

**CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE CONSUMOS DE  
AGUA DE USUARIOS RESIDENCIALES. CASO DE ESTUDIO:  
BOGOTÁ.**

**DOCUMENTO TESIS DE GRADO**

**Elaborada por:  
DIANA CRISTINA BASTIDAS DELGADO  
Código: 200624422**

**Asesor  
ING. MARIO DÍAZ GRANADOS**



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
BOGOTÁ, ENERO DE 2009**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 INTRODUCCION</b> .....	5
1.1 ASPECTOS GENERALES .....	5
1.2 OBJETIVOS .....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos .....	7
1.3 CONTENIDO.....	7
<b>2 ASPECTOS TECNOS Y TECNOLOGICOS DE LOS APARATOS DE MEDICION</b> .....	9
2.1 CONCEPTOS BASICOS DE MICROMEDIDORES. ....	10
2.1.1 Definiciones Básicas: .....	10
2.1.2 Curva Característica: .....	11
2.2 MICROMEDIDORES CONTAZARA 3000CZ. ....	12
<b>3 METODOLOGIA DEL TRABAJO EN CAMPO</b> .....	14
3.1 DISEÑO DE LA MUESTRA .....	14
3.1.1 Tamaño de muestra para estimar la media con muestreo aleatorio estratificado. ..	15
3.2 TAMAÑO MUESTRAL SELECCIONADO .....	15
3.3 METODOLOGIA DEL TRABAJO EN CAMPO DE TOMA DE DATOS. ....	16
3.4 PROCEDIMIENTOS Y RESPONSABLES: .....	20
3.4.1 Grupo De Coordinación, encargado de las siguientes actividades:.....	20
3.4.2 Grupo De Socialización Y Sensibilización encargado de las siguientes actividades:.....	20
3.4.3 Grupo de Instalación Y Desinstalación De Medidores, encargado de las siguientes actividades.....	20
3.4.4 Grupo de Toma De Datos De Medidores Digitales, encargado de las siguientes actividades:.....	21
3.4.5 Grupo de Verificación De Los Medidores Digitales Para Su Reinstalación En El Ciclo Siguiente:.....	21
3.4.6 Grupo de Procesamiento De Datos Y Resultados:.....	21
<b>4 PROCESAMIENTO DE DATOS</b> .....	23
4.1 DATOS OBTENIDOS CON EL MEDIDOR DIGITAL.....	23
4.2 DATOS OBTENIDOS CON LAS ENCUESTAS .....	26
4.3 PATRONES DE CONSUMO .....	26
4.4 PERFILES DE CONSUMO .....	26
4.5 MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA.....	27
<b>5 RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	28
5.1 PATRONES DE CONSUMO .....	28
5.1.1 Recomendaciones sobre el dimensionamiento y selección de medidores.....	34
5.1.2 Calculo del error de medición .....	36
5.2 PERFILES DE CONSUMO .....	37
5.3 MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA.....	40
5.3.1 Modelo de estimación de consumo de agua para una vivienda de tipo Casa. ....	42
5.3.2 Modelo de estimación de consumo de agua para una vivienda de tipo Apto.....	44
<b>6 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES</b> .....	46
<b>7 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	48

