



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

EVALUACIÓN PATRONES DE CONSUMO Y CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS DE USUARIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Trabajo Final de Maestría

Ing. Alex Javier Garzón Orduña

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos
Bogotá, Colombia
2014

EVALUACIÓN PATRONES DE CONSUMO Y CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS DE USUARIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Ing. Alex Javier Garzón Orduña.

Trabajo Final de Maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Recursos Hidráulicos

Director:

Ing. Civil. Msc. Rafael Orlando Ortiz Mosquera

Línea de Investigación:

Hidráulica Aplicada - Regulación de usos del agua

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos "GIREH"

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Bogotá, Colombia

2014

Dedicatoria

A mi Madre, quien aun cuando muchas veces no sabía yo que hacía o de que le hablaba, fue firme en el camino de inculcarme el amor por el estudio y el interés por avanzar cada día un poco más, y me apoyó en todo momento y dificultad.

A mi Esposa por sus múltiples sacrificios, paciencia y apoyo incondicional cuando dejamos de lado tiempo en pareja para dedicarnos a las labores de la academia.

A Dios que siempre ha estado delante de mí para guiar e iluminar mi camino.

El peligro radica en que nuestro poder para dañar o destruir el medio ambiente, o al prójimo, aumenta a mucha mayor velocidad que nuestra sabiduría en el uso de ese poder.

Stephen William Hawking

Agradecimientos

A mi Director de proyecto de grado, Ing. Rafael Ortiz, quien me apoyó y orientó en la selección del mejor tema de grado acorde a mis intereses y gustos personales, y me enseñó con el ejemplo la pasión por el conocimiento y la aplicación práctica, así como su importancia cuando al misma impacta en la sociedad.

A la Dirección de Ingeniería Especializada de la EAAB, y principalmente al Ing. Juan Carlos Penagos por su apoyo en la consecución de información de usuarios residenciales caracterizados en la ciudad de Bogotá, que permitió llevar a cabo el presente trabajo de grado.

A los directivos de la Empresa Contelac Ltda. (Dra. Mercedes Garzón, Ing. Jaime Quintero e Ing. Edgar Castro), en la cual trabajo, por su incondicional apoyo y tiempo brindado para poder adelantar mis estudios de maestría a la par con mis actividades profesionales.

Al Ing. Jairo Pedraza pues con su ejemplo y buenos consejos me mostró nuevos caminos académicos que me condujeron a desarrollar mis estudios de Maestría en la Universidad Nacional.

Al Ing. Carlos Cubillos pues día a día, durante todo mi paso por las aulas de la Universidad Nacional, me enseñó la importancia de siempre ir más allá de lo que los libros y los profesores pueden transmitir.

Al Ing. Carlos A. Duarte, pues puso ante mí el primer gran reto de la Maestría, enseñándome que aun cuando las cosas parezcan perdidas, el último camino para quien lucha y se esfuerza con todo su corazón es la resignación, y siempre estará primero la esperanza y creencia en uno mismo.

Resumen

Para toda empresa prestadora del servicio de abastecimiento y distribución de agua potable es de vital importancia conocer el modo en que los usuarios demandan el servicio, el caudal neto entregado, su distribución en el tiempo y el rango de caudales en los que se consume la mayor parte del volumen de agua entregado, que sirva de herramienta para la toma de decisiones en el tema de gestión integral y uso racional del agua. Igualmente, es muy importante poder contar con curvas características y curvas patrón de consumo reales para cada tipo de usuario, que permitan determinar los consumos netos reales diarios por tipo de uso y estratificación socioeconómica para cada habitante; así como la determinación en campo de los caudales máximos instantáneos reales de las edificaciones, y su comparación con los calculados mediante diferentes metodologías de estimación de caudales máximos probables, que son finalmente usados para el diseño y dimensionamiento de redes internas, y para la solicitud del servicio ante los prestadores.

En tal sentido, el presente trabajo se centra en estimar el consumo neto per cápita de agua en usuarios de tipo residencial de la ciudad de Bogotá, así como en la determinación de hábitos, características y patrones de consumo de la población, y finalmente en la comparación de caudales máximos reales transitados por la acometida de una vivienda, con los obtenidos por diferentes metodologías de cálculo a fin de determinar la idoneidad de las mismas para las condiciones propias de consumo de la ciudad de Bogotá, y la comparación de los resultados obtenidos con los recomendados en cada caso por las Normas que rigen dichos temas en el territorio Colombiano (RAS 2000 y NTC 1500).

Palabras clave: Gestión integral y uso racional del agua, patrones de consumo, consumo per cápita o neto real diario, caudal máximo probable, caudal máximo instantáneo real, hábitos y características de consumo.

Abstract

For any company providing the supply and distribution of drinking water is vital to know how users demand the service, the net flow rate delivered, their distribution in time and the flow rate associated with most of the delivered water volume. This information is considered as input for decision-process in the field of integrated management and rational use of water. It is also very important to have real characteristic and pattern consumption curves for each type of user, to determine the actual daily net consumption by type of use and socioeconomic stratification for each inhabitant; and field determination of real instantaneous peak flows of the buildings, besides their comparison with those calculated, using different methodologies for estimating probable maximum flows. These ones are ultimately used for design and sizing of internal networks, and for the service request to the providers.

In this sense, the present work focuses on estimating the net person consumption of water in residential users of Bogotá; determining habits, characteristics, and consumption patterns of the population; and finally, the comparison of actual peak flows routed through the system, and those obtained by different methods to obtain the suitability for the Bogotá conditions. These results are compared with those recommended by the Colombian (RAS 2000, NTC 1500).

Keywords: Integrated management and rational use of water, consumption patterns, actual daily net consumption per person, probable maximum flow, maximum actual instantaneous flow, habits and characteristic consumption.

Contenido

Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XX
Introducción	1
1. Marco Teórico	7
1.1 Caudales y Dotaciones de agua	8
1.1.1 Asignación del nivel de complejidad de una población	8
1.1.2 Dotación neta.....	9
1.1.3 Pérdidas técnicas	9
1.1.4 Dotación bruta	9
1.1.5 Factores de mayoración.....	10
1.1.6 Caudales de diseño.....	11
1.2 Curva característica o curva de variación horaria de consumos	12
1.3 Patrones de consumo	14
1.4 Caudales máximos instantáneos en edificaciones'	17
1.4.1 Caudal Máximo o Caudal Máximo Posible	18
1.4.2 Caudal Promedio.....	18
1.4.3 Caudal Máximo Probable (Qc).....	18
1.4.4 Caudal Máximo Instantáneo.....	18
1.4.5 Caudal de Consumo Diario (Dotación)	19
1.5 Métodos para el cálculo de los caudales máximos probables en edificaciones''	19
1.5.1 Métodos empíricos	20
1.5.2 Métodos semiempíricos	24
1.5.3 Métodos probabilísticos.....	31
1.6 Medición de caudal entregado a un usuario.....	41
1.6.1 Medidores de caudal'.....	42
1.6.2 Tipos de medidores de caudal	42
1.6.3 Clases metrológicas'.....	47
2. Descripción trabajos previos EAAB	51
2.1 Descripción equipo de medición	51
2.1.1 Datos técnicos del medidor Y290	52
2.1.2 Principio de funcionamiento	53
2.1.3 Visualizador	53

2.1.4	Información estadística – software gestión.....	54
2.2	Encuesta de usuarios.....	55
2.3	Descripción información disponible EAAB.	56
2.3.1	Información disponible Zona 2	58
2.3.2	Información disponible Zona 3	60
2.3.3	Información disponible Zona 4	62
2.3.4	Información disponible Zona 5	65
2.3.5	Resumen Información disponible Zonas 2 a 5	67
3.	Procesamiento y análisis de información disponible.....	71
3.1	Procesamiento y análisis Información de encuestas.	71
3.1.1	Análisis Información de encuestas (Zona 2 a 5).....	71
3.1.2	Resumen análisis Información de encuestas Zonas 2 a 5.....	88
3.2	Procesamiento y análisis Información de caudales.	90
3.2.1	Análisis Información de medición de caudales Zonas 2 a 5	91
3.2.2	Resumen análisis Información de medición de caudales Zonas 2 a 5	126
4.	Aplicación de los métodos para el cálculo del caudal máximo instantáneo....	131
4.1	Método Británico.	132
4.1.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	133
4.1.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	137
4.2	Método Alemán de la Raíz cuadrada.	137
4.2.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	138
4.2.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	142
4.3	Método del Factor de Simultaneidad.....	142
4.3.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	143
4.3.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	147
4.4	Método Racional o Español.	148
4.4.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	149
4.4.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	153
4.5	Método de la Norma Española UNE 149201.	153
4.5.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	155
4.5.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	159
4.6	Método de Hunter.	159

4.6.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	160
4.6.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	164
4.7	Método de Hunter modificado para Colombia (NTC 1500).....	165
4.7.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter para Colombia (NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	166
4.7.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter (NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	170
4.8	Método de Hunter Unal.....	171
4.8.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	172
4.8.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	176
4.9	Método del Reglamento RIDDA Chileno.....	177
4.9.1	Análisis caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	178
4.9.2	Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	182
4.10	Resultados de la aplicación de los métodos para el cálculo del caudal máximo instantáneo.....	182
5.	Conclusiones y recomendaciones	187
5.1	Conclusiones.....	187
5.2	Recomendaciones	199
Bibliografía		207

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Curva de consumo diaria típica.	12
Figura 1-2: Curva de consumo diurna típica.	15
Figura 1-3: Curva de caudal de diseño para edificios de viviendas según Norma UNE 149201-2008.	30
Figura 1-4: Curvas de caudal de diseño para diferentes tipos de edificaciones según Norma UNE 149201-2008.	30
Figura 1-5: Curva de caudales probables en función del número de aparatos instalados – Grafica de Hunter	34
Figura 1-6: Curva de Demanda de Hunter Modificada	35
Figura 1-7: Curva de Demanda de Hunter Modificada (Detalle zona de modificación).	35
Figura 1-8: Curva de caudal máximo probable Método de Hunter Unal (de 0 a 1000 unidades).	38
Figura 1-9: Curva de caudal máximo probable Método de Hunter Unal (de 0 a 10000 unidades)	38
Figura 1-10: Corte transversal de un medidor volumétrico de disco oscilante.....	43
Figura 1-11: Despiece de un medidor de chorro único.	45
Figura 1-12: Despiece de un medidor de chorro múltiple.	46
Figura 1-13: Principio de funcionamiento de un medidor de chorro único y múltiple... ..	47
Figura 1-14: Ejemplo curva de error de un medidor de agua y clases metrológicas. ...	50
Figura 1-15: Curva característica de un medidor de agua potable (Norma Sistec).	50
Figura 2-1: Medidor Aquabus Y290.....	51
Figura 2-2: Detalle medidor Aquabus Y290.	52
Figura 2-3: Sistema de funcionamiento turbina medidor Aquabus Y290.	53
Figura 2-4: Sistema de visualización de datos medidor Aquabus Y290.	53
Figura 2-5: Sistema de visualización de datos medidor Aquabus Y290.	54
Figura 2-6: Formato de encuestas, recopilación de datos de usuarios residenciales. ...	55
Figura 2-7: Localización de usuarios residenciales evaluados en las zonas 2 a 5....	57
Figura 2-8: % de Casas y Apartamentos Zona 2.....	59
Figura 2-9: % de población por estrato Zona 2.....	59
Figura 2-10: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 2.....	60
Figura 2-11: % de Casas y Apartamentos Zona 3.....	61
Figura 2-12: % de población por estrato Zona 3.....	61
Figura 2-13: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 3.....	62

Figura 2-14: % de Casas y Apartamentos Zona 4..... 63

Figura 2-15: % de población por estrato Zona 4..... 64

Figura 2-16: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 4..... 64

Figura 2-17: % de Casas y Apartamentos Zona 5..... 66

Figura 2-18: % de población por estrato Zona 5..... 66

Figura 2-19: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 5..... 66

Figura 2-20: % de Casas y Apartamentos Total de la muestra (Zonas 2 a5). 68

Figura 2-21: % de población por estrato para el Total de la muestra (Zonas 2 a 5)... 68

Figura 2-22: Número de Casas y Apartamentos por estrato para el Total de la muestra (Zonas 2 a 5). 68

Figura 3-1: Caracterización número de casas y apartamentos por estrato Zona 2 a 5. 72

Figura 3-2: Número de habitantes por vivienda (Población total, casas y apartamentos) Zonas2 a 5..... 75

Figura 3-3: Número de habitantes por vivienda Zona 2 (Discriminado por estrato). . 77

Figura 3-4: Área por vivienda Zona 2 a 5 (total de la población)..... 78

Figura 3-5: Antigüedad de la vivienda Zona 2 a 5 (total de la población). 80

Figura 3-6: Número de puntos hidráulicos por vivienda Zona 2 a 5(total de la población). 82

Figura 3-7: Número de puntos hidráulicos por vivienda Zona 2 (total de la población), discriminado por cada tipo de punto hidráulico caracterizado en la encuesta..... 84

Figura 3-8: % Costumbres de re-uso del agua en la población de la Zona 2 a 5(total de la población)..... 85

Figura 3-9: Número de Usuarios (Casas y Apartamentos) por estrato Zona 2 a 5 con y sin re-uso. 86

Figura 3-10: Número de días operación medidor Y290 Zona 2 a 5 (total de la población). 91

Figura 3-11: Caudal Máximo Instantáneo Zona 2 a 5 (total de la población)..... 93

Figura 3-12: Consumo neto Promedio / Mediana estimado en L/hab-día Zona 2 (total de la población)..... 95

Figura 3-13: Consumo neto Promedio/Mediana estimado en L/hab-día Zona, en función al volumen total medido Zonas 2 a 5 (total de la población). 96

Figura 3-14: Comparación de Consumo neto promedio “Media Aritmética” estimado en L/Hab-día (Total de la población) determinado por tres métodos diferentes – Zona 2..... 98

Figura 3-15: Comparación de Consumo neto promedio “Mediana” estimado en L/Hab-día (Total de la población) determinado por tres métodos diferentes – Zona 2..... 99

Figura 3-16: Perfil de consumo promedio diario de un usuarios típico obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (discretizado en franjas de 1 hora). 100

Figura 3-17: Perfil de consumo promedio diario de un usuarios típico obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (franjas horarias originales). 103

Figura 3-18: Perfil de consumo diario Unitario de un usuarios típico, obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (franjas horarias originales).	105
Figura 3-19: Patrón de consumo promedio diario población total Casas y Apartamentos Zonas 2 a 5.	107
Figura 3-20: Patrón de consumo obtenido para estudios a nivel mundial, para Colombia en 1998 y en 2014.	109
Figura 3-21: Patrón de consumo obtenido para estudios de Bogotá año 1998 y estudio actual.	110
Figura 3-22: Consumo neto diario en Lts/hab-día de un usuarios típico, obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 para cada uno de los días de lectura.	111
Figura 3-23: Consumo promedio neto diario en Lts/hab-día para los 7 días de la semana (casas y apartamentos), resultado de los promedios de consumo de cada uno de los días de la semana dividido por el número de habitantes por vivienda. Zonas 2 a 5.	113
Figura 3-24: Consumo promedio neto diario en Lts/m ² -día para un día típico de la semana (población total). Zonas 2 a 5.	115
Figura 3-25: Consumo promedio neto diario en Lts/m ² -día para 7 rangos de áreas entre 50 y 400 m ² (casas y apartamentos). Zonas 2 a 5.	117
Figura 3-26: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día. Sensibilidad para 5 rangos de habitantes por vivienda (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.	119
Figura 3-27: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día sensibilidad para 5 rangos de número de puntos hidráulicos por vivienda (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.	121
Figura 3-28: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día sensibilidad para 5 rangos de años de antigüedad de la edificación (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.	122
Figura 3-29: Consumo promedio neto diario en Lts/habitante-día para un día típico de la semana (casas y apartamentos) con y sin re-uso Zonas 2 a 5, resultado de la suma de los promedios de consumo de lunes a domingo dividido por 7 días y por el número de habitantes por vivienda.	124
Figura 4-1: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2.	135
Figura 4-2: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3.	135
Figura 4-3: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4.	136
Figura 4-4: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5.	136
Figura 4-5: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Alemán.	140

Figura 4-6: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Alemán.....	140
Figura 4-7: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Alemán.....	141
Figura 4-8: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Alemán.....	141
Figura 4-9: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Factor de Simultaneidad.....	145
Figura 4-10: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Factor de Simultaneidad.....	146
Figura 4-11: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Factor de Simultaneidad.....	146
Figura 4-12: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Factor de Simultaneidad.....	147
Figura 4-13: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Racional.....	151
Figura 4-14: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Racional.....	151
Figura 4-15: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Racional.....	152
Figura 4-16: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Racional.....	152
Figura 4-17: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método UNE 149201.....	157
Figura 4-18: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método UNE 149201.....	157
Figura 4-19: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método UNE 149201.....	158
Figura 4-20: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método UNE 149201.....	158
Figura 4-21: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter.....	162
Figura 4-22: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter.....	163
Figura 4-23: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter.....	163
Figura 4-24: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter.....	164
Figura 4-25: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter(NTC 1500).....	168
Figura 4-26: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter (NTC 1500).....	169
Figura 4-27: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter (NTC 1500).....	169

Figura 4-28:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter (NTC 1500).....	170
Figura 4-29:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter Unal.....	174
Figura 4-30:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter Unal.....	175
Figura 4-31:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter Unal.....	175
Figura 4-32:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter Unal.....	176
Figura 4-33:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método del Reglamento RIDDA Chileno.....	180
Figura 4-34:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método del Reglamento RIDDA Chileno.....	180
Figura 4-35:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método del Reglamento RIDDA Chileno.....	181
Figura 4-36:	Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método del Reglamento RIDDA Chileno.....	181
Figura 4-37:	Caudales Máximo instantáneos promedios calculados (por medio de los diferentes métodos empleados) y medidos a los usuarios de las zonas 2 a 5.	185
Figura 5-1:	Número de casas y apartamentos por estrato para la muestra unificada de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.....	187
Figura 5-2:	Curva de Consumo promedio neto diario en Lts/hab-día para los 7 días de la semana, para los usuarios residenciales de la Ciudad de Bogotá.	190
Figura 5-3:	Perfil de consumo diario Unitario promedio para usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.	191
Figura 5-4:	Patrón de consumo promedio diario Usuarios residenciales ciudad de Bogotá.	192
Figura 5-5:	Comparación dePatrones de consumo obtenidos para estudios a nivel mundial, y para Colombia en 1998 y en 2014 (presente estudio).	193
Figura 5-6:	Comparación curvasPatrón de consumo obtenidas para estudios de Bogotá año 1998 y estudio actual.	194
Figura 5-7:	Porcentaje de la población que implementa prácticas de re-uso del agua en los usuarios de tipo residencial de la ciudad de Bogotá.	195
Figura 5-8:	Número de usuarios de tipo residencial con y sin costumbres de re-uso de agua.	195
Figura 5-9:	Consumo residencial promedio neto diario en Lts/habitante-día para un día típico de la semana discriminado en función del re-uso de agua.	196
Figura 5-10:	Comparación de resultados de la aplicación de los Métodos para el cálculo del caudal Máximo Probable y Máximo Instantáneo medido para usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.....	199

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Asignación del nivel de complejidad (Norma RAS 2000 título A.3).....	8
Tabla 1-2: Dotación neta máxima (Norma RAS 2000 título A.3)	9
Tabla 1-3: Coeficiente de consumo máximo diario – k1	10
Tabla 1-4: Coeficiente de consumo máximo horario – k2.....	11
Tabla 1-5: Curvas patrón de consumo de diversos autores	16
Tabla 1-6: Curvas patrón de consumo para la ciudad de Bogotá (1998)	16
Tabla 1-7: Descargas aproximadas para muebles sanitarios en agua fría y agua caliente	21
Tabla 1-8: Descargas simultaneas para muebles sanitarios (Ajustada por el autor) ...	22
Tabla 1-9: Gastos de diseño recomendados para pequeñas instalaciones hidráulicas en edificios de apartamentos y vivienda unifamiliar.....	23
Tabla 1-10: Caudales mínimos para cada aparato.....	26
Tabla 1-11: Caudales y presiones mínimos para cada aparato método Racional.	27
Tabla 1-12: Caudales instantáneos mínimos para cada tipo de aparato.....	28
Tabla 1-13: Valores de los coeficientes “a”, “b” y “c” en la expresión para el cálculo del caudal de diseño.....	29
Tabla 1-14: Unidades de diferentes aparatos.....	33
Tabla 1-15: Caudal máximo probable Vs Unidades de consumo, Método de Hunter Unal	39
Tabla 1-16: Gasto instalado de llaves de agua potable en artefactos sanitarios.....	40
Tabla 1-17: Clases de precisión de medidores de agua (Norma ISO-4064-1-2005)..	49
Tabla 1-18: Caudales nominales, mínimos y de transición de diferentes medidores expresados en m ³ /hora.....	49
Tabla 2-1: Especificaciones particulares medidor electrónico	52
Tabla 2-2: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato	58
Tabla 2-3: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato	60
Tabla 2-4: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato	63
Tabla 2-5: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato	65
Tabla 2-6: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zonas 2 a 5, y discretización por tipo de vivienda y estrato	67

Tabla 3-1: Tabla resumen resultados del análisis de la información de encuestas para las zonas 2 a 5.....	88
Tabla 3-2: Tabla resumen resultados del análisis de la información de medición de caudales para las zonas 2 a 5.....	127
Tabla 4-1: Evaluación caudal máximo posible Método Británico para edificación de ejemplo	132
Tabla 4-2: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 2	133
Tabla 4-3: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 3	134
Tabla 4-4: Resumen caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 4	134
Tabla 4-5: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 5	134
Tabla 4-6: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	137
Tabla 4-7: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 2	138
Tabla 4-8: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 3	139
Tabla 4-9: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 4	139
Tabla 4-10: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 5	139
Tabla 4-11: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	142
Tabla 4-12: Evaluación caudal máximo posible Método Factor de Simultaneidad para edificación de ejemplo	143
Tabla 4-13: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 2	144
Tabla 4-14: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 3	144
Tabla 4-15: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 4	144
Tabla 4-16: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 5	145
Tabla 4-17: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	148
Tabla 4-18: Evaluación caudal máximo posible Método Racional o Español para edificación de ejemplo	148

Tabla 4-19:	Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 2	150
Tabla 4-20:	Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 3	150
Tabla 4-21:	Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 4	150
Tabla 4-22:	Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 5	150
Tabla 4-23:	Resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a usuarios de las Zonas 2 a 5	153
Tabla 4-24:	Evaluación caudal máximo posible Método UNE 149201 para edificación de ejemplo	154
Tabla 4-25:	Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 2.....	155
Tabla 4-26:	Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 3.....	156
Tabla 4-27:	Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 4.....	156
Tabla 4-28:	Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 5.....	156
Tabla 4-29:	Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	159
Tabla 4-30:	Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter para edificación de ejemplo	160
Tabla 4-31:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 2	161
Tabla 4-32:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 3	161
Tabla 4-33:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 4	162
Tabla 4-34:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 5	162
Tabla 4-35:	Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	164
Tabla 4-36:	Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter (NTC 1500), para edificación de ejemplo	165
Tabla 4-37:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter(NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 2.....	167
Tabla 4-38:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 3.....	167

Tabla 4-39:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 4.....	167
Tabla 4-40:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 5.....	168
Tabla 4-41:	Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter(NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	171
Tabla 4-42:	Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter Unal,para edificación de ejemplo.	172
Tabla 4-43:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 2.....	173
Tabla 4-44:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 3.....	173
Tabla 4-45:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 4.....	173
Tabla 4-46:	Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 5.....	174
Tabla 4-47:	Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5	176
Tabla 4-48:	Evaluación caudal máximo posible Método del Reglamento RIDDA Chileno, para edificación de ejemplo.	177
Tabla 4-49:	Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 2.....	179
Tabla 4-50:	Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 3.....	179
Tabla 4-51:	Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 4.....	179
Tabla 4-52:	Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 5.....	180
Tabla 4-53:	Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5.....	182
Tabla 4-54:	Caudales Máximo instantáneos promedios calculados (por medio de los diferentes métodos empleados) y medidos a los usuarios de las zonas 2 a 5	183
Tabla 5-1:	Evaluación de los métodos de cálculo del Caudal Máximo Probable	198

Introducción

La Normatividad Colombiana encargada de Regular el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico “RAS 2000”, propone dotaciones para usos residenciales, (la misma dotación para toda la población, en función el nivel de complejidad de ésta, el cual se determina en función al tamaño de la población; por ejemplo: en el caso de la ciudad de Bogotá, que por el tamaño de su población corresponde a un nivel alto de complejidad, la dotación neta recomendada por la Norma RAS 2000, para uso residencial y para toda la ciudad, es de 140 L/Hab-día) que no tiene en cuenta las diferencias relativas a las características de los usuarios como lo son el tipo de unidad residencial, el estrato socioeconómico, las costumbres de consumo, número de habitantes por vivienda.

La Norma Colombiana dedicada a la regulación del Diseño de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias internas en edificaciones “NTC 1500 Código Colombiano de Fontanería”, recomienda determinar el caudal máximo probable en una edificación (caudal de diseño para el dimensionamiento de las redes internas) mediante el empleo de la metodología probabilística de la Curva de Hunter, que corresponde a un método de probabilidades propuesto por Roy Hunter (con base en estudios y mediciones realizadas a edificaciones en Estados Unidos) que no necesariamente se ajusta a las condiciones, características y patrones de consumo de la población Colombiana, y en el caso específico, la población de la ciudad de Bogotá.

Lo anteriormente descrito con relación a las recomendaciones de las Normas Colombianas RAS 2000 y NTC 1500 para la determinación de los caudales de diseño para redes de distribución de agua y redes internas en edificaciones lleva al diseño y construcción de proyectos de abastecimiento y distribución de agua con criterios de diseño que no tienen en cuenta la realidad de los consumos de la población a nivel residencial, obteniéndose diseño que no garantizan una solución óptima a nivel técnico y económico de un sistema.

El sistema de abastecimiento y distribución de agua de la ciudad de Bogotá es manejado actualmente por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá “EAAB”, entidad que desde su oficina de ingeniería especializada se ha encargado de la normalización técnica que sirve de reglamento y guía para la elaboración de todo tipo de trabajos concernientes con la distribución de agua potable y recolección de aguas negras y lluvias.

En el caso particular de la Ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta la enorme infraestructura de servicio de acueducto, y en vista que posee una de las Normas Técnicas más completas de Colombia (Norma Sistec), la EAAB no conoce con certeza (La EAAB cuenta con los registros de los consumos bimensuales de la población a escala volumétrica, pero no conoce como es el comportamiento del consumo a nivel diario), el modo en que los usuarios residenciales demandan el servicio, el caudal neto

entregado y su distribución en el tiempo, lo cual no le permite contar con información de este tipo al momento de tomar decisiones relacionadas con la ampliación y refuerzo de redes de distribución, así como una adecuada selección de los medidores de agua requeridos, que trabajen en el rango de su curva de óptimo desempeño, y tampoco permite dar directrices claras a los constructores y diseñadores al momento de determinar los caudales máximos de diseño de las edificaciones, que permitan garantizar una disponibilidad de agua ajustada a la realidad.

En el marco de su desarrollo normativo y en busca de una mejor comprensión del sistema de abastecimiento de agua, acorde con la dinámica de consumos propia de la ciudad y los diferentes tipos de uso de agua que se presentan, la EAAB adelantó entre 2009 y 2010 una campaña de trabajos de mediciones en campo de caudales puntuales, consistentes en la implementación de 320 micro medidores digitales Aquabus Y290 de ½", con capacidad para registro y almacenamiento de datos (permiten tener lecturas de caudales para 6 franjas horarias en un día, lectura del caudal máximo instantáneo y el reporte de la hora exacta de ocurrencia, entre otras), localizados en zonas residenciales, con los cuales se midió los caudales demandados por la población para un periodo de tiempo de lecturas de aproximadamente 20 días por usuario.

Igualmente se implementó un sistema de encuestas de caracterización de los usuarios residenciales a los que se realizó la medición de caudales, en la cual se levantó información referente al estrato, área de la vivienda, tipo de vivienda, número de personas que la habitan, puntos hidráulicos, entre otros.

Una vez realizada la medición de caudales y encuestas a un grupo de usuarios (grupos de 320 usuarios aproximadamente, en función la disponibilidad y estado de los micromedidores empleados), la EAAB procedió a instalar los medidores a un grupo de usuarios nuevos, y así sucesivamente hasta alcanzar un tamaño muestra de 1233 usuarios repartidos en las diferentes zonas y estratos socioeconómicos en que se divide la prestación del servicio de acueducto (Información disponible de las zonas 2 a 5, la información de mediciones y encuestas de la zona 1 no se encontraba disponible por parte de la Dirección de Ingeniería especializada de la EAAB para el presente estudio, puesto que la misma fue adelantada por la Gerencia comercial zona 1). Información que aun cuando fue procesada y estudiada por la EAAB, no ha tenido ningún tipo de incidencia en la caracterización de los consumos residenciales de la ciudad, razón por la cual este proyecto pretende emplear la información disponible para estudiar y determinar las características y comportamiento de los consumidores de tipo residencial mediante la determinación de curvas patrón y perfiles de consumo, así como analizar la forma en que las diferentes variables medidas en campo a través de los equipos de medida y las encuestas de caracterización de usuarios, influyen los consumos de la población.

La curva característica de consumo, o perfiles de consumo, hace referencia a la manera como los diferentes tipos de usuarios demandan el agua en el tiempo, y se representa mediante curvas en las cuales se observa la frecuencia de los consumos de los usuarios en el tiempo, facilitando información sobre los caudales reales demandados por el usuario a lo largo del día, permitiendo determinar los caudales de máximo y mínimo consumo así como las horas pico y horas valle en que se presentan dichos consumos. Finalmente, cuando dicha curva se vuelve unitaria (los caudales de consumo horarios se dividen por el caudal medio consumido), permite determinar los coeficientes de mayoración de los caudales medios (denominados en la Norma RAS 2000 K1 y K2).

El patrón de consumo (denominado también curva patrón de consumo) permite conocer el volumen de agua que se consume para diferentes intervalos de caudal, y suele expresarse como el porcentaje del volumen total consumido para cada una de las franjas de caudal establecidas, es decir que permite determinar las frecuencias de consumo instantáneo de todos los suscriptores de un sistema de abastecimiento de agua potable (histograma de frecuencias), para su construcción se debe definir inicialmente los rangos de caudales a emplear, y posteriormente asignar a cada rango de caudales el porcentaje de volumen sobre el total consumido dentro de cada intervalo¹.

La grafica es útil para determinar en qué rango de caudales se está consumiendo el mayor volumen de agua por parte de los usuarios, y de esta manera definir el tipo de medidor requerido para reducir al máximo el error esperado (implícito) en la medición de los caudales consumidos, en función a la curva de error del medidor; e igualmente proporciona datos necesarios para los proveedores y fabricantes para dimensionar los medidores, así como información útil para diseño de redes, criterios y herramientas de decisión en el caso de requerimientos de medidores instalados en función a su vida útil y cálculo del error de medición del parque de contadores. Esta curva es representativa de cada lugar (cambia de un país a otro) y depende de los hábitos de consumo de cada población, del tipo y características de la vivienda, estrato, número de habitantes y área de la vivienda².

Para toda empresa prestadora del servicio de abastecimiento y distribución de agua potable es de vital importancia conocer el modo en que los usuarios demandan el servicio, el caudal neto entregado, su distribución en el tiempo y el rango de caudales en los que se consume la mayor parte del volumen de agua entregado, herramienta que sirve para la toma de decisiones relacionadas con la ampliación y refuerzo de redes de distribución y con la determinación del índice de agua no contabilizada debida a problemas en un inadecuado dimensionamiento y selección de los medidores de agua que pueden estar trabajando en rangos por fuera de su curva de óptimo desempeño.

Igualmente, en vista de la importancia de la normalización técnica "SISTEC", es muy importante poder contar con curvas características y curvas patrón de consumo reales para cada tipo de usuario, que permitan determinar los consumos netos reales diarios por tipo de uso y estratificación socioeconómica; así como la comparación de los caudales máximos instantáneos registrados, con los calculados mediante diferentes metodologías de estimación de caudales máximos probables para edificaciones (Métodos empíricos: Británico, Dawson y Bowman; Métodos Semiempíricos: Raíz Cuadrada, simultaneidad, Racional; Métodos Probabilísticos: Hunter y Hunter modificado), que permitan determinar si alguna de estas metodologías se ajusta adecuadamente al comportamiento del consumo residencial de la ciudad, y que ésta información pueda servir de guía para empresas consultoras y constructoras al momento de determinar las dotaciones y los

¹Arregui de la Cruz, Francisco. Tesis Doctoral "Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento". Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. 1998.

²PalauEstevan, Carmen Virginia. Tesis Doctoral "Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión". Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. Abril de 2005.

consumos máximos para el diseño y dimensionamiento de redes internas, y para la solicitud del servicio.

Adicionalmente, a nivel de la academia, y su compromiso con el desarrollo del País y la gestión integral de los recursos hídricos, éste trabajo busca aportar, mediante información real de consumos, insumos para la evaluación de las dotaciones netas y metodologías adecuadas para la estimación de los caudales de diseño de redes internas que deberían emplearse en las Normas que rigen el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico “RAS 2000” y las normas dedicadas a la regulación del Diseño de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias “NTC 1500”.

Este trabajo final de maestría tiene como objetivo general: Obtener y evaluar las curvas patrones de consumo de agua de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá, y las dotaciones reales demandadas por la población, a partir de mediciones de caudal y encuestas de caracterización de usuarios realizadas por la EAAB, y con base en la información obtenida, comparar con las dotaciones adoptadas por la normatividad vigente (RAS 2000 y NTC 1500), para el caso particular de la ciudad de Bogotá.

Para el alcance del objetivo general anteriormente mencionado, se han planteado los siguientes objetivos específicos, los cuales se presentan a continuación:

- Evaluar el comportamiento en el tiempo de la demanda de agua potable de uso residencial mediante la obtención de los patrones de consumo en función a la información levantada por la EAAB para los diferentes estratos socioeconómicos presentes en la ciudad de Bogotá, susceptibles de una futura normalización técnica.
- Obtener las dotaciones netas reales de la población para uso residencial en la ciudad de Bogotá, en función al tipo de edificación y estrato socioeconómico, y comparar con las dotaciones netas propuestas en las Normas RAS 2000 y NTC 1500.
- Calcular los caudales máximos probables (Caudal de diseño) que se obtienen con la aplicación de las metodologías usadas en el diseño de redes hidráulicas de edificaciones (Métodos empíricos: Británico, Dawson y Bowman; Métodos Semiempíricos: Raíz Cuadrada, simultaneidad, Racional, UNE 149201; Métodos Probabilísticos: Hunter, Hunter modificado, Hunter Unal y RIIDA Chileno), y contrastarlos con los caudales máximos instantáneos medidos en campo, para determinar si alguna de estas metodologías se ajusta adecuadamente a las condiciones particulares de consumo de agua de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

Para poder alcanzar los objetivos propuestos, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para determinar el estado del arte acerca de las metodologías para la determinación de las curvas patrones de consumo de agua potable, así como de las metodologías usadas en nuestro medio para la estimación de caudales máximos probables en edificaciones y las normas Colombianas que se encargan de la regulación de estos temas como son el RAS 2000 y la Norma NTC 1500 “Código Colombiano de Fontanería”.

Posteriormente se procesó y estudió la información disponible de encuestas y medición de caudales en edificaciones de uso residencial de la ciudad de Bogotá elaborados por la EAAB, correspondiente a un registro inicial de 1270 usuarios (Se aclara que aunque se ejecutaron 1270 instalaciones, no todas la información fue útil, dependiendo de los resultados obtenidos para cada usuario y la idoneidad de la misma para el proyecto, se utilizaron los datos válidos, correspondientes a un tamaño muestral final de 1233 usuarios), con el propósito de poder llevar a cabo una selección y organización de la información disponible, separándola en función a la zona de servicio (Zonas 2 a 5 definidas para el servicio por parte de la EAAB), del estrato socioeconómico, del tipo de vivienda, el área de la vivienda y el número de personas por vivienda.

Con la anterior información se determinaron las curvas características y patrones de consumo para el conjunto de viviendas que presentan características similares de estrato, área y número de personas por unidad, y se identificaron variables importantes que influyen dichos patrones. Posteriormente se obtuvo las dotaciones netas reales de la población objetivo, bajo diferentes criterios de evaluación. Esta información obtenida se contrastó con los valores medios de las dotaciones netas empleadas por las normas nacionales que regulan el sector de agua potable (RAS 2000 y NTC 1500).

A partir de los datos de los micro medidores se determinaron los consumos máximos instantáneos reales de cada usuario, los cuales fueron comparados con los caudales máximos probables determinados en este trabajo mediante las metodologías de uso común para la estimación de caudales de diseño en edificaciones en Colombia³, así como la implementación de algunas metodologías nuevas^{4,5} que se enuncian a continuación:

Métodos empíricos:

- Británico
- Dawson y Bowman

Métodos Semiempíricos:

- Raíz Cuadrada
- simultaneidad
- Racional
- Norma Española UNE 149201

Métodos Probabilísticos:

- Hunter
- Hunter modificado (NTC 1500)
- Hunter Unal
- Reglamento RIIDA Chileno

³ Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

⁴Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.

⁵ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIIDA). Santiago de Chile. Enero 28 de 2003.

Se definió, de todas las metodologías empleadas para el cálculo del caudal máximo probable, con cuales se obtiene valores de caudal de diseño más cercanos a los caudales máximos instantáneos registrados en campo, y se realizó las recomendaciones del caso a la luz de la metodología empleada en la Norma NTC 1500.

Una vez obtenidos todos los resultados se procedió a concluir y recomendar con respecto a las curvas patrón de consumos, las dotaciones netas reales (las dotaciones netas recomendadas en función al trabajo desarrollado), y las metodologías de cálculo del caudal de diseño para edificaciones de uso residencial, que debería emplearse, y/o ajustarse, en la Ciudad de Bogotá, contrastándolas con las recomendaciones que en este tema hacen las Normas RAS 2000 y NTC 1500.

1. Marco Teórico

Uno de los indicadores más importantes para determinar la eficiencia de operación de un sistema de abastecimiento de agua entre la producción, consumo y cobro efectivo del recurso, es el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), que permite determinar la diferencia entre el volumen de agua aportado al sistema y el efectivamente registrado como entregado a los usuarios.

Para determinar este IANC es necesario que el sistema cuente con elementos adecuados de medición del caudal producido y del consumo de los diferentes usuarios, lo cual suele realizarse mediante el empleo de macromedidores (a la salida de los puntos de producción de agua de consumo como las Plantas de tratamiento de Agua) y de micromedidores (localizados en el punto de entrega de agua de cada usuario).

Dentro de la normatividad Colombiana, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico "RAS 2000" es el encargado de dar las directrices referentes a los caudales y dotaciones a emplearse para los diferentes usuarios del sistema (la misma dotación para toda la población, en función al nivel de complejidad de ésta), los cuales se emplean para el diseño de redes principales de distribución (redes externas de acueducto) que no tienen en cuenta las diferencias relativas a las características de los usuarios (tipo de unidad residencial, estrato socioeconómico, número de habitantes por vivienda, área de la vivienda).

De igual manera, la Norma ICONTEC NTC 1500 "Código Colombiano de Fontanería" define los lineamientos para la determinación del caudal de diseño para una edificación, mediante la aplicación de la metodología probabilística de la Curva de Hunter, que corresponde a un método de probabilidades que no necesariamente se ajusta a las condiciones, características y patrones de consumo de la población Colombiana, y en el caso específico, la población de la ciudad de Bogotá.

Esto lleva al diseño y construcción de proyectos de abastecimiento y distribución de agua (redes externas de distribución y redes internas de las edificaciones) con criterios de diseño que no tienen en cuenta la realidad de los consumos de la población a nivel residencial, obteniéndose diseños que no garantizan una solución óptima a nivel técnico y económico de un sistema.

A continuación se describen los conceptos teóricos más relevantes asociados al proyecto, que permitirán dar una mayor claridad respecto a la importancia y utilidad del mismo.

1.1 Caudales y Dotaciones de agua

Conforme la Norma RAS 2000⁶La dotación es la asignación de agua que se le hace a un habitante usuario de un sistema de acueducto, en función principalmente del nivel de complejidad de la población (que tiene en cuenta el tamaño de la población para definir el nivel de complejidad) y su capacidad económica.

A continuación se hace una breve descripción sobre en qué consiste cada tipo de dotación y las directrices de la Norma RAS 2000 respecto a la determinación de los diferentes tipos de caudales para el diseño, optimización y ampliación de redes de distribución de una ciudad colombiana.

1.1.1 Asignación del nivel de complejidad de una población

El nivel de complejidad es función del número de habitantes en el área del proyecto, de la capacidad económica y del grado de exigencia técnica del sistema, acorde con la Tabla siguiente.

Tabla 1-1: Asignación del nivel de complejidad (Norma RAS 2000 título A.3)

Nivel	Población (habitantes)	Capacidad Económica
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 – 12500	Baja
Medio alto	12501 – 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

El nivel de complejidad del sistema debe ser aquel que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la proyección de la población al periodo de diseño y aquel obtenido según la capacidad económica actual de los usuarios del sistema, es posible aumentar el nivel de complejidad si se justifica la necesidad técnicamente y se demuestra capacidad financiera.

En vista que se trata de la Ciudad de Bogotá, capital de Colombia, y en función a la información de proyecciones de población del DANE, para el año 2014 la población esperada es de 7.658.081 habitantes (y según información del Observatorio Ambiental de Bogotá, adscrito a la secretaria distrital de ambiente, la EAAB contaba en el año 2013 con cerca de 1.662.923 usuarios residenciales, a razón de aproximadamente 4.6 personas por cada usuario o suscriptor), lo cual permite clasificar la ciudad, según los criterios del RAS, en el nivel de complejidad ALTO de acuerdo a la población.

⁶ Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Bogotá. Noviembre de 2000.

1.1.2 Dotación neta

Corresponde a la cantidad de agua mínima requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema y el clima del sitio donde se construya el proyecto. La Siguiente Tabla presenta los valores de dotación neta máxima a utilizar según la Resolución 2320 de 2009.

Tabla 1-2: Dotación neta máxima (Norma RAS 2000 título A.3)

Nivel de Complejidad del Sistema	Dotación neta máxima	
	Poblaciones con clima frío o templado, (L/hab-día).	poblaciones con clima Cálido, (L/hab-día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

En función a la tabla anterior y para el caso particular de la población de la ciudad de Bogotá, la dotación neta máxima a utilizar, teniendo en cuenta que Bogotá presenta un clima frío (corresponde a clima frío por encima de los 1000 msnm) y el nivel de complejidad ALTO, corresponde a 140 l/hab-día, valor que es único para toda la población y no distingue de las características socioeconómicas de esta, así como de sus hábitos de consumo entre otros factores que podrían influenciar la determinación de dicha dotación.

1.1.3 Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la(s) planta(s) potabilizadora(s) y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias, éstas pérdidas deben ser de máximo el 25% del consumo de acuerdo al porcentaje de pérdidas máximas admisibles establecido en la Resolución 2320 del 27 de noviembre de 2009, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.

Conforme los reportes de la EAAB, el porcentaje de pérdida de agua o Índice de Agua No Contabilizada en la ciudad, incluidas pérdidas técnicas y comerciales, es alrededor del 37%, valor considerablemente diferente al recomendado por la Normatividad.

1.1.4 Dotación bruta

La dotación bruta se establece según la ecuación indicada por el RAS 2000 de la siguiente manera:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \% \text{ pérdidas}}$$

Si se aplica las pérdidas del 25% recomendadas por la Norma, la dotación finalmente conseguida es de 186.66 L/hab·día, mientras que al aplicar las perdidas reportadas por la EAAB, dicho valor de dotación bruta se incrementa a 222.22 L/hab·día, correspondiente a un incremento aproximado de un 20% respecto al primer caudal obtenido, valor que es considerable teniendo en cuenta la magnitud de la población a atender.

1.1.5 Factores de mayoración

- Coeficiente de consumo máximo diario – k1.

El coeficiente de consumo máximo diario, k1, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año, en caso de sistemas nuevos, el coeficiente de consumo máximo diario, k1, depende del nivel de complejidad del sistema como se establece en la Tabla siguiente.

Tabla 1-3: Coeficiente de consumo máximo diario – k1

Nivel de Complejidad del Sistema	k1
Bajo	1.3
Medio	1.3
Medio alto	1.2
Alto	1.2

Si la selección de este coeficiente para la ciudad de Bogotá se realizara en función únicamente de la tabla anterior, dicho coeficiente sería de 1.2.

- Coeficiente de consumo máximo horario – k2.

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, puede calcularse, para el caso de ampliaciones de sistema de acueducto, como la relación entre el caudal máximo horario “QMH”, y el caudal máximo diario “QMD”, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio, en el caso de sistemas de acueductos nuevos el coeficiente k2 es función del nivel de complejidad del sistema y el tipo de red de distribución como se establece en la siguiente Tabla.

Tabla 1-4: Coeficiente de consumo máximo horario – k2

Nivel de complejidad	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.6	-	-
Medio	1.6	1.5	-
Medio alto	1.5	1.45	1.4
Alto	1.5	1.45	1.4

Para este caso particular, teniendo en cuenta que el sistema presenta un nivel de complejidad ALTO, siguiendo únicamente los lineamientos de la Norma RAS 2000, se adoptaría un coeficiente k2 de 1.5 correspondiente a redes menores de distribución.

1.1.6 Caudales de diseño

Corresponden a los diferentes caudales que se emplean para el diseño de los componentes de un sistema de acueducto.

- Caudal medio diario “Qmd”

El caudal medio diario, Q_{md} , es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$$

- Caudal Máximo Diario “QMD”

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1, el caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} \cdot k_1$$

- Caudal Máximo Horario “QMH”

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, según la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD \cdot k_2$$

1.2 Curva característica o curva de variación horaria de consumos⁷

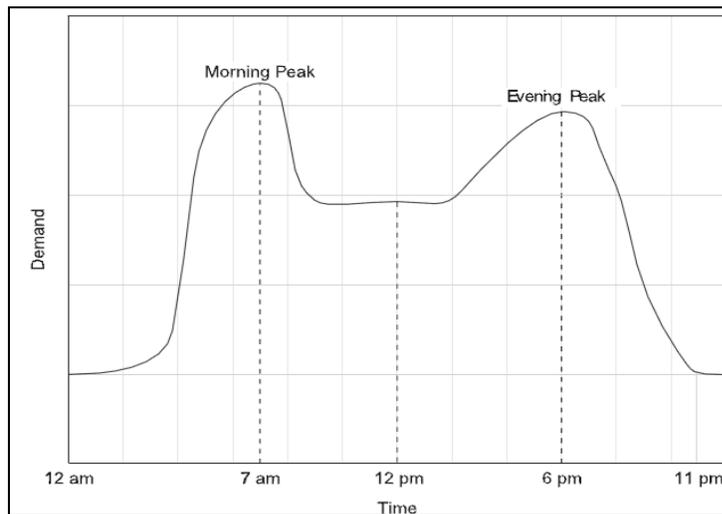
El uso de agua en un sistema de distribución de una población es inherentemente inestable, a causa de las continuas variaciones en la demanda; cuando estas variaciones son medidas en un periodo largo de tiempo, es posible obtener una caracterización de la dinámica real de dichos consumos, la cual es muy útil para ser empleada en los modelos de simulación de redes y a su vez que estos permitan representar la realidad de una manera más exacta.

Las variaciones temporales en el uso del agua para los sistemas de suministro de una población suelen seguir un ciclo de 24 horas llamado curva característica de consumo diaria. Sin embargo, los flujos de agua en el sistema experimentan cambios no sólo desde una perspectiva temporal diaria, sino también semanal y anual. Como es de esperarse, las curvas características de consumo de fines de semana difieren a menudo de las curvas características de consumo entre semana.

Las diferencias temporales (muchas veces estacionales) en el uso del agua han estado relacionadas con variables climáticas, como la temperatura y las precipitaciones, así como a los cambios en los hábitos de los usuarios, tales como actividades recreativas y agrícolas al aire libre que se producen en los meses de verano.

Cada ciudad tiene sus propias características únicas de uso del agua, que son una función de las condiciones climáticas recientes, la hora del día, los hábitos de consumo, tipo de vivienda, estrato, número de habitantes. La siguiente Figura ilustra una curva característica de consumo de una zona residencial.

Figura 1-1: Curva de consumo diaria típica.



⁷ Advanced Water Distribution Modeling and Management, Section 4.3. Haestad Methods, FirstEdition.2003.

Al analizar la anterior figura se puede concluir que existe un bajo consumo de agua en la noche, cuando la mayoría de la gente duerme, un mayor uso de agua durante las horas tempranas de la mañana cuando la gente se despierte y se preparan para iniciar sus labores diarias, una disminución de la utilización durante la mitad del día asociado posiblemente a que las personas suelen almorzar fuera de casa pues sus trabajos pueden localizarse a distancia considerable de sus viviendas (como es el caso típico de las grandes ciudades), y por último, un mayor uso de nuevo en la tarde cuando las personas regresan a su casa.

La curva característica de consumo de la población es una herramienta fundamental para poder entender y reproducir de forma detallada en un modelo teórico, la manera como la población consume el agua, que facilitan información sobre los caudales reales demandados por el usuario a lo largo del día, permitiendo determinar los caudales de máximo y mínimo consumo así como las horas pico y horas valle en que se presentan dichos consumos.

Con frecuencia, el desarrollo de una curva de consumo para un usuario específico requiere más información que la que puede ser extraída de los registros de facturación típicos (que generalmente presentan información de volúmenes totales consumidos en un periodo de tiempo). En estas situaciones, se necesitan métodos más exhaustivos de recolección de datos para representar la naturaleza variante en el tiempo de las demandas.

Para obtener curvas de consumo típicas de una población es posible emplear los datos de consumo detallados de unos pocos usuarios, y extender las conclusiones de dicho estudio al resto del sistema, sin embargo este tipo de extrapolación de datos tiene algunos peligros inherentes. La probabilidad de selección del usuario promedio "perfecto" es pequeña, y cualquier desviación de los valores normales o error en la medición se verá aumentada cuando se aplica a toda una población. Al igual que con todos los métodos de recolección y tratamiento de datos estadísticos, cuanto menor sea el tamaño de la muestra, existirá una menor confianza en los resultados.

También existen aplicaciones en las que el uso de un usuario representativo es inapropiado bajo cualquier circunstancia. En el caso de grandes industrias, por ejemplo, puede no existir ninguna relación en absoluto entre los volúmenes y características de uso a pesar de que comparten una clasificación de zonificación similar. Por lo tanto, la demanda de los grandes consumidores (industrias, hospitales, hoteles, etc.) y sus variaciones diarias deben determinarse individualmente.

Es imposible saber con absoluta certeza cuando se usa agua o como se utiliza en un corto período de tiempo, a pesar que si se conoce exactamente el volumen total consumido en un periodo de tiempo (conocido como periodo de facturación). Dentro de los esfuerzos hechos por determinar estas curvas características de consumo, se destaca los de Bowen, Harp, Baxter y Shull (1993), quienes recopilaron datos de usuarios residenciales individuales y multifamiliares en varias ciudades de Estados Unidos, curvas que fueron utilizadas como punto de partida para la asignación de los patrones de demanda a los nodos residenciales en dicho país, y extrapoladas a otros territorios.

Buchberger y Wu (1995) y Buchberger y Wells (1996) desarrollaron un modelo estocástico para las demandas de agua residenciales y lo validaron mediante la

recopilación de numerosos datos sobre usuarios residenciales individuales. Los investigadores encontraron que la demanda en una vivienda individual no puede simplemente multiplicarse por el número de viviendas para determinar la demanda en un área más grande. Los métodos que desarrollaron proporcionan una manera de combinar las demandas estocásticas individuales de los usuarios individuales que se cepillan los dientes o el funcionamiento de sus lavadoras, lavavajillas, etc. en conjunto, para su uso en un área más grande y en un intervalo de tiempo más largo.

El conocimiento del comportamiento del consumo en el tiempo, su tendencia y las variables que lo afectan son de vital importancia para la toma de decisiones frente a políticas relacionadas con especificaciones de medidores de un sistema de abastecimiento, agua no contabilizada, facturación y otras las cuales son parte fundamental de la gestión en sistemas de acueducto.

1.3 Patrones de consumo⁸

El patrón de consumo (denominado también curva patrón de consumo) permite conocer el volumen de agua que se consume para diferentes intervalos de caudal, y suele expresarse como el porcentaje del volumen total consumido para cada una de las franjas de caudal establecidas (generalmente en litros/hora), es decir que permite determinar las frecuencias de consumo instantáneo de todos los suscriptores de un sistema de abastecimiento de agua potable (histograma de frecuencias), para su construcción se debe definir inicialmente los rangos de caudales a emplear, y posteriormente asignar a cada rango de caudales el porcentaje de volumen sobre el total consumido dentro de cada intervalo.

La curva patrón de consumo (volumen), junto con la curva característica de consumo (caudal), son herramientas que permiten conocer y analizar la forma como los usuarios consumen el agua, y en el caso particular de la primera, su mayor utilidad se ve reflejada en poder determinar en qué rangos de caudales se presenta el mayor volumen de consumo, insumo básico para poder llevar a cabo un correcto dimensionamiento de los medidores de agua requeridos y calcular de una manera más precisa el error de registro de cada contador en función a la curva de error del mismo (puesto que para conocer de una manera más exacta el volumen no registrado por un medidor se debe conocer el porcentaje de volumen que ha circulado en cada rango de caudal, y ponderar la precisión del medidor con dicho porcentaje), lo que se traduce en una mejor gestión en la prestación del servicio y tarifaria por parte de la empresa prestadora del servicio, permitiendo caracterizar de una mejor manera las pérdidas técnicas y comerciales al momento de determinar el Índice de Agua No Contabilizada (IANC).

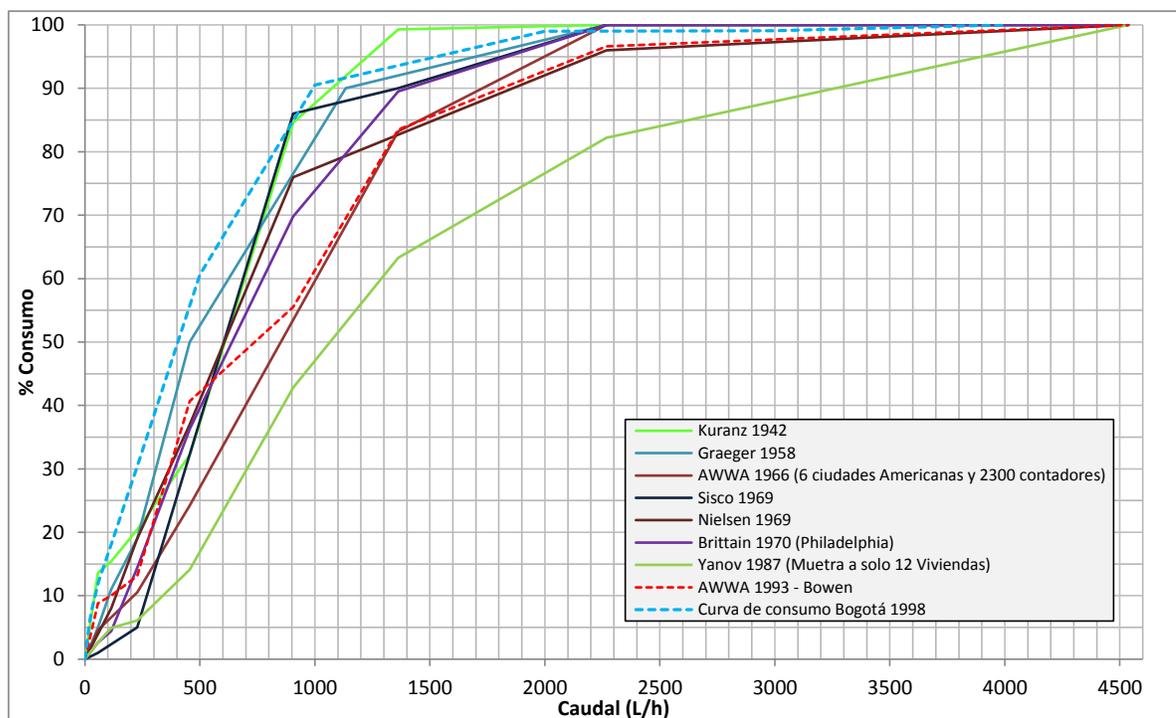
Existen algunos estudios sobre caracterización de consumos de agua en diferentes poblaciones, la mayoría realizados en ciudades de Estados Unidos, y algunos otros en España, los cuales fueron elaborados hace ya un tiempo considerable (es preciso tener en cuenta que las viviendas Americanas y Españolas difieren considerablemente de las

⁸Arregui de la Cruz, Francisco. Tesis Doctoral "Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento". Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. 1998.

colombianas, y que también existen diferencias entre los equipos de medición empleados así como los avances tecnológicos de los equipos de medición y almacenamiento de datos en los últimos años), dentro de los cuales es preciso destacar el estudio sobre curvas de consumo clasificados Elaborado por la American Water Works Association (AWWA) ResearchFundation, publicado en 1993, denominado “ResidentialWater Use Patterns⁹”, el cual es considerado por muchos autores como el más completo de los existentes en la actualidad. En este estudio se analizó los patrones de consumo de 5 ciudades Americanas (Altamonte Springs, Nashua, Norman, Portland y Tucson), con el objetivo de determinar las posibles variaciones de consumo a lo largo del día y del año, mediante la obtención de curvas patrón de consumo el función de diversas variables como la época del año, tipo de vivienda y ciudad.

En la siguiente figura se presenta un gráfico en el cual se resume los resultados de las curvas patrón de consumo obtenidas, así como curvas obtenidas en estudios precedentes, incluida la curva patrón de consumos determinada para la ciudad de Bogotá en 1998 mediante el estudio denominado “Evaluación del Parque de contadores de la Ciudad de Bogotá¹⁰”

Figura 1-2: Curva de consumo diurna típica.



⁹Bowen P. T., Harp J. F., Baxter y J. W. Shull R. D. Residential Water Use Patterns. Ed American Water Works Association Research Fundation. Denver Colorado. 1993.

¹⁰Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

Los datos base para la obtención de las curvas patrón de consumos mostradas en la figura anterior se presentan en las siguientes tablas, y corresponden a los originales reportados por los diferentes investigadores mencionados.

Tabla 1-5: Curvas patrón de consumo de diversos autores

Autor	Año	Caudal en Litros / hora							
		< 57	< 114	< 228	< 456	< 906	< 1362	< 2268	> 2268
Kuranz	1942	13.6	15.4	20.4	32.2	84.6	99.3	100	100
Graeser	1958	5	11	19	50	90*	100*		100
Hudson	1964	13	16.4	23.2	36.5	79.5		100	100
AWWA	1966	4.6	10.5		24.2	83.2		100	100
Sisco	1969	1	5		86		90	100	100
Nielsen	1969	8		19	37	76	96		100
Brittain	1970	2.6	4.4	14.4	36.3	69.8	89.5	100	100
Yanov	1987	2.6	4.9	6.1	14.1	42.8	63.3	82.2	100
Bowen AWWA	1993	8.8	10	13.1	40.7	55.5	83.5	96.6	100

* El rango de caudales en este caso está entre 454.24-1135.6 L/h y 1136.6-2271.2 L/h

Tabla 1-6: Curvas patrón de consumo para la ciudad de Bogotá (1998)

caudal (L/H)		% consumo	% acumulado
De	A		
	0	0	0
0	5	1.3	1.3
5	10	1.5	2.8
10	20	3	5.8
20	30	2.1	7.9
30	60	4.4	12.3
60	120	6.4	18.7
120	240	13.1	31.8
240	500	28.8	60.6
500	1000	29.9	90.5
1000	2000	8.5	99
2000	3000	0.1	99.1
3000	4000	0.9	100

En la figura anterior se puede observar como las curvas patrón de consumo obtenidas difieren considerablemente de un estudio a otro, principalmente para la franja de caudales bajos donde la variación del porcentaje consumido con respecto al total es muy diferente para cada estudio, lo cual puede atribuirse al contraste de la localización geográficas de las zonas donde se adelantaron los estudios, la diferencia de tamaños muestrales y duración de las mediciones, la época del año en que se realizaron, las características particulares de las viviendas, costumbres, clima, condiciones económicas y número de habitantes, lo cual permite concluir que los patrones de consumo disponibles en la actualidad no necesariamente se ajustan a las condiciones propias

actuales de consumo de la población, y que se debe continuar con los trabajos de investigación en este sentido, dando especial atención a la particularización de dichas curvas en función a factores como el tamaño de la vivienda, número de habitantes, costumbres de consumo y ahorro, estrato socioeconómico, edad de las viviendas, número de puntos hidráulicos y estado de las instalaciones internas, edad, estado y precisión de los equipos de medición entre otras, teniendo en cuenta que la misma debe determinarse para cada población de manera particular .

1.4 Caudales máximos instantáneos en edificaciones^{11,12}

Cuando en una edificación, ya sea residencial, comercial, institucional o industrial, existen varios aparatos sanitarios instalados (ducha, lavadero, lavamanos, sanitario, lavadora, llaves de manguera, tinas.), cada uno de estos aparatos presentará un cierto valor de caudal instantáneo mínimo correspondiente al caudal de descarga con el cual fue diseñado (caudal que en la práctica corresponde al caudal de descarga promedio de un aparato típico). El llamado caudal instantáneo máximo o caudal máximo posible es la suma de los caudales instantáneos debidos a cada uno de los aparatos sanitarios funcionando simultáneamente. Sin embargo el consumo real de esa edificación es menor que el resultado de hacer esta operación, puesto que el funcionamiento simultaneo de todos los aparatos en condiciones normales de funcionamiento nunca se presenta, no siendo fácil establecer, de forma general, cuantos lo estarán haciendo en un momento determinado debido a aspectos constructivos de los propios aparatos sanitarios y de sus griferías pero, sobre todo, a que son utilizados de forma discontinua, con frecuencias muy variadas que dependen de los tipos de edificaciones donde están ubicados, de los hábitos higiénicos de sus usuarios y de diversos factores socioeconómicos utilizándose, no obstante, diversos procedimientos para evaluar con prudente aproximación un factor de simultaneidad. El caudal máximo probable de una edificación hace referencia al caudal esperado en el sistema teniendo en cuenta la simultaneidad de uso mencionada anteriormente.

La Norma Colombiana dedicada a la regulación del Diseño de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias internas en edificaciones “NTC 1500 - Código Colombiano de Fontanería¹³”, recomienda determinar el caudal máximo probable en una edificación (caudal de diseño para el dimensionamiento de las redes internas) mediante el empleo de la metodología probabilística de la Curva de Hunter, que corresponde a un método de probabilidades propuesto por Roy Hunter (con base en estudios u mediciones realizadas a edificaciones en Estados Unidos) que no necesariamente se ajusta a las condiciones, características y patrones de consumo de la población Colombiana, y en el caso específico, la población de la ciudad de Bogotá, situación que se ha podido corroborar a través de estudios recientes realizados, en los cuales se ha demostrado que los caudales de diseño

¹¹Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

¹²Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.

¹³INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma NTC 1500 “Código Colombiano de Fontanería”. 2004.

obtenidos con esta metodología difieren significativamente de los consumos reales en dichas edificaciones.

A continuación se presenta algunos conceptos básicos importantes que son necesarios para comprender como se lleva a cabo la determinación del caudal de diseño empleado para el dimensionamiento de redes internas en edificaciones.

1.4.1 Caudal Máximo o Caudal Máximo Posible

Es la suma de los caudales instantáneos de todos los aparatos instalados funcionando simultáneamente. Para efectos de diseño este caudal no se tiene en cuenta, ya que la probabilidad que se presenta es prácticamente nula.

1.4.2 Caudal Promedio

Ocurre para condiciones normales de uso y es difícil de definir; además no podría coincidir con las condiciones de caudal y presión para cada aparato en situaciones de demanda pico.

1.4.3 Caudal Máximo Probable (Qc)

Es el caudal más alto que probablemente se puede presentar en cada tramo de tubería y con el que se puede diseñar el sistema, o el caudal efectivo de la tubería con el uso normal de los equipos sanitarios, teniendo en cuenta que todos los equipos sanitarios no funcionan al mismo tiempo, y se calcula multiplicando el caudal máximo posible por un factor de simultaneidad basado en la escasa probabilidad de que funcionen simultáneamente todos los aparatos de un mismo ramal y de que con el aumento del número de aparatos instalados esta probabilidad disminuye. El inconveniente de la aplicación de este método es la dificultad de obtener información sobre la utilización de los aparatos sanitarios, debido a los diferentes horarios y usos que se les da según tipo de establecimiento, sea que se trate de edificios de viviendas, oficinas, hoteles, etc., y en los que a su vez la probabilidad de uso es muy variada en función del equipamiento y las particularidades de sus griferías.

Este valor de Caudal Máximo Probable es el que se utiliza en el pre dimensionamiento de la red, para determinar el diámetro de cada uno de los tramos

1.4.4 Caudal Máximo Instantáneo

Es el caudal más alto que se presenta en la realidad en cada tramo de tubería y con el que se debería diseñar el sistema. Para su determinación es necesario llevar a cabo mediciones a un sistema real operando de manera normal durante un periodo de tiempo considerable, empleando aparatos de medición que permitan determinar con exactitud dicho caudal pico o máximo instantáneo, y para que los resultados puedan ser extrapolados a sistemas nuevos de condiciones similares, se requiere que el tamaño de la muestra sea representativo.

1.4.5 Caudal de Consumo Diario (Dotación)

Es el caudal de consumo en un día por habitante que presenta un tipo de edificación determinado.

La dotación está determinada por la Norma ICONTEC NTC 1500 “Código Colombiano de Fontanería”, en función del tipo de edificación.

1.5 Métodos para el cálculo de los caudales máximos probables en edificaciones^{14,15,16}

El consumo de agua de una edificación destinada para uso residencial, estudiantil, oficinas, hoteles, restaurantes, comercio, recreacional, varía en función de una serie de factores que inciden directamente en la cantidad de agua que es requerida simultáneamente para satisfacer la demanda de los usuarios y permitir el buen funcionamiento de los aparatos, lo cual se encuentra íntimamente ligado al hecho de la alta variabilidad de las actividades de sus ocupantes en los diferentes momentos del día.

Para fijar los diámetros óptimos de las tuberías que conducen el agua demandada en un sistema interno de abastecimiento de una edificación, se debe determinar a priori el pico máximo de consumo o caudal máximo probable “ Q_c ”, cuyo valor raramente corresponde con la operación simultánea de todos los aparatos de la instalación, siendo el objetivo principal de todos los métodos determinar este caudal máximo probable.

El máximo caudal probable Q_c es el dato base para el cálculo de las redes de distribución de agua, ya que éstas deben estar dimensionadas para esa circunstancia puntual, tratando de responder a la pregunta de cuantos aparatos de los instalados pueden coincidir abiertos simultáneamente en un cierto momento.

En términos generales, el problema se puede afrontar partiendo del número de puntos de consumo de agua que va a tener el edificio y considerar los distintos gastos de agua o caudales de los aparatos instalados en cada tramo de red, y aplicar a la suma de todos ellos un coeficiente reductor o factor probabilístico (factor de simultaneidad), obtenido con arreglo a algún criterio. En ocasiones este coeficiente en lugar de aplicarlo sobre el número de puntos de consumo se hace sobre unidades de equipamientos de aparatos sanitarios (viviendas, cuartos de baño, aseos, cocinas, etc. – Corresponde al concepto aplicado en el Método de Dawson y Bowman). Otro procedimiento consiste en obviar el número de puntos de consumo y considerar el caudal total instalado, obteniendo el caudal probable mediante alguna expresión probabilística o empírica, siendo este valor el utilizado en el dimensionado de la red para determinar el diámetro de cada uno de los

¹⁴ Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

¹⁵ Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.

¹⁶ Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.

tramos de redes de abastecimiento. En cualquier caso el primer paso para el diseño de la red es fijar los caudales instantáneos que han de poder suministrar los distintos aparatos sanitarios para dar un servicio satisfactorio a los usuarios.

En términos generales se han desarrollado, dejando aparte los casos de certeza total, tres metodologías para determinar los caudales o gastos de diseño para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua, basados unos en el número de aparatos existentes en la instalación y otros en los caudales instalados, los cuales se pueden clasificar en:

Métodos empíricos:

- Británico
- Dawson y Bowman

Métodos Semiempíricos:

- Raíz Cuadrada
- simultaneidad
- Racional
- Norma Española UNE 149201

Métodos Probabilísticos:

- Hunter
- Hunter modificado (NTC 1500)
- Hunter Unal
- Reglamento RIIDA Chileno

A continuación se hace una breve descripción y aplicación de cada uno de los métodos mencionados.

1.5.1 Métodos empíricos

En estos métodos, para un número dado de aparatos sanitarios en un sistema, se toma una decisión arbitraria (subjetiva), con base en la experiencia del diseñador, en relación al número de aparatos que pueden funcionar simultáneamente. En teoría, los métodos empíricos podrían considerarse los más adecuados para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos. Los más conocidos son:

- Método casos de certeza total

En algunos tipos de edificaciones, en función a su uso, puede darse el caso de tener completa seguridad que durante un período determinado de tiempo, un cierto grupo de aparatos sanitarios estarán todos ellos funcionando simultáneamente. Esta circunstancia suele darse en instalaciones de tipo colectivo muy concentrado, como sucede en: colegios, internados, cuarteles militares, cárceles, o las baterías sanitarias de un estadio durante los intervalos de descanso en los cuales es lógico suponer que por ejemplo, en el primer caso el grupo de duchas y en el segundo los urinarios funcionarán a la vez, ya sea por el régimen horario de la institución o por el desarrollo del evento. Estos casos particulares deben ser considerados de manera separada, es decir, se diseñarán los ramales del grupo de aparatos, teniendo en cuenta una simultaneidad del 100%.

- Método de presunción del gasto

Este método asume, que en la hora pico de consumo, posiblemente sean utilizados determinados aparatos sanitarios al mismo tiempo, permitiendo determinar un caudal probable instantáneo similar para cada edificación.

- Método Británico

Este método establece, con base en el criterio de un grupo de personas especializadas en el diseño de redes hidráulicas internas de edificaciones, tablas de "probables demandas simultáneas", correspondientes a diversas cargas potenciales. La siguiente tabla que hace parte del método, presenta las demandas para distintos aparatos sanitarios en l/m; después, considerando el sistema de distribución hidráulico, se suman las demandas de todos los aparatos sanitarios que puede servir una línea de tubería en el sistema, para ingresar a una segunda tabla con el número de litros por minuto que se calcularon, leer la probable demanda máxima simultánea en litros por minuto, y dimensionar la tubería que conducirá dicho flujo.

Tabla 1-7: Descargas aproximadas para muebles sanitarios en agua fría y agua caliente¹⁷

Muebles sanitarios	Descarga (l/m)
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*	75
*Caudal supuesto	

¹⁷Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas México D. F. 1991.

Tabla 1-8: Descargas simultaneas para muebles sanitarios¹⁸ (Ajustada por el autor)

Gasto Total (l/m)	Demanda Probable (l/m)	Porcentaje sobre el máximo posible
Hasta 12	100% del máximo posible	100,0%
53	49,2	92,8%
60,6	54,9	90,6%
68,1	60,6	89,0%
75,7	66,2	87,5%
87,1	71,9	82,5%
98,4	77,6	78,9%
113,6	85,2	75,0%
132,5	90,8	68,5%
151,4	98,4	65,0%
174,1	106	60,9%
200,6	113,6	56,6%
230,9	121,1	52,4%
268,8	128,7	47,9%
306,6	140,1	45,7%
318	147,6	46,4%
405	159	39,3%
465,6	170,3	36,6%
537,5	181,7	33,8%
617	196,8	31,9%
711,7	212	29,8%
817,6	230,9	28,2%
938,8	246,1	26,2%
1082,8	268,8	24,8%
1245,4	291,5	23,4%
1430,9	321,8	22,5%
1646,6	359,6	21,8%
1892,7	393,7	20,8%
Más de 1892,	20% del máximo posible	20,0%

- Método de Dawson y Bowman

El método desarrollado por Dawson y Bowman en la Universidad de Wisconsin EE.UU. es parecido al método anterior (Dawson fue profesor de hidráulica, responsable del departamento de ingeniería hidráulica y saneamiento de esta Universidad).

Este método consiste en unas tablas con el número total de muebles sanitarios existentes en varias clases distintas de vivienda: unifamiliar pequeña, unifamiliar grande y casas de apartamentos desde 2 hasta 6 unidades de viviendas, etc., en las que se especifica el número y la clase de aparatos sanitarios de que suelen disponer y que

¹⁸Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas México D. F. 1991.

podrían estar en uso simultáneo, para así determinarlos caudales de diseño. En la tabla siguiente se muestran los resultados que obtuvieron.

Tabla 1-9: Gastos de diseño recomendados para pequeñas instalaciones hidráulicas en edificios de apartamentos y vivienda unifamiliar¹⁹

Tipo de edificación	Muebles sanitarios	Gasto total (l/m)	Gasto de diseño (l/m)
Casa unifamiliar de familia pequeña	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	2 llaves de lavandería	60,56	30,28
	1 llave de fregadero	28,39	
	1 lavabo	18,93	18,93
	1 WC o inodoro*	11,36	11,36
	1 tina o regadera	37,85	
	<i>Sumatorias</i>	<i>194,94</i>	<i>79,5</i>
Casa unifamiliar de familia grande	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	2 llaves de lavandería	60,56	30,28
	1 llave de fregadero	28,39	
	3 lavabos	56,78	18,93
	3 WCs o inodoros*	34,07	11,36
	2 tinas o regaderas	75,7	37,85
	<i>Sumatorias</i>	<i>293,35</i>	<i>117,35</i>
Dos familias en una sola planta	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	4 llaves de lavandería	121,12	60,56
	2 llaves de fregadero	56,78	28,39
	2 lavabos	37,85	18,93
	2 WCs o inodoros*	22,71	11,36
	2 tinas o regaderas	75,7	
	<i>Sumatorias</i>	<i>352,01</i>	<i>138,17</i>
Cuatro familias en apartamentos	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	6 llaves de lavandería	181,68	90,84
	4 llaves de fregadero	113,55	56,78
	4 lavabos	75,7	18,93
	4 WCs o inodoros*	45,42	22,71
	4 tinas o regaderas	151,4	
	<i>Sumatorias</i>	<i>605,6</i>	<i>208,19</i>
Seis familias en apartamentos	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	8 llaves de lavandería	242,24	90,84
	6 llaves de fregadero	170,33	81,38
	6 lavabos	75,7	37,85
	6 WCs o inodoros*	68,13	22,71
	6 tinas o regaderas	227,1	37,85
	<i>Sumatorias</i>	<i>821,35</i>	<i>289,56</i>

* Todos los WC o inodoros se consideran de tanque. Si se utilizarán fluxómetros, úsese el valor de 113,55 l/m en las columnas 3 y 4 del WC

¹⁹Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas México D. F. 1991.

Para estimar el caudal máximo posible se tienen en cuenta los caudales individuales de la primera tabla presentada en el método Británico.

1.5.2 Métodos semiempíricos

Estos métodos, aunque se basan en la experiencia, tienen cierto sustento teórico, que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas.

- Método Alemán de la Raíz Cuadrada²⁰

Este método toma como unidad de gasto, la descarga de una llave de 3/8" bajo ciertas condiciones, y asigna un "factor de carga" unitario a dicho gasto.

Para cualquier otro aparato que tenga un gasto diferente, un factor de carga es establecido tomando una relación entre el gasto de éste y el "gasto unitario" (llave de 3/8") y elevando al cuadrado el resultado.

Así, el factor de carga para cada tipo de aparato en el edificio es multiplicado por el número de aparatos servidos por la tubería en cuestión, el resultado es sumado, y finalmente es obtenida la raíz cuadrada. El resultado es multiplicado por el gasto unitario de una llave de 3/8" para obtener el gasto de abastecimiento al edificio, cualquiera que éste sea. Para tuberías que sirven solamente una parte de los aparatos sanitarios en el edificio, serán considerados para la determinación del gasto de diseño, exclusivamente, los aparatos atendidos. La obtención de la raíz cuadrada considera, de una manera arbitraria, el hecho que los aparatos no trabajan simultáneamente.

La metodología es la siguiente:

- Considere una unidad de flujo o gasto, la cual es tomada normalmente como la de una llave de 3/8". Este gasto se asume que es de 0.25 l/s (4 gpm); esta unidad de gasto se denota con q_1 , y el factor de carga f_1 para la llave es tomado como unitario.
- Ahora, considere que se tienen n_1 llaves de este diámetro abastecidas por una tubería, cuya carga o gasto de diseño quiere ser determinada. Si se asume que n_1 de estos aparatos pueden operar simultáneamente en cualquier instante de observación, la carga de diseño será:

$$Q = q_1 \sqrt{f_1 n_1}$$

Ahora, a manera de ilustración, se puede considerar que se tienen también n_2 llaves de 3/4" abastecidas por la misma línea. Se considera que una llave de 3/4" tiene una demanda de 0.75 l/s en la tubería de abastecimiento, esto es, consume un gasto tres veces mayor que la llave de 3/8" (es decir: $0.75 \text{ l/s} \div 0.25 \text{ l/s} = 3$). El factor de carga f_2 para la llave de 3/4" será $3^2 = 9$.

