

# Cálculo de unidades de consumo a través de caudales máximos instantáneos medidos en cuatro zonas de servicio de la ciudad de Bogotá D.C.

## Calculation of consumption units through instantaneous maximum flows measured in four service areas of the city of Bogotá C.D.

---

Diego Caballero Rojas<sup>1</sup>, José Miguel Aldana Arévalo<sup>2</sup>, Eduardo Zamudio Huertas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [dcaballeror@correo.udistrital.edu.co](mailto:dcaballeror@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [jmaldanaa@correo.udistrital.edu.co](mailto:jmaldanaa@correo.udistrital.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [ezamudioh@udistrital.edu.co](mailto:ezamudioh@udistrital.edu.co)

DOI: <http://doi.org/...>

Fecha de recepción: 29/07/2017

Fecha de aceptación del artículo: 09/11/2017

---

### Cómo citar:

Caballero Rojas, D., Aldana Arévalo, J. M., Zamudio Huertas, E., (2017). Cálculo de unidades de consumo a través de caudales máximos instantáneos medidos en cuatro zonas de servicio de la ciudad de Bogotá D.C., Bogotá, 14(1), 123-132. DOI: [org/xx/xxxxx/reds.xxxx](http://org/xx/xxxxx/reds.xxxx).

### Resumen

En este artículo, se usaron las mediciones de caudales máximos instantáneos, ejecutadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP, en diferentes zonas de la ciudad de Bogotá D.C, para compararlos con la norma NTC 1500, con el fin de validar y ajustar, el uso de la unidad de consumo propuesta por Hunter y adoptada por dicha norma. Las mediciones hechas por la EAAB-ESP, fueron detalladas y consideraron múltiples aspectos como: número de habitantes y puntos hidráulicos, tipo de vivienda, patrones de consumo, frecuencia y uso de aparatos sanitarios según el tipo de unidad habitacional. Los cálculos de la unidad de consumo a partir de los registros de caudales máximos en casas y apartamentos de las diferentes zonas de Bogotá D.C, mostraron que son menores al valor de la unidad de consumo usada por la norma, por lo anterior, se propone una metodología de corrección para dichas unidades habitacionales.

**Palabras claves:** Caudal máximo, Unidades de Consumo, Consumo.

### Abstract

In this article, we used the maximum instantaneous flow measurements, executed by the Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP in different zones of the city of Bogota DC, to compare them with the norm NTC 1500, in order to validate and adjust, the use of the

unit of consumption proposed by Hunter and adopted by said norm. The measurements made by the EAAB-ESP were detailed and considered multiple aspects such as: number of inhabitants and hydraulic points, type of housing, patterns of consumption, frequency and use of sanitary appliances according to the type of housing unit. The calculations of the unit of consumption from the records of maximum flows in houses and apartments of the different zones of Bogota DC, showed that they are smaller than the value of the unit of consumption used by the norm, therefore, a Correction methodology for these housing units.

**Keywords:** Maximum flow, Consumption Units, Consumption.

## 1. Introducción

Un diseño hidráulico eficiente en edificaciones, inicia con la estimación de los caudales máximos que serán consumidos o descargados, dicha estimación, tiene gran incertidumbre, debido a: hábitos de consumo, ubicación geográfica, uso y frecuencia de aparatos sanitarios, entre otros. Las mediciones directas en el sistema de abastecimiento de las unidades habitacionales, permiten establecer con menor incertidumbre los caudales que circulan en la red de agua potable y descargados en la red sanitaria. Actualmente en Colombia los diseños de redes hidrosanitarias en edificaciones, se rigen bajo las especificaciones técnicas de la norma NTC 1500, que se fundamenta, en la metodología propuesta por Roy Hunter en la publicación "Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems" en 1940; este método se basa en la probabilidad que uno o más aparatos sanitarios funcionen simultáneamente, permitiendo calcular caudales de diseño a través de las unidades de consumo designadas para cada aparato sanitario[2].

El presente artículo tiene como objetivos:

- Determinar y comparar los caudales de consumo medidos para la ciudad de Bogotá D.C, con los que se pueden obtener a partir de la normatividad vigente.

- Evaluar si existe sobre dimensionamiento (+) o sub dimensionamiento (-) en las tuberías que componen las redes hidrosanitarias.
- Obtener a partir del análisis de los datos disponibles, metodologías para corrección y obtención de caudales de diseño eficientes y aplicables para la ciudad de Bogotá D.C.
- Determinar la equivalencia de una unidad de consumo para la ciudad de Bogotá D.C., según uso residencial.

