.15	0.20	65.00	0.15	53.33	0.20	65.00	0.20	65.00	0.07
Fregadero	0.25	72.26	0.20	65.00	0.27	74.07	0.20	65.00	0.20	65.00	0.07
Llave de riego	0.25	20.00	0.30	33.33	0.25	20.00	0.25	20.00	0.30	33.33	0.20
Pila	0.25	38.71	0.30	16.67	0.25	40.00	0.20	75.00	0.30	16.67	0.35

Cuadro 16. Valores teóricos de gastos de aparatos sanitarios y su porcentaje de error con respecto al valor medido en campo. Centro educativo.

Aparatos sanitarios	Métodos										Aforado (L/s)
	Británico		CFIA		Norma Francesa		Racional Español		CIHSE		
	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	
lavatorio	0.13	3.04	0.15	13.33	0.20	35.00	0.10	30.00	0.20	35.00	0.13
Ducha	0.13	46.15	0.20	65.00	0.15	53.33	0.20	65.00	0.20	65.00	0.07
Fregadero	0.25	82.30	0.20	130.00	0.27	70.37	0.20	130.00	0.20	130.00	0.46
Llave de riego	0.25	88.00	0.30	56.67	0.25	88.00	0.25	88.00	0.30	56.67	0.47

Cuadro 17. Valores teóricos de gastos de aparatos sanitarios y su porcentaje de error con respecto al valor medido en campo. Casa de habitación.

Aparatos sanitarios	Métodos										Aforado (L/s)
	Británico		CFIA		Norma Francesa		Racional Español		CIHSE		
	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	Gastos (L/s)	% de error	
lavatorio	0.13	27.40	0.15	38.93	0.20	54.20	0.10	8.40	0.20	54.20	0.09
Ducha	0.13	14.26	0.20	25.73	0.15	0.98	0.20	25.73	0.20	25.73	0.15
Fregadero	0.25	77.53	0.20	71.65	0.27	79.00	0.20	71.65	0.20	71.65	0.06
Llave de riego	0.25	70.65	0.30	42.20	0.25	70.65	0.25	70.65	0.30	42.20	0.43
Lavadora	NA	NA	0.30	46.70	0.25	36.04	0.20	20.05	0.30	46.70	0.16
Pila	0.25	32.80	0.30	43.48	0.25	32.17	0.20	15.21	0.30	43.48	0.17

Cuadro 18. Valores teóricos de gastos de aparatos sanitarios y su porcentaje de error con respecto al valor medido en campo. Edificio de Apartamentos.

Aparatos sanitarios	Métodos										Aforado (L/s)
	Británico		CFIA		Norma Francesa		Racional Español		CIHSE		
	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	
lavatorio	0.13	10.96	0.15	6.67	0.20	30.00	0.10	40.00	0.20	30.00	0.14
Ducha	0.13	61.54	0.20	5.00	0.15	40.00	0.20	5.00	0.20	5.00	0.21
Fregadero	0.25	48.48	0.20	35.00	0.27	51.85	0.20	35.00	0.20	35.00	0.13
Llave de riego	0.25	64.00	0.30	36.67	0.25	64.00	0.25	64.00	0.30	36.67	0.41
Lavadora	NA	NA	0.30	6.67	0.25	12.00	0.20	40.00	0.30	6.67	0.28
Pila	0.25	74.37	0.30	46.67	0.25	76.00	0.20	120.00	0.30	46.67	0.44
Bañera	NA	NA	0.30	33.33	NA	NA	0.30	33.33	0.30	33.33	0.20

Es notable como para la mayoría de los aparatos sanitarios a excepción de la pila y llave de riego, los valores reportados en la literatura son mayores a los valores aforados, esto se dio principalmente en los grifos para lavatorios y fregaderos con gastos hasta un 60% menor a los valores reportados en la literatura. Es manifiesto como los valores reportados en las metodologías teóricas sobre estiman los valores de gastos de los aparatos sanitarios con diseños actualizados (lavatorios, duchas, fregaderos), siendo que para todos los casos de estudios el porcentaje de error con respecto al valor aforado es mayor en este tipo de aparatos con valores que van desde porcentajes del 3% al 79%, con un valor promedio de alrededor del 60%. Esta situación puede

influir en el sobre dimensionamiento de las tuberías.

Un evento que llama la atención es que en el centro educativo el fregadero reporta un valor de aforo mayor que el de los métodos teóricos, no obstante se debe considerar que los grifos del fregadero del comedor son del mismo tipo que las llaves de riego y la piletta.

Los grifos que más han tendido avances tecnológicos como lo son los utilizados en lavatorios, fregaderos y duchas son los que consistentemente reportan valores inferiores (60%) en todas las edificaciones.

Caudal máximo probable

A continuación se presentan los resultados de los caudales máximos, medidos en el

periodo de estudio. Los valores de máximo caudal teórico y los medidos

experimentalmente se muestran el cuadro 19.

Cuadro 19. Caudales máximos probables según los métodos teóricos de diseño y los valores de máximos caudal medidos en el trabajo de campo para cada edificación.

Método	Edificación							
	Centro Educativo		Casa de Habitación		Oficinas		Apartamentos	
	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error	Gasto (L/s)	% de error
Británico	3,53	27,26	2,15	60,09	3,28	66,16	5,36	49,66
Raíz cuadrada	1,71	49,93	0,97	11,70	1,38	19,84	2,19	23,24
Norma francesa	1,61	59,83	0,81	5,95	1,31	15,53	4,29	37,03
Racional Español	0,53	383,45	0,59	44,15	0,64	74,01	1,28	110,59
CIHSE	6,23	58,75	1,90	54,95	5,97	81,42	10,18	73,48
Hunter	3,28	21,69	1,48	42,00	2,93	62,10	4,14	34,76
Hunter Modificado	1,93	33,24	0,69	23,71	1,71	34,92	2,42	11,55
Hunter Colombia	2,40	6,99	1,57	45,30	2,19	49,32	2,86	5,54
Aforado	2,57		0,86		1,11		2,70	

Como puede observarse en el Cuadro 19, la edificación que más consumo reporta es el edificio de apartamentos (2.70L/s), seguido del centro educativo (2.5L/s), el edificio de oficinas y la casa de habitación. Lo cual resulta lógico dado el uso y tamaño de cada edificación, siendo estas dos edificaciones la que más cantidad de aparatos sanitarios tienen, según lo mostrado en el Cuadro 13 con 113 y 60 aparatos respectivamente. Es notable como el método del CIHSE es el que genera valores más altos, con porcentajes de error de hasta 81% del valor aforado y el método Racional español el que genera los valores más bajos con porcentaje de error de hasta un 79.32% por debajo del valor aforado, en el caso más crítico. Otro dato que resalta es como el método Hunter Colombia

es el que reporta valores cercanos al consumo máximo aforado en dos de las cuatro edificaciones estudiadas, con porcentajes de error del 5.54% y 6.99% para el edificio de apartamentos y el centro educativo respectivamente. En la edificación con menos aparatos sanitarios, como lo es la casa de habitación con 19 aparatos de consumo, todos los métodos teóricos tienden a dar valores más consistentes entre sí, a medida que se aumenta la cantidad de aparatos sanitarios, los métodos teóricos presentan una marcada variabilidad entre sí.

En la Figura 7 se comparan los valores de caudal teórico y aforado de cada edificación.

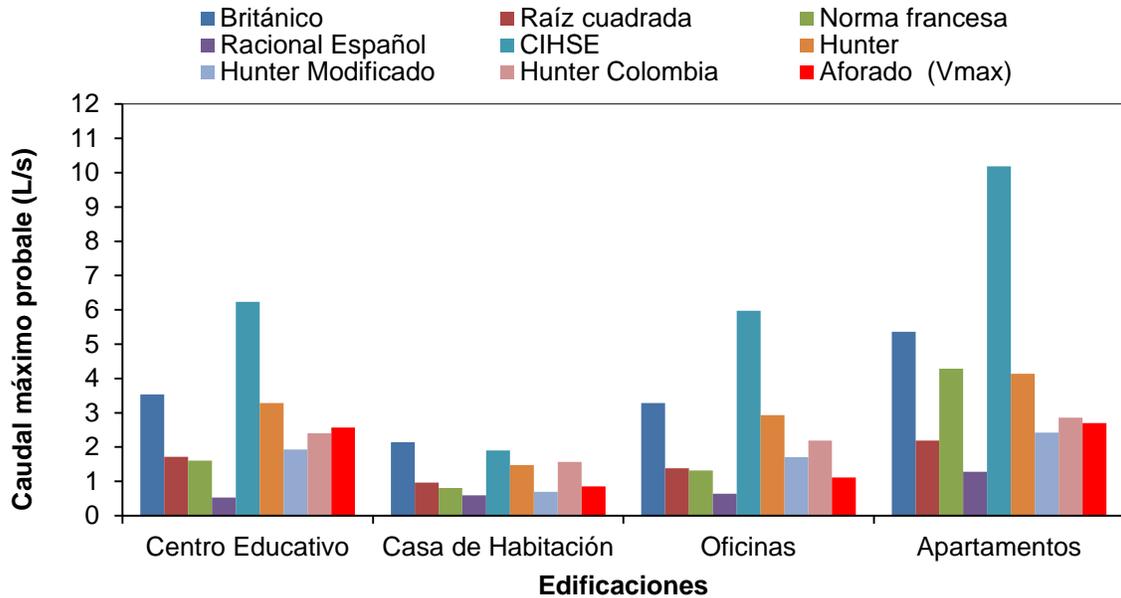


Figura 10. Caudales teóricos y aforados para cada edificación.