²⁰Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas México D. F. 1991.

Así, la carga de diseño para los dos grupos de llaves será:

$$Q = q_1 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2}$$

O bien

$$Q = 0.25 \sqrt{n_1 + 9n_2}$$

Por tanto, generalizando, para cualquier clase de aparatos que son usados de manera intermitente en el sistema, se tiene como fórmula para la carga de diseño, la siguiente:

$$Q = 0.25 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2 + \dots + f_i n_i}$$

Donde:

Q= carga o gasto de diseño, en l/s.

f_1, f_2, f_i = factor de carga.

n_1, n_2, n_i = número de aparatos sanitarios por clase.

De la manera en que ha sido establecido, este método de determinación del gasto de diseño, ignora la frecuencia de uso, así como el intervalo de tiempo requerido para cada clase de aparato sanitario, y toma en cuenta solamente la demanda promedio de cada tipo de aparato; no considera también, si el uso es de tipo público o de tipo privado.

De la misma forma que en otros métodos, cualquier descarga continua tomada en consideración sumando el gasto de dicha descarga. Esto es, si además de la carga del sistema debida a los aparatos sanitarios que operan de manera intermitente en cortos intervalos de tiempo, se tienen n salidas, en donde cada una de ellas requiere un gasto continuo q en l/s, entonces la carga total para el sistema debe ser calculada mediante la fórmula:

$$Q = 0.25 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2 + \dots + f_i n_i + n q_1}$$

Así, esta última expresión, puede ser considerada en casos especiales de instalación, tales como baterías de lavabos o inodoros, los cuales están sujetos a un muy probable uso simultáneo.

- Método del Factor desimultaneidad²¹

Para la obtención del caudal máximo probable (Q_p) se hace preciso establecer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de simultaneidad.

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

²¹Melguizo, Samuel. Fundamentos de Hidráulica. Vol. 2. Pág. 97.

Esta fórmula es la establecida por la Norma Francesa NP 41-204 para toda clase de edificios, e igualmente se encuentra definida en el documento "Documents Techniques Unifiés sur les réseaux d'eaux immobilières. DTU 60.11", de octubre de 1988 (Instalación individual, párrafo 2, artículo 2.12 y artículo 2.2, instalación colectiva). Los caudales mínimos recomendados, en las unidades originales en que fue concebido el método, se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 1-10: Caudales mínimos para cada aparato.

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

La determinación del caudal máximo probable "Qp" se realiza como sigue:

$$Q_p = K_1 \cdot q_{m\acute{a}x}$$

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

Es necesario y muy común que se utilicen otras fórmulas genéricas, así como otras específicas para los diferentes tipos de edificios. En el caso de los hoteles es necesario un estudio particular, aunque generalmente el coeficiente de simultaneidad (K_1) se multiplica por un factor de 1,25. Para las escuelas internados, centros deportivos, gimnasios, cuarteles, etc. debe considerarse que todos los lavabos o las duchas pueden funcionar simultáneamente, salvo si la instalación está equipada con griferías de cierre temporizado, siendo necesario también en este caso un estudio particular. Para los hospitales, geriátricos, residencias para ancianos y oficinas el coeficiente de simultaneidad no está afectado por ningún factor corrector en particular. Para los restaurantes también se requiere un estudio específico; generalmente el coeficiente de simultaneidad se suele multiplicar en este caso por un factor de 1,5²².

En definitiva, la expresión de la Norma Francesa para el cálculo del caudal máximo probable "Qp" suele mayorarse de la siguiente forma:

$$Q_p(\text{Instalaciones estandar}) = K_1 \cdot q_{m\acute{a}x}$$

²²Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. Pancorbo Floristán. Barcelona. Abril de 2001.

$$Q_p(\text{Hoteles}) = 1,25 \cdot K_1 \cdot q_{m\acute{a}x}$$

$$Q_p(\text{Restaurantes}) = 1,50 \cdot K_1 \cdot q_{m\acute{a}x}$$

- Método Racional o Español²³

Al igual que en el caso del método anterior, el primer paso consiste en establecer los caudales de los aparatos instalados, se suman y se afectan los resultados por el coeficiente de simultaneidad K_1 , pero en éste caso n corresponderá al número de aparatos instalados en una vivienda.

En conjuntos de viviendas de similares características, para considerar la simultaneidad, el caudal punta Q_p del distribuidor común a un determinado número de las mismas se obtiene como la sumatoria de los caudales máximos de cada vivienda q_p afectado por el siguiente factor:

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

Donde N es el número de viviendas.

Para un buen funcionamiento de los aparatos, en la tabla siguiente se muestran los caudales mínimos que se deben suministrar.

Tabla 1-11: Caudales y presiones mínimos para cada aparato método Racional.

Aparato	Q (l/s)	P (kg/cm ²)	P (mca)
Lavabo	0,10	0,35	3,50
Sanitario con depósito	0,10	0,35	3,50
Ducha	0,20	1,00	10,00
Lavadero	0,20	0,35	3,50
Lavadora	0,20		
Lavaplatos	0,20		
Llave exterior	0,25		
Fregadero	0,20	0,35	3,50
Bidet	0,10	0,35	3,50
Bañera	0,30	1,00	10,00
"Oficce"	0,15	0,35	3,50
Fluxómetros	0,95 - 2,0	1,00	10,00
Nota: Según normatividad española			

²³Roca Suárez, Manuel y Carratalá Fuentes, Juan. Manual de Fontanería. Editorial CA. España. 2002.

- Método de la Norma Española UNE 149201^{24,25}

Esta norma UNE 149201 “Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios” consta de diversas partes, especificando un método de cálculo para dimensionar redes de tuberías, dentro de los edificios, para el abastecimiento de agua para consumo humano, en donde se recomienda acerca de la determinación del caudal de cálculo o caudal simultáneo que es, por otra parte, el que se propone en la Norma DIN 1998, teniendo diferentes coeficientes de simultaneidad dependiendo del tipo de construcción (Viviendas, hoteles, oficinas, centros comerciales, hospitales, escuelas y polideportivos), del caudal instantáneo mínimo de los aparatos sanitarios y del caudal total instalado.

Tabla 1-12: Caudales instantáneos mínimos para cada tipo de aparato.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría		Caudal instantáneo mínimo de agua caliente	
	(l/s)	(m ³ /h)	(l/s)	(m ³ /h)
Lavamanos	0,05	0,18	0,03	0,108
Lavabo	0,10	0,36	0,065	0,234
Ducha	0,20	0,72	0,10	0,360
Bañera ≥ 1,40 m	0,30	1,08	0,20	0,720
Bañera < 1,40 m	0,20	0,72	0,15	0,540
Bidé	0,10	0,36	0,065	0,234
Inodoro con cisterna	0,10	0,47	–	–
Inodoro con fluxómetro	1,25	4,50	–	–
Urinaris con grifo temporizado	0,15	0,54	–	–
Urinaris con cisterna (c/u)	0,04	0,14	–	–
Fregadero doméstico	0,20	0,72	0,10	0,360
Fregadero no doméstico	0,30	1,08	0,20	0,720
Lavavajillas doméstico	0,15	0,54	0,10	0,360
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,90	0,20	0,720
Lavadero	0,20	0,72	0,10	0,360
Lavadora doméstica	0,20	0,72	0,15	0,540
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	2,16	0,40	1,440
Grifo aislado	0,15	0,54	0,10	0,360
Grifo garaje	0,20	0,72	–	–
Vertedero	0,20	0,72	–	–

NOTA: Para aparatos de consumo no incluidos en esta tabla (hidromasajes, etc.) el fabricante debe facilitar el caudal mínimo instantáneo, y en su caso, la presión mínima para su correcto funcionamiento.

El caudal de cálculo o caudal simultáneo (Q_c) es el caudal utilizado para dimensionar los distintos tramos de la instalación, estableciéndose su valor a partir de la suma (Q_t) de los

²⁴ Asociación Española de Normalización y Certificación, Comité técnico AEN/CTN 149 Ingeniería del Agua. Norma Española UNE 149201 Abastecimiento de agua – Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios. Editada e impresa por AENOR. Madrid-España. Febrero de 2008.

²⁵ Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.

caudales instantáneos de cada aparato del tramo considerado reflejados en la tabla anterior, obteniéndose el caudal “simultáneo”o de cálculo, (Q_c) mediante la expresión empírica

$$Q_c = a \cdot (Q_t)^b + c$$

Dependiendo los coeficientes “a”, “b” y “c” del tipo de edificación tal como se indica la siguiente tabla.

Tabla 1-13: Valores de los coeficientes “a”, “b” y “c” en la expresión para el cálculo del caudal de diseño.

Obtención del caudal de diseño según Norma UNE 149201-2008					
Se efectúa mediante la siguiente función potencial: $Q_c = a \cdot (Q_t)^b + c$					
Edificios de viviendas					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			1,7	0,21	-0,7
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} < 0,5$ l/s		0,682	0,45	-0,14
	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s	$Q_t \leq 1$ l/s	1	1	0
		$Q_t > 1$ l/s	1,7	0,21	-0,7
Edificios de oficinas					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			0,4	0,54	0,48
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} < 0,5$ l/s		0,682	0,45	-0,14
	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s	$Q_t \leq 1$ l/s	1	1	0
		$Q_t > 1$ l/s	1,7	0,21	-0,7
Edificios de hoteles					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			1,08	0,5	-1,83
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} < 0,5$ l/s		0,698	0,5	-0,12
	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s	$Q_t \leq 1$ l/s	1	1	0
		$Q_t > 1$ l/s	1	0,366	0
Edificios de centros comerciales					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			4,3	0,27	-6,65
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} < 0,5$ l/s		0,698	0,5	-0,12
	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s	$Q_t \leq 1$ l/s	1	1	0
		$Q_t > 1$ l/s	1	0,366	0
Edificios de hospitales					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			0,25	0,65	1,25
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} < 0,5$ l/s		0,698	0,5	-0,12
	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s	$Q_t \leq 1$ l/s	1	1	0
		$Q_t > 1$ l/s	1	0,366	0
Escuelas, polideportivos					
Coeficientes			a	b	c
$Q_t > 20$ l/s			-22,5	-0,5	11,5
$Q_t \leq 20$ l/s	$Q_{min} \geq 0,5$ l/s		1	1	0
	$Q_t > 1$ l/s		4,4	0,27	-3,41

Los caudales totales (Q_t) se clasifican en mayores de 20 l/s (más de 10 viviendas estándar con 7 aparatos sanitarios y un caudal instalado del orden de 2 l/s equivalente a los suministros tipo “E” de la anulada Norma Básica) y en menores o iguales a estos 20 l/s. A su vez estos últimos se subdividen en aquellas instalaciones en las que todos los aparatos tienen un consumo menor de 0,50 l/s (son la mayoría de los edificios) y las que tienen algún aparato con un consumo igual o superior a 0,5 l/s (edificios con inodoros con fluxómetros y/o lavadora industrial). A continuación se presentan las curvas mediante las cuales se determina el caudal de diseño según la Norma UNE 149201-2008 en España, en función al tipo de edificación, así como la ecuación y coeficientes presentados anteriormente.

Figura 1-3: Curva de caudal de diseño para edificios de viviendas según Norma UNE 149201-2008.

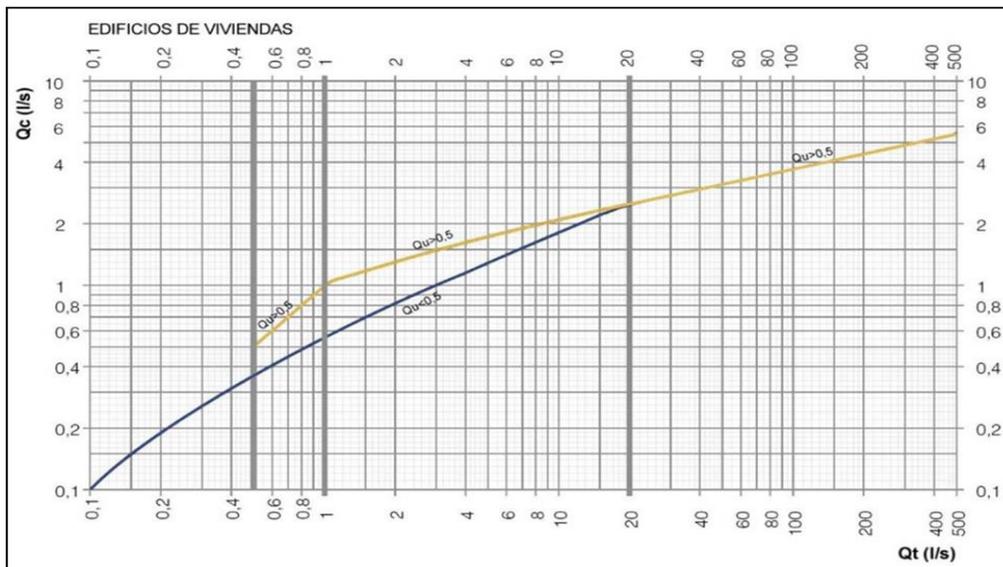
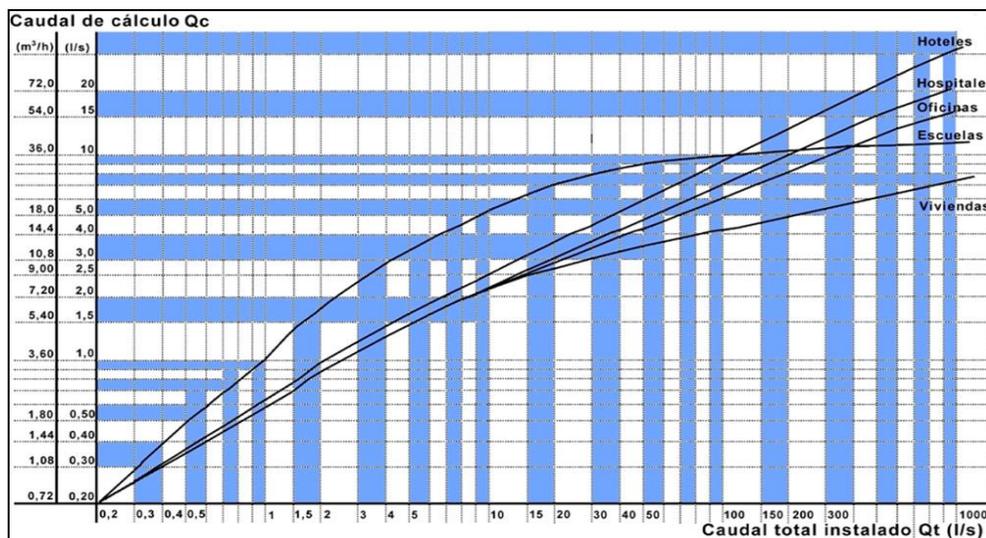


Figura 1-4: Curvas de caudal de diseño para diferentes tipos de edificaciones según Norma UNE 149201-2008.



1.5.3 Métodos probabilísticos

La teoría de la probabilidad, aunque es la más racional, es de dudosa aplicación cuando se trata del diseño de instalaciones hidráulicas en edificios con escasos aparatos sanitarios; además, los caudales y frecuencias de uso considerados en alguno de los procedimientos (por ejemplo en el método probabilístico de Hunter), son demasiado altas para algunos de los países que han debido de adaptarlas para su aplicación o para incorporarlas a sus normas.

- Método de Hunter²⁶

Otra forma de afrontar el problema de determinar el caudal de diseño de las redes de abastecimiento de una edificación es mediante el cálculo de probabilidades desarrollado e introducido por el Dr. Roy Hunter del National Bureau of Standards de los Estados Unidos en 1932.

En el año 1940 la Oficina Nacional de Normas del Departamento de Comercio de los Estados Unidos publicó el método de Roy B. Hunter, con el título "Methods of estimating load in Plumbing systems". Se trata de la primera aplicación de la teoría de la probabilidad, en la determinación de los caudales probables en sistemas hidráulicos y sanitarios y aunque desde entonces se han producido importantes cambios en el diseño de los aparatos sanitarios y en las griferías que los alimentan, orientados a reducir drásticamente los consumos de agua, la metodología utilizada es precisa y válida y, en consecuencia, es la más aceptada no solo por los diseñadores norteamericanos sino también, con modificaciones, por los profesionales de su área de influencia tecnológica.

El método se basa en el concepto de que únicamente unos pocos aparatos, de todos los que están conectados al sistema, entrarán en operación simultánea en un instante dado. El efecto de cada aparato que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de:

- Caudal del aparato: la rata de flujo que deja pasar el servicio (q).
- Frecuencia de uso: tiempo entre usos sucesivos (T).
- Duración de uso: tiempo que el agua dura fluyendo para atender la demanda del aparato (t).

Hunter asumió inicialmente que la operación de los aparatos era aleatoria; aunque esto no es totalmente cierto, es una buena base y permite tener tolerancias cuando el problema no se comporta como tal. Hunter, además, determinó la frecuencia de uso de todos los aparatos basado en datos tomados en edificaciones; el método es aplicable a grandes grupos de elementos, ya que la carga de diseño es tal que tiene cierta probabilidad de no ser excedida (aunque lo puede ser en pocas ocasiones).

Para un sistema con pocos aparatos, que se diseñe según la teoría de probabilidades, la carga adicional que se crea por un elemento más recargaría el sistema al punto de

²⁶Granados, Jorge. Redes Hidráulicas y Sanitarias en Edificios. Editorial UNIBIBLOS. Bogotá. 2002.

causar inconvenientes tanto al sistema de suministro como al sistema de drenaje; cuando se tienen bastantes aparatos, la sobrecarga no interfiere.

En edificaciones como hoteles y apartamentos los elementos están sujetos a congestión a ciertas horas del día; el problema es determinar la carga de diseño para un funcionamiento satisfactorio. Según Hunter, se tiene en funcionamiento satisfactorio cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar la carga de demanda para el número m del total de n aparatos del edificio, de tal forma que no más de m serán encontrados en uso simultáneo por más del 1% del tiempo.

El valor del 1% fue escogido por Hunter arbitrariamente y sigue utilizándose desde 1940 con mucho éxito, pero es posible que con el 2% todavía se logren diseños adecuados. Solamente tomando datos locales de caudales de consumo y evacuación se puede conjeturar al respecto.

Aplicación del criterio de diseño del 1%

Si se considera que en una instalación de n aparatos, un número m de éstos se encuentre en funcionamiento simultáneo por más del 1% del tiempo, se puede expresar así:

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_{m-1} + P_m = 0.99$$

P es la probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando. Los términos faltantes de la serie son:

$$P_{m+1} + P_{m+2} + \dots + P_{n-1} + P_{nn} < 0.01$$

Escrito de otra forma:

$$P = \sum_{r=m+1}^{r=n} \binom{n}{r} \cdot (1-p)^{n-r} \cdot p^r \leq 0.01$$

Que corresponde a la forma dada en las tablas de distribución binomial de probabilidades, excepto que la expresión $(1-p)$ reemplaza al término q de las tablas.

Ejemplo:

En un sistema hipotético de 100 aparatos con válvula de fluxómetro, se asume que cada aparato se usa en promedio cada 5 minutos (300 segundos) y que el tiempo de funcionamiento es de 9 segundos.

$$p = \frac{t}{T} = \frac{9}{300} = 0.03$$

La probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando es:

$$P_0^n = \binom{n}{0} \cdot (1-p)^{n-0} \cdot p^0 = (1-p)^n = (1-0.03)^{100} = 0.048$$

Las otras probabilidades se plantean a continuación:

$$P_1^n = \binom{n}{1} \cdot (1 - p)^{n-1} \cdot p^1 = \frac{n!}{r!(n-r)!} \cdot (1 - p)^{n-1} \cdot p$$

$$P_1^n = \frac{100!}{1!(100-1)!} \cdot (1 - 0.03)^{100-1} \cdot 0.03 = 0.147$$

$$P_2^n = 0.225, \quad P_3^n = 0.227, \quad P_4^n = 0.1705, \quad P_5^n = 0.1013, \quad P_6^n = 0.0496,$$

$$P_7^n = 0.0206, \quad P_8^n = 0.0074, \quad P_9^n = 0.0023, \quad P_{10}^n = 0.00065$$

Si se suman estos valores, se encuentra que el más pequeño número de aparatos para el que la suma excede el 0,99 es 8. Por lo tanto, se diseñará para que 8 aparatos de 100 instalados funcionen simultáneamente. El caudal de diseño de la tubería será:

$$Q_{diseño} = m \cdot q = 8 \cdot q$$

q es el caudal promedio que utiliza uno de los aparatos supuestos.

Hunter se ideó la forma de aplicar el método a sistemas con aparatos de diferente clase asignando el peso o influencia de un aparato con respecto a los demás; entonces, el número que identifica un aparato será una relación del número de válvulas de fluxómetro que producen un caudal determinado al número de aparatos de otro tipo que producen el mismo caudal.

$$Unidades \text{ para un aparato} = \frac{\text{Número de fluxómetros}}{\text{No. de aparatos de otro tipo}} \cdot \text{Unidades asignadas al fluxómetro}$$

Los valores aceptados por la mayoría de códigos para los diferentes aparatos se muestran en la tabla siguiente.

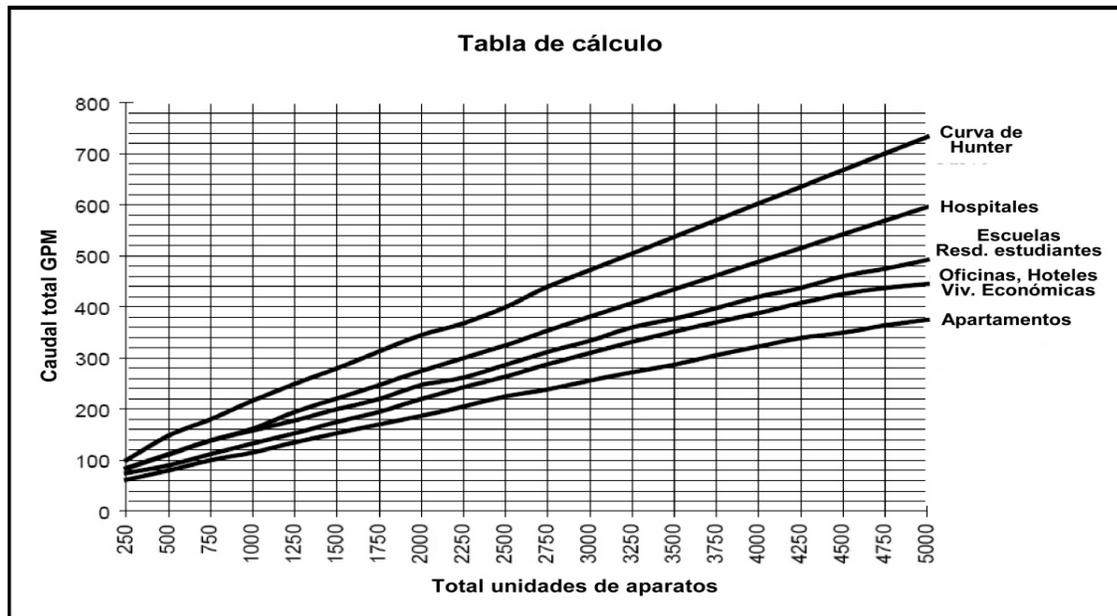
Tabla 1-14: Unidades de diferentes aparatos.

Aparato o Grupo	Tipo de uso	Tipo de suministro	Unidades de Aparato		Total
			Agua Caliente	Agua Fría	
Sanitario	Público	Fluxómetro		10	10
Sanitario		Tanque		5	5
Orinal Pedestal		Fluxómetro 1"		10	10
Orinal Pared		Fluxómetro 3/4"		5	5
Lavamanos			1.5	1.5	2
Tina			3	3	4
Regadera ducha		Mezclador	3	3	4
Lavaplatos		Mezclador	3	3	4
Sanitario		Privado	Fluxómetro		6
Sanitario	Tanque			3	3
Lavamanos	Mezclador		0.75	0.75	1
Tina	Mezclador		1.5	1.5	2
Regadera ducha	Mezclador		1.5	1.5	2
Grupo de Baño	Sanitario Flux		2.25	6.75	8
Grupo de Baño	Sanitario Tanque		2.25	4.5	6
Lavaplatos	Mezclador		1.5	1.5	2
Lavadora			2.25	2.25	3

Es importante resaltar que este valor de unidades sanitario Unidades de aparato sanitario, tal como se ha indicado anteriormente, no es un caudal de gasto sino un simple valor.

Como resultado de los estudios adelantados por Hunter en diferentes edificaciones de los Estados Unidos, se obtuvo curvas de caudal máximo probable en función a las unidades sanitarias totales del sistema para 5 tipos de edificaciones diferentes y finalmente la curva de demanda Hunter, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1-5: Curva de caudales probables en función del número de aparatos instalados – Grafica de Hunter²⁷



Caudales típicos basados en el Informe BM-65 "Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems" del Dr. Roy Hunter

En el método Hunter, no existe una fórmula determinada, y en rara ocasión se hace correlación con alguna.

- Método de Hunter modificado (Norma NTC 1500)^{28,29}

Este método se deriva del anterior; y la obtención de las unidades de consumo se realiza de forma idéntica; la modificación se da en la lectura del caudal máximo probable, que se halla de las siguientes figuras, donde se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usa el método original.

²⁷Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. Pancorbo Floristán. Barcelona. Abril de 2001.

²⁸Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría "Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

²⁹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma NTC 1500 "Código Colombiano de Fontanería". 2004.

Figura 1-6: Curva de Demanda de Hunter Modificada

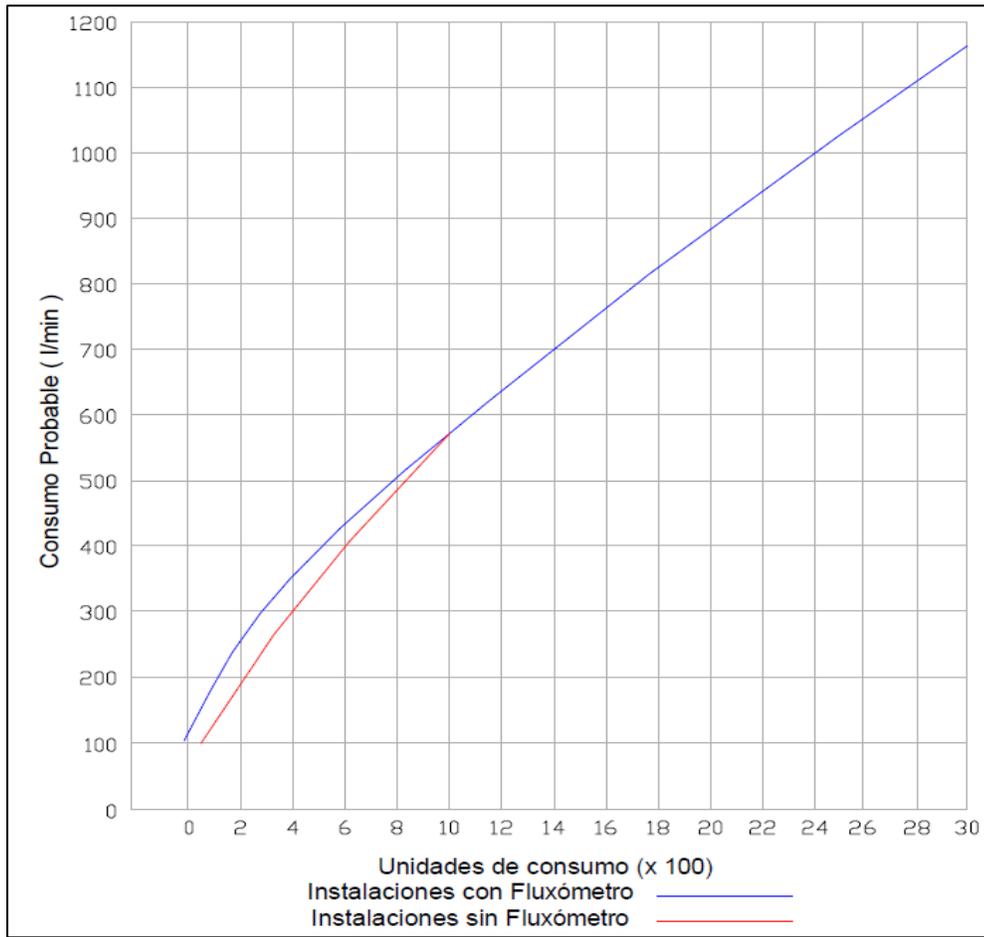
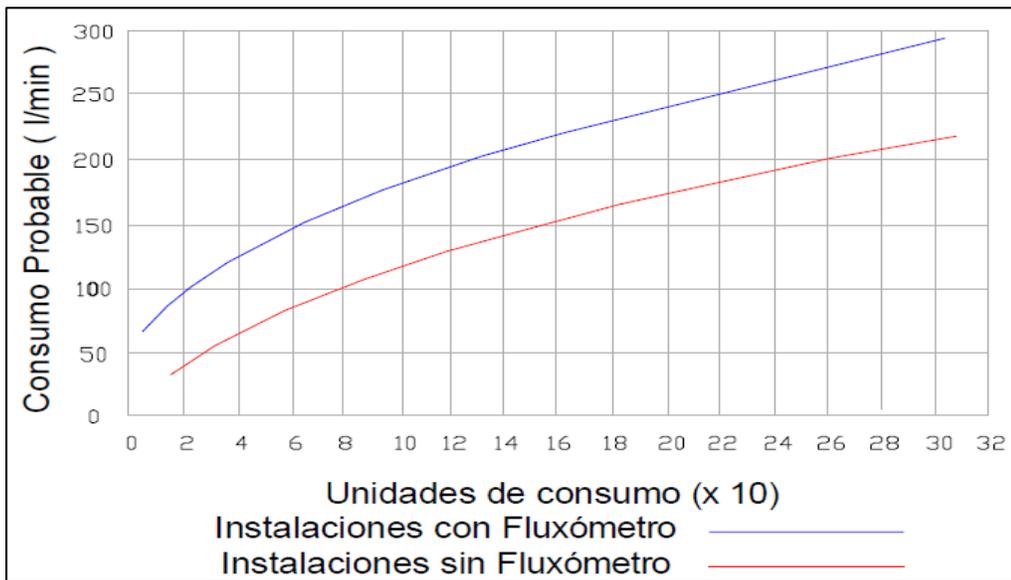


Figura 1-7: Curva de Demanda de Hunter Modificada (Detalle zona de modificación)



Igualmente, algunos autores han hecho el esfuerzo de correlacionar dicha curva con ecuaciones de tipo potencial, a continuación se presenta algunas de estas ecuaciones discriminadas en función a si los aparatos instalados son comunes o cuentan con fluxómetro, y las cuales dividen la curva de Hunter en 2 partes, una comprendida entre 3 y 240 Unidades de Consumo, y la otra entre 260 y 1000 Unidades de Consumo.

Para $3 < (\Sigma U.C.) < 240$

$$\text{Instalaciones hidráulicas con aparatos comunes: } Q_c = 0.1163 \cdot (\Sigma U.C.)^{0.6875}$$

$$\text{Instalaciones hidráulicas con aparatos con fluxómetro: } Q_c = 0.7243 \cdot (\Sigma U.C.)^{0.3840}$$

Para $260 < (\Sigma U.C.) < 1000$

$$\text{Instalaciones hidráulicas con aparatos comunes: } Q_c = 0.0740 \cdot (\Sigma U.C.)^{0.7504}$$

$$\text{Instalaciones hidráulicas con aparatos con fluxómetro: } Q_c = 0.3356 \cdot (\Sigma U.C.)^{0.5281}$$

- Método de Hunter Unal para Colombia³⁰

Este método surgió de los trabajos de grado sobre los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos y de medición de caudales en campo para diferentes edificaciones en la ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, así como edificaciones de tipo residencial y oficinas en la ciudad de Bogotá, adelantados entre los años 2004 y 2006 por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos "GIREH" de la Facultad de Ingeniería, sección académica de Hidráulica, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, dirigidos por el Ing Msc Rafael Orlando Ortiz Mosquera, como respuesta a los resultados obtenidos en dichos trabajos de investigación.

Una vez analizado los resultados obtenidos en los trabajos realizador por el GIREH al aplicar los diferentes métodos para el cálculo del caudal máximo probable, en las diferentes edificaciones estudiadas, y comparando los mismos con el caudal máximo instantáneo medido, se observó que el método que más se aproximaba a los resultados medidos era el método racional, y en segundo lugar el método de Hunter.

La principal diferencia entre estos dos métodos, es que el método racional es un método semi-empírico, mientras que el método de Hunter tiene una sustentación probabilística, que incluye variables propias del cálculo del caudal máximo probable, tales como: el caudal del aparato, el tiempo entre usos sucesivos de los aparatos y la duración de uso.

³⁰Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría "Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

En vista de lo anterior, los investigadores del GIREH decidieron utilizar el método de Hunter como método base para la adaptación de una nueva metodología de cálculo del caudal máximo probable, usando los mismos principios probabilísticos del método original, para establecer la simultaneidad en el uso de los aparatos.

A esta nueva alternativa de diseño se le denominó "Método de Hunter para Colombia" o simplemente "Método de Hunter Unal", la cual consideró los cambios en los aparatos a abastecer (comparados con los aparatos estudiados en el método original), y se adaptó a las condiciones locales medidas en las diferentes edificaciones estudiadas en dichas investigaciones.

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

1. **La duración de uso de las válvulas de tanque:** lo que incide en la probabilidad del uso simultáneo de los aparatos. Este cambio se sustenta en que los aparatos sanitarios de tanque que se utilizan hoy en día, son en su gran mayoría ahorradores de agua, con tanques de 6 litros, con tiempo de llenado alrededor de 30 segundos (este valor varía en función de la presión residual en el aparato) y difiere mucho del valor original asumido por Hunter de 60 segundos (tiempo de llenado de los tanques antiguos de volúmenes mayores a los actuales).
2. **El caudal del aparato:** El método de Hunter original, tomó como base el caudal de un fluxómetro equivalente a 27 GPM ó 1,70 l/s, dicho valor ha ido cambiando con la implementación de nuevos sistemas de fluxómetro economizadores de agua, que según catálogos comerciales y diferentes fabricantes, oscilan alrededor de 20 GPM ó 1,26 l/s.

La reducción de los caudales promedio de los aparatos con respecto al método original, permitió establecer caudales más acordes con las demandas de los aparatos actuales; sin embargo, el caudal promedio a usar solo se podrá establecer con mayor exactitud con un exhaustivo estudio sobre caudales y presiones de funcionamiento en los aparatos que se encuentren en el mercado al momento de aplicación o normalización del método.

Las modificaciones realizadas al Método de Hunter en estos trabajos de investigación adelantados por el GIREH, son un primer intento en la adecuación de las técnicas de diseño de redes internas en edificaciones para las condiciones propias de Colombia, y se basan exclusivamente en los resultados de los afros realizados en 8 diferentes edificaciones, con diferentes usos, por tanto está sujeto a modificaciones y/o comprobaciones, calibraciones y validaciones.

La aplicación del método sigue el mismo principio del Método de Hunter Original y el Método de Hunter de la NTC 1500, y la obtención de las unidades de consumo se realiza de forma idéntica; la modificación se da en la lectura del caudal máximo probable, que se halla a partir de las gráficas de Unidades de Consumo Vs caudal obtenidas por los investigadores del GIREH, donde se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usan los otros dos métodos, en función a caudales de aparatos actuales y tiempos de llenado menores.

Figura 1-8: Curva de caudal máximo probable Método de Hunter Unal (de 0 a 1000 unidades).

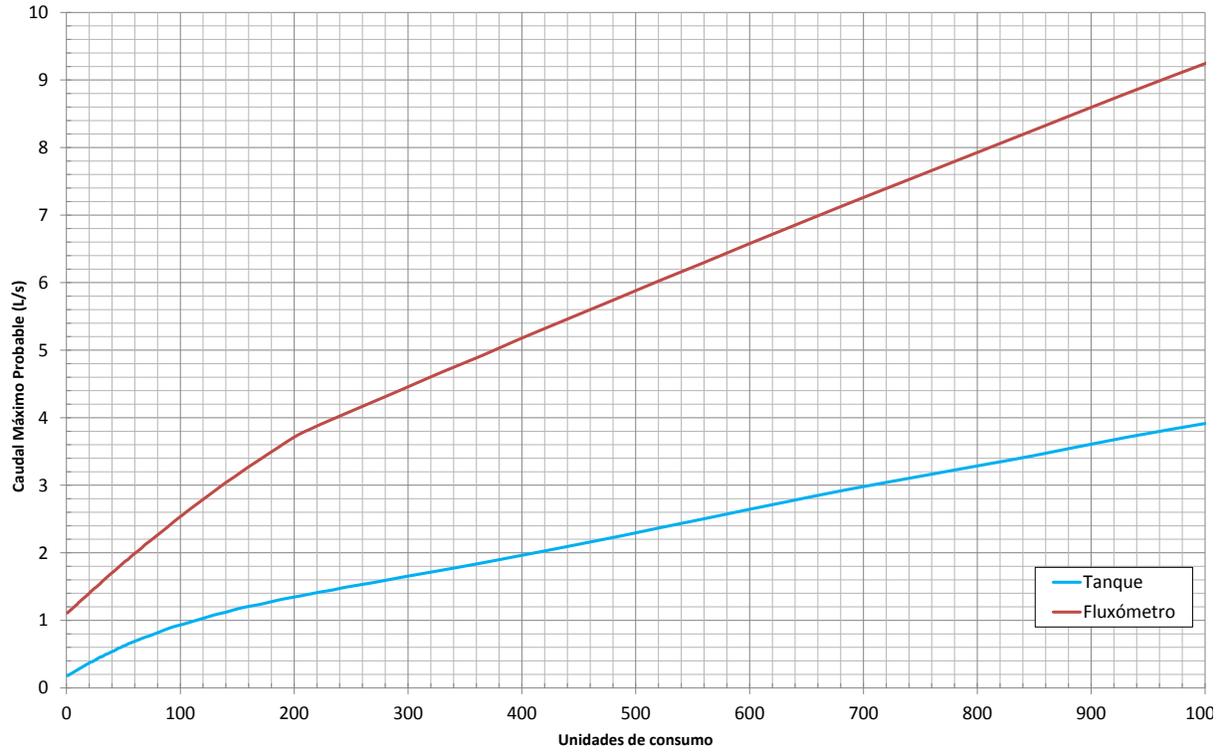
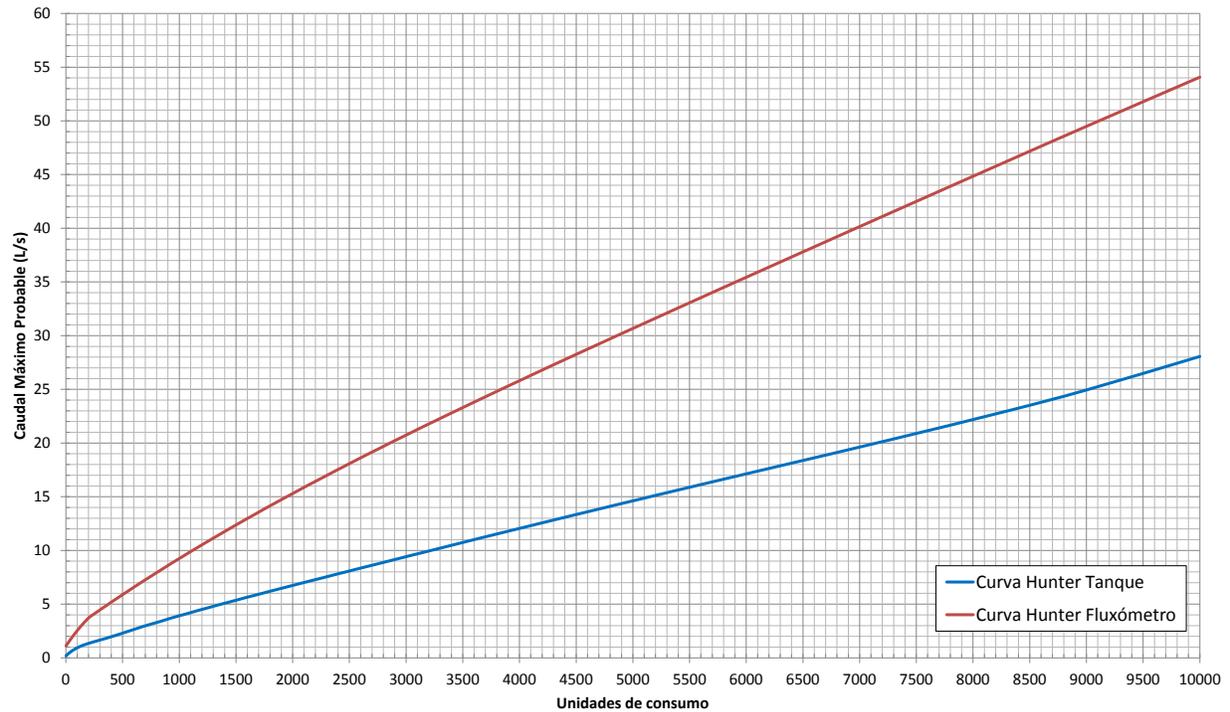


Figura 1-9: Curva de caudal máximo probable Método de Hunter Unal (de 0 a 10000 unidades)



Para facilitar el empleo del método, los autores elaboraron una tabla en la cual se encuentra consignado los valores de caudales máximos probables para aparatos de tanque y de fluxómetro en función al número de unidades sanitarias o de consumo, correspondiente a las mismas curvas presentadas anteriormente; dicha tabla se presenta a continuación.

Tabla 1-15: Caudal máximo probable Vs Unidades de consumo, Método de Hunter Unal

CAUDAL MÁXIMO PROBABLE MÉTODO DE HUNTER UNAL PARA COLOMBIA								
Unidades	Caudal (l/s)		Unidades	Caudal (l/s)		Unidades	Caudal (l/s)	
	Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque		Fluxómetro	Tanque
1	1.11	0.18	66	2.07	0.73	775	7.76	3.21
2	1.13	0.19	69	2.12	0.75	811	8	3.32
3	1.14	0.2	73	2.17	0.77	850	8.26	3.44
4	1.16	0.21	76	2.21	0.79	931	8.8	3.71
5	1.17	0.22	82	2.29	0.83	1009	9.3	3.94
6	1.19	0.23	88	2.37	0.87	1091	9.83	4.18
7	1.2	0.24	95	2.47	0.91	1173	10.35	4.43
8	1.22	0.25	102	2.56	0.94	1254	10.86	4.66
9	1.23	0.26	108	2.64	0.97	1335	11.36	4.9
10	1.25	0.27	116	2.74	1.01	1418	11.87	5.13
11	1.27	0.28	124	2.84	1.05	1500	12.37	5.36
12	1.28	0.29	132	2.94	1.09	1583	12.87	5.6
13	1.3	0.3	140	3.04	1.12	1668	13.37	5.83
14	1.31	0.31	148	3.13	1.16	1755	13.89	6.07
15	1.33	0.32	158	3.25	1.2	1845	14.41	6.32
16	1.34	0.33	168	3.36	1.23	1926	14.88	6.54
18	1.37	0.35	176	3.45	1.26	2018	15.4	6.79
20	1.4	0.37	186	3.56	1.3	2110	15.93	7.04
21	1.42	0.38	195	3.66	1.33	2204	16.45	7.29
23	1.45	0.39	205	3.76	1.36	2298	16.97	7.54
25	1.48	0.41	214	3.83	1.39	2388	17.47	7.79
26	1.49	0.42	223	3.9	1.42	2480	17.97	8.03
28	1.52	0.44	234	3.98	1.45	2575	18.49	8.29
30	1.55	0.46	245	4.06	1.49	2670	19	8.54
31	1.57	0.46	270	4.24	1.56	2765	19.5	8.79
33	1.6	0.48	295	4.42	1.64	2862	20.02	9.05
35	1.63	0.5	329	4.67	1.74	2960	20.53	9.31
37	1.66	0.51	365	4.92	1.85	3060	21.05	9.58
39	1.69	0.53	396	5.15	1.95	3150	21.52	9.81
42	1.73	0.55	430	5.39	2.06	3620	23.91	11.06
44	1.76	0.57	460	5.6	2.16	4070	26.15	12.23
46	1.79	0.59	490	5.81	2.26	4480	28.16	13.29
48	1.82	0.6	521	6.03	2.37	5380	32.49	15.58
50	1.85	0.62	559	6.29	2.5	6280	36.76	17.83
52	1.88	0.63	596	6.55	2.63	7280	41.47	20.33
54	1.9	0.65	631	6.79	2.75	8300	46.24	22.98
57	1.95	0.67	666	7.03	2.87	9000	49.49	24.94
60	1.99	0.69	700	7.26	2.98	10000	54.07	28.06
63	2.03	0.71	739	7.52	3.1			

- Método del Reglamento RIIDA Chileno^{31,32}

El reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDDA) de Chile, elaborado por el Ministerio de Obras Públicas en el año 2003, establece las disposiciones técnicas que regulan el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de las instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado de aguas servidas en ese país.

Para la determinación del gasto máximo probable, esta norma propone una ecuación de tipo potencial basada en conceptos probabilísticos (basados a la curva de consumos de Hunter) mediante los cuales se cuantifica el máximo caudal con el que deben diseñarse las instalaciones de agua potable de inmuebles que tienen una determinada característica de consumo.

En esta metodología se requiere determinar los gastos o caudales de cada uno de los aparatos instalados en función a la siguiente tabla.

Tabla 1-16: Gasto instalado de llaves de agua potable en artefactos sanitarios

TIPO DE APARATO	GASTO (L/min)	
	AGUA FRÍA	AGUA CALIENTE
INODORO CORRIENTE	10	
INODORO CON VALVULA AUTOMATICA	Especificaciones del fabricante	
BAÑO LLUVIA	10	10
BAÑO TINA	15	15
LAVATORIO	8	8
BIDET	6	6
URINARIO CORRIENTE	6	
URINARIO CON VALVULA AUTOMATICA	Especificaciones del fabricante	
LAVAPLATOS	12	12
LAVADERO	15	15
LAVACOPAS	12	12
BEBEDERO	5	
SALIVERA DENTISTA	5	
LLAVE DE RIEGO 13 mm	20	
LLAVE DE RIEGO 19 mm	50	
URINARIO CON CAÑERÍA PERFORADA/m	10	
DUCHA CON CAÑERÍA PERFORADA/m	40	

³¹ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDDA). Santiago de Chile. Enero 28 de 2003.

³² Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. Pancorbo Floristán. Barcelona. Abril de 2001.

La suma de los gastos instalados con agua fría determinará el gasto máximo instalado en L/min.

El gasto máximo probable (QMP) en L/min, se calcula a partir del gasto instalado mediante la siguiente fórmula:

Ramales con grifería corriente:

$$Q.M.P = 1.7391 \cdot QI^{0.6891}$$

Dónde:

Qi= Gasto instalado en L/min.

Q.M.P= Gasto Máximo Probable en L/min.

Para ramales con válvulas automáticas se deberán cumplir con las especificaciones del fabricante. El gasto máximo probable total de una instalación con ramales que cuenten simultáneamente con grifería corriente y válvulas automáticas. (instalaciones mixtas), está dado por la suma de los gastos máximos probables independientes de ambos tipos de artefactos.

Como se puede observar, la ecuación que permite determinar el Caudal Máximo probable es de tipo potencial, y se encuentra formulada en función al caudal instalado total de la edificación, así como en el caso del método de Hunter, exceptuando que en este último el caudal instalado se reemplaza por las unidades sanitarias.

1.6 Medición de caudal entregado a un usuario

Para llevar a cabo el proceso de micromedición en un sistema, se suele disponer de medidores a la entrada del predio de cada usuario (ya sea residencial, institucional o comercial) que permiten hacer lecturas periódicas de los volúmenes consumidos en una franja de tiempo determinada (Para Bogotá esta franja de lectura suele ser bimensual para los usuarios residenciales). Estos equipos de medición suelen ser de dos tipos, volumétricos o de velocidad (Chorro único y chorro múltiple), y en función a su exactitud en la medición (clase B y Clase C), se puede conocer con mayor aproximación el consumo real de un suscriptor. La implementación de un equipo de medición adecuado a los usuarios, en función a sus características de consumo, permite reducir los errores de medición, y por ende el componente de pérdidas comerciales del IANC.

En Bogotá, la EAAB suele instalar a los usuarios residenciales, medidores (clase B) de tipo volumétrico y de velocidad, de 1/2" de diámetro. Las especificaciones técnicas y metrológicas, así como los requisitos de pérdida de presión para esta clase de medidores de agua potable se encuentran Normalizadas (Norma SISTEC-EAAB) y se pueden consultar en la norma técnica NP-004 MEDIDORES DOMICILIARIOS DE AGUA POTABLE FRÍA.

A continuación se revisará dos aspectos básicos relacionados con los medidores de agua de los usuarios o micro medidores, referentes a los tipos de medidor disponibles actualmente en el mercado y sus características metrológicas en función a la curva de error.

1.6.1 Medidores de caudal^{33,34}

Los medidores de agua son dispositivos de medición empleados por la mayoría de empresas prestadoras del servicio de agua potable para conocer el volumen de agua suministrado aguas abajo del mismo entre dos lecturas, información que se utiliza para procesos de facturación de los consumos de los suscriptores.

Estos medidores no son precisamente caudalímetros (dispositivos para determinar el caudal instantáneo), puesto que disponen de un mecanismo totalizador del volumen trasegado, aunque al conocer el volumen consumido durante un cierto periodo de tiempo, es posible determinar el caudal medio circulante.

Hoy en día se han venido desarrollando modelos de medidores que incorporan circuitos electrónicos capaces de realizar funciones adicionales como la determinación de caudales máximos y mínimos instantáneos, curvas patrón de consumos, tiempo de giro y tiempo de paro, fugas, entre otros, así como sistemas de emisores de pulsos capaces de dar una señal eléctrica cada vez que el totalizador contabiliza un volumen determinado, y transmitir dicha señal a un sensor análogo o un datalogger que permite la acumulación de dicha información, e incluso, si el sistema de medición dispone de una salida remota, dicha señal pueda ser enviada vía internet o telefónica a un centro de control, sin necesidad de requerir ir a campo a recoger los datos.

Estos dispositivos de medición, para el caso particular de los usuarios residenciales de un sistema de suministro de agua potable, se instalan a la entrada de la vivienda de cada usuario cuando este es individual (como las casas), o instalados en un tablero de contadores o centro de medición cuando se trata de un conjunto de viviendas agrupadas (como los edificios de apartamentos).

1.6.2 Tipos de medidores de caudal

Actualmente se utiliza básicamente dos tecnologías diferentes para el registro del flujo de agua que pasa a través de un medidor de agua doméstico o residencial, clasificando a estos medidores en: volumétrico y de velocidad o Turbina (que a su vez se subdividen en chorro único o chorro múltiple)^{35,36,37}

³³Arregui de la Cruz, Francisco. Tesis Doctoral "Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento". Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. 1998.

³⁴ Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría "Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

³⁵Norma SISTEC-EAAB. NT-001 "MEDIDORES DE AGUA POTABLE, DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN". Bogotá. Septiembre 09 de 2009.

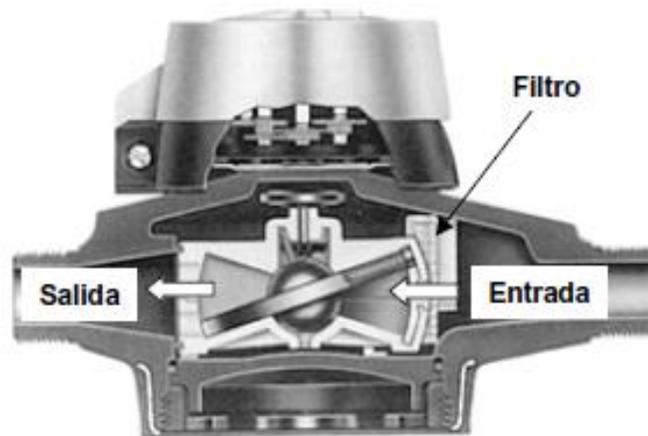
- Volumétricos.

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

Este medidor presenta como ventaja el hecho de funcionar adecuadamente indiferente del fluido que se esté midiendo sin importar su viscosidad dado que mide directamente el volumen del mismo. Así mismo no se ve afectado por turbulencias en el fluido.

Presenta el inconveniente de ser afectado por aguas arenosas o con tendencia a formar depósitos, ya que estas partículas dejan huellas y permiten el paso de agua sin contabilizar.

Figura 1-10: Corte transversal de un medidor volumétrico de disco oscilante.



Estos medidores presentan pérdidas de presión considerables y por lo general su tamaño es moderado (hasta 100 mm) dado que al aumentar su tamaño producen ruidos excesivos y su mantenimiento y reparación constituyen costos elevados.

- De velocidad.

Corresponde a los medidores que aforan el consumo de acuerdo con un dispositivo de medida de velocidad, tal como un rotor, hélice o turbina, colocado dentro de un conducto

³⁶ Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

³⁷ Palau Estevan, Carmen Virginia. Tesis Doctoral “Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión”. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. Abril de 2005.

cerrado y accionado directamente por la velocidad del flujo de agua que impacta sobre la turbina. La contabilización del consumo de agua se realiza totalizando el número de vueltas de la turbina cuando el agua incide sobre ella. La velocidad de giro de la turbina es proporcional al caudal circulante en cada momento, lo que permite que se transmita luego, mediante procedimientos mecánicos o de alguna otra naturaleza, al mecanismo indicador, el cual totaliza e indica el volumen. Es precisamente debido a que el factor de proporcionalidad no se mantiene constante en todo el rango de caudales, sobre todo en los más bajos, que la curva de error de este tipo de contador tiene la forma de una U invertida.

En principio estos medidores están pensados para funcionar en posición horizontal, con el eje de la turbina totalmente vertical, no obstante existen modelos homologados para funcionar en cualquier posición, aunque en ocasiones en detrimento de su precisión.

Las características dimensionales del instrumento adquieren un papel esencial en la metrología del mismo. Es así como los sólidos suspendidos y las sedimentaciones calcáreas pueden dar lugar a sobremedición o submedición, cambiando la relación entre el caudal y la velocidad de giro de la turbina al depositarse en el cuerpo del medidor.

Los perfiles de velocidad distorsionados no suelen afectar gravemente la calidad de la medición, es decir, no aumentan en error de registro del medidor. Esto es debido a su diseño, en el que normalmente la entrada tiene forma de tobera convergente que regulariza los perfiles de velocidad distorsionados, manteniendo constante la relación entre la velocidad de giro de la turbina y el caudal. Por ello, en general no se requiere de la disposición de tramos rectos de tubería aguas arriba del medidor.

Las pérdidas de presión admisibles para este tipo de instrumentos son de 1 bar (10.2mca) al caudal máximo, siendo generalmente del orden de 0.2-0.5 bar a caudales nominales.

En general los medidores de velocidad presentan varias ventajas como son: el ser silenciosos, tener costos de mantenimiento bajos y producir pérdidas de presión aceptables.

Dentro de las desventajas se puede mencionar que se ven afectados por el fluido que registran, debido a las variaciones de la viscosidad en donde se hace necesario calibrarlos, como en la mayoría de los casos se registra agua no es necesario calibrarlos, ya que las variaciones en la viscosidad son mínimas. De otra parte los caudales de arranque de los medidores son altos debido a la mayor inercia ofrecida por las hélices.

Los medidores de velocidad se subdividen en tres grupos dependiendo de la forma como incide el agua sobre la hélice.

- De chorro único: Si el chorro de agua hace contacto en un solo lugar en la periferia del rotor.

- De chorro múltiple: Si el chorro hace contacto simultáneo en diferentes puntos alrededor de la periferia del rotor. En los modelos de chorro único y múltiple, el agua golpea los álabes de la turbina en forma tangencial, o sea que el eje de la turbina es normal a la dirección del flujo.
- De chorro axial: Aquellos en el que el flujo del agua es paralelo al eje de rotación y por consiguiente la pérdida es menor.

Igualmente se presenta otra subdivisión de este tipo de medidores dependiendo de si el mecanismo de registro se encuentra o no sumergido en el fluido:

- Medidores de tipo seco: El mecanismo de contar está separado del mecanismo inferior, por una platina a prueba de agua con una caja hermética, que permite que el movimiento sea transferido del mecanismo inferior al mecanismo contador. El mecanismo inferior opera en agua bajo presión, mientras el mecanismo contador trabaja en un comportamiento seco a presión atmosférica.
- Medidor de tipo mojado: Todo el mecanismo trabaja inmerso en el agua. Las indicaciones del medidor se leen a través de un vidrio grueso de alta resistencia. Debido a la ausencia de la caja hermética que causa resistencia, la tasa de flujo a la cual el medidor de agua de tipo mojado empieza a moverse es más bajo que el de los medidores secos.

Figura 1-11: Despiece de un medidor de chorro único.

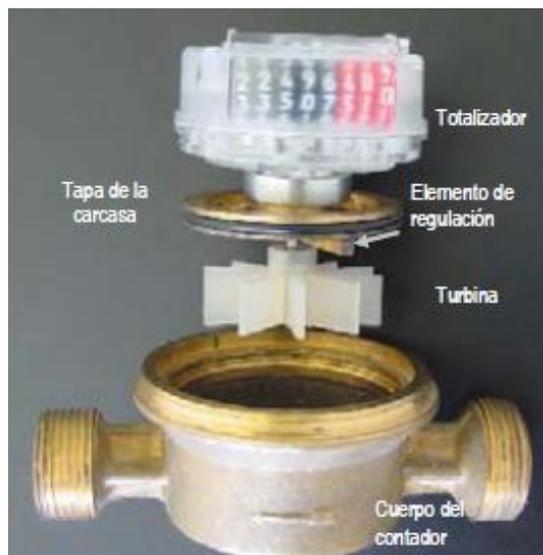


Figura 1-12: Despiece de un medidor de chorro múltiple.

El principio de funcionamiento de estos medidores se basa en la acción del agua sobre los alabes de la turbina, y en el hecho que el área por donde circula el agua es constante. La relación usada para obtener el volumen circundante se basa en el número de vueltas o revoluciones de la hélice o alabe así:

$$V = f(n)$$

Donde

n = Numero de vueltas / tiempo.

El caudal es el producto de la velocidad y el área normal a esta:

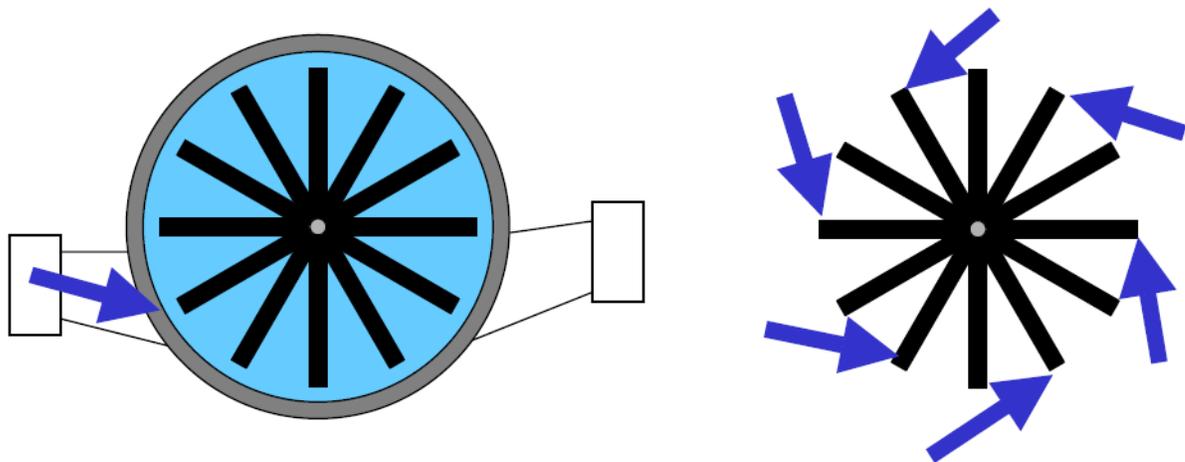
$$Q = V \cdot A = f(n) \cdot A$$

Y de esta manera, el volumen de agua que ha pasado por el medidor en un tiempo t , es:

$$Vol = Q \cdot t = f(n) \cdot A \cdot t = f(\text{Número de vueltas}/t) \cdot A \cdot t$$

$$Vol = f(\text{Número de vueltas}) \cdot A$$

Figura 1-13: Principio de funcionamiento de un medidor de chorro único y múltiple.



1.6.3 Clases metrológicas^{38,39}

Como se mencionó anteriormente, se ha encontrado que los errores de medición a caudales bajos aumentan significativamente dependiendo del caudal, al punto que dos medidores con el mismo caudal nominal pueden tener precisiones muy diferentes a caudales bajos. Para garantizar la precisión de un medidor a caudales bajos se definieron las clases metrológicas, que regulan los errores máximos permisibles y los caudales a los cuales se debe alcanzar dicha precisión.

En el ámbito internacional, la Norma ISO-4064-1-2005 “Measurement of water flow in fully charged closed conduits—Meters for cold potable water and hotwater”, define 4 clases metrológicas, la A, B, C y D. La clase A es a la que se le permite alcanzar los límites de error a caudales más altos (por ello es la menos precisa desde el punto de vista metrológico), mientras que la clase C es la que tiene que permite tener los errores máximos permitidos a caudales menores, y finalmente la clase D (solo aplicada en algunos países como Estados Unidos) que garantiza unos valores de precisión para caudales todavía más bajos que la clase C.

Para establecer correctamente las clases metrológicas es necesario realizar las siguientes definiciones básicas:

Caudal de Arranque o Inicio de Movimiento. Es el caudal a partir del cual, el medidor empieza a dar indicación de consumo, sin importar los límites prefijados para los errores, es decir, sin un grado de error en particular.

³⁸Arregui de la Cruz, Francisco. Tesis Doctoral “Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento”. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. 1998.

³⁹Norma SISTEC-EAAB. NT-001”MEDIDORES DE AGUA POTABLE, DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN. Bogotá. Septiembre 09 de 2009.

Caudal mínimo (Q1). El menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP. Entre este caudal y el de transición el error del medidor no debe superar el +- 5%.

Caudal permanente (Q3). Mayor caudal dentro de las Condiciones de Operación Nominales (“CON” por abreviatura) a la cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible.

Caudal de sobrecarga (Q4). Máximo caudal al cual el medidor de agua debe operar durante un período de tiempo corto dentro de su EMP, mientras mantiene su desempeño metrológico cuando opera posteriormente dentro de sus CON.

Caudal de transición (Q2). Caudal que ocurre entre el caudal permanente, Q3 , y el caudal mínimo, Q1, que divide el rango de caudal en dos Zonas, la “Zona superior” y la “Zona inferior”, cada una caracterizada por su propio EMP. En este rango el error del medidor no debe superar el +- 2%.

Curva de Error. Representación gráfica de los errores relativos del medidor, en función del caudal.

Error de indicación. Volumen indicado, menos el volumen real.

Condiciones de operación nominales. (CON). Condiciones de uso que dan el rango de valores de los factores de influencia, para los cuales se requiere que los errores de indicación del medidor estén dentro del EMP.

Error máximo permisible. (EMP). Los valores extremos del error relativo de la indicación del medidor de agua, permitidos en la norma SISTEC de la EAAB.

Volumen indicado. (Vi). Volumen del agua indicado por el medidor, que corresponde al volumen real.

El error de un medidor a un caudal dado se define como

$$\varepsilon = \frac{Q_{medidor} - Q_{real}}{Q_{real}} = \frac{V_{medidor} - V_{real}}{V_{real}}$$

En función a las anteriores definiciones, únicamente se regula el error máximo que puede cometer un medidor a partir del caudal mínimo, pero no existe dentro de la normatividad nada respecto al error máximo que debe tener un medidor a caudal de arranque, así como el error entre el caudal de arranque y el caudal mínimo.

Lo que diferencia una clase metrológica de otra es precisamente los valores de los caudales mínimos y de transición. En las siguientes tablas se presenta los valores en función del caudal nominal del medidor, como un valor en tanto por uno del mismo, así como los diferentes caudales en función del caudal nominal.

Tabla 1-17: Clases de precisión de medidores de agua (Norma ISO-4064-1-2005)

Clase metrológica (ISO)	Caudal Nominal		
	Caudal	< 15 m ³ /hora	≥ 15 m ³ /hora
A	Mínimo	0.04Qn	0.08Qn
	Transición	0.10Qn	0.30Qn
B	Mínimo	0.02Qn	0.03Qn
	Transición	0.08Qn	0.20Qn
C	Mínimo	0.01Qn	0.006Qn
	Transición	0.015Qn	0.015Qn
D	Mínimo	0.0075Qn	-
	Transición	0.0115Qn	-

Tabla 1-18: Caudales nominales, mínimos y de transición de diferentes medidores expresados en m³/hora

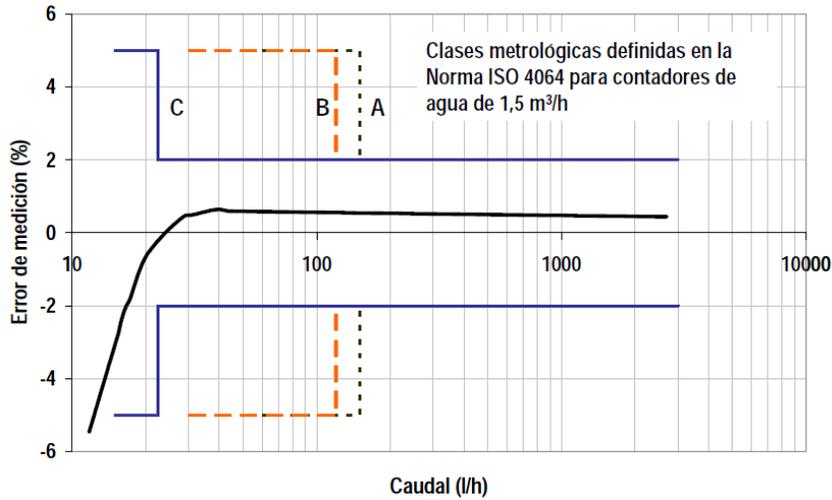
Qn (m ³ /hora)	Clase A		Clase B		Clase C		Clase D	
	Qmin	Qtrans	Qmin	Qtrans	Qmin	Qtrans	Qmin	Qtrans
0.6	0.02	0.06	0.012	0.048	0.006	0.009	0.005	0.007
1	0.04	0.1	0.02	0.08	0.01	0.015	0.008	0.012
1.5	0.06	0.15	0.03	0.12	0.015	0.0225	0.011	0.017
2.5	0.10	0.25	0.05	0.2	0.025	0.0375	0.019	0.029
5	0.2	0.5	0.1	0.4	0.05	0.075	0.038	0.058
10	0.4	1	0.2	0.8	0.1	0.15	0.075	0.115

Los límites de precisión de todas las clases son los mismos, variando únicamente el rango de caudales en lo que se exige al medidor mantener una determinada precisión. En todas las clases de medidor, el error máximo admisible una vez superado el caudal de transición (Q2) es del $\pm 2\%$, y entre el caudal mínimo (Q1) y el de transición (Q2) dicho error máximo es del $\pm 5\%$.

Para que un medidor opere con el menor error de medición posible y se obtenga volúmenes de agua consumidos más cercanos a la realidad, se requiere que los caudales mínimo, de transición y nominal se determinen en función a las costumbres de consumo de los usuarios.

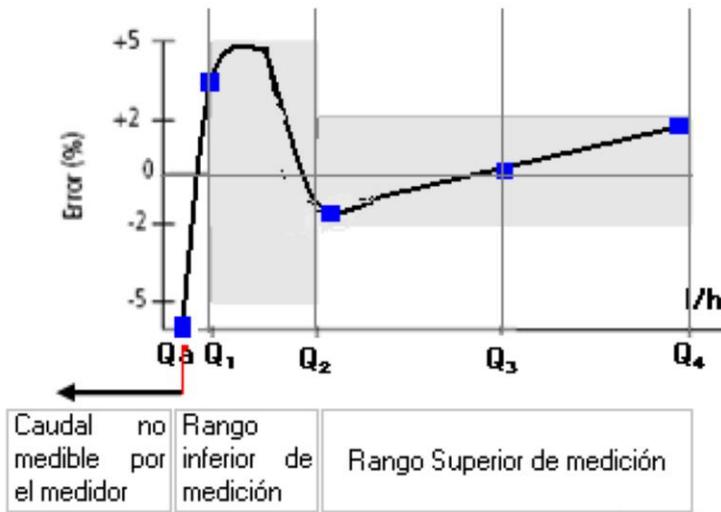
A continuación se presenta la curva de error típica teórica para un medidor de agua en función a su clase metrológica según la clasificación de la Norma ISO-4064-1-2005.

Figura 1-14: Ejemplo curva de error de un medidor de agua y clases metrológicas⁴⁰.



Igualmente, la Norma SistecNP-004 de la E.A.A.B, ha reglamentado una curva característica de un medidor de agua potable residencial en la cual se presenta gráficamente la delimitación del túnel de error de un medidor, la cual se presenta a continuación.

Figura 1-15: Curva característica de un medidor de agua potable (Norma Sistec)⁴¹.



⁴⁰PalauEstevan, Carmen Virginia. Tesis Doctoral “Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión”. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. Abril de 2005. Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. Abril de 2005.

⁴¹.Norma SISTEC-EAAB. NP-004” MEDIDORES DOMICILIARIOS DE AGUA POTABLE FRÍA. Bogotá. Julio 03 de 2008.

2.Descripción de trabajos previos en la EAAB

La EAAB adelantó entre 2009 y 2010 una campaña de mediciones de caudales puntuales (implementación de 320 micro medidores digitales Aquabus Y290, de ½" con capacidad para registro y almacenamiento de datos, que permiten tener lecturas horarias de caudales, lectura del caudal máximo instantáneo y el reporte de la hora exacta de ocurrencia). Adicionalmente, se implementó un sistema de encuestas de caracterización de los usuarios residenciales a los que se realizó la medición de caudales (estrato, tipo de vivienda, número de personas que la habitan, puntos hidráulicos, área de la vivienda). Contando actualmente con un tamaño muestral de 1233 usuarios repartidos en las diferentes zonas y estratos socioeconómicos en que se divide la prestación del servicio de acueducto (zonas 2 a 5. La información de mediciones y encuestas de la zona 1 no se encontraba disponible por parte de la EAAB para el presente estudio, puesto que la misma fue adelantada por la Gerencia comercial zona 1).

2.1 Descripción equipo de medición⁴²

Los medidores Aquabus (Y290) utilizan el principio de velocidad y chorro único. El movimiento se detecta a través de un sistema de sensores redundantes convirtiéndose en volumen totalizado en la esfera del medidor. Este consta de un conjunto hidráulico que transforma la energía cinética del agua en movimiento de la turbina y una esfera electrónica conteniendo los sensores y el circuito electrónico.

Figura 2-1: Medidor Aquabus Y290.



⁴²Elster Colombia, Leading the world in metering technology. Especificaciones medidor Aquabus Y290

2.1.1 Datos técnicos del medidor Y290

- Homologado: Clase "C" y Clase R200 @ Q3 2,5 en posición de instalación horizontal.
- Distingue el sentido de flujo.
- Regulación electrónica.
- Alimentación por batería interna con duración de 8 años.
- Comunicación a través de bus (LP ó MBUS).
- Temperatura máxima del agua 50°C
- Máxima presión de trabajo 16 bar.
- Pérdida de carga a Qp menor a 0,2 bar
- Capacidad máxima de totalización 999.999 m³.
- Caudal de arranque: 3 l/h.

Figura 2-2: Detalle medidor Aquabus Y290.



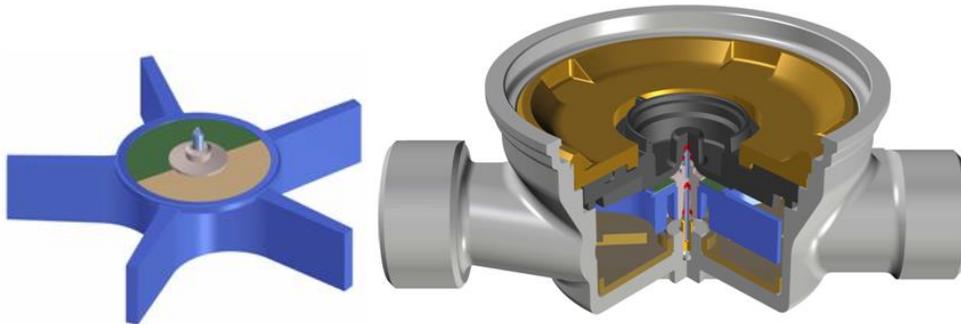
Tabla 2-1: Especificaciones particulares medidor electrónico

Diámetro		DN13
Caudal de sobrecarga q_s ($\pm 2\%$)	m ³ /h	3
Caudal permanente q_p ($\pm 2\%$)	m ³ /h	1,5
Caudal de transición q_t ($\pm 2\%$)	l/h	22,5
Caudal mínimo q_{min} ($\pm 5\%$)	l/h	6
Caudal de arranque	l/h	3
Longitud	mm	115
Conexión del medidor	pulg	7/8 – 3/4

2.1.2 Principio de funcionamiento

El medidor con esfera electrónica Aquabus - Y290 capta el movimiento de la turbina por inducción. La turbina (zona húmeda del medidor) incorpora un disco modulador sobre el que se disponen varios sensores inductivos (zona seca del medidor); el giro directo/inverso de la turbina se detecta por la variación de frecuencia de cada sensor. El medidor Aquabus - Y290, no es afectado por campos magnéticos

Figura 2-3: Sistema de funcionamiento turbina medidor Aquabus Y290.



2.1.3 Visualizador

- 6 dígitos para totalización de m³.
- 5 dígitos para submúltiplos de m³ (verificación).
- Indicador de batería baja (3 segmentos; el último indica 1 año de reserva).
- Indicador de fuga (F).
- Indicador de error interno (E).
- Indicador de sentido de flujo (2 flechas opuestas).

Figura 2-4: Sistema de visualización de datos medidor Aquabus Y290.

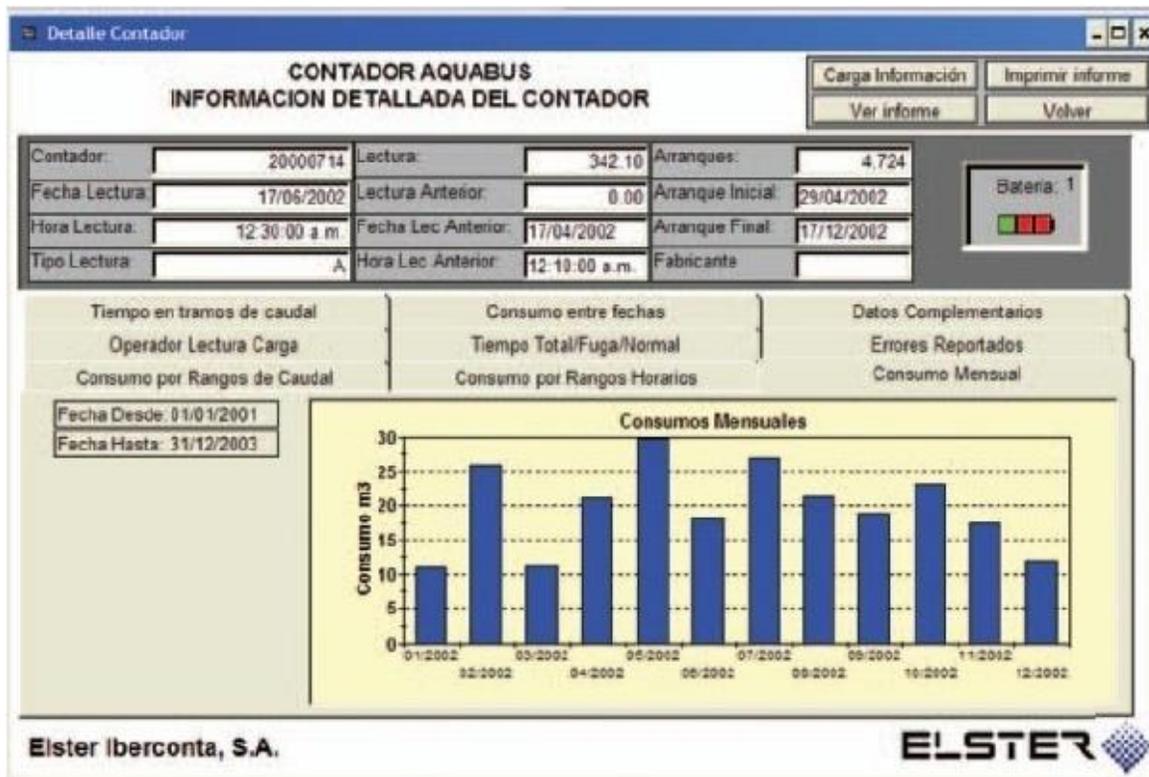


2.1.4 Información estadística – software gestión

Los medidores Aquabus - Y290 disponen de una CPU interna que proporciona la siguiente información:

- Caudales máximo y mínimo en el intervalo de lectura, que permiten confirmar el dimensionado correcto del medidor (detectado y registrado en L/hora).
- Aviso de fuga con la fecha en la que se detectó.
- Aviso de error con el tipo y fecha en la que se detectó.
- Totalización en franjas horarias para el análisis de los hábitos de consumo (6 franjas horarias para el caso particular y un solo día de medición).
- Totalización por franjas de caudal y tiempos.
- Acumulados entre fechas para tarifas por temporadas.
- Totalización de los 12 últimos meses para histogramas de consumo.
- Reporte de errores y alarmas.
- Gráfica de perfil de consumos (no se implementó para este proyecto por parte de la EAAB)

Figura 2-5: Sistema de visualización de datos medidor Aquabus Y290.