Para la ciudad de Bogotá en el año 2011, la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá E.A.A.B-ESP, realizó un estudio, para establecer una aproximación en los hábitos de consumo de los habitantes en diferentes zonas de servicio de la ciudad, para ello, realizaron encuestas que permitieron establecer las diferentes variables externas como: número de habitantes, estrato socioeconómico, hábitos de consumo, entre otros, que influyen, en el medición de los caudales máximos. Luego, se midió los caudales máximos, en cinco zonas de Bogotá delimitadas por la empresa, según localidades, ver tabla 1; las mediciones se realizaron con micromedidores con errores instrumentales pequeños (dos por ciento), disminuyendo la incertidumbre, lo que permite el uso de registros confiables, en las estimaciones, cálculos y conclusiones de este artículo.

El uso de un caudal de diseño que se ajuste a las condiciones reales de consumo, permite lograr un diseño adecuado, evitando sobrecostos y generando un correcto funcionamiento de las redes hidrosanitarias.

## 2. Antecedentes

Las investigaciones realizadas respecto al análisis de consumo en redes hidrosanitarias en la ciudad de Bogotá D.C, presentan distintas metodologías y ámbitos de comparación, tales como los presentados por Nelson Castro, Jorge Garzón y Rafael Ortiz en el año 2006 en su artículo llamado: Adaptación del método Hunter para las condiciones locales en Colombia, en el cual establecen un modelo de Hunter para Colombia, concluyendo que es necesario disponer de un número mayor de aforos para lograr obtener caudales de diseño dependiendo de las condiciones locales, y Diana Bastidas en su tesis de grado del año 2009 titulada: caracterización y estimación de consumo de agua de usuarios residenciales caso estudio Bogotá, en la cual caracterizo el consumo de aguas residenciales basado en datos estadísticos, estableciendo patrones de consumo, permitiendo generar una aproximación a las unidades de consumo para la ciudad de Bogotá.

Basados en los antecedentes obtenidos de la revisión de la literatura, y las conclusiones que obtuvieron los autores, se establece la siguiente metodología para el desarrollo de la presente investigación.

## 3. Metodología

A partir del informe de las mediciones realizadas por la E.A.A.B-ESP, se estructuró la siguiente metodología: Se seleccionó la información relevante para la estimación

de la unidad de consumo medida, luego se realizó un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos medidos con el fin de identificar los valores extremos máximos y mínimos que puedan afectar la estimación de los caudales promedios de la redes hidrosanitarias medidas, después, se compararon los caudales instantáneos promedios medidos con los caudales de diseño obtenidos de las unidades de consumo según el método de Hunter modificado de la norma NTC 1500 y se discriminaron según el uso habitacional y la ubicación geográfica en la ciudad (zonas), finalmente se establecieron comportamientos de consumo para los aparatos sanitarios en las unidades habitacionales (casa y apartamento) con el fin de estimar la unidad de consumo promedio medida en la ciudad.

### 3.1 Aspectos técnicos y relevantes de los medidores Utilizados.

Para llevar a cabo la medición de los consumos, se utilizaron 320 medidores electrónicos patrón. Estos medidores utilizan el principio de velocidad y chorro único, donde el agua penetra en la cámara de medida a través de la boquilla, produciendo un movimiento de la turbina por empuje. El movimiento se detecta a través de un sistema de sensores registrando el volumen totalizado en la esfera del medidor, en la Figura 1 se muestra el medidor usado.



**Figura # 1.** Medidor electrónico patrón. [3]

### 3.2 Tamaño muestral y ubicación del estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Bogotá, ubicada en el departamento de Cundinamarca. Las mediciones fueron efectuadas en cinco zonas de servicio, que abastecen diferentes localidades de la ciudad como se relaciona en la Tabla 1.