Del gráfico de la Figura 10 los datos sugieren que los métodos probabilísticos estiman mejor el caudal para el caso de instalaciones con alta cantidad de aparatos sanitarios, como lo son el centro educativo y los apartamentos. El edificio de oficina cuenta con una considerable cantidad de aparatos sanitarios, empero reporta valores de caudal relativamente bajos similares a la casa de habitación. Es importante tener en cuenta que los servicios sanitarios son aparatos de peso en el desarrollo teórico de los métodos (Castro et al, 2006) y como se muestra en el cuadro 14 el edificio de oficinas es que reporta el aparato sanitario con el menor consumo. Los valores obtenidos en este estudio son coincidentes con resultados obtenidos por Pancorbo (2011) y Castro et al., (2006), en los valores elevados de caudal que generan métodos como el británico, factor de simultaneidad y Hunter, los cuales consistentemente superan a los valores aforados, lo que posiblemente ocasione sobredimensionamientos en las tuberías si alguno de estos métodos es utilizado.

Es importante conocer con mejor detalle la distribución de los valores de la medición realizada a cada edificación. Para lo cual resulta oportuno utilizar el gráfico de frecuencias acumuladas, éste gráfico permite

conocer la cantidad de mediciones que se encuentran por debajo de cierto valor límite previamente definido. En la Figura 11 se muestra el gráfico de frecuencias acumuladas, donde se representan las cuatro edificaciones juntas. Se calculó el percentil 95 para cada serie de datos por edificación.

En el caso del edificio oficinas se denota que el 95% de las mediciones está por debajo de los 0.99 L/s, esto es importante tomarlo en consideración en el tanto el caudal máximo aforado fue de 1.11 L/s esto demuestra que los caudales máximos son eventos que suceden con menor frecuencia.

Para el caso del centro educativo se tiene que el 95% de los datos se encuentran debajo de 1.47 L/s, situación que reafirma la relativa baja ocurrencia de los caudales picos.

Para el caso del edificio de apartamentos el 95% de los datos es inferior a 1.9 L/s, situación que mantiene la condición presentada en las otras edificaciones.

En el caso de la casa de habitación el 95% de los datos se encuentra por debajo 0.18 L/s, esto sigue demostrando que los caudales máximos probables son valores que se presentan con poca frecuencia.

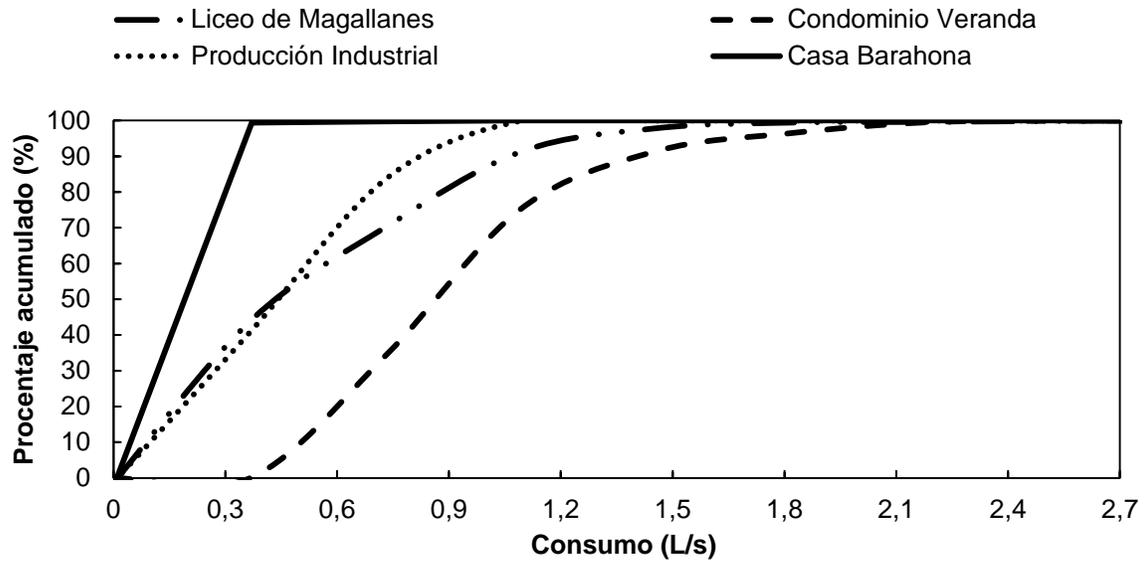


Figura 11. Consumos de las edificaciones estudiadas a partir de las mediciones tomadas en campo

En la Figura 11 se puede observar el comportamiento en función al consumo, de cada edificación. De esta forma se puede determinar que la casa de habitación es la que menor demanda reporta seguida del edificio de oficinas, el centro educativo y por último el edificio de apartamentos. Situación que resulta coherente considerando el tamaño, cantidad de usuarios y tipo de edificación. El edificio de apartamentos es el que mayor cantidad de aparatos sanitarios tiene con un total de 113 aparatos sanitarios en uso, el centro educativo tiene 42, el edificio de oficinas 35 y la casa de habitación 19.

Variación horaria del consumo

Otra información importante obtenida a partir de las mediciones de campo es la variación horaria de la demanda. Se muestra la información tabulada y posteriormente en gráficas de curvas de consumo, la cuales definen la demanda en función de la hora.

Para cada edificación se realizó el estudio de un día de medición considerando el día donde se presentó el máximo caudal.

Edificio de oficinas

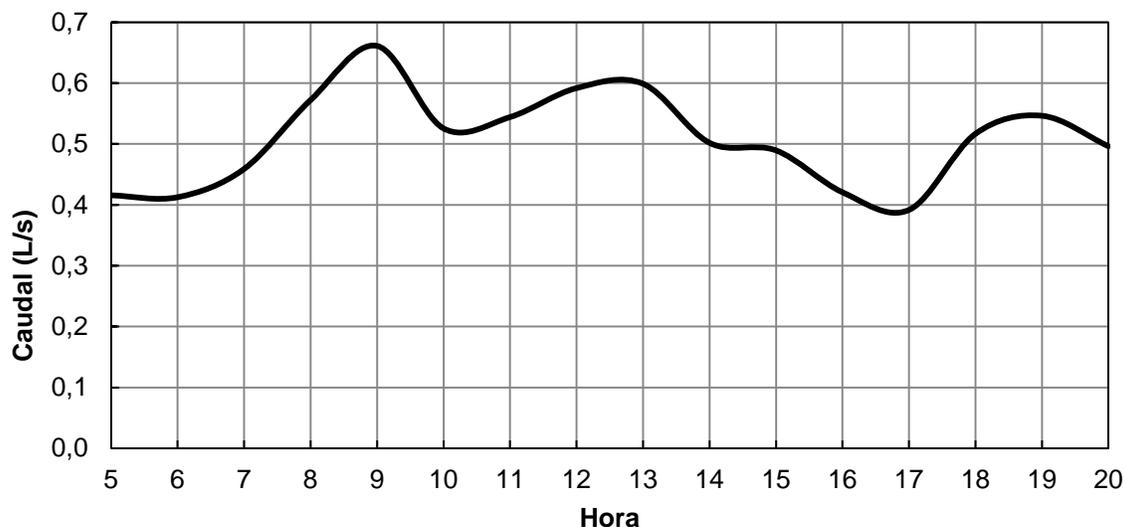


Figura 12. Curva de consumo horario en edificio de oficinas.

Los trabajos de colocación del equipo se iniciaron a las 3:30 a.m. realizando trabajos de apertura del sitio y de limpieza de la tubería. A esta hora se verificó que el edificio estuviera completamente vacío. La grabación de las mediciones se inició a las 5:00 a.m. A las 5:45 a.m. se registró el ingreso del conserje, a las 6:15 a.m. se observó al conserje limpiando en la segunda planta, estas labores de limpieza justifican la ocurrencia de caudales por encima del flujo base (0,4 L/s) alcanzando valores de 0,5 L/s. A partir de las 8:00 a.m. cuando se da el inicio de lecciones en las aulas especializadas del edificio, se denota un incremento del flujo base alcanzando valores de 0,6 L/s; entre las 8:00 a.m. y las 10:00 a.m. se da un incremento considerable del gasto de agua potable, presentando una demanda pico de 0.66 L/s, esto posiblemente se debe a la combinación de labores de limpieza, como la del uso de los aparatos sanitarios de las baterías de servicios sanitarios. También es probable que se haya utilizado el comedor para preparar alguna merienda o desayuno.