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1	Datos utilizados para el cálculo del tamaño muestral. ....	15
Tabla 3.2	Tamaño Muestral.....	16
Tabla 3.3	Programación por tramos horarios para los medidores .....	19
Tabla 3.4	Ciclos para cambio de medidores .....	19
Tabla 5.1	Patrón de consumo residencial. ....	28
Tabla 5.2	Error de medición de un medidor .....	36
Tabla 5.3	Número de Habitantes por vivienda y dotaciones .....	40
Tabla 5.4	Resumen del modelo.....	43
Tabla 5.5	Coeficientes .....	43
Tabla 5.6	Resumen del modelo.....	44
Tabla 5.7	Coeficientes .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Medidores de Agua domiciliarios utilizados actualmente. ....	9
Figura 2.2.	Curva característica de un medidor de agua potable .....	11
Figura 2.3.	Medidor Contazara CZ 2000 3M.....	12
Figura 2.4.	Curva de Error Medidor Contazara CZ 2000 3M. ....	13
Figura 2.5.	Software Medidor Contazara CZ 2000 3M.....	14
Figura 3.1.	Instalación del Medidor Contazara CZ 2000 3M.....	17
Figura 3.2.	Formato de encuesta realizada en el trabajo en campo.....	18
Figura 5.1.	Curva Patrón de consumo residencial .....	28
Figura 5.2.	Patrón de consumo residencial _Diagrama de caja. ....	29
Figura 5.3.	Curvas Patrón de consumo de todos los estratos .....	30
Figura 5.4.	Consumo de agua medido por vigencia.....	31
Figura 5.5.	Consumo de agua histórico ultimas 6 vigencias.....	31
Figura 5.6.	Caudal máximo instantáneo.....	32
Figura 5.7.	Caudal máximo instantáneo con respecto al consumo. ....	33
Figura 5.8.	Número de puntos hidráulicos por vivienda por estrato.....	34
Figura 5.9.	Análisis de frecuencias de los datos instantáneos de caudal mínimo en litros por hora	34
Figura 5.10.	Curvas de patrón de consumo clasificadas según la magnitud del consumo de agua en m <sup>3</sup>	36
Figura 5.11.	Curva Perfil de consumo día semana de todos los estratos.....	37
Figura 5.12.	Curva Perfil de consumo fin de semana de todos los estratos.....	38
Figura 5.13.	Curva Perfil de consumo macro y micro medición.....	38
Figura 5.14.	Tiempo de registro de agua del medidor .....	39
Figura 5.15.	Consumo de agua por ciclo medido.....	42
Figura 5.16.	Consumo de agua medido versus consumo de agua pronosticado.....	44
Figura 5.17.	Consumo de agua medido versus consumo de agua pronosticado.....	45

# 1 INTRODUCCION

## 1.1 ASPECTOS GENERALES

Para encontrar el equilibrio en producción, consumo y cobro del agua de las empresas públicas es de vital importancia tener mecanismos de medición del consumo. Esta medición se debe realizar desde la producción (macromedición) y cuando se entrega a los usuarios (micromedición).

La macromedición representa la cuantificación de los caudales captados, tratados, conducidos y distribuidos; actividad fundamental para la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración de los sistemas de agua potable. La micromedición estima el volumen consumido de agua de cada usuario con fines de facturación, es la forma eficaz para racionalizar el consumo de agua y permite saber con exactitud la cantidad de agua que se produce y suministra a la red de distribución y la que es consumida por los usuarios, para conservar un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda de agua.

La micromedición es llevada a cabo con la instalación y lectura, a cada usuario, de medidores o equipos de medición. Acorde a la precisión de estos aparatos se puede conocer con mayor aproximación el consumo real de un suscriptor. La información de micromedición proporciona una evaluación permanente de la eficiencia y la calidad en el suministro de agua potable. Una buena especificación de los aparatos de micromedición permite disminuir los errores de medición y por ende el componente de pérdidas comerciales del Índice de Agua no Contabilizada (IANC).

El concepto general del agua no contabilizada se resume en la diferencia entre el agua producida y el agua facturada en un sistema de abastecimiento de agua potable. El índice de agua no contabilizada (IANC) relaciona el agua producida con el agua facturada. El IANC esta formada por las pérdidas técnicas y comerciales que son muchas veces difíciles de determinar, uno de los factores que contribuye al aumento del IANC es el error del registro de los equipos de medición de agua potable.

En Colombia el índice de agua no contabilizada de las empresas prestadoras del servicio de acueducto oscila entre un 40% y 45%, esto refleja la urgente necesidad de identificar y reducir los componentes del mismo.