Con relación a esta información, la descarga de la misma fue llevada a cabo por parte del personal de la EAAB. No se tuvo acceso ni al software de gestión, ni a los datos crudos descargados, únicamente a una base de datos entregada en Excel, que contenía la información descargada del micro medidor y organizada en función al número de cuenta contrato de cada usuario. La información se encontraba consolidada por zona.

2.2 Encuesta de usuarios⁴³

Adicional a la instalación de los medidores, la EAAB adelanto un levantamiento de información mediante una encuesta cuyo formato original se presenta a continuación:

Figura 2-6: Formato de encuestas, recopilación de datos de usuarios residenciales.

ZONA: _____		Número de Formulario: _____	
CICLO: _____			
ENCUESTA SOBRE CARACTERIZACIÓN DE CONSUMO			
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL PATRÓN Y PERFIL DE CONSUMO			
Fecha realización encuesta: DD / MM / AA			
DILIGENCIAMIENTO EXCLUSIVAMENTE CUADRILLA DE CAMBIO DE MEDIDOR			
1 Información del Predio		2 Información del Medidor	
Sector: _____	Ciclo: _____	Volumétrico: <input type="checkbox"/> Velocidad: <input type="checkbox"/> Compuesto: <input type="checkbox"/>	
Estrato: _____	Cuenta Contrato No: _____	Localización: Piso <input type="checkbox"/> Muro/Nicho: <input type="checkbox"/>	
		Diámetro: _____ Marca: _____	
		# de Serie: _____ Lectura Actual: _____	
DILIGENCIAMIENTO TRABAJADORA SOCIAL Y USUARIO			
1 Información del Predio		4 Instalaciones Hidráulicas	
Dirección: _____	Barrio: _____	Tanque de almacenamiento: Propio: <input type="checkbox"/> Comunal: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
Tipo de vivienda: Casa: <input type="checkbox"/> Apto: <input type="checkbox"/>	Área de la vivienda: _____ m2	# Total de Puntos Hidráulicos existentes:	
Antigüedad de la construcción: _____ años	Vivienda: Propia: <input type="checkbox"/> Arrendada: <input type="checkbox"/>	# Grifos: _____ # lavaderos: _____	
Tiene Jardín: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	Tiene Terraza: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	# Sanitarios: _____ # Tinas: _____	
		# Duchas: _____ # lavadoras: _____	
		Tiene dispositivos ahorradores de agua: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Cuántos dispositivos ahorradores?	
		Lavadora eléctrica carga frontal: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Lavavajillas : Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Ducha eléctrica? Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Calentador agua de paso: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Lava el carro en casa: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
		Otros usos no habitacionales	
3 Características de la vivienda		5 Usos del Agua	
Número de Personas que habitan	# personas permanecen en el día?:	Hora en que se bañan los miembros de la vivienda: Duración: _____ minutos	
# personas permanecen en la noche?:	No. personas < 12 años	Hora en que lavan de la ropa: Duración: _____ minutos	
Mascota en casa: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	Empleada domestica: Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	En su vivienda se hace algun tipo de reuso de agua? Si: <input type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>	
Nivel Educativo cabeza de hogar:		Cuá?	
6 Observaciones			
Suscriptor		Encuestador	
Nombre: _____	Documento de Identidad: _____	Hora inicio: _____	Hora Fin: _____
Teléfono: _____	Propietario <input type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/>	Nombre Funcionario: _____	Identificación: _____
Firma : _____	Correo Electrónico : _____	Firma : _____	Correo Electrónico : _____
Testigo			
Nombre: _____	Documento de Identidad: _____	Teléfono: _____	

⁴³ EAAB-Dirección de Ingeniería Especializada. Bogotá. 2010

Los responsables de las actividades de instalación de medidores y recopilación de información mediante las encuestas fueron la Dirección de Ingeniería especializada, Dirección de Apoyo Comercial, Las Zonas, Gestores y la Dirección de Servicios Técnicos de la EAAB.

Los datos tanto de lecturas de los medidores, así como las encuestas, fueron organizados por la EAAB en un archivo de Excel y dicha información corresponde a la entregada para la elaboración del presente trabajo de Grado. Los datos de los medidores y las encuestas fueron relacionados a través del número de identificación del usuario en la EAAB (cuenta contrato).

Los datos recogidos en las encuestas fueron los siguientes:

- Datos del Predio: Número de cuenta contrato, estrato, Dirección barrio.
- Información del medidor: Número de serie, diámetro, marca, lectura actual, tipo, ubicación.
- Características de la vivienda: Tipo (Casa o apartamento), área, número de habitantes (día y noche), edad.
- Número de puntos hidráulicos.
- Usos del agua para baños, riego de jardines, pisos y ropa, re-uso.

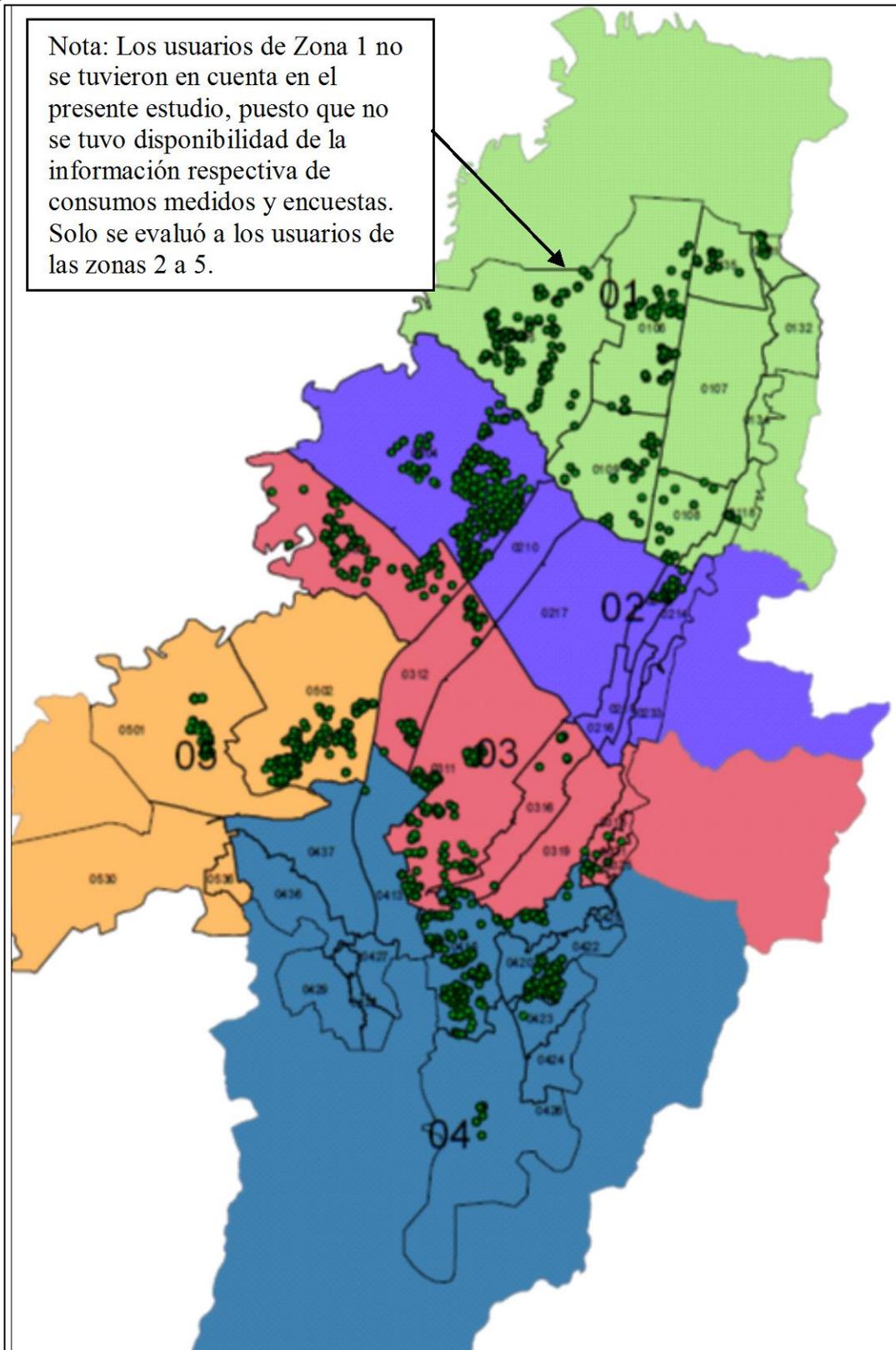
2.3 Descripción información disponible EAAB.

La Dirección de Ingeniería Especializada de la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, durante los años 2009 y 2010, adelantó los trabajos para la determinación del tamaño muestral a emplearse en la caracterización de los consumidores de tipo residencial de la ciudad de Bogotá, centrado en los usuarios residenciales cuya medición se realiza a través de micromedidores de $\frac{1}{2}$ ", y determinando el tamaño de la muestra mediante muestreo aleatorio estratificado (El objetivo del diseño de estudios por muestreo, es maximizar la cantidad de información para un costo dado. Una muestra aleatoria estratificada es la obtenida mediante la separación de los elementos de la población en grupos que no presenten traslapes, llamados estratos y la selección posterior de una muestra irrestrictamente aleatoria simple en cada estrato). La selección de los usuarios objetivo de medición estuvo a cargo de La Gerencia de Servicio al Cliente a través de las Direcciones Comerciales de cada Zona.

Para el trabajo en campo se contó con 8 cuadrillas de instalación, cada cuadrilla estaba compuesta por 1 vehículo, 1 conductor, 1 trabajadora social y 1 fontanero.

A continuación se presenta un esquema con la localización espacial de los usuarios escogidos para el proyecto.

Figura 2-7: Localización de usuarios residenciales evaluados en las zonas 2 a 5.



Con base en la información entregada por la EAAB, y las reuniones sostenidas con los funcionarios de la dirección de Ingeniería Especializada en el mes de junio de 2013, se logró determinar que no existía disposición de la información de la Zona No 1, puesto que la misma fue realizada por la dependencia comercial de la empresa, por lo cual, y después de depurada la información disponible, se determinó que el total encuestas útiles entre las zonas 2 a 5 es de 1233, que equivale al mismo número de usuarios. A continuación se describe la información disponible por zona, construidas a partir del estudio e interpretación de la información entregada por la EAAB para la elaboración del proyecto.

2.3.1 Información disponible Zona 2

La zona Número 2 de distribución de agua potable de la EAAB se encuentra constituida por 328.488 usuarios aproximadamente, e incluye las localidades de Engativá, chapinero, Teusaquillo, Barrios Unidos, Fontibón y Santa Fe.

A continuación se presenta una tabla resumen del Número de usuarios de la Zona 2 tenidos en cuenta en el presente estudio, que cuentan con encuesta y datos de medición de consumos válidos, definidos en función al análisis y procesamiento de la información entregada.

Tabla 2-2: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato

	Zona No 2		
	Total	casas	Aptos
Total de encuestas	301	245	56
Total estrato 1	4	4	
Total estrato 2	40	33	7
Total estrato 3	162	136	26
Total estrato 4	73	70	3
Total estrato 5	9	1	8
Total estrato 6	13	1	12
		245	56

Después de analizada la información disponible, se descartó los usuarios que no presentaran uso netamente residencial (por ejemplo viviendas con uso mixto, residencial y comercial, y jardines del ICBF), así como los que durante el proceso de lecturas de caudales registraron consumos anómalos o nulos, obteniéndose que para la zona Número 2 se cuenta con un total de 301 usuarios con datos de encuestas y caudales útiles para el estudio, divididos en 245 usuarios localizados en casas (81%) y 56 en

apartamentos (19%), reflejando el hecho que para esta zona, la mayor cantidad de información proviene de casas.

A continuación se presenta una serie de figuras que relacionan la información de usuarios disponibles para la Zona Número 2.

Figura 2-8: % de Casas y Apartamentos Zona 2.

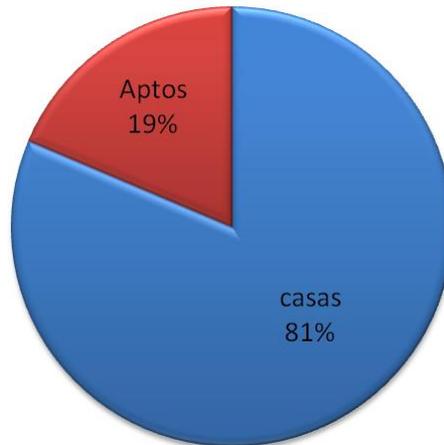
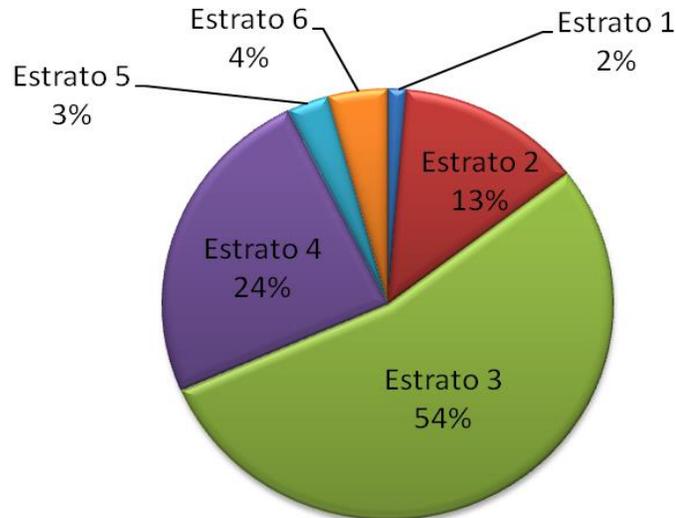
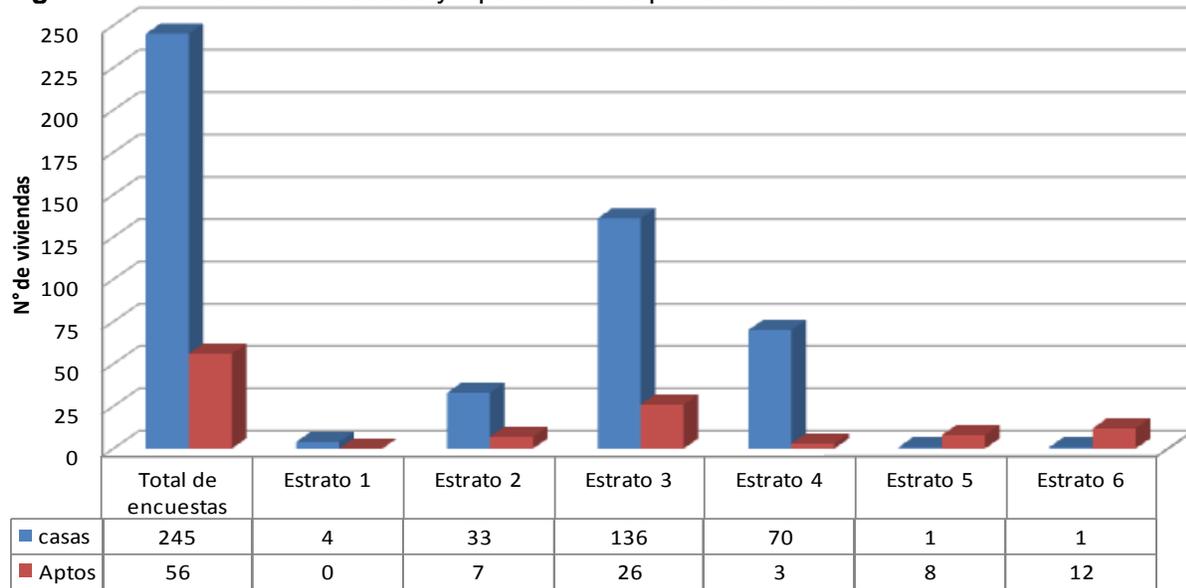


Figura 2-9: % de población por estrato Zona 2.



Como se puede observar en las figuras anteriores, el 81% de los usuarios evaluados corresponden a viviendas tipo casa, y el 19% a apartamentos, reflejando que la caracterización realizada es principalmente característica de las casas. Igualmente se observa como los estratos con mayor información recolectada, y por ende los mejor caracterizados para esta zona, son los estratos 3 (54%) y 4 (24%), y un considerable número de información en el estrato 2 (13%). Para los estratos 1, 5 y 6, la información disponible es mínima, con apenas el 9% del total de los datos disponibles.

Figura 2-10: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 2.

2.3.2 Información disponible Zona 3

La zona Número 3 de distribución de agua potable de la EAAB se encuentra constituida por 311.382 usuarios aproximadamente, e incluye las localidades de Santafé, San Cristóbal, Tunjuelito, Fontibón, Antonio Nariño, Puente Aranda, Rafael Uribe, Teusaquillo, Los Mártires, La Candelaria y Kennedy.

A continuación se presenta una tabla resumen del Número de usuarios de la Zona 3 tenidos en cuenta en el presente estudio, que cuentan con encuesta y datos de medición de consumos válidos, definidos en función al análisis y procesamiento de la información entregada.

Tabla 2-3: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato

	Zona No 3		
	Total	casas	Aptos
Total de encuestas	315	217	98
Total estrato 1	10	10	
Total estrato 2	41	41	
Total estrato 3	197	149	48
Total estrato 4	67	17	50
Total estrato 5	0		
Total estrato 6	0		
		217	98

Para la zona Número 3 se cuenta con un total de 315 usuarios con datos de encuestas y caudales útiles para el estudio, divididos en 217 usuarios localizados en casas (69%) y 98 en apartamentos (31%), reflejando el hecho que para esta zona, la mayor cantidad de información proviene de casas, pero esta selección es menos marcada que la observada en la zona 2.

A continuación se presenta una serie de figuras que relacionan la información de usuarios disponibles para la Zona Número3.

Figura 2-11: % de Casas y Apartamentos Zona 3.

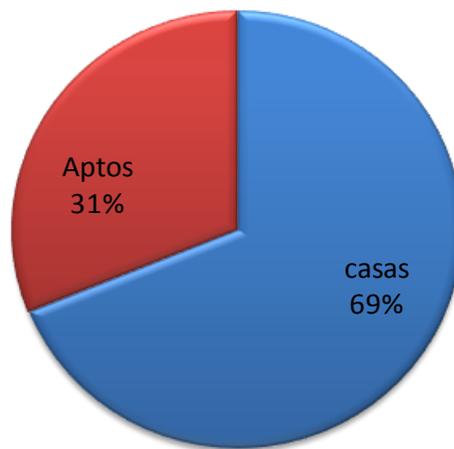


Figura 2-12: % de población por estrato Zona 3.

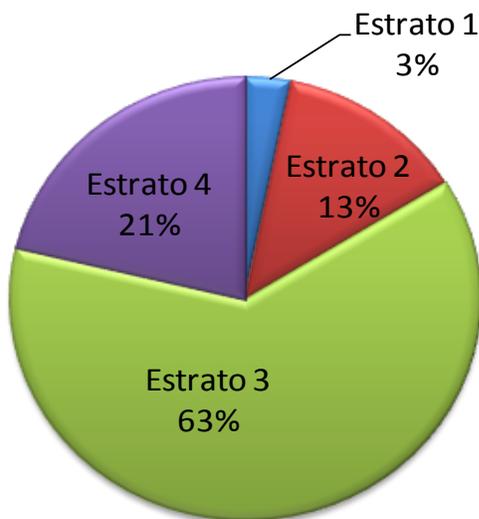
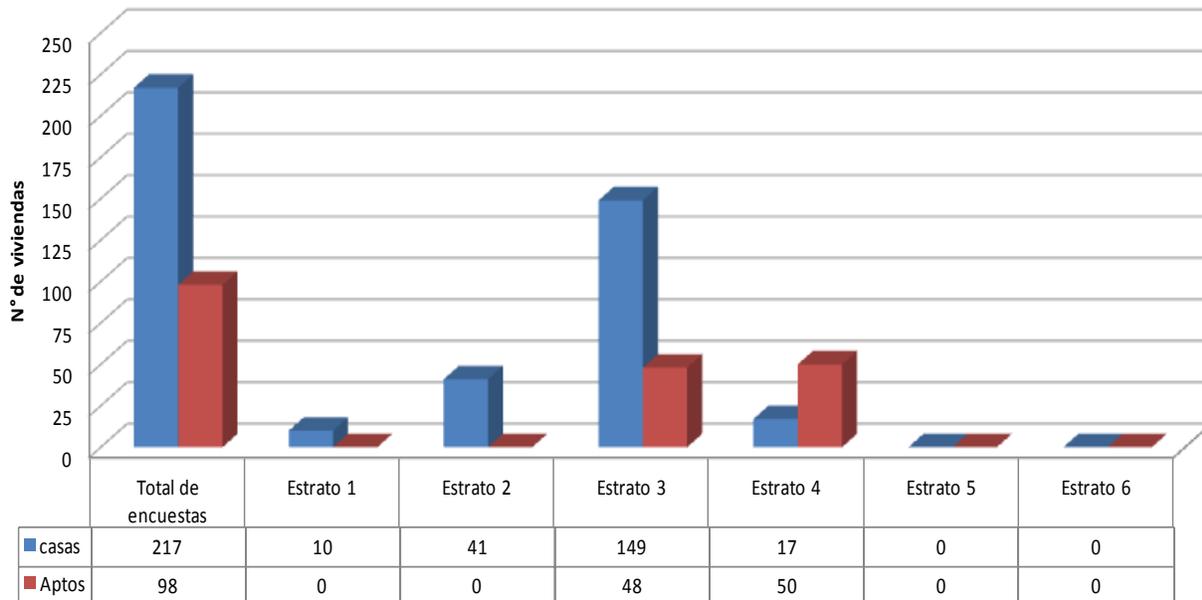


Figura 2-13: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 3.

Como se puede observar en las figuras anteriores, el 69% de los usuarios evaluados corresponden a viviendas tipo casa, y el 31% a apartamentos, reflejando que la caracterización realizada es principalmente característica de las casas, aunque también tiene un tamaño muestral considerable de apartamentos. Igualmente se observa como el estrato con mayor información recolectada, y por ende el mejor caracterizado para esta zona, es el estrato 3 (63%), contándose también con un buen número de información en los estratos 2 (13%) y 4(21%); del estrato 1 apenas se cuenta con un 3% de información respecto al total, y de los estratos 5 y 6 no se cuenta con información.

2.3.3 Información disponible Zona 4

La zona Número 4 de distribución de agua potable de la EAAB se encuentra constituida por 330.271 usuarios aproximadamente, e incluye las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Puente Aranda, Rafael Uribe, Kennedy y Ciudad Bolívar.

A continuación se presenta una tabla resumen del Número de usuarios de la Zona 4 tenidos en cuenta en el presente estudio, que cuentan con encuesta y datos de medición de consumos válidos, definidos en función al análisis y procesamiento de la información entregada.

Tabla 2-4: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato

	Zona No 4		
	Total	casas	Aptos
Total de encuestas	311	290	21
Total estrato 1	98	98	
Total estrato 2	184	164	20
Total estrato 3	29	28	1
Total estrato 4	0		
Total estrato 5	0		
Total estrato 6	0		
		290	21

Para la zona Número 4 se cuenta con un total de 311 usuarios con datos de encuestas y caudales útiles para el estudio, divididos en 290 usuarios localizados en casas (93%) y 21 en apartamentos (7%), reflejando el hecho que para esta zona, la gran mayoría de información proviene de casas, situación que es mucho más marcada que las observadas en las zonas 2 y 3.

A continuación se presenta una serie de figuras que relacionan la información de usuarios disponibles para la Zona Número4.

Figura 2-14: % de Casas y Apartamentos Zona 4.

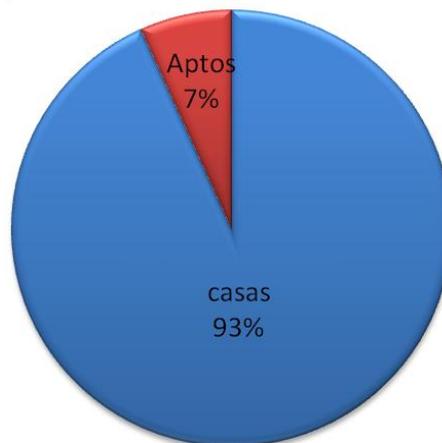
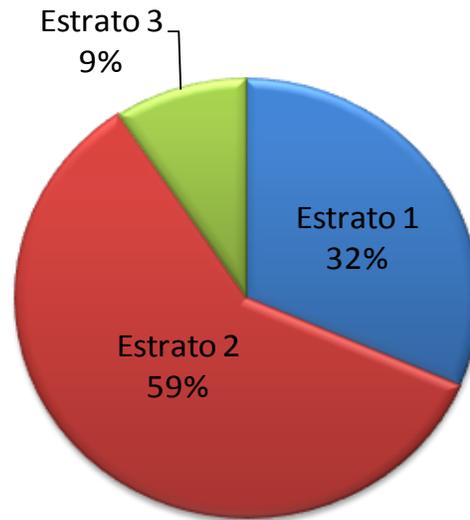
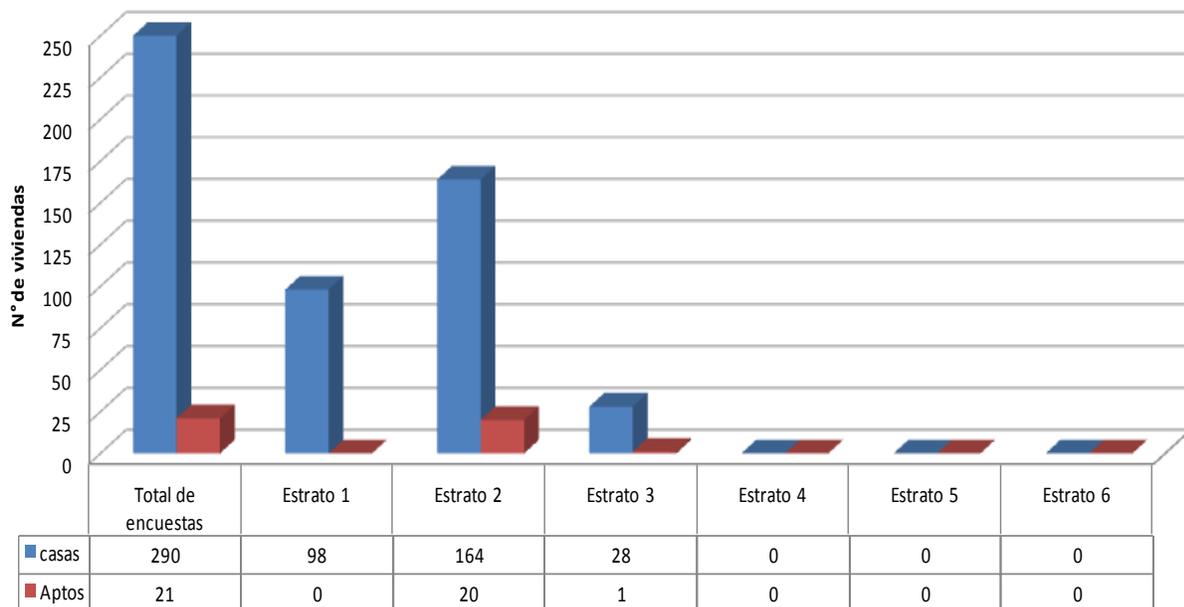


Figura 2-15: % de población por estrato Zona 4.**Figura 2-16:** Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 4.

Como se puede observar en las figuras anteriores, el 93% de los usuarios evaluados corresponden a viviendas tipo casa, y el 7% a apartamentos, reflejando que la caracterización realizada es principalmente característica de las casas, con un tamaño muestral bastante pequeño de apartamentos. Igualmente se observa como el estrato con mayor información recolectada, y por ende el mejor caracterizado para esta zona, es el estrato 2 (59%), contándose también con un buen número de información en el estrato 1 (32%); del estrato 3 apenas se cuenta con un 9% de información respecto al total, y de los estratos 4, 5 y 6 no se cuenta con información. Para esta zona en particular se puede observar como la mayor cantidad de información no se centra en el estrato 3, sino en el

estrato 2, y que igualmente es la zona donde se tiene una mayor cantidad de información en estrato 1, estratos con información escasa en las zonas 2 y 3.

2.3.4 Información disponible Zona 5

La zona Número 5 de distribución de agua potable de la EAAB se encuentra constituida por 347.443 usuarios aproximadamente, e incluye las localidades de Kennedy, Bosa y Soacha.

A continuación se presenta una tabla resumen del Número de usuarios de la Zona 5 tenidos en cuenta en el presente estudio, que cuentan con encuesta y datos de medición de consumos válidos, definidos en función al análisis y procesamiento de la información entregada.

Tabla 2-5: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zona 2, y discretización por tipo de vivienda y estrato

	Zona No 5		
	Total	casas	Aptos
Total de encuestas	306	302	4
Total estrato 1	10	10	
Total estrato 2	197	197	
Total estrato 3	85	85	
Total estrato 4	14	10	4
Total estrato 5	0		
Total estrato 6	0		
		302	4

Para la zona Número 5 se cuenta con un total de 306 usuarios con datos de encuestas y caudales útiles para el estudio, divididos en 302 usuarios localizados en casas (99%) y 4 en apartamentos (1%), reflejando el hecho que para esta zona, prácticamente el total de la información proviene de casas, situación que es mucho más marcada que las observadas en las zonas 2, 3 y 4.

A continuación se presenta una serie de figuras que relacionan la información de usuarios disponibles para la Zona Número 5.

Figura 2-17: % de Casas y Apartamentos Zona 5.



Figura 2-18: % de población por estrato Zona 5.

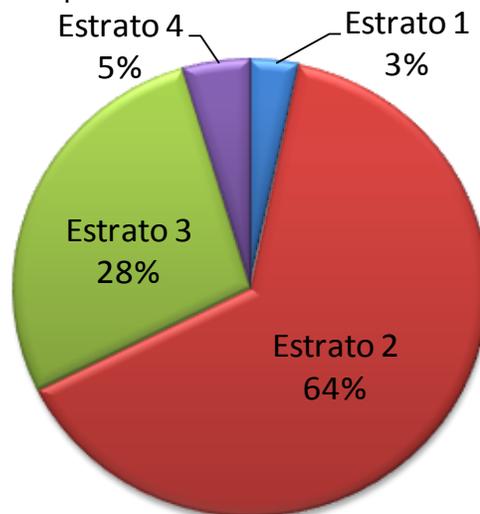
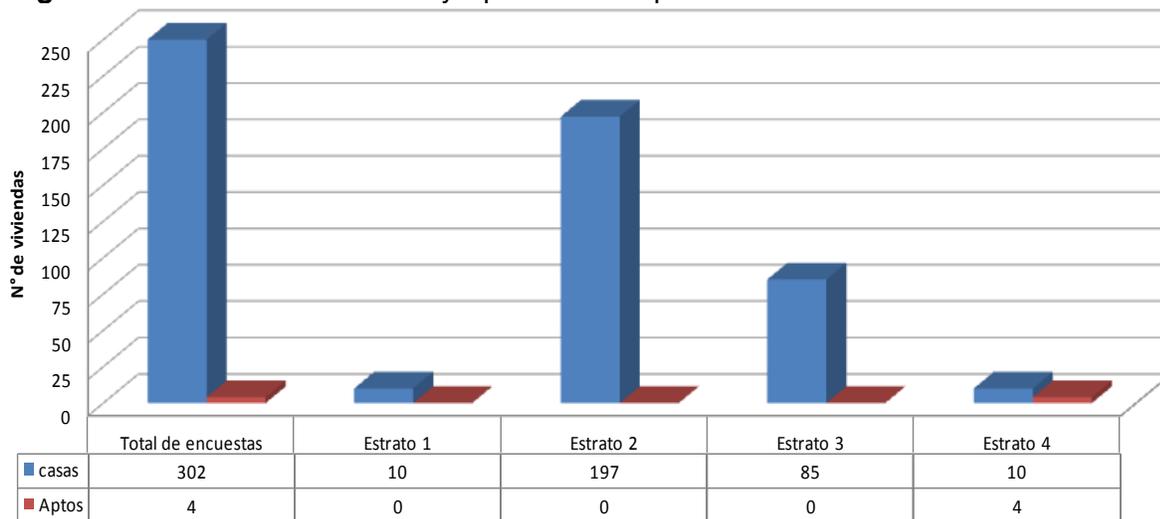


Figura 2-19: Número de Casas y Apartamentos por estrato Zona 5.



Como se puede observar en las Figuras anteriores, el 99% de los usuarios evaluados corresponden a viviendas tipo casa, y el 1% a apartamentos, reflejando que la caracterización realizada es netamente característica de las casas, con un tamaño muestral prácticamente despreciable de apartamentos. Igualmente se observa como el estrato con mayor información recolectada, y por ende el mejor caracterizado para esta zona, es el estrato 2 (64%), contándose también con un buen número de información en el estrato 3 (28%); de los estratos 1 y 4 apenas se cuenta con un 6% de información respecto al total, y de los estratos 5 y 6 no se cuenta con información. Para esta zona en particular se puede observar cómo, al igual que lo ocurrido en la zona 4, la mayor cantidad de información no se centra en el estrato 3, sino en el estrato 2.

2.3.5 Resumen Información disponible Zonas 2 a 5

Con base en la información presentada anteriormente, respecto al número de usuarios por zona, se procedió a unificar la misma para ser tomada en cuenta como una sola muestra para la determinación de los hábitos y características de consumo de los usuarios de tipo Residencial de la ciudad de Bogotá, información que se resume en la siguiente tabla y gráficas.

Tabla 2-6: Resumen de encuestas y mediciones de caudal zonas 2 a 5, y discretización por tipo de vivienda y estrato

	Zona No 5		
	Total	casas	Aptos
Total de encuestas	1233	1054	179
Total estrato 1	122	122	0
Total estrato 2	462	435	27
Total estrato 3	473	398	75
Total estrato 4	154	97	57
Total estrato 5	9	1	8
Total estrato 6	13	1	12
		1054	179

Para la totalidad de las zonas objeto del presente estudio se cuenta con un total de 1233 usuarios con datos de encuestas y caudales útiles para el estudio, divididos en 1054 usuarios localizados en casas (85.5%) y 179 en apartamentos (14.5%), reflejando el hecho que para la muestra disponible para la ciudad de Bogotá, prácticamente el total de la información proviene de residencias tipo casa.

A continuación se presenta una serie de figuras que relacionan la información de usuarios disponibles para la totalidad del estudio, que comprende las Zonas 2 a 5.

Figura 2-20: % de Casas y Apartamentos Total de la muestra (Zonas 2 a 5).

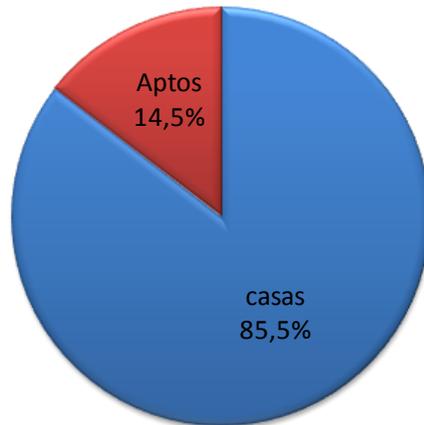


Figura 2-21: % de población por estrato para el Total de la muestra (Zonas 2 a 5).

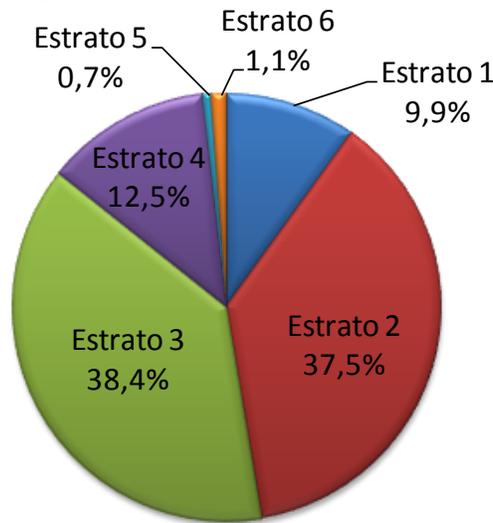
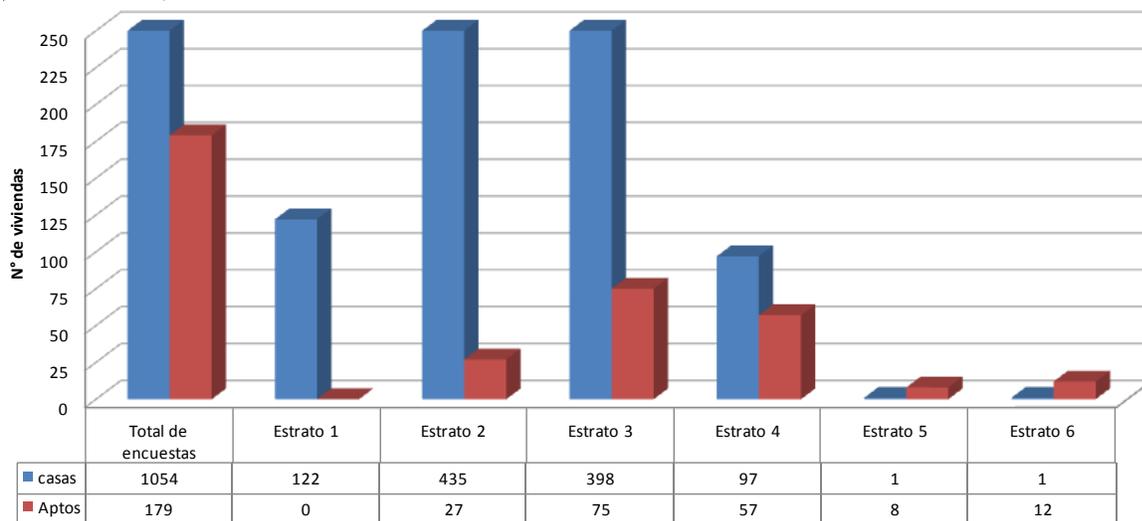


Figura 2-22: Número de Casas y Apartamentos por estrato para el Total de la muestra (Zonas 2 a 5).



Como se puede observar en las Figuras anteriores, el 85.5% de los usuarios evaluados corresponden a viviendas tipo casa, y el 14.5% a apartamentos, reflejando que la información levantada por la dirección de Ingeniería Especializada de la EAAB es característica principalmente de usuarios residenciales con vivienda tipo casa, con un tamaño muestral muy pequeño de usuarios con vivienda tipo apartamento. Igualmente se observa como los estratos con mayor información recolectada, y por ende los mejor caracterizados, son el estrato 2 (37.5%) y el estrato 4 (38.4%), contándose también con un buen número de información en el estrato 1 (9.9%) y el estrato 4 (12.5%); y en los estratos 5 y 6 apenas se cuenta con un 0.7% y 1.1% de información respecto al total.

3. Procesamiento y análisis de información disponible.

En vista que se contaba con información de encuestas y de consumos registrados con el equipo de medición Aquabus Y290, y que cada una correspondía a información separada entregada por la EAAB, el primer trabajo realizado correspondió al cruce y unificación de información con base en el Número de cuenta contrato de los usuarios.

A continuación se presenta el análisis realizado de la información disponible procesada para las Zonas 2 a 5, el cual se ha dividido en un análisis de la información de encuestas para caracterización del usuario, y un análisis de la información de caudales para la caracterización de los perfiles y patrones de consumo. Finalmente con la información completa se pudo determinar las características y comportamiento de consumo de los usuarios, útil para entender su funcionamiento en relación con diferentes variables como son el estrato, Numero de habitantes por vivienda, área de la vivienda, costumbres de re- uso de agua, etc.; se obtuvo resultados de consumos netos promedios por habitante, la cual es útil para su comparación con las dotaciones netas recomendadas por la Norma RAS 2000, e igualmente de caudales máximos medidos, que son un insumo útil para su comparación con los caudales máximos probables que se determinan a partir de diferentes metodologías de cálculo (aplicadas en este capítulo), y cuyo uso principal se asocia al diseño y dimensionamiento de redes internas de edificaciones.

3.1 Procesamiento y análisis Información de encuestas.

Una vez procesada la información de encuestas y depurada en función a los usuarios con información completa y adecuada para ser empleada en el estudio, se procedió a analizar la misma a través de diferentes variables como son el tipo de vivienda, número de habitantes, cantidad y tipo de puntos hidráulicos con que cuenta, etc.

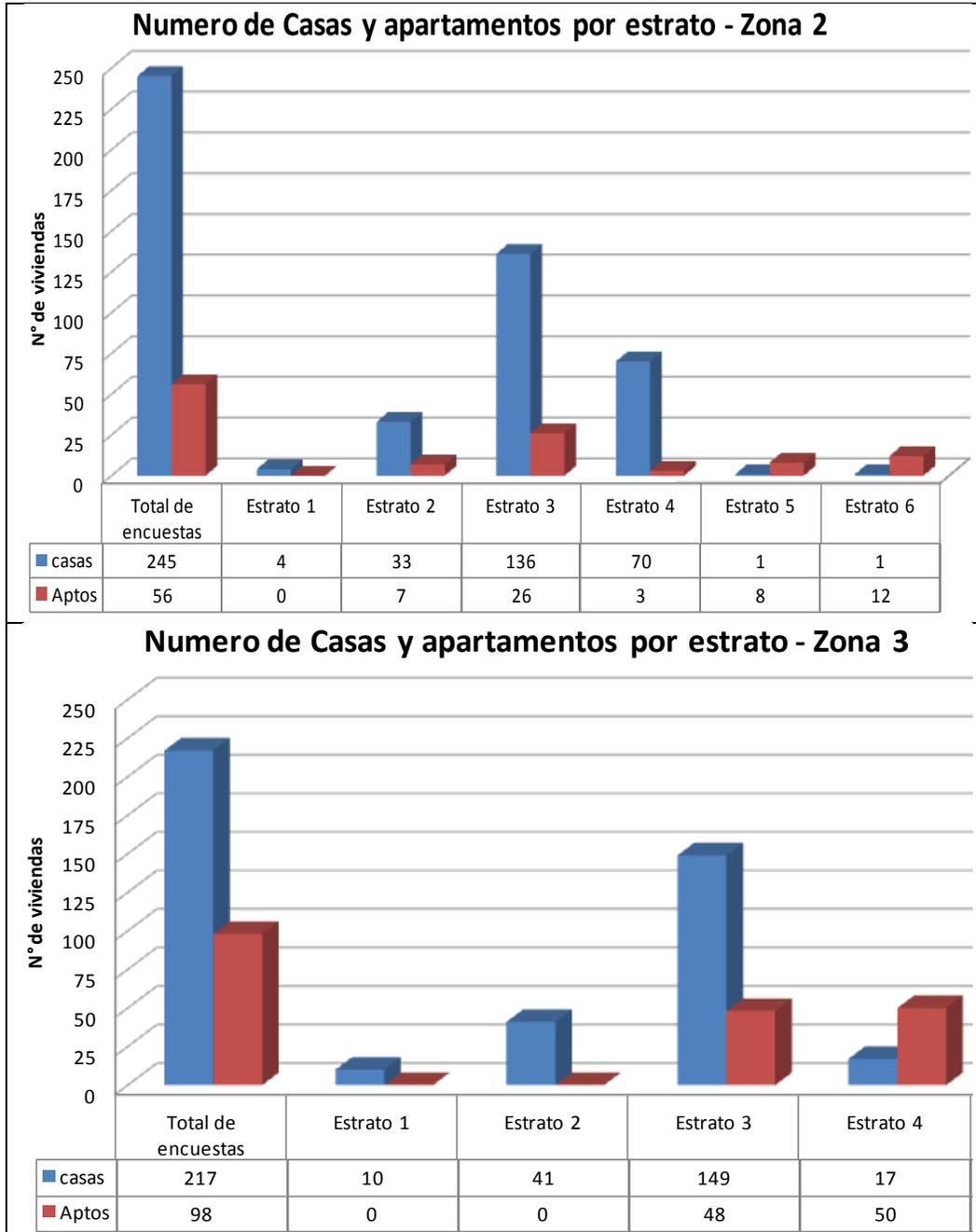
A continuación se presenta el análisis obtenido a partir de la información de encuestas a usuarios de las zonas 2 a 5. Inicialmente se explica la metodología seguida para cada una de las variables evaluadas, empleando como ejemplo los datos de usuarios de la zona 2, y después por cada variable se presenta los resultados obtenidos para las 4 zonas analizadas por separado y en conjunto (muestra unificada para la ciudad de Bogotá).

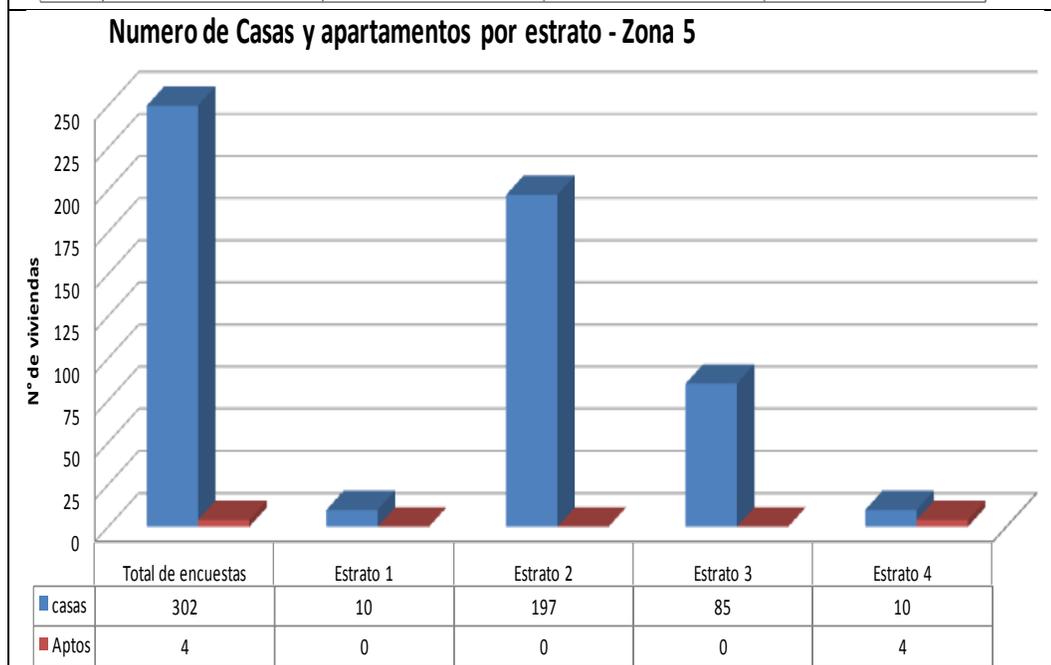
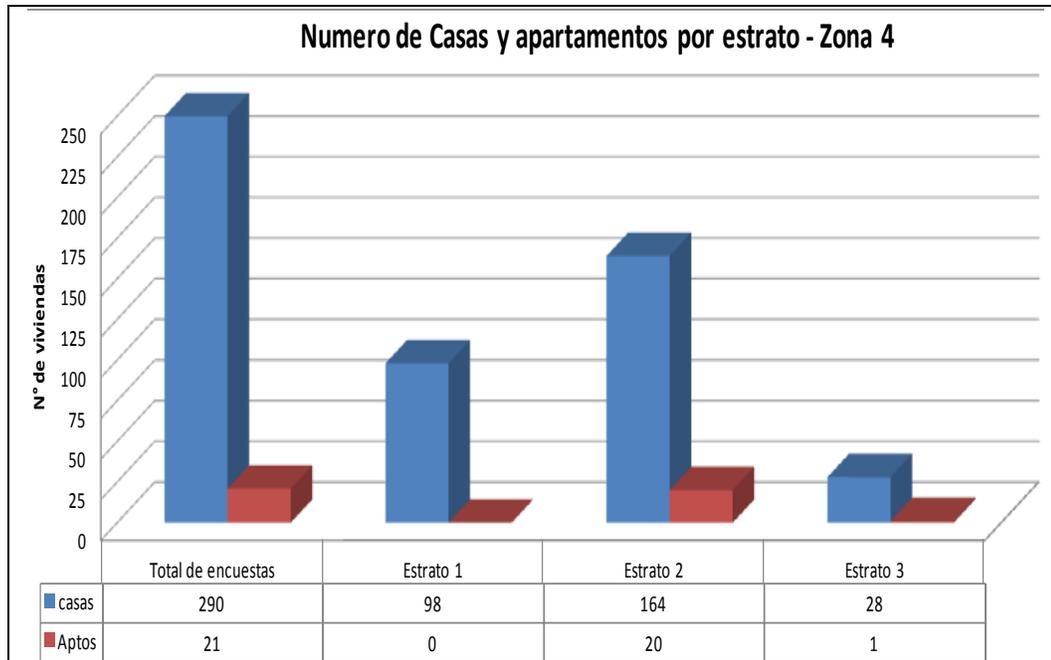
3.1.1 Análisis Información de encuestas (Zona 2 a 5)

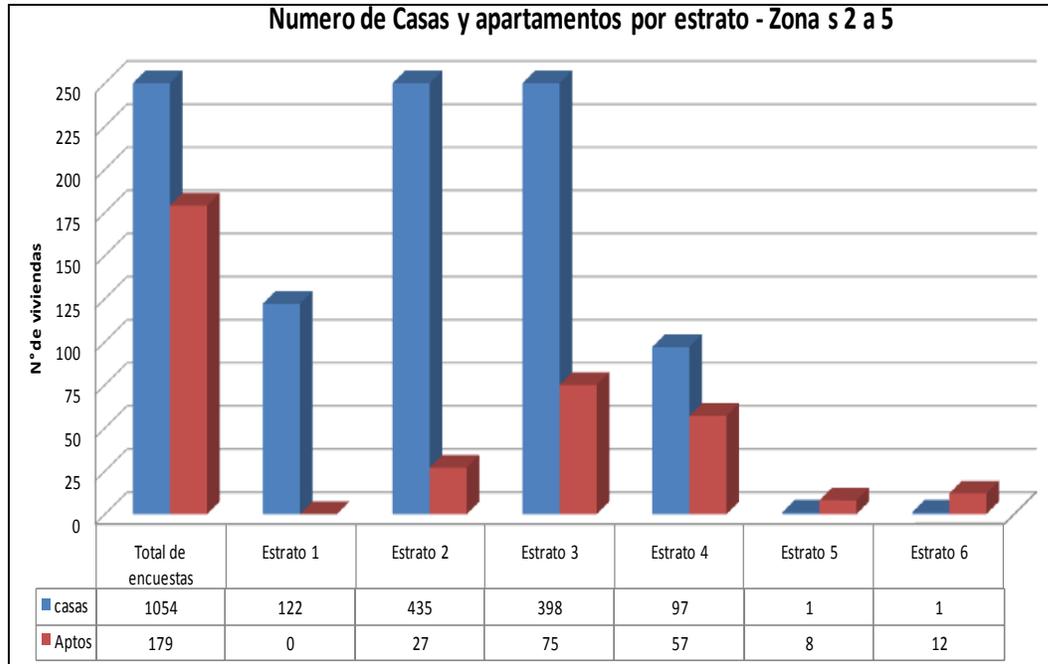
Para analizar la información disponible de encuestas de las zonas 2 a 5, se partió de la determinación del Número de encuestas disponibles y validadas para cada zona, y la discretización de los usuarios en función al estrato y tipo de vivienda. A continuación se presenta una figura que relaciona los resultados de dicha discretización discriminada por

zona, y finalmente se presenta como una gráfica unificada de la totalidad de información disponible para el estudio; concepto que a partir de ahora será empleado durante el análisis de todas las variables evaluadas.

Figura 3-1: Caracterización número de casas y apartamentos por estrato Zona 2 a 5.







Como se puede observar, para la zona 2 la mayor parte de los usuarios caracterizados se encuentran distribuidos en los estratos 2 (13%), 3 (54%) y 4 (24%), para un total del 91% de los usuarios; para la zona 3 la mayor parte de los usuarios caracterizados se encuentran distribuidos en los estratos 2 (13%), 3 (63%) y 4 (21%), para un total del 97% de los usuarios; para la zona 4 la mayor parte de los usuarios caracterizados se encuentran distribuidos en los estratos 1 (32%) y 2 (59%), para un total del 91% de los usuarios; y para la zona 5 la mayor parte de los usuarios caracterizados se encuentran distribuidos en los estratos 2 (64%) y 3 (28%), para un total del 92% de los usuarios. Finalmente, al caracterizar toda la muestra de las 4 zonas como una sola información para la ciudad de Bogotá, se obtiene que la mayor parte de los usuarios caracterizados se encuentran distribuidos en los estratos 2 (37.5%) y 3 (38.4%), para un total del 75.9%, un segundo rango de datos considerables para los estratos 1 (9.9%) y 4 (12.5%), que suman un 22.4%, y el 1.7% restante de la muestra se encuentra repartido entre los estratos 5 (0.7%) y 6 (1%).

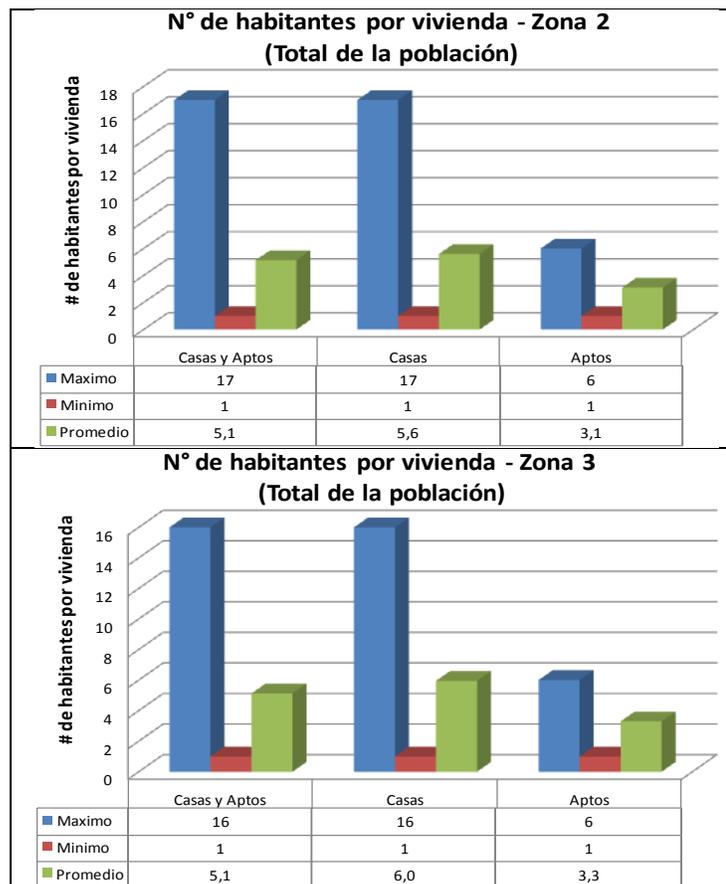
Otro de los datos importantes de resaltar es que, para la zona 2 el 81% de los usuarios corresponden a Casas y el 19% a Apartamentos, para la zona 3 el 69% de los usuarios corresponden a Casas y el 31% a Apartamentos, para la zona 4 el 93% de los usuarios corresponden a Casas y el 7% a Apartamentos, y para la zona 5 el 99% de los usuarios corresponden a Casas y el 1% a Apartamentos. Finalmente, con la totalidad de usuarios evaluados unificada, se determinó que a nivel general, de la muestra tomada el 85.5% de los usuarios corresponden a viviendas tipo casa, y el 15.5% restante a viviendas tipo apartamento, y que en este sentido, en los estratos 1 al 4, la predominancia de los usuarios registrados viven en casas, pero en los estratos 5 y 6, la mayoría de usuarios corresponden a apartamentos.

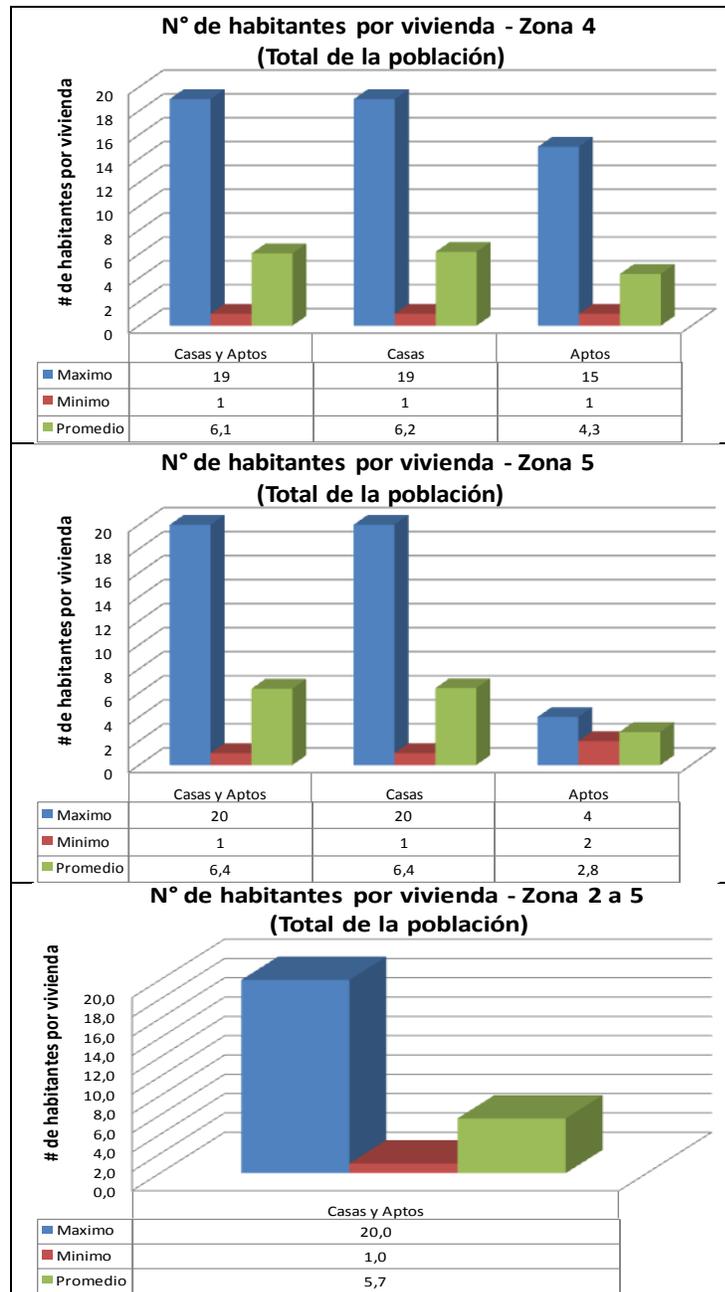
Dentro de la información disponible en las encuestas, una de las más importantes para el presente estudio hace referencia al número de habitantes por vivienda, encontrando que para el total de usuarios de la zona 2, se cuenta con un número de habitantes máximo de

17, un mínimo de 1 y un promedio de 5.1 habitantes; para los usuarios de la zona 3 se encuentra un número de habitantes máximo de 16, un mínimo de 1 y un promedio de 5.1 habitantes; para los usuarios de la zona 4 se encuentra un número de habitantes máximo de 19, un mínimo de 1 y un promedio de 6.1 habitantes; y finalmente para la zona 5 se encuentra un número de habitantes máximo de 20, un mínimo de 1 y un promedio de 6.4 habitantes. En función a la totalidad de información se encontró un número de habitantes máximo de 20, un mínimo de 1 y un promedio de 5.7 habitantes; este valor se puede asociar al hecho que existan más usuarios con vivienda tipo casa a tipo apartamento.

Al hacer el mismo análisis para la totalidad de usuarios de la Zona 2, discriminado en casas y apartamentos, se encontró que el promedio de habitantes en casas es de 5.6, mientras que para apartamentos este valor se reduce a 3.1; para la zona 3 el promedio de habitantes en casas es de 6, mientras que para apartamentos este valor se reduce a 3.3; para la zona 4 el promedio de habitantes en casas es de 6.2, mientras que para apartamentos este valor se reduce a 4.3; y para la zona 5 el promedio de habitantes en casas es de 6.4, mientras que para apartamentos este valor se reduce a 2.8, reflejando esto, que la tendencia general para toda la muestra es que exista un mayor número de habitantes en casas y un menor número en apartamentos. A continuación se presenta una serie de figuras que reflejan el número de habitantes en promedio obtenidos a partir de la información disponible de encuestas.

Figura 3-2: Número de habitantes por vivienda (Población total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.



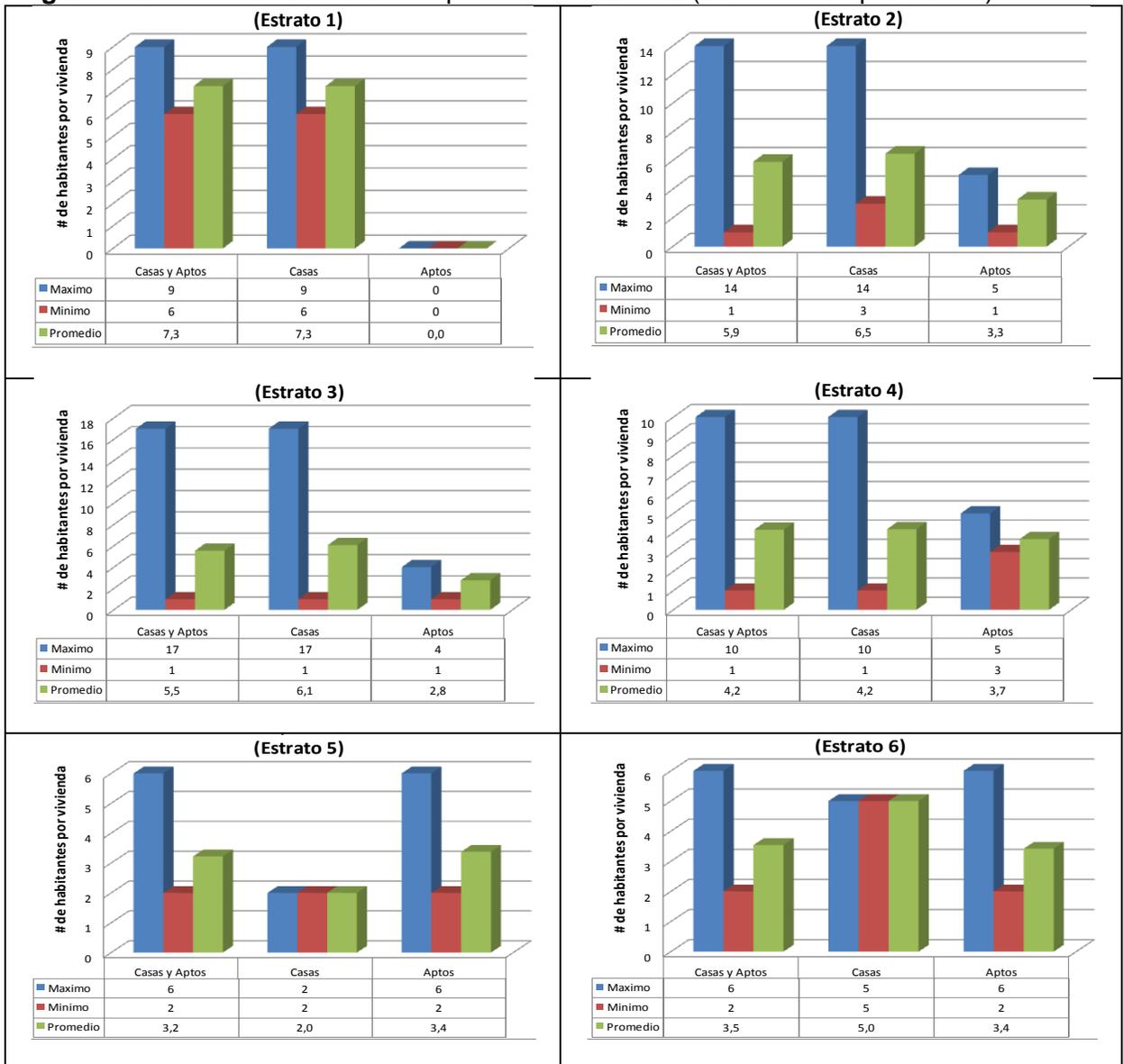


Un siguiente análisis realizado correspondió a una mayor discriminación de la información, en función tanto al tipo de vivienda como al estrato, y se encontró que para la zona 2 el mayor número promedio de habitantes para la vivienda tipo casa ocurre en el estrato 1 con 7.3 habitantes, aunque este valor no es muy representativo para el estrato puesto que solo se contaba con 4 usuarios, en cambio, se considera más representativo el valor obtenido para los estratos 3 y 4, con valores de 6.1 y 4.2 habitantes respectivamente; para la zona 3 el mayor número promedio representativo de habitantes para la vivienda tipo casa ocurre en los estratos 3 y 4, con valores de 5.6 y 3.7 habitantes respectivamente; para la zona 4 el mayor número promedio representativo de habitantes para la vivienda tipo casa ocurre en el estrato 2, con un valor de 5.6 habitantes.; y

finalmente para la zona 5 el mayor número promedio representativo de habitantes para la vivienda tipo casa ocurre en el estrato 2, con un valor de 6.9 habitantes.

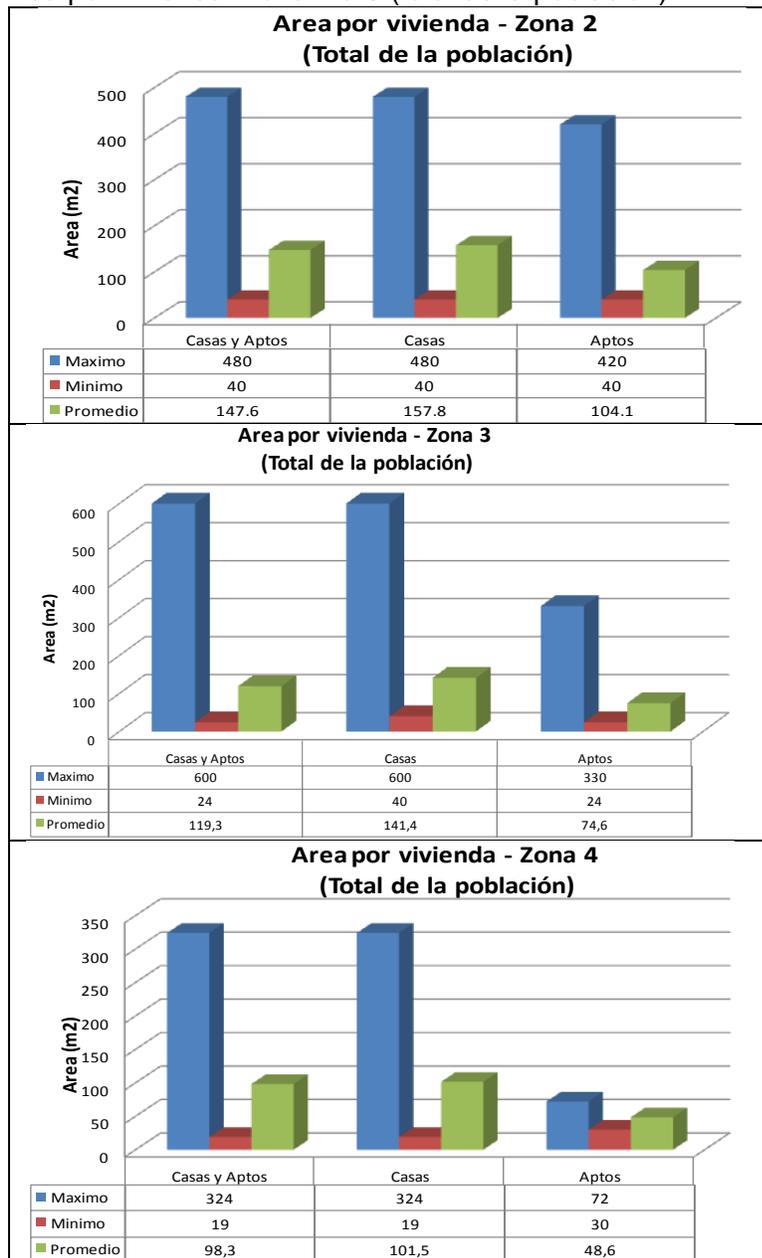
Como resultado general se observa como en las viviendas tipo casa se encuentra un valor promedio de habitantes mayor al obtenido para apartamentos, e igualmente se observa como el número de habitantes en casas disminuye conforme el estrato es mayor, mientras que para los apartamentos este valor tiende a ser más estable. A continuación se presenta una serie de figuras con los resultados para el total de la población evaluada, discriminada por estrato para la zona 2. Las figuras de las zonas 3 a 5 se pueden consultar en el anexo 1 “Caracterización y análisis de encuestas y registros de medición de caudales por estrato y tipo de vivienda Zonas 2 a 5”.

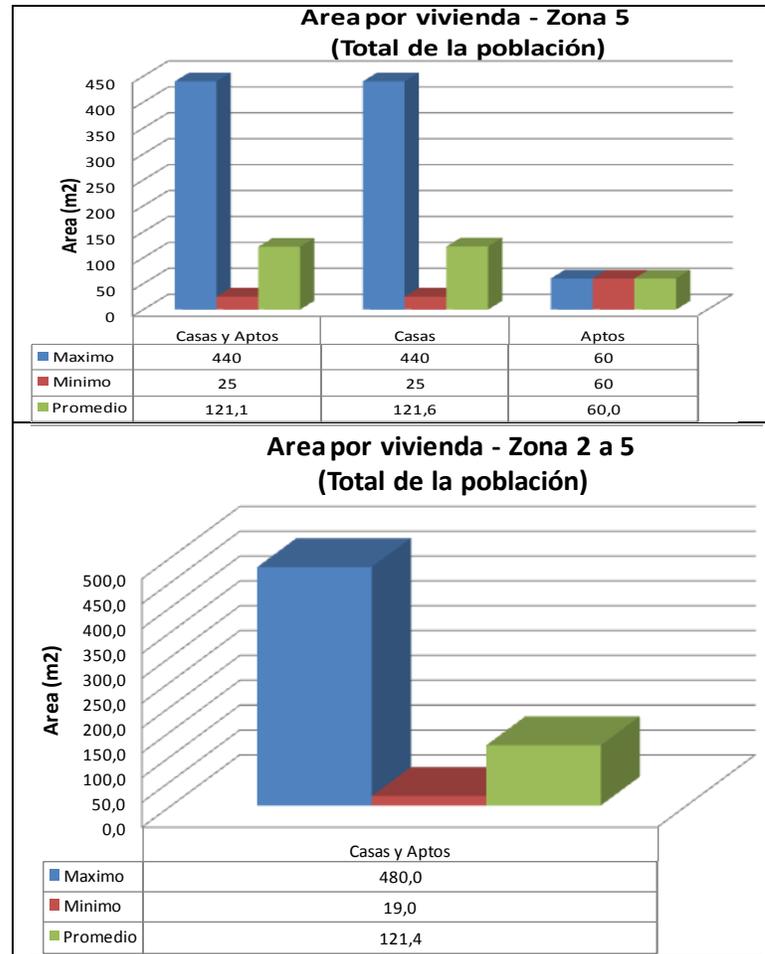
Figura 3-3: Número de habitantes por vivienda Zona 2 (Discriminado por estrato).



Otra variable analizada corresponde al área de vivienda, encontrándose que para la zona 2 la máxima corresponde a 480 m², y la mínima a 40 m², con un valor promedio de 147.6 m², para la zona 3 la máxima corresponde a 600 m², y la mínima a 24 m², con un valor promedio de 119.3 m², para la zona 4 la máxima corresponde a 324 m², y la mínima a 19 m², con un valor promedio de 98.3 m², y para la zona 5 la máxima corresponde a 440 m², y la mínima a 25 m², con un valor promedio de 121.1 m². Para el total de la muestra analizada en conjunto se determinó que la máxima área corresponde a 480 m², y la mínima a 19 m², con un valor promedio de 121.4 m². En esta variable se encuentra que para la totalidad de la muestra se observa como el área promedio en casas es mayor a la de apartamentos. A continuación se presenta una figura que resume dicho resultado para el total de usuarios disponibles tanto por zona como para la muestra unificada.

Figura 3-4: Área por vivienda Zona 2 a 5 (total de la población).

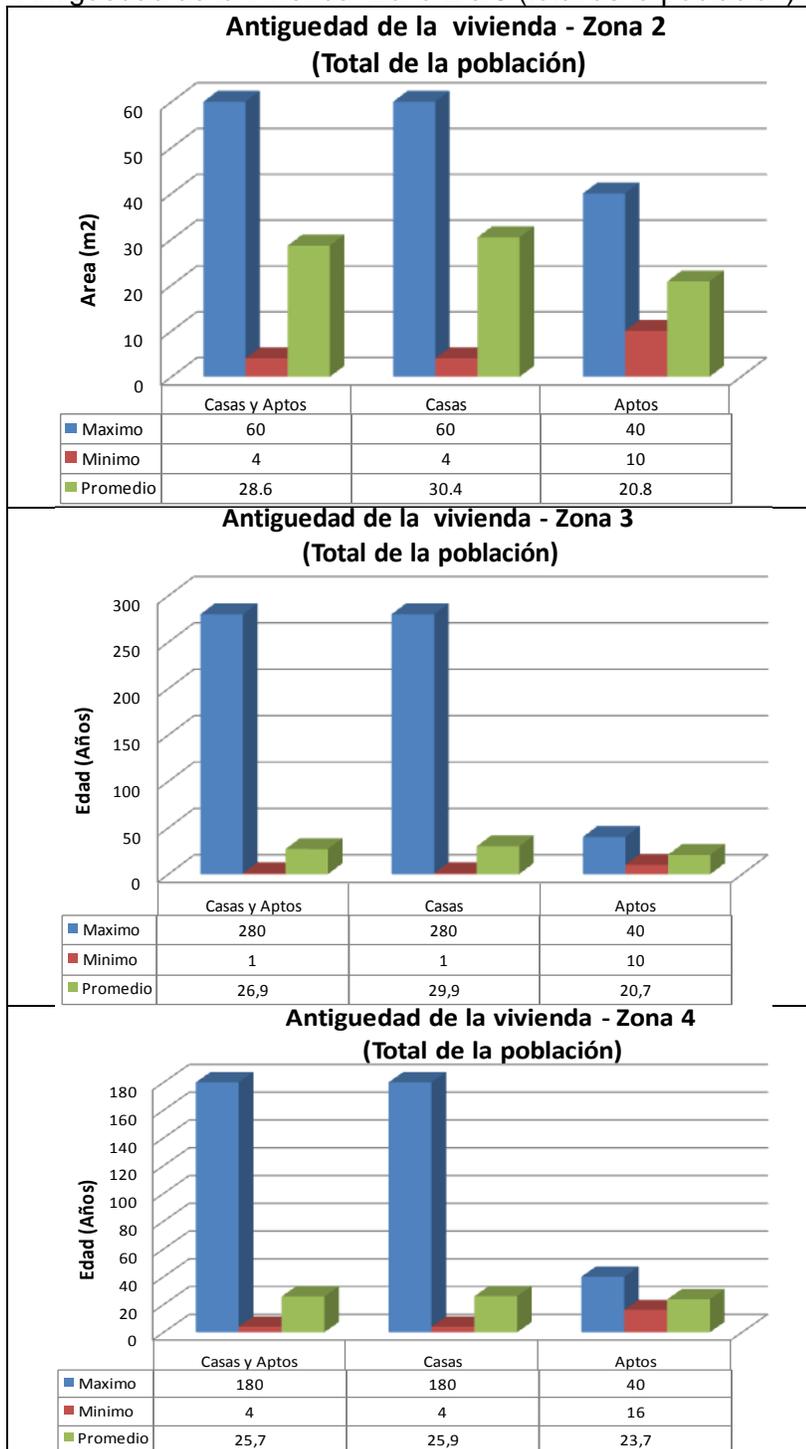


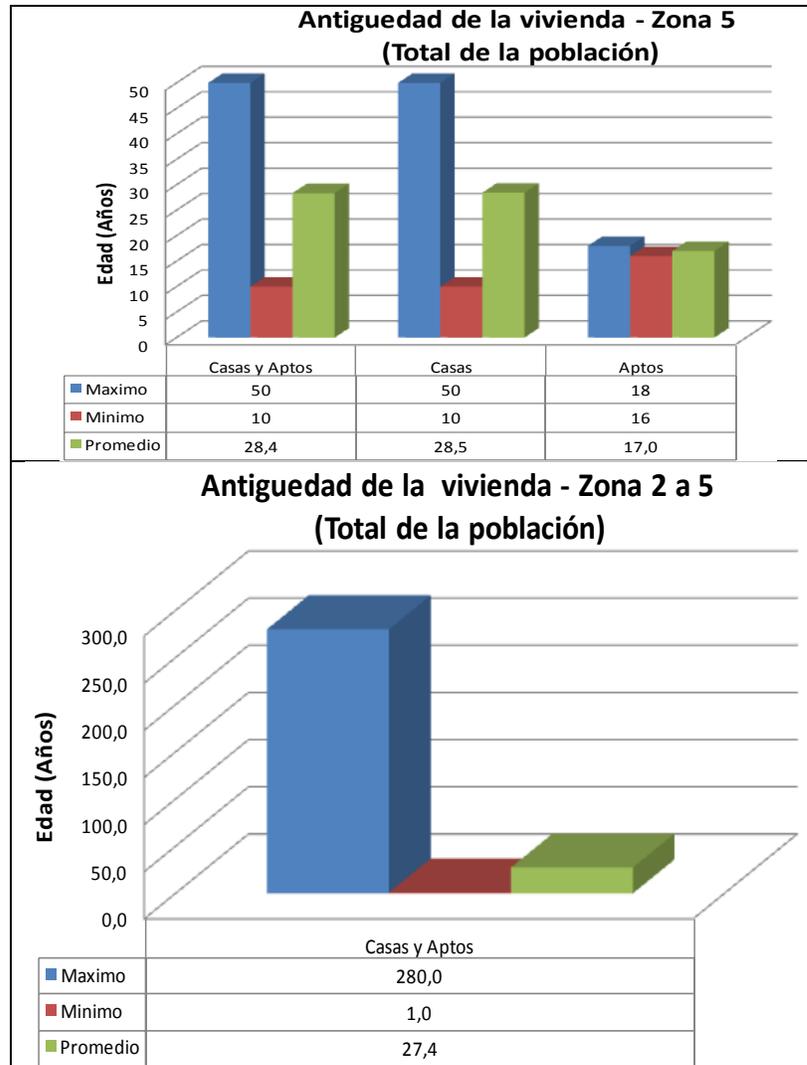


Con relación a la antigüedad en la construcción de las viviendas se obtuvo que para el total de los usuarios de la zona 2 se tiene una edad máxima de 60 años, una mínima de 4 años y un promedio de 28.6 años; para la zona 3 se tiene una edad máxima de 280 años, una mínima de 1 año y un promedio de 26.9 años; para la zona 4 se tiene una edad máxima de 180 años, una mínima de 4 años y un promedio de 25.7 años; y para la zona 5 se tiene una edad máxima de 50 años, una mínima de 10 años y un promedio de 28.4 años; finalmente para la totalidad de usuarios de la muestra se determinó que la edad promedio de las viviendas es de 27.4 años. De la anterior caracterización se pudo determinar que es más común que las casas tengan una mayor antigüedad de construcción que los apartamentos.