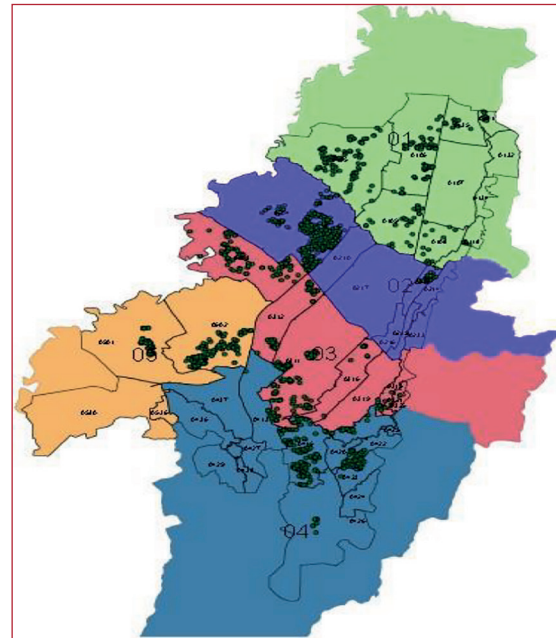
**Tabla # 1.** Localidades por zonas según la E.A.A.B.

Zona	Localidades
1	Suba y Usaquén.
2	Engativá, Chapinero, Teusaquillo y Barrios Unidos.
3	Santafé, San Cristóbal, Tunjuelito, Fontibón, Antonio Nariño, Puente Aranda, Rafael Uribe Uribe, Mártires, Antonio Nariño y La Candelaria.
4	San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Kennedy, Puente Aranda, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar.
5	Kennedy, Bosa y Soacha.

La E.A.A.B determinó que el número mínimo de usuarios por estrato socioeconómico fuera 10, con el fin de obtener una muestra confiable, en la Tabla 2 se relaciona el número de usuarios por zonas de servicio y en la Figura 2 se muestra la ubicación de las mediciones realizadas en la ciudad.

**Tabla # 2.** Instalaciones efectuadas. [3]

Estrato	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	Total
1	10	11	94	9	124
2	39	39	178	190	446
3	167	181	30	86	464
4	68	66		12	146
5	9				9
6	12				12
Σ	305	297	302	297	1201



**Figura # 2.** Ubicación de las instalaciones. [3]

### 3.3 Datos obtenidos y caudales máximos por zonas.

Para caracterizar los caudales máximos instantáneos, que son los caudales de diseño, fue necesario identificar las variables relevantes de cada unidad habitacional como: número de habitantes y número de puntos hidráulicos asignando las siguientes abreviaturas para los aparatos sanitarios LVM – Lavamanos, WC – Sanitario, DCH – Ducha, LVD – Lavadero, LVDA - Lavadora.

Las mediciones en las zonas de servicio se efectuaron las 24 horas de cada día, y se establecieron lapsos de tiempo horarios, para las mediciones, con el fin de obtener intervalos tiempos adecuados para el almacenamiento de la información. En la Tabla 3 se muestran, los intervalos horarios, usados en los lapsos de tiempo del día.

**Tabla # 3.** Intervalos de tiempo horarios. [1]

Lapsos de Tiempo	Intervalo	# horas
1	24:00p.m - 4:00 a.m.	4
2	4:00a.m - 9:00 a.m.	5
3	9:00a.m - 10:30 a.m.	1,5
4	10:30a.m - 12:00 a.m.	1,5
5	12:00m - 18:00 p.m.	6
6	18:00m - 24:00 p.m.	6

Los medidores registraron los caudales máximos y mínimos instantáneos para cada estrato socioeconómico en (l/s), los resultados obtenidos por zona de servicio se relacionan en la Tabla 4.

**Tabla # 4.** Caudales instantáneos.

Zona	Caudal instantáneo máximo (l/s)	Caudal instantáneo mínimo (l/s)	Caudal Máximo instantáneo Promedio probable (l/s)
2	1,82	0,12	0,47
3	1,82	0,02	0,5
4	1,82	0,02	0,5
5	1,82	0,03	0,4

El caudal de diseño se calculó promediando los valores máximos y mínimos registrados en cada zona de servicio, los resultados se muestran en la cuarta columna de la Tabla 4.

## 4. Comparación con el Método Establecido Para Colombia (Bogotá)

Para tener un punto de comparación, es necesario definir el concepto de unidad de consumo, que es el gasto normal o promedio demandado por un lavamanos en condiciones normales de funciona-

miento [1], con referencia a esta unidad de consumo, se establece una equivalencia para cada aparato sanitario en número de unidades. Este concepto es usado por la norma NTC 1500 [2].