La curva denominada patrón de consumo de usuarios caracteriza las frecuencias de consumo instantáneo de todos los suscriptores de una localidad, se construye asignando a cada rango de caudales el porcentaje de volúmenes sobre el total consumido dentro de cada intervalo. La grafica

proporciona información útil para el diseño de redes, dimensionamiento de medidores, parametrización de cambio por vida útil de los medidores y cálculo del error de medición, entre otros.

Por otro lado la Curva de perfiles de consumo representa la conducta de consumo de agua en una vivienda, es la representación de la relación entre el caudal de agua que se está consumiendo por habitante y/o usuario y la hora a la que se produce dicho consumo. La gráfica proporciona información útil para conocer la cantidad de agua que se debe producir y suministrar a la red de distribución y la que es consumida por los usuarios.

Las curvas de patrón y perfil son representativas de cada lugar y dependen de los hábitos de consumo, distintas variables pueden influir como el tipo de vivienda, clima, estrato, Número de habitantes, época del año, entre otras. Cada región tiene su propio patrón y perfil de consumo.

Para la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá es de vital importancia establecer patrones y perfiles de consumo y distribuciones estadísticas que permitan investigar su influencia sobre los equipos de medición y sobre los cálculos del Índice de Agua no Contabilizada ya que contribuirán a la consecución de los objetivos de las políticas de gestión de la empresa.

El consumo facturado a cada usuario o suscriptor es el que resulta de la micromedición, sin embargo situaciones como medidores dañados, trabados o usuarios sin medidor, pueden llevar a que el consumo facturado sea establecido por promedios anteriores o simplemente se asigne un consumo promedio estándar sin tener en cuenta ninguna característica del usuario.

El presente estudio es una aproximación a la caracterización de los hábitos de consumo de agua de los usuarios estudiados en la Zona 1 de la ciudad de Bogotá, Colombia, se basa en datos estadísticos obtenidos del desarrollo de una metodología de muestreo y toma de datos en campo con aparatos electrónicos de micromedición. Se presenta la determinación de un modelo de Estimación para establecer el consumo, en m<sup>3</sup>, de agua de un usuario residencial al que no fue posible realizarle lectura de su medidor, además se presentan los patrones de consumo y curvas de perfil de consumo de los mismos usuarios.

El trabajo se basa en los datos obtenidos del trabajo de campo y de la tecnología utilizada para dicho proceso.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Estimar y caracterizar el consumo de agua de usuarios residenciales basado en datos estadísticos obtenidos del trabajo en campo realizado con medidores electrónicos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Obtención de patrones de consumo de los Usuarios del Acueducto de Bogotá.

Obtención de diagramas de variación de consumo ante diferentes situaciones, para usuarios residenciales.

Desarrollar un modelo para la estimación de consumo de agua a un usuario a que no fue posible hacer lectura del medidor.

Determinar rangos de medición reales de los medidores de consumo y selección de las especificaciones técnicas más acordes que conlleven a la disminución de indicadores.

Caracterización de los hábitos de consumo de los usuarios estudiados.

## **1.3 CONTENIDO**

El documento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

El capítulo uno presenta una introducción del tema a tratar en todo el documento, se expone la justificación del proyecto de investigación, los objetivos y la estructura del trabajo.

En el capítulo 2 se hace una incursión en los aspectos técnicos y tecnológicos de los aparatos de medición en general y de los que se utilizaron en la toma de datos del proyecto. Además se hace una relación de la normatividad vigente acerca del tema.

En el capítulo 3 se presenta la metodología utilizada para la ejecución del trabajo de recolección de datos en campo, cálculo del tamaño muestral, procedimientos, equipo de trabajo, responsables y datos obtenidos.

En el Capitulo 4 se presenta el procesamiento de los datos para la obtención de los resultados esperados.