A continuación se presenta una serie de figuras que resumen dichos resultados tanto por zona como para la muestra unificada.

Figura 3-5: Antigüedad de la vivienda Zona 2 a 5 (total de la población).





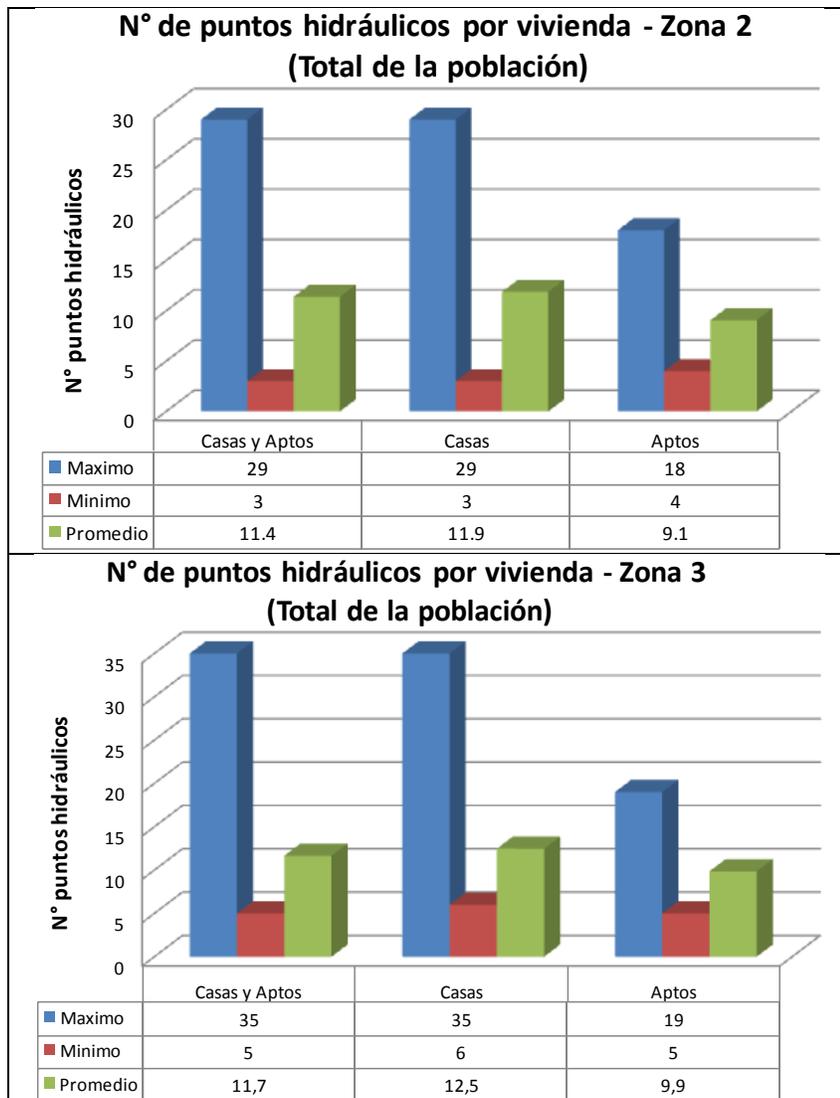
Uno de los datos más importantes para el presente estudio se relaciona con los puntos hidráulicos de cada vivienda, en donde se encontró que para el total de la población de la zona 2, el mayor número de puntos hidráulicos corresponde a 29, el menor a 3 y el promedio de puntos hidráulicos es de 11.4; para la zona 3 el mayor número de puntos hidráulicos corresponde a 35, el menor a 5 y el promedio de puntos hidráulicos es de 11.7; para la zona 4 el mayor número de puntos hidráulicos corresponde a 28, el menor a 5 y el promedio de puntos hidráulicos es de 11; y para la zona 5 el mayor número de puntos hidráulicos corresponde a 36, el menor a 4 y el promedio de puntos hidráulicos es de 13. Finalmente, al analizar la totalidad de la muestra se obtiene que para los usuarios evaluados en la ciudad de Bogotá, el mayor número de puntos hidráulicos corresponden a 36, el menor a 3 y el promedio de puntos hidráulicos correspondiente a la información más importante en este aspecto porque permite determinar la configuración típica del usuario residencial, es de 11.7.

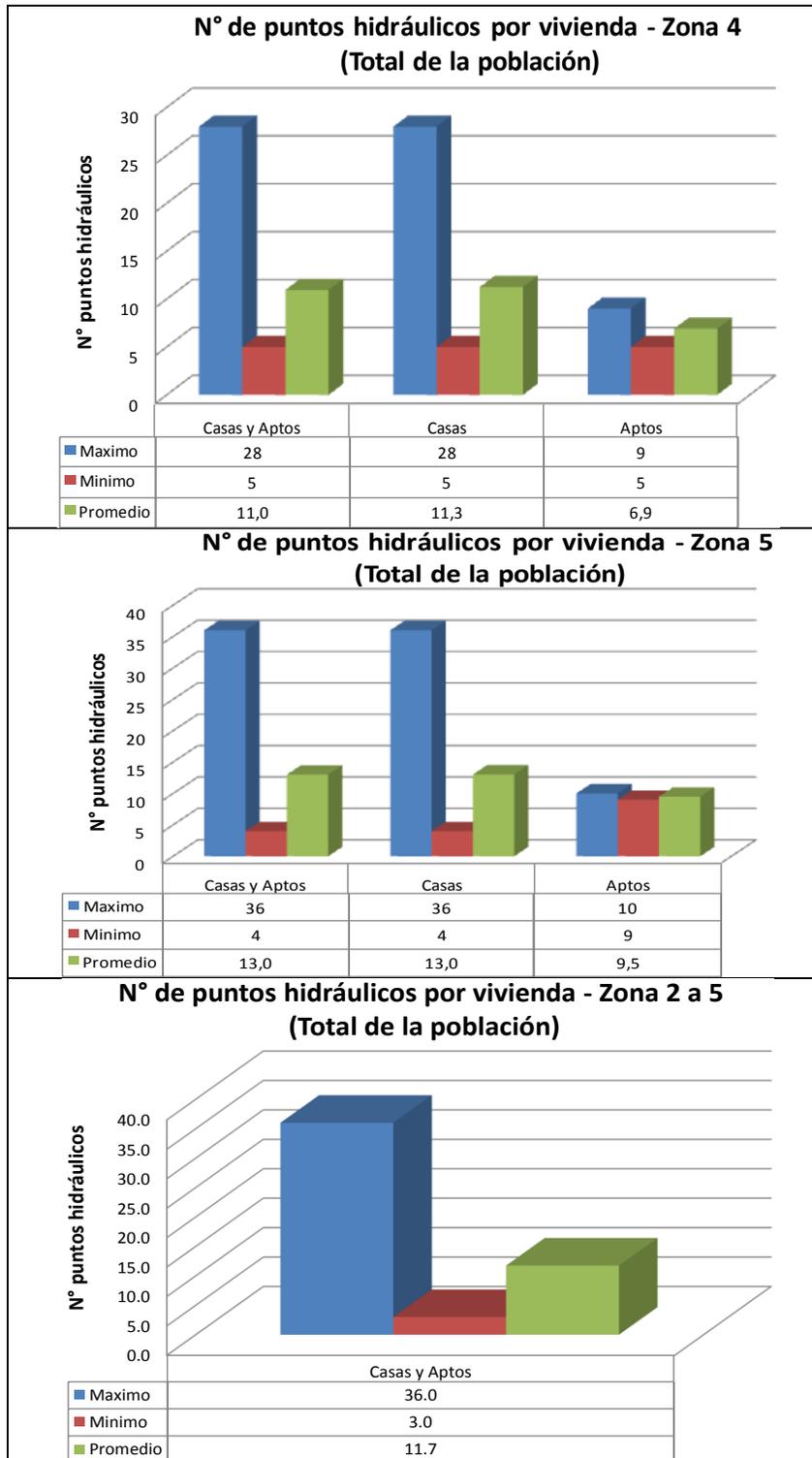
Igualmente se determinó el valor promedio de cada uno de los diferentes tipos de puntos hidráulicos para el total de la muestra, los cuales se dividen en Grifos (promedio de 5.4), Sanitarios (promedio de 2.2), Duchas (promedio de 2.0), Lavaderos (promedio de 1.2),

Tinas (promedio de 2.0) y Lavadoras (promedio de 1.2). En esta variable se observó que existe mayor número de puntos hidráulicos en las casas que en los apartamentos con puntos hidráulicos respectivamente. Al analizar los resultados promedios, es posible inferir que una unidad residencial tipo casa, está conformada típicamente por 5 grifos que corresponden a lavamanos y llaves de jardín, 2 sanitarios y 2 duchas, para la conformación de un promedio de 2 baños por vivienda, 1 lavadero y 1 lavadora, y eventualmente si se cuenta con tina, es de esperarse un promedio de 1 o 2, aunque esta situación suele ser muy esporádica.

A continuación se presenta una serie de figuras que resumen los resultados de la caracterización de puntos hidráulicos para cada zona y para el total de la muestra.

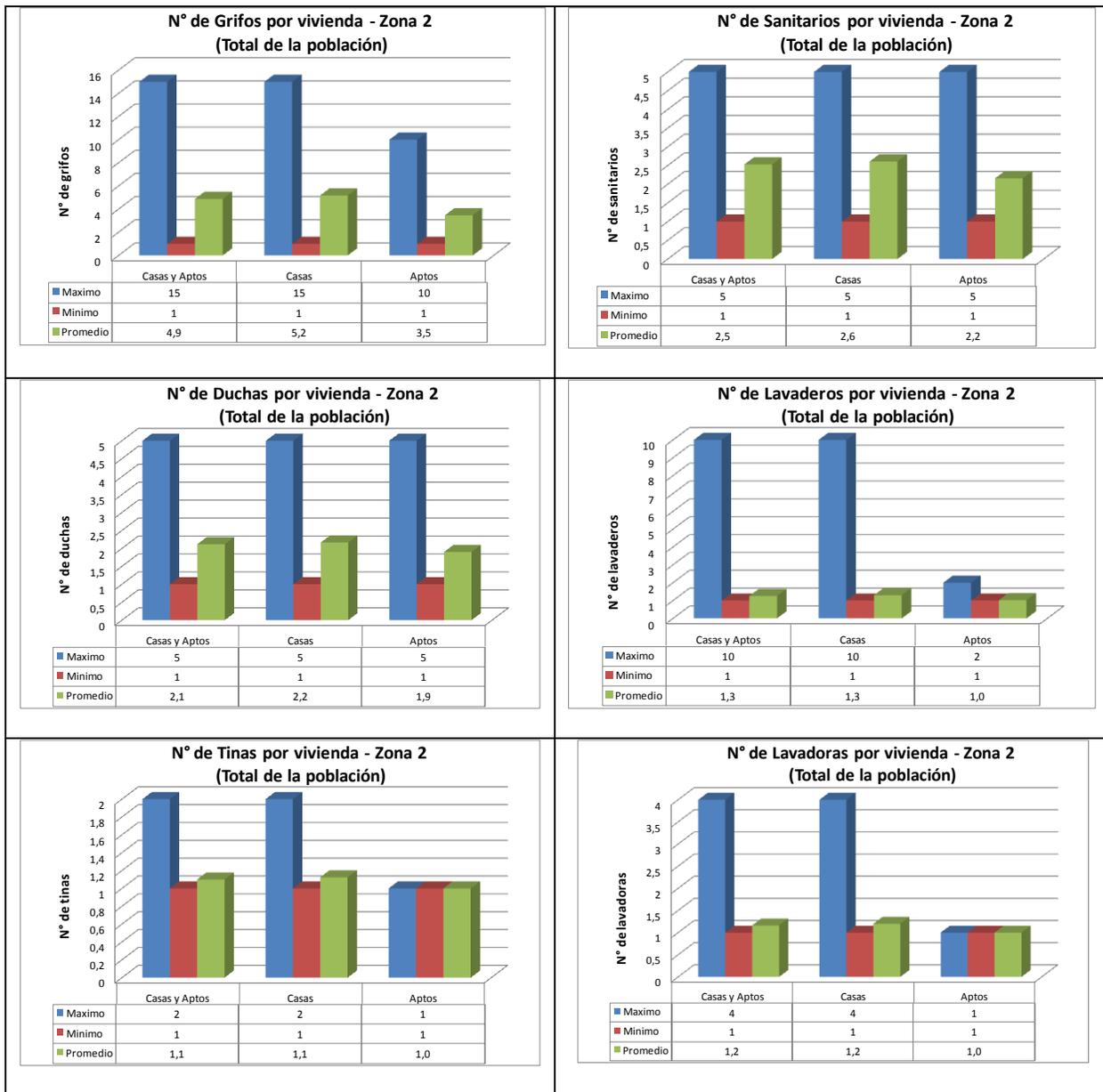
Figura 3-6: Número de puntos hidráulicos por vivienda Zona 2 a 5 (total de la población).





En las siguientes figuras se presenta el resumen de los datos procesados y discriminados en función al tipo de punto hidráulico para la zona 2, para las demás zonas dicha información se puede encontrar en el Anexo 1“Caracterización y análisis de encuestas y registros de medición de caudales por estrato y tipo de vivienda Zonas 2 a 5”

Figura 3-7: Número de puntos hidráulicos por vivienda Zona 2 (total de la población), discriminado por cada tipo de punto hidráulico caracterizado en la encuesta.



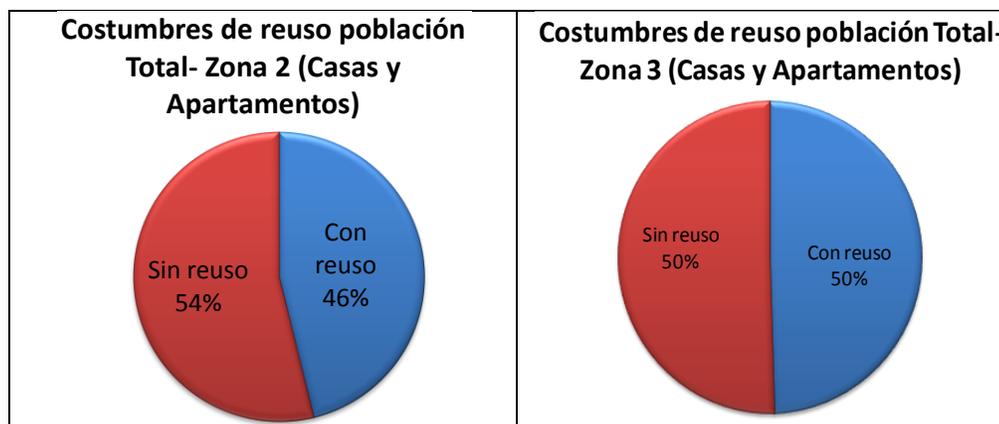
En función a las figuras anteriores, es claro que en mayor número de puntos hidráulicos que se pueden encontrar en una vivienda localizada en la zona 2, ya sea a casa o apartamento, corresponde a los grifos (5.2 y 3.5 grifos respectivamente) que hacen alusión a lavamanos y llaves tipo manguera, seguido de sanitarios (2.6 y 2.2 respectivamente) y duchas (2.2 y 1.9 respectivamente). Respecto a los lavaderos se encuentra que comúnmente se cuenta con uno solo tanto en casas como apartamentos, e igualmente ocurre con las lavadoras y con las tinas (en aquellos usuarios donde se contaba con tinas, que son muy pocos). Las gráficas del comportamiento de estas variables discriminadas para las zonas 3 a 5 se encuentran en el Anexo 1.

Dentro de las encuestas se pretendió caracterizar las costumbres de re-uso de agua por parte de la población de tipo residencial, entendiéndose el re-uso, en el contexto del trabajo realizado, como el aprovechamiento del agua previamente utilizada, una o más veces en alguna actividad para suplir las necesidades de otros usos (Lavrador Filho, 1987), como el caso del agua de lavado de ropa que se recicla en baldes para ser usada posteriormente para la descarga de sanitarios, o lavado de pisos; encontrándose que del total de la población encuestada en la zona 2, el 54% no re-usa, mientras que el 46% sí; en la zona 3 el 50% no re-usa, mientras que el otro 50% sí; en la zona 4 el 56% no re-usa, mientras que el 44% sí; y en la zona 5 el 67% no re-usa, mientras que el 33% sí. De igual manera, al analizar la totalidad de la muestra se obtiene que para la caracterización general de la ciudad de Bogotá el 43.4% de la población implementa estrategias de re-uso del agua, mientras que el 56.6% restante no lo hace.

Una importante conclusión obtenida es que los estratos que más re-usan son el 2 (43.3% re-usa), 3 (43.3% re-usa) y 4 (59.1% re-usa), que corresponden al 92.9% de la totalidad de usuarios con re-uso de agua, y los que menos re-usan son los estratos 1 (30%), 5 (20%) y 6 (0%), aunque para estos dos últimos estratos no es una información que se pueda considerar como totalmente característica de las costumbres de dicho estrato puesto que se contaba con muy pocos usuarios dentro de la muestra, por el contrario, la información para el estrato 1 si es representativa, y refleja para este estrato que el porcentaje de población que re-usa es muy bajo, más aun cuando se trata del estrato con más usuarios en la ciudad y cubiertos por una serie de subsidios que asumen los estratos 3 en adelante, siéndoles el tema del re-uso indiferente.

Lo anterior refleja que existe un gran porcentaje de la población interesada en el re-uso en los estratos 2, 3 y 4, y un menor valor en el estrato 5, mientras que el estrato 1 refleja un bajo interés en el tema del re-uso, por cuanto esta puede ser una variable importante a tener en cuenta al momento de determinar los consumos de la población, así como posibles políticas y campañas educativas sobre el re-uso y el uso eficiente del agua, principalmente en el estrato 1. A continuación se presenta dos series de figuras que resumen los resultados obtenidos respecto a las costumbres de re-uso de la población para las zonas 2 a 5 y para el total de la muestra analizada en conjunto.

Figura 3-8: % Costumbres de re-uso del agua en la población de la Zona 2 a 5 (total de la población).



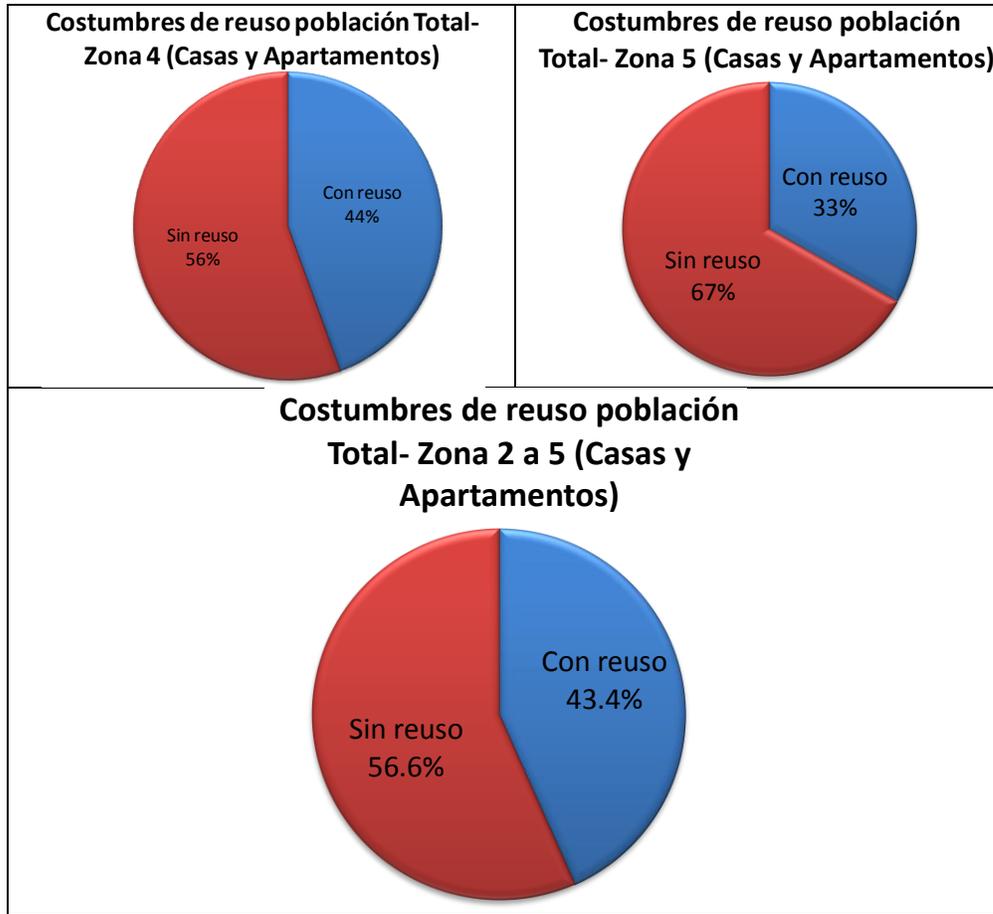
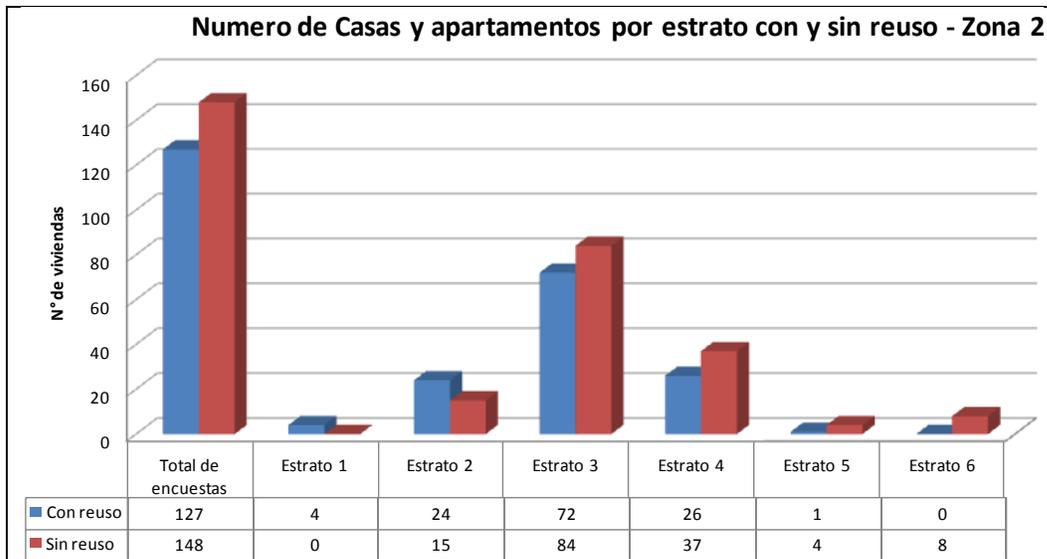
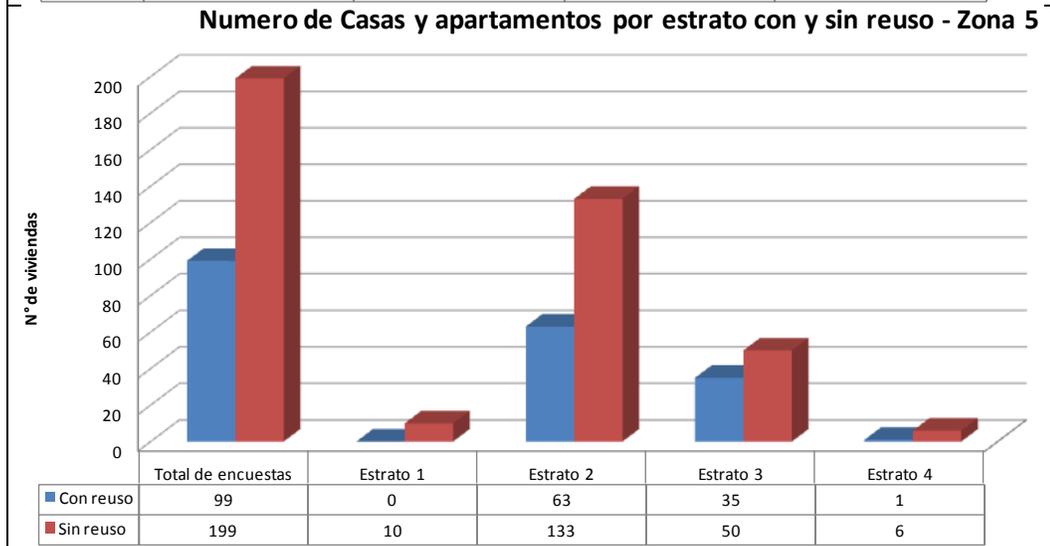
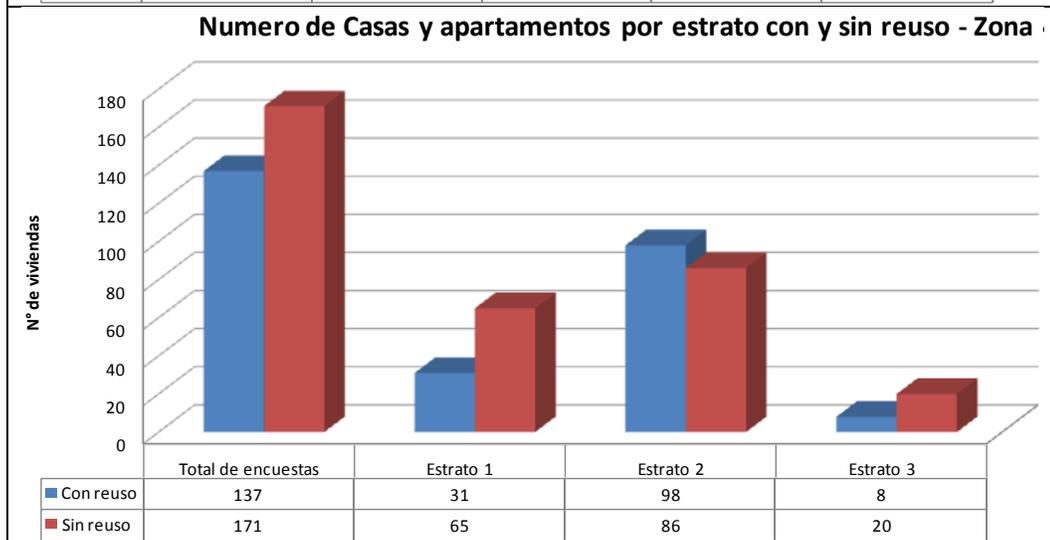
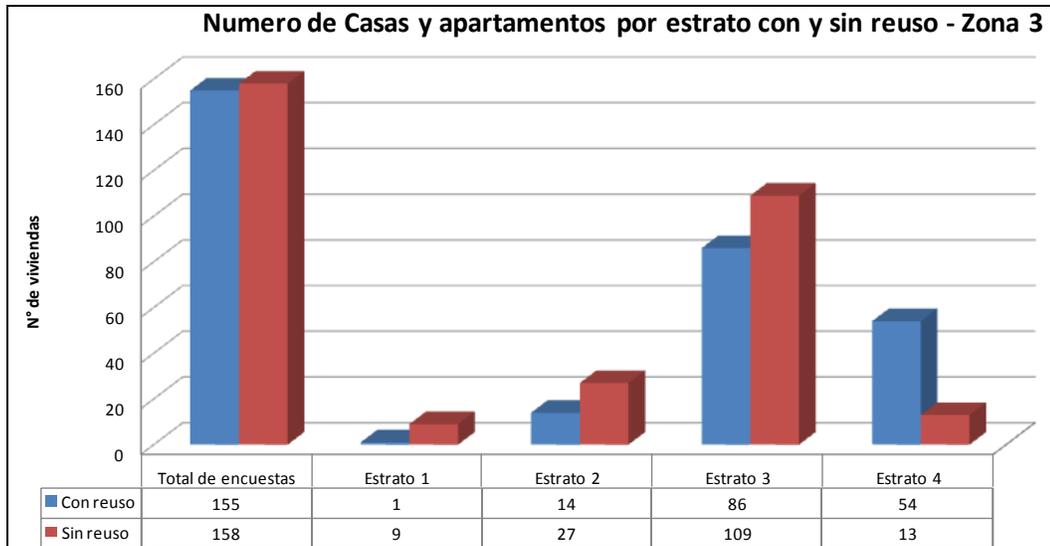
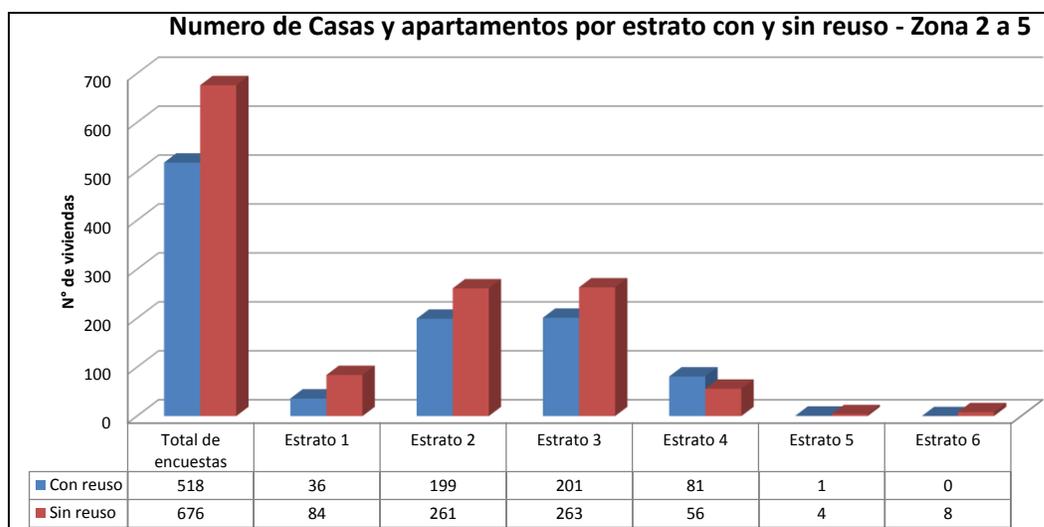


Figura 3-9: Número de Usuarios (Casas y Apartamentos) por estrato Zona 2 a 5 con y sin re-uso.







3.1.2 Resumen análisis Información de encuestas Zonas 2 a 5

En función al análisis de la información de encuestas de los usuarios de las 4 zonas estudiadas tanto de manera independiente como conjunta, a continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos de las variables evaluadas.

Tabla 3-1: Tabla resumen resultados del análisis de la información de encuestas para las zonas 2 a 5.

Variable evaluada	Zona número				
	2	3	4	5	Unificado
Total Usuarios (Casas y apartamentos)	301	315	311	306	1233
Total usuarios casas	245 (81%)	217 (69%)	290 (93%)	302 (99%)	1054 (85.5%)
Total usuarios apartamentos	56 (19%)	98 (31%)	21 (7%)	4 (1%)	179 (14.5%)
Estrato con mayor número de usuarios	3 (54%)	3 (63%)	2 (59%)	2 (64%)	2 y 3 (38.4% y 37.5%)
Número promedio de habitantes por vivienda (casa y apartamento)	5.1	5.1	6.1	6.4	5.7
Número promedio de habitantes por vivienda (casa)	5.6	6	6.2	6.4	6.1
Número promedio de habitantes por vivienda (apartamento)	3.1	3.3	4.3	2.8	3.4
Área promedio de la vivienda en m2 (Casas y apartamentos)	147.6	119.3	98.3	121.1	121.4
Área promedio de la vivienda en m2 (Casas)	157.8	141.4	101.5	121.6	130.6
Área promedio de la vivienda en m2 (apartamentos)	104.1	74.6	48.6	60	71.8

Variable evaluada	Zona número				
	2	3	4	5	Unificado
Edad promedio de las edificaciones en años (casas y apartamentos)	28.6	26.9	25.7	28.4	27.4
Edad promedio de las edificaciones en años (casas)	30.4	29.9	25.9	28.5	28.7
Edad promedio de las edificaciones en años (apartamentos)	20.8	20.7	23.7	17	20.6
Promedio de puntos hidráulicos (total casas y apartamentos)	11.4	11.7	11	13	11.7
Promedio de puntos hidráulicos (total casas)	11.9	12.5	11.3	13	12.2
Promedio de puntos hidráulicos (total apartamentos)	9.1	9.9	6.9	9.5	8.9
Promedio de puntos hidráulicos (grifos)	4.9	5.2	5.3	6.3	5.4
Promedio de puntos hidráulicos (sanitarios)	2.5	2.2	1.8	2.2	2.2
Promedio de puntos hidráulicos (duchas)	2.1	2.0	1.7	2.1	2.0
Promedio de puntos hidráulicos (lavaderos)	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2
Promedio de puntos hidráulicos (tinajas)	1.1	1.0	4.0	2.0	2.0
Promedio de puntos hidráulicos (lavadoras)	1.1	1.2	1.1	1.3	1.2
% población que re-usa agua (total población)	46%	50%	44%	33%	43.4%
% población que re-usa agua (estrato 1)	-	10%	32%	0%	10.1%
% población que re-usa agua (estrato 2)	62%	34%	53%	32%	43.3%
% población que re-usa agua (estrato 3)	46%	44%	29%	41%	43.3%
% población que re-usa agua (estrato 4)	41%	81%	-	14%	59.1%

En función a los resultados plasmados en la tabla anterior se observa como el número de usuarios evaluados en las 4 zonas es muy similar, comprendido entre 301 y 315 usuarios, e igualmente que el mayor número de usuarios caracterizados habitan viviendas tipo casa, por lo cual los resultados que arroje el presente estudio son representativos de usuarios residenciales tipo casa, y en menor medida de tipo apartamento.

Se observa como el promedio de habitantes por vivienda para las 4 zonas está comprendido entre 5-6 habitantes, con un valor medio aceptable de 5.7, e igualmente

que existe un mayor número de habitantes para viviendas tipo casa que para tipo apartamento, con valores promedio de 6.1 habitantes y 3.4 habitantes respectivamente.

Respecto al área de las viviendas se encontró, como era de esperarse, que las tipo casa son mayores a las tipo apartamento, con valores promedio de 101.5-157.8 m² y 48.6-104.1 m² respectivamente.

En el caso de la variable correspondiente a la edad de la edificación, se encontró que para las casas el promedio está entre 25.9-30.4 años, mientras que los apartamentos presentan edades algo menores, comprendidas entre 17-23.7 años. Lo cual se puede asociar directamente con la edad de los sistemas internos de suministro de agua a la edificación y el posible estado de los mismos (es de esperarse algunos problemas de fugas y goteos a causa de la edad de las edificaciones estudiadas).

Con respecto al número de puntos hidráulicos totales encontrados, se observa como la cantidad de estos es muy similar para las viviendas estudiadas en las 4 zonas, con valores entre 11-13 puntos hidráulicos, y que se encuentran más puntos hidráulicos en las casas que en los apartamentos, con valores de 11-13 puntos y 7-10 puntos respectivamente. Igualmente se encontró que el mayor número de puntos hidráulicos en una vivienda corresponde a los grifos (lavamanos y llaves de manguera), correspondiente a 5-6 puntos, seguido de los sanitarios y duchas con un promedio de 2 puntos cada uno, y finalmente los lavaderos y lavadoras con 1 punto sanitario en promedio cada uno; respecto a las tinas se encontró algunos datos anómalos en las zonas 4 y 5, por lo cual es prudente no considerar dichos datos y determinar que el número promedio de tinas que puede esperarse en las viviendas de estas 4 zonas de estudio es de 1.

Finalmente, con relación al re-uso del agua, en el contexto del trabajo realizado, los datos de porcentaje de población que re-usa por estrato son bastante concluyentes, por lo cual es posible determinar que en los estratos 2, 3 y 4 se presenta un mayor interés por el re-uso, e igualmente es claro que el tema de re-uso es una variable a tener en cuenta dentro de las políticas tendientes a la reducción del consumo de la población y las estrategias de educación en el uso eficiente y cuidado del recurso agua, principalmente en los estratos más bajos como el 1, en donde se observa como son los que menos interés reflejan en este tema, y los cuales conforme la estructura tarifaria de la prestación y cobro del servicio reciben el mayor subsidio, y actualmente el denominado mínimo vital.

3.2 Procesamiento y análisis Información de caudales.

De igual manera como se realizó con los datos de encuestas, a continuación se presenta los resultados del procesamiento y análisis de los datos de mediciones de caudal desarrollados a los usuarios residenciales de las zonas 2 a 5, en función a los datos registrados mediante los micromedidores Aquabus Y290.

A continuación se presenta el análisis obtenido a partir de la información de caudalesmedidos a los usuarios de las zonas 2 a 5. Inicialmente se explica la metodología seguida para cada una de las variables evaluadas, empleando como ejemplo los datos de usuarios de la zona 2, y después por cada variable se presenta los resultados obtenidos para las 4 zonas analizadas por separado y en conjunto (muestra unificada para la ciudad de Bogotá)

3.2.1 Análisis Información de medición de caudales Zonas 2 a 5

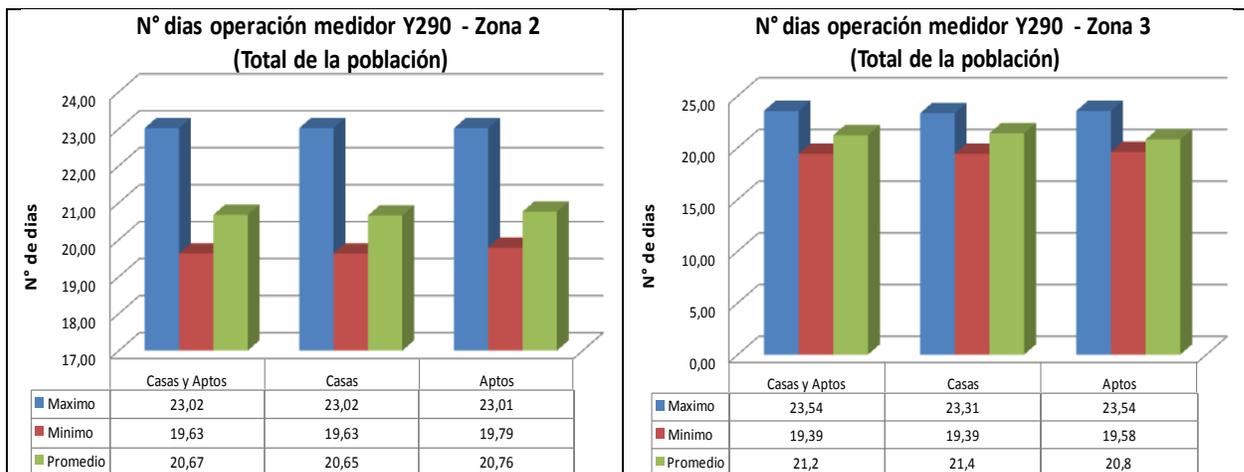
Para obtener la mejor correlación de la información de las encuestas con la de las mediciones de caudal, para la totalidad de usuarios de las 4 zonas objeto de estudio se correlacionó ambos datos en función al Número de cuenta contrato de cada usuario, y se obtuvo una sola base de información coherente y completa por zona, que permitiera la elaboración del presente trabajo.

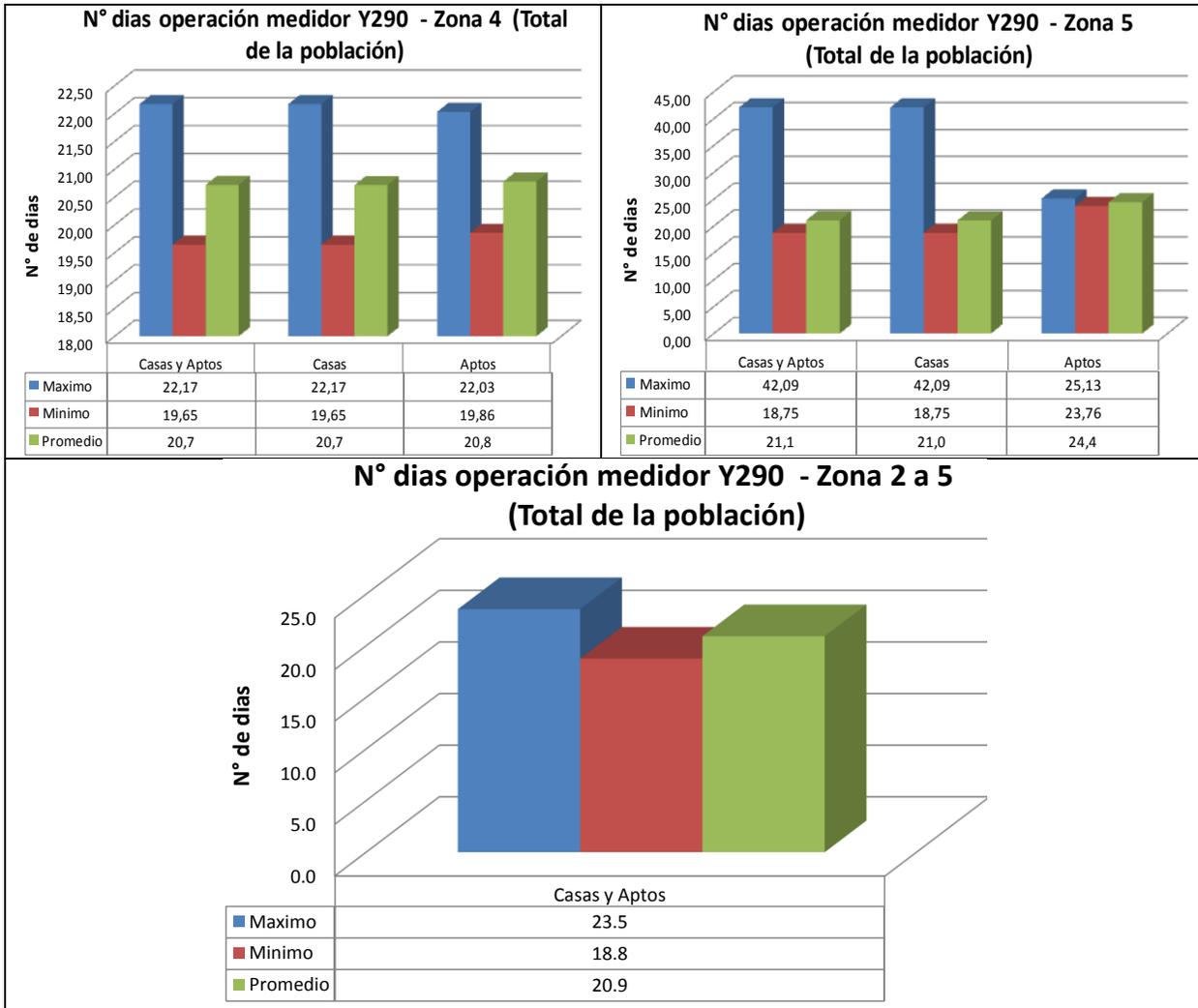
La información de caudales obtenida para los usuarios evaluados de la Zona 2 a 5 y su posterior análisis se presenta a continuación. Las hipótesis de análisis son explicadas para los datos de usuarios de la zona 2 y posteriormente se presenta los resultados obtenidos para cada zona de manera individual así como de manera conjunta, asumida como una sola muestra unificada.

La primera información analizada correspondió a la determinación del tiempo que duro instalado el equipo de medición en cada usuario del sistema, obteniendo para la totalidad de población evaluada de la zona 2 un máximo de 23.02 días, un mínimo de 19.63 días y un promedio de 20.67 días; para la zona 3 se obtuvo un máximo de 23.54 días, un mínimo de 19.39 días y un promedio de 21.2 días; para la zona 4 un máximo de 22.7 días, un mínimo de 19.65 días y un promedio de 20.7 días; y finalmente para la zona 5 evaluada un máximo de 42.09 días, un mínimo de 18.75 días y un promedio de 21.1 días; quiere decir esto que las lecturas para la totalidad de usuarios de las 4 zonas se llevaron a cabo en un periodo de 3 semanas aproximadamente. El valor promedio de días de instalación de los equipos al analizar la muestra unificada para la ciudad de Bogotá es de 20.9 días.

Los datos analizados para los usuarios de la Zona 2 fueron registrados entre el 28 de septiembre de 2009 y el 16 de octubre de 2009; para la zona 3 entre el 01 de noviembre de 2009 y el 07 de diciembre de 2009; para la zona 4 entre el 25 de enero de 2010 y el 19 de febrero de 2010; y para la zona 5 entre el 01 de marzo de 2010 y el 23 de abril de 2010. A continuación se presenta una serie de graficas que resumen los resultados obtenidos para las zonas 2 a 5 evaluadas por separado y unificadas.

Figura 3-10: Número de días operación medidor Y290 Zona 2 a 5 (total de la población).

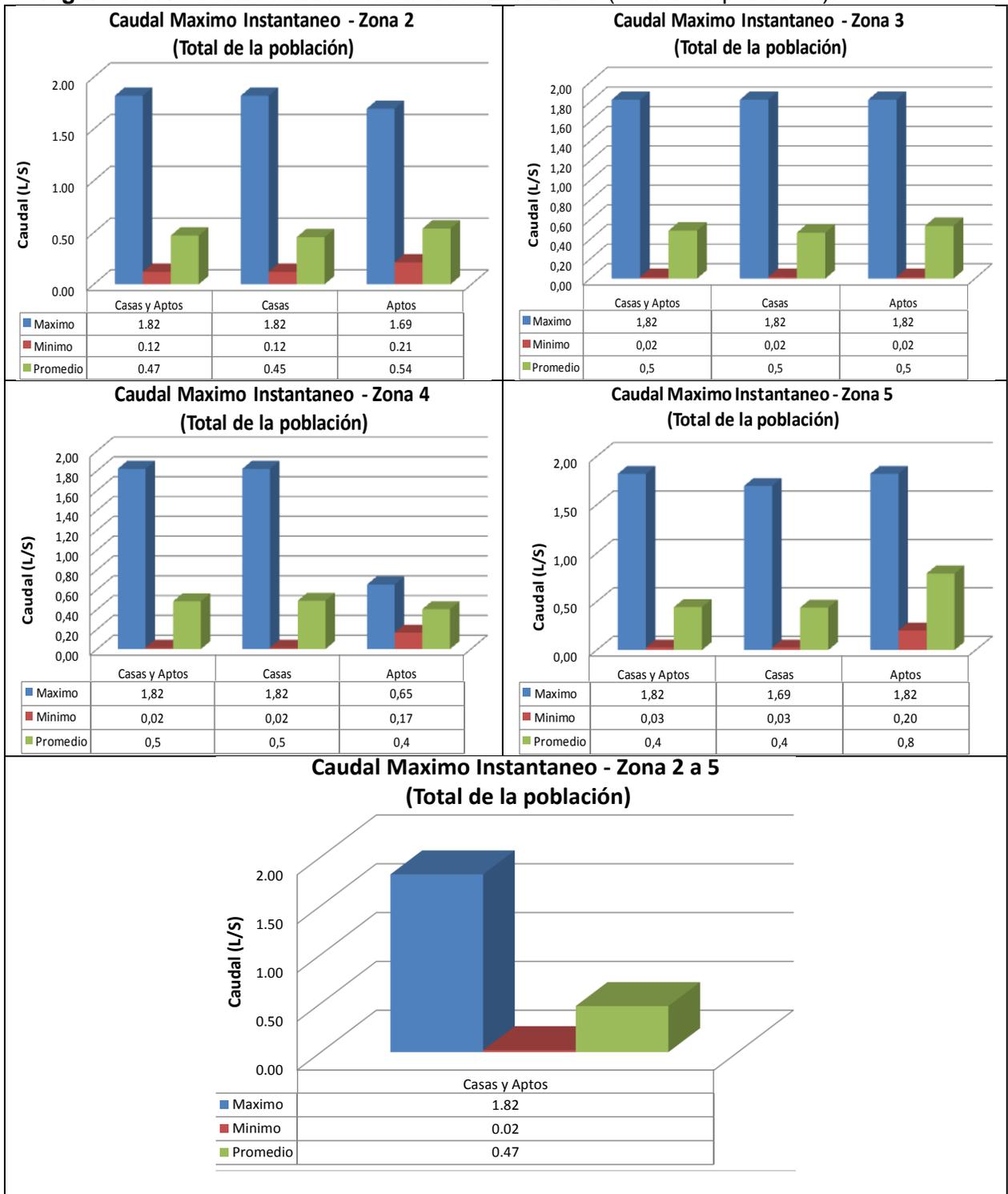




Uno de los valores más importantes desde el punto de vista hidráulico para el estudio, corresponde al caudal máximo instantáneo registrado por el medidor, en donde el equipo de medición usado permitía el registro del caudal máximo que pasó a través del medidor (en L/hora), así como la fecha de ocurrencia del mismo, para todos los usuarios evaluados. En este aspecto, para los usuarios de la zona 2 se obtuvo un valor máximo instantáneo de caudal de 1.82 L/s, un mínimo de 0.12 L/s, y un valor promedio de 0.47 L/s; en la zona 3 un valor máximo de 1.82 L/s, un mínimo de 0.02 L/s, y un valor promedio de 0.5 L/s; en la zona 4 un valor máximo de 1.82 L/s, un mínimo de 0.02 L/s, y un valor promedio de 0.5 L/s; y en la zona 5 un valor máximo de 1.82 L/s, un mínimo de 0.03 L/s, y un valor promedio de 0.4 L/s. Se observa como en todas las zonas el valor máximo fue el mismo, correspondiendo posiblemente a una restricción de caudal máximo de lectura del equipo de medición, igualmente se observa como los valores de caudales instantáneos promedios son muy similares para las 4 zonas; finalmente al analizar la información muestral en conjunto se obtuvo un valor promedio de caudal máximo instantáneo para los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá de 0.47 L/s.

Se observó además que el valor promedio del Caudal máximo instantáneo es mayor en apartamentos que en casas. Del análisis por zona se pudo concluir que el valor promedio de caudal máximo obtenido para los apartamentos es mayor al de las casas en la mayoría de los casos.

Figura 3-11: Caudal Máximo Instantáneo Zona 2 a 5 (total de la población).



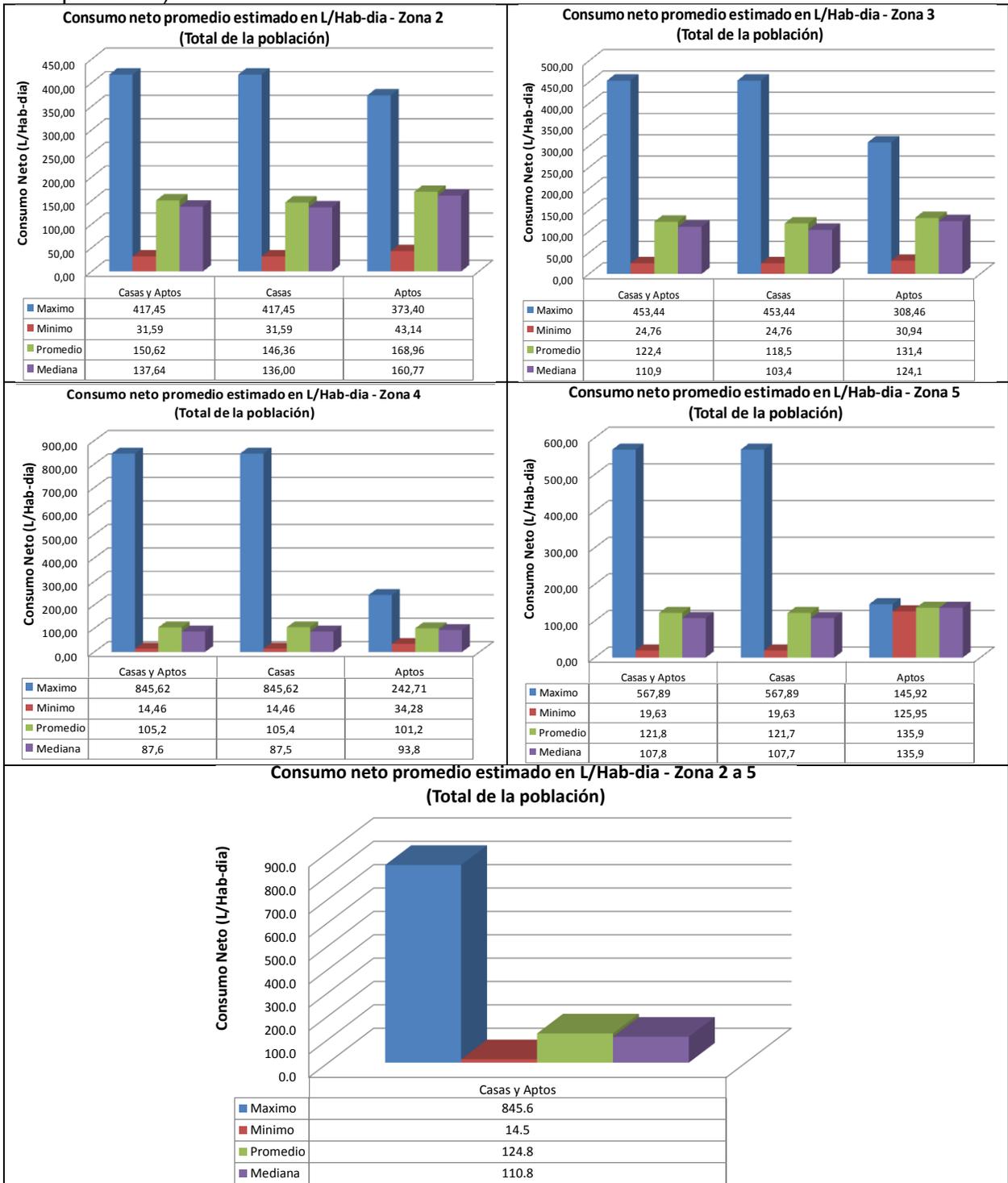
En vista que el equipo de medición permitía obtener el volumen de agua total consumido en litros por cada usuario en 12 días, registrándolo por fechas, y que mediante las encuestas se logró determinar el número de habitantes para cada uno de los usuarios evaluados, fue posible obtener inicialmente un valor promedio de consumo diario para cada usuario, el cual se generó con la información de volúmenes consumidos los 12 días, pero promediada en función al día de la semana en que se registró, para así obtener un periodo de registro de una semana típica (de lunes a domingo), promediando los consumos registrados para un mismo día entre el lunes y el domingo.

Después se obtuvo el volumen promedio consumido en un día como el volumen promedio de toda la semana típica generada, dividido en 7 días, y finalmente dicho valor para cada usuario se dividió en el número de habitantes por usuario, y se obtuvo un valor promedio de consumo neto por habitante, donde el valor máximo obtenido para el total de la población evaluada de la zona 2 es de 417.45 l/hab-día, un mínimo de 31.6 L/hab-día, y un valor promedio de 150.62 l/hab-día; para la zona 3 se obtuvo un máximo de 453.44 l/hab-día, un mínimo de 24.76 L/hab-día, y un valor promedio de 122.4 l/hab-día; para la zona 4 se obtuvo un máximo de 845.6 l/hab-día, un mínimo de 14.46 L/hab-día, y un valor promedio de 105.2 l/hab-día; y finalmente para la zona 5 se obtuvo un máximo de 567.89 l/hab-día, un mínimo de 19.63 L/hab-día, y un valor promedio de 121.8 l/hab-día. Es importante destacar que aun cuando se presentan valores máximos y Mínimos muy alejados entre sí, el interés principal de análisis de estos datos está asociado a la determinación de la media o promedio, puesto que corresponde al comportamiento típico de caudales consumidos esperados para un habitante en un día. En este sentido, al evaluar la totalidad de la muestra, se obtuvo a través de la metodología antes explicada, un valor de caudal promedio de consumo neto por habitante de 124.8 l/hab-día.

Adicionalmente, en vista que se cuenta con valores de caudales muy alejados de la media, que pueden generar un sesgo importante en los resultados obtenidos a partir de valores promedios, por lo cual se optó por emplear una herramienta estadística diferente al promedio (media aritmética), dicha herramienta corresponde a la Mediana, la cual permite determinar el punto central de la distribución de los datos donde se alcanza el 50% de las frecuencias acumuladas, y se constituye en una herramienta ideal para obtener valores centrales cuando se cuenta con datos que varían considerablemente entre el promedio y los picos. Bajo esta observación, se obtuvo que a través de la Mediana, el valor promedio de caudal se reduce para la zona 2 a 137.64 L/hab-día (13 L/hab-día menos que el obtenido con el promedio); para la zona 3 se reduce a 110.9 L/hab-día (11.5 L/hab-día menos); para la zona 4 se reduce a 87.6 L/hab-día (17.6 L/hab-día menos); y para la zona 5 se reduce a 107.8 L/hab-día (14 L/hab-día menos). Al analizar la muestra unificada el valor de la mediana obtenida es de 110.8L/hab-día, el cual, comparado con el promedio de toda la muestra, es 14 L/hab-día menor.

Igualmente se observó que el caudal neto Promedio y Mediana para todas las zonas de estudio (excepto zona 4), es mayor en el caso de los apartamentos que en el de las casas, con un valor de diferencia promedio de 7 l/hab-día para el caso del Promedio, y de 20 l/hab-día para el caso de la Mediana. Es claro que el caudal neto promedio por habitante en un día es mayor para los usuarios que viven en apartamento que para los que viven en casa.

Figura 3-12: Consumo neto Promedio / Mediana estimado en L/hab-día Zona 2 (total de la población).



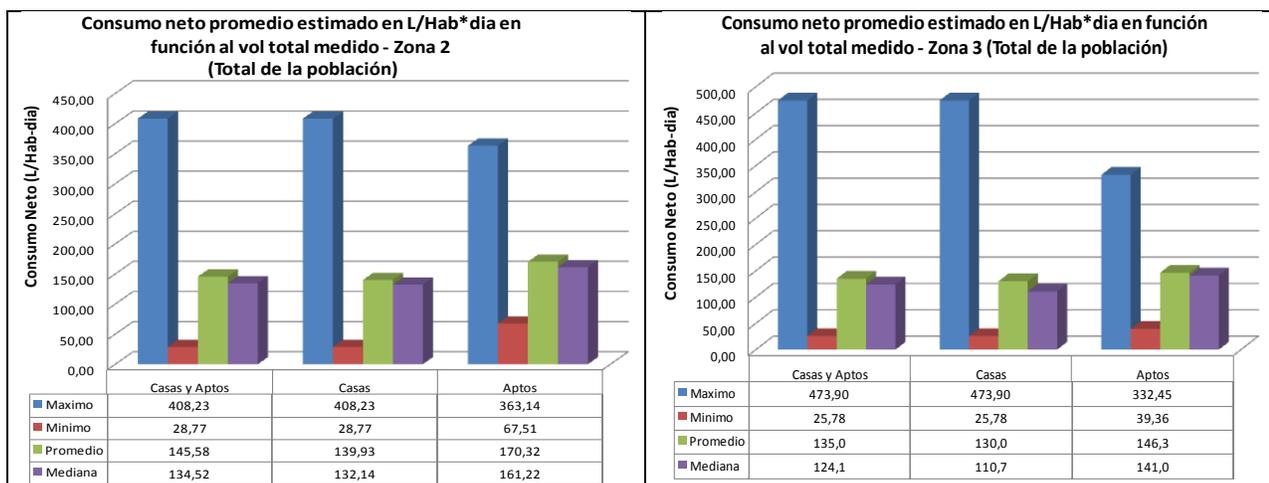
En vista que se puede determinar de diferentes maneras el caudal neto promedio consumido por un habitante en un día, diferentes a la presentada anteriormente, en

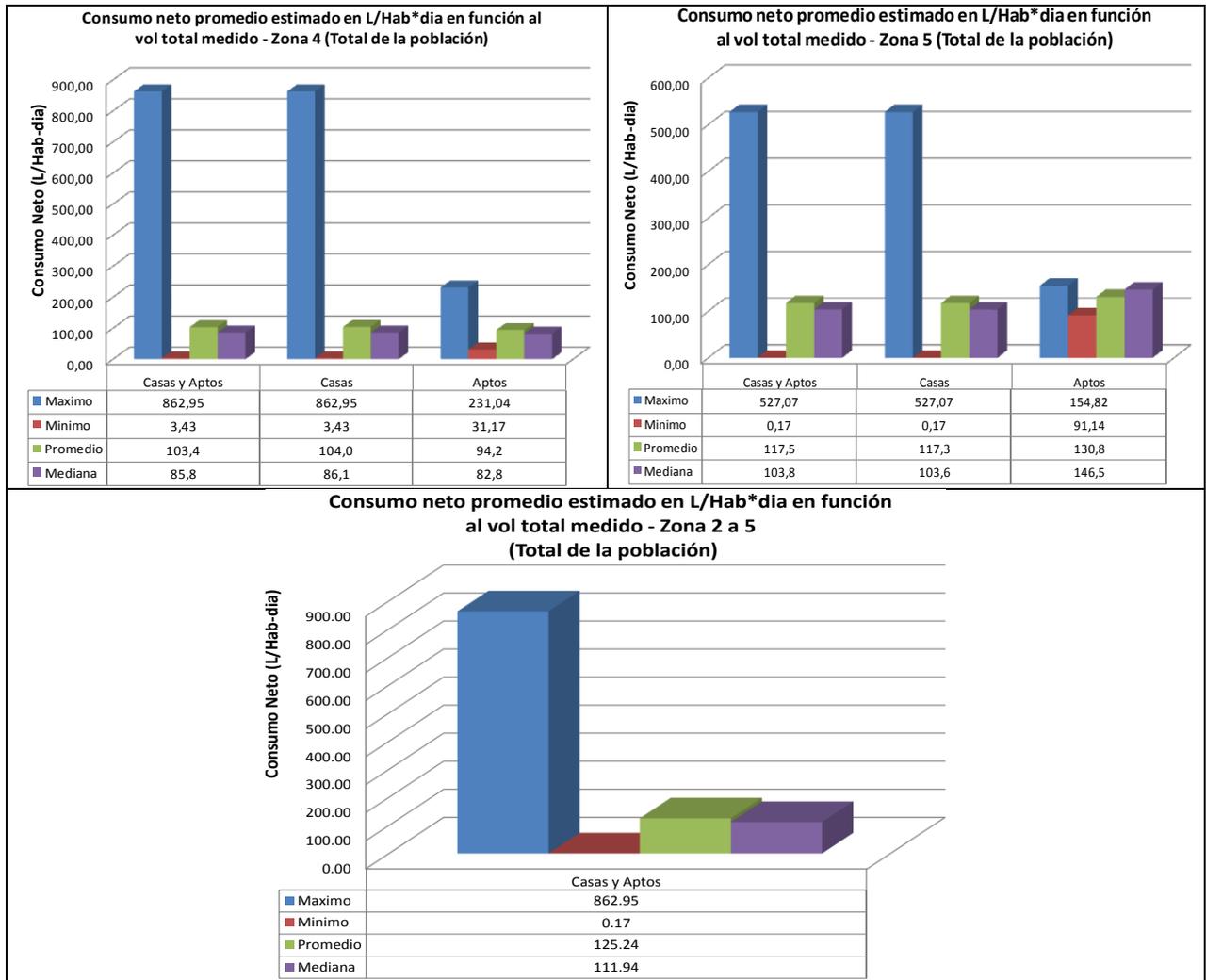
función a los datos disponibles de lecturas de los usuarios, se procedió a aplicar otras metodologías, cuya explicación y resultados se presentan a continuación.

La primera alternativa desarrollada para calcular el consumo neto promedio estimado en L/Hab-día, se desarrolló a partir de la obtención del volumen total de consumo reportado en las 6 franjas horarias, que corresponde al volumen total consumido por el usuario en la franja de tiempo en que el micromedidor se encontró instalado, dividido por el número de días de instalación del medidor y el número de habitantes por vivienda. De este análisis se obtuvo un valor promedio de consumo neto por habitante, donde el valor Promedio obtenido para el total de la población evaluada de la zona 2 es de 145.58 l/hab-día, y la Mediana es de 134.52 L/hab-día (diferencia de 11 L/hab-día entre Promedio y Mediana); para la zona 3 el promedio es de 135 l/hab-día, y la Mediana es de 124.1 L/hab-día (diferencia de 11 L/hab-día entre Promedio y Mediana); para la zona 4 el promedio es de 103.4 l/hab-día, y la Mediana es de 85.8 L/hab-día (diferencia de 7.6 L/hab-día entre Promedio y Mediana); y para la zona 5 el promedio es de 117.5l/hab-día, y la Mediana es de 103.8 L/hab-día (diferencia de 13.7 L/hab-día entre Promedio y Mediana). Como se puede observar de los resultados obtenidos, las diferencias encontradas entre promedio y mediana es de aproximadamente un 7%-12%, que es un porcentaje considerable al momento de determinar los consumos netos promedios finales para un habitante de la ciudad de Bogotá. Finalmente, al analizar la totalidad de la muestra unificada, se encontró que el valor promedio de consumo neto es de 125.24 l/hab-día, y la Mediana es de 111.94 L/hab-día (diferencia de 13.3 L/hab-día entre Promedio y Mediana, correspondiente a aproximadamente un 10.6%).

Como ocurrió en el análisis anterior, realizado a partir de volúmenes promedios de una semana a partir de los datos de 12 días; nuevamente se observó que el caudal neto Promedio y Mediana es mayor en el caso de los apartamentos que en el de las casas (excepto en la zona 4), con una diferencia en el caudal promedio de 30 l/hab-día para la zona 2, 16 l/hab-día para la zona 3 y 13 l/hab-día para la zona 5. Para el caso de la zona 4, donde se obtiene que el caudal en casas es mayor al de apartamentos, la diferencia es de 10 l/hab-día.

Figura 3-13: Consumo neto Promedio/Mediana estimado en L/hab-día Zona, en función al volumen total medido Zonas 2 a 5 (total de la población).



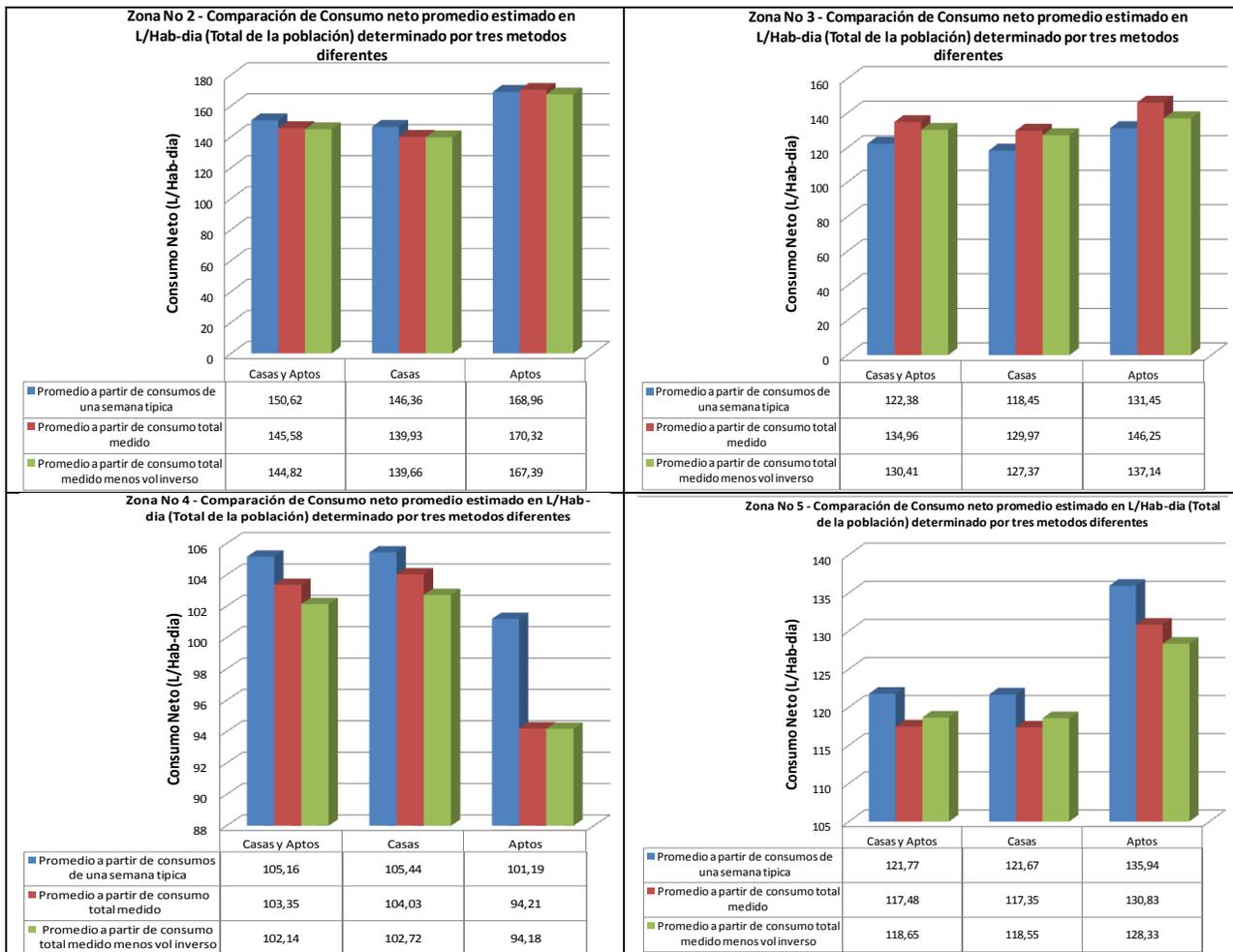


La segunda alternativa desarrollada para calcular el consumo neto promedio estimado en L/Hab-día, se desarrolló a partir de la obtención del volumen total de consumo reportado en las 6 franjas horarias, tal como se explicó en la primera alternativa, pero en este caso se le descontó el volumen reportado como inverso (no se logró obtener información sobre si el medidor automáticamente descuenta el volumen inverso antes de arrojar los volúmenes totalizados, por lo cual se optó por asumir que el equipo no hace esta corrección y se realizó de manera manual). De este análisis se obtuvo un valor promedio de consumo neto por habitante, corregido en función al volumen inverso, donde el valor Promedio obtenido para el total de la población evaluada de la zona 2 es de 144.88 l/hab-día, y la Mediana es de 134.52 L/hab-día (diferencia de 10.36 L/hab-día entre Promedio y Mediana); para la zona 3 el promedio es de 130.4 l/hab-día, y la Mediana es de 121.2 L/hab-día (diferencia de 9.2 L/hab-día entre Promedio y Mediana); para la zona 4 el promedio es de 102.1 l/hab-día, y la Mediana es de 85.2 L/hab-día (diferencia de 16.9 L/hab-día entre Promedio y Mediana); y para la zona 5 el promedio es de 118.7 l/hab-día, y la Mediana es de 103.8 L/hab-día (diferencia de 14.9 L/hab-día entre Promedio y Mediana). Se observa como en este caso la aplicación de esta corrección por volumen

inverso, no es muy representativa en el valor finalmente obtenido, con una diferencia que oscila entre 0.7-3.1 L/hab-día con respecto al valor obtenido de la alternativa 1. Finalmente, al analizar la totalidad de la muestra unificada, se encontró que el valor promedio de consumo neto es de 123.88 l/hab-día, y la Mediana es de 111.07 L/hab-día (diferencia de 12.81L/hab-día entre Promedio y Mediana, correspondiente a aproximadamente un 10.3%), y que estos valores difieren en 1.36 L/hab-día y 0.87 L/hab-día respectivamente.

En vista que se obtuvo inicialmente el caudal neto promedio consumido por un habitante en un día, a partir de tres métodos diferentes (Volumen para 12 días, Volumen total en 6 franjas horarias y el mismo volumen descontando el volumen inverso), se presenta a continuación una figura con los datos de los tres métodos, para poder realizar una comparación visual.

Figura 3-14: Comparación de Consumo neto promedio “Media Aritmética” estimado en L/Hab-día (Total de la población) determinado por tres métodos diferentes – Zona 2.