De acuerdo con lo anterior, se estableció una equivalencia, a los caudales promedios medidos (asumidos como caudales de diseño), en unidades de consumo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

**Tabla # 5.** Unidades de consumo medidas

Zona	Caudal Máximo instantáneo Promedio medido (l/s)	UC equivalentes según NTC 1500
2	0,47	7,62
3	0,50	8,34
4	0,50	8,34
5	0,40	6,03

A partir de la información obtenida del estudio realizado por la EAAB, respecto a las unidades de consumo por zona y dependiendo de la unidad habitacional, se calculó los caudales de consumo según la NTC 1500 para cada zona de servicio y se compararon con los caudales equivalentes medidos, luego se determinó la diferencia por exceso o defecto, para evaluar si existe sobre dimensionamiento (+) o sub dimensionamiento (-), los resultados obtenidos para cada zona de servicio se relacionan en las Tablas 6 a 13.

### Zona 2

**Tabla # 6.** Caudales de diseño NTC 1500 vs Caudales medidos

Zona 2		NTC 1500	Q Medido	
	TOTAL	Q (l/s)	Q (l/s)	$\Delta$ l/s
Casas	12	0,64197309	0,47	0,17
Aptos	9	0,52677049	0,47	0,06

**Tabla # 7.** Unidades de consumo NTC 1500 vs medidas

Zona 2	NTC 1500	Q Medido	Δ UC
	UC	UC	
Casas	12	8	4
Aptos	9	9	0

**Zona 3**

**Tabla # 8.** Caudales de diseño NTC 1500 vs Caudales medidos

Zona 3		NTC 1500	Q Medido	Δ l/s
	TOTAL	Q (l/s)	Q (l/s)	
Casas	12	0,64197309	0,5	0,14
Aptos	10	0,56634323	0,5	0,07

**Tabla # 9.** Unidades de consumo NTC 1500 vs medidas

Zona 3	NTC 1500	Q Medido	Δ UC
	UC	UC	
Casas	12	9	3
Aptos	10	9	1

**Zona 4**

**Tabla # 10.** Caudales de diseño NTC 1500 vs Caudales medidos

Zona 4		NTC 1500	Q Medido	Δ l/s
	TOTAL	Q (l/s)	Q (l/s)	
Casas	11	0,60469613	0,50	0,10
Aptos	7	0,44318456	0,50	-0,06

**Tabla # 11.** Unidades de consumo NTC 1500 vs medidas

Zona 4	NTC 1500	Q Medido	Δ UC
	UC	UC	
Casas	11	9	2
Aptos	7	9	-2

**Zona 5**

**Tabla # 12.** Caudales de diseño NTC 1500 vs medidas

Zona 5		NTC 1500	Q Medido	Δ l/s
	TOTAL	Q (l/s)	Q (l/s)	
Casas	12	0,64197309	0,40	0,24
Aptos	10	0,56634323	0,40	0,17

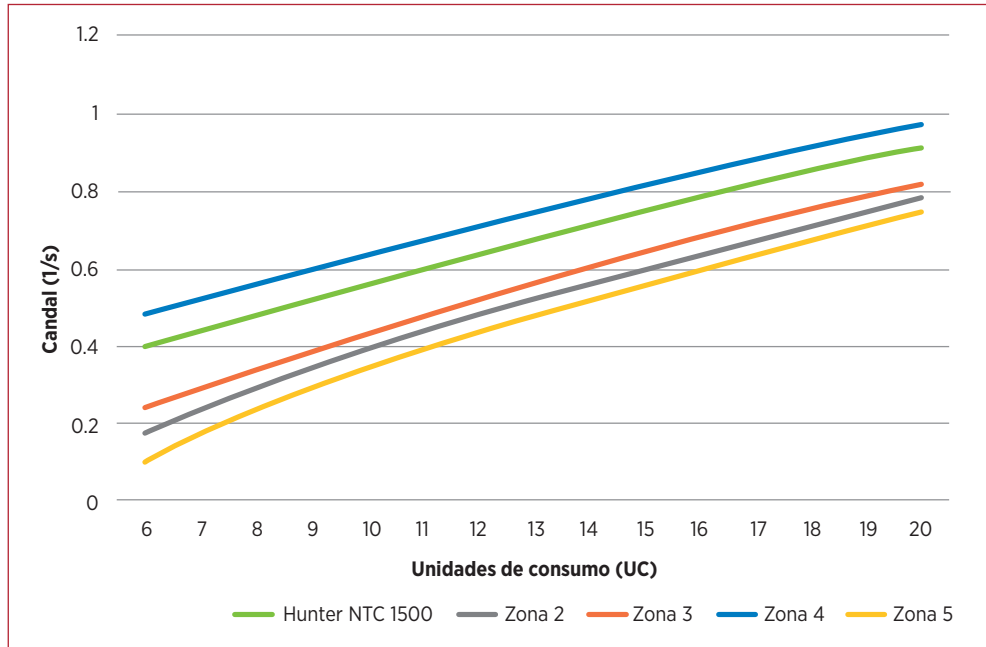
**Tabla # 13.** Unidades de consumo NTC 1500 vs medidas