El Capitulo 5 explica los resultados obtenidos, modelo establecido, curvas representativas obtenidas y las influencias de los datos sobre los objetivos propuestos.

El Capitulo 7 se detalla las conclusiones y observaciones al trabajo ejecutado.

## 2 ASPECTOS TECNICOS Y TECNOLOGICOS DE LOS APARATOS DE MEDICION

Los objetivos del presente capítulo son:

Definición de conceptos básicos generales sobre los micromedidores.  
 Explicación sobre el funcionamiento de los aparatos y sus curvas de error.  
 Explicación del funcionamiento de los medidores utilizados para la toma de datos del proyecto.  
 Relacionar las normas, que aplican a Colombia y que están vigentes, sobre el tema de micromedidores.

Es importante enmarcarnos en el tema del presente capítulo ya que ayudara ha entender la importancia del proyecto y la utilidad del mismo.

Los medidores de agua, independientemente de su tecnología, son instrumentos de medición que registran continuamente el volumen del agua que circula a través de ellos.

El Acueducto de Bogotá instala a sus usuarios residenciales medidores de tipo volumétrico y de velocidad, de diámetro, en su mayoría de media pulgada ( $\frac{1}{2}$ " ) (Ver Figura 2.1). Las características técnicas, metrológicas y los requisitos de pérdida de presión para medidores de agua potable fría se especifican en la norma técnica interna NP-004 MEDIDORES DOMICILIARIOS DE AGUA POTABLE FRÍA.



Figura 2.1. Medidores de Agua domiciliarios utilizados actualmente.

Los agentes que intervienen en el diseño de los medidores de agua abarcan materiales de elaboración, la temperatura del agua, las presiones de operación, el rango del caudal deseado, la diferencia de presión a través del medidor al caudal máximo, el rango de humedad y temperaturas ambiente bajo condiciones de operación. Otros factores comprenden el diámetro de la tubería, las conexiones de los extremos, y las limitaciones de instalación.

## 2.1 CONCEPTOS BASICOS DE MICROMEDIDORES.

### 2.1.1 Definiciones Básicas:

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

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

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.

Condiciones límite. CL. Condiciones extremas, incluido el caudal, temperatura, presión, humedad e interferencia electromagnética, IEM, que debe soportar un medidor de agua sin sufrir daño, y sin degradación de sus errores de indicación, cuando se opera posteriormente dentro de sus CON.

Error relativo. Error de indicación dividido por el volumen real, expresado como un porcentaje.

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

Caudal permanente Q3. Mayor caudal dentro de las CON 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 mínimo Q1. El menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP.

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.

### 2.1.2 Curva Característica:

Los medidores de agua se designan en litros por hora, de acuerdo con el caudal mínimo  $Q_1$ , el Caudal de transición  $Q_2$ , el caudal permanente  $Q_3$  y el Caudal de sobrecarga  $Q_4$ .

Todo micromedidor tiene un error de medición. En la Figura 2.2 se muestra una Curva Típica de error en la cual debe funcionar un medidor nuevo.

El medidor no registra consumos en caudales muy bajos, desde un determinado caudal el medidor inicia su movimiento con un error de medición de registro alto, este caudal delimita el Caudal de Arranque del medidor. A medida que el caudal se incrementa el medidor registra una reducción del error de medición llegando a tomar errores positivos de registro hasta llegar a equilibrarse, marcando el error máximo permisible de  $Q_1$ . Entre  $Q_1$  y  $Q_2$  se reduce el nivel de error para ajustarlo al nivel del error de funcionamiento que es el registrado entre el  $Q_2$  y el  $Q_4$ .