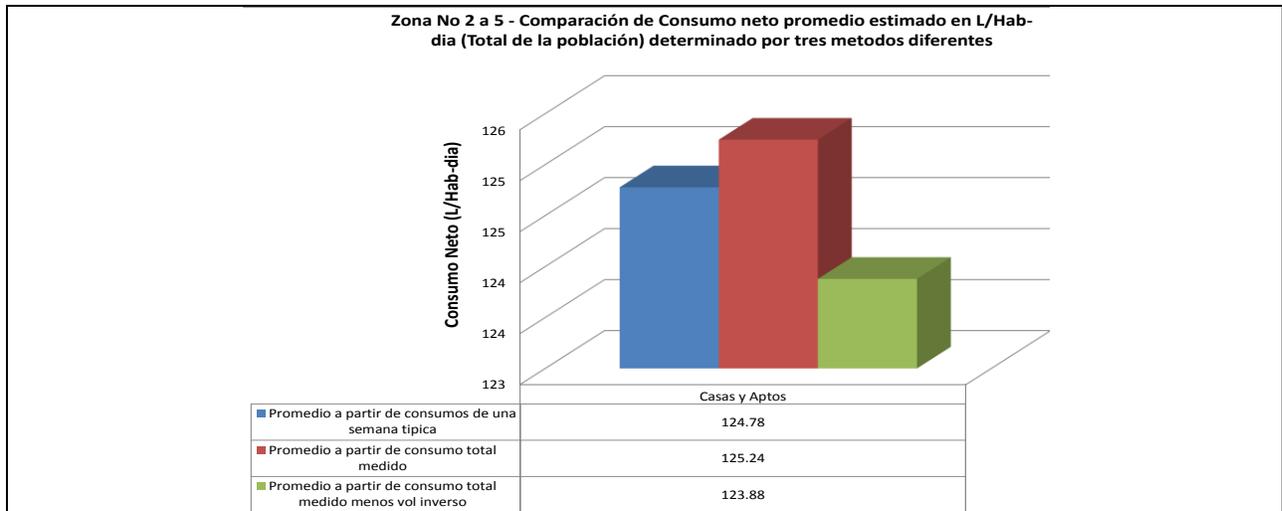
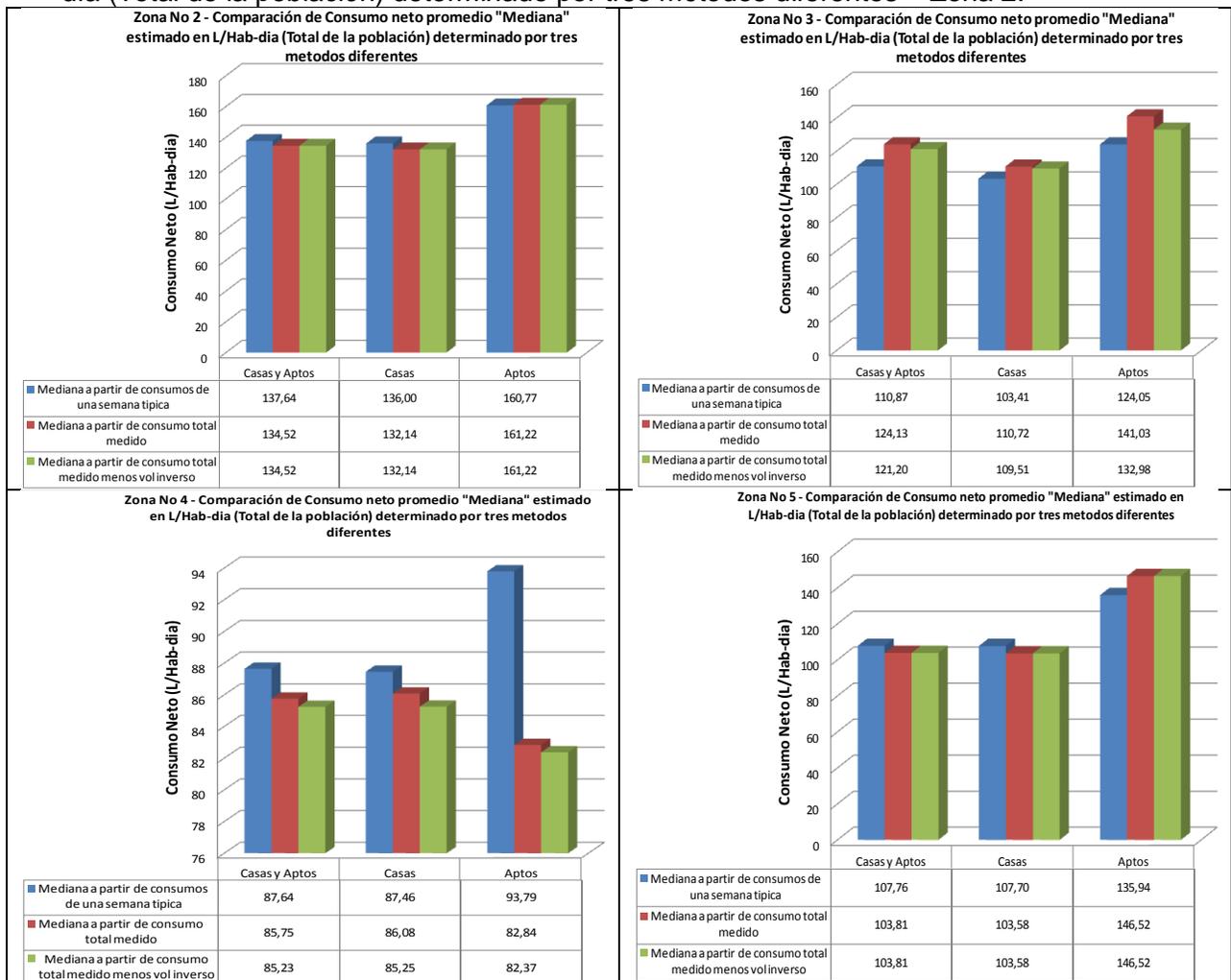
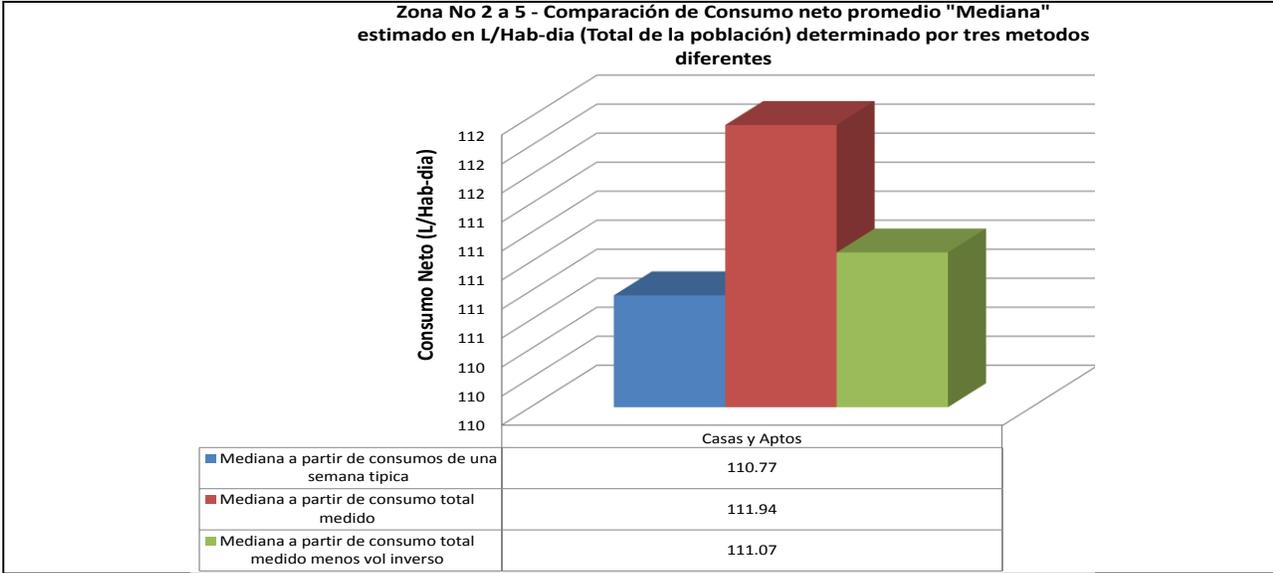


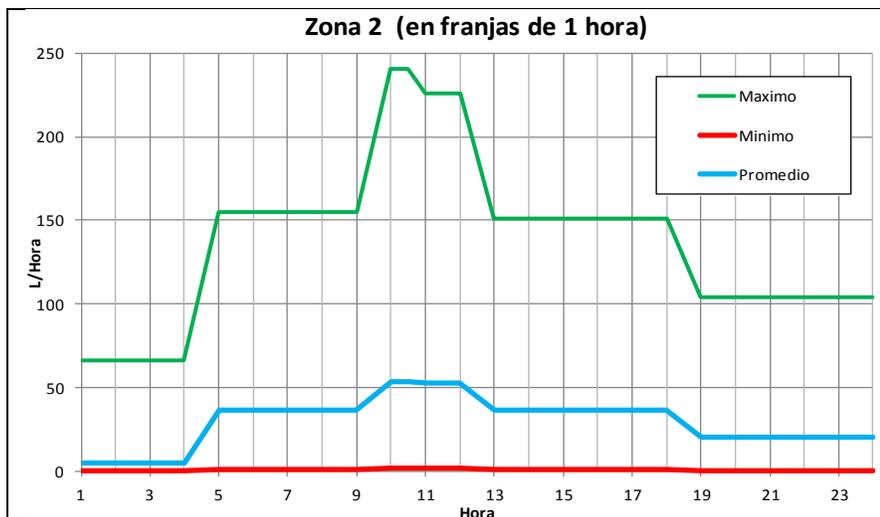
Figura 3-15: Comparación de Consumo neto promedio “Mediana” estimado en L/Hab-día (Total de la población) determinado por tres métodos diferentes – Zona 2.

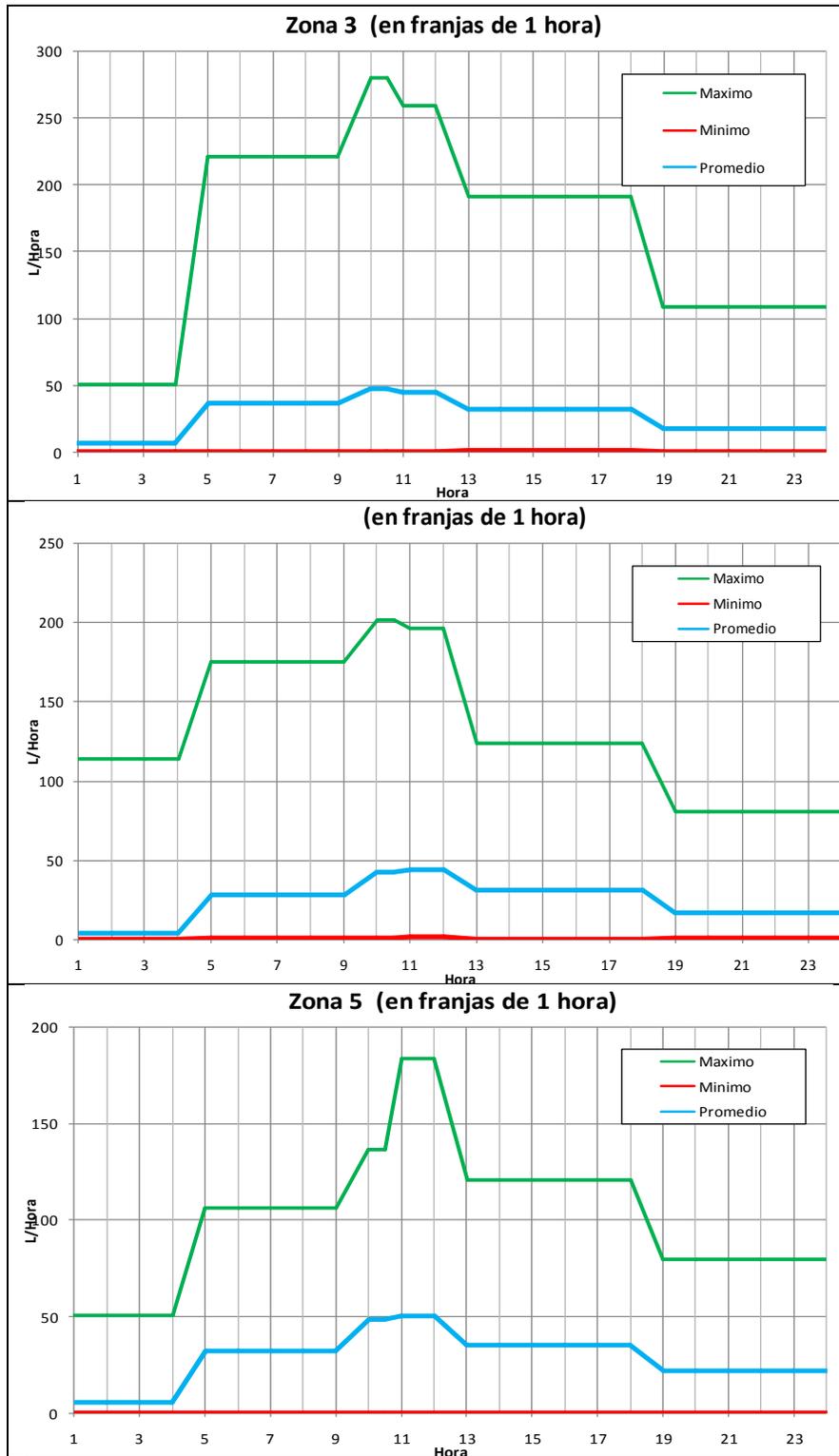


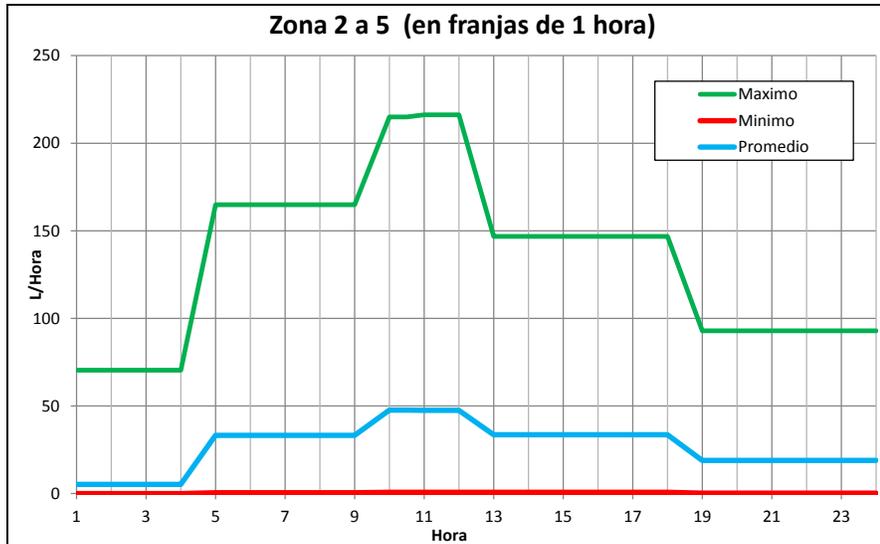


El equipo de medición empleado permite la acumulación del volumen de agua durante el tiempo que el equipo estuvo instalado, en 6 franjas horarias las cuales completan un total de 24 horas. En vista de esto, es posible obtener el perfil típico de consumo diario de un abonado si el volumen total registrado por cada franja horaria se divide en el tiempo en que estuvo instalado el equipo. Como el equipo no tiene la posibilidad de tomar registros con una resolución horaria, se recurrió a las franjas horarias, y para poder generar un perfil de consumo se procedió a discretizar la información de cada franja en valores horarios iguales, de esta manera se obtuvo el siguiente perfil de consumo promedio para la totalidad de los usuarios de las zonas 2 a 5, elaborado al promediar los datos obtenidos del total de usuarios de cada zona. Se presenta igualmente la información en franjas horarias para observar los consumos obtenidos.

Figura 3-16: Perfil de consumo promedio diario de un usuarios típico obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (discretizado en franjas de 1 hora).







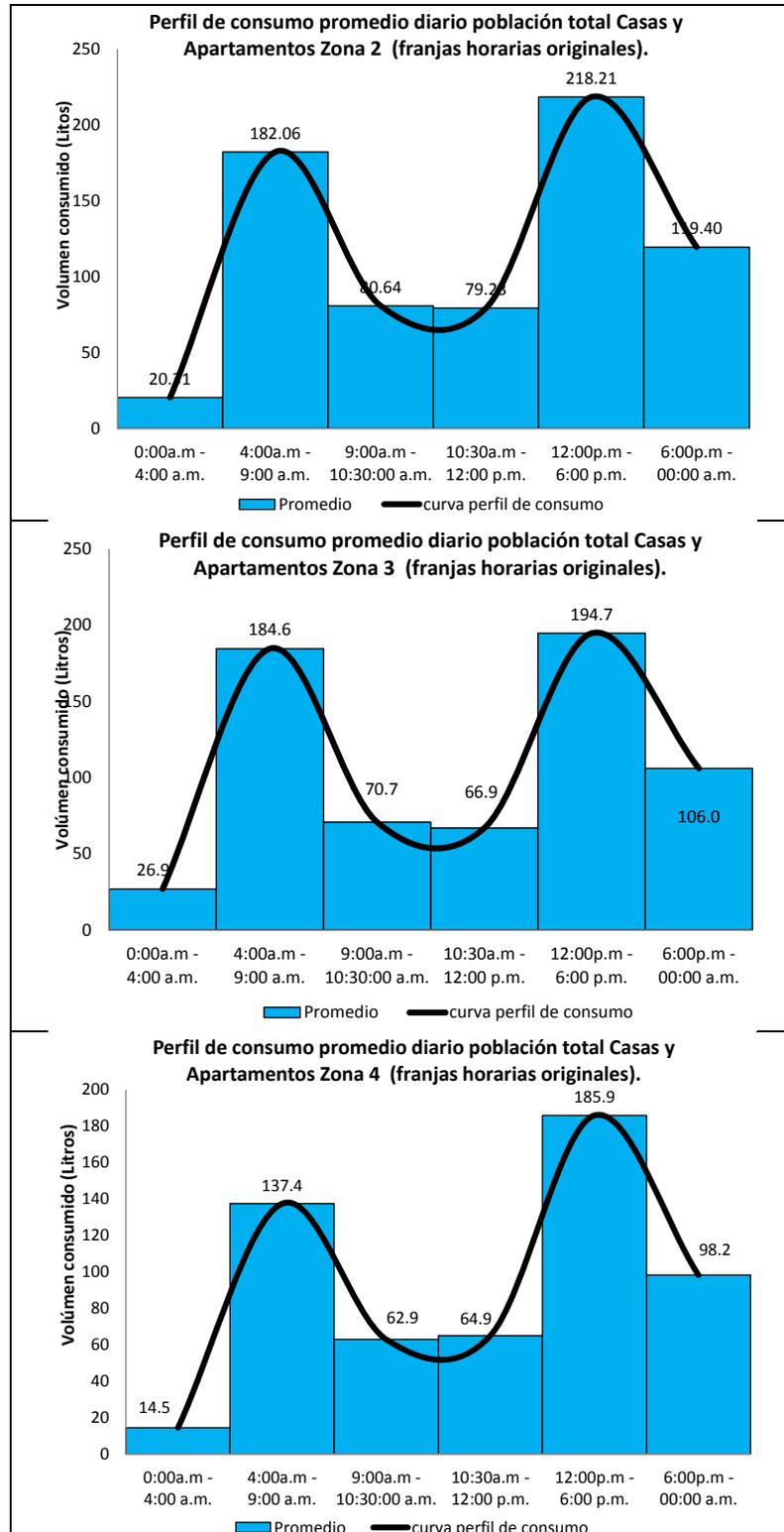
De las figuras anteriores se puede observar como el consumo típico de la población, para la totalidad de las franjas analizadas por separado y para la muestra unificada, discretizado en franjas iguales de 1 hora, presenta un único pico entre 10:00 am y 12:00 del día. En horas de la mañana entre 5:00 y 9:00 am se observa como existe un consumo que se puede relacionar con los hábitos de desayuno y medias nueves, y en las horas de la tarde también se observa un consumo entre 1:00 pm y 6:00 pm que puede relacionarse con merienda y cena, después de las 7:00 pm hasta las 12:00 de la noche se observa también un consumo, el cual es mayor al que ocurre en la franja entre 12:00 de la noche y las 4:00 am, posiblemente por los hábitos nocturnos de la población que generalmente arriba a sus hogares después de las 7:00 pm y hasta alrededor de las 11:00 pm.

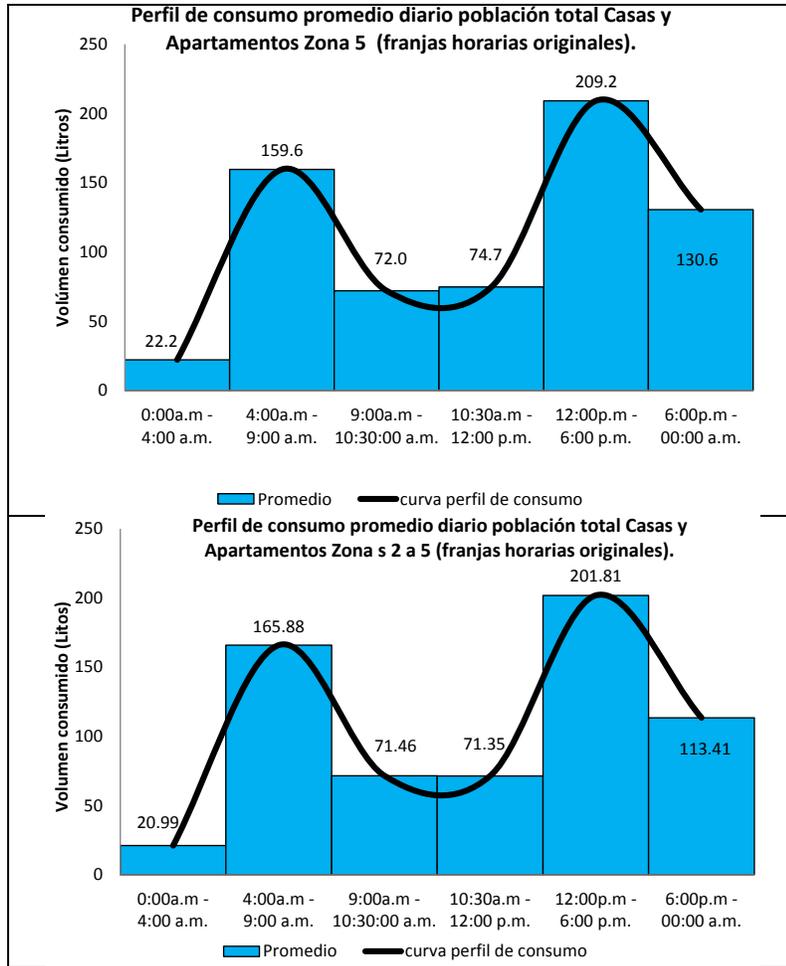
Este perfil refleja que el comportamiento de la población se asocia a un único pico de consumo hacia el mediodía, y que los menores consumos se presentan en la madrugada, situación que no describe realmente los hábitos de consumo observados y esperados de la población de la ciudad de Bogotá, donde se espera que el perfil de consumo sea bimodal, con un pico en la mañana y otro hacia el final de la tarde-noche.

El comportamiento presentado en las figuras anteriores puede deberse a que no es muy adecuado el procedimiento de discretización empleado (el cual corresponde al recomendado y elaborado por la Dirección de Ingeniería Especializada de la EAAB) donde se asume que el consumo total de una franja horaria, por ejemplo de 6 horas, se pueda subdividir en franjas de 1 hora con igual valor de caudal, pues suprime totalmente la posibilidad de caracterización real de los picos de consumo.

En vista de lo anterior, se procedió a graficar un perfil de consumo promedio diario sin discretizar las franjas inicialmente programadas en el micromedidor, obteniendo para las zonas 2 a 5, analizadas tanto de manera separada como en conjunto, las figuras que se presenta a continuación.

Figura 3-17: Perfil de consumo promedio diario de un usuarios típico obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (franjas horarias originales).



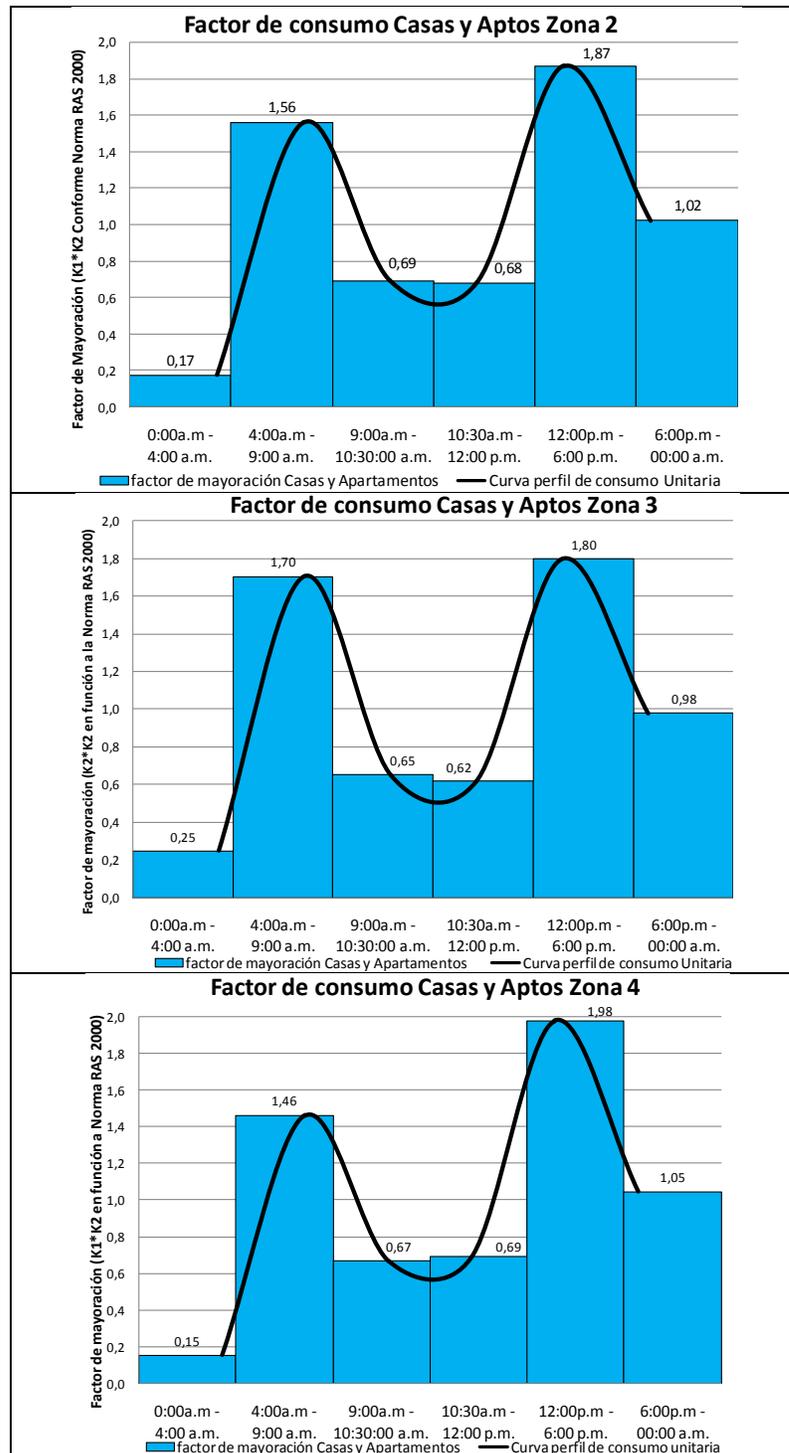


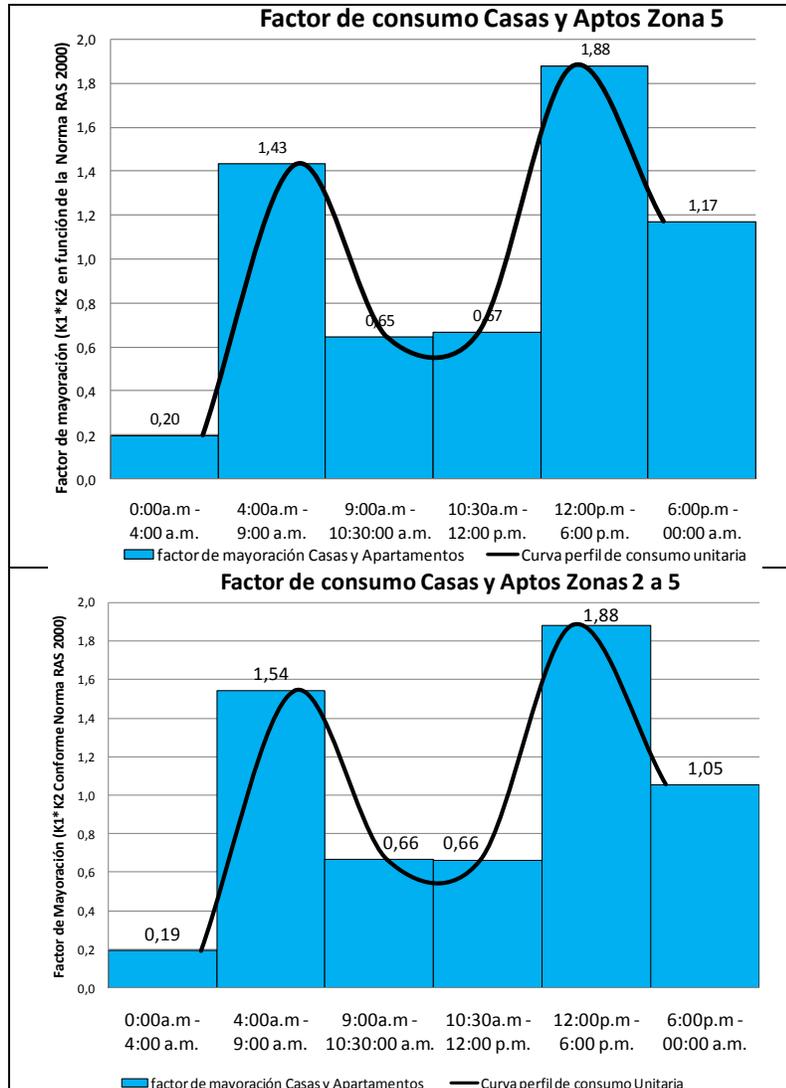
Esta figura, aun cuando no representa idealmente un perfil de consumo de los usuarios residenciales de las Zonas 2 a 5 y de la totalidad de la muestra unificada, pues la discretización de datos registrados en campo con el equipo de medición Aquabus Y290 no tiene una resolución temporal adecuada (de franjas al menos de ½ hora o menores), si muestra claramente la tendencia de consumos de la población, donde es de esperarse que el mayor pico de consumo ocurra entre las 12:00 m y las 6:00 pm, sobre la franja de almuerzo, y que exista un segundo pico entre 4:00 am y 9:00 am, en la franja de desayuno.

En vista de lo anterior, se decidió generar una curva de perfil de consumo unitaria de un usuario típico, donde los caudales empleados, correspondientes a los medidos en cada usuario en las franjas horarias definidas (franjas mayores a 1 hora), representan el caudal medio diario (QMD), y los valores de los picos del perfil unitario representan el producto de los denominados factores de mayoración K1 y K2 (RAS 2000), mediante los cuales se puede obtener el caudal máximo horario (QMH). Para la generación de esta curva se recurre a determinar el caudal medio de la curva de perfil de consumo promedio diario, y los caudales de cada una de las franjas horarias se dividen por este caudal medio, generando así una curva unitaria, independiente del caudal. A continuación se presenta la curva de perfil típico de consumo diario unitario de una vivienda tipo

residencial, generada para todas las zonas por separado y para el total de la muestra unificada.

Figura 3-18: Perfil de consumo diario Unitario de un usuarios típico, obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 (franjas horarias originales).





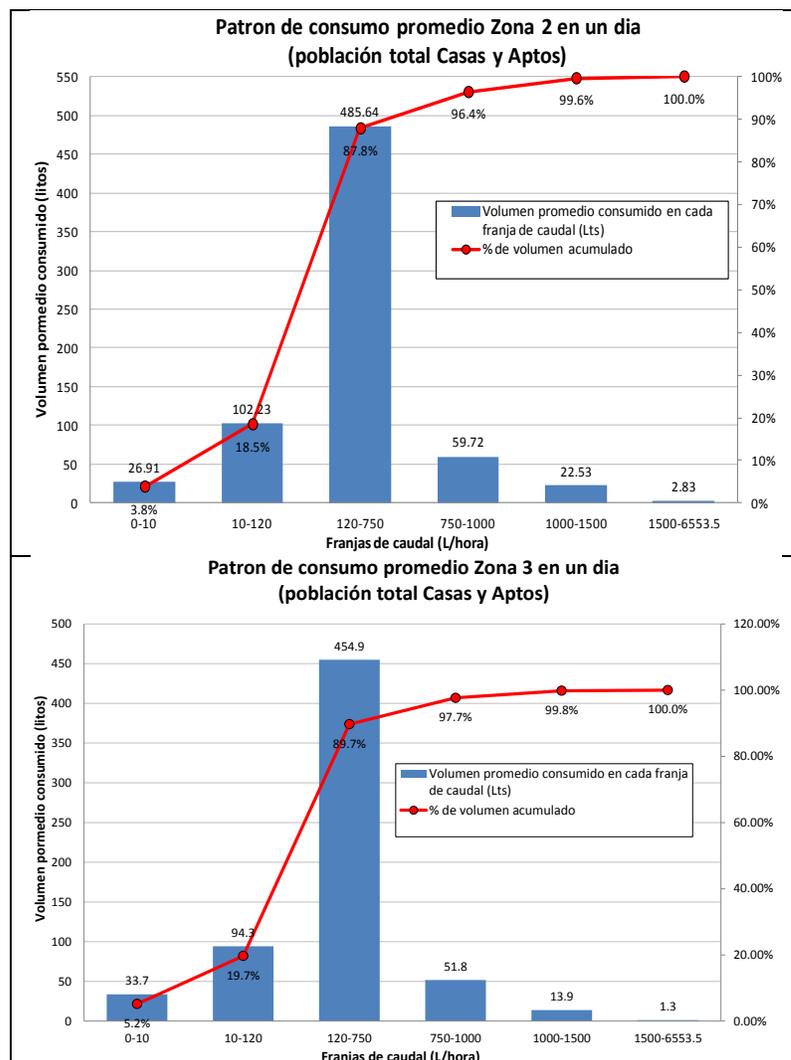
En estos perfiles se observa como el promedio de los factores de mayoración obtenidos para las 6 franjas horarias, da un valor de 1.0, con un valor máximo de 1.98 para la zona 4, el cual al compararlo con el producto de los factores de mayoración K1 y K2 recomendados por la Norma RAS 2000 ($1.2 * 1.5 = 1.8$) corresponde a un valor mayor, con una diferencia respecto al de la Norma de 0.18 (Titulo B2.7.5), y el único valor coincidente para dicho producto de los factores de mayoración recomendado por la Norma RAS ocurre para la zona 3, pues para las demás zonas el valor obtenido siempre es mayor a 1.8. De igual manera, al analizar la muestra unificada para determinar un factor de mayoración promedio para la ciudad de Bogotá, se obtuvo que el mismo ($K1 * K2$) es de 1.88.

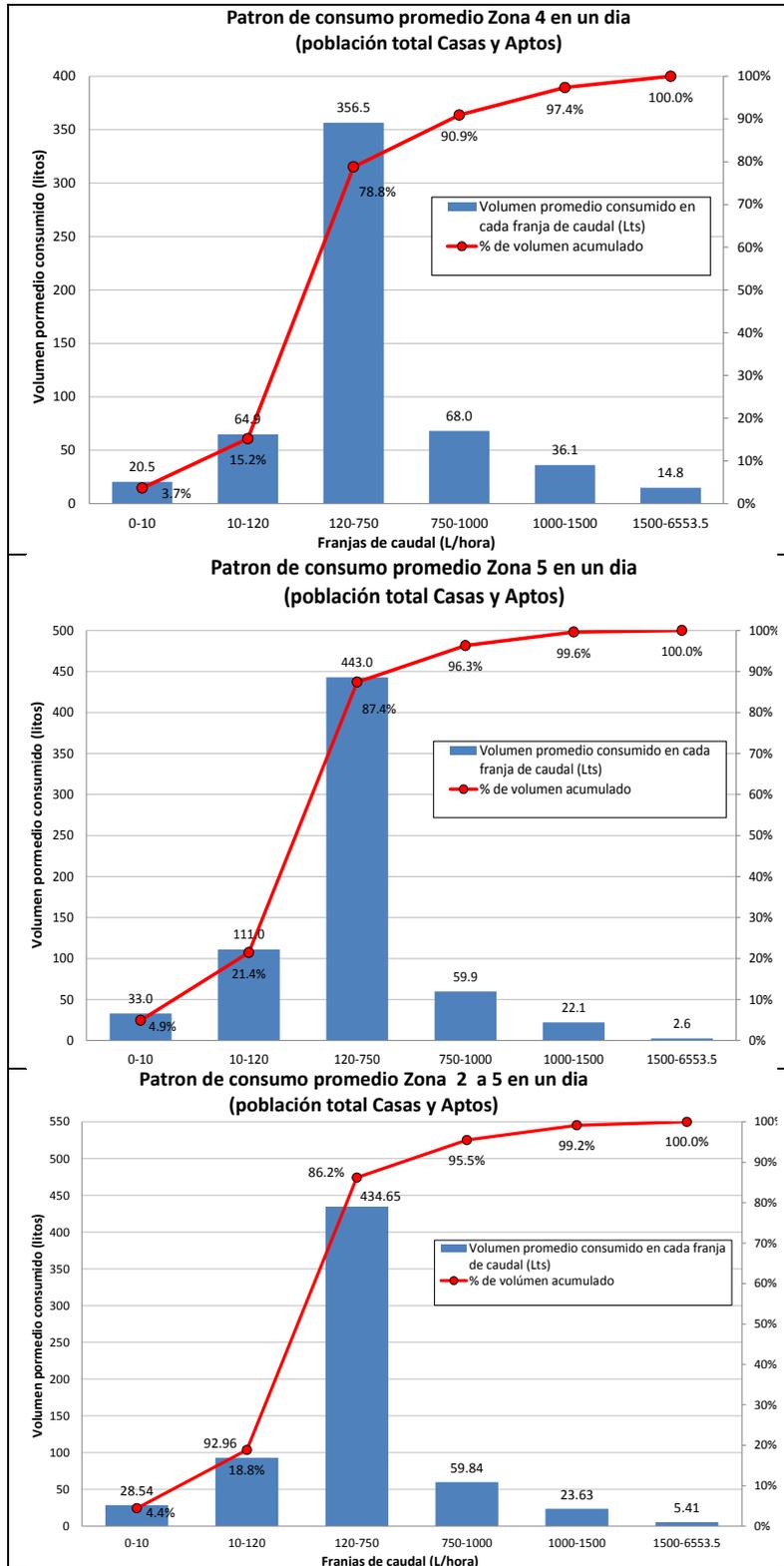
Igual que con los consumos en franjas horarias, el equipo de medición empleado permite almacenar la información de consumos en 6 franjas de caudal para el total del tiempo de instalación, lo cual es útil para determinar en qué rango de caudales se consume la mayor parte del agua, y de igual manera poder realizar análisis adicionales sobre los errores esperados en la medición de caudales en función a las curvas de error de los

medidores comerciales con que cuentan comúnmente los usuarios (el cual no es objeto de análisis del presente estudio), y evaluar si los caudales a los cuales consume agua la población se encuentran dentro de los rangos de funcionamiento óptimos recomendados para los medidores comerciales, o si por el contrario los mismos se encuentran subdimensionados.

De igual manera como se procedió para la obtención del perfil de consumo promedio diario de toda la población de las zonas 2 a 5 de del total de datos de la muestra unificada, se obtuvo el denominado patrón de consumos diarios que se presenta a continuación.

Figura 3-19: Patrón de consumo promedio diario población total Casas y Apartamentos Zonas 2 a 5.

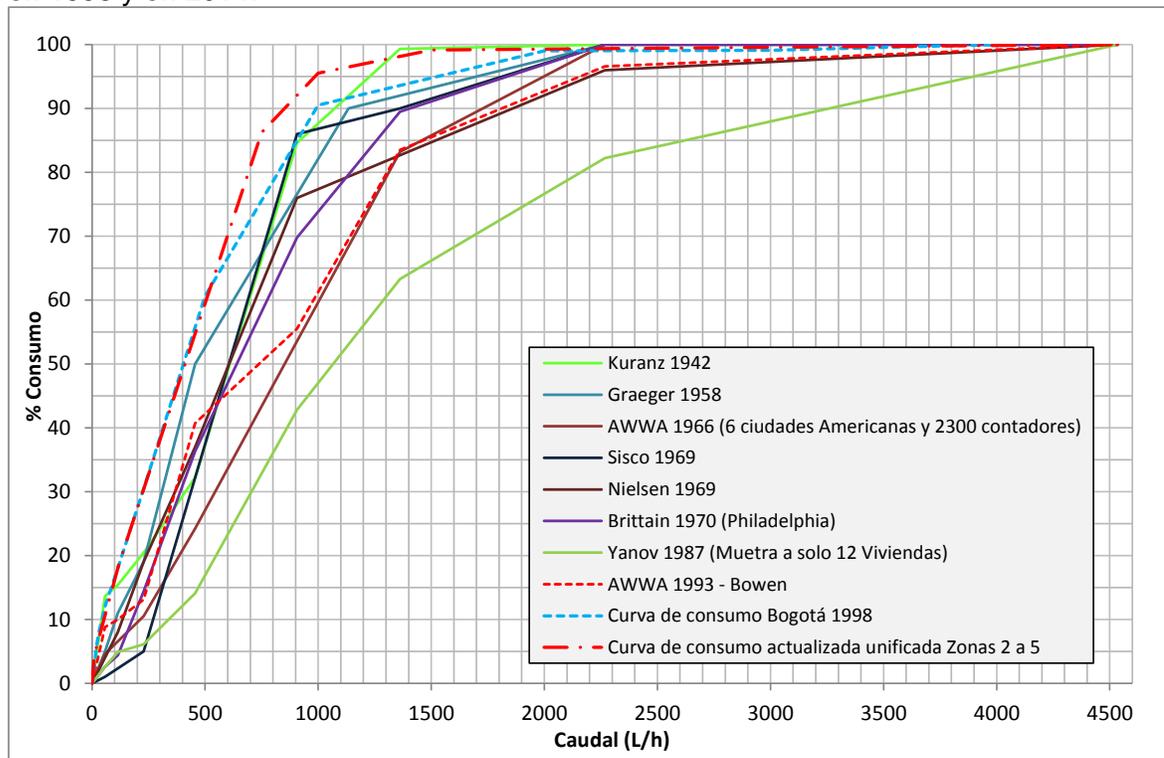




De la figura anterior se puede observar como la mayor cantidad de caudal consumido por un abonado en un día típico, ocurre entre los 120-750 L/hora (0.033L/s – 0.21L/s). De igual manera, entre los 0 L/h y los 750 L/h se consume alrededor del 78.8-89.7% del caudal total de un día, mientras que por encima de este caudal se consume el 10.3-21.2% restante. Igualmente, al analizar la totalidad de la muestra para la Ciudad de Bogotá de manera unificada, se determinó que para el rango entre los 0 L/h y los 750 L/h se consume en promedio el 86.2% del caudal total demandado, y el 15.8% restante se consume por encima de dicho rango, lo que permite deducir que los medidores que se empleen para la población con uso residencial de sus viviendas, deben presentar una operación óptima, con una curva de error mínima en un rango de caudal entre los 10 – 750 L/Hora, para minimizar de esta manera los posibles errores de medición en los caudales consumidos por la población.

Adicionalmente, en vista que se contaba con información de curvas patrón de consumo de otros estudios a nivel mundial, la cual se presentó anteriormente (Capítulo 1.3 Patrones de consumo, se procedió a graficar los resultados obtenidos para la muestra unificada para compararla con dichos estudios, como se presenta a continuación.

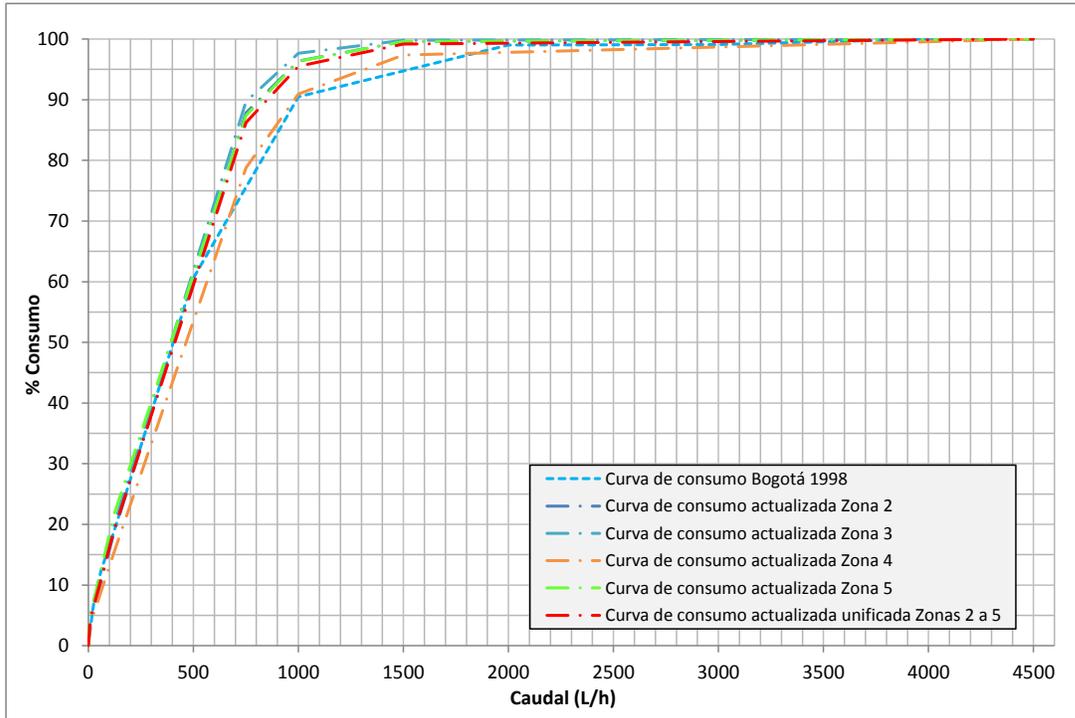
Figura 3-20: Patrón de consumo obtenido para estudios a nivel mundial, para Colombia en 1998 y en 2014.



En la anterior grafica se observa como la curva obtenida muestra el mismo comportamiento típico que las demás curvas encontradas por diferentes investigadores principalmente en ciudades de Estados Unidos, en donde la separación de las curvas se debe principalmente a las diferencias en las edificaciones (configuración de las redes y disposición arquitectónica de los puntos hidráulicos), equipos y costumbres de consumo de una población a otra. Se observa adicionalmente que la curva para la ciudad de

Bogotá determinada en 1998, y la actual resultado de la unificación de los datos de la muestra, siguen el mismo patrón de comportamiento, y reflejan que actualmente los usuarios consumen un poco más de caudal en los rangos entre 500-1500 L/H, que hace 11 años. Adicionalmente se graficó las curvas por zona y curva unificada Vs curva de 1998 para poder observar de manera más detallada las diferencias entre las curvas.

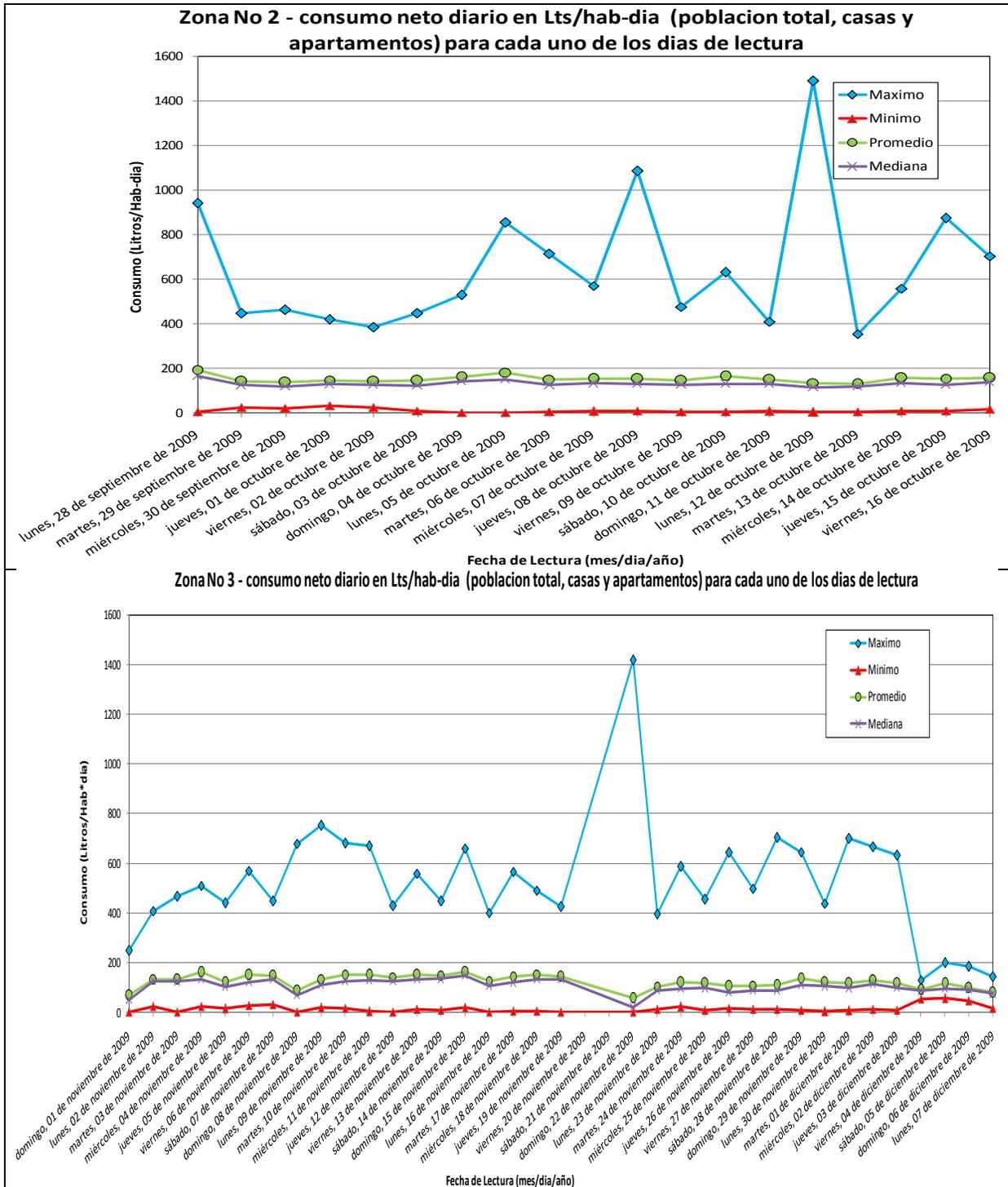
Figura 3-21: Patrón de consumo obtenido para estudios de Bogotá año 1998 y estudio actual.

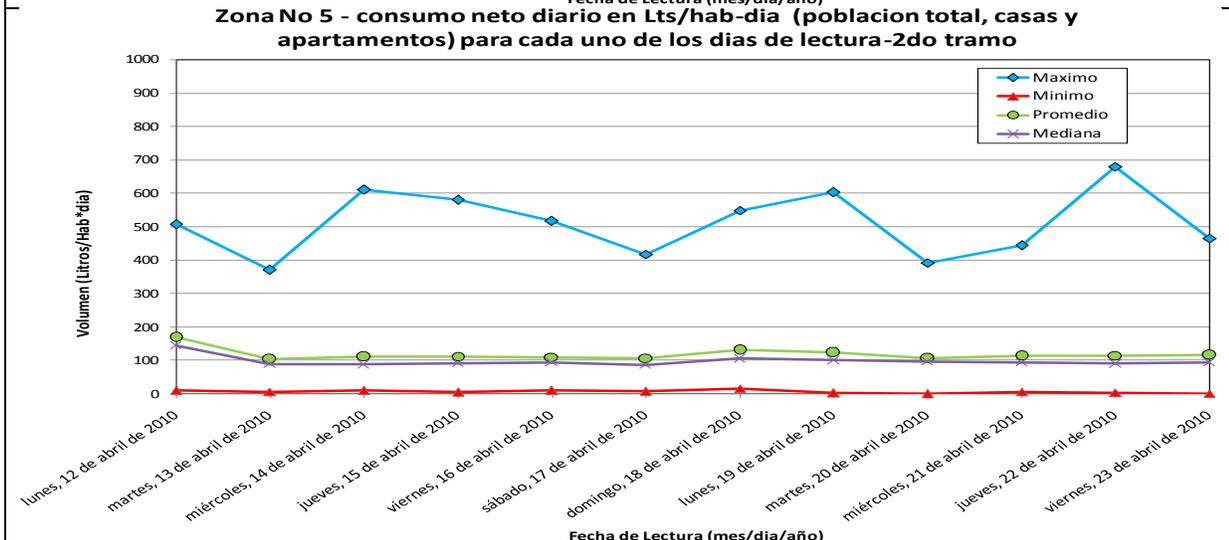
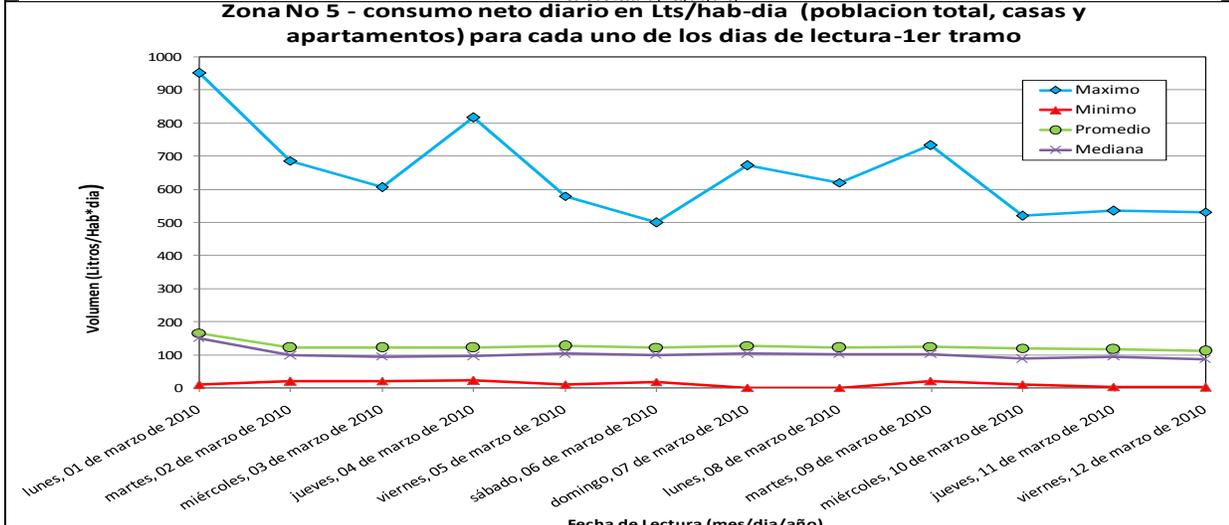
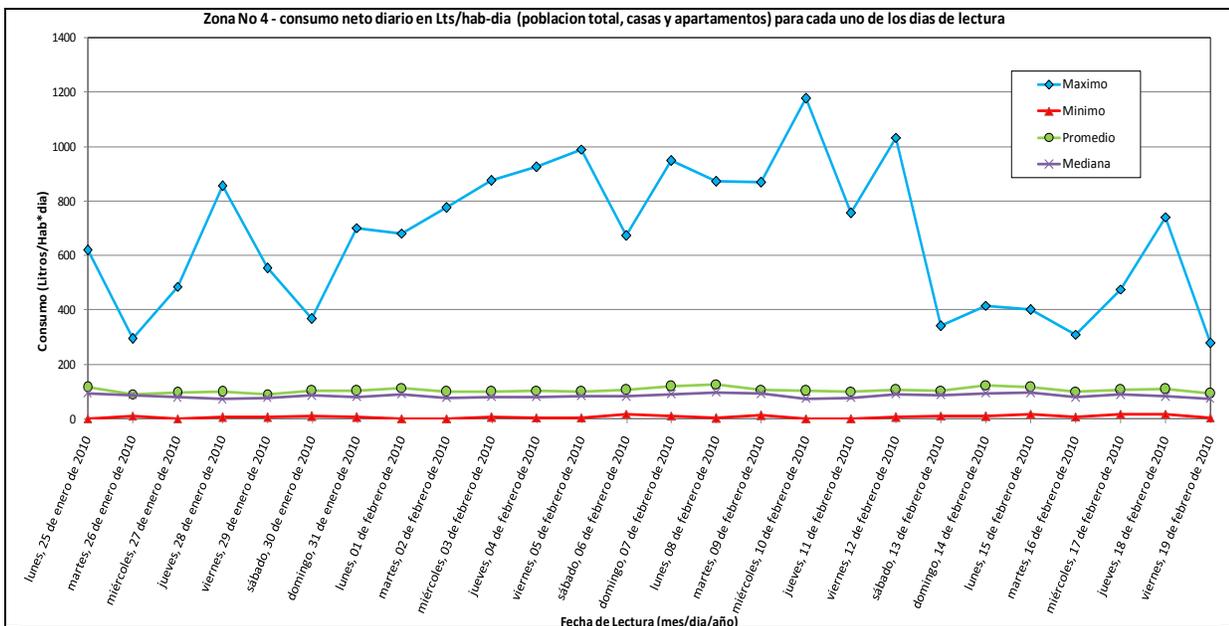


Esta grafica corrobora lo anteriormente mencionado respecto a un mayor consumo actual de la población entre 500-1500 L/h, lo que refleja cambios en las costumbres de consumo posiblemente asociada a modificaciones en el tamaño de las familias y en la necesidad de optimización de tiempo para cumplir con los compromisos diarios, lo que obliga a la población a hacer las mismas tareas de siempre en menor tiempo y en bloque (más gente bañándose, o usando los servicios de baños al tiempo, etc.), sin embargo la similitud entre curvas es bastante notable, permitiendo observar la homogeneidad y consistencia de los datos y del comportamiento de la población.

En vista que se contaba con datos diarios medidos durante 12 días, y que los mismos para los diferentes usuarios en función a cada zona se encuentran repartidos entre el 28 de septiembre de 2009 y el 23 de abril de 2010 (28 de septiembre al 16 de octubre de 2009 para la zona 2, 01 de noviembre al 07 de diciembre de 2009 para la zona 3, 25 de enero al 19 de febrero de 2010 para la zona 4, y 01 de marzo al 23 de abril de 2010 para la zona 5), se optó por obtener los valores máximos, mínimos y medios de los caudales netos consumidos por un habitante, mediante la división del volumen diario consumido entre el número de habitantes reportados para cada usuario, y con los resultados de cada usuario proceder a obtener el valor promedio de los caudales netos máximos, mínimos y medios de toda la zona (usuario típico) los cuales se presentan a continuación.

Figura 3-22: Consumo neto diario en Lts/hab-día de un usuarios típico, obtenido a partir de la población total (Casas y Apartamentos) de las Zonas 2 a 5 para cada uno de los días de lectura.

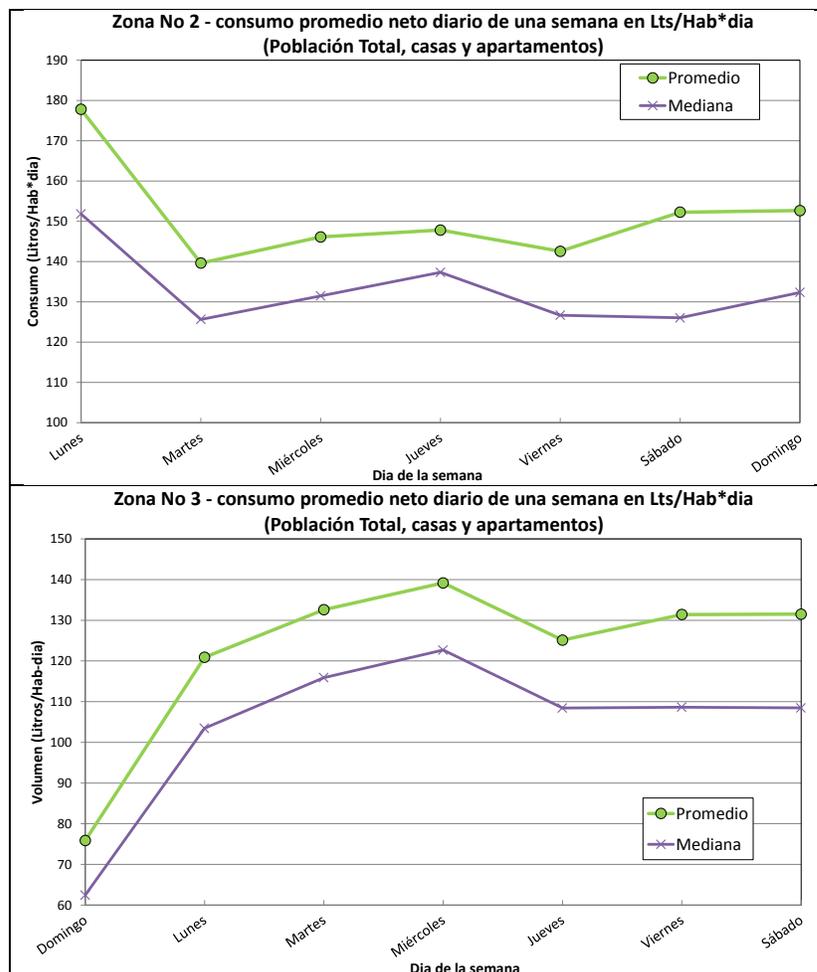


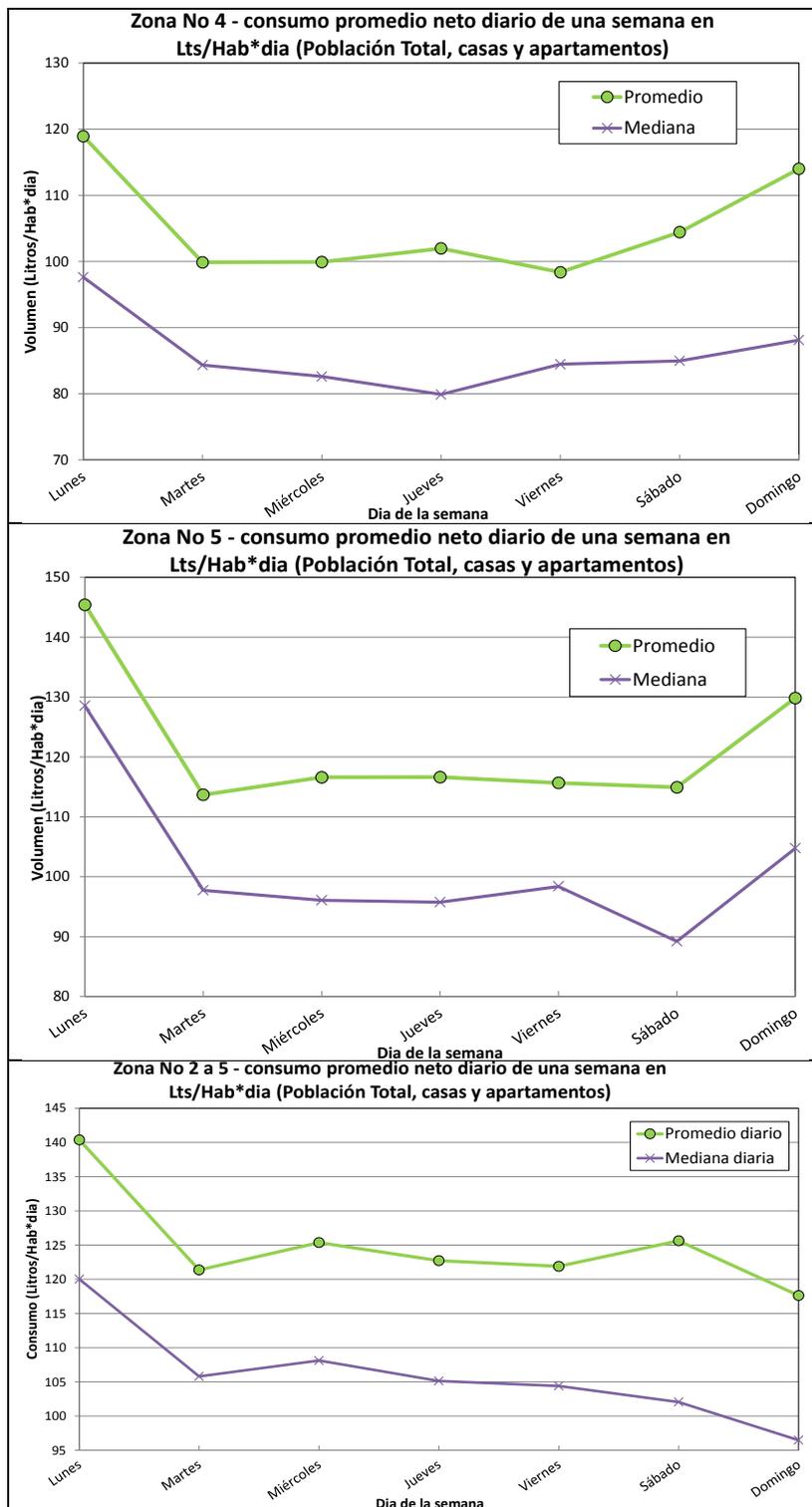


Se observa para las 4 zonas cómo, tanto el valor promedio como la mediana, se desarrollan durante todos los días de medición en una franja paralela y casi horizontal cuyos límites inferior y superior son 128.5 L/hab-día y 191.9 L/hab-día para la zona 2, con un promedio de 150.1 L/hab-día; 51 L/hab-día y 197.2 L/hab-día para la zona 3, con un promedio de 124.4 L/hab-día; 31.9 L/hab-día y 173.1 L/hab-día para la zona 4, con un promedio de 98.9 L/hab-día, y 86.3 L/hab-día y 169 L/hab-día para la zona 5, con un promedio de 124.4 L/hab-día; valores acordes con los encontrados anteriormente mediante los tres métodos de cálculo propuestos del caudal neto promedio para las 4 zonas.

Igualmente, en función a los valores promedios de caudales en L/hab-día obtenidos para los 12 días de lectura registrada en cada zona, se promedió los valores por zona en función al día de la semana que representan y se obtuvo una curva de consumo típica semanal para cada zona que se presenta a continuación. Adicionalmente se realizó lo mismo para la totalidad de usuarios de la muestra unificada y se obtuvo una gráfica para una semana típica aplicable a toda la ciudad.

Figura 3-23: Consumo promedio neto diario en Lts/hab-día para los 7 días de la semana (casas y apartamentos), resultado de los promedios de consumo de cada uno de los días de la semana dividido por el número de habitantes por vivienda. Zonas 2 a 5.





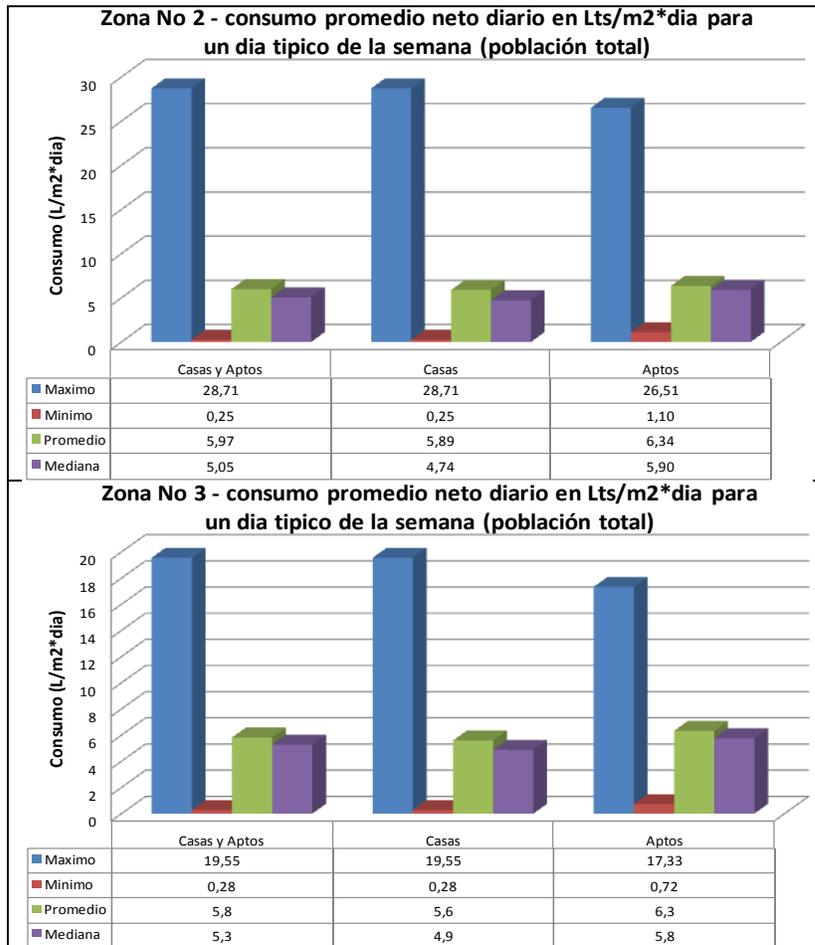
Nuevamente, y como era de esperarse, los consumos diarios siguen un mismo patrón de comportamiento, con valores máximos los días lunes un valor máximo de 118.3-177.82 L/hab-día, los demás días son más comunes, exceptuando los domingos donde se observa diferentes dinámicas, en algunas zonas el valor aumenta y en otras disminuye,

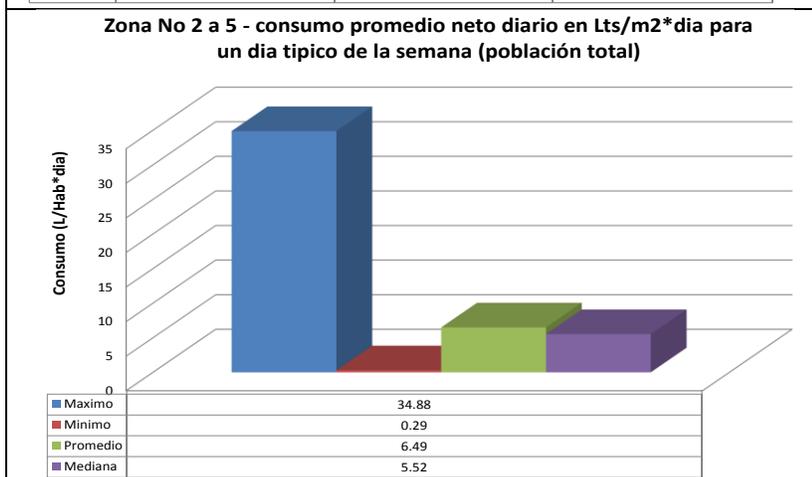
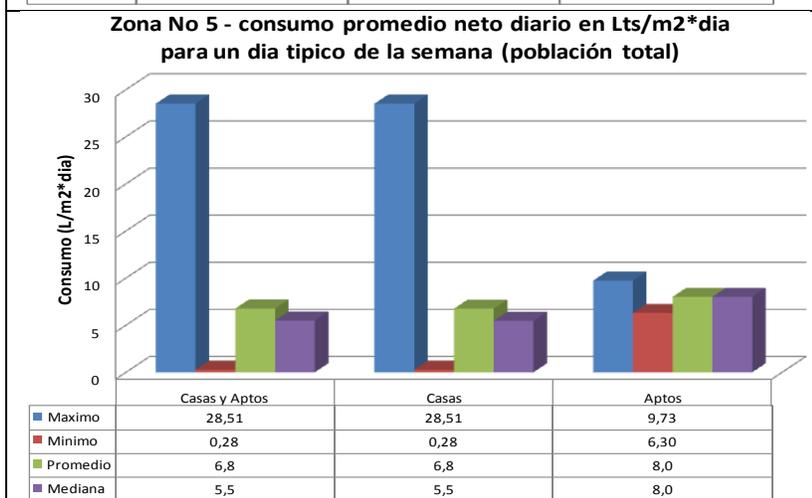
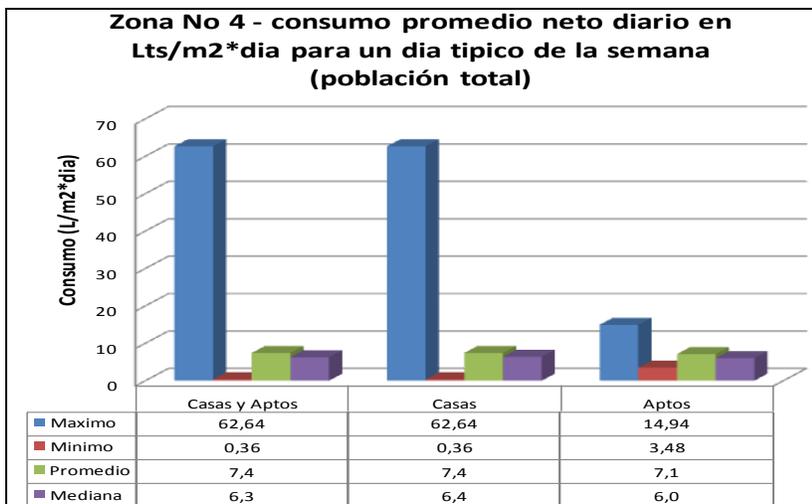
situación asociada posiblemente a los hábitos de esparcimiento y descanso de la población en fin de semana, donde unos hacen las labores del hogar, mientras otros aprovechan este día para salir y realizar labores fuera, incluido alimentación. La curva de consumos de una semana típica para toda la ciudad refleja como lo anteriormente mencionado se presenta para todas las zonas, con lunes que presentan grandes consumos y domingos con consumos menores a los promedios de la semana.

En el caso de la mediana, los consumos diarios también son muy parejos, y se observa además como la diferencia con el promedio es de 15-20 L/hab-día.

Adicionalmente, y teniendo en cuenta que se cuenta con las áreas de cada vivienda, se obtuvo el caudal en Lts/m²-día, a partir del consumo promedio diario obtenido de los consumos reportados durante 12 días para cada una de las zonas objeto de estudio y para la totalidad de la muestra unificada. A continuación se presenta las gráficas de resultados obtenidas.

Figura 3-24: Consumo promedio neto diario en Lts/m²-día para un día típico de la semana (población total). Zonas 2 a 5





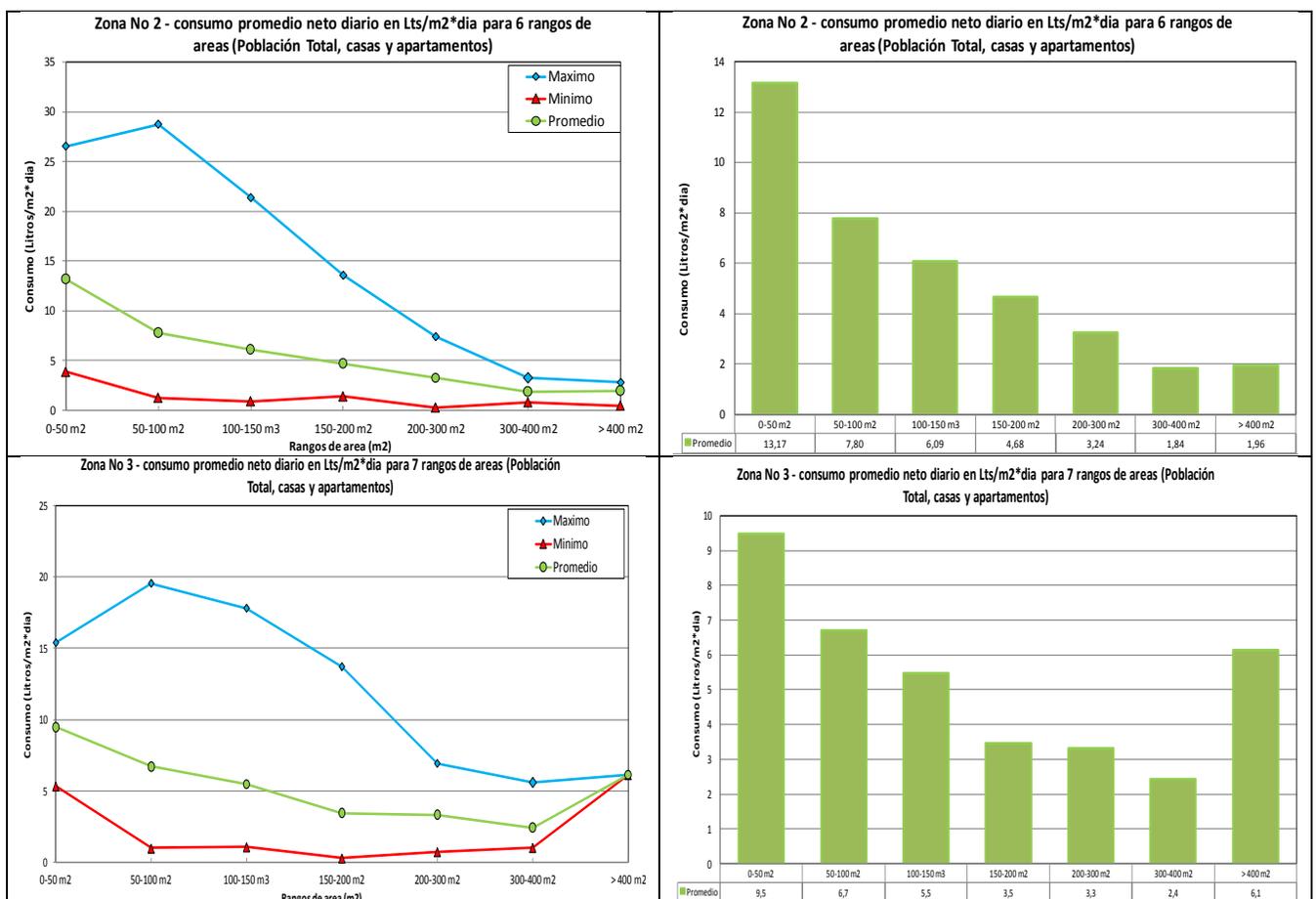
El valor promedio de caudal para el total de la población, en función al área de la vivienda, para la zona 2 es de 5.97 L/m²-día, y presenta además valores más altos para apartamentos que para casas, con 6.34 L/m²-día y 5.89 L/m²-día respectivamente; para la zona 3 es de 5.8 L/m²-día, y presenta además valores más altos para apartamentos que para casas, con 6.3 L/m²-día y 5.6 L/m²-día respectivamente; para la zona 4 es de

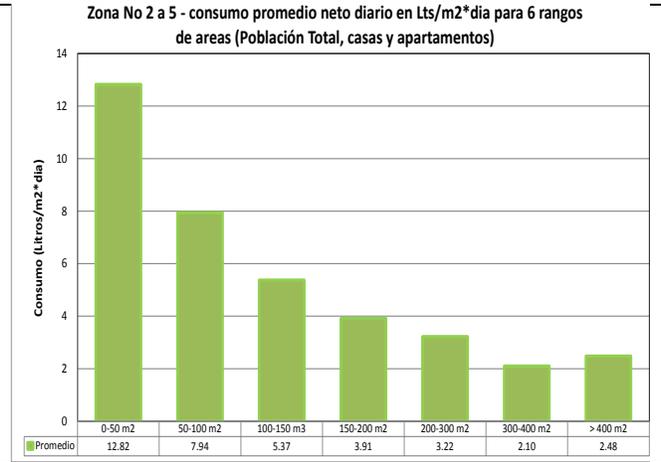
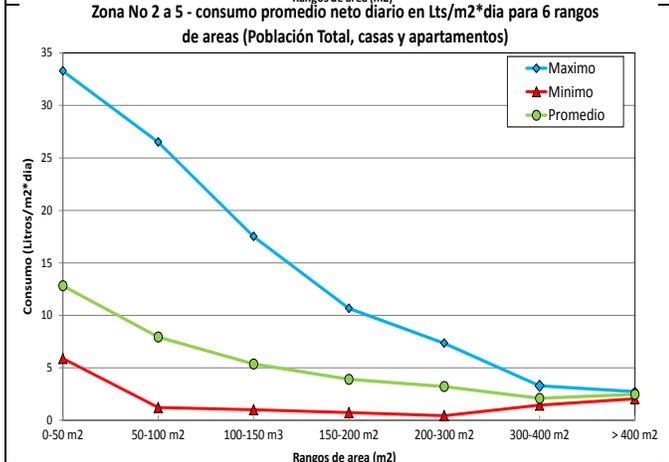
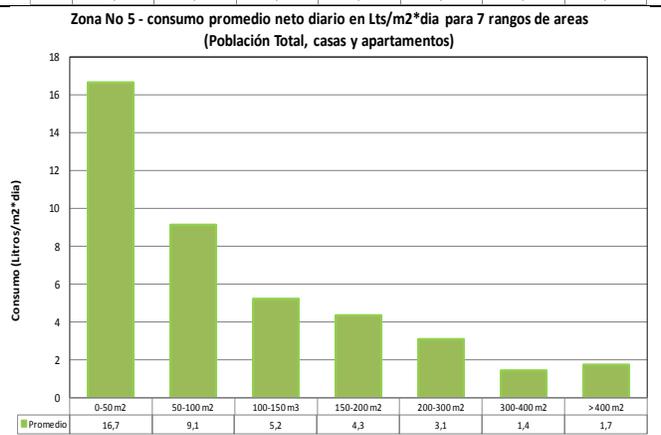
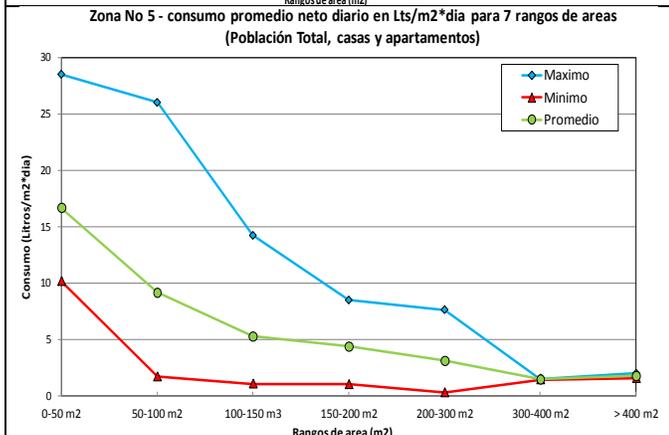
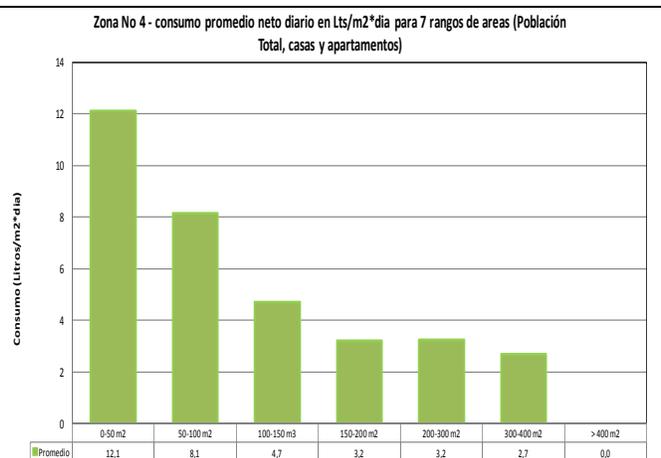
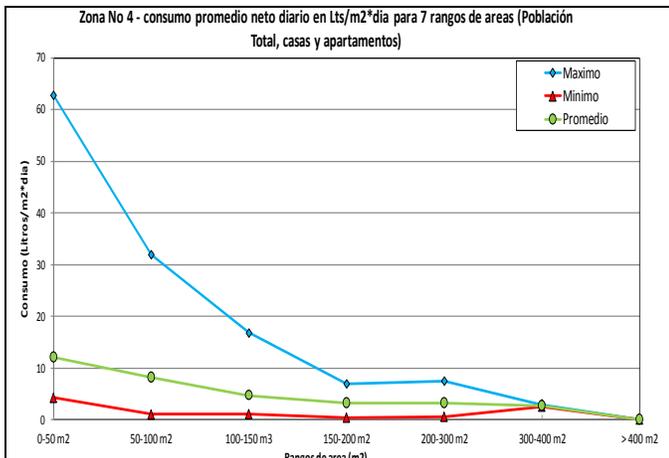
7.4 L/m²-día, y presenta además valores más altos para casas que para apartamentos, con 7.4 L/m²-día y 7.1 L/m²-día respectivamente; y para la zona 5 es de 6.8 L/m²-día, y presenta además valores más altos para apartamentos que para casas, con 8.0 L/m²-día y 6.8 L/m²-día respectivamente. Finalmente, el valor promedio de caudal en función del área para la totalidad de la muestra unificada es de 6.49 L/m²-día, y como característica general en todas las zonas, excepto la 4, se encontró que el caudal en función del área es mayor para apartamentos que para casas lo cual es de esperarse puesto que el crecimiento demográfico de la ciudad ha generado que la densidad de población por m² aumente, encontrándose que para una misma familia, el espacio destinado de un apartamento es menor al espacio si su vivienda fuera tipo casa.