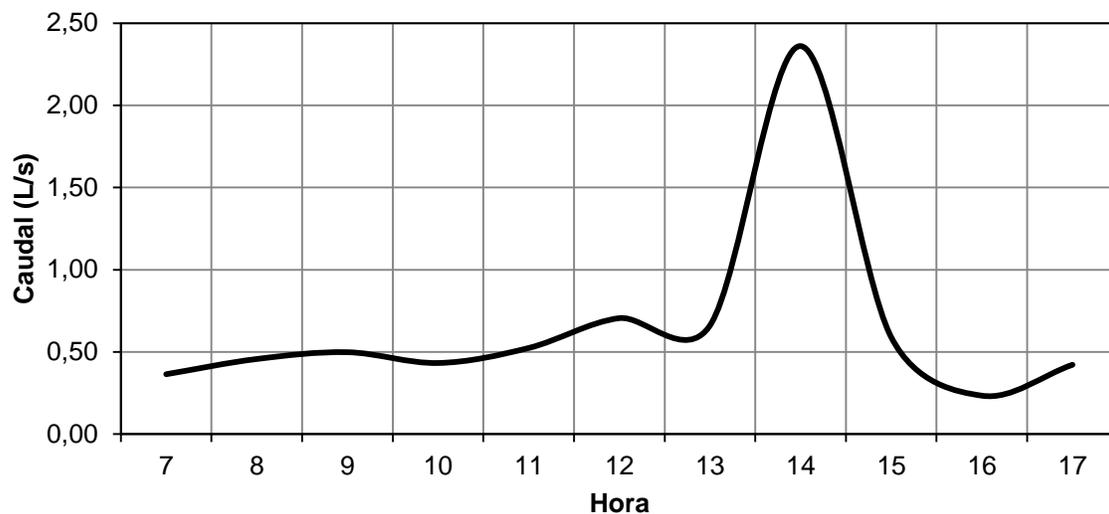
Durante la mañana se dio una máxima ocupación del edificio con presencia de profesores, estudiantes y personal administrativo. A las 10:00 a.m. se registró un

descenso en el consumo de agua potable, a partir de las 11:00 a.m. nuevamente se dio un incremento en los valores de caudal. En la franja horaria de 11:00 a.m. a 2:00 p.m. se dio el período de máximo consumo, alcanzando los valores promedio de aproximadamente 0.65 L/s, que es cercano a los mayores valores reportados durante el día. Aunque la duración del caudal punta (1.11L/s) se dio en una sola medición, las siguientes 6 lecturas registran valores cercanos con variaciones máximas del 20% del valor punta, esto quiere decir que se podría estimar la duración de la máxima demanda en aproximadamente 7 minutos, Esto se puede considerar normal dado las acciones cotidianas que se realizan durante el tiempo de almuerzo tales como lavado de alimentos, lavado de utensilio de cocina en el comedor, así como lavado de dientes, aseo personal y uso de los servicios sanitarios.

Luego de la 2:00 p.m. y hasta las 5:00 p.m. se dio un leve descenso sostenido en la demanda reportando valores por debajo de los 0.5 L/s. Esto se debe probablemente a que durante esta franja horario no se estaban impartiendo lecciones. No obstante, si se dieron clases en un horario vespertino, lo que se refleja en el aumento de consumo de agua potable, durante las 6:00 p.m. y las 8:00 p.m.

cuando nuevamente se dan valores por encima de los 0.5 L/s. Luego de finalizadas las lecciones se vuelve a dar un descenso en el flujo base, llegando a un valor promedio de 0,5 L/s. Este flujo es probable se deba a fugas en la instalación potable de la edificación y se incrementa durante la noche y madrugada debido al incremento en la presión en la red principal.

Centro Educativo



. **Figura 13.** Curva de consumo horario en Centro educativo

La medición se inició a las 7:00 a.m. por lo que la instalación del medidor ultrasónico se inició a las 6:30 a.m. (el día anterior se realizaron pruebas de medición). A las 7:00 a.m. iniciaron los conserjes a ingresar al centro educativo. Los conserjes se dedican a limpieza de pabellones y batería de baños. A las 8:20 a.m. se dio el primer recreo con una duración de 10 minutos. Es importante mencionar que este Liceo cuenta con servicio de comedor, para el tiempo de desayuno solo se atiende a la población más económicamente vulnerable, durante este recreo se sirve el desayuno a los estudiantes beneficiarios. La elaboración de este desayuno hace que se tenga que utilizar los aparatos sanitarios de la cocina, por lo que

se debe dar un incremento en la demanda de agua potable. La elaboración del desayuno da inicio a las 7:15 a.m. aproximadamente. Es así que se explica el aumento en la demanda entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m.

De 9:00 a.m. a 10:00 a.m. se dio el segundo recreo de la misma duración de tiempo. Durante los recreos se hace más intensivo el uso de las baterías de baños. Los conserjes continuaron en trabajos de limpieza únicamente en pabellones. A partir de las 10:30 a.m. se inician trabajos en la cocina para la elaboración del almuerzo. El almuerzo fue servido a toda la población estudiantil que así lo deseara, durante el horario del recreo que va de 11:20 a.m. a 12:20m.d. La máxima actividad de trabajos

en el Liceo del personal operativo se dio entre la 1:00 p.m. y las 4:00 p.m. esto por cuanto luego de servido el almuerzo se iniciaron todas las labores de limpieza de utensilios de cocina, las vajillas utilizadas y el área de cocina y comedor. A su vez los conserjes además de dar nuevamente limpieza a los pabellones del centro educativo, limpiaron las aulas que en la tarde iban quedando paulatinamente sin uso, además de atender de nuevo la limpieza de la batería de los baños. Las actividades descritas se dieron este día entre las 12:30 m.d. y 2:00 p.m. Durante la tarde es el momento en que se da un uso más intensivo de los aparatos sanitarios, principalmente por los trabajos de limpieza de cocina, aula y baños del Liceo, es importante hacer énfasis en que el lavar los utensilios de cocina y vajilla utilizados para preparar y servir los alimentos representa una actividad que impacta la demanda de agua potable. La duración del caudal punta (2.5L/s), se registró en una sola medición, aunque de igual manera 4 mediciones siguientes registran valores que no difieren en más del 20% del valor punta, esto podría aproximar la duración del pico máximo a una duración de 5 minutos en este caso. Otro detalle importante a considerar es que este Liceo cuenta con guardianía las 24 horas. Por lo general el guarda del turno nocturno se dedica a regar las plantas, zonas verdes y sembradías experimentales que se tienen. Esta actividad demanda un uso activo de las llaves de riego externas, esta actividad la inició aproximadamente a las 5:00 p.m. y tiene en promedio de una hora y media de duración. Para realizar esta actividad se activaron varias llaves de riego con uso alternado entre sí, en ocasiones se utilizan dos llaves de riego al mismo tiempo. El último funcionario docente administrativo salió de sus funciones a las 5:00 p.m. quedando dentro de las instalaciones solo el guarda.

Es importante considerar que el día viernes se dio la celebración de elecciones estudiantiles, las cuales iniciaron de forma activa a partir de las 10:00 a.m. Se realizaron

actividades culturales y se suspendieron las clases, por las elecciones ese día se salió antes de la hora normal. Las actividades del comedor no sufrieron ningún cambio y en cuanto a los conserjes al estar las aulas desocupadas la limpieza inicio con antelación.

Edificio de apartamentos

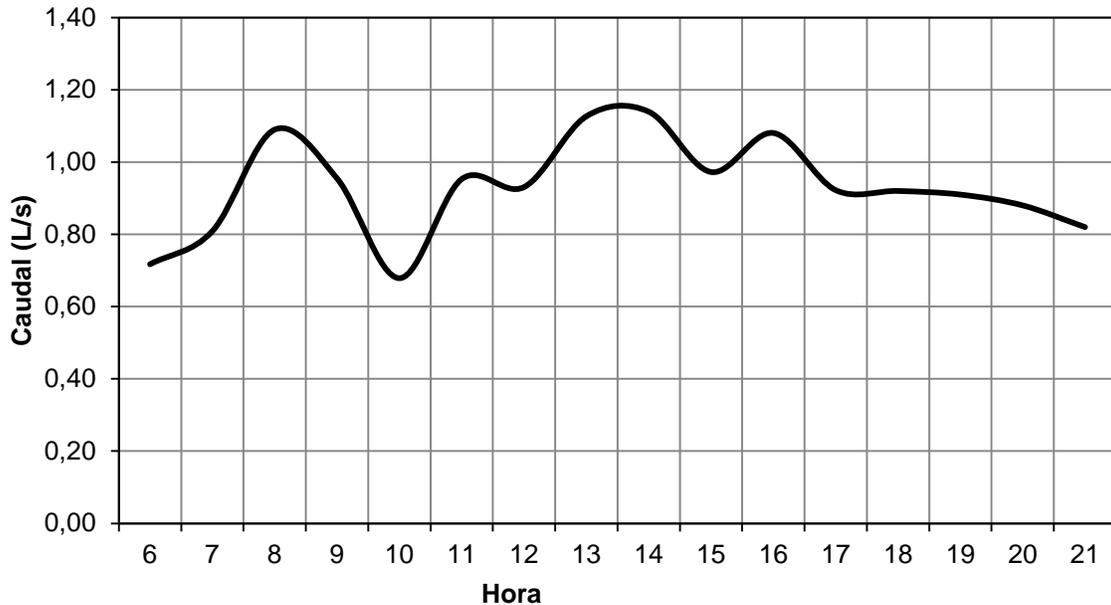


Figura 14. Curva de consumo horario del edificio de apartamentos.

El primer día se inició con la colocación del equipo a las 4:40 a.m. aproximadamente y la medición se empezó a grabar a partir de las 5:15 a.m.

Se notó la presencia de 9 vehículos en el estacionamiento del condominio, por lo que es presumible estuvieron presentes la mayoría de habitantes de las edificaciones.. Hasta las 8:00 a.m. no se registró actividad en las afueras del condominio, luego de esta hora y hasta las 9:00 a.m. se registró la salida de 4 vehículos. Es de suponer que las personas que salieron del edificio utilizaron las duchas y servicios sanitarios, así como es probable que hayan preparado algún tipo de alimento, por tanto hicieron uso de aparatos sanitarios, lo que justifica el incremento en la demanda entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m. alcanzo valores encima de 1 L/s. Entre la franja de 9:00 a.m. a 10:00 m.d. se dio un descenso en la demanda, a 0.65L/s lo cual supone una baja en las actividades humanas. Pasado el mediodía se registró el ingreso de

3 de los 4 vehículos que salieron en la mañana.