Zona 5	NTC 1500	Q Medido	Δ UC
	UC	UC	
Casas	12	7	5
Aptos	10	7	3

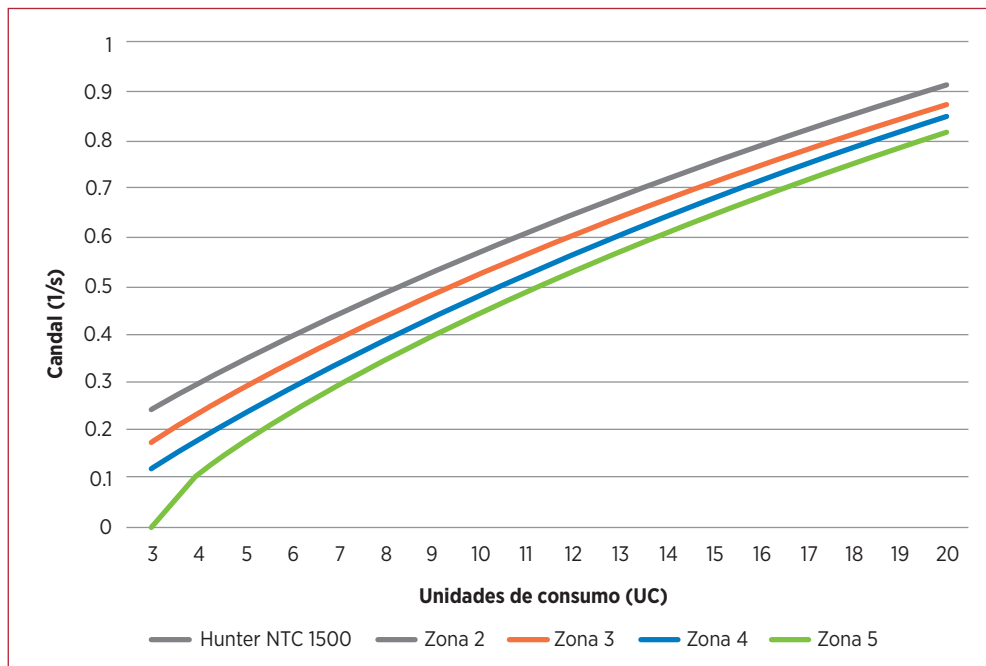
Al observar los resultados obtenidos, por zonas de servicio, se puede inferir, que existe diferencia entre las unidades habitacionales casas y apartamentos, por lo tanto, se realizó el análisis para cada una.

El análisis consistió, en comparar las unidades habitacionales (casas y apartamentos), por zonas de servicio, con la NTC 1500. El criterio de comparación fue, las unidades de consumo y el caudal de máximo instantáneo promedio medido, contra la unidad de consumo teórica Hunter de la norma [2]. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 3 y 4.