Se estudió además la sensibilidad del caudal en función a diferentes variables como son el área de la vivienda, el número de habitantes, en número de puntos hidráulicos, la antigüedad de la edificación y finalmente una sensibilidad al re-uso de agua. A continuación se presenta los resultados obtenidos para cada variable.

Para analizar la sensibilidad del caudal en función al área de la vivienda, se definió 7 rangos de áreas entre 50 y 400 m², tal como se presenta en la siguiente figura.

Figura 3-25: Consumo promedio neto diario en Lts/m²-día para 7 rangos de áreas entre 50 y 400 m² (casas y apartamentos). Zonas 2 a 5.

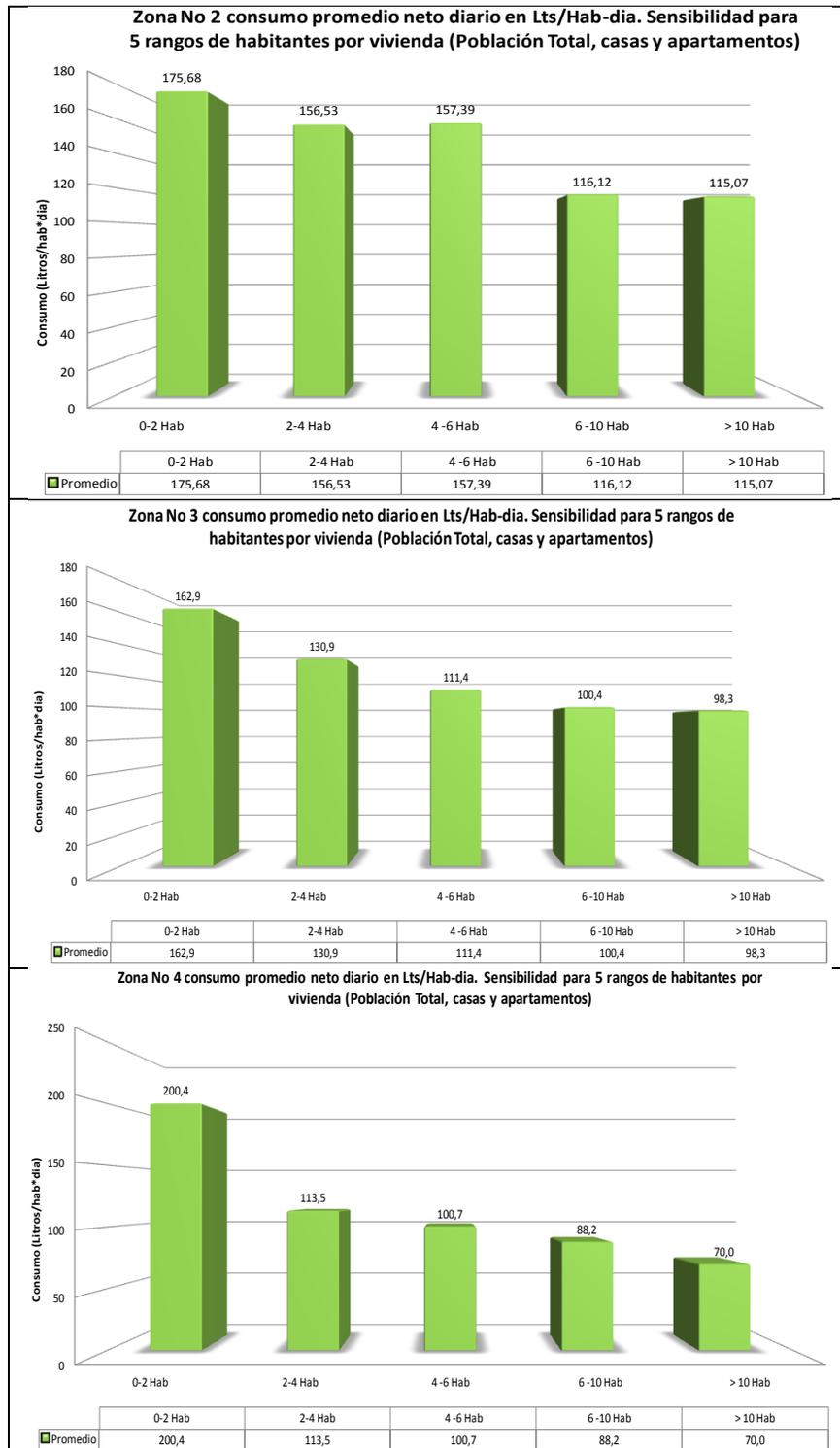


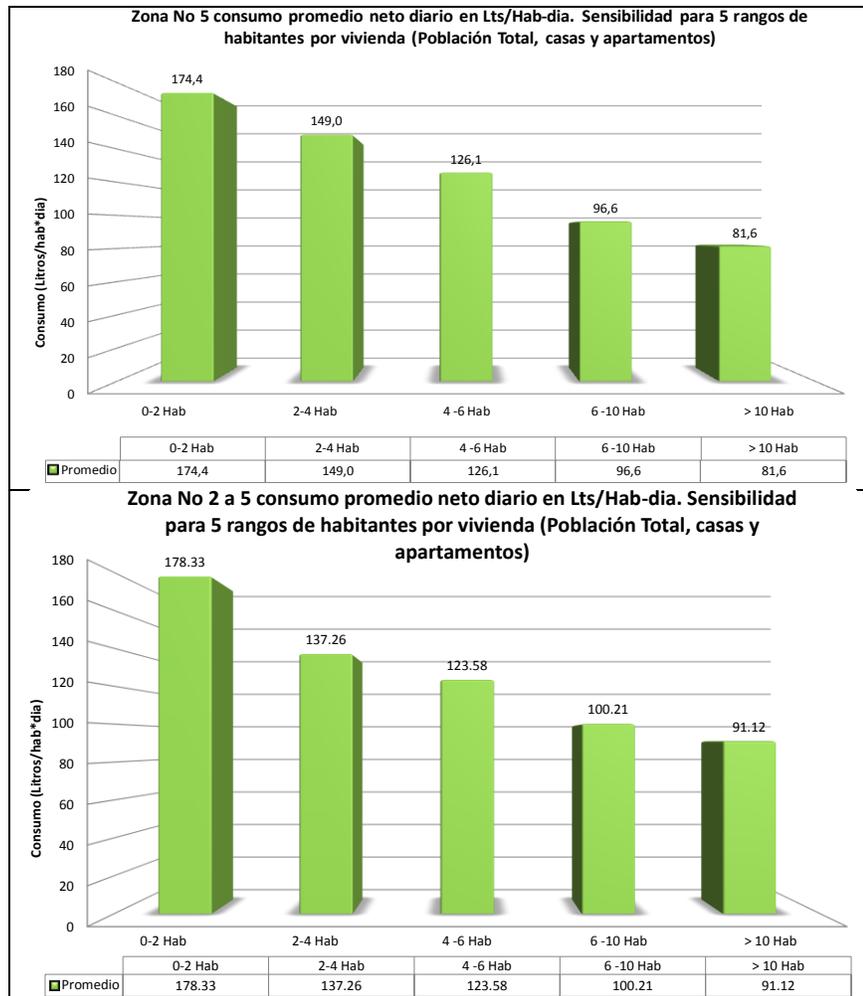


Se observa como existe un patrón de comportamiento entre el caudal y el área de la vivienda, donde a mayor área, el caudal consumido en L/m²-día es menor. En este caso, para una vivienda entre 0-50m², el caudal esperado para la ciudad de Bogotá es de 12.8 L/m²-día, y para una vivienda con un área mayor a 400 m², el caudal esperado es de 2.48 L/m²-día, que es aproximadamente 5 veces menor al requerido para una vivienda con un área menor. Igualmente se encontró que a nivel general el caudal requerido es más grande en apartamentos que en casas.

Para el caso de la sensibilidad al número de habitantes, se definió 5 rangos tal como se presenta a continuación.

Figura 3-26: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día. Sensibilidad para 5 rangos de habitantes por vivienda (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.

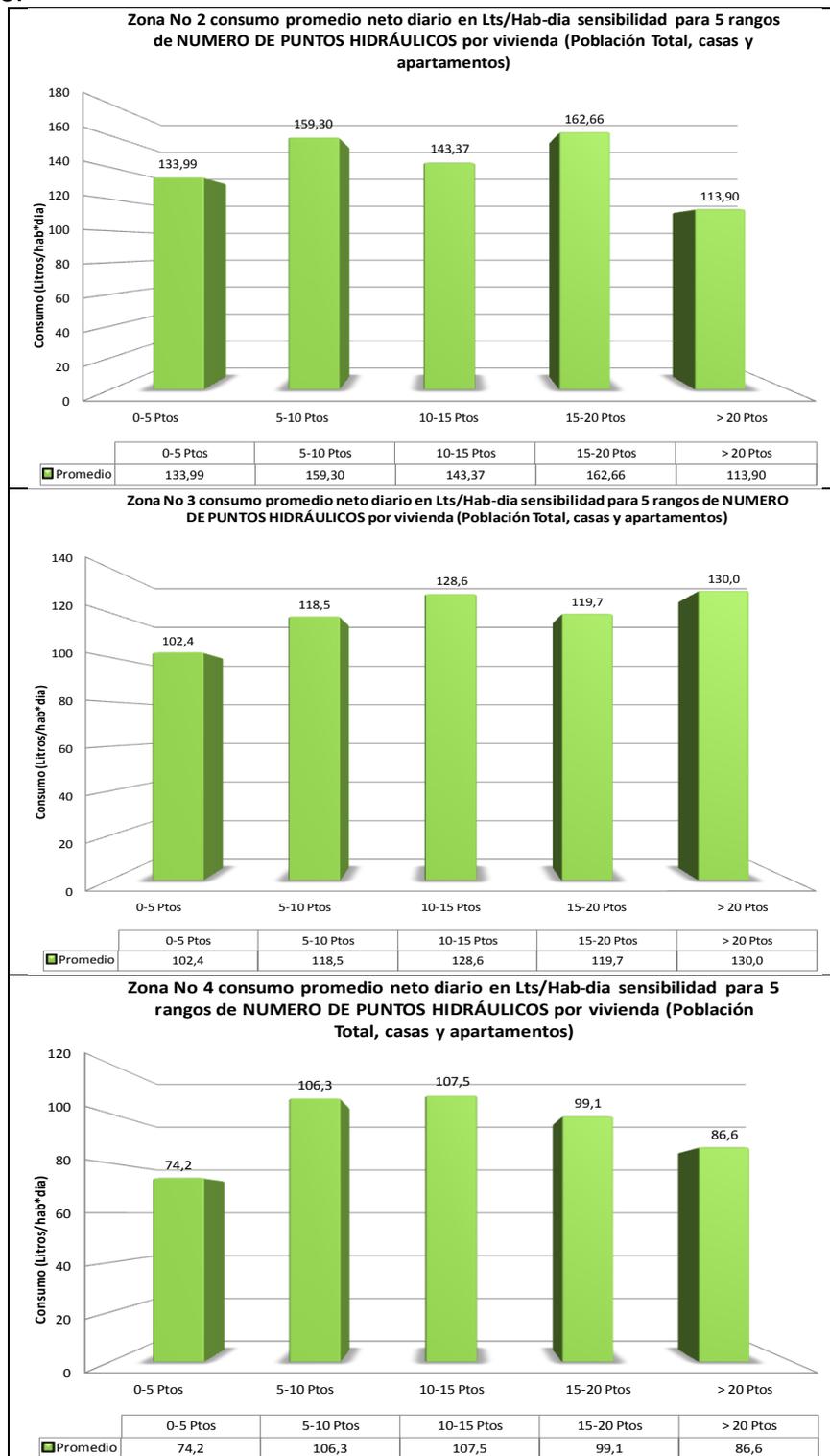




En este caso se observa una tendencia a reducir el caudal neto en función al número de habitantes, donde a mayor cantidad de habitantes, el caudal es menor, comportamiento observado en las 4 zonas analizadas por separado, y verificado al hacer el análisis de la totalidad de datos de la muestra de manera unificada. Igualmente se observa que para el caudal promedio de consumo de la población, obtenido anteriormente, la población media esperada por usuario es de 2 a 6 habitantes.

En función al número de puntos hidráulicos, no se encontró ningún patrón de comportamiento definido por cuanto puede considerarse que esta variable no afecta el comportamiento del caudal.

Figura 3-27: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día sensibilidad para 5 rangos de número de puntos hidráulicos por vivienda (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.



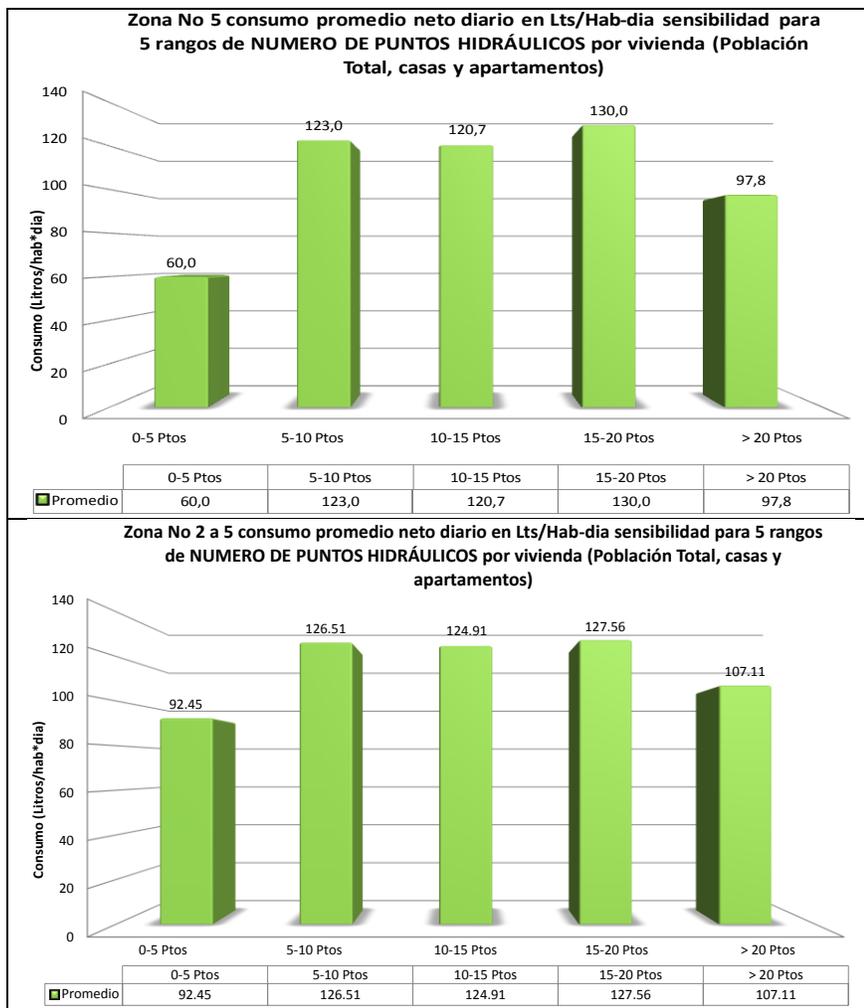
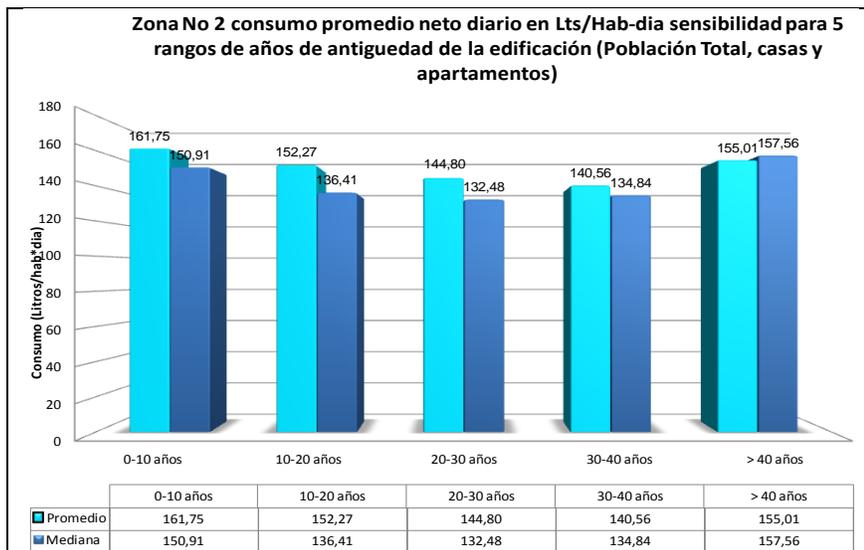
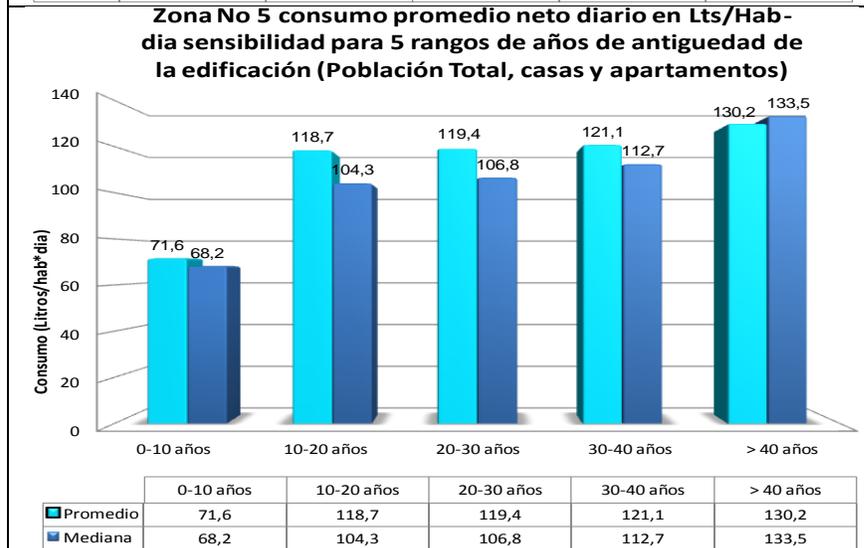
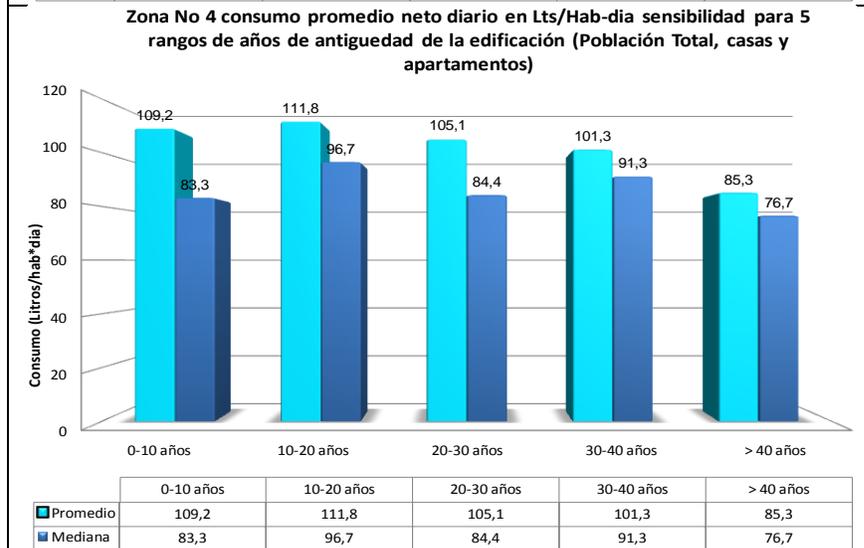
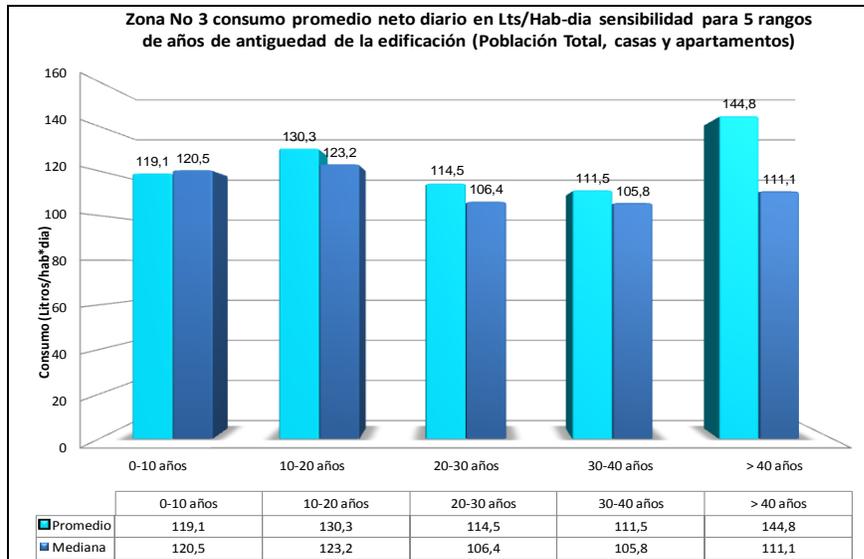
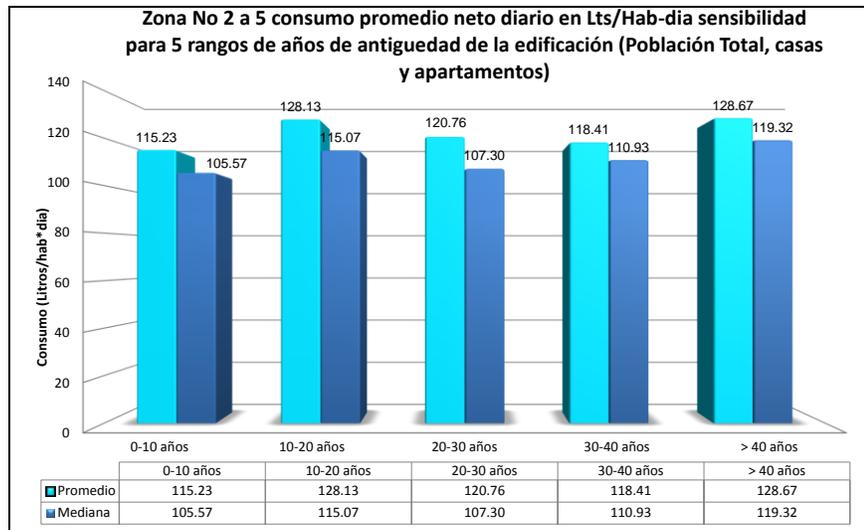


Figura 3-28: Consumo promedio neto diario en Lts/Hab-día sensibilidad para 5 rangos de años de antigüedad de la edificación (Población Total, casas y apartamentos) Zonas 2 a 5.



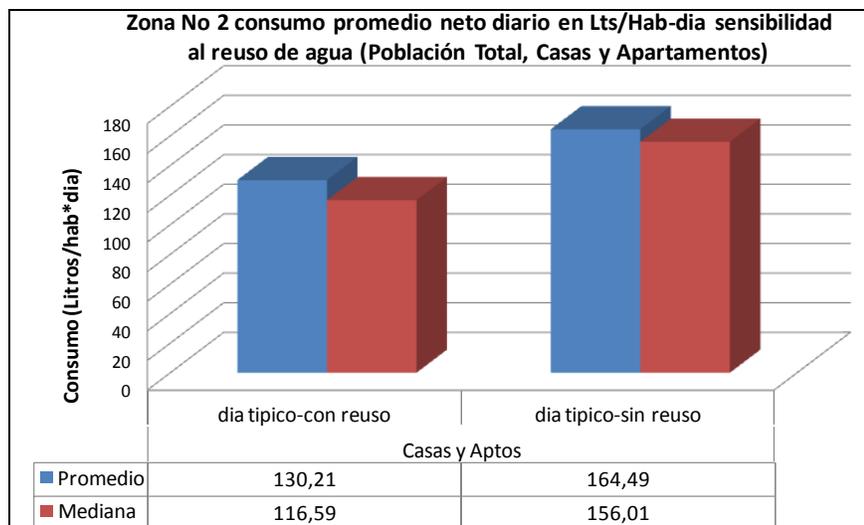


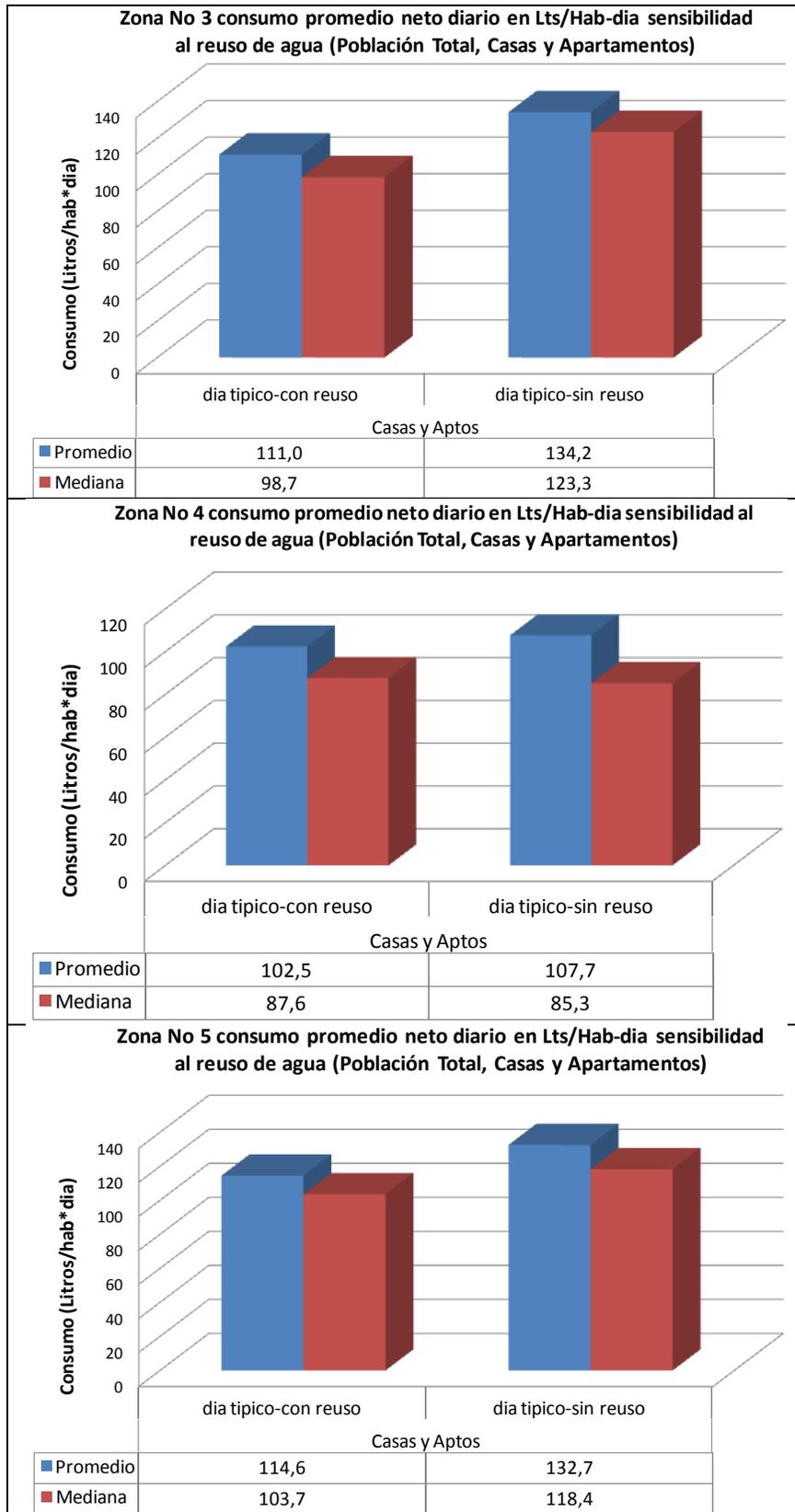


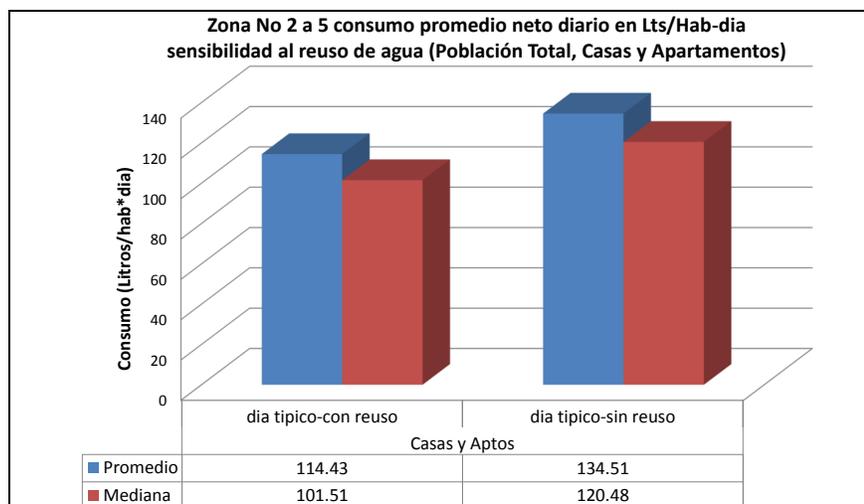
Igual que con los puntos hidráulicos, en función a la antigüedad de la edificación, no se encontró ningún patrón de comportamiento definido, como se observa en las gráficas anteriores, por cuanto puede considerarse que esta variable no afecta el comportamiento del caudal

Finalmente, al analizar el re-uso de agua, se pudo de terminan que esta variable tiene una gran importancia en la reducción del caudal neto demandado por una persona en un día, tal como se muestra a continuación.

Figura 3-29: Consumo promedio neto diario en Lts/habitante-día para un día típico de la semana (casas y apartamentos) con y sin re-uso Zonas 2 a 5, resultado de la suma de los promedios de consumo de lunes a domingo dividido por 7 días y por el número de habitantes por vivienda.







Se observa como para la zona 2 con re-uso se obtiene un caudal promedio de 130.21 L/hab-día, mientras que sin re-uso el caudal se incrementa a 164.5 L/hab-día, casi 35 L/hab-día más, que representa un 21% más de consumo; para la zona 3 con re-uso se obtiene un caudal promedio de 111.0 L/hab-día, mientras que sin re-uso el caudal se incrementa a 134.2 L/hab-día, 23.2 L/hab-día más, que representa un 21% más de consumo; para la zona 4 con re-uso se obtiene un caudal promedio de 102.5 L/hab-día, mientras que sin re-uso el caudal se incrementa a 107.7 L/hab-día, 5.2 L/hab-día más, que representa un 5.1% más de consumo (como se puede observar este valor es mucho menos al determinado en las zonas 2 y 3, y puede estar asociado al hecho que en la zona 4 los hábitos de re-uso de agua estén menos marcados en la población observada); y finalmente para la zona 5 con re-uso se obtiene un caudal promedio de 114.6 L/hab-día, mientras que sin re-uso el caudal se incrementa a 132.7 L/hab-día, 18.1 L/hab-día más, que representa un 15.8% más de consumo. Para el caso del análisis de la muestra total unificada, se observa el mismo comportamiento característico, donde la población con re-uso de agua consume un promedio de 114.43 L/hab-día contra 134.51 L/hab-día consumidos en promedio por un habitante que no re-usa el agua, aproximadamente un 17.5% más de consumo.

Al momento de analizar los datos mediante la Mediana, la diferencia es aún mayor, con diferencias entre 14.7-40 L/hab-día, que representa un 14 - 25% más de consumo. Resultados que finalmente se traducen en una importancia considerable en lo que respecta a las políticas y estrategias de educación y sensibilización de la sociedad en el uso eficiente y aprovechamiento adecuado del agua, mediante campañas para la promoción del mismo.

3.2.2 Resumen análisis Información de medición de caudales Zonas 2 a 5

En función al análisis de la información de medición de caudales de los usuarios de las 4 zonas estudiadas por separado, así como del análisis del total de la muestra de manera unificada, a continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos de las variables evaluadas.

Tabla 3-2: Tabla resumen resultados del análisis de la información de medición de caudales para las zonas 2 a 5.

Variable evaluada	Zona número				
	2	3	4	5	Unificado
Promedio tiempo instalado del micromedidor (días)	20,67	21,2	20,7	21,1	20,9
Promedio del caudal máximo instantáneo (L/s)	0,47	0,49	0,48	0,44	0,47
Consumo neto promedio "Media aritmética" a partir de consumos de una semana típica (L/hab-día)	150,62	122,38	105,16	121,77	124,8
Consumo neto promedio "Media aritmética" a partir de consumos total medido (L/hab-día)	145,58	134,96	103,35	117,48	125,24
Consumo neto promedio "Media aritmética" a partir del volumen total medido menos el volumen inverso (L/hab-día)	144,82	130,41	102,14	118,65	123,88
Consumo neto promedio "Media aritmética" a partir del promedio de consumos de la totalidad de días de lectura (L/hab-día)	150,1	124,4	98,9	124,4	
Consumo neto promedio "Media aritmética" para un día típico, resultado de los promedios de consumo de cada uno de los 7 días de la semana dividido por el número de habitantes por vivienda (L/hab-día)	151,28	122,4	105,4	121,8	125,00
Consumo neto "Mediana" a partir de consumos de una semana típica (L/hab-día)	137,64	110,87	87,64	107,76	110,77
Consumo neto "Mediana" a partir del volumen total medido (L/hab-día)	134,52	124,13	85,75	103,81	111,94
Consumo neto "Mediana" a partir de consumos total medido menos el volumen inverso (L/hab-día)	134,52	121,2	85,23	103,81	111,07
Factor de mayoración del caudal medio diario (K1*K2) determinado	1,87	1,8	1,98	1,88	1,88
Volumen (Litros) y % de caudal consumido entre 10-750 L/hora	485,64 (87,8%)	486,0 (84,4%)	356,5 (78,8%)	443,0 (87,4%)	434,65 (86,2%)
Consumo neto promedio diario "Media aritmética" en función al área de la vivienda (L/m2-día)	5,97	5,8	7,4	6,8	6,49
Consumo neto promedio diario "Media aritmética" con re-uso de agua (L/m2-día)	130,21	111	102,5	114,6	114,4
Consumo neto promedio diario "Media aritmética" sin re-uso de agua (L/m2-día)	164,49	134,2	107,7	132,7	134,5

En función a la tabla anterior, se puede observar como el tiempo promedio de instalación de los micromedidores fue de aproximadamente 21 días o 3 semanas completas, que se constituye en la línea de tiempo para la cual se realizó la caracterización de consumos de los usuarios evaluados.

Con respecto al caudal máximo instantáneo, que corresponde al caudal máximo real medido que paso en un instante dado por la red de tuberías de ingreso a la edificación,

se encuentra que el valor promedio es muy parecido para las 4 zonas, y fluctúa entre 0.44-0.49 L/s y para la muestra unificada dicho valor promedio es de 0.47L/s. En el siguiente capítulo se analiza y compara para cada uno de los usuarios el caudal máximo instantáneo real medido contra el caudal máximo probable que se determina por diferentes metodologías de cálculo.

En relación al caudal de consumo promedio neto de un habitante en un día, se determinó el mismo de diferentes maneras a fin de comparar los resultados y se observa como dicho caudal calculado en cada zona presenta valores con un mismo patrón de comportamiento para los diferentes consumos promedios calculados, pero también se observa como dichos valores presentan variaciones entre una zona y otra, lo cual refleja la alta variabilidad espacial de los consumos de la población. De esta manera, para la zona 2 es posible definir que el valor del consumo neto se encuentra entre 144.8-150.6 L/hab-día, para la zona 3 se encuentra entre 122.4-135 L/hab-día, para la zona 4 entre 98.9-105.2 L/hab-día, y para la zona 5 dicho valor se encuentra entre 117.5-124.4 L/hab-día. Un valor promedio aceptable para toda la población es el obtenido al analizar la muestra unificada, donde se obtuvo valores de 123.88-125.24 L/hab-día, siendo un valor final aceptable el de 125 L/hab-día.

Al comparar estos valores con los recomendados por la Norma RAS 2000 para uso residencial y para toda la ciudad, es de 140 L/Hab-día, que en el caso de la zona 2 correspondería a un valor subdimensionado, para la zona 3 se podría considerar como adecuado, y para las zonas 4 y 5 dicho valor sería muy elevado, así como para el resultado promedio de la población obtenido al analizar la muestra de manera unificada para toda la ciudad de Bogotá. Lo anterior permite inferir que dicho valor de 140 L/hab-día no es el más adecuado para la mayor parte de la ciudad, y que este valor podría reducirse a 125 L/hab-día, que representa un 12% menos de caudal. Estas diferencias reflejan la importancia de adelantar más estudios en las grandes y medianas ciudades de Colombia tendientes a determinar dotaciones netas de la población más acordes a las dinámicas y características de consumo propias de la población.

Ahora bien, si se analiza los caudales de consumo promedio netos a la luz de una herramienta estadística de tendencia central como lo es la Mediana, que es una herramienta más adecuada para determinar el punto central de la distribución de los datos donde se alcanza el 50% de las frecuencias acumuladas, y se constituye en una herramienta ideal para obtener valores centrales cuando se cuenta con datos que varían considerablemente entre el promedio y los picos, como es el caso observado de los consumos determinados para cada usuario, se encuentra que los caudales se reducen considerablemente a valores generales entre 86-138 L/hab-día, valores que reflejan el hecho que la dotación actualmente empleada, al menos en el caso de la ciudad de Bogotá, podría reducirse con respecto a la actualmente contemplada por la Norma RAS 2000 hasta valores de 110-115 L/hab-día, que representa 25 L/hab-día menos que el recomendado por la Norma, un 21.7% menos de caudal a ser empleado para el diseño de redes matrices y redes de distribución principales y secundarias del sistema de abastecimiento de la ciudad, así como un menor caudal de captación y tratamiento.

Con relación al producto de los factores de mayoración $K1 \cdot K2$ recomendado por la Norma RAS 2000 para la ciudad de Bogotá, que permiten determinar el pico de consumo con respecto al caudal medio diario de la población, donde $K1$ equivale a 1.2 y $K2$ equivale a 1.5, y el producto de $K1 \cdot K2 = 1.2 \cdot 1.5 = 1.8$, se observa que dicho valor está subestimado respecto a los determinados en este estudio, donde los valores del pico de

consumo medidos oscilan en un rango de 1.8 a 1.98, por lo cual es necesario la reevaluación de los mismos para atender de una mejor manera, a partir de las tuberías matrices y redes secundarias de acueducto de la ciudad, los picos de consumo de la población bajo condiciones técnicas de cantidad de agua y presiones adecuadas.

Respecto a los caudales de dotación en función al área de la edificación, se observa como dicho valor fluctúa entre 5.8-7.4 L/m²-día, con un promedio para toda la muestra de 6.49 L/m²-día, el cual puede ser un valor a tener en cuenta para el dimensionamiento de sistemas de almacenamiento de viviendas, principalmente para las tipo casa. Igualmente, es recomendable manejar franjas de caudal por área en función al área de la vivienda, caudales que pueden ser útiles en una futura actualización de la Norma NTC 1500, "CODIGO COLOMBIANO DE FONTANERIA", en el cual actualmente el único caudal reportado para viviendas corresponde a 200-250 L/hab-día, que comparado con el determinado anteriormente, es demasiado alto.

Finalmente, es muy importante destacar el hecho que las costumbres de re-uso de agua están tomando un papel importante para los usuarios, y que impactan positivamente en los objetivos de uso eficiente de agua y reducción del caudal per cápita, puesto que se observa como al hacer re-uso, el caudal de consumo neto de un habitante se reduce aproximadamente entre un 15-25%. Es importante impulsar este tipo de estrategia de manejo del agua y fortalecer los programas educativos de la población al respecto, principalmente las poblaciones de estratos bajos puesto que, conforme los resultados del estudio, son los que menos interés prestan al re-uso, e igualmente representan una gran parte de la población de la ciudad de Bogotá.

4. Aplicación de los métodos para el cálculo del caudal máximo instantáneo

En el capítulo 1 correspondiente al marco teórico se realizó la explicación de las diferentes metodologías encontradas, para la determinación del caudal máximo probable de las redes de suministro en edificaciones.

En el capítulo 2 se hizo una descripción de los trabajos previos adelantados por la EAAB referentes a la medición de caudales, con una descripción de tallada del equipo de medición empleado y los diferentes datos registrados por este para el consumo de agua de un usuario durante un periodo de aproximadamente 3 semanas, que incluían la medición del caudal máximo que pasó en un instante dado por el medidor.

Posteriormente, en el capítulo 3 se presentó figuras resumen y los valores promedio, máximos y mínimos de los caudales máximos instantáneos reales medidos para cada uno de los usuarios en las 4 zonas objeto de estudio.

En este capítulo se explica la metodología de cálculo de los caudales máximos instantáneos, propuesto por cada método estudiado, labor que se desarrolló tomando un mismo usuario de ejemplo, correspondiente al usuario con número de cuenta contrato 10182375 localizado en la Zona 5 (vivienda tipo casa, estrato 3, localizada en la dirección CL 40F SUR 78A 10) mediante el cual se puede mostrar las consideraciones que se deben tener al momento de utilizar uno u otro método de cálculo.

Finalmente, cada método de cálculo se aplicó al total de usuarios por cada zona estudiada (Zonas 2 a 5), se determinó del total de usuarios evaluados por zona, cuantos cuentan con un caudal de diseño mayor al máximo instantáneo medido y cuantos tienen un caudal menor.

Los 9 métodos que se aplicaron en el estudio de los Caudales Máximos fueron los siguientes:

Métodos empíricos:

- Británico

Métodos Semiempíricos:

- Alemán de la Raíz Cuadrada
- simultaneidad
- Racional o Español
- Norma Española UNE 149201

Métodos Probabilísticos:

- Hunter
- Hunter modificado (Norma NTC 1500)
- Hunter Unal
- Reglamento RIIDA Chileno

4.1 Método Británico.

El desarrollo del método se basa en la cantidad y clase de aparatos sanitarios que se encuentran en la edificación, para así poder cuantificar el caudal máximo posible que puede demandar el total de aparatos, tomando como referencia los caudales expresados en la tabla 1-7. Una vez determinado el caudal se procede a encontrar el caudal máximo probable empleando la tabla 1-8.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-1: Evaluación caudal máximo posible Método Británico para edificación de ejemplo

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/m)	Caudal Total (l/m)
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	7.57	45.42
Sanitarios	3	7.57	22.71
Lavaderos	2	15,14	30.28
Duchas	3	7,57	22.71
Tinas	1	7.57	7.57
Lavadoras	3	15.14	45.42
<i>Caudal Máximo Posible (l/m)</i>			174.11
<i>Caudal Máximo Posible (l/s)</i>			2.9

Conforme la tabla 1-8, el caudal máximo probable se determina de la siguiente manera:

$$Q_p = 0.609 \cdot 2.9 \text{ l/s} = 1.77 \text{ l/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 1.77 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método Británico permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 3.34 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.1.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 284 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (96% del total de la muestra), y 12 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (4% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 305 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 288 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (94.4% del total de la muestra), y 17 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (5.6% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 305 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 288 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (94.4% del total de la muestra), y 17 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (5.6% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 278 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (96.2% del total de la muestra), y 11 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (3.8% del total de la muestra).

Los caudales máximos probables calculados para todos los usuarios de la zona 2 se encuentran comprendidos entre 0.37-2.24 l/s, y los medidos se encuentran entre 0.12-1.82 l/s, los caudales promedios calculados y medidos, obtenidos de la muestra completa de usuarios de la zona 2 son 1.28 l/s y 0.47 l/s respectivamente y la mediana de 1.29 l/s y 0.37 l/s respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-2: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2,24	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,37	0,12
Q. Promedio (l/s)	1,28	0,47
Q. Mediana (l/s)	1,29	0,37

Los caudales máximos probables calculados para todos los usuarios de la zona 3 se encuentran comprendidos entre 0.72-2.49 l/s, y los medidos se encuentran entre 0.06-

1.82 L/s, los caudales promedios calculados y medidos, obtenidos de la muestra completa de usuarios de la zona 3 son 1.31 l/s y 0.50 l/s respectivamente y la mediana de 1.29 l/s y 0.39 l/s respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-3: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2,49	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,72	0,06
Q. Promedio (l/s)	1,31	0,50
Q. Mediana (l/s)	1,29	0,39

Los caudales máximos probables calculados para todos los usuarios de la zona 4 se encuentran comprendidos entre 0.6-2.11 l/s, y los medidos se encuentran entre 0.06-1.82 L/s, los caudales promedios calculados y medidos, obtenidos de la muestra completa de usuarios de la zona 4 son 1.26 l/s y 0.49 l/s respectivamente y la mediana de 1.23 l/s y 0.42 l/s respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla resumen

Tabla 4-4: Resumen caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2,11	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,6	0,06
Q. Promedio (l/s)	1,26	0,49
Q. Mediana (l/s)	1,23	0,42

Los caudales máximos probables calculados para todos los usuarios de la zona 5 se encuentran comprendidos entre 0.6-2.37 l/s, y los medidos se encuentran entre 0.09-1.82 L/s, los caudales promedios calculados y medidos, obtenidos de la muestra completa de usuarios de la zona 5 son 1.39 l/s y 0.45 l/s respectivamente y la mediana de 1.36 l/s y 0.37 l/s respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla resumen

Tabla 4-5: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2,37	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,6	0,09
Q. Promedio (l/s)	1,39	0,45
Q. Mediana (l/s)	1,36	0,37

Es importante resaltar que aun cuando existe gran variabilidad en los resultados, para los fines de caracterización de este trabajo, el interés se centra en observar el comportamiento global para poder ver si existen tendencias de comportamiento, por lo

cual los valores representativos corresponden a los promedios de caudales calculados y reales para cada zona.

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-1: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2.

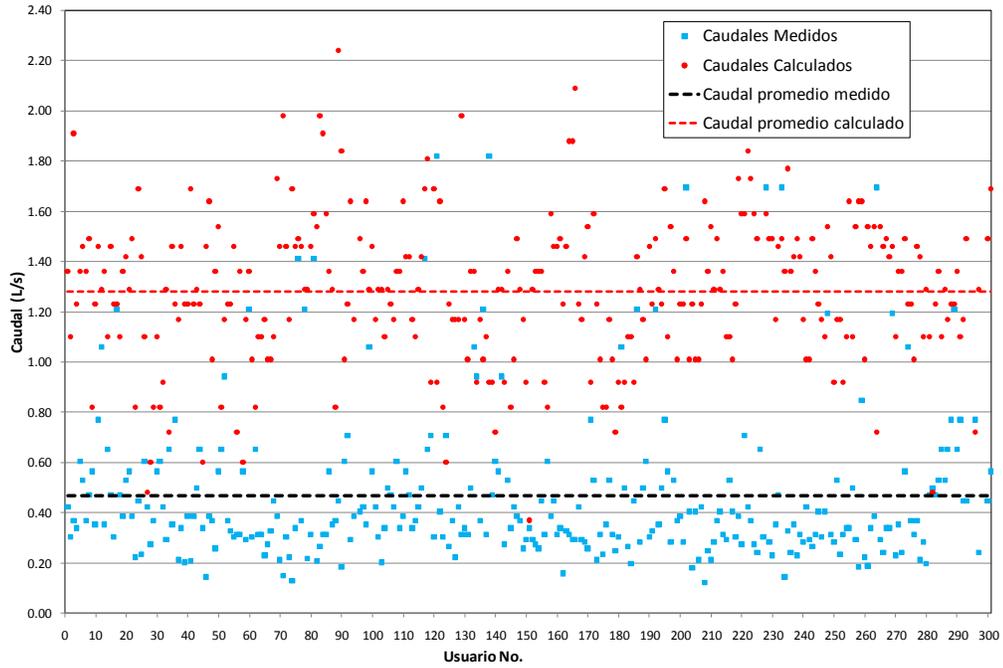


Figura 4-2: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3.

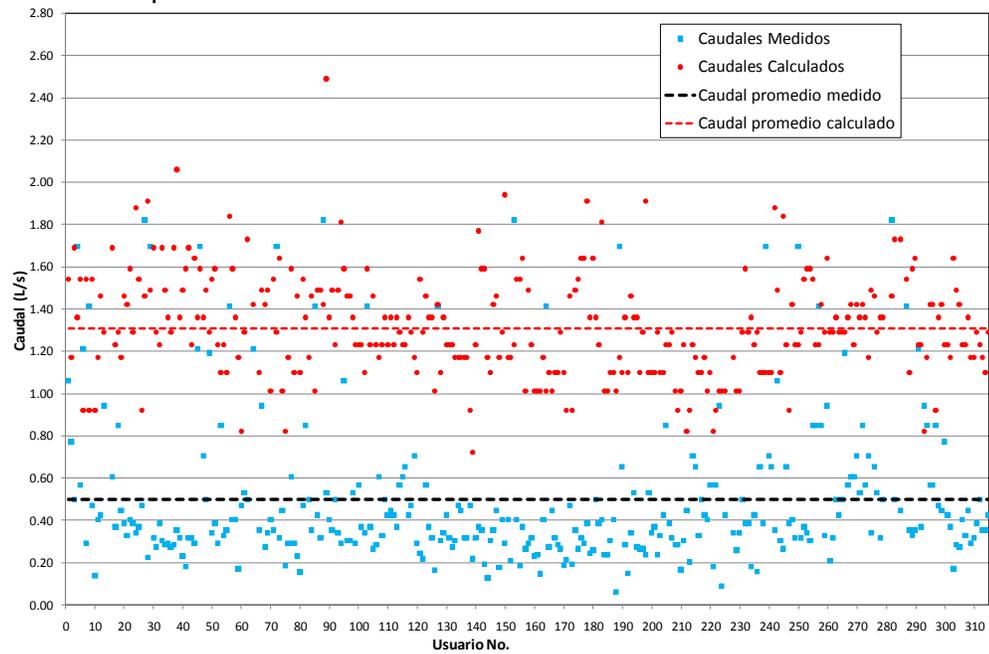
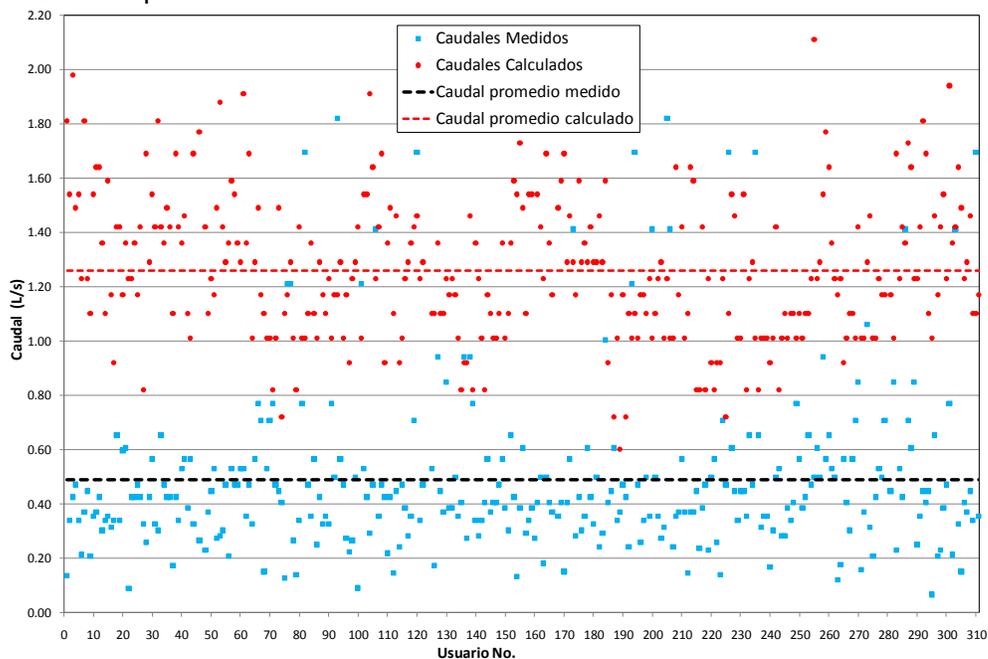
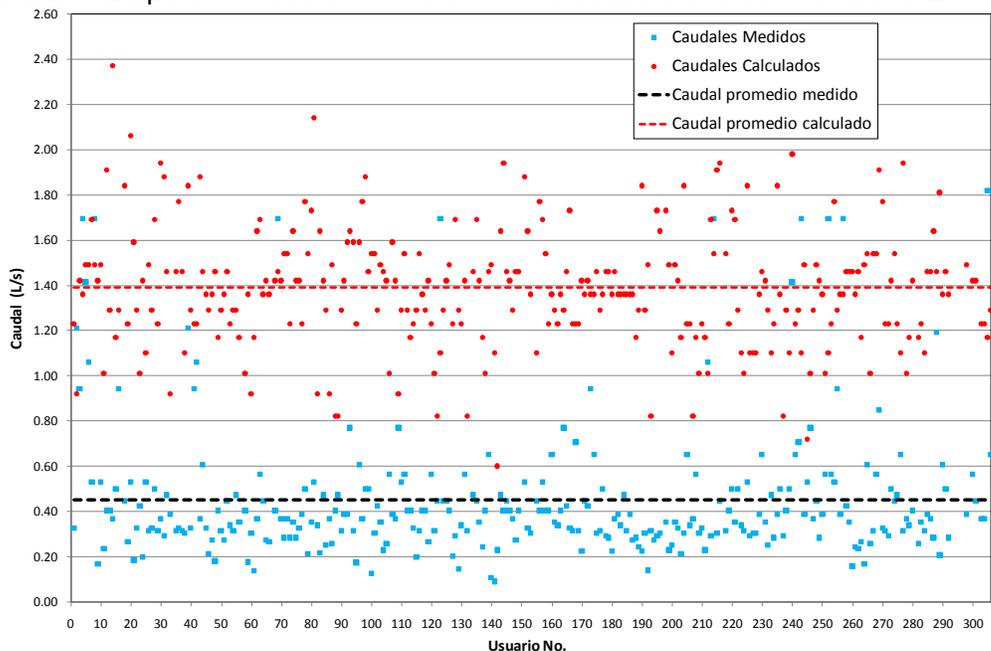


Figura 4-3: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4.**Figura 4-4:** Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5.

Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio medido, mientras que la gran mayoría de caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa perfectamente una diferenciación en ubicación de estos caudales, lo que refleja una gran dispersión entre los datos calculados y los medidos, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.1.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-6: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Británico vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona numero			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	1.28	1.31	1.26	1.39
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 1.26-1.39 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método Británico mayormente considera considerablemente el caudal de diseño comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran bastante sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.2 Método Alemán de la Raíz cuadrada.

Este método se basa para el caso de estudio en que todas las conexiones de los aparatos que se encuentran en el edificio son de ½", se considera un factor de dos (2) para todos los aparatos y teniendo en cuenta que para el usuario de ejemplo, se cuenta con un total de 18 puntos hidráulicos;

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

$$Q_p = 0.25\sqrt{18 \cdot 2^2} = 2.12 \text{ L/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 2.12 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método Alemán de la Raíz Cuadrada permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 4 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.2.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 293 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (99% del total de la muestra), y 3 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (1.0% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 269 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (97.4% del total de la muestra), y 8 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (2.6% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 295 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (97.4% del total de la muestra), y 8 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (2.6% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 285 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (98.6% del total de la muestra), y 4 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (1.4% del total de la muestra).

Los caudales máximos calculado y medido para la zona 2 corresponden a 2.69 l/s y 1.82 l/s respectivamente, los mínimos corresponden a 0.9 l/s y 0.12 l/s respectivamente, los caudales promedios son 1.65 l/s y 0.47 l/s respectivamente y la mediana de 1.66 l/s y 0.37 l/s respectivamente, como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-7: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.69	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.9	0.12
Q. Promedio (l/s)	1.65	0.47
Q. Mediana (l/s)	1.66	0.37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 1.68 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-8: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.96	1.82
Q. Mínimo (l/s)	1.1	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.68	0.50
Q. Mediana (l/s)	1.66	0.39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 1.63 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-9: Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.65	1.82
Q. Mínimo (l/s)	1.1	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.63	0.49
Q. Mediana (l/s)	1.58	0.42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 1.77 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-10: Resumen de caudales calculados por el Método Alemán vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	3.00	1.82
Q. Mínimo (l/s)	1.0	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.77	0.45
Q. Mediana (l/s)	1.73	0.37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-5: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Alemán.

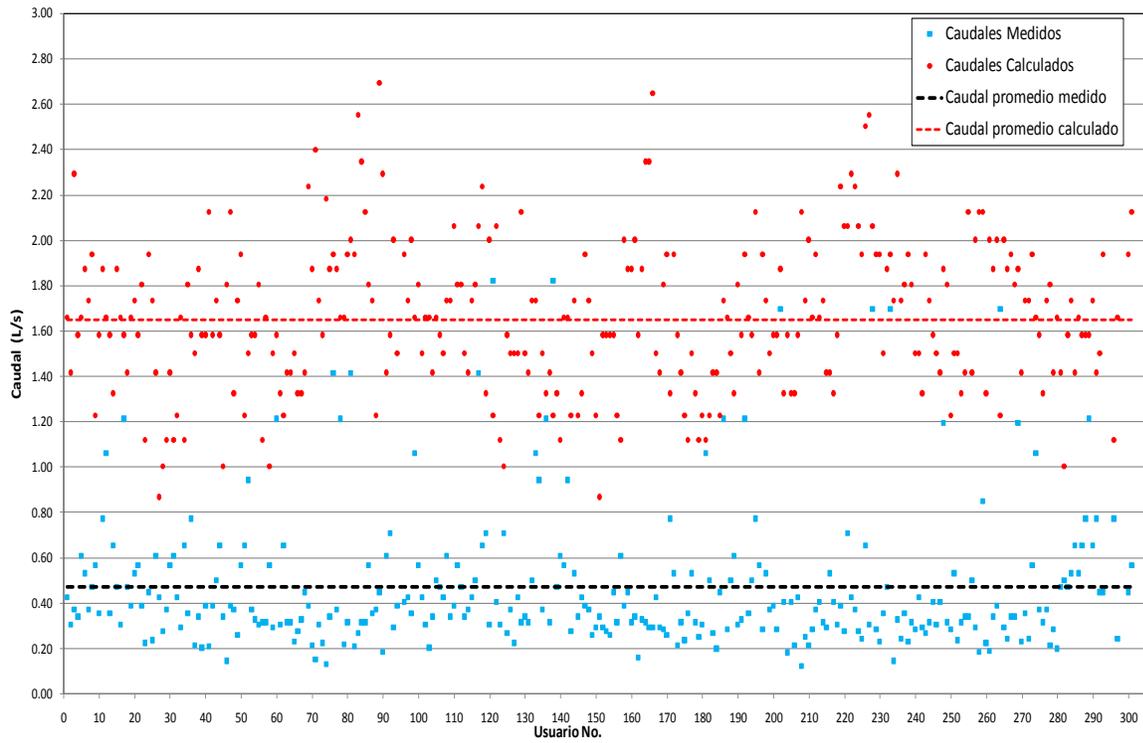


Figura 4-6: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Alemán.

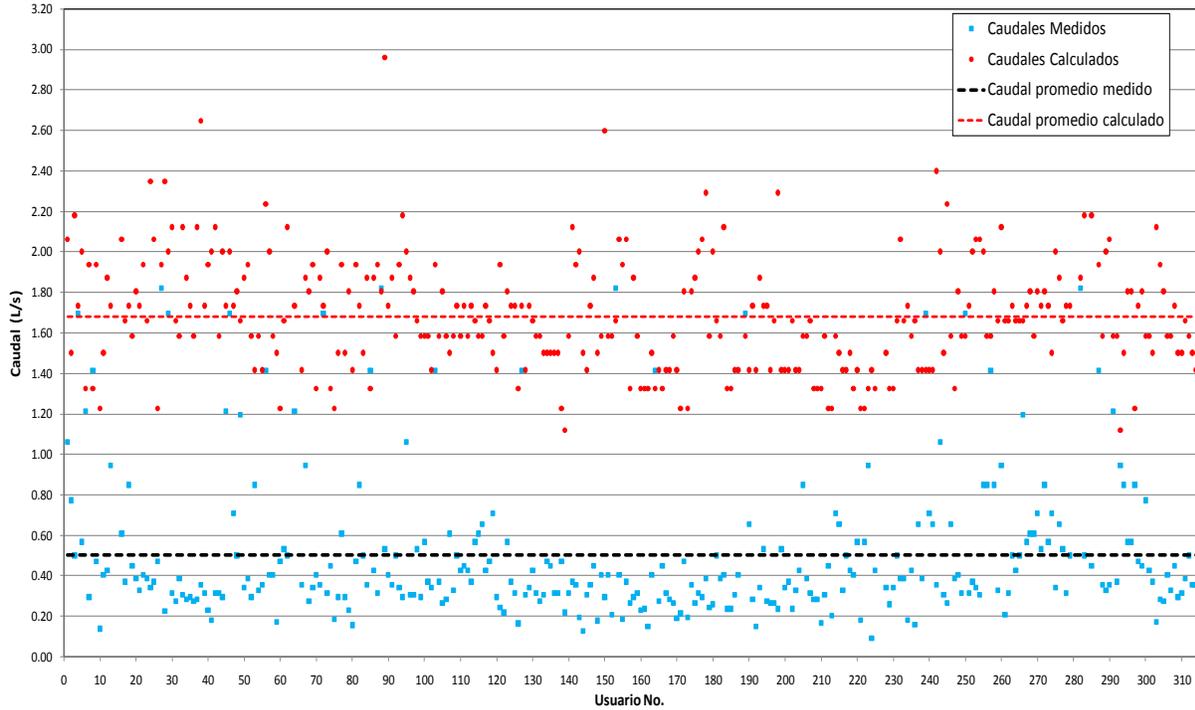


Figura 4-7: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Alemán.

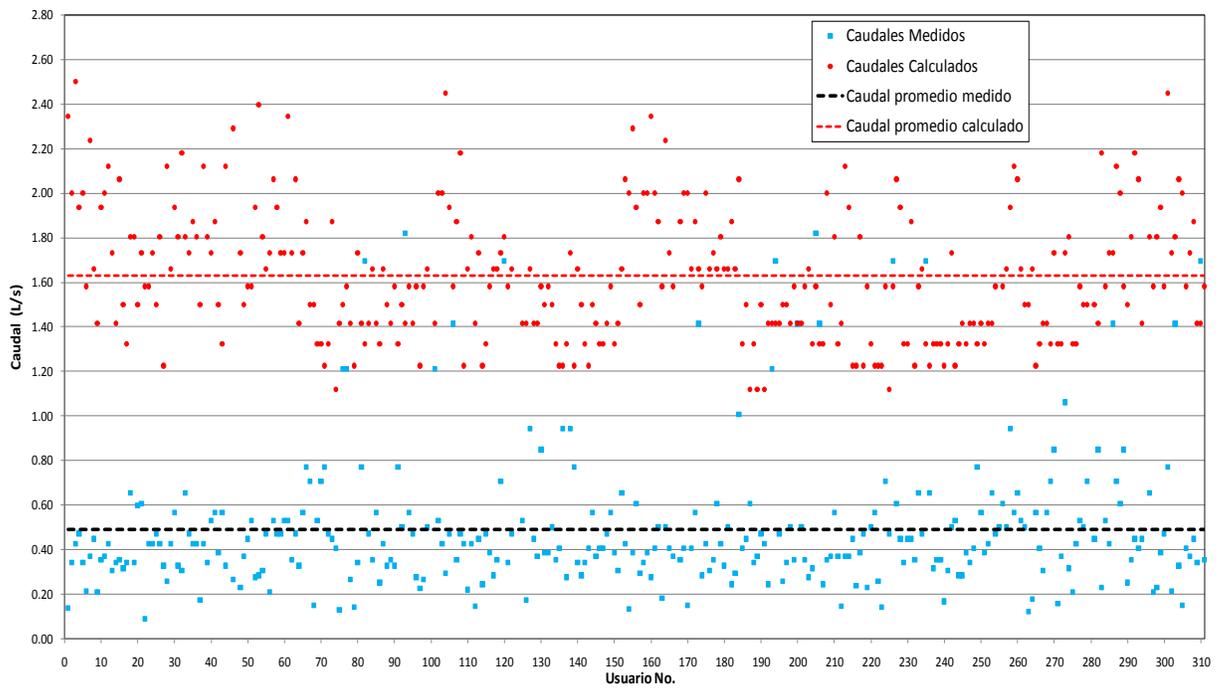
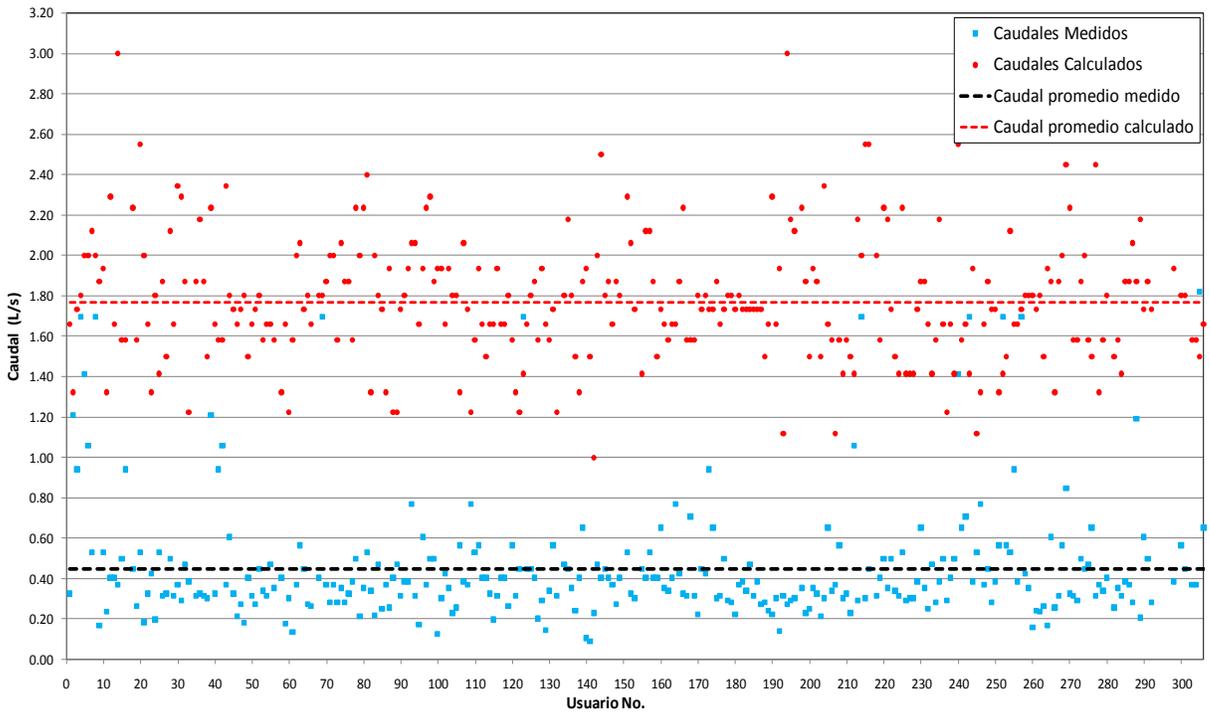


Figura 4-8: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Alemán.



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio medido, mientras que la gran mayoría de caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa perfectamente una diferenciación en la ubicación de estos caudales, lo que refleja una gran dispersión entre los datos calculados y los medidos, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.2.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-11: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Alemán vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	1.65	1.68	1.63	1.77
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 1.65-1.77 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método Alemán mayormente considera considerablemente el caudal de diseño comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, aun por encima del encontrado con el método Británico, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran bastante sobredimensionados (entre 4 y 5 veces) para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.3 Método del Factor de Simultaneidad.

Este método tiene en cuenta la cantidad y clase de aparatos sanitarios para determinar el caudal máximo posible considerando los caudales unitarios reportados en la tabla 1-10. Una vez determinado el caudal se calcula el factor de simultaneidad en función del número de aparatos; y finalmente se procede a determinar el caudal máximo probable.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-12: Evaluación caudal máximo posible Método Factor de Simultaneidad para edificación de ejemplo

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/m)	Caudal Total (l/m)
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	0.20	1.20
Sanitarios	3	0.15	0.45
Lavaderos	2	0.25	0.50
Duchas	3	0.20	0.60
Tinas	1	0.25	0.25
Lavadoras	3	0.25	0.75
<i>Caudal Máximo Posible (l/s)</i>			<i>3.75</i>

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

$$K_1 = \frac{1}{(n - 1)} = \frac{1}{(18 - 1)} = 0.24$$

En vista que este valor de K1 es mayor a 0.2, se procede a emplear el valor calculado. La determinación del caudal máximo probable “Qp” se realiza como sigue:

$$Q_p = K_1 \cdot q_{m\acute{a}x} = 0.24 \cdot 3.75 \text{ L/s} = 0.91 \text{ L/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 0.91 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método del Factor de Simultaneidad permite calcular un caudal de diseño que es mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 1.7 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.3.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 247 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (83.4% del total de la muestra), y 49 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (16.6% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 251 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (82.6% del total de la muestra), y 53 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (17.4% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 260 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (85.8% del total de la muestra), y 43 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido (14.2% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 260 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (90% del total de la muestra), y 29 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (10% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 0.69 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-13: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1,20	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,4	0,12
Q. Promedio (l/s)	0,69	0,47
Q. Mediana (l/s)	0,68	0,37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.71 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-14: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1,43	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,5	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,71	0,50
Q. Mediana (l/s)	0,70	0,39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.69 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-15: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1,14	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,5	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,69	0,49
Q. Mediana (l/s)	0,67	0,42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 0.75 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-16: Resumen de caudales calculados por el Método Factor de Simultaneidad vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1,42	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,5	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,75	0,45
Q. Mediana (l/s)	0,72	0,37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-9: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Factor de Simultaneidad.

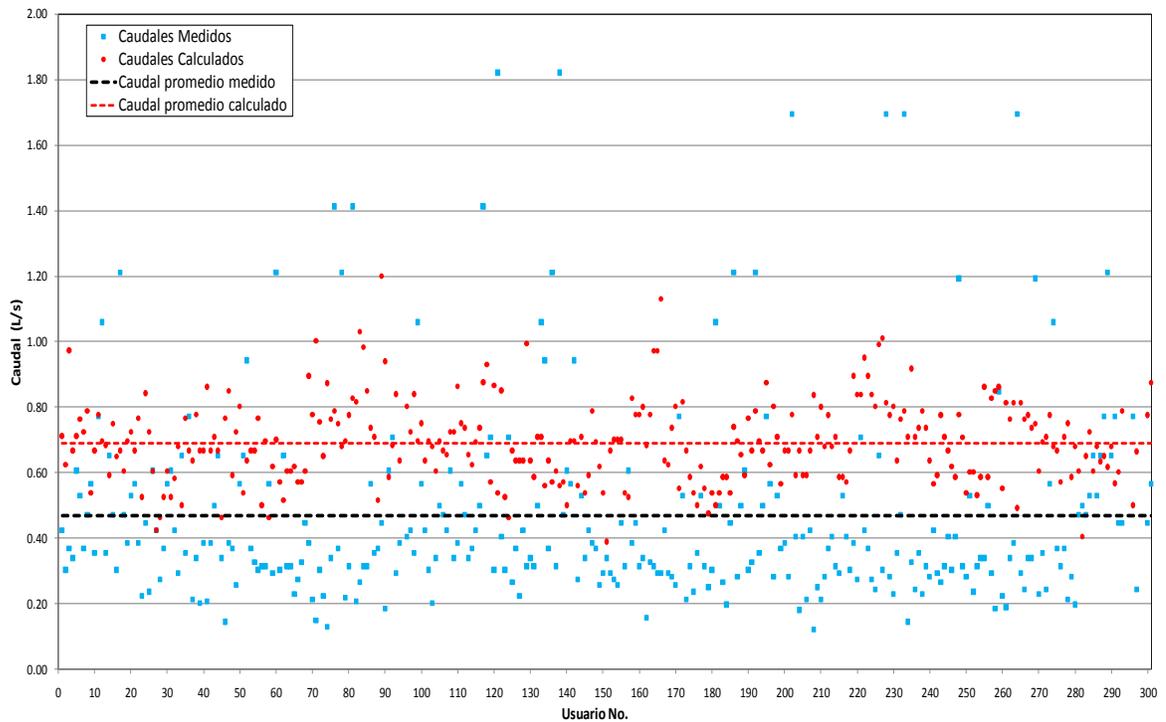


Figura 4-10: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Factor de Simultaneidad.