Entre el lapso de 11:00 m.d. y 1:00 p.m. se dio la salida y entrada de 5 vehículos. Al entrar varios de ellos al edificio, se notó que las ingresaron con alimentos. Es así que se puede decir que en esta franja horaria se haya dado preparación de almuerzo en varios de los condominios. Situación que puede explique el alza en la demanda en esa franja horaria en cual se presentan valores picos de 1.1 L/s. A partir de la 2:00 p.m. y hasta las 4:00 p.m. se marca un descenso constante en la demanda. Al igual que en los casos anteriores el valor máximo probable, se presentó en una lectura, seguido de 3 lecturas con valores cercanos (no varían más del 20%) al valor punta (2.6L/s).

Al caer la noche de denota que dentro de los condominios se sigue dando actividad esto por cuanto las luces interiores permanecen encendidas, Es muy probable que pasada las 8:30 a.m. varias de los

dueños de apartamento procedieran a ducharse o preparar comidas livianas.

Está claro que los usos más intensivos de agua potable se dan en franjas

horarias "típicas" en función de los de las actividades humanas, existiendo picos al inicio del día, medio día y durante la noche. se marca un descenso en la demanda

Casa de Habitación

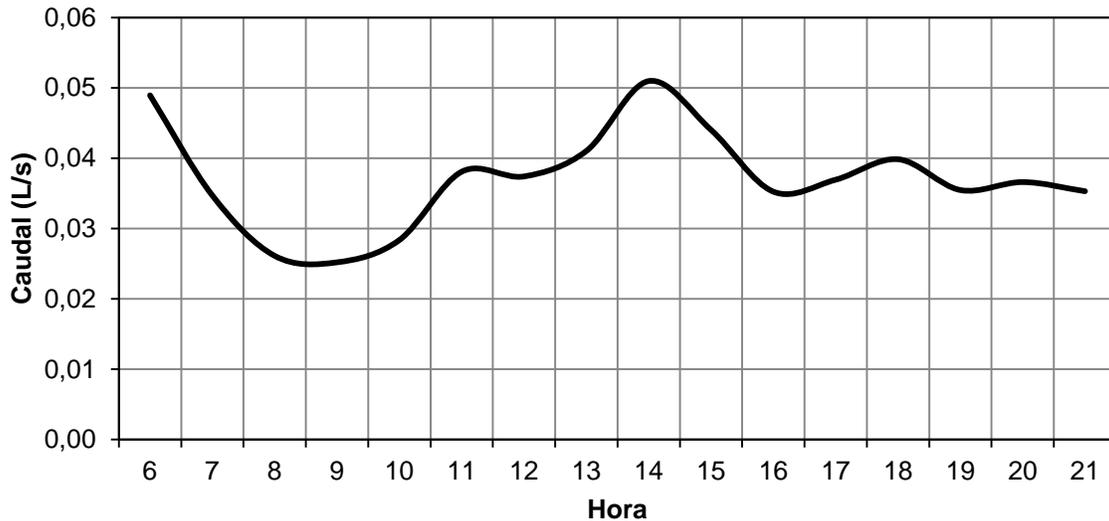


Figura 15. Curva de consumo horario en casa de habitación.

La grabación de las mediciones se inició a las 5:47 a.m. a esta hora se observó una luz encendida. A las 6:20 a.m. se registró actividad a lo interno de la vivienda, al igual que el día anterior, a esta hora se inició la elaboración del desayuno. En la franja horaria de las 5:00 a.m. se dieron usos de duchas por las personas que ya están activas dentro de la vivienda. Es por esto que durante esta hora se obtuvieron reportes de demanda horaria de 0.05 L/s la cual es la mayor durante la mañana. Entre 7:00 a.m. y 8:00 a.m. se dieron las actividades propias del desayuno.

A las 8:00 a.m. se registró la salida de 3 habitantes de la vivienda mismos que reingresaron al ser las 10:45 a.m. aproximadamente. No se reportó actividad a lo interno de la vivienda. En este lapso de tiempo se registraron demandas en el orden de 0.025 L/s los cuales constituyen la menor demanda del día. A partir de las 11:00 a.m.

aproximadamente se inició con la elaboración del almuerzo.

Se registró el ingreso de familiares invitados para el almuerzo a las 12:00 m.d., sirviéndose entre esta hora y la 1:00 p.m. Luego se dio interacción entre los miembros de la familia, especialmente varios niños jugando en el jardín de la casa. A lo interno de la vivienda se dieron actividades de limpieza de cocina. En la franja horaria de las 11:00 a.m. y 2:00 p.m. se dieron los mayores valores de demanda alcanzando valores por encima de los 0.05 L/s. El valor máximo probable se registró en una lectura, con 4 mediciones siguientes con valores cercanos (variación no mayor al 20%) al valor punta (0.8 L/s).

Las visitas de familiares permanecieron en la vivienda hasta las 4:00 p.m. Durante la tarde se registraron actividades de convivencia entre los habitantes tales como conversaciones entre los adultos y niños jugando en los jardines.

A las 5:00 p.m. se registran movimientos en el área de cocina, para la elaboración de los alimentos. No se registraron salida de habitantes de la vivienda ni ingreso de visitas.

A partir de las 7:30 p.m. estaban apagadas la mayoría de las luces de la vivienda. Al ser las 9:00 p.m. no se había registrado movimientos en la vivienda ni salidas ni ingresos de personas. Al ser las 9:30 se registró las luces de la sala apagadas. Se presume que cada habitante se encontraba en su respectivo dormitorio dado que las luces se notaron encendidas. La grabación se finalizó a las 10:00 p.m.

Es claro observar que se presentaron coincidencias y diferencias marcadas entre los patrones de los distintos inmuebles. Edificaciones como el centro educativo, edificio de oficinas y el edificio de apartamentos, reportan bajos valores de demanda en las primeras horas de la

mañana en la franja horaria de 5:00 a.m. a 8:00 a.m. Entre las 8:00 a.m. y 11:00 a.m. se da un comportamiento en edificio de oficinas con presencia de demandas punta, en las demás edificaciones en esta franja horaria las demás edificaciones presentan demandas por debajo del valor media diario.

Es visible para todos los casos que existe una mayor ocurrencia de factores altos de demanda en la franja meridiana en un rango entre las 11:00 a.m. y 3:00 p.m. Todas las edificaciones reportan valores picos en esa franja horaria. En el tramo comprendido entre las 3:00 y la 5:00p.m. todas las edificaciones presentan valores bajos de demanda.

La duración de los caudales máximos probables se registró con duraciones de minutos con lapsos de entre 4 y 7 minutos. En la literatura no se encuentran datos para contrastar estos valores.

Análisis de Resultados

Para el óptimo diseño de las redes internas de distribución de agua potable es de gran interés determinar el caudal máximo probable. Durante décadas se han utilizado métodos tradicionales para calcularlo (Castro et al., 2006) los cuales se encuentran normados en los códigos de diseño hidráulico en los diferentes países, como Estados Unidos, Alemania, Francia, España y Costa Rica. En términos generales, sin importar el método, se requiere como información de entrada el gasto medido en unidades volumen por unidad de tiempo de los aparatos sanitarios (más común litros/segundo) y la cantidad de aparatos sanitarios que requieren ser abastecidos de agua potable. En lo que respecta al gasto de los aparatos sanitarios, es básico tener en cuenta que los métodos fueron concebidos en su mayoría, a inicios del siglo pasado, por lo que indudablemente el diseño, funcionamiento y por ende consumo de los mismos ha variado (Granados et al, 2006). Se presume que el uso de estos métodos implica el sobredimensionamiento de las tuberías. Lo que conlleva un sobre costo en su construcción, así como un inadecuado aprovechamiento del agua potable.

Castro y aforo de aparatos sanitarios

Para efectos de este estudio se hicieron aforos de lavatorios, duchas, fregaderos, llaves de riego y pilas. De los resultados es característico que aparatos sanitarios como los lavatorios, duchas y fregaderos presentan un gasto menor al reportado en los métodos empíricos y semi empíricos evaluados. Al aforar lavatorios de distintas marcas y diseños se obtienen valores promedios de gasto de 0.1 L/s en contraposición con el promedio teórico que es de 0.19 L/s, el cual es prácticamente el doble del valor aforado. Esta situación se

explica, con base en la evidencia práctica, que este tipo de aparatos sanitarios son los que más desarrollo han tenido en los últimos años, en cuanto a materiales y diseños que permiten mayor ahorro de agua, esto hace que en la actualidad se confeccionen aparatos de bajo consumo (Granados et al., 2006), mismos que ya normalmente se utilizan en las nuevas edificaciones.

En este estudio, las edificaciones son de construcción reciente (no superan los 5 años). Por tanto, no es casualidad que las edificaciones nuevas contaran con lavatorios, con diseños orientado al bajo consumo de agua. Igual situación sucede con la ducha y el fregadero, presentan condiciones muy similares a las ya explicadas para el lavatorio. En el caso de la ducha el gasto promedio aforado es de 0.12 L/s y el gasto promedio teórico es de 0.22 L/s, para el fregadero la situación es de más diferenciada, en el tanto que el gasto promedio aforado es de 0.06 L/s y el valor teórico promedio es de 0.21 L/s. Situación que se da, debido a que los fregaderos que comercializan actualmente son aparatos sanitarios de bajo consumo. En promedio los valores aforados de este primer grupo de aparatos sanitarios son un 47,6% menor que el valor promedio reportado en la literatura. Según los datos de fichas técnicas consultadas, los aparatos sanitarios con dispositivos de bajo consumo, ahorran entre un 30%-60% de agua potable, cifra que es congruente con los resultados de los aforos.