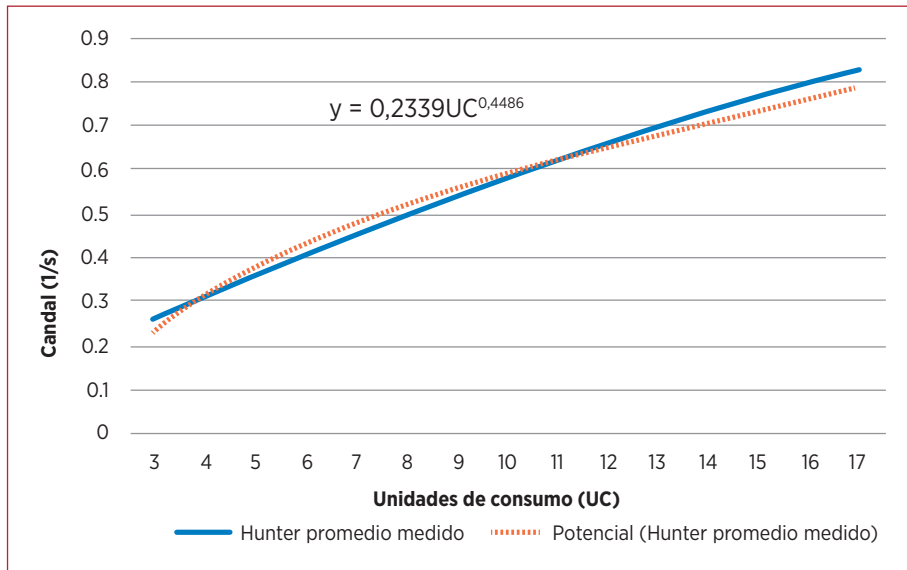


**Figura # 3.** Unidades de Consumo vs Caudales de diseño medidos en casas

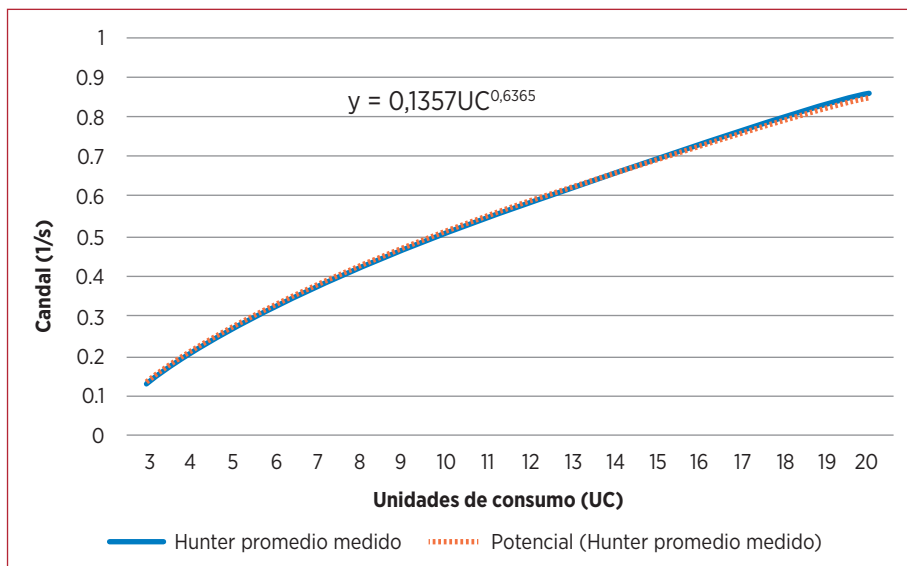


**Figura # 4.** Unidades de Consumo vs Caudales de diseño medidos en apartamentos

A partir de las anteriores gráficas, se obtuvo una curva envolvente promedio, para cada unidad habitacional, a partir de los datos medidos en las zonas de servicio, que reflejan el patrón de comportamiento promedio de consumo de los aparatos sanitarios, en casas y apartamentos, respectivamente (ver Figuras 5 y 6).



**Figura # 5.** Grafica Promedio Unidades de Consumo vs Caudales de diseño medidos de datos medidos en zonas para casas



**Figura # 6.** Grafica Promedio Unidades de Consumo vs Caudales de diseño medidos de datos medidos en zonas para apartamentos



Finalmente se estableció una relación funcional potencial, usando el método de mínimos cuadrados a las curvas envolventes [9], que permiten estimar los valores de caudal a partir de las unidades de consumo para casas y apartamentos, las relaciones funcionales obtenidas para las casas y apartamentos se muestran en las ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$Q=0.2339(UC)^{0.4486} \quad (1)$$

$$Q=0.1357(UC)^{0.6365} \quad (2)$$

## Discusión y Conclusiones

Como se mencionó anteriormente, los caudales calculados empleando el método para Colombia (NTC 1500), son superiores a los medidos en cada una de las cuatro zonas de servicio de la ciudad de Bogotá D.C., obteniendo, para el caso de casas un  $\Delta Q$  promedio de 0,1625 l/s, mientras que, para los apartamentos, se estimó  $\Delta Q$  promedio de 0,052 l/s.

Los resultados anteriores indican, que el método de diseño utilizado en Colombia es adecuado para el caso de apartamentos, y se aleja para el caso de las casas con un error del 26%.