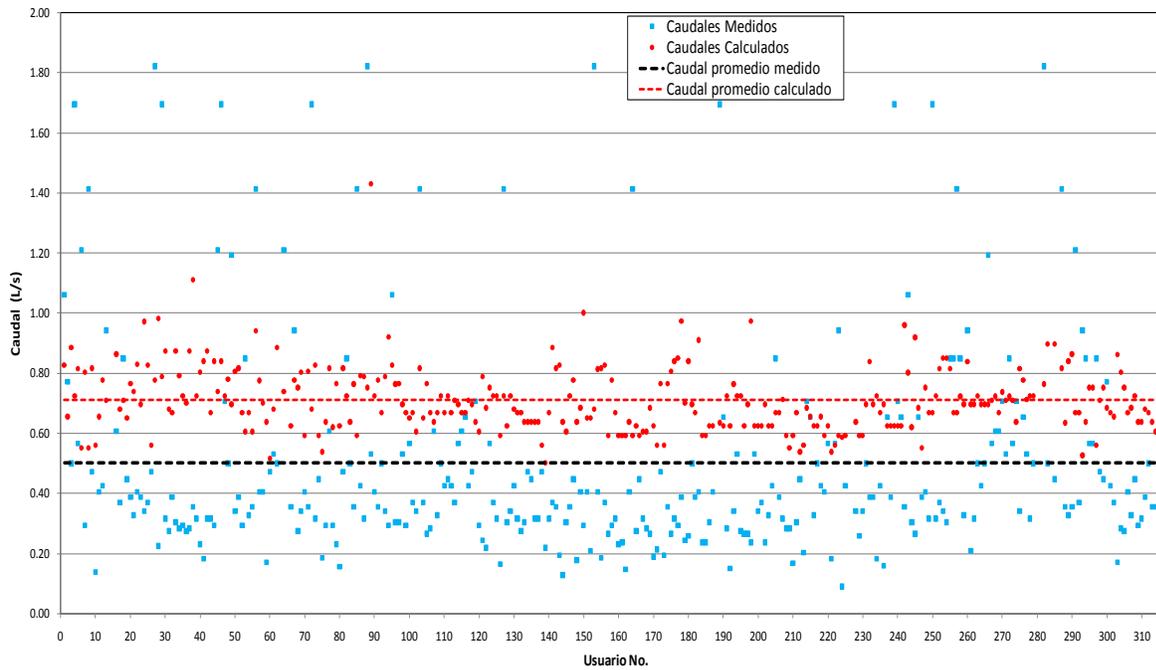


Figura 4-11: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Factor de Simultaneidad.

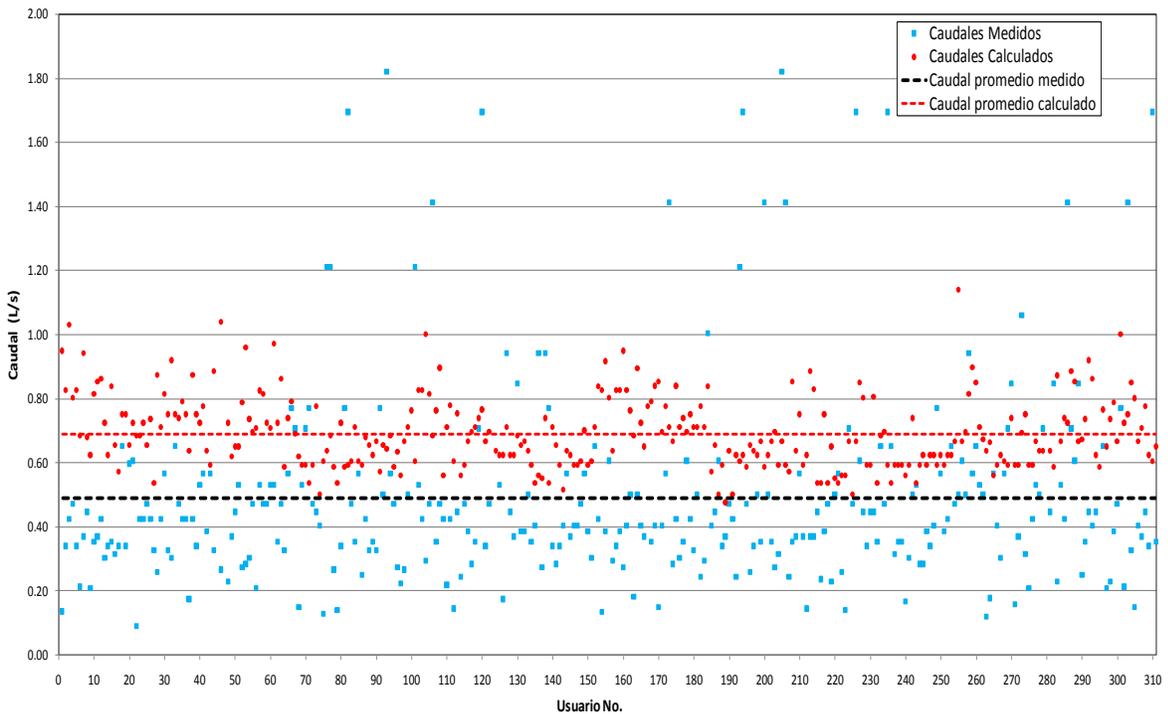
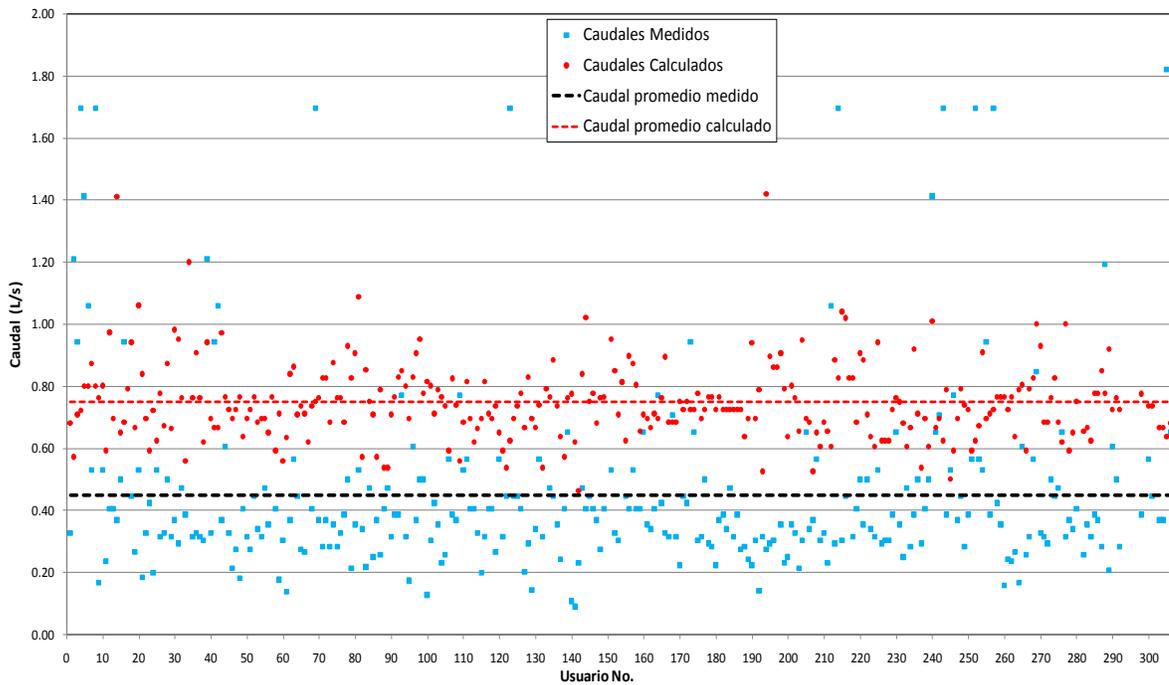


Figura 4-12: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Factor de Simultaneidad.



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio medido, mientras que los caudales medidos se encuentran la mayoría por debajo de este límite (excepto para la zona 2 donde el ligeramente un poco más del 50%), y el resto por encima, igualmente se observa una mayor mezcla y coincidencia en los datos de caudales medidos y calculados, lo que refleja una menor dispersión entre los datos calculados y los medidos, comparado con los dos métodos empleados anteriormente, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.3.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-17: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Factor de Simultaneidad vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	0.69	0.71	0.69	0.75
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.69-0.75 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método de Factor de Simultaneidad mayormente ligeramente el caudal de diseño (alrededor de 2 veces) comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran ligeramente sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.4 Método Racional o Español.

Este método, de manera análoga al método anterior, requiere inicialmente de la determinación del caudal máximo posible, considerando los caudales unitarios reportados en la tabla 1-11. Una vez determinado el caudal se halla el coeficiente de simultaneidad K_1 en funcional número de aparatos que se encuentran en una unidad de vivienda; posteriormente, si se trata de varias unidades habitacionales (por ejemplo conjunto de apartamentos), se halla el coeficiente K_2 y finalmente se procede a encontrar el caudal máximo probable como el producto de K_1 y K_2 (Cuando aplica) por el caudal máximo posible.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-18: Evaluación caudal máximo posible Método Racional o Español para edificación de ejemplo

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/m)	Caudal Total (l/m)
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	0.10	0.60
Sanitarios	3	0.10	0.30
Lavaderos	2	0.20	0.40
Duchas	3	0.20	0.60
Tinas	1	0.30	0.30
Lavadoras	3	0.20	0.60
<i>Caudal Máximo Posible (l/s)</i>			<i>2.80</i>

Teniendo en cuenta el la cantidad total de aparatos, correspondiente a 18, el coeficiente de simultaneidad K_1 se determina de la siguiente manera:

$$K_1 = \frac{1}{(n-1)} = \frac{1}{(18-1)} = 0.24$$

En vista que este valor de K_1 es mayor a 0.2, se procede a emplear el valor calculado, y se obvia el cálculo del Coeficiente K_2 puesto que se trata de viviendas unifamiliares. La determinación del caudal máximo probable “ Q_p ” se realiza como sigue:

$$Q_p = K_1 \cdot q_{m\acute{a}x} = 0.24 \cdot 2.80 \text{ L/s} = 0.68 \text{ L/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 0.68 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método del Factor de Simultaneidad permite calcular un caudal de diseño que mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 1.28 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.4.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 212 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (71.6% del total de la muestra), y 84 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (28.4% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 206 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (67.8% del total de la muestra), y 98 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (32.2% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 180 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (59.4% del total de la muestra), y 123 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (40.6% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 222 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (76.8% del total de la muestra), y 67 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (23.2% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 0.50 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-19: Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,90	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,2	0,12
Q. Promedio (l/s)	0,50	0,47
Q. Mediana (l/s)	0,49	0,37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.49 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-20: Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,96	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,4	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,49	0,50
Q. Mediana (l/s)	0,47	0,39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.47 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-21: Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,96	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,3	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,47	0,49
Q. Mediana (l/s)	0,46	0,42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 0.50 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-22: Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,98	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,3	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,50	0,45
Q. Mediana (l/s)	0,48	0,37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-13: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método Racional.

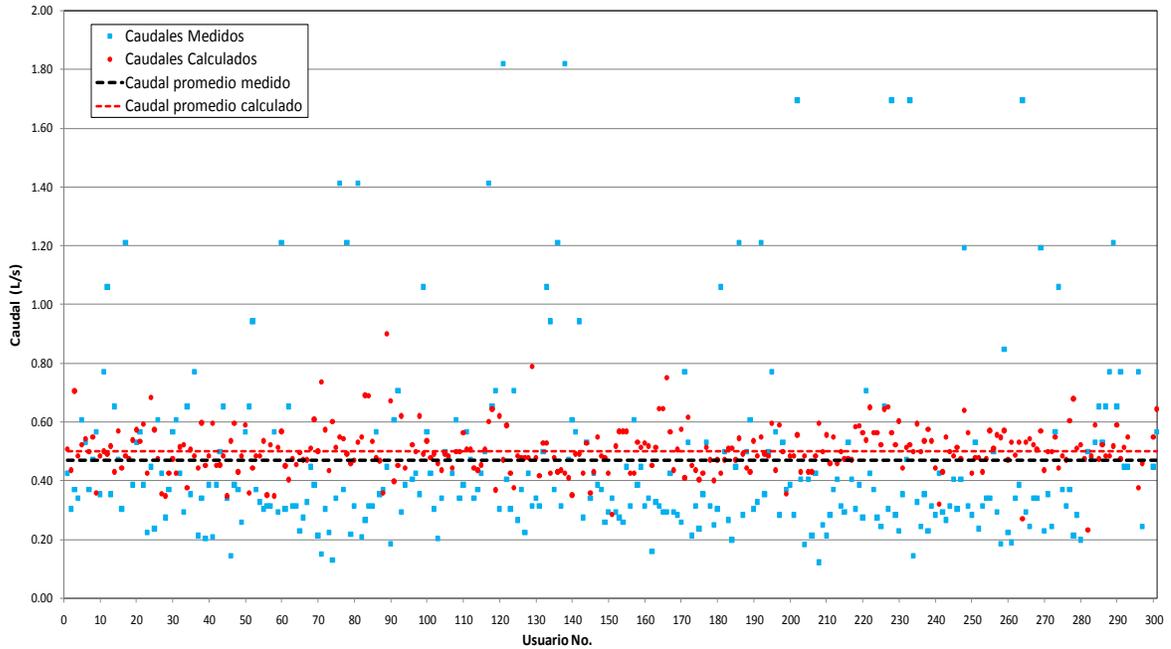


Figura 4-14: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método Racional.

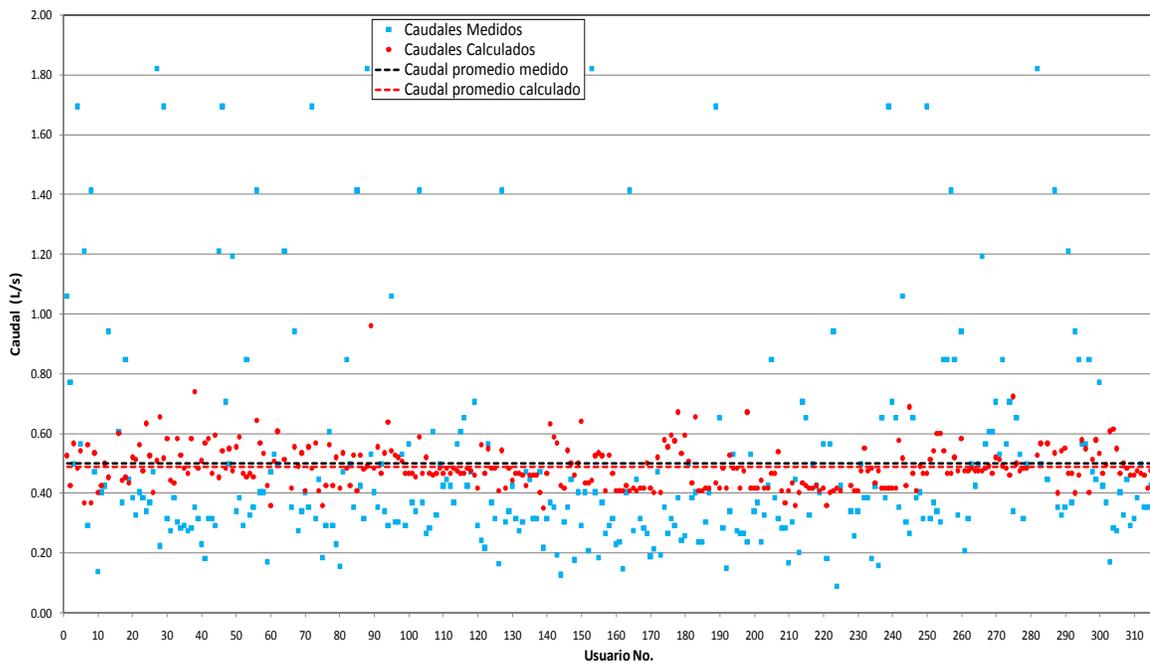


Figura 4-15: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método Racional.

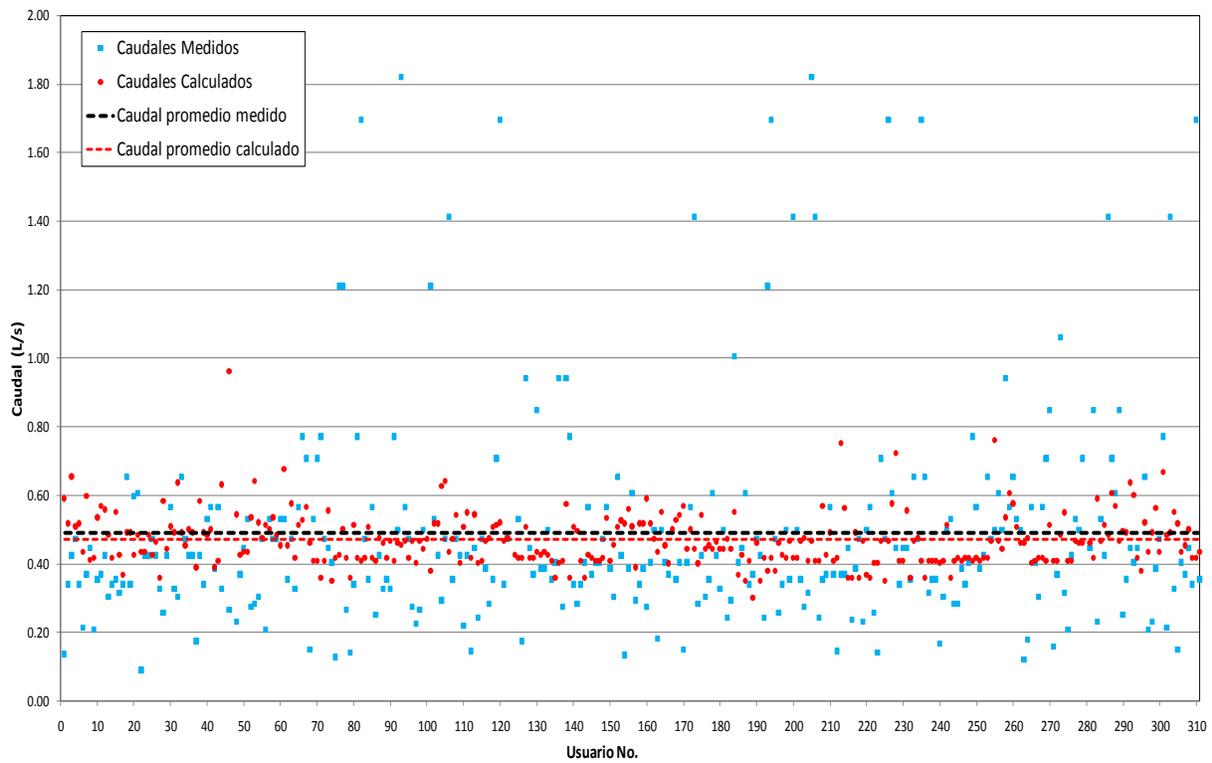
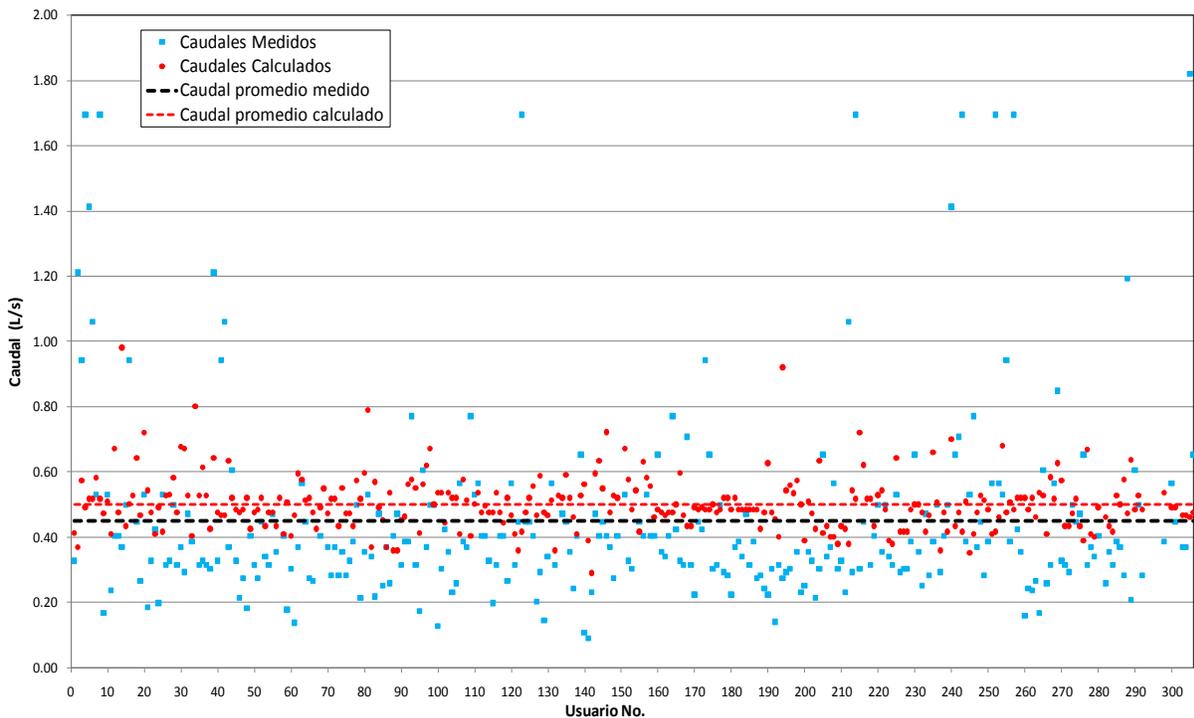


Figura 4-16: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método Racional.



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como los caudales calculados se encuentran repartidos por arriba y abajo de la línea de caudal promedio medido, muy cercana a esta, pudiendo constatar que la tendencia de los cálculos es acercarse a la media pero la mayoría por encima de esta, mientras que los caudales medidos se encuentran más del 50% por debajo de este límite, y el resto por encima, igualmente se observa una mayor mezcla y coincidencia en los datos de caudales medidos y calculados, lo que refleja una menor dispersión entre los datos calculados y los medidos, comparado con los tres métodos empleados anteriormente, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.4.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-23: Resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método Racional vs caudales máximos instantáneos medidos a usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	0.50	0.49	0.47	0.50
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 3 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.47-0.50 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método Racional mayormente ligeramente el caudal de diseño (alrededor de un 40% más) comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran ligeramente sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá, sin embargo, es importante destacar que el porcentaje de muestra cuyo valor calculado está por encima del medido es considerablemente menor al encontrado con los otros métodos (entre un 59% y un 78%), por lo cual la vulnerabilidad de un sistema diseñado con este método, a que el caudal que realmente discurra sea mayor al de diseño, es mayor a la tenida con los métodos anteriores.

4.5 Método de la Norma Española UNE 149201.

Este método, de manera análoga al método anterior, requiere inicialmente de la determinación del caudal máximo posible considerando los caudales unitarios reportados

en la tabla 1-12. Una vez determinado el caudal y en función al tipo de edificación se selecciona los coeficientes (a, b y c) de la tabla 1-13. Finalmente se procede a encontrar el caudal máximo probable con la expresión empírica propuesta por el método.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-24: Evaluación caudal máximo posible Método UNE 149201 para edificación de ejemplo

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/m)	Caudal Total (l/m)
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	0.05	0.30
Sanitarios	3	0.10	0.30
Lavaderos	2	0.20	0.40
Duchas	3	0.20	0.60
Tinas	1	0.30	0.30
Lavadoras	3	0.20	0.60
<i>Caudal Máximo Posible (l/s)</i>			2.50

Teniendo en cuenta que se trata de vivienda residencial, y que el caudal máximo posible de la edificación de ejemplo es menor a 20 L/s pero mayor a 1 L/s, de la tabla 1-13 se selecciona los coeficientes a, b y c los cuales se presentan a continuación.

$$a=1.7$$

$$b=0.21$$

$$c=-0.7$$

La determinación del caudal máximo probable “Qc” se realiza como sigue:

$$Q_c = a \cdot (Q_t)^b + c = 1.7 \cdot (2.5 \text{ L/s})^{0.21} + (-0.7) = 1.36 \text{ L/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 1.36 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método UNE 149201 permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 2.57 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.5.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 268 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (90.5% del total de la muestra), y 28 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (9.5% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 276 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (90.8% del total de la muestra), y 28 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (9.2% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 279 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (92.1% del total de la muestra), y 24 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (7.9% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 276 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (95.5% del total de la muestra), y 13 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (4.5% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 1.06 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-25: Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.55	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.12
Q. Promedio (l/s)	1.06	0.47
Q. Mediana (l/s)	1.10	0.37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 1.07 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-26: Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.57	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.6	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.07	0.50
Q. Mediana (l/s)	1.08	0.39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 1.02 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-27: Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.57	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.02	0.49
Q. Mediana (l/s)	1.05	0.42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 1.09 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-28: Resumen de caudales calculados por el Método UNE 149201 vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.59	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.09	0.45
Q. Mediana (l/s)	1.10	0.37

A continuación se presenta una serie de graficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, e igualmente una gráfica de dispersión del factor de mayoración, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-17: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método UNE 149201.

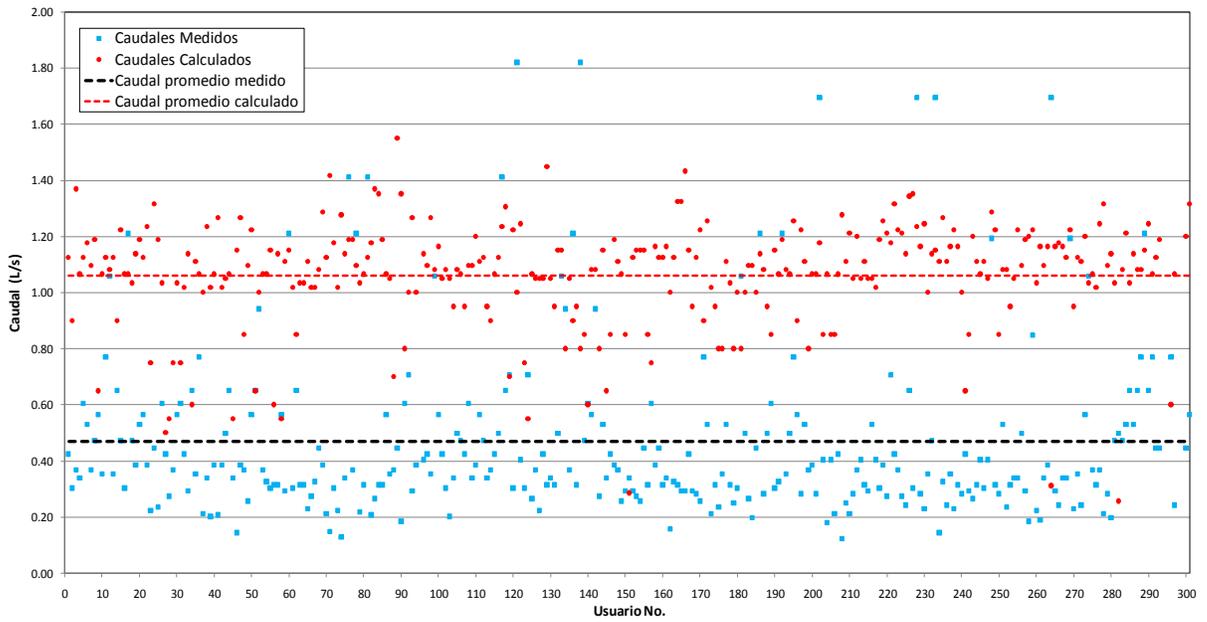


Figura 4-18: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método UNE 149201.

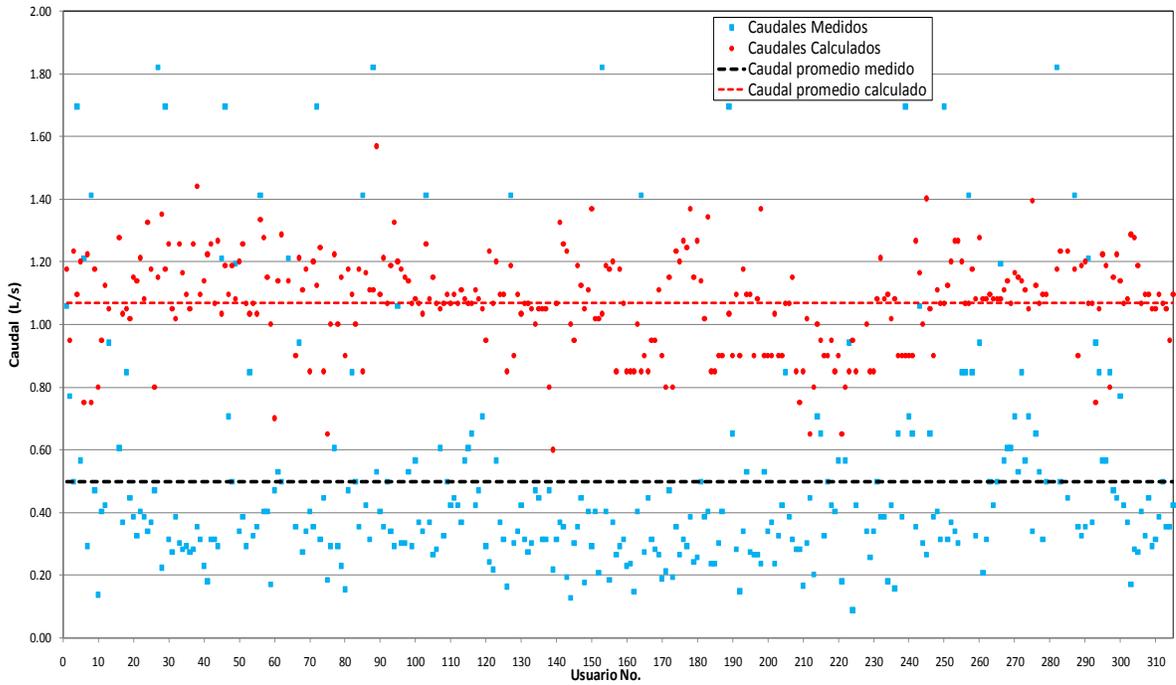


Figura 4-19: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método UNE 149201.

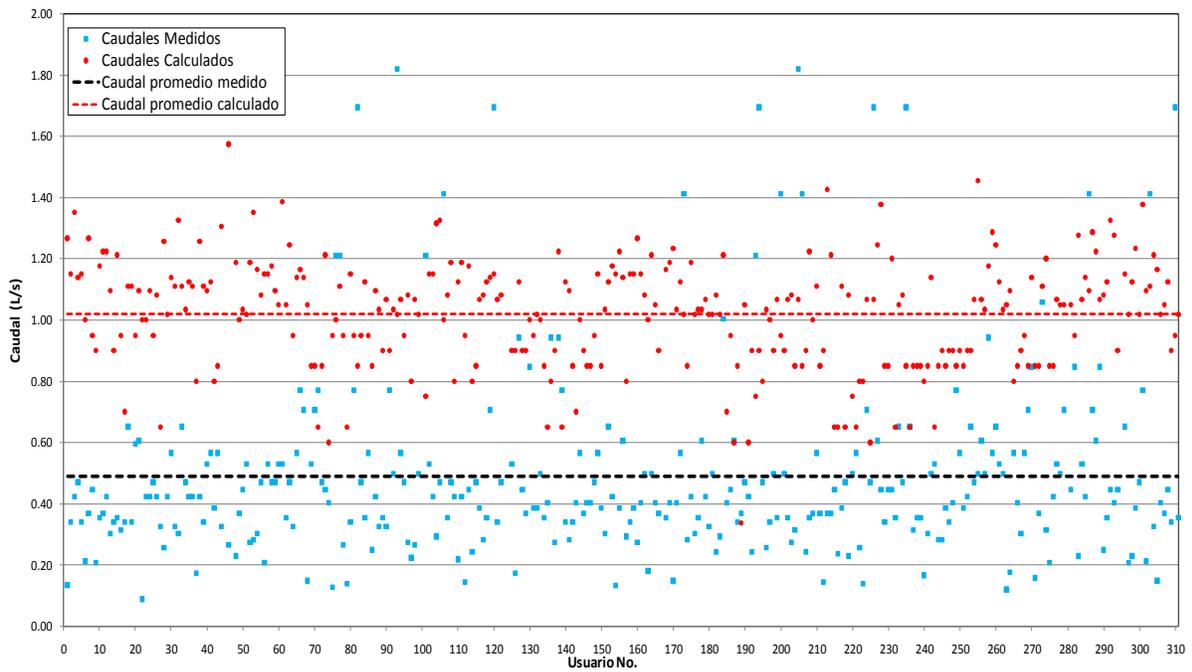
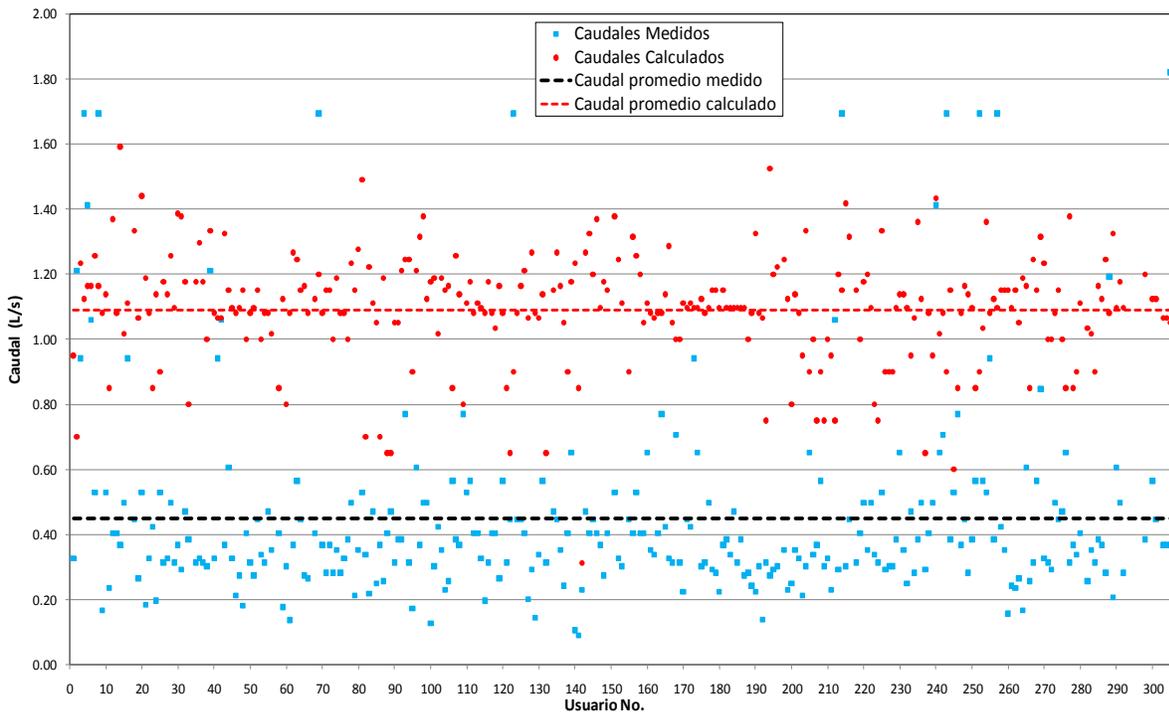


Figura 4-20: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método UNE 149201.



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio, mientras que la gran mayoría de caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa perfectamente una diferenciación en la ubicación de estos caudales, lo que refleja una gran dispersión entre los datos calculados y los medidos, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.5.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-29: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método UNE 149201 vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	1.06	1.07	1.02	1.09
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 1.02-1.09 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método de la Norma Española UNE 149201, mayormente considerablemente el caudal de diseño comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.6 Método de Hunter.

Este método, como se mencionó anteriormente, se basa en la determinación de las unidades sanitarias totales de la edificación, las cuales a su vez se definen en función al tipo de aparato, conforme los aparatos y unidades reportadas en la tabla 1-14. Una vez determinado las unidades sanitarias totales se procede a entrar en la Figura 1-5 de la Curva de Hunter, o en la tabla de relación de caudal con las unidades sanitarias⁴⁴, y se

⁴⁴Tabla 7.3. Granados, Jorge. Redes Hidráulicas y Sanitarias en Edificios. Editorial UNIBIBLOS. Bogotá. 2002.

determina el caudal de diseño respectivo. Como se mencionó en la explicación del método, también existe la posibilidad de emplear ecuaciones de correlación, las cuales dan resultados de caudales muy similares a los obtenidos con las tablas y la curva, con diferencias entre el 1%-5%.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-30: Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter para edificación de ejemplo

Aparato	Cantidad	Unidades Sanitarias	Unidades Sanitarias Totales
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	1	6
Sanitarios	3	3	9
Lavaderos	2	3	6
Duchas	3	2	6
Tinas	1	2	2
Lavadoras	3	3	9
<i>Total Unidades sanitarias</i>			38
<i>Caudal Máximo Posible (l/s) - de la curva y la tabla respectiva</i>			1.49

La determinación del caudal máximo probable “Qp”, obtenida de la tabla de relación de caudales y unidades sanitarias, para la edificación del ejemplo arrojó un valor de caudal de 1.49 L/s.

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 1.49 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método de Hunter permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 2.8 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.6.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 261 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (88.2% del total de la muestra), y 35 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (11.8% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 273 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (89.8% del total de la muestra), y 31

usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (10.2% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 271 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (89.4% del total de la muestra), y 32 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (10.6% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 271 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (93.8% del total de la muestra), y 18 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (6.2% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 1.00 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-31: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.12	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.12
Q. Promedio (l/s)	1.00	0.47
Q. Mediana (l/s)	0.98	0.37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.98 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-32: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.21	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.5	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.98	0.50
Q. Mediana (l/s)	0.95	0.39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.91 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-33: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.85	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.91	0.49
Q. Mediana (l/s)	0.85	0.42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 1.04 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-34: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	2.28	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	1.04	0.45
Q. Mediana (l/s)	0.98	0.37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

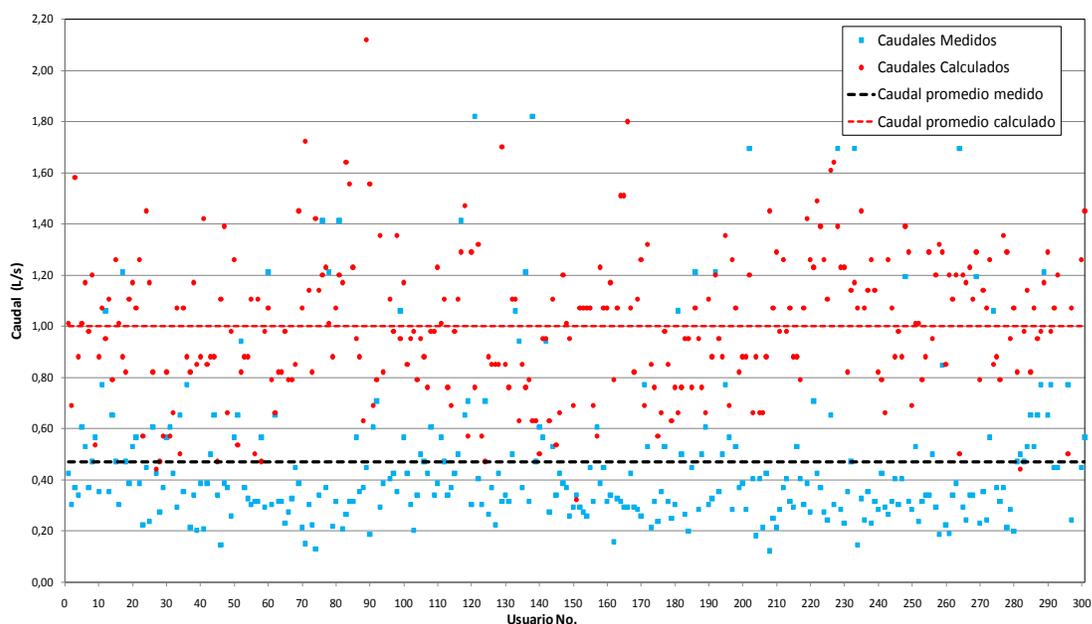
Figura 4-21: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter.

Figura 4-22: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter.

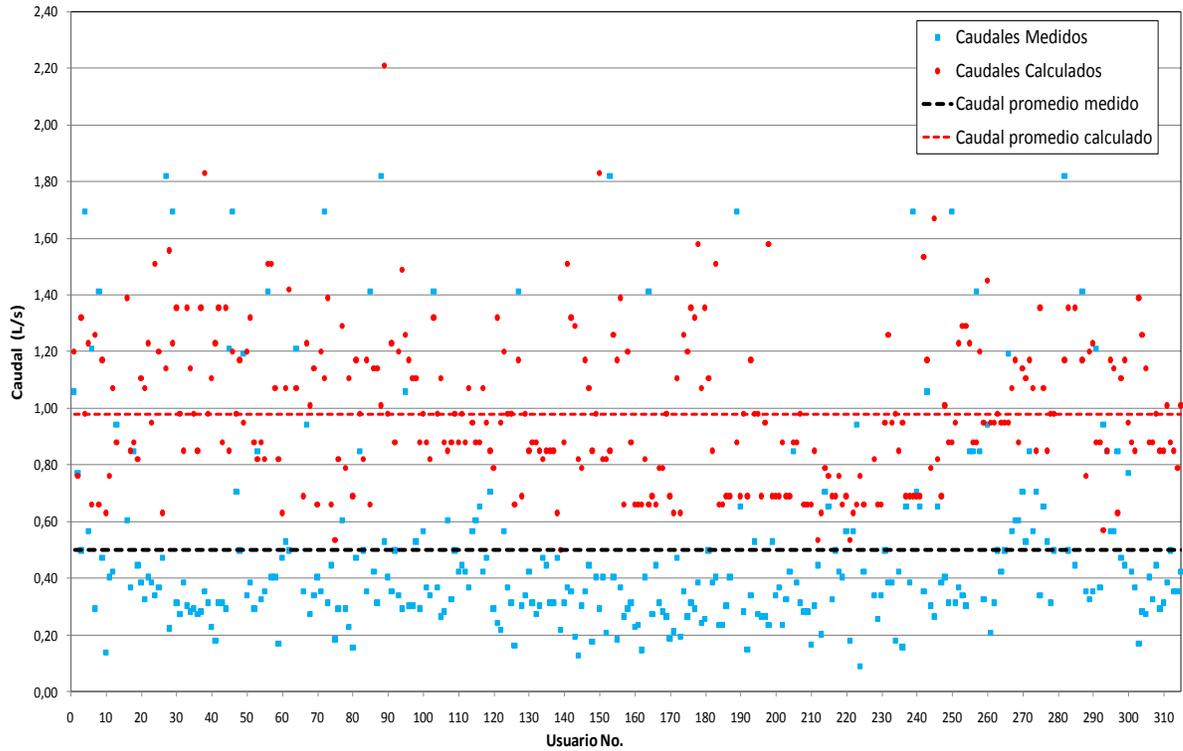


Figura 4-23: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter.

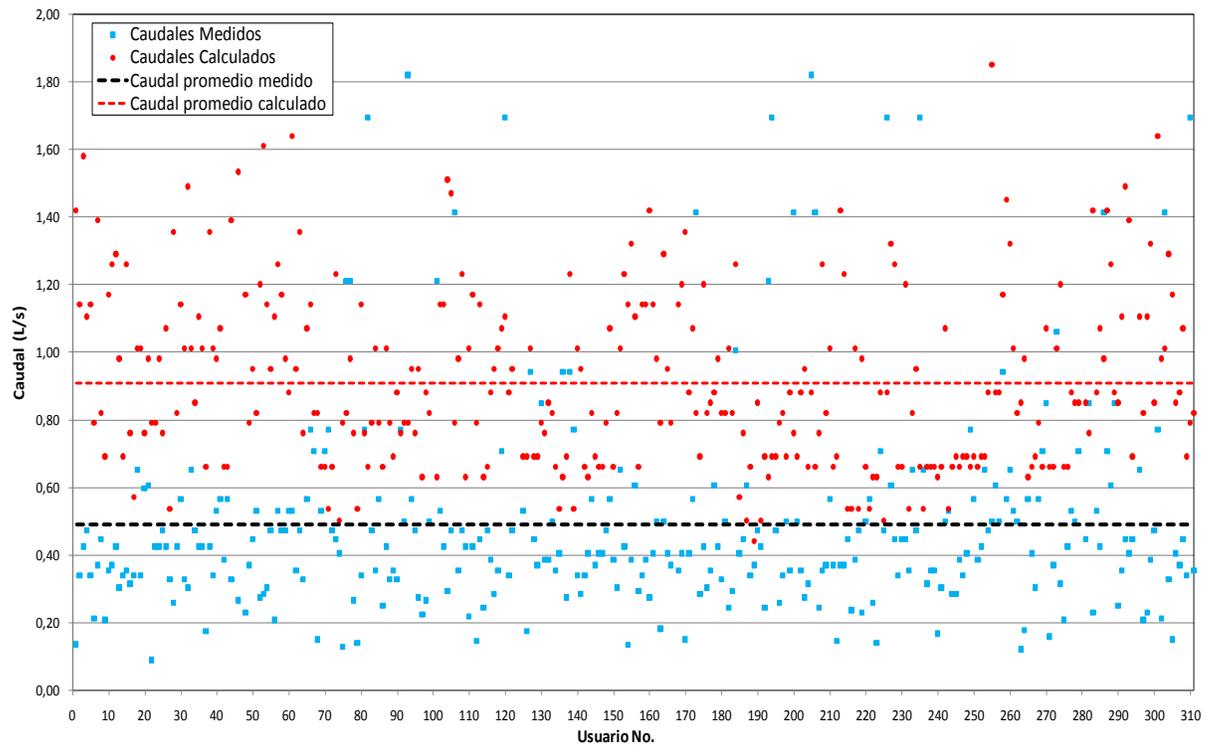
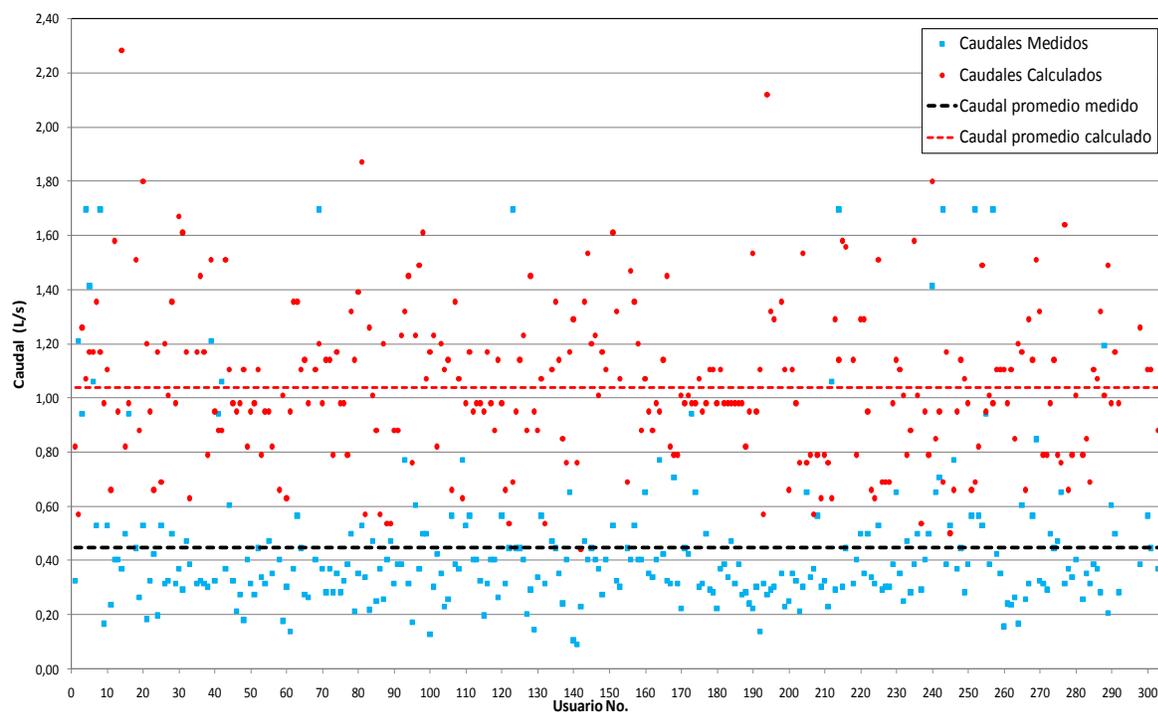


Figura 4-24: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter.

Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio, mientras que la gran mayoría de caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa perfectamente una diferenciación en la ubicación de estos caudales, lo que refleja una gran dispersión entre los datos calculados y los medidos.

4.6.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-35: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	1.00	0.98	0.91	1.04
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.91-1.04 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, lo cual permite determinar que el método de Hunter, mayora el caudal de diseño, comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.7 Método de Hunter modificado para Colombia (NTC 1500).

Este método, igual al anterior, se basa en la determinación de las unidades sanitarias totales de la edificación, las cuales a su vez se definen en función al tipo de aparato, conforme los aparatos y unidades reportadas en la tabla 1-14. La diferencia de este método con el de Hunter original ocurre en la lectura del caudal máximo probable, que se obtiene de la Figura 9. Curva de demanda; de la Norma ICONTEC 1500 “Código Colombiano de Fontanería”; en la cual se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usa el método original. Dicha curva corresponde a la presentada en las figuras 1-6 y 1-7.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-36: Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter (NTC 1500), para edificación de ejemplo⁴⁵

Aparato	Cantidad	Unidades Sanitarias	Unidades Sanitarias Totales
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	1	6
Sanitarios	3	3	9
Lavaderos	2	3	6
Duchas	3	2	6
Tinas	1	2	2
Lavadoras	3	3	9
<i>Total Unidades sanitarias</i>			38
<i>Caudal Máximo Posible (l/s) - de la curva respectiva (ver Figura 1-7)</i>			0.99

⁴⁵ Castro Ladino, Nelson Yovani. Garzón Garzón, Jorge Enrique. Tesis de Pregrado “EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES INSTANTÁNEOS EN EDIFICIOS DE DIFERENTE TIPO”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá. 2004.

La determinación del caudal máximo probable “Qp”, obtenida de la Figura 1-7, que relaciona el caudal con las unidades sanitarias, para la edificación del ejemplo arrojó un valor de caudal de 0.99 L/s.

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 0.99 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método de Hunter para Colombia de la Norma NTC 1500 permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 1.87 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.7.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter para Colombia(NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 241 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (81.4% del total de la muestra), y 55 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (18.6% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 241 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (79.3% del total de la muestra), y 63 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (20.7% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 243 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (80.2% del total de la muestra), y 60 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (19.8% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 252 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (87.2% del total de la muestra), y 37 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (12.8% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 0.68 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-37: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter(NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.41	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.12
Q. Promedio (l/s)	0.68	0.47
Q. Mediana (l/s)	0.67	0.37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.68 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-38: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.47	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.68	0.50
Q. Mediana (l/s)	0.65	0.39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.63 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-39: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.24	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.63	0.49
Q. Mediana (l/s)	0.60	0.42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 0.71 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-40: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter (NTC 1500) vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.54	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.71	0.45
Q. Mediana (l/s)	0.67	0.37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-25: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter(NTC 1500).

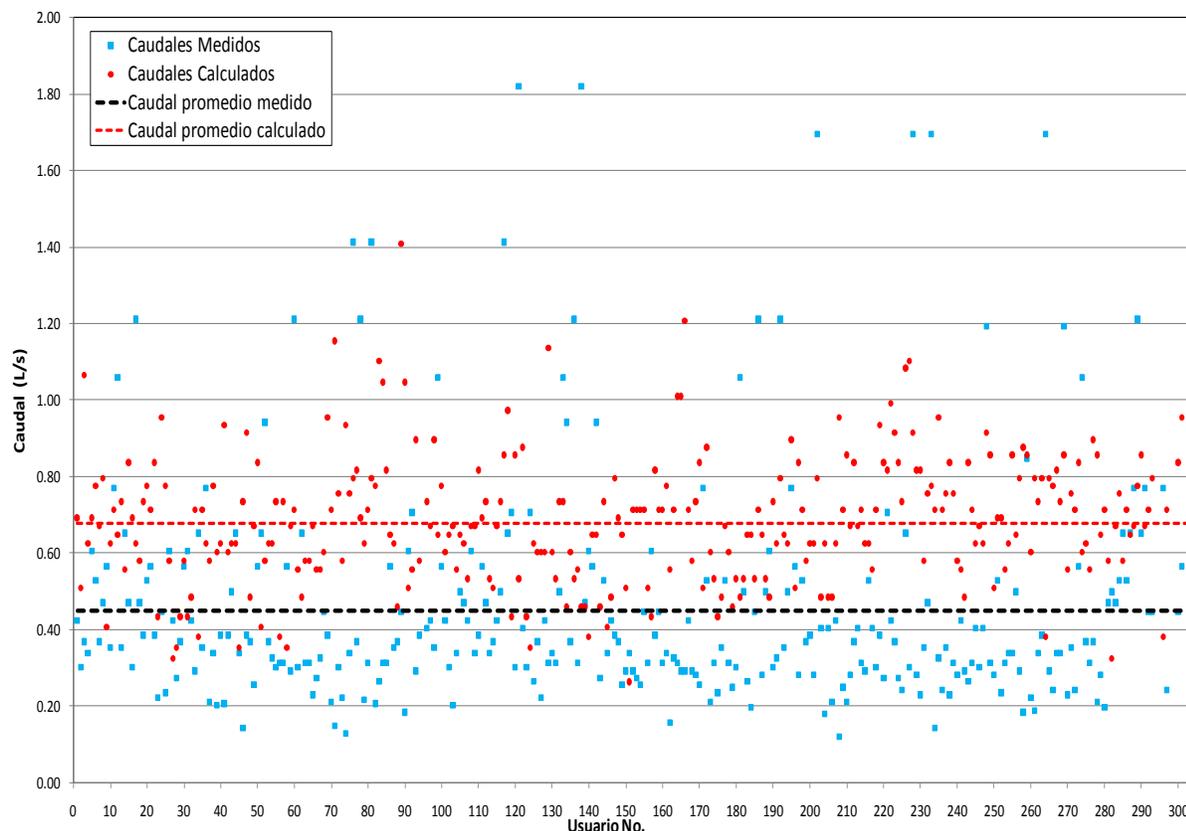


Figura 4-26: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter (NTC 1500).

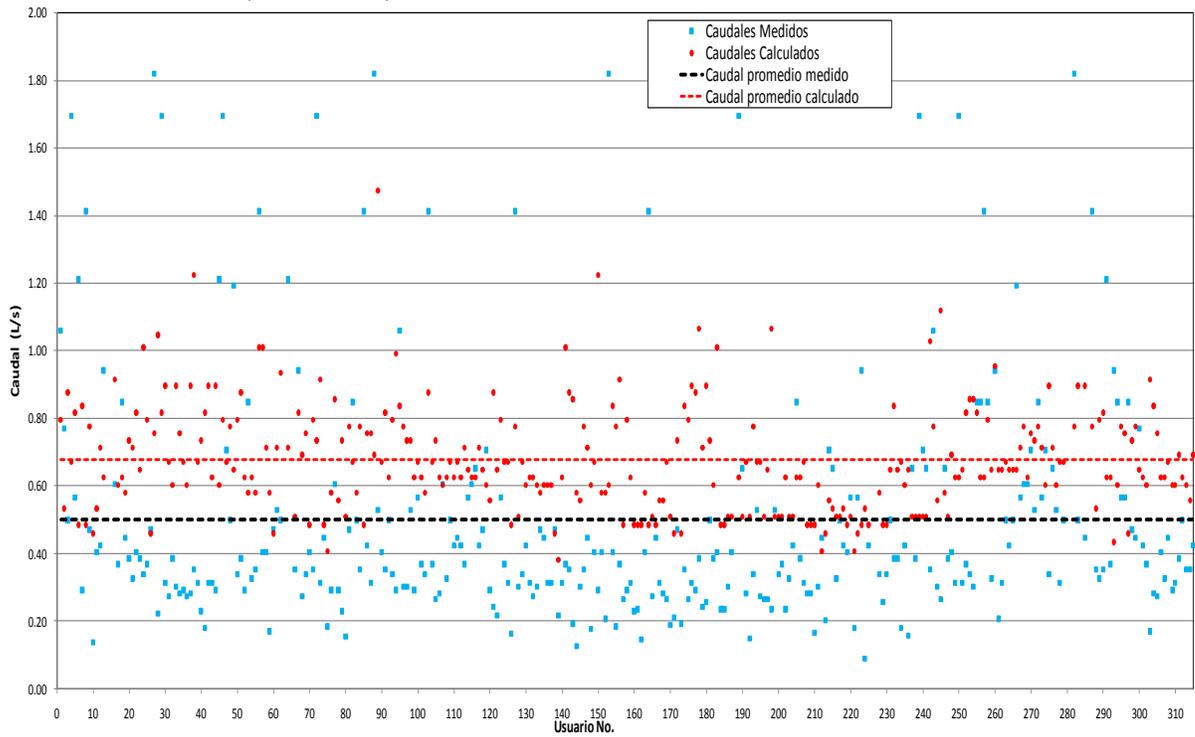


Figura 4-27: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter (NTC 1500).

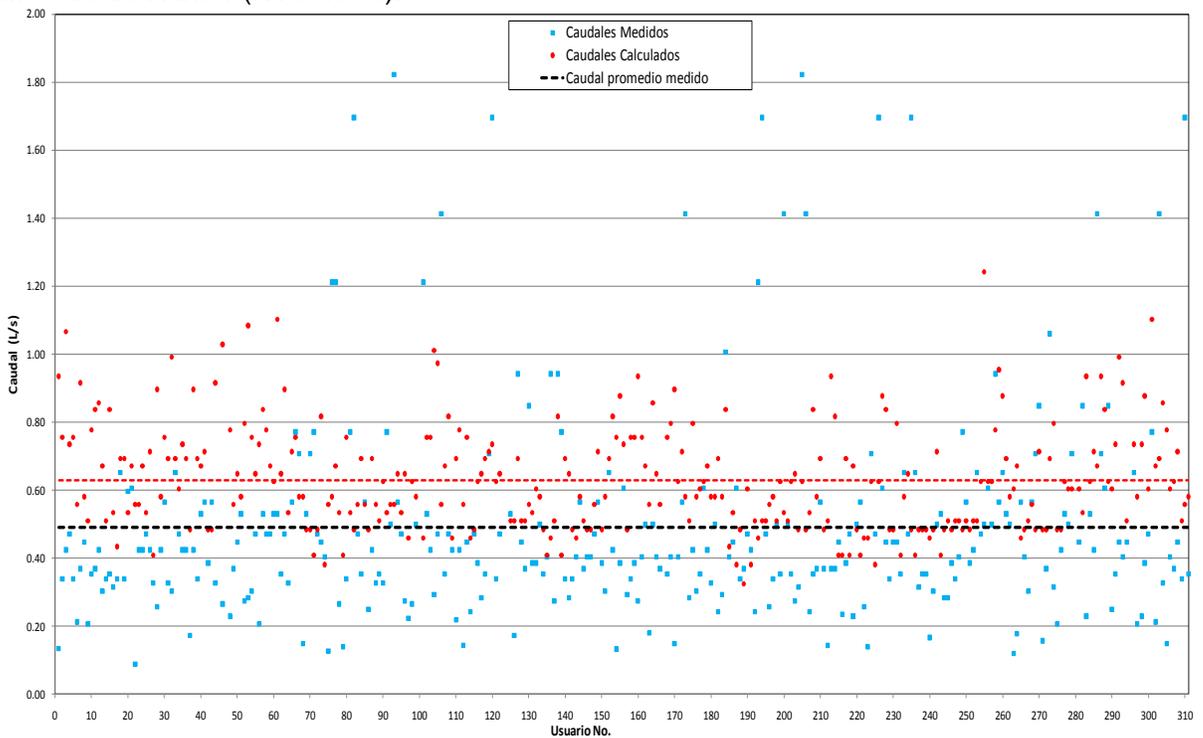
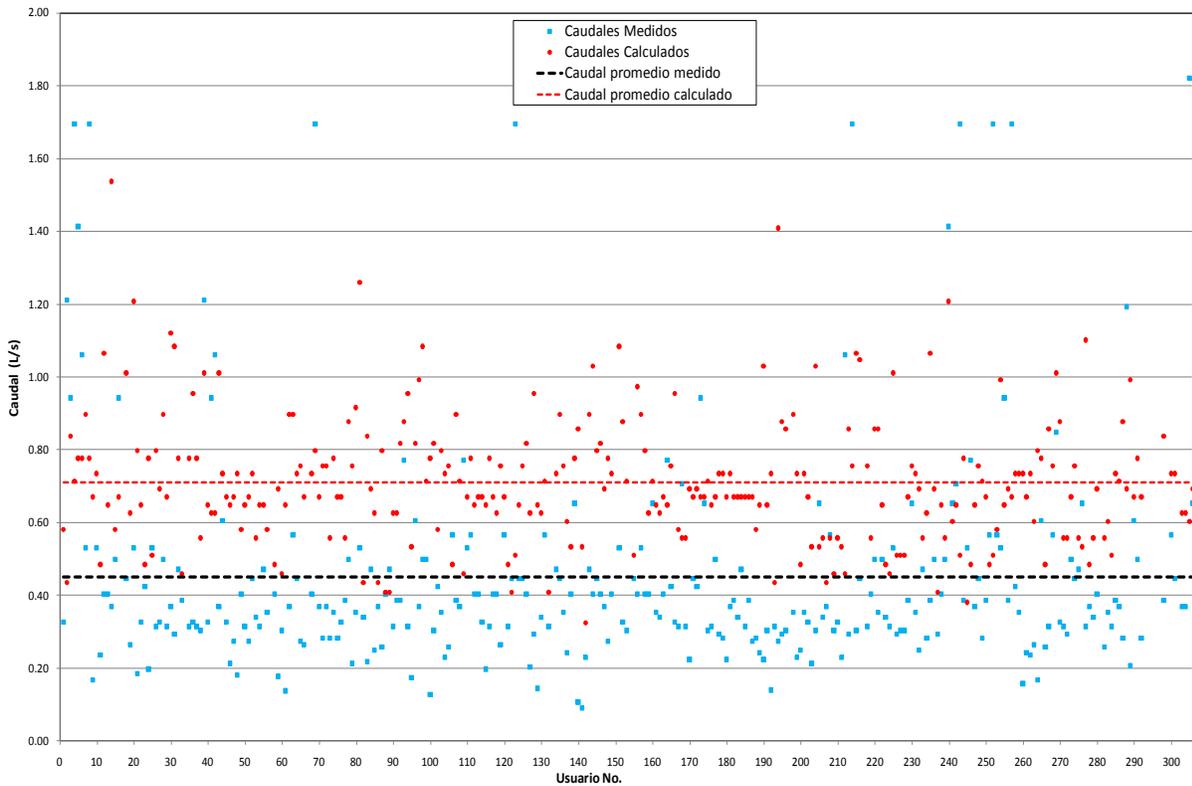


Figura 4-28: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter (NTC 1500).



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio, mientras que una buena parte de los caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa una diferenciación el ubicación de estos caudales, lo que refleja una considerable dispersión entre los datos calculados y los medidos, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.7.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter(NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-41: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter(NTC 1500) vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	0.68	0.68	0.63	0.71
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.68-0.71 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, siendo los caudales promedio calculados ligeramente mayores a los promedio medidos, lo cual permite determinar que el método de Hunter modificado para Colombia, empleado por la Norma NTC 1500 “Código Colombiano de Fontanería”, analizado a la luz de los resultados promedios, mayor a la caudal de diseño alrededor de un 68-100% más, comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.8 Método de Hunter Unal.

Este método, igual a los dos anteriores, se basa en la determinación de las unidades sanitarias totales de la edificación, las cuales a su vez se definen en función al tipo de aparato, conforme los aparatos y unidades reportadas en la tabla 1-14. La diferencia de este método con el de Hunter original y Hunter NTC 1500 ocurre en la lectura del caudal máximo probable, que se obtiene de las Figuras 1-8 y 1-9, o de la tabla 1-15; en la cual se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usa el método original y el de la NTC 1500, basados en estudios previos realizados en edificaciones de diferente tipo^{46,47}.

De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

⁴⁶ Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

⁴⁷ Castro Ladino, Nelson Yovani. Garzón Garzón, Jorge Enrique. Tesis de Pregrado “EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES INSTANTÁNEOS EN EDIFICIOS DE DIFERENTE TIPO”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá. 2004.

Tabla 4-42: Evaluación caudal máximo posible Método de Hunter Unal, para edificación de ejemplo.

Aparato	Cantidad	Unidades Sanitarias	Unidades Sanitarias Totales
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	1	6
Sanitarios	3	3	9
Lavaderos	2	3	6
Duchas	3	2	6
Tinas	1	2	2
Lavadoras	3	3	9
<i>Total Unidades sanitarias</i>			38
<i>Caudal Máximo Posible (l/s) - de la curva y la tabla respectiva (ver anexos referencia relacionada)</i>			0.52

La determinación del caudal máximo probable “Qp”, obtenida de la tabla de relación de caudales y unidades sanitarias, para la edificación del ejemplo arrojó un valor de caudal de 0.52 L/s.

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 0.52 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método de Hunter Unal permite calcular un caudal de diseño que es ligeramente menor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.8.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 156 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (52.7% del total de la muestra), y 140 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (47.3% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 151 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (49.7% del total de la muestra), y 153 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (50.3% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 119 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (39.3% del total de la muestra), y 184 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (60.7% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 162 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (56.1% del total de la muestra), y 127 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (43.9% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 0.39 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-43: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,70	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,2	0,12
Q. Promedio (l/s)	0,39	0,47
Q. Mediana (l/s)	0,39	0,37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.39 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-44: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,73	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,3	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,39	0,50
Q. Mediana (l/s)	0,38	0,39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.37 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-45: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,63	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,3	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,37	0,49
Q. Mediana (l/s)	0,36	0,42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 0.40 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-46: Resumen de caudales calculados por el Método de Hunter Unal vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	0,76	1,82
Q. Mínimo (l/s)	0,3	0,09
Q. Promedio (l/s)	0,40	0,45
Q. Mediana (l/s)	0,39	0,37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-29: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método de Hunter Unal.

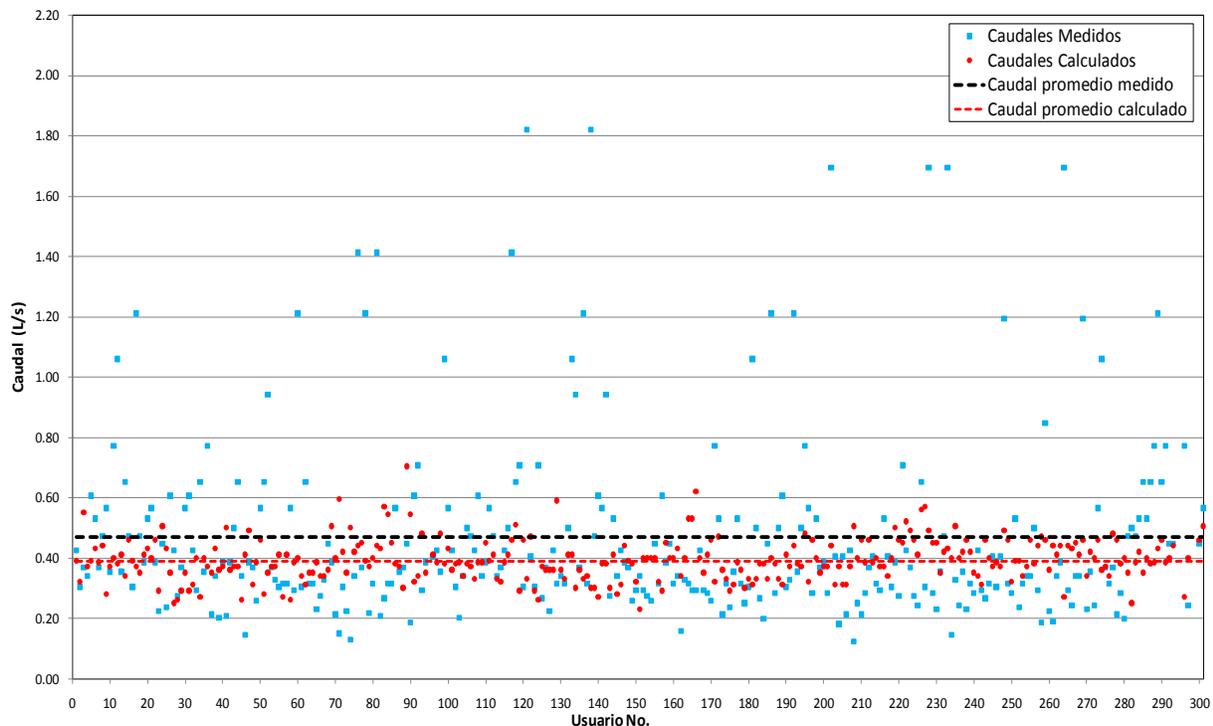


Figura 4-30: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método de Hunter Unal.

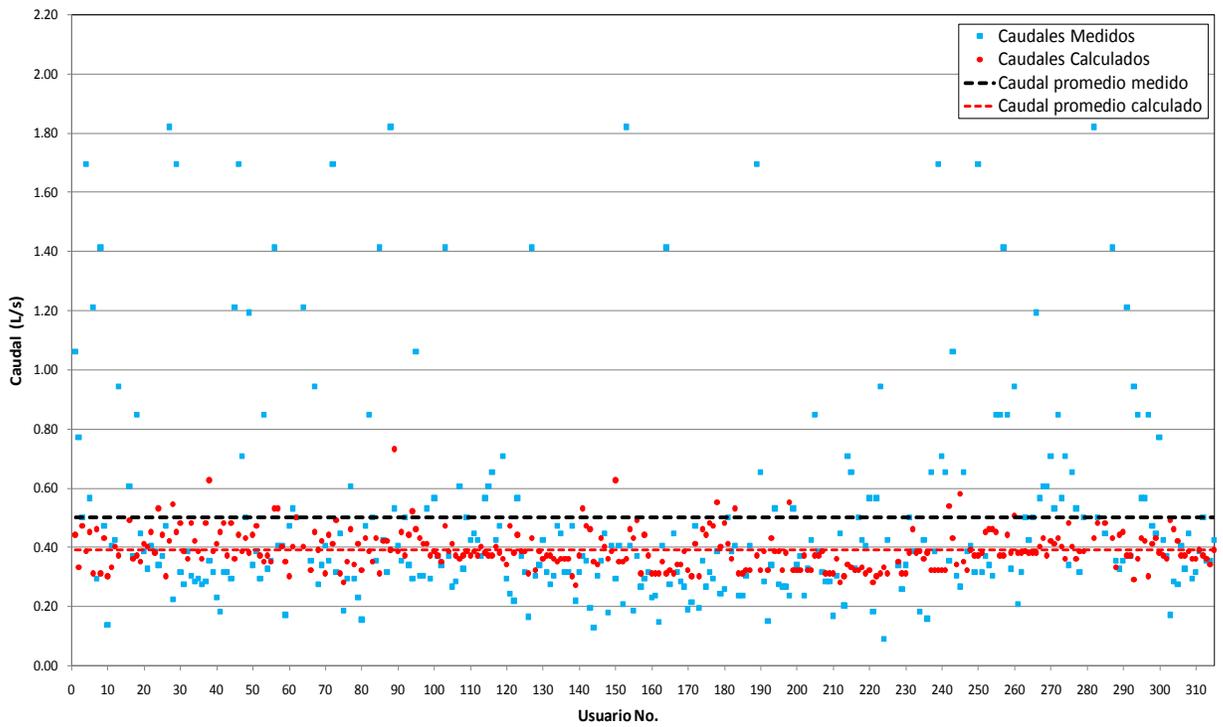


Figura 4-31: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método de Hunter Unal.

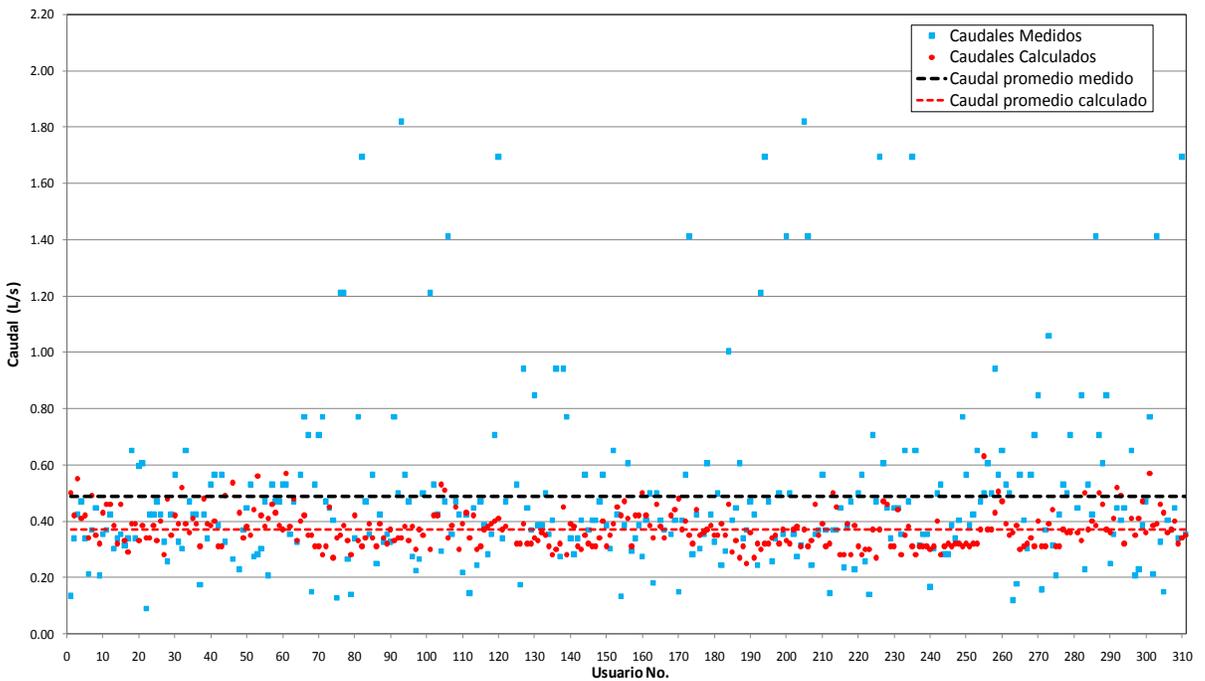
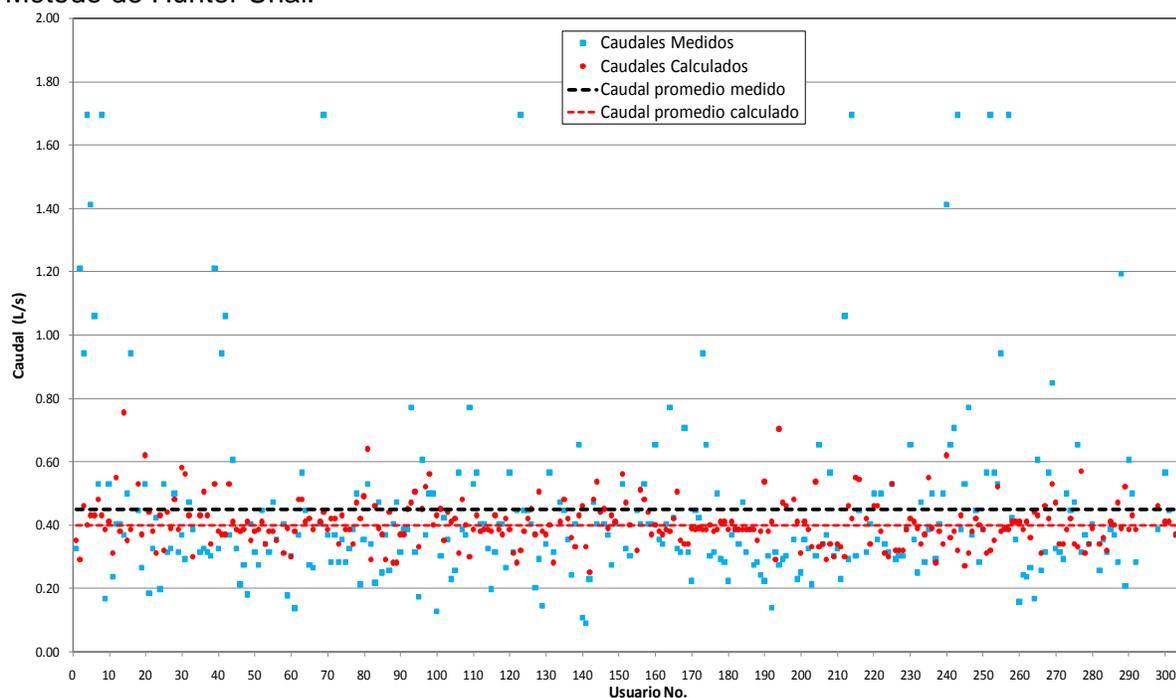


Figura 4-32: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método de Hunter Unal.

Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por debajo de la línea de caudal promedio, mientras los caudales medidos se encuentran aproximadamente en igual porcentaje tanto por encima como por debajo de este límite, y se observa como los caudales calculados y medidos se encuentran mezclados, lo que refleja una poca dispersión entre los datos calculados y los medidos, aun cuando los caudales medidos si presentan gran dispersión para los diferentes usuarios. Igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.8.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-47: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método de Hunter Unal vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	0.39	0.39	0.37	0.40
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.37-0.40 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, siendo los caudales promedio calculados menores a los promedio medidos, lo cual permite determinar que el método de Hunter Unal, analizado a la luz de los resultados promedios, mayor el caudal de diseño alrededor de un 10-15% más, comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran ligeramente sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá. Sin embargo, en función a los porcentajes de usuarios cuyos caudales calculados están por encima y por debajo de los reales, se puede determinar que el empleo de este método genera una gran vulnerabilidad de las edificaciones y sus redes internas a ser subdimensionadas puesto que apenas un poco más del 50% de los usuarios evaluados cuentan con caudales calculados mayores a los reales, esto se puede deber adicionalmente a la alta variabilidad y dispersión de los caudales reales demandados por la población.