Lo contrario ocurre al analizar las salidas de las pilas, lavadoras y llaves de riego externas. En el caso de las llaves de riego estas presentan un gasto incluso mayor al teórico, siendo el promedio de gasto aforado de 0.38 L/s y el gasto promedio teórico de 0.34 L/s. Respecto a las pilas tanto los promedio teóricos como aforados son de 0.24 L/s. En las salidas para lavadoras el gasto promedio real es de 0.11 L/s y el teórico de 0.13 L/s. En relación con estos 3 últimos aparatos sanitarios es clara la

cercanía entre los valores teóricos y los valores reales. La explicación a estos datos esta fundamentada en el catastro sanitario realizado. Durante el trabajo de campo se pudo constatar que los aparatos sanitarios utilizados para este tipo de salidas, más allá del material con que son confeccionados, han tenido cambios mínimos en sus diseños, por lo que las condiciones de gasto de éstos no distan de la de los aparatos presentes en el mercado desde la época en que fueron desarrolladas las metodologías teóricas.

Es muy importante tener en cuenta que el gasto de los aparatos sanitarios depende de la presión del sistema (Granados et al., 2006). En los casos estudiados solo el edificio de apartamentos cuenta con sistema de bombeo, en los demás casos la presión variaría en función de las particularidades de funcionamiento de la red pública y el uso de la red interna. Por este motivo debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos pudieron verse impactados por la presión presente en la red al momento del trabajo de campo.

Otro grupo de aparatos sanitarios que es importante considerar es el de los inodoros y mingitorios. Si bien es cierto el aforo de estos aparatos, por sus características, se escapa de los alcances de este estudio, si fue posible constatar mediante el catastro sanitario el tipo de dispositivo para el suministro de agua potable, tanto para los inodoros como los mingitorios. Del trabajo de campo se constata que aplican tecnología de diseño de bajo consumo. En el caso de los inodoros, todos los catastrados funcionan mediante un tanque de almacenamiento, incluso algunos (condominios Veranda) presentan dispositivos de doble descarga. Los mingitorios funcionan con llaves temporizadoras que regulan el caudal. En la actualidad es común encontrar en el mercado, inodoros de 6L por descarga, y son cada vez más frecuentes los de bajo consumo con rendimientos de 4.8L por descarga (edificio de oficinas). Existen también inodoros de doble descarga los cuales diferencian el tipo de deposición que debe ser evacuada. Así, que para el caso de líquidos utilice hasta 3 L por descarga. Para el caso de los mingitorios los gastos reportados en fichas técnicas corresponden a 3.8 L por descarga, Lo que representa el valor común para este tipo de aparato

sanitario. Es importante señalar que cada vez ganan presencia los mingitorios secos, los cuales generalmente con mecanismos de retención de sedimentos en la orina, solo dejan pasar el líquido a la tubería mecánica, a su vez se controlan los olores de los sólidos retenidos, sin necesidad de utilizar agua.

Los actuales gastos para los inodoros y originales han ganado eficiencia en los últimos tiempos, situación que no se ve reflejado en la mayoría de las metodologías teóricas las cuales aún consideran en sus tablas de gastos valores no actualizados (Granados et al., 2006).

Caudal máximo probable

El caudal máximo probable, según Castro et al., (2006) es expresado normalmente en litros por segundo y es el valor máximo de caudal que se puede llegar a esperar en una edificación, considerando el hecho que no todos los aparatos sanitarios son utilizados al mismo tiempo.

Con el estudio de campo realizado y su comparación con los valores de las metodologías teóricas, se marcan tendencias como los bajos valores que genera el método racional español con porcentajes de error de hasta un 79.3% abajo del caudal aforado, lo cual es consistente con lo reportado en Castro et al., (2006), ya que este método fue el que generó el menor valor entre los métodos teóricos. Para efectos de este estudio generó valores menores a los caudales aforados, en todos los casos de estudio. Asimismo el método del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en 3 de las 4 edificaciones es el que genera el mayor caudal probable, presentando para todas las edificaciones los mayores porcentajes de error, con valores muy superiores a los valores aforados. Situación que, se supone se puede incurrir en un sobredimensionamiento de la tubería con el uso de este método, el cual es norma en nuestro país.

El método de Hunter Colombia es el que genera la mejor aproximación para los edificios de apartamentos y el centro educativo, con porcentajes de error del orden del 5% de los valores medidos. Estos son los dos edificios con mayor cantidad de aparatos sanitarios con 113 y 42 respectivamente, lo

que es congruente con lo indicado en (Castro et al., 2006), respecto a que los métodos probabilísticos pierden capacidad y son menos fiables cuando la instalación cuenta con pocos aparatos sanitarios. En el caso de las oficinas y la casa de habitación, la norma Francesa fue el método que mejor estimó el valor de caudal con porcentaje de error del 18% y 5% respectivamente. Estos inmuebles tienen 35 y 19 aparatos sanitarios respectivamente. En Pancorbo (2006), el método que mejor aproximó los valores aforados fue el método de la norma española (método racional), el cual también es semiempírico, en dicho estudio no se contempló el método de la norma francesa. Los resultados sugieren que el método francés es una alternativa válida para el diseño de este tipo de edificaciones. Sin embargo, dado al carácter semi empírico de este método es muy importante tener un adecuado criterio (Castro et al., 2006).

Cuadro 29. Métodos cuyo caudal estuvo más cercano al medido

Edificación	Método más próximo al aforado	Método más lejano al aforado
Edificio de oficinas	Norma Francesa	CIHSE
Centro Educativo	Hunter Colombia	CIHSE
Edificio de apartamentos	Hunter Colombia	CIHSE
Casa de habitación	Norma Francesa	Británico

Los resultados del método de Hunter Colombia en el caso del edificio de apartamentos, es consistente con lo obtenido por Castro et al., (2006) en cuyo estudio para el complejo habitacional Takay el valor aforado y de Hunter Colombia coincidieron en el valor de 3.12 L/s y complejo habitacional 76 el valor aforado fue de 0.86 L/s y valor de Hunter Colombia fue de 1.19 L/s, apenas un 38.4% arriba del valor aforado. En estos complejos residenciales el método Hunter Colombia fue el que mejor aproximó los valores de caudal aforados.

En términos generales los resultados de la investigación sugiere, que a mayor cantidad de aparatos sanitarios con que cuenta la instalación, los métodos probabilísticos son los que mejor aproximan el valor aforado, situación que resulta lógica.

Esto por cuanto a mayor cantidad de aparatos sanitarios, mayor probabilidad de uso simultáneo. Es así que los métodos semiempírico cuando la probabilidad de uso aumenta pierden la capacidad de describir adecuadamente el requerimiento de caudal. Situación que sí es adecuadamente tratada por los métodos probabilísticos y a la luz de estos resultados los ajustes realizados por el método Hunter Colombia, suponen que es el método que mejor aproxima el valor de caudal en edificaciones con alta cantidad de aparatos sanitarios.

Es presumible con base en los resultados de este trabajo, que el diseño de redes internas de distribución bajo los métodos actualmente normados en el país, implique un sobredimensionamiento en las tuberías, con el consecuente perjuicio del mal uso del recurso hídrico y aumento del costo de la obra.

A continuación se describe y analiza la situación presentada puntualmente para cada caso de estudio.

Edificio de Oficinas

Para el caso del edificio de oficinas el caudal máximo aforado fue de 1.11 L/s. El percentil 95 da un valor de 0.99 L/s, que es cercano al valor máximo. Respecto al método Británico el cual es un método empírico reporta un valor de 3.28 L/s, que representa un 295% del valor aforado. Esto es esperable, dado que este método al ser empírico se basa únicamente en la experiencia y toma como base los gastos sanitarios reportados en una tabla que es específica del método (Castro et al., 2006), donde se estipulan valores de gastos para los aparatos sanitarios mayores a los aforados, situación que puede estar influyendo en la diferencia entre las mediciones y el valor teórico.

En el caso del método semi empírico de la raíz cuadrada el valor de caudal, que es de 1.38 L/s se acerca al valor medido en campo, excediéndolo en un 126%. Una posible razón es que en este método no se indican de forma predeterminada los valores de gastos, por tanto para asignar un gasto a cada aparato sanitario se utilizaron los valores de la tabla de Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, esto implica que se usan valores más actualizados que los utilizados comúnmente para este tipo de métodos cuyo desarrollo

data en los inicios del siglo XX (Pancorbo, 2011). No obstante, sería impreciso aceptar que la similitud de los valores se deba a esta situación. Esto por cuanto el método en su formulación presenta aspectos arbitrarios como la obtención de la raíz cuadrada de la suma de los productos de los factores de carga por la cantidad de aparatos sanitarios del mismo tipo, dato que luego será multiplicado por un valor base. Este procedimiento carece de sustentación teórica.

En cuanto al método de la Norma Francesa el valor teórico es de 1.31 L/s, 20.7 % sobre el valor medido, siendo. Este método es el que mejor aproxima el valor de caudal máximo probable aforado. En este método se asignan valores predeterminados a los gastos de cada aparato sanitario. Además se afecta el valor de caudal máximo, el cual se obtiene multiplicando la cantidad total de aparatos sanitarios por el gasto asociado a cada tipo de aparato y sumando los resultados. A este valor se le afecta por un coeficiente k el cual carece de base científica, por lo que su uso es subjetivo. Este coeficiente tiene la particularidad que tiene un valor mínimo, el cual es de 0.2.