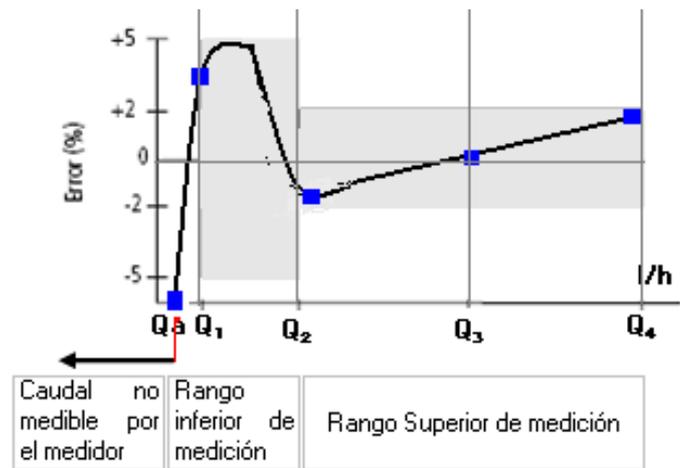


Figura 2.2. Curva característica de un medidor de agua potable

Según la Norma NP-004 de la E.A.A.B se genera la curva de error que se presenta en la Figura 2.2 que muestra que un medidor puede funcionar con  $\pm 5\%$  de error respecto a su caudal  $Q_1$  mientras su funcionamiento este por debajo de  $Q_2$ , una vez se sobrepase  $Q_2$ , el medidor debe responder a un  $\pm 2\%$  de error máximo con respecto al rango de caudal en donde se encuentre funcionando.

La adquisición de un medidor responde a su especificación técnica, se debe detallar la magnitud de los caudales a los que va a funcionar dentro de su

curva característica de error, es decir, que valor debe tener Q1, Q2, Q3 y Q4.

Debe tenerse en cuenta que el medidor debe operar alcanzando Q4 por periodos cortos de tiempo que no afecten su desempeño metrológico cuando opere posteriormente dentro de sus condiciones de operación nominales.

Para que la especificación de un medidor responda a la realidad y por ende la medición de los volúmenes de agua consumidos sea mas precisa, las magnitudes de los caudales de designación deben aproximarse a la conducta de los usuarios.

## 2.2 MICROMEDIDORES CONTAZARA 3000CZ.

Para llevar a cabo la medición de los consumos y la recolección de los datos del proyecto se usaron 80 medidores digitales de ½" disponibles en el la E.A.A.B., con capacidad para registro y almacenamiento de datos, con curva de error ajustada y cercana a cero y capaces de registrar caudal. La utilización de estos equipos y por ende la información que suministran fue una condición definida cuando el proyecto fue planteado. En la Figura 2.3 se muestra el equipo utilizado para el trabajo en campo.



Figura 2.3. Medidor Contazara CZ 2000 3M.

Los medidores Contazara CZ 2000 3M están basados en 3 principios básicos, precisión, información y comunicación. Estos micromedidores conservan sus cualidades a lo largo de toda su vida, manteniendo sus características metrológicas.

El micromedidor CONTAZARA posee un microprocesador electrónico que le permite corregir punto por punto cada uno de los valores de una curva, lo que permite asegurar que cada medidor es preciso incluso caudales inferiores al Q1. (Ver Figura 2.4).