4.9 Método del Reglamento RIDDA Chileno.

Este método se basa en la determinación de los gastos o caudales de cada uno de los aparatos instalados, conforme los aparatos y gastos reportados en la tabla 1-15. De esta manera, para la edificación de ejemplo se tiene:

Tabla 4-48: Evaluación caudal máximo posible Método del Reglamento RIDDA Chileno, para edificación de ejemplo^{48,49}

Aparato	Cantidad	Gasto Unitario (L/m)	Gasto Total (L/m)
Grifos (llaves de lavamanos y de manguera)	6	8	48
Sanitarios	3	10	30
Lavaderos	2	15	30
Duchas	3	10	30
Tinas	1	15	15
Lavadoras	3	15	45
<i>Total Caudal Máximo Posible (l/m)</i>			198
<i>Total Caudal Máximo Posible (l/s)</i>			3.3

El gasto máximo probable (QMP) en L/min, se calcula a partir del gasto instalado o Caudal Máximo Posible (Denominado Q_i) mediante la siguiente fórmula:

⁴⁸ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDDA). Santiago de Chile. Enero 28 de 2003.

⁴⁹ Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. Pancorbo Floristán. Barcelona. Abril de 2001.

$$Q. M. P = 1.7391 \cdot QI^{0.6891} = 1.7391 \cdot (198 \text{ l/m})^{0.6891} = 66.52 \text{ l/m} = 1.11 \text{ l/s}$$

La determinación del caudal máximo probable, obtenida de la ecuación anterior, para la edificación del ejemplo, arrojó un valor de caudal de 1.11 L/s.

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 0.53 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 1.11 L/s, se observa que para este usuario en particular, el método del Reglamento RIDDA Chileno permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 2.0 veces en caudal medido.

De igual manera se procedió para la totalidad de usuarios de cada zona obteniendo los siguientes resultados.

4.9.1 Análisis caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Para la zona 2 y este método de cálculo se contó con un total de 296 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 301 usuarios evaluados, de los cuales 247 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (83.4% del total de la muestra), y 49 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (16.6% del total de la muestra).

Para la zona 3 se contó con un total de 304 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 315 usuarios evaluados, de los cuales 252 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (82.9% del total de la muestra), y 52 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (17.1% del total de la muestra).

Para la zona 4 se contó con un total de 303 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 311 usuarios evaluados, de los cuales 258 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (85.1% del total de la muestra), y 45 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (14.9% del total de la muestra).

Para la zona 5 se contó con un total de 289 usuarios con datos de caudal máximo instantáneo validos de los 306 usuarios evaluados, de los cuales 259 presentaron un caudal calculado superior con respecto al medido (89.6% del total de la muestra), y 30 usuarios cuyo caudal calculado es menor al medido en campo (10.4% del total de la muestra).

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 2 corresponden a 0.76 l/s y 0.47 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Los caudales calculados y medidos para cada uno de los usuarios de la zona 2 a 5 se pueden consultar en el anexo 2 “Resultados de la aplicación de los métodos de cálculo de Caudales Máximos Probables en las edificaciones objeto de estudio, Zonas 2 a 5”.

Tabla 4-49: Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 2

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.53	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.3	0.12
Q. Promedio (l/s)	0.76	0.47
Q. Mediana (l/s)	0.74	0.37

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 3 corresponden a 0.77 l/s y 0.50 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-50: Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 3

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.66	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.77	0.50
Q. Mediana (l/s)	0.74	0.39

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 4 corresponden a 0.73 l/s y 0.49 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-51: Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 4

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.41	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.73	0.49
Q. Mediana (l/s)	0.70	0.42

Los caudales promedios calculado y medido para la zona 5 corresponden a 0.81 l/s y 0.45 l/s respectivamente; los caudales máximos y mínimos, así como los caudales promedio determinados como la Mediana se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 4-52: Resumen de caudales calculados por el Método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales medidos usuarios Zona 5

	Calculado	Medido
Q. Máximo (l/s)	1.66	1.82
Q. Mínimo (l/s)	0.4	0.09
Q. Promedio (l/s)	0.81	0.45
Q. Mediana (l/s)	0.78	0.37

A continuación se presenta una serie de gráficas de dispersión para los caudales medidos y calculados en función al caudal promedio, elaborados para la totalidad de usuarios de las zonas 2 a 5.

Figura 4-33: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 2- Método del Reglamento RIDDA Chileno.

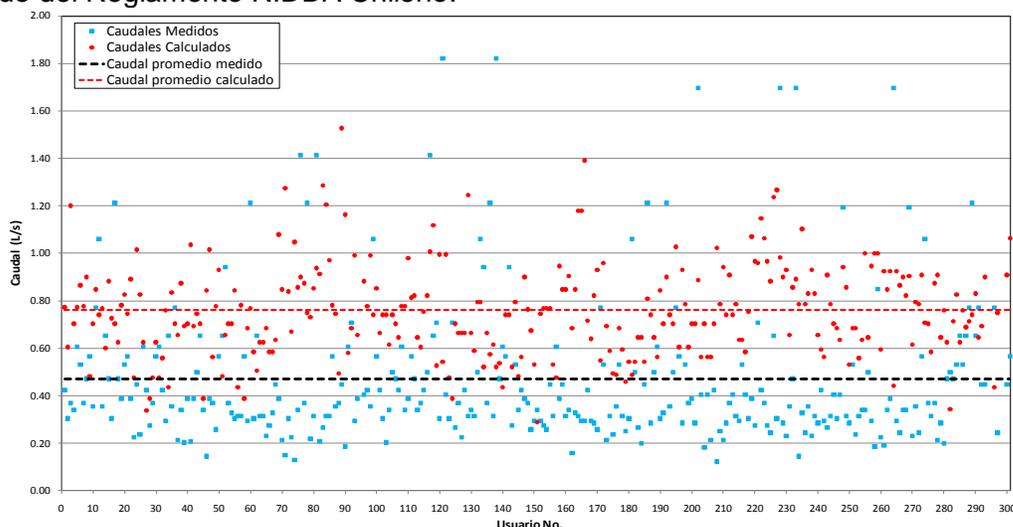


Figura 4-34: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 3- Método del Reglamento RIDDA Chileno.

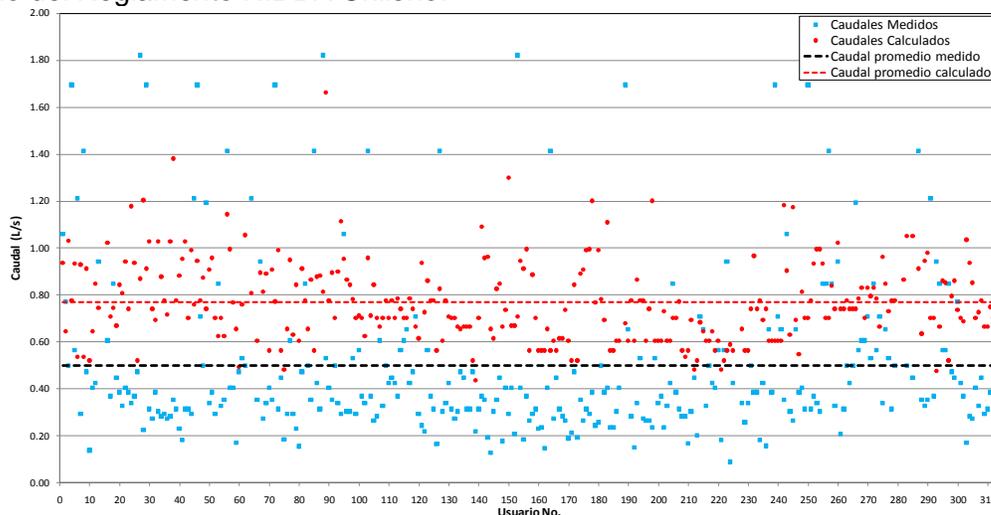


Figura 4-35: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 4- Método del Reglamento RIDDA Chileno.

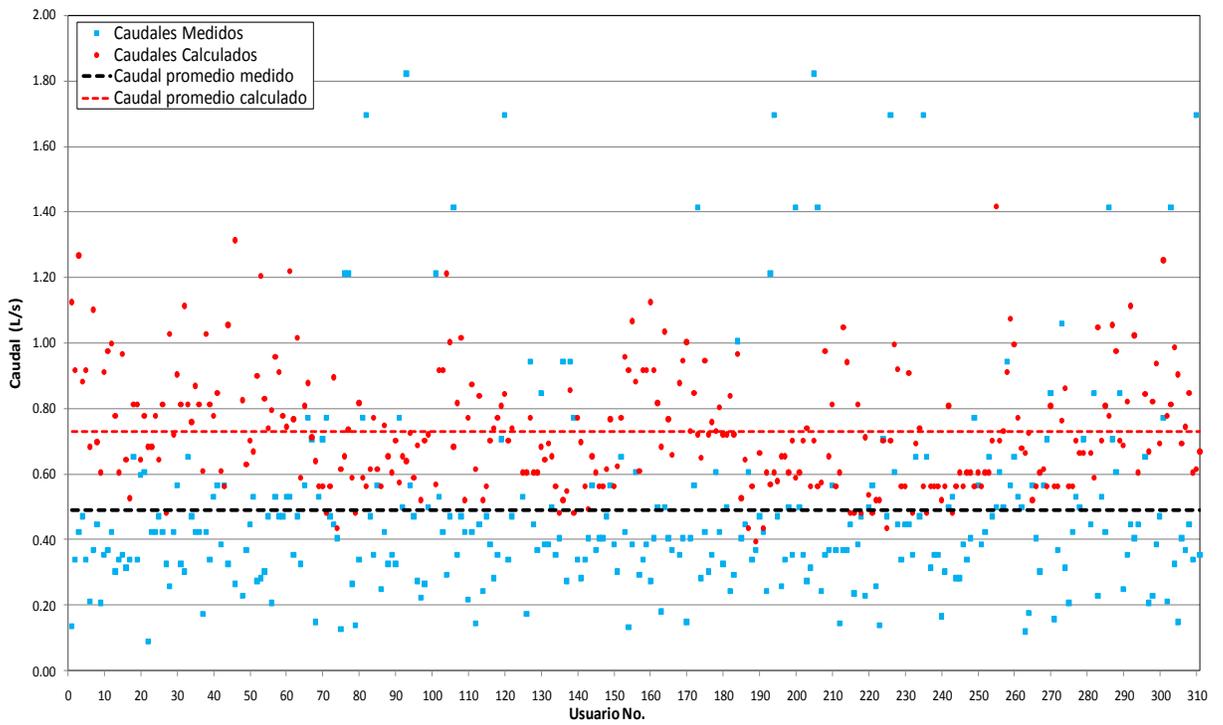
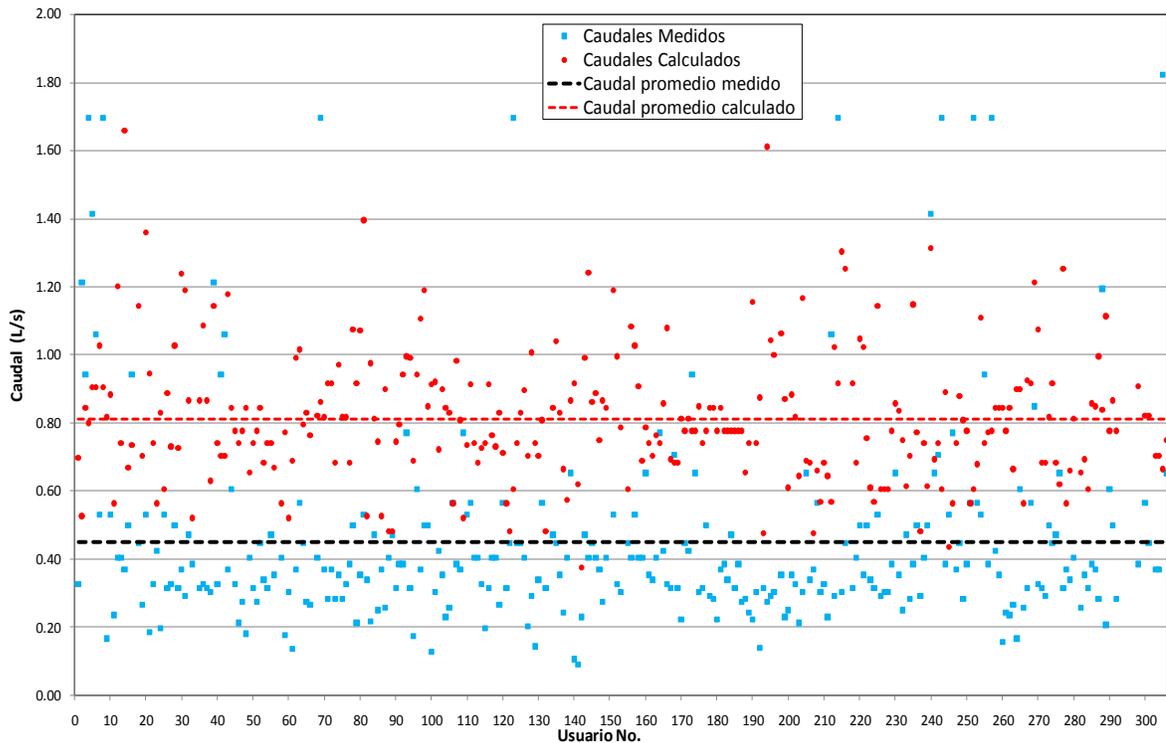


Figura 4-36: Dispersión caudales medidos Vs caudales calculados usuarios Zona 5- Método del Reglamento RIDDA Chileno.



Del grupo de figuras correspondientes a los caudales medidos vs calculados, es posible observar como la gran mayoría de los caudales calculados se encuentran por encima de la línea de caudal promedio, mientras que la gran mayoría de caudales medidos se encuentran por debajo de este límite, y se observa perfectamente una diferenciación en la ubicación de estos caudales, lo que refleja una gran dispersión entre los datos calculados y los medidos, igualmente en cada zona se presenta la línea de caudal promedio calculado.

4.9.2 Resumen análisis caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

A continuación se presenta una tabla resumen de las principales variables que describen el comportamiento de este método en relación a los datos medidos en campo.

Tabla 4-53: Tabla resumen resultados de caudales máximos probables calculados por el método del Reglamento RIDDA Chileno vs caudales máximos instantáneos medidos a los usuarios de las Zonas 2 a 5

Variable evaluada	Zona número			
	2	3	4	5
Caudal promedio Calculado (L/s)	0.76	0.77	0.73	0.81
Caudal promedio medido (L/s)	0.47	0.50	0.49	0.45

Respecto a las 2 variables evaluadas se observa como todas se encuentran en rangos de valores muy próximos, lo que permite inferir que el comportamiento de consumo de los usuarios, asociado a los caudales pico instantáneos de consumo, presenta rangos muy cercanos entre las 4 zonas evaluadas.

Se observa como el caudal máximo probable calculado se encuentra entre 0.73-0.81 L/s, el medido entre 0.45-0.5 L/s, siendo los caudales promedio calculados mayores a los promedio medidos, lo cual permite determinar que el método del Reglamento RIDDA Chileno, analizado a la luz de los resultados promedios, mayor el caudal de diseño comparado con el caudal real medido y esperado en una edificación tipo vivienda para uso residencial, por lo cual los diseños de redes internas de edificaciones realizados con los caudales calculados por este método se encuentran sobredimensionados para las condiciones particulares de consumo de los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.

4.10 Resultados de la aplicación de los métodos para el cálculo del caudal máximo instantáneo.

A continuación se resumen los resultados promedios obtenidos en el estudio, mediante el empleo de las diferentes metodologías utilizadas para el cálculo del caudal máximo instantáneo aplicado a los usuarios de tipo residencial de las zonas 2 a 5 en que se

divide la prestación del servicio de agua por parte de la EAAB para la ciudad de Bogotá, contrastadas con los resultados de los caudales promedios obtenidos de las mediciones efectuadas a cada usuario en las zonas 2 a 5.

Tabla 4-54: Caudales Máximo instantáneos promedios calculados (por medio de los diferentes métodos empleados) y medidos a los usuarios de las zonas 2 a 5

Zona	Caudal Máximo Instantáneo calculado (L/s) por los diferentes Método de cálculo									
	Británico	Raíz cuadrada	Simultaneidad	Racional	UNE 149201	Hunter Original	Hunter NTC 1500	Hunter Unal	RIDDA	Medido
2	1.28	1.65	0.69	0.5	1.06	1	0.68	0.39	0.76	0.47
3	1.31	1.68	0.71	0.49	1.07	0.98	0.68	0.39	0.77	0.5
4	1.26	1.63	0.69	0.47	1.02	0.91	0.63	0.37	0.73	0.49
5	1.39	1.77	0.75	0.5	1.09	1.04	0.71	0.4	0.81	0.45

En la tabla anterior se ha consignado los valores promedios de los caudales máximos instantáneos calculados por 8 métodos diferentes evaluados en el presente estudio, empleados a nivel mundial, correspondientes al caudal que se emplea para el diseño de las redes internas en edificaciones.

Como se puede observar, para la población objeto de estudio solo se empleó 1 método empírico, correspondiente al Método Británico, el cual corresponde al segundo método que más sobrevalora los caudales comparado con los medidos, y que en términos generales triplica el caudal real esperado.

De los métodos semiempíricos estudiados, y aplicados en su totalidad (4 métodos), se encontró que el que mejores resultados arroja en comparación con los caudales máximos medidos es el Método Racional, el cual por su gran similitud con los caudales reales medidos, y el hecho que aun cuando son parecidos genera caudales ligeramente mayores, se constituye en uno de los métodos que es posible recomendar para ser empleado en el diseño de redes internas en edificaciones en la ciudad de Bogotá, resultado consistente con el obtenido en el año 2007 por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá⁵⁰; mientras que el Método con el caudal máximo instantáneo calculado que más se aleja del caudal medido es el Método Alemán de la Raíz Cuadrada, que incrementa en 3-4 veces el caudal real esperado.

De los 4 métodos probabilísticos estudiados y aplicados, se encontró que efectivamente, como lo han resaltado otros estudios, el Método de Hunter original permite calcular caudales mucho mayores a los medidos, en un orden de casi el doble, y los Métodos del Reglamento RIDDA Chileno y Hunter NTC 1500, aun cuando generan caudales menores al de Hunter, siguen produciendo caudales mucho mayores a los medidos, del orden de un 60-70% más. Finalmente, el Método de Hunter Unal, propuesto por la Universidad

⁵⁰Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

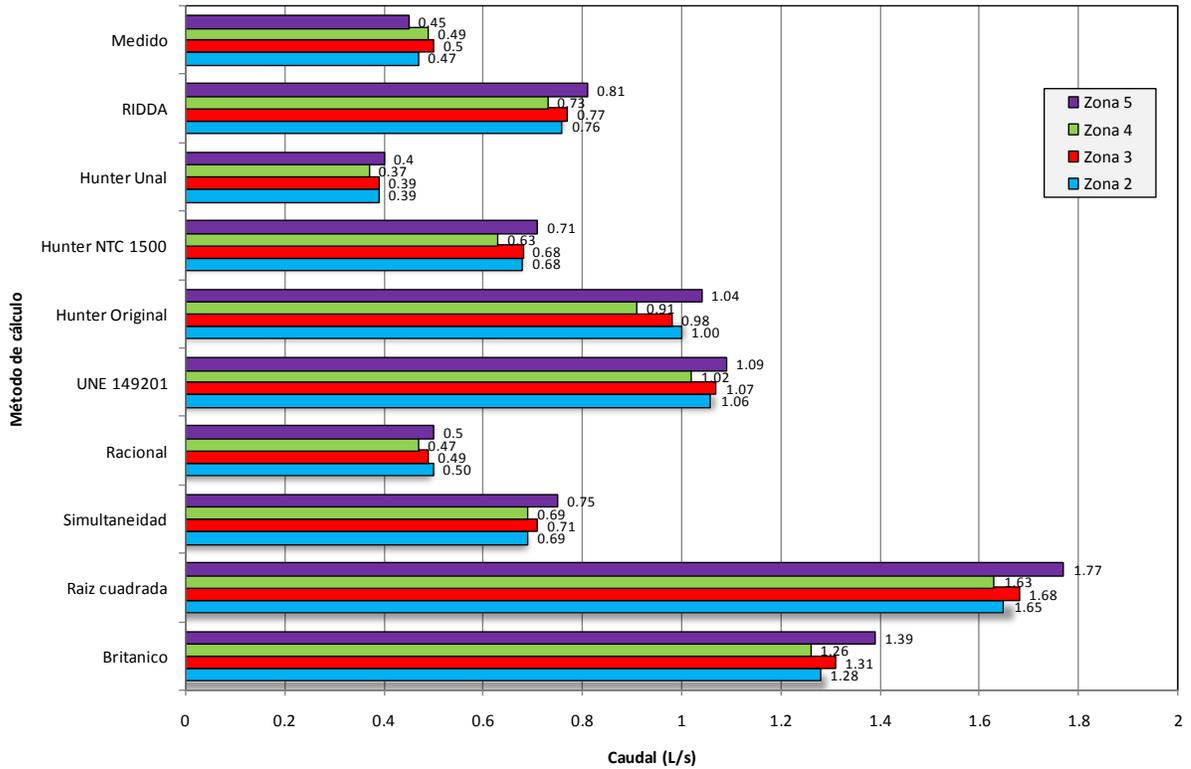
Nacional de Colombia⁵¹ es el que más se ajusta a las condiciones propias de consumo de agua de la población de la ciudad de Bogotá, obteniendo los resultados de caudales máximos instantáneos más cercanos a los caudales máximos medidos para los usuarios objeto de estudio, sin embargo, al aplicar este método a un tamaño muestral tan representativo de 1233 usuarios de tipo residencial, se encontró que del total de la muestra, el método genera caudales ligeramente superiores a los medidos para aproximadamente el 50-55% de la población, mientras que para el restante 45% los caudales calculados son ligeramente menores a los medidos, lo cual puede incurrir en el diseño de redes internas que durante eventos de consumos pico simultáneos, principalmente en edificaciones multifamiliares como son los conjuntos de apartamentos (cada vez más en auge debido a la necesidad de un crecimiento demográfico acelerado y la falta de zonas para albergar dicho crecimiento) puedan encontrarse subdimensionadas en función a las solicitudes de caudal de la población, por lo cual es necesario continuar con el estudio, calibración y validación de esta metodología de cálculo a la luz de los datos de éste y futuros estudios de caudales de la población, a fin de depurar el Método de Hunter Unal, ampliando los estudios igualmente a otras ciudades que presenten diferentes condiciones climáticas y costumbres, así como la ampliación de este tipo de estudios a otros usos como son las edificaciones de tipo Institucional (Colegios, oficinas Gubernamentales y privadas, etc.), Comercial (grandes y pequeños establecimientos comerciales) e Industrial, para los que es de esperarse que se requiera definir métodos particulares de cálculo de los caudales máximos instantáneos en función a las condiciones propias de cada tipo de uso.

En función a los resultados de promedios de los caudales máximos instantáneos en cada zona, determinados por los diferentes métodos, así como los caudales medidos, es posible observar que aun cuando cada método determina un caudal en función a diferentes criterios de cálculo, cada método presentó resultados consistentes y homogéneos al comparar los resultados de cada zona, lo que refleja que aun cuando existe una gran variabilidad en el comportamiento, costumbres y características de consumo de un usuario a otro, la tendencia de comportamiento es homogénea y susceptible de caracterización y cuantificación.

A continuación se presenta una gráfica en la cual se han representado los resultados de caudales máximos instantáneos promedios obtenidos por los 9 métodos empleados para las 4 zonas de estudio, e igualmente se ha incluido los caudales promedios medidos en cada zona, y permite observar gráficamente las conclusiones obtenidas anteriormente respecto a la exactitud de cada método y la homogeneidad y consistencia de los resultados al analizar cada método independiente en las 4 zonas.

⁵¹Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

Figura 4-37: Caudales Máximo instantáneos promedios calculados (por medio de los diferentes métodos empleados) y medidos a los usuarios de las zonas 2 a 5.



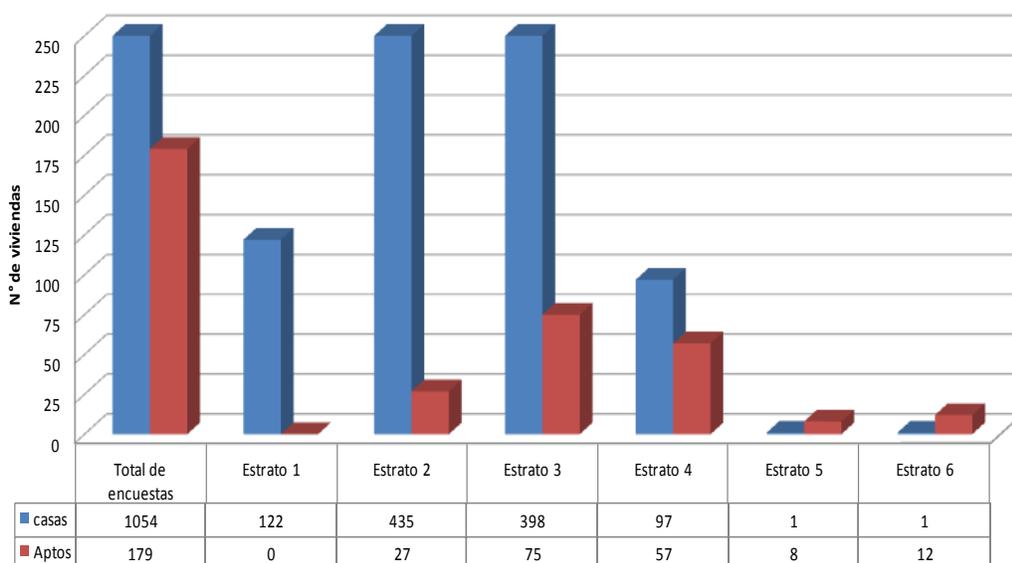
5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En función a los resultados obtenidos a partir de la información de encuestas de caracterización de usuario residenciales adelantados entre el 2009 y el 2010 por la Dirección de Ingeniería especializada de la EAAB en las zonas de prestación del servicio Número 2 a 5 de la Ciudad (La ciudad de Bogotá se encuentra dividida en las Zonas 1 a 5), se observa como el número de usuarios evaluados en las 4 zonas está comprendido entre 301 y 315 usuarios, e igualmente que el mayor número de usuarios caracterizados habitan viviendas tipo casa, por lo cual los resultados del presente estudio son representativos de usuarios residenciales tipo casa, y en menor medida de tipo apartamento.

El promedio de habitantes por vivienda para las 4 zonas está comprendido entre 5-6 habitantes, con un valor medio aceptable de 5.7 habitantes para el total de la muestra (representa el promedio de habitantes por vivienda con uso residencial en la ciudad de Bogotá). Igualmente existe un mayor número de habitantes para viviendas tipo casa que para tipo apartamento, con valores promedio de 6.1 habitantes y 3.4 habitantes respectivamente, Como se muestra en la figura siguiente

Figura 5-1: Número de casas y apartamentos por estrato para la muestra unificada de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.



- Al tener en cuenta la edad promedio de las edificaciones estudiadas (para las casas el promedio está entre 25.9-30.4 años, mientras que los apartamentos presentan edades algo menores, comprendidas entre 17-23.7 años), se concluye que al asociar dicha edad con el tiempo de instalación de las tuberías de los sistemas internos de suministro de agua a la edificación y el posible estado de los mismos, es de esperarse algunos problemas de fugas y goteos a causa de la edad de las edificaciones estudiadas, lo cual genera que los datos reportados de caudales puedan ser algo mayores a los realmente consumidos.
- El número promedio de puntos hidráulicos totales encontrados es muy similar para las viviendas estudiadas en las 4 zonas, con valores entre 11-13 puntos hidráulicos, y que se encuentran más puntos hidráulicos en las casas que en los apartamentos (con valores de 11-13 puntos y 7-10 puntos respectivamente). Se encontró además que el mayor número de puntos hidráulicos en una vivienda corresponde a los grifos (lavamanos y llaves de manguera), correspondiente a 5-6 puntos, seguido de los sanitarios y duchas con un promedio de 2 puntos cada uno, y finalmente los lavaderos y lavadoras con 1 punto sanitario en promedio cada uno; respecto a las tinas se encontró algunos datos anómalos en las zonas 4 y 5, por lo cual es prudente no considerar dichos datos y determinar que el número promedio de tinas que puede esperarse en las viviendas con uso residencial para la ciudad de Bogotá, cuando la vivienda cuente con este aparato, es de 1.
- En función a los datos obtenidos de medición de caudales a cada uno de los usuarios evaluados, a través de la instalación de equipos de medición clase C denominados Aquabus Y290, se puede observar como el tiempo promedio de instalación de los micromedidores fue de aproximadamente 21 días o 3 semanas completas, que se constituye en la línea de tiempo para la cual se realizó la caracterización de consumos de los usuarios evaluados.
- Con respecto al caudal máximo instantáneo, que corresponde al caudal máximo real medido que pasó en un instante dado por la red de tuberías de ingreso a la edificación, se encuentra que el valor promedio es muy parecido para las 4 zonas, y fluctúa entre 0.44-0.49 L/s, y para la muestra unificada dicho valor promedio es de 0.47L/s.
- En relación al caudal de consumo promedio neto de un habitante en un día, se determinó el mismo de diferentes maneras a fin de comparar los resultados y se observa como dicho caudal calculado en cada zona presenta valores con un mismo patrón de comportamiento para los diferentes consumos promedios netos calculados, pero también se observa como dichos valores presentan diferencias en valor entre una zona y otra, lo cual refleja la alta variabilidad espacial de los consumos de la población. De esta manera, para la zona 2 es posible definir que el valor del consumo promedio neto se encuentra entre 144.8-150.6 L/hab-día, para la zona 3 se encuentra entre 122.4-135 L/hab-día, para la zona 4 entre 98.9-105.2 L/hab-día, y para la zona 5 dicho valor se encuentra entre 117.5-124.4 L/hab-día. Un valor promedio aceptable para toda la población es el obtenido al analizar la muestra unificada, donde se obtuvo valores de 123.88-125.24 L/hab-día, siendo un valor final aceptable el de 125 L/hab-día.

Al comparar estos valores con los recomendados por la Norma RAS 2000 para uso residencial y para toda la ciudad de Bogotá, es de 140 L/Hab-día, que en el caso de la zona 2 correspondería a un valor subdimensionado, para la zona 3 se podría considerar como adecuado, y para las zonas 4 y 5 dicho valor sería muy elevado. Finalmente, al analizar el valor del caudal neto promedio consumido por un habitante, obtenido a partir del estudio de la totalidad de usuarios levantados de manera unificada para toda la ciudad de Bogotá, se concluyó que dicho valor de 140 L/hab-día recomendado por la Norma RAS 2000 no es el más adecuado para la mayor parte de la ciudad, y que este valor podría reducirse a 125 L/hab-día, que representa un 12% menos de caudal; estas diferencias reflejan la importancia de adelantar más estudios en las grandes y medianas ciudades de Colombia tendientes a determinar dotaciones netas de la población más acordes a las dinámicas y características de consumo propias de la población.

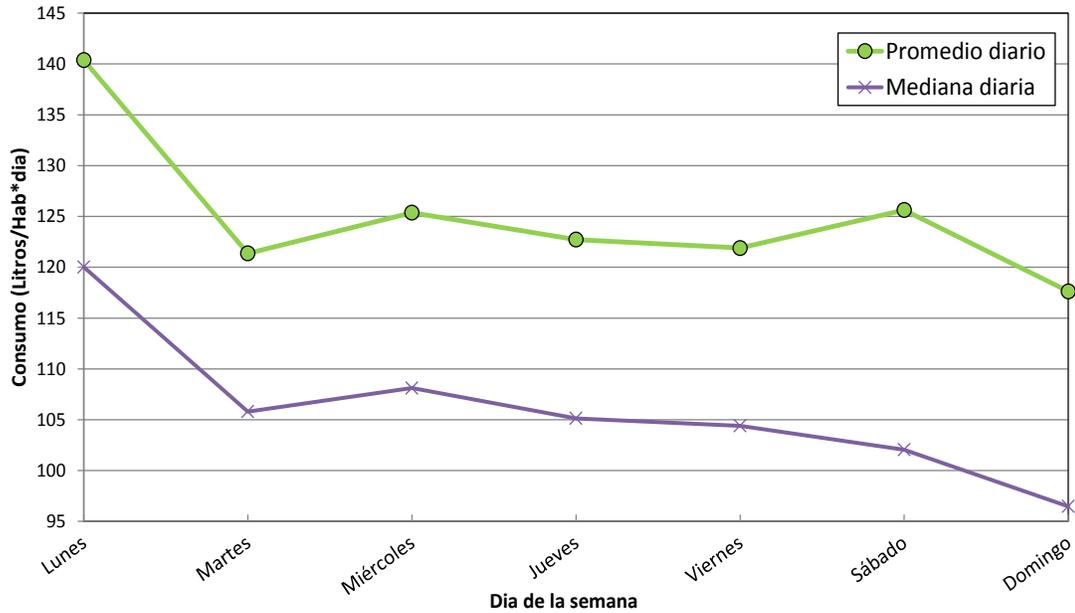
Ahora bien, si se analiza los caudales de consumo promedio netos a la luz de una herramienta estadística de tendencia central como lo es la Mediana, la cual se constituye en una herramienta ideal para obtener valores centrales cuando se cuenta con datos que varían considerablemente entre el promedio y los picos, como es el caso observado de los consumos determinados para cada usuario, se encuentra que los caudales netos promedios se reducen considerablemente a valores generales entre 86-138 L/hab-día, valores que reflejan el hecho que la dotación actualmente empleada, al menos en el caso de la ciudad de Bogotá, podría reducirse con respecto a la actualmente contemplada por la Norma RAS 2000 hasta valores de 110-115 L/hab-día, que representa 25 L/hab-día menos que el recomendado por la Norma, un 21.7% menos de caudal a ser empleado para el diseño de redes matrices y redes de distribución principales y secundarias del sistema de abastecimiento de la ciudad, así como un menor caudal de captación y tratamiento. Es necesario adelantar mas estudios en la ciudad de Bogotá como el otras ciudades del país (grandes, medianas y pequeñas) para poder determinar si la dinámica de consumos aquí observada es aplicable a otras partes del territorio nacional.

En términos generales, y en función a los resultados obtenidos del estudio, para la ciudad de Bogotá se generó una curva de consumo promedio neto semanal, que permite observar el comportamiento promedio diario del caudal neto consumido por un habitante en una semana típica, y observar adicionalmente como la curva, aunque presenta valores diferentes para cada día, no presenta picos marcados en la semana.

Como se puede observar, los consumos diarios presentan un mismo patrón de comportamiento, con valores máximos los días lunes de 140 L/hab-día, los demás días son más comunes, entre 120-125 L/hab-día, exceptuando los domingo donde se observa la reducción del consumo neto por persona a aproximadamente 117 L/hab-día, situación asociada posiblemente a los hábitos de esparcimiento y descanso de la población en fin de semana, donde la gente aprovecha este día para salir y realizar labores fuera, incluido alimentación.

En el caso de la mediana, los consumos diarios también presentan un patrón de comportamiento definido, y se observa además como la diferencia con el promedio es de aproximadamente 20 L/hab-día.

Figura 5-2: Curva de Consumo promedio neto diario en Lts/hab-día para los 7 días de la semana, para los usuarios residenciales de la Ciudad de Bogotá.

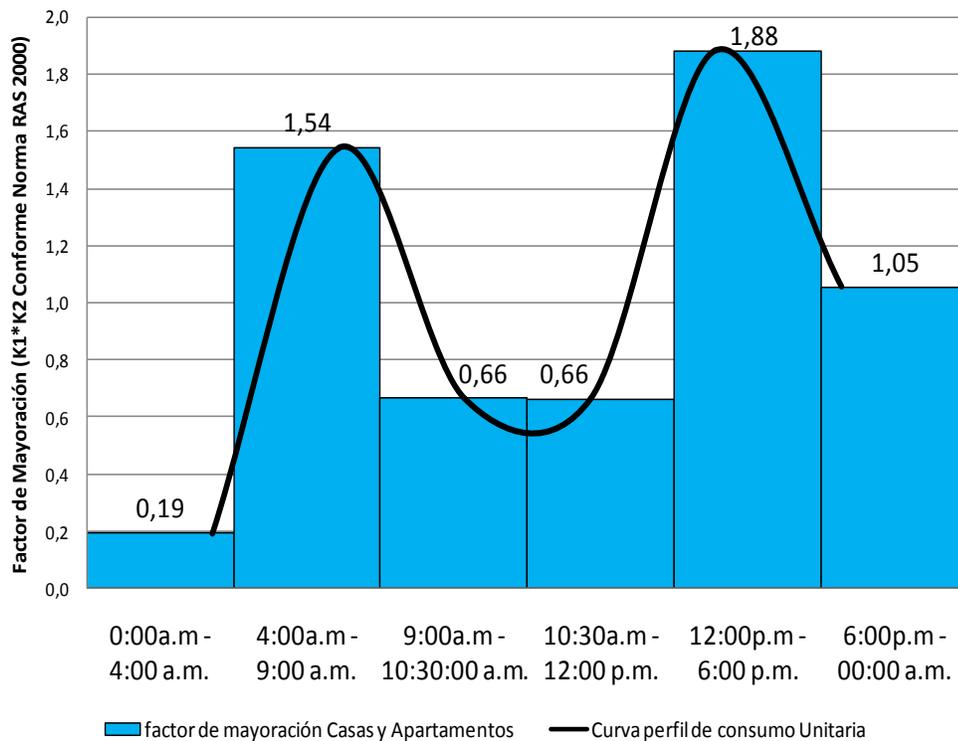


- A partir de la información registrada por el Medidor implementado a los usuarios, no es posible obtener una curva característica de consumo o curva diurna (perfiles de consumo) que describa a nivel horario los consumos unitarios de la población en función al consumo promedio, puesto que dicho equipó solamente permitía el almacenamiento de datos de consumos diarios en 6 franjas horarias que sumadas cubren las 24 horas de un día, sin embargo, a partir de dicha información fue posible obtener un perfil de consumos que muestra claramente la tendencia de consumos de la población, donde es de esperarse que el mayor pico de consumo ocurra entre las 12:00 m y las 6:00 pm, sobre la franja de almuerzo, y que exista un segundo pico entre 4:00 am y 9:00 am, en la franja de desayuno.

Este perfil puede ser tenido en cuenta como el característico para los usuarios de tipo residencial de la ciudad de Bogotá, sin embargo es necesario adelantar estudios similares implementando equipos de medición que permitan tener resolución de datos sub horaria para de esta manera poder determinar con mayor fidelidad los perfiles de consumo y a su vez emplearlos para la simulación de redes del sistemas de acueducto, que complementadas con medición en tiempo real pueden generar un sistema de modelación hidráulica en tiempo real de la red, permitiendo entre otras detectar anomalías en los comportamientos de la misma, asociados a problemas de fugas o daños en equipos de control de las tuberías.

A continuación se presenta el perfil de consumo diario unitario típico obtenido para los usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá, a partir de la información de usuarios empleada en este estudio.

Figura 5-3: Perfil de consumo diario Unitario promedio para usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.



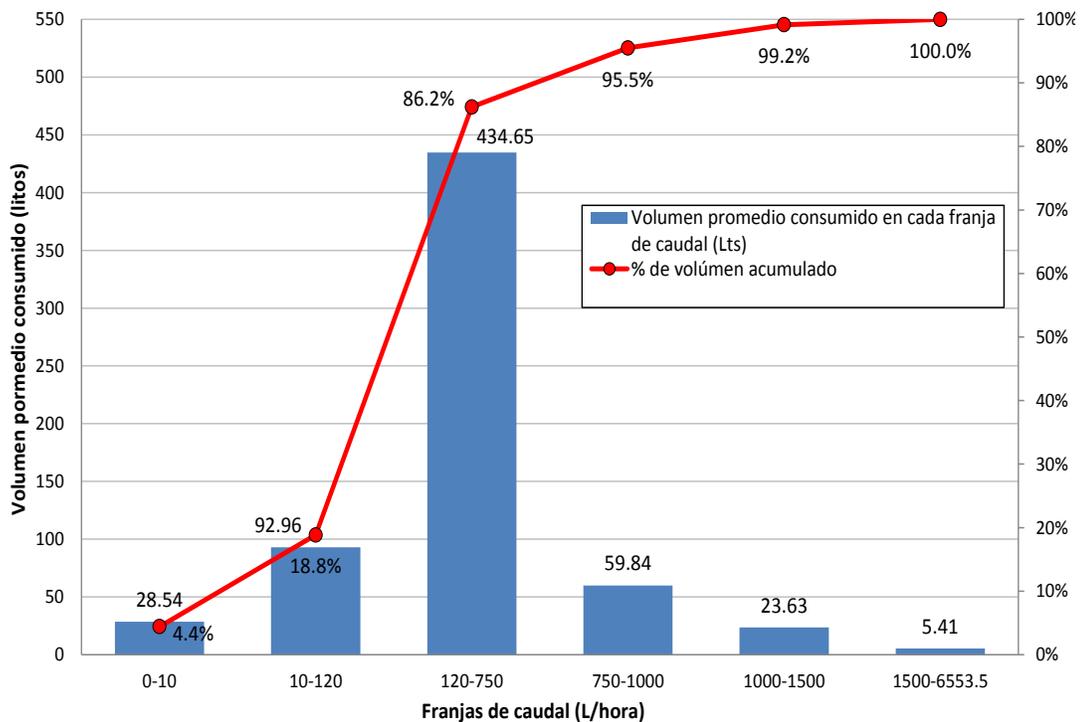
En este perfil se observa como el promedio de los factores de mayoración obtenidos para las 6 franjas horarias, da un valor de 1.0 (el cual es el valor que se debe obtener pues se trata de una curva unitaria obtenida a partir de la división de cada volumen determinado en una franja horaria, entre el volumen promedio obtenido al tener en cuenta los volúmenes de todas las franjas horarias, permitiendo obtener una curva que relaciona el consumo medio con el consumo pico mediante el factor de mayoración unitario), con un valor máximo de 1.88 para el pico de consumo comprendido entre las 12:00 m y 6:00 pm, el cual al compararlo con el producto de los factores de mayoración K1 y K2 recomendados por la Norma RAS 2000 ($k1*k2=1.2*1.5=1.8$) corresponde a un valor mayor, con una diferencia respecto al de la Norma de 0.08 (Titulo B2.7.5), reflejando que el pico de consumo esperado para usuarios de tipo residencial, en función a las mediciones hechas en campo, es mayor al recomendado por la Norma RAS 2000 para el caso de la ciudad de Bogotá.

En función a lo anterior se observa que dicho valor de 1.8 esta subestimado respecto a los determinados en este estudio, donde los valores obtenidos se encuentran entre 1.8 - 1.98 en función a la zona evaluada, por lo cual es necesario la reevaluación de los mismos para atender de una mejor manera, a partir de las tuberías matrices y redes secundarias de acueducto de la ciudad, los picos de consumo de la población bajo condiciones técnicas de cantidad de agua y presiones adecuadas, puesto que estas tuberías se diseñan para abastecer el Caudal Máximo Horario de la Población, el cual se obtiene a partir de la Dotación

neto por habitante y de los factores $K1 \cdot K2$, como se presentó en el capítulo concerniente con el marco teórico del proyecto.

- En vista que el equipo de medición empleado permite almacenar la información de consumos en 6 franjas de caudal para el total del tiempo de instalación, se pudo determinar en qué rango de caudales se consume la mayor parte del agua, que se constituye en información útil para realizar análisis adicionales sobre los errores esperados en la medición de caudales en función a las curvas de error de los medidores comerciales con que cuentan comúnmente los usuarios (el cual no es objeto de análisis del presente estudio), y evaluar si los caudales a los cuales consume agua la población se encuentran dentro de los rangos de funcionamiento óptimos recomendados para los medidores comerciales, o si por el contrario los mismos se encuentran subdimensionados. Esta información se presenta mediante el denominado patrón de consumos diarios, cuyo resultado para la ciudad de Bogotá se presenta a continuación.

Figura 5-4: Patrón de consumo promedio diario Usuarios residenciales ciudad de Bogotá.

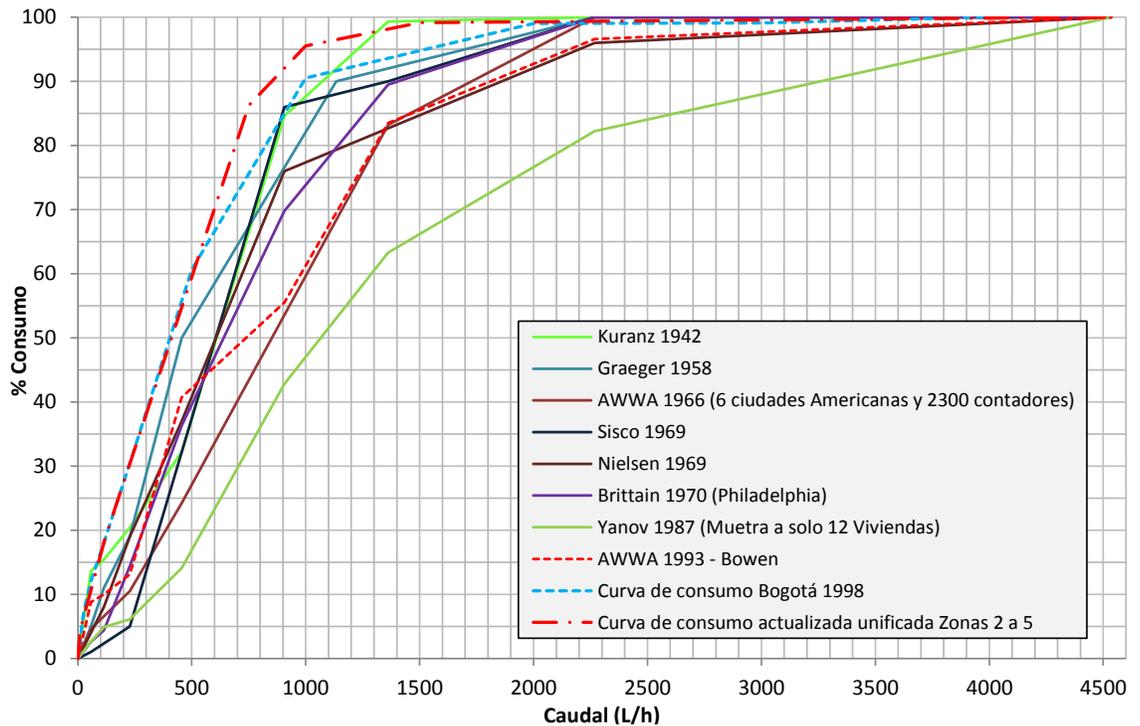


De la figura anterior se puede observar como la mayor cantidad de caudal consumido por un abonado del sistema de acueducto de la Ciudad de Bogotá en un día típico, ocurre entre los 120-750 L/hora (0.033L/s – 0.21L/s). De igual manera, entre los 0 L/h y los 750 L/h se consume en promedio el 86.2% del caudal total demandado, y el 15.8% restante se consume por encima de dicho rango, lo que permite deducir que los medidores que se empleen para la población con uso residencial de sus viviendas, deben presentar una operación óptima, con una curva de error mínima en un rango de caudal entre los 10 – 750

L/Hora, para minimizar de esta manera los posibles errores de medición en los caudales consumidos por la población.

En vista que se contaba con información de curvas patrón de consumo de otros estudios a nivel mundial, la cual se presentó en el Capítulo 1.3 Patrones de consumo, se procedió a graficar los resultados obtenidos de curva patrón para la muestra unificada con los de los estudios anteriores, para compararla con dichos estudios, como se presenta a continuación.

Figura 5-5: Comparación de Patrones de consumo obtenidos para estudios a nivel mundial, y para Colombia en 1998 y en 2014 (presente estudio).

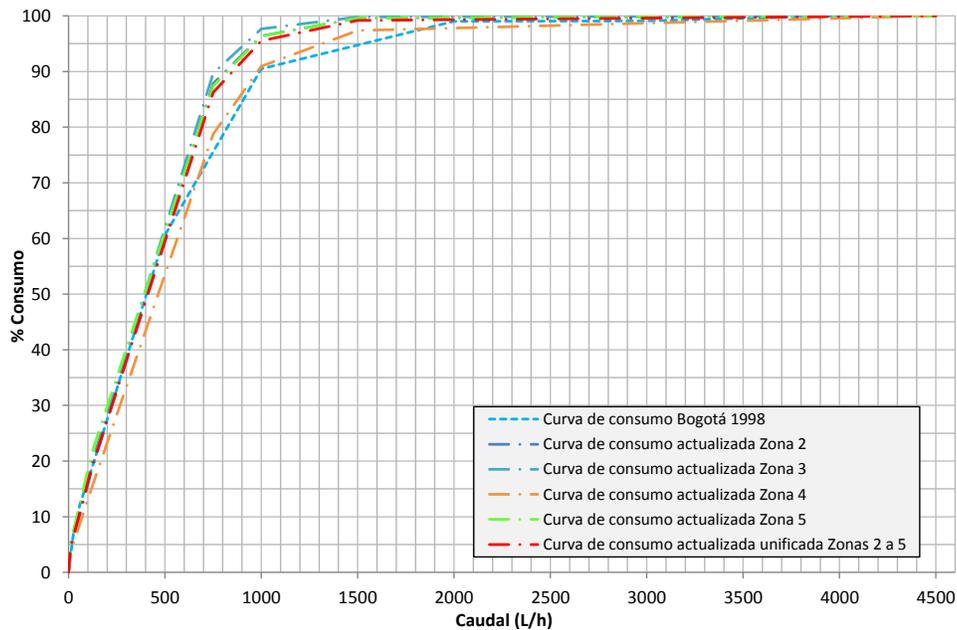


La curva patrón obtenida muestra el mismo patrón de comportamiento típico que las demás curvas encontradas por diferentes investigadores principalmente en ciudades de Estados Unidos, en donde la separación de las curvas se debe principalmente a las diferencias en las edificaciones (configuración de las redes y disposición arquitectónica de los puntos hidráulicos), equipos y costumbres de consumo de una población a otra. Se observa adicionalmente que la curva para la ciudad de Bogotá determinada en 1998, y la actual resultado de la unificación de los datos de la muestra, presentan un mismo patrón de comportamiento y reflejan que actualmente los usuarios consumen un poco más de caudal en los rangos entre 500-1500 L/H, que hace 11 años. Adicionalmente se graficó las curvas por zona y curva unificada Vs curva de 1998 para poder observar de manera más detallada las diferencias entre las curvas.

Esta gráfica corrobora la conclusión respecto a un mayor consumo actual de la población entre 500-1500 L/h, lo que refleja cambios en las costumbres de

consumo posiblemente asociada a modificaciones en el tamaño de las familias y en la necesidad de optimización de tiempo para cumplir con los compromisos diarios, lo que obliga a la población a hacer las mismas tareas de siempre en menor tiempo y en bloque (más gente bañándose, o usando los servicios de baños al tiempo, etc.), sin embargo la similitud entre curvas es bastante notable, permitiendo observar la homogeneidad y consistencia de los datos y del comportamiento de la población.

Figura 5-6: Comparación curvas Patrón de consumo obtenidas para estudios de Bogotá año 1998 y estudio actual.



- Al obtener caudales de dotación en función al área de la edificación, se observa como dicho valor fluctúa entre 5.8-7.4 L/m²-día, con un promedio para toda la muestra de 6.49 L/m²-día, el cual puede ser un valor a tener en cuenta para el dimensionamiento de sistemas de almacenamiento de viviendas, principalmente para las tipo casa. Igualmente, es recomendable manejar franjas de caudal por área en función al área de la vivienda, caudales que pueden ser útiles en una futura actualización de la Norma NTC 1500, "CODIGO COLOMBIANO DE FONTANERIA", en el cual actualmente el único caudal reportado para viviendas corresponde a 200-250 L/hab-día, que comparado con el determinado anteriormente, es demasiado alto.
- Es muy importante destacar el hecho que las costumbres de re-uso de agua pueden tomar un papel importante para los usuarios, y que impactan positivamente en los objetivos de uso eficiente de agua y reducción del caudal per cápita, puesto que, a partir de la información disponible y el trabajo de análisis realizado, se observa como al tener en cuenta únicamente a los usuarios que manifiestan llevara cabo prácticas de re-uso en sus viviendas, el caudal de consumo promedio neto de estos habitantes se reduce aproximadamente entre

un 15-25% respecto de los que no implementar en sus viviendas prácticas de re- uso de agua.

Con relación a este tema, del análisis de la información de encuestas se observó que el porcentaje de población que re-usa por estrato es superior al 43% de la población, e igualmente es posible determinar que en los estratos 2, 3 y 4 se presenta un mayor interés por el re-uso, e igualmente es claro que el tema de re- uso es una variable a tener en cuenta dentro de las políticas tendientes a la reducción del consumo de la población y las estrategias de educación en el uso eficiente y cuidado del recurso agua, principalmente en los estratos más bajos como el 1, en donde se observa como son los que menos interés reflejan en este tema, y los cuales conforme la estructura tarifaria de la prestación y cobro del servicio reciben el mayor subsidio, y actualmente el denominado mínimo vital. Es importante impulsar este tipo de estrategia de manejo del agua y fortalecer los programas educativos de la población al respecto, principalmente las poblaciones de estratos bajos puesto que, conforme los resultados del estudio, son los que menos interés prestan al re-uso, e igualmente representan una gran parte de la población de la ciudad de Bogotá.

Figura 5-7: Porcentaje de la población que implementa prácticas de re-uso del agua en los usuarios de tipo residencial de la ciudad de Bogotá.



Figura 5-8: Número de usuarios de tipo residencial con y sin costumbres de re- uso de agua.

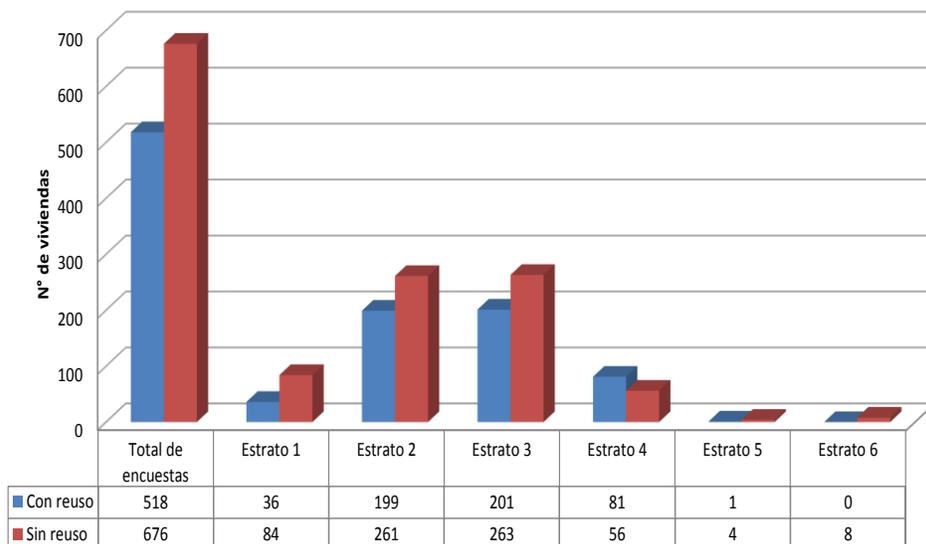
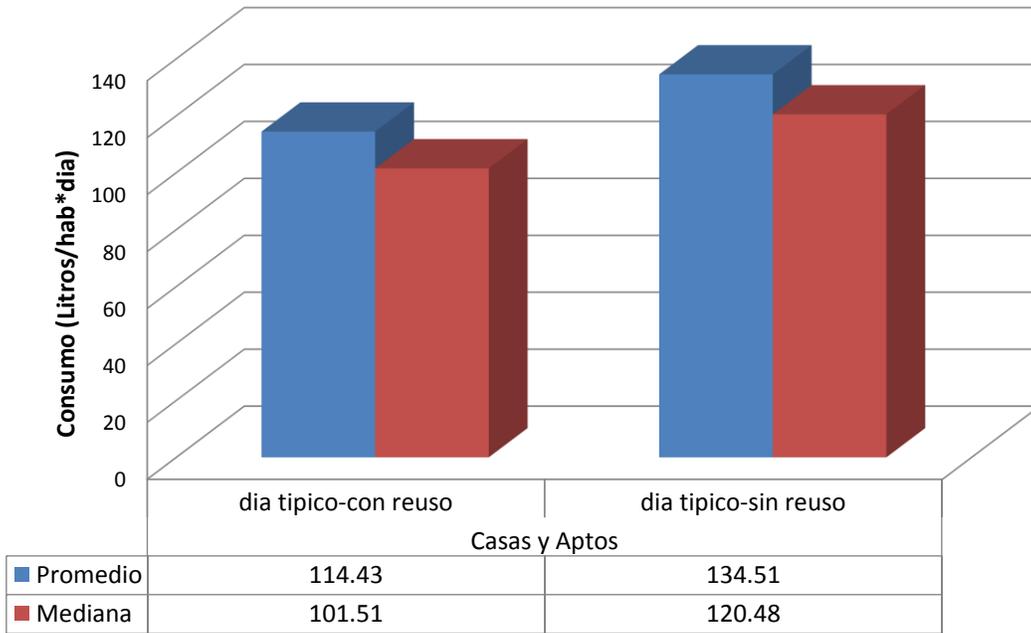


Figura 5-9: Consumo residencial promedio neto diario en Lts/habitante-día para un día típico de la semana discriminado en función del re-uso de agua.



- Mediante el estudio realizado, y en función a la información levantada por la Dirección de Ingeniería Especializada de la EAAB, se logró establecer que existen diferentes variables que influyen en el consumo de un usuario residencial en la Ciudad de Bogotá, como son el tipo de la vivienda (casa o apartamento, encontrándose mayores consumos de caudal en apartamentos que en casas), área de la vivienda en donde se observa como a mayor área el caudal consumido disminuye, igualmente se encontró que el número de habitantes influencia la dotación por usuario y el consumo total de la edificación, encontrándose que a mayor población, menor consumo por persona, mientras que el número de puntos hidráulicos y la antigüedad de la vivienda no reflejaron ningún tipo de influencia marcada en los caudales.
- Al comparar todos los métodos aplicados para el cálculo del caudal máximo probable en edificaciones con los valores de caudales promedios medidos realmente en cada edificación, se obtuvo las siguientes conclusiones:

Para la población objeto de estudio se empleó 1 método empírico, correspondiente al Método Británico, el cual resultó ser el segundo método que más sobrevalora los caudales comparado con los medidos, y que en términos generales triplica el caudal real esperado.

De los métodos semiempíricos estudiados, y aplicados en su totalidad (4 métodos), se encontró que el que mejores resultados arroja en comparación con los caudales máximos instantáneos medidos es el Método Racional, el cual por su gran cercanía con los caudales reales medidos, y el hecho que aun cuando son muy cercanos genera caudales ligeramente mayores, se constituye en uno de los métodos que es posible recomendar para ser empleado en el diseño de redes

internas en edificaciones en la ciudad de Bogotá, resultado consistente con el obtenido en el año 2007 por el Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá⁵². En contraposición, el Método con el caudal máximo instantáneo calculado que más se aleja del caudal medido es el Método Alemán de la Raíz Cuadrada, que incrementa en 3-4 veces el caudal real esperado.

De los 4 métodos probabilísticos estudiados y aplicados, se encontró que efectivamente, como lo han resaltado otros estudios, el Método de Hunter original permite calcular caudales mucho mayores a los medidos, en un orden de casi el doble, y los Métodos de Hunter NTC 1500 y del Reglamento RIDDA Chileno, aun cuando generan caudales menores al de Hunter, sigue produciendo caudales mucho mayores a los medidos, del orden de un 60-70% más. Finalmente, el Método de Hunter Unal, propuesto por la Universidad Nacional de Colombia⁵³ es el que más se ajusta a las condiciones propias de consumo de agua de la población de la ciudad de Bogotá, obteniendo los resultados de caudales máximos instantáneos más cercanos a los caudales máximos medidos para los usuarios objeto de estudio, sin embargo, al aplicar este método a un tamaño muestral representativo de 1233 usuarios de tipo residencial, se encontró que del total de la muestra, el método genera caudales ligeramente superiores a los medidos para aproximadamente el 50-55% de la población, mientras que para el restante 45% los caudales calculados son ligeramente menores a los medidos; esta situación puede causar en el diseño de redes internas de edificaciones, que durante eventos de consumos pico simultáneos, principalmente en edificaciones multifamiliares como son los conjuntos de apartamentos (cada vez más en auge debido a la necesidad de un crecimiento demográfico acelerado y la falta de zonas para albergar dicho crecimiento) puedan encontrarse subdimensionadas en función a las solicitudes de caudal de la población, por lo cual es necesario continuar con el estudio, calibración y validación de esta metodología de cálculo a la luz de los datos de éste y futuros estudios de caudales de la población, a fin de depurar el Método de Hunter Unal, ampliando los estudios igualmente a otras ciudades que presenten diferentes condiciones climáticas y costumbres, así como la ampliación de este tipo de estudios a otros usos como son las edificaciones de tipo Institucional (Colegios, oficinas Gubernamentales y privadas, etc.), Comercial (grandes y pequeños establecimientos comerciales) e Industrial, para los que es de esperarse que se requiera definir métodos particulares de cálculo de los caudales máximos instantáneos en función a las condiciones propias de cada tipo de uso.

En función a los caudales máximos instantáneos promedios obtenidos en cada zona, determinados por los diferentes métodos, así como los caudales medidos en cada edificación por parte de la EAAB, es posible observar que aun cuando cada

⁵²Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

⁵³Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría “Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007.

método determina un caudal en función a diferentes criterios de cálculo, cada método presentó resultados consistentes y homogéneos al comparar los resultados de cada zona, lo que refleja que aun cuando existe una gran variabilidad en el comportamiento, costumbres y características de consumo de un usuario a otro, la tendencia de comportamiento es homogénea y susceptible de caracterización y cuantificación para el total de la población de la ciudad de Bogotá.

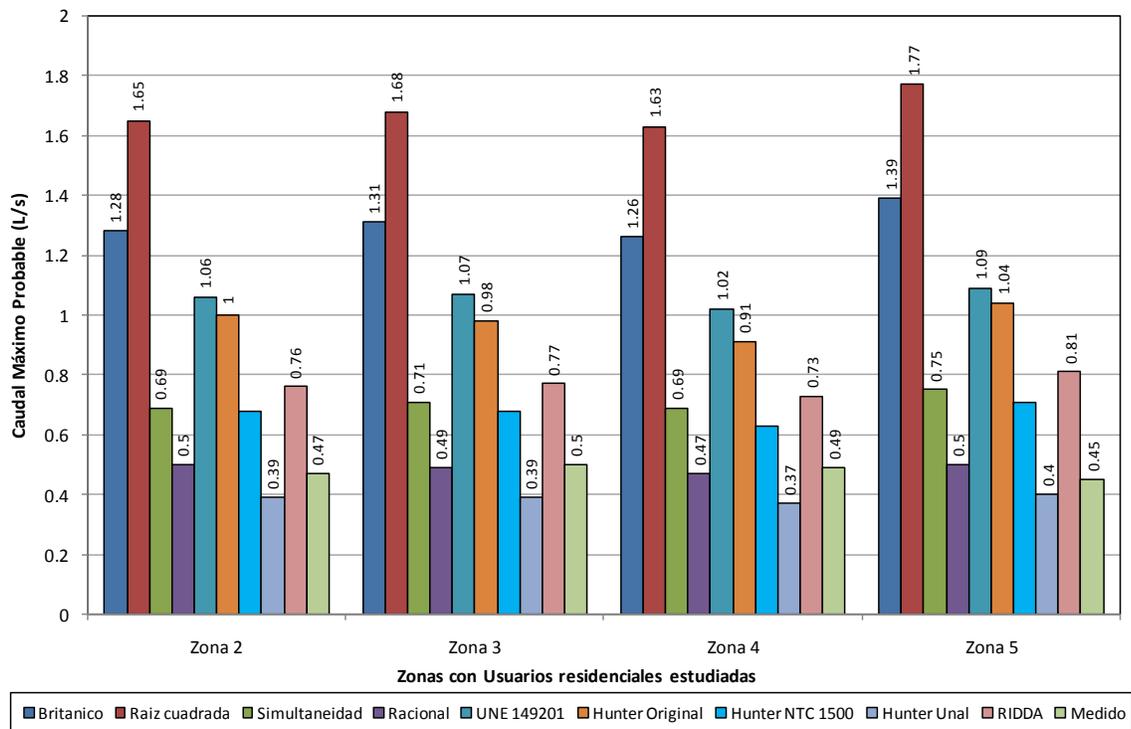
De los 9 métodos estudiados, en función a los resultados obtenidos y presentados en el capítulo correspondiente, se concluye que únicamente el Método Racional y el Método de Hunter Unal presentan resultados cercanos a los medidos en campo, y por lo cual son adecuados para ser empleados en la determinación del caudal máximo probable para el diseño de redes internas de edificaciones de uso residencial tipo viviendas unifamiliares. Para el caso de viviendas multifamiliares, conforme los resultados obtenidos por otros autores, se ha encontrado que efectivamente estos dos métodos arrojan excelentes resultados en comparación con los anteriores, sin embargo es menester ampliar las investigaciones y mediciones de campo para corroborar dichos resultados y afirmaciones.

A continuación se presenta la tabla y gráfica respectiva en la cual se han representado los resultados de caudales máximos instantáneos promedios obtenidos por los 9 métodos empleados para las 4 zonas de estudio, e igualmente se ha incluido los caudales promedios medidos en cada zona, y permite observar gráficamente las conclusiones obtenidas anteriormente respecto a la exactitud de cada método y la homogeneidad y consistencia de los resultados al analizar cada método independiente en las 4 zonas.

Tabla 5-1: Evaluación de los métodos de cálculo del Caudal Máximo Probable

Método Aplicado	Caudal Máximo probable calculado (L/s) para cada Zona estudiada			
	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Británico	1.28	1.31	1.26	1.39
Raíz cuadrada	1.65	1.68	1.63	1.77
Simultaneidad	0.69	0.71	0.69	0.75
Racional	0.5	0.49	0.47	0.5
UNE 149201	1.06	1.07	1.02	1.09
Hunter Original	1	0.98	0.91	1.04
Hunter NTC 1500	0.68	0.68	0.63	0.71
Hunter Unal	0.39	0.39	0.37	0.4
RIDDA	0.76	0.77	0.73	0.81
Medido	0.47	0.5	0.49	0.45

Figura 5-10: Comparación de resultados de la aplicación de los Métodos para el cálculo del caudal Máximo Probable y Máximo Instantáneo medido para usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.



5.2 Recomendaciones

Se presentan como una serie de aspectos que se podrían realizar en un futuro para emprender investigaciones similares o fortalecer la investigación realizada.

El presente trabajo final de maestría deja muchas puertas abiertas para la investigación y mejora de muchos de los estudios adelantados tanto por la EAAB como por la academia, las cuales se enuncian a continuación.

- Es necesario que la EAAB adelante nuevas campañas de caracterización de usuarios residenciales tanto en caudales como en encuestas, buscando afinar el método de determinación del tamaño muestral, para garantizar cubrir adecuadamente la población en función al estrato y al tipo de vivienda, dando una adecuada cobertura a apartamentos (viviendas multifamiliares), e implementando sistemas de lectura permanente en algunos usuarios y en todos los sectores de la ciudad, para de esta manera contar con información adecuada en cantidad y calidad, de manera permanente, para caracterizar de mejor manera a este tipo de población. En este aspecto es indispensable depurar el formato de encuestas para incluir una mayor caracterización del tipo de puntos hidráulicos con que cuenta, y entrenar a los encuestadores para que el descarte de usuarios con datos anómalos se haga desde la toma de datos en campo. En los trabajos de campo futuros se debe buscar caracterizar usuarios en un periodo de tiempo

mayor, de al menos 2 meses por zona inicialmente y luego llegar a caracterizaciones anuales (con equipos permanentes instalados), para cubrir la totalidad de meses del año y detectar variaciones en el comportamiento en función a variables climáticas y de costumbres propias de la población como temporadas de vacaciones, e igualmente se recomienda implementar equipos de medición más robustos, que permitan un mayor almacenamiento de información, y la definición de rangos de toma de datos de consumos diarios a escala sub horaria o al menos horaria inicialmente, para así poder obtener perfiles de consumo reales que sirvan de insumo para modelación de redes existentes, y que permitan conocer de una mejor manera las costumbres propias de consumo de la población en función del tiempo.

- Con la información empleada para el presente estudio, es posible continuar realizando trabajos encaminados principalmente a analizar el tema relacionado con la curva de error óptima de los medidores de agua residenciales, y determinar para los datos disponibles el volumen de agua no contabilizada y por ende el error global de medición generado por la implementación de los actuales equipos de medición de caudal, e igualmente realizar trabajos en compañía con el banco de medidores de la EAAB para estudiar la evolución de la curva de error de dichos medidores a lo largo de los años, para definir e esta manera estrategias de gestión para el parque de medidores de la ciudad en función a su edad de instalación y características metrológicas de los mismos.
- Se requiere ampliar este estudio a usuarios no residenciales, llevar a cabo muestreos a diferentes tipos de consumidores y de esta manera determinar los perfiles y patrones comunes de consumo de cada tipo de usuario, a fin de caracterizar de mejor manera la forma como se consume el agua por los diferentes tipos de usos destinados para la misma, teniendo en cuenta que existen consumidores que representan grandes demandas de agua como son los comerciales e industriales. La información obtenida de estos estudios permitirá proyectar requerimientos de agua para dichos usuarios, así como la idoneidad de los medidores instalados para dichos usos y edificaciones.
- Es importante que la dependencia encargada de la metrología por parte de la EAAB, realice ajustes a los requerimientos técnicos de los micromedidores que se empleen en la medición de consumos de los usuarios residenciales, para que los mismos presenten una curva de error óptima en los rangos en los cuales la población está consumiendo el mayor volumen de agua en las edificaciones, y de ser posible implementar equipos de medición clase C, para de esta manera determinar con mayor exactitud el consumo real de cada usuario.
- Es necesario buscar espacios académicos y gubernamentales para promover el desarrollo de más estudios de este tipo en diferentes ciudades del territorio nacional (de tamaño grande y mediano inicialmente) y presentar los resultados obtenidos en cuanto a caudales de consumo neto de la población, a fin que sean tenidos en cuenta en futuras actualizaciones de las Normas RAS 2000 y NTC 1500.
- Se sugiere adelantar estudios para llevar a cabo un protocolo de calibración y validación del Método de Hunter Unal propuesto por la Universidad Nacional de

Colombia, basado inicialmente en los datos y resultados obtenidos en el presente estudio, a fin de afinar dicha herramienta en lo que respecta a los consumos residenciales de la ciudad de Bogotá, y a futuro contar con una metodología para actualizar los procedimientos de calibración y validación del método en función a estudios de consumos futuros, y a posibles nuevas variables que puedan encontrarse como influyentes para diferentes regiones, como podrían ser el clima y la localización geográfica.

- Se recomienda llevar a cabo estudios relacionados con las costumbres de re-uso de agua de la población así como con la implementación de equipos ahorradores y su impacto en los caudales demandados por la población, pues estos pueden ser el futuro para cimentar las bases de nuevas estrategias de educación y promoción de políticas públicas en pro de la gestión y uso integral y racional del recurso hídrico.

Anexo 1: Caracterización y análisis de encuestas y registros de medición de caudales por estrato y tipo de vivienda Zonas 2 a 5. (Digital)

**Anexo 2: Resultados de la aplicación
de los métodos de cálculo de
Caudales Máximos Probables en las
edificaciones objeto de estudio,
Zonas 2 a 5. (Digital)**

Bibliografía

1. Acero Fonseca, María Cristina. Tesis de maestría “Revisión crítica de lo métodos de diseño de abastecimiento de agua potable al interior de edificaciones”. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, enero de 2009.
2. Advanced Water Distribution Modeling and Management, Section 4.3. HaestadMethods, FirstEdition. 2003.
3. Arocha, Simón. Abastecimientos de agua, Teoría & Diseño. Ediciones Vega.1998.
4. Arregui de la Cruz, Francisco. Tesis Doctoral “Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento”. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. 1998.
5. Asociación Española de Normalización y Certificación, Comité técnico AEN/CTN 149 Ingeniería del Agua. Norma Española UNE 149201 Abastecimiento de agua – Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios. Editada e impresa por AENOR. Madrid-España. Febrero de 2008.
6. Azevedo J., Acosta G. Manual de Hidráulica. Editorial Harla, 1976.
7. Bastidas Delgado, Diana Cristina. Tesis de Grado “Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá”. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, enero de 2009.
8. Betsy Breyer, Heejun Chang, HosseinParadvash. “Land-use, temperature, and single-family residential water use patterns in Portland, Oregon and Phoenix, Arizona”. Portland State University, DepartmentOf Geography 2012.
9. Bowen P. T., Harp J. F., Baxter y J. W. Shull R. D. Residencial Water Use Patterns.Ed American Water Works Association Research Fundation. Denver Colorado. 1993.
10. Castillo Roza, Alexander. Pérez Roa, Edison. Tesis “Estudio para el uso racional de agua en la ciudad universitaria mediante la implementación de un sistema de medición”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2003.
11. Castro Ladino, Nelson Yovani. Garzón Garzón, Jorge Enrique. Tesis de Pregrado “EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES INSTANTÁNEOS EN EDIFICIOS DE DIFERENTE TIPO”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá. 2004.
12. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO –CRA-, “Revista Regulación”, Edición N° 7. Bogotá, Colombia, junio de 2001.
13. Cruz Beltrán, Claudia. Barros Forero, Bibiana. Tesis “Estudio de caudales instantáneos para el diseño de instalaciones de diferente tipo”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2002.

14. Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas México D. F. 1991.
15. EAAB-Dirección de Ingeniería Especializada. "Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá". EAAB, febrero de 2011.
16. Elster Colombia, Leading the world in metering technology. Especificaciones medidor Aquabus Y290.
17. Empresas Públicas de Medellín "EPM". Criterios para definir el diámetro de la acometida y el medidor para urbanizaciones y edificios. EPM, Área vinculación clientes aguas. Versión 3, marzo de 2011.
18. Granados, Jorge. Redes Hidráulicas y Sanitarias en Edificios. Editorial UNIBIBLOS. Bogotá. 2002.
19. <http://www.cra.gov.co>, Página Web de la Comisión de Regulación de Agua Potable.
20. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma NTC 1500 "Código Colombiano de Fontanería". 2004.
21. Joachim Schleich. "Determinants of residential water in Germany". Franunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Virginia Polytechnic institute and State University. Dec 2008.
22. Johannus Janmaat. "Spatial patterns and policy implications for residential water use: an example using Kelowna, British Columbia". University of British Columbia. 2013.
23. Junca Salas, Juan Carlos. Determinación del consumo básico de agua potable subsidiable en Colombia. Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos. Documento 139. 3 de agosto de 2000.
24. Khoi Anh Nguyen. "Development of an intelligent modelo to categorise residential water end use events". Griffin University Australia. February 2013.
25. López R, Abraham S. Cifras de consumo residencial de agua bajo racionamiento en ciudad Coro, Estado Falcón, Venezuela. Centro de Investigación de Recursos Hídricos (CIDRHI), Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXII, No. 3, Septiembre de 2011.
26. L.T. Wong. "Modeling water consumption and flow rates for flushing water systems in high-rise residential buildings in Hong Kong". Hong Kong University. Feb 2006.
27. Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Bogotá. Noviembre de 2000.
28. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDDA). Santiago de Chile. Enero 28 de 2003.
29. Norma SISTEC-EAAB. NP-004" MEDIDORES DOMICILIARIOS DE AGUA POTABLE FRÍA. Bogotá. Julio 03 de 2008
30. Norma SISTEC-EAAB. NS-064-v.0.0 "Monitoreo del servicio de sistemas de acueducto de la EAAB – ESP". Bogotá, Noviembre de 2001.
31. Norma SISTEC-EAAB. NT-001" MEDIDORES DE AGUA POTABLE, DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN. Bogotá. Septiembre 09 de 2009.
32. Ortiz Mosquera, Rafael Orlando. Tesis de Maestría "Estudio de los Caudales Máximos Instantáneos en Edificaciones". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sección Académica de Hidráulica. Bogotá. 2007

33. Palau Estevan, Carmen Virginia. Tesis Doctoral "Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión". Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Valencia España. Abril de 2005.
34. Pancobo, Francisco J. Caudales de cálculo en las instalaciones de distribución de agua. © Francisco J. PancorboFloristán. Barcelona. Abril de 2001.
35. Pérez Carmona, Rafael. Agua, Desagües y Gas para Edificaciones Diseño y Construcción. Ecoe Ediciones. 2005
36. Residential end uses of wáter. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, USA 1999. (352 páginas).
37. Rico Amoróz, Antonio M. Tipologías de consumo de agua en abastecimientos urbano-turísticos de la comunidad Valenciana. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante España. 2007.
38. Roca Suárez, Manuel y Carratalá Fuentes, Juan. Manual de Fontanería. Editorial CA. España. 2002.
39. Rodríguez Díaz, Héctor. Diseños Hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. 2006.
40. S. Surendran. "Peaking demand factor-based reliability analysis of water distribution systems". University of Liverpool. August 2005.
41. Toledo Gutiérrez, Marco A. Tipos de medidores de flujo de agua domiciliarios. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de desarrollo profesional e institucional, subcoordinación de certificación de personal Semarnat. México 2011.