El método racional Español para este caso genera un valor de 0.64 L/s, lo que llama atención porque, pese a ser de los métodos de relativa mayor antigüedad da como resultado un valor incluso menor al medido, el cual es un 60% del valor aforado, El método también genera su propia tabla de gastos para los aparatos sanitarios y la estructuración de la fórmula de cálculo es igual al método de la norma francesa, excepto de la inclusión de un factor k_2 para el caso de complejos habitaciones multifamiliares y que también realiza diferente el cálculo del coeficiente k_1 y además no tiene restricción de valor mínimo, lo que origina que genere valores menores al de la norma francesa. De igual forma no hay base teórica para el cálculo de estos factores k_1 y k_2 , lo que genera incertidumbre en los resultados (Pancorbo, 2011).

Otro caso que llama la atención es el del método de simultaneidad indicado en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, que reporta un caudal de 5.97 L/s el cual es ampliamente superior al valor medido en campo, que es un 559.6% del valor aforado. Este método también establece los valores para asignar

los gastos de los diferentes aparatos sanitarios, a su vez establece un factor fijo α (1/12) para considerar la probabilidad de uso simultáneo. En este método la estructura matemática de la fórmula genera valores altos con relación a los formulas antes analizadas. El coeficiente de simultaneidad α es independiente a la cantidad de aparatos sanitarios, en los métodos anteriores los factores k son función de la cantidad de aparatos sanitarios. Esta situación presume que sea una de las razones de los altos valores de caudal que generó el método. Es presumible que el uso de este método conlleva un sobredimensionamiento en las tuberías de distribución de agua potable. Esta situación debe ser observada con detenimiento que en el tanto este método es norma de diseño vigente en nuestro país.

En cuanto a los métodos probabilísticos aplicados iniciando con el método de Hunter, en el caso del edificio de oficinas genera un valor de 2.93 L/s, el cual es casi tres veces el valor medido en campo, este método introduce una fundamentación teórica basado en la teoría de la probabilidad para representar matemáticamente la probabilidad de uso simultáneo de los aparatos sanitarios. Esto hace que sea un método con mayor consistencia que los anteriores. De forma análoga a los métodos empíricos y semi empíricos, el método de Hunter define los gastos para los aparatos sanitarios en términos de unidades Hunter. El método asigna pesos a todos los aparatos sanitarios que representan con el cual éstos afectan al sistema hidráulico bajo frecuencias máximas (Pancorbo, 2011). En este caso se obtuvo valores de Hunter de 3,28 L/s, significativamente superior, en un 277 %, al valor aforado. Este es de los primeros métodos que calcula, con base en la teoría de la probabilidad, el valor de caudal máximo probable y pese a la antigüedad del método es de uso aceptado en nuestro continente (Pancorbo, 2011). Los valores de unidades de Hunter están definidos considerando gastos de aparatos sanitarios que en la actualidad han reducido su caudal de consumo. En el caso del valor de Hunter modificado el valor generado es de 1.71 L/s, el cual es superior en un 162% al valor aforado: Este valor se acerca más al valor aforado que el método de Hunter, esto se debe a que el Hunter Modificado disminuye arbitrariamente en un 60% el valor de la sumatoria de las unidades

de Hunter presentes en la edificación. Esto hace que el método mejore considerablemente su precisión. Para la aplicación del método de Hunter Colombia el resultado es de 2.19 L/s un 211.1% superior al valor aforado. El método colombiano ha reconsiderado la duración del uso de las válvulas de tanque lo va a variar la probabilidad de uso simultáneo, a sus vez realizó reducciones en los caudales promedio de los aparatos sanitarios con respecto al método original (Castro et al., 2006). Por estos motivos se tenía la expectativa que este método aproximará de mejor forma el caudal medido, sin embargo no supera la aproximación lograda por el Hunter Modificado. En el caso de esta edificación el método que mejor aproximó el resultado de caudal máximo probable fue el de Norma francesa, método que debe ser utilizado considerando la variabilidad del factor empírico k.

Centro educativo

Para el centro educativo el caudal máximo aforado es de 2.57 L/s con un percentil 95 igual a 1.47 L/s. El Método Empírico Británico da el segundo valor más alto entre los valores teóricos con 3.53 L/s el cual es un 137% mayor que el valor aforado.

Los métodos de la Raíz Cuadrada, Norma Francesa y Racional Español dan valores inferiores a los aforados, 1.71 L/s, 1.61 L/s y 0.53 L/s respectivamente, con valores en porcentajes del 66.7%,63.2%, 21,1%. Para el caso de la Raíz Cuadrada el valor se afecta debido a que los gastos asignados a los aparatos sanitarios corresponden a valores de la tabla publicada por el CFIA, situación que puede influir en el resultado final. Para los métodos de Norma Francesa y el Racional Español, los valores de los coeficientes de simultaneidad son los que, dado su carácter empírico incorporan una razonable incertidumbre en los resultados. En el caso del método de CIHSE, el valor es de 6.3 L/s el cual es 249.7% superior al valor aforado. Esta situación reitera la poca capacidad del método para estimar el valor máximo probable.

En el caso de los métodos probabilísticos de Hunter, Hunter Modificado y Hunter Colombia se obtienen valores de 3.28 L/s, 1.93 L/s y 2.40 L/s respectivamente,

lo que en comparación con el caudal aforado da los porcentajes: 132.8%,78.8% y 99% en el mismo orden. El Método Racional Español es el que genera el valor más bajo de caudal y el método del CIHSE el valor más alto. En esta edificación el método de Hunter Colombia es el que genera la mejor aproximación. Esto es congruente con la literatura (Pancorbo, 2001), donde se indica que el método de Hunter y por ende el Hunter Colombia, son más efectivos para el cálculo de redes internas de abastecimiento de agua potable con grandes grupos de elementos. En el caso del centro educativo que cuenta con 60 aparatos sanitarios es menor la segunda red más grande por debajo del edificio de apartamentos.

Edificio de Apartamentos

Esta edificación reporta un caudal puntal de 2.7 L/s, con un percentil 95 de 1.9 L/s. El Método Británico genera un valor de 5.36 L/s, lo cual es un 198% mayor al caudal aforado, situación que es congruente con lo casos anteriores, y esperable dado el empirismo del método.

En lo que respecta a los métodos semi empíricos, la Raíz Cuadrada (alemana) genera un valor de 2.19 L/s el cual es un 18.9% inferior al valor aforado, en este método se usaron los valores de la tabla del CFIA, dado que no establece valores predeterminados, La Norma Francesa da un valor de 4.29 L/s, lo que es un 158.8% mayor al valor medido, el método racional Español genera un valor de 1.28 L/s, un 47.5% del valor aforado, en este caso se aplican los dos factores k y k1 que enuncia el método, en una edificación con 10 unidades habitaciones iguales, la aplicación de estos factores provoca considerables reducciones en el caudal. Para el método del CIHSE se obtuvo el siguiente valor 10.18 L/s, que es un 377.1% mayor al caudal máximo aforado. Se mantiene una tendencia clara a la sobre estimación del caudal en este método.

Para los métodos probabilísticos se obtuvieron los valores de 4.14 L/s, 2.42 L/s y 2.86 L/s para los métodos de Hunter, Hunter modificado y Hunter Colombia respectivamente. Se denota que el método tradicional de Hunter reporta el mayor caudal, 153.3% mayor al aforado, el método modificado da un valor inferior al aforado un

89.6% del valor de éste. En la variante colombiana la metodología da un valor de 2.86 L/s que es un 105.8% del valor aforado, dato que resulta más cercano a valor aforado. Esta similitud se puede deber a la semejanza de los valores de unidades hunter esta actualizados en esta norma, así como por los ajustes propios al método realizado por los científicos colombianos. En este caso se muestra cómo el método de Hunter Colombia, estima con una buena aproximación el valor medido y el método del CIHSE costarricense nuevamente genera el valor más divergente con respecto al valor medido.

Casa de Habitación

En las mediciones de la casa de habitación se logró registrar un caudal pico de 0.86 L/s con un percentil 95 de 0.18 L/s situación que hace ver como que el caudal máximo probable se presenta en lapsos cortos. En este caso el caudal punta se presenta durante la franja meridiana del día sábado, circunstancia que es congruente con el pico de consumo de esta casa de habitación para el día de medición. El caudal reportado por el empírico Método Británico es de 2.15 L/s el cual es 250.5% más alto que el valor aforado y es el único caso donde este método genera el valor más alto entre los demás. Los altos valores en el método Británico, ocurren en todas las edificaciones estudiadas y la casa de habitación reafirma la tendencia.

Con el Método de la Raíz Cuadrada se genera un valor de caudal máximo probable de 0.97 L/s el cual es un 113.25% del caudal aforado; valor muy cercano a éste. Este caso no reporta tabla predefinida, por lo tanto se usaron los valores publicados por el CFIA, así se usan gastos de aparatos con valores actualizados. Este detalle pueda estar influyendo en la aproximación del método al valor real. Con el método de la Norma Francesa el valor obtenido es de 0.81 L/s que representa un 94.4% del valor medido en campo. El dato es ligeramente menor, la mejor aproximación al valor aforado. Este método define los gastos (Pancorbo, 2011) y utiliza un coeficiente k de simultaneidad el cual afecta al caudal máximo para considerar la probabilidad de usos simultáneos de los aparatos sanitarios. Este factor carece de fundamentación teórica

por lo que puede ser subjetiva su aplicación (Pancorbo, 2011). El Método Racional Español, da un valor de 0.59 L/s mismo que es un 69.4% del valor aforado, este método usa un coeficiente de simultaneidad k , con las mismas implicaciones que el método anterior, sin embargo, en el Método Español este valor no tiene un mínimo, por lo que se dan valores relativamente bajos, con respecto a los demás métodos teóricos. El método del CIHSE mantiene la tendencia de generar valores altos entre los demás métodos. En este caso el valor de caudal es de 1.90 L/s que representa un 222% del valor aforado. El método es reiterativo en generar valores altos de caudal. En lo concerniente a los métodos probabilísticos, Hunter da un valor de 1.48 L/s lo que es un 172.4% del valor aforado. Este método utiliza valores de unidades Hunter basado en condiciones de aparatos sanitarios que en la actualidad han sufrido cambios (Castro et al., 2006). Con el método de Hunter Modificado se obtiene se obtiene incluso un valor de 0.69L/s el cual es menor al medido en campo alcanzando un 80% de dicho valor. Para el caso de Hunter Colombia se registra un valor teórico de 1.57 L/s, un 182% mayor al caudal aforado.