Sin embargo, a pesar de que, los datos medidos de caudales instantáneos en los apartamentos se ajusta a la norma, los errores máximos (10%) superan la unidad de consumo teórica (0,33 l/s), por lo anterior, los autores proponen dos metodologías de corrección para los caudales de diseño, que se explicaran

más adelante, con el fin de lograr diseños hidrosanitarios más eficientes.

Es importante mencionar, que el presente estudio, es únicamente para los consumos de los aparatos sanitarios de la ciudad de Bogotá y es netamente residencial (casas y apartamentos) ya que el caudal máximo instantáneo varía debido a la cultura, costumbres, tipo de uso y ubicación geográfica del sitio de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con base en los datos medidos, se determinó la equivalencia de una unidad de consumo para la ciudad de Bogotá D.C., para cada unidad habitacional de uso residencial, y se obtuvo que para casas es de 0.233 l/s y para apartamentos de 0.135 l/s, lo anterior, permite inferir que, existe una diferencia con el valor de la NTC 1500 que corresponde a 0,33 l/s (definido como el consumo promedio de un lavamanos de dos grifos de tipo privado)[4], lo que podría generar un sobre dimensionamiento en el diseño de las redes hidrosanitarias. Por lo anterior los autores recomiendan los siguientes métodos de corrección:

### Método 1

Incluir un factor de corrección  $\Delta UC$ , para cada zona de servicio en la ecuación de la NTC 1500, al momento de realizar el cálculo del caudal de diseño, dependiendo del tipo de unidad habitacional (casa o apartamento), la expresión matemática sugerida se muestra en la ec. 3:

$$Q=0.1163(UC - \Delta UC)^{0.6875} \quad (3)$$

Los valores del factor de corrección según la zona de servicio y la unidad habitacional se relacionan en la Tabla 14.

**Tabla # 14.** Corrección de Unidades de Consumo para cada zona.

<b>ZONA 2</b>	<b><math>\Delta UC</math></b>
Casas	-4
Aptos	0
<b>ZONA 3</b>	<b><math>\Delta UC</math></b>
Casas	-3
Aptos	-1
<b>ZONA 4</b>	<b><math>\Delta UC</math></b>
Casas	+2
Aptos	-2
<b>ZONA 5</b>	<b><math>\Delta UC</math></b>
Casas	-5
Aptos	-3

## Método 2

Usar las ecuaciones de las curvas envolventes promedios de cada unidad habitacional, para el cálculo del caudal de diseño, para casas la ec. 4 y para apartamentos ec. 5, que se relacionan a continuación:

$$Q=0.2339(UC)^{0.4486} \quad (4)$$

$$Q=0.1357(UC)^{0.6365} \quad (5)$$

## Agradecimientos

Agradecemos a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y en especial al ingeniero Alberto Groot Saenz director del Departamento de ingeniería especializada por brindarnos la información del estudio sobre los patrones de consumo para la ciudad de Bogotá.

De igual manera al ingeniero Daniel Rodríguez, profesional especializado área hidráulica, Departamento de ingeniería especializada de la E.A.A.B y a la ingenie-

ra Diana Cristina Bastidas Delgado, por apoyarnos en el proceso de obtención de datos para realizar el presente artículo.

## Referencias

- [1] Rodríguez, H. A. (2009) Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Escuela colombiana de ingeniería, Bogotá.
- [2] INCONTEC. (2004) Código Colombiano de fontanería NTC 1500, segunda actualización. INCONTEC, Bogotá.
- [3] EAAB. (2011) Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá. EAAB, Bogotá.
- [4] Pérez Carmona, R. (2010) Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones, sexta edición. ECOE, Bogotá.
- [5] Castro, L., Garzón, J., Ortiz, M., (2006). Adaptación del método Hunter para las condiciones locales en Colombia. VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), Bogotá.
- [6] Granados, J. (2002) Redes Hidráulicas y Sanitarias en Edificios. Unilibros, Bogotá.
- [7] Bastidas, D. (2009). Caracterización y estimación de consumo de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá. Universidad de los Andes. Bogotá.
- [8] Noda, B. (2005) Introducción al análisis gráfico de datos experimentales, tercera edición. UNAM (Facultad de ciencias), México.
- [9] Walpole, R., Myers, R., Myers, S., Ye, K. (2012) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Pearson, México.