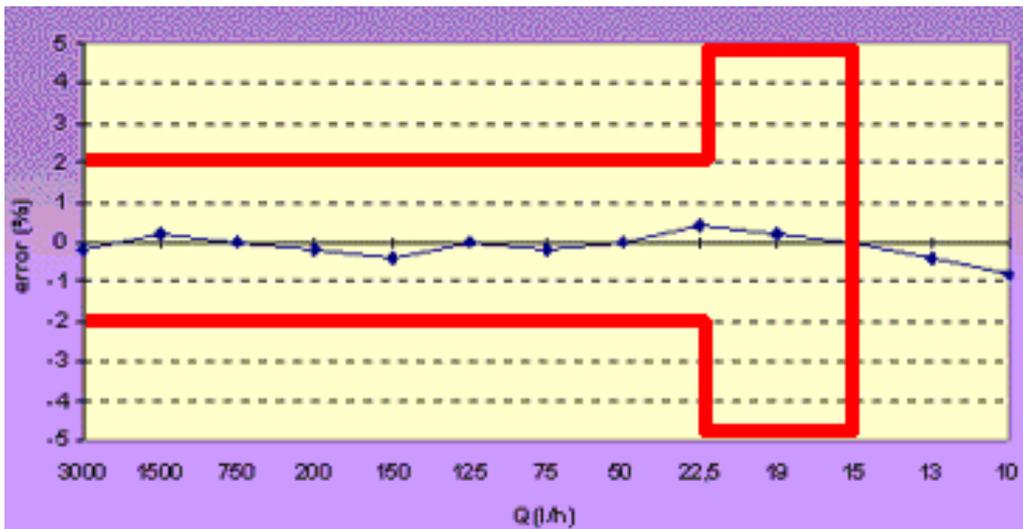


Figura 2.4. Curva de Error Medidor Contazara CZ 2000 3M.

La información que el medidor proporciona se relaciona a continuación:

- El agua registrada por el medidor, índice en metros cúbicos y litros de la última lectura.
- El día y hora en la que se efectuó la última lectura del medidor, la fecha y hora de la actual lectura.
- El tiempo que el medidor registró paso de agua (en horas, minutos y segundos).
- El tiempo que el medidor no registró paso de agua (tiempo dormido).
- El tiempo que el medidor estuvo registrando un consumo a un caudal anormalmente reducido.
- Número de veces que él ha registrado paso de agua. (Arranques).
- Índice registrado en los últimos minutos (bloques de 10min)
- Índice registrado en la última hora.
- Alarma por exceso de consumo.
- Consumo de las últimas cuatro semanas.
- Índice del medidor en una fecha y hora programada.
- Caudal máximo registrado (fecha y hora de la punta máxima).
- Caudal mínimo registrado (fecha y hora de caudal mínimo mantenido).
- Fecha y hora del último arranque.
- El histograma de caudales en función de 8 tramos.
- Consumos de agua en función de las horas y días de la semana.

A través de la información de los medidores se obtuvo toda la serie de datos de gran valor estadístico necesarios para conseguir los objetivos. Estos se procesan mediante el software de los medidores, gratuito y que se esquematiza en la Figura 2.5.

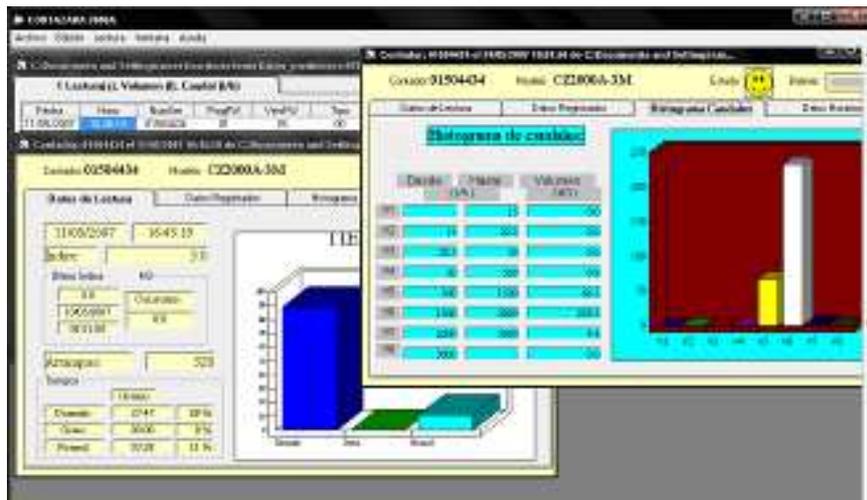


Figura 2.5. Software Medidor Contazara CZ 2000 3M.

En este capítulo se describió las características metrológicas de los micromedidores utilizados actualmente, se dio a conocer el equipo utilizado para el trabajo en campo y las características de la información suministrada por los equipos que hacen posible la obtención de datos que permitan el alcance de los objetivos propuestos.