Es probable que el pequeño tamaño de la red interna de distribución de agua potable de la vivienda afecte los resultados de los métodos probabilísticos, dado que estos fueron desarrollados para edificios de mayor tamaño (Castro et al., 2006). Resulta de interés el hecho de que una red considerablemente con menor cantidad de aparatos sanitarios que el edificio de oficinas; genere un caudal máximo muy semejante a ésta. Una posible explicación, puede estar marcada por la mayor probabilidad de uso simultáneo que existe en la casa de habitación donde es más probable que estén en uso simultáneo aparatos como los inodoros, lavatorios, duchas y lleves de riego con respecto al edificio de oficinas, esto por el uso propio de cada inmueble.

Variación horaria del consumo

En el caso de los edificios estudiados, además de la determinación del caudal máximo probable, es posible evaluar la variación horaria de la demanda. En los

últimos tiempos ha habido un considerable incremento en interés por la determinación de los variación horaria de la demanda (Aksela & Aksela, 2011), esto debido a que es un dato de entrada básico en la modelación del funcionamiento de redes de abastecimiento de agua potable basadas en modelos estocásticos. Este tipo de modelos definen 3 características para la definición de la dinámica del consumo, que son intensidad, duración y frecuencias del uso (Nañez et al., 2012). Es así que los patrones de demanda, los cuales describen la demanda en función a volumen demandado por unidad de tiempo, ofrecen una descripción más realista del comportamiento de la red cuando se combina con la modelación hidráulica (Aksela & Aksela, 2011).

En estudios realizados (Bowen et al 1993), se demostró que por varios factores existen marcadas diferencias en los consumos residenciales. En el caso de las edificaciones estudiadas las mismas tuvieron un estudio de un día cada una. A nivel general es posible, con base en las figuras 12, 13, 14 y 15 mostradas en el capítulo anterior, notar como existen comportamientos generales, el más evidente es el hecho de que todas las edificaciones reportan picos de demanda en una franja horaria que va de las 11:00 a.m. a las 3:00 p.m. Esta situación es explicable dado que al durante este lapso se realizan actividades propias de la preparación de alimentos y la posterior limpieza de los utensilios utilizados, así como la eventual superposición de actividades de limpieza y uso de aparatos sanitarios para el aseo personal y necesidades fisiológicas que puedan presentarse luego de la ingesta de los alimentos. Esta tendencia se da con mayor magnitud tanto en la casa de habitación, como el centro educativo; el cual cuenta con servicio de comedor. También se nota como entre las horas intermedias de la mañana y la tarde, es cuando se reportan valores de demanda menores.

En lo que respecta a las horas iniciales de la mañana (entre las 5:00 a.m. y 8:00 a.m.) se reporta un bajo consumo con respecto las demás horas del día. Es de esperar que las demandas varíen durante el transcurso del día, dado que la misma depende de que las personas que usan la edificación demanden agua de la red, por lo que es de esperar, que la demanda en horas

de la madrugada sea menor a la que se reporta en las mañanas o las tardes.

Edificio de oficinas

En la figura 12 se puede observar como durante la mañana el consumo empieza a subir reportando demandas de hasta 0.65 L/s a partir de las 7:00 a.m. hasta las 10:00 a.m. situación que se sustenta en el hecho del uso del edificio por personal docente y administrativo y de estudiantes que reciben lecciones en las aulas especializadas del edificio A esto se le suma el hecho de que, aún en el transcurso de la mañana, se realizan labores de limpieza en el edificio.

De 10:00 a.m. a 11:00 a.m. la demanda decrece a 0.5 L/s, para empezar de nuevo a subir sostenidamente hasta pasadas la 1:00 p.m. hasta alcanzar valores pico de 0.6 L/s. Esto es consistente con la presunción que durante la franja meridiana se reportan valores picos en la demanda.

Durante la tarde la demanda decrece de forma sostenida hasta las 5:00 p.m. reportado valores de hasta 0.4 L/s. Esto puede deberse a la baja en la ocupación del inmueble. Con respecto a la mañana, durante la tarde no se imparten lecciones en ciertas aulas. Después de las 5:00 p.m. se reporta un nuevo repunte (0.5 L/s) en la demanda, lo que coincide con el aumento de ocupación del edificio, al menos de estudiantes, por las clases vespertinas. La mayoría de profesores y personal administrativo ha salido de funciones. Después de las 8:00 p.m. la demanda decrece, pero siempre con la existencia de un flujo base de 0.5 L/s. Una de las posibilidades es que se estén presentando fugas, que al aumentar la presión general en la red de distribución externa, repercuten en acentuar el gasto.

En términos generales, se puede indicar que con base la gráfica de variación horaria de consumo, que la demanda es mayor durante la mañana (0.66 L/s) y mediodía (0.6 L/s) para luego decrecer durante la tarde (0.4 L/s). Esta situación resulta lógica por el tipo y uso que tiene este inmueble.

Centro Educativo

En lo que respecta al centro educativo se puede notar, como se muestra en la figura 13, desde la 7:00 a.m. la demanda tiene un crecimiento sostenido hasta las 10:00 a.m. (0.5 L/s); situación explicada por las labores de elaboración del desayuno y limpieza general de las instalaciones. Después entre las 10:00 a.m. y 11:00 a.m. decrece levemente, luego vuelve a presentarse alzas en la demanda durante la hora de almuerzo (0.55 L/s), alcanzando los máximos valores de 2.3 L/s durante la franja horaria 1:30 p.m. a 2:30 p.m. Esto se puede explicar debido a que se hacen labores de limpieza principalmente en el comedor estudiantil, el cual tiene un fregadero doble, pero equipado con una grifo tradicional tipo llave exterior, lo que provoca que el consumo de agua sea mayor al requerido y las labores de limpieza de las instalaciones que se realizan de forma más exhaustiva en horas de la tarde, dado que ahora se limpian las aulas que van quedando desocupadas. Luego de las 3:00 p.m. la demanda disminuye sostenidamente hasta valores mínimos del orden de los 0.25 L/s. El día viernes por motivos de elecciones estudiantiles se adelantó la hora de salida y con esto las actividades ordinarias del centro educativo. Al final de la tarde es usual que el guarda riegue los jardines del colegio, lo que se manifiesta en el repunte en la demanda (0.48 L/s) en la franja horaria de las 5:00 p.m.

En términos generales se puede indicar que los momentos de máxima demanda se reportan en una franja horaria las 12:00 m.d. y las 3:00 p.m. situación que se explica por las labores de limpieza tanto de aulas, pabellones y el comedor estudiantil. Esto por cuanto estas actividades se utilizan los aparatos sanitarios que demandan una mayor intensidad de gasto durante el tiempo de su uso.

Edificio de apartamentos

Para el día de medición se nota como a partir de las 7:00 a.m. empieza a darse un aumento en la demanda (1L/s) hasta las 9:00 a.m. cuando la demanda decrece (0.7 L/s) hasta las 10:30 a.m. Esta situación se vuelve repetitiva en comparación con las instalaciones previamente estudiadas, a pesar del diferente uso de las mismas. En este caso específico, se pueda deber a que durante la mañana, las personas se levantan

y realizan acciones de aseo personal y preparación de desayuno. Es común que una vez realizadas estas acciones, haya un impasse de descanso de las personas, para luego retomar las actividades propias del almuerzo.

Luego, la demanda vuelve a crecer en la franja meridiana entre las 11:00 a.m. y 2:00 p.m. aproximadamente, esto refleja el gasto producto de las acciones de elaboración del almuerzo y actividades conexas, como lo es el posterior aseo de cocina, lavado de platos y acciones de aseo personal. Se alcanza una valor pico de 1.15 L/s)

Durante la tarde decrece la demanda aunque se registraron valores de consumo superiores con respecto a los valores de la mañana, incluso a en la franja horaria de las 3:00 p.m. se reporta un pico (1.1 L/s). Según lo consultado es probable que en horas de la tarde en algunos condominios se presente labores de lavado de ropa, lo que repercute en la demanda de agua potable.

Durante la noche su vuelve a registrar una disminución (0.8 L/s) en la demanda de agua entra las 6:00 p.m y las 9:00 p.m. Situación generada probablemente por cambios en los hábitos, dado que es presumible que durante la noche no haya preparación formal de alimentos, y las personas ya entren en un periodo de reposo con el cual, las actividades disminuyen.

En términos generales los variación horaria de la demanda indicó un uso intensivo en la franja meridiana, en la tarde la demanda es mayor que durante la mañana y por la noche la demanda vuelve a bajar, situaciones que resultan lógicas, por el uso residencial de la edificación y coincide con los supuestos de Nañez et al., (2012).