### 3 METODOLOGIA DEL TRABAJO EN CAMPO

Para el conocimiento de los hábitos de consumo de los clientes residenciales de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el objeto de establecer los perfiles de consumo, es necesario tomar una muestra representativa de la población de usuarios. El estudio se centró sobre los usuarios residenciales cuya medición se realiza a través de micromedidores de  $\frac{1}{2}$ ".

El objetivo del presente capítulo es explicar el cálculo y método utilizado para la determinación del tamaño muestral, importante, ya que demuestra que la muestra es representativa de la población. Además se describe la metodología de toma de datos en campo con el medidor electrónico y los responsables del mismo.

#### 3.1 DISEÑO DE LA MUESTRA

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.

### 3.1.1 Tamaño de muestra para estimar la media con muestreo aleatorio estratificado.

Para estimar la media poblacional utilizando una variable aleatoria continua se utiliza la siguiente relación:

$$n = \frac{S \sum N_i^2 S_i^2 / w_i}{N^2 D + S \sum N_i S_i^2}$$

Ecuación 1.1.

Donde:

- $N_i$  = tamaño del  $i$ ésimo estrato.
- $N$  = tamaño de la población.
- $S_i^2$  = varianza del  $i$ ésimo estrato.
- $w_i$  = importancia o peso del  $i$ ésimo estrato.

$$D = \frac{B^2}{4}$$

$B$  = precisión.

Con los datos suministrados por El Área de Apoyo Comercial del Acueducto de Bogota de volúmenes consumidos por vigencia por uso y por estrato de los años 2004, 2005 y 2006 se obtuvo las respectivas varianzas, sin embargo para el cálculo del tamaño muestral se escogió la mayor de estas y se realizó los cálculos, los datos utilizados se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Datos utilizados para el cálculo del tamaño muestral.

ESTRATO	$N_i$	$S_i$	$w_i^*$
1	113,026	22.44	0.079
2	478,533	22.44	0.334
3	533,175	22.44	0.372
4	185,706	22.44	0.130
5	66,145	22.44	0.046
6	54,859	22.44	0.038
Total=	1,431,444		

## 3.2 TAMAÑO MUESTRAL SELECCIONADO

La selección final del tamaño muestral, calculado por muestreo aleatorio estratificado, correspondió a ciertas restricciones, entre ellas:

Especificaciones del medidor digital, es decir clase y cantidad de información que podían guardar y almacenar los equipos.

Cantidad disponible de usuarios potenciales para el proyecto, el proyecto debió limitarse a la Zona Norte y Occidente de la Ciudad de Bogotá, sectores designados por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B.), como Zona 1 y las instalaciones se realizaron a usuarios que estaban en lista de espera para cambio de medidor.

Debido a inconvenientes presentados en la coordinación y ejecución del trabajo en campo, como accesibilidad a los usuarios disponibilidad de estos para el cambio, se logró tomar datos en un número de usuarios inferior al propuesto, en la Tabla 3.2 se resume el trabajo proyectado y ejecutado.

Tabla 3.2 Tamaño Muestral

Estratos	Número de Usuarios	
	Proyectados	Ejecutados
1	20	0
2	130	86
3	150	168
4	60	50
5	60	28
6	60	17
<b>TOTAL:</b>	<b>480</b>	<b>349</b>

Se aclara que aunque se ejecutaron 349 instalaciones, no todos los datos son útiles, dependiendo del objetivo alcanzado, se utilizaron los antecedentes válidos.

### 3.3 METODOLOGIA DEL TRABAJO EN CAMPO DE TOMA DE DATOS.

Como se explico en el capítulo 2, numeral 2.2, para llevar a cabo la medición de los consumos, y dado que el Acueducto ya contaba con esta tecnología, se utilizó medidores Contazara CZ 2000 3M, capaces de suministrar la información que se necesita para la realización del estudio.

Con cada usuario seleccionado se hizo el siguiente procedimiento:

Se visitó el predio escogido.

Se realizó el cambio de medidor, dejando instalado, por dos semanas, el medidor digital. (Ver Figura 3.1).



Figura 3.1. Instalación del Medidor Contazara CZ 2000 3M.

Se tomaron 3 lecturas del medidor, inicio, semana y final.

Cada medidor se programó para la de toma de datos según el día y hora en que debían guardarse los datos, las programaciones establecidas pueden verse en la Tabla 3.3 que buscan obtener datos de volúmenes de agua consumidos en los rangos horarios establecidos.

Se realizó la encuesta de caracterización de consumo de la Figura 3.2.



ENCUESTA SOBRE CARACTERIZACIÓN DE CONSUMO						
PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE CONSUMO						
Fecha realización encuesta: DD / MM / AA			Numero de Formulario:			
<b>1 Información del Predio</b>			<b>2 Información del Medidor</b>			
Dirección:			Tipo Volumétrico <input type="checkbox"/>	Tipo Velocidad <input type="checkbox"/>		
Barrio:			Tipo Compuesto <input type="checkbox"/>	Localización Muro/Nicho <input type="checkbox"/>		
Zona: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>			Localización Piso <input type="checkbox"/>			
Sector:		Ciclo:	# de Serie:			
Estrato:		# De m2 del area del predio:	Diámetro:		Marca:	
Cuenta Contrato No:			Lectura:			
<b>3 Características de la vivienda</b>			<b>4 Condiciones de Servicio</b>			
Tipo de vivienda: Casa: <input type="checkbox"/> Apto: <input type="checkbox"/>			Las condiciones de presión con que viene el agua del acueducto actualmente le permiten bañarse, operarlos inodoros y tener agua suficiente en cada grifo de la casa simultaneamente ?			
# De personas que permanecen en la vivienda en el día?:			SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
# De personas que permanecen en la noche en la vivienda?:			# Total de Puntos Hidráulicos existentes:			
# De años de la vivienda?:			Grifos: _____ Sanitarios: _____ Duchas: _____ Otro: _____			
Presta servicio de Acueducto a otro predio?			<b>5 Usos del Agua</b>			
Numero de veces por:	Día:	Semana:	Mes:	Años:	Nunca:	NS/NR
# De veces que se bañan los miembros de este hogar						
# De veces que se riegan jardines o huertas, en esta vivienda						
# De veces que se lavan vehiculos o animales, en esta vivienda						
# De veces que se lavan pisos, en esta vivienda						
# De veces que se lava ropa?						
<b>6 Instalaciones Hidráulicas</b>						
# De Tanques de almacenamiento de agua:			# De fugas perceptibles:			
# De lavadoras existentes:						
<b>Observaciones</b>						
<b>Suscriptor</b>			<b>Encuestador</b>			
Nombre:			Hora inicio:		Hora Fin:	
Documento de Identidad:			Nombre Funcionario:			
Teléfono:			Identificación:			
Propietario <input type="checkbox"/>		Arrendatario <input type="checkbox"/>		Firma :		
Firma :						
<b>Testigo</b>						
Nombre:		Documento de Identidad:			Teléfono:	

Figura 3.2. Formato de encuesta realizada en el trabajo en campo.

Debido a las características de los medidores para obtener la información y a los datos que se deben obtener para el proyecto se debe dar una especial importancia en la programación de los medidores y la recolección de la información almacenada por estos, los equipos Contazara permiten la configuración de manera que se pueden guardar los volúmenes consumidos durante 5 tramos horarios, por lo tanto se recogió la información de ciertos tramos respondiendo a la disposición que se muestra en la Tabla 3.3.

Dada la condición de diferencia entre el número de muestras y el número de equipos de medición con los que se contó, se dispuso