Casa de habitación

Para el caso de la medición, durante las primeras horas de la mañana es que se registran demandas pico en la franja horaria de las 6:0 a.m. donde se presume que se realizan actividades de aseo personal. Esto demuestra la marcada tendencia en la familia a iniciar funciones desde tempranas horas del día (5:00 a.m.), situación que puede explicarse por la edad de los habitantes de la vivienda que ronda el promedio de los 55

años de edad, lo que implica que tengan la costumbre de levantarse con temprano en la mañana incluso los días domingos. Entre las 7:00 a.m. y 9:00 a.m. la demanda decrece a sus valores mínimos (0.025 L/s)

Luego volver a presentar una alza en la demanda entre las 10:00 a.m. y 3:00 p.m. con valores picos de 0.05 L/s. Esta situación se puede deberse a que ese día hubo reunión familiar. Los hijos que no viven en la casa llegaron con sus familias para compartir el almuerzo, lo que pudo generar un incremento en la demanda.

Entre las 3:00 p.m. y las 7:00 p.m. se reporta una disminución de la demanda, sin embargo, es mayor (0.035 L/s) a la reportada durante la mañana dato que se podría explicar por la presencia de las visitas en la vivienda. En la franja horaria se reporta un aumento en la demanda (0.04 L/s), lo que pueda estar relacionado con la preparación de algún tipo de alimento.

Llama la atención que durante 7:00 p.m. y 9:00 p.m. se reporta una demanda similar a

la de horas de la tarde la cual ronda los 0.035 L/s.

En términos generales en esta edificación se denota una tendencia marcada a iniciar las actividades humanas en horas tempranas de la mañana y presentar un descenso de la demanda a media mañana, para volver a subir durante la franja meridiana, y presentar nuevamente un descenso en horas de la tarde y continuar en la noche con valores bajos de demanda.

Los caudales máximos probables tienen duraciones relativamente cortas que oscilan entre los 4 y 7 minutos, en todos los casos se dio una medición del valor punta seguidos por una serie de mediciones cercanas (no difieren en más del 20%) a los valores pico. Esto hace presumir que los caudales pico son eventos que suceden durante un relativo corto tiempo. La literatura es escasa en este tema, por lo que no se pudo contrastar estos valores.

Conclusiones

Considerando los resultados de la investigación realizada, se infieren las siguientes conclusiones. Considerando el carácter exploratorio del estudio, así como la condición que estas presunciones son aplicables solo para los casos específicos analizados en este trabajo.

- Los aparatos sanitarios actualmente en el mercado, difieren en los valores del gasto en litros/segundo, con respecto a los valores normados en las metodologías teóricas para el cálculo del máximo caudal probable en edificaciones, con porcentajes de error que van de 30% a 75% en promedio.
- Es notorio el avance tecnológico de los aparatos sanitarios como grifos de lavatorios, duchas, bañeras, fregaderos, inodoros y mingitorios principalmente, los cuales se fabrican con diseños de bajo consumo que permite un ahorro promedio aproximado de hasta 43.2% en el consumo de agua potable. Las llaves de riego mantienen su diseño tradicional e incluso para efectos de este estudio se aforan valores en promedio 30% superiores a los reportados en la literatura.
- Los métodos de la Norma Francesa y Hunter Colombia son los que generaron valores más cercanos a los valores aforados con porcentajes de error del 6.9% y 5.5% en el caso de Hunter Colombia para el edificio de oficinas y edificio de apartamentos respectivamente y 5.9% y 15.5% para la casa de habitación y edificio de oficinas reportado por el método de la norma Francesa.
- El método de la Norma francesa cálculo con menor porcentaje de error las edificaciones con los caudales máximos de menor magnitud, los cuales son el edificio de oficinas con un valor 20.7% mayor al valor aforado (1.1 L/s) y la casa de habitación con valor 5.6% menor que el medido en campo (0.8L/s).
- El método de Hunter Colombia calculó satisfactoriamente el caudal máximo probable en las edificaciones que reportan caudales altos para los efectos de esta investigación, como lo son el centro educativo con un valor de caudal 1% menor al medido en campo (2.6 L/s) y el edificio de apartamentos con valor 5.8% mayor al aforado (2.7L/s). Esto debido a que los métodos probabilísticos por su modelo matemático, son más efectivos para caracterizar la probabilidad de uso simultáneo de aparatos sanitarios; cuando mayor sea la cantidad de éstos.
- Entre los métodos que generan valores altos de caudal, el caso más crítico es el del CIHSE, en cuyos casos siempre genera valores que superan para efectos de este estudio entre 222% y un 569% el valor aforado de campo, para cada edificación.
- El método Racional Español, genera valores por debajo del caudal aforado, para todos los casos de estudio. Es presumible que esto se deba a la aplicación del coeficiente de simultaneidad k , el cual carece de sustentación teórica y no se fija un límite mínimo a su valor.
- Los métodos Británico, método de Factor de Simultaneidad del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CIHSE), así como el método de Hunter, generan valores cuyas magnitudes superan entre un 21.69% y 81.42% del valor aforado. Esto es probable que suceda debido a los altos valores de gastos (sobre

estimaciones promedio del 43.2%) de aparatos sanitarios que definen estos métodos, además son métodos desarrollados hace más de 70 años.

- El uso de los métodos teóricos normados en el respectivo Código de nuestro país, muy probablemente resulte en instalaciones diseñadas, para caudales hasta 5 veces mayores a los máximos probables. Lo que aumenta el costo de la instalación potable y produce un mayor consumo.
- El método de Hunter Colombia, tiene una base teórica cimentada en la teoría de las probabilidades que lo hace más fiable y esta versión colombiana actualizada del método de Hunter, se adapta más favorablemente a las condiciones actuales en cuanto al tipo de aparatos sanitarios actuales.
- Es válido plantear que posiblemente el método de Hunter Colombia es el método teórico que mejor responde a la predicción de los caudales máximos probables en edificaciones con caudales mínimos de 2L/s.
- En lo que respecta a la variación horaria de la demanda, analizando el comportamiento general de las 4 edificaciones, es notorio que las máximas demandas se dan en una franja horaria de 10:00 a.m. a 2:00p.m. Para el caso de los edificios de oficinas, que cuenta con aulas especializadas y el centro educativo se da máxima demanda también entre 8:00 a.m. a 9:00 a.m. En el caso de la casa de habitación y el edificio de apartamentos se reportan demandas máxima también en horas de la tarde entre 3:00 p.m. y 6:00 p.m. Se constató que los valores pico de demanda se dan en momentos de mayor ocupación de las instalaciones y horas en las que las actividades principalmente de ingesta de alimentos y actividades relacionadas a limpieza de los inmuebles.
- La duración de los caudales picos se da en intervalos entre los 4 y 7 minutos. La ocurrencia de caudales pico se pueda dar varias veces en diferentes momentos.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados de este trabajo se considera pertinente plantear seriamente el análisis sobre la eventual necesidad de hacer revisiones a las fórmulas de diseño indicadas en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, a efectos que se evalúe actualizar tanto la metodología de cálculo, como los valores de gasto de los aparatos sanitarios. El área de los diseños de infraestructuras que haga manejo de recursos naturales y principalmente el agua, debe tener normas de diseño consecuentes, que fomenten el diseño de redes de distribución optimizadas que permitan un racional uso del agua potable.

Es de suma importancia para el desarrollo tecnológico del país, dedicar investigación científica a este campo de estudio, que permita ahondar en el conocimiento sobre los requerimientos, de los sistemas de distribución de agua potable. De forma que se tenga mayor información científica sobre la necesidad de real de revisar las normas de diseño que actualmente se usan en el país. Este estudio es exploratorio, por tanto requiere darle validez estadística a todos los datos sugeridos, sin embargo constituye una base para cimentar las investigaciones futuras que permitan la recopilación de suficiente información para obtener resultados de carácter más general con respecto a los máximos caudales probables y a la variación horaria de la demanda. Con el inminente advenimiento de los modelos estocásticos como metodología para el diseño de redes internas de agua potable, se hace cada vez más imperativo, contar con información fiable y científicamente sustentada, sobre la variación horaria de la demanda que genera el estilo de vida de la sociedad actual.

Apéndices

APENDICE 1. Formatos de campo

APENDICE 2. Planta mecánica y dibujos isométricos de las instalaciones potables

APENDICE 3. Disco compacto con hojas de cálculo de los métodos de teóricos

Anexos

ANEXO 1. Certificado de calibración del ultrasónico.

Bibliografía

Castro, N., Garzón, J. E., et al. (2006). "Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos, en edificaciones de diferente tipo." In: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil

Castro, N., Garzón, J. E., et al. (2006). "Adaptación del método de Hunter para las condiciones locales de Colombia." In: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil.

Granados, J.A., Saavedra, E.A., et al (2006). "Optimización del diseño de redes hidráulicas en edificaciones." In: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil.

Granados, J.A., Saavedra, E.A., et al (2006). "Experimentación y análisis de redes hidráulicas en edificaciones." In: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil.

Alcocer, V.H., Tzatchkov, V. 2011. "Estimación de parámetros del consumo instantáneo de agua potable de lecturas acumuladas". RIIT, Vol. X. Num. 3. No 897-912.

Aksela, K., Aksela, M. 2008. "Demand estimation with automated meter reading in a distribution network". American Society of Civil Engineers.

Pancorbo, F.J. 2011. "Coeficiente de simultaneidad en las instalaciones de agua en las edificaciones".

Blokker, J.M., Pieterse-Quirijns, E.J., et al 2011. "Simulating nonresidential water demand with a stochastic end-use model". American Society of Civil Engineers.

Náñez, P., Ossa, J., et al. (2012). "Modelo estocástico de demanda en edificaciones, estructura, recolección y procesamiento de datos." In: XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, SEREA, San José, Costa Rica.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2010). "Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones" Costa Rica Editorial Tecnologica No 50-51, 146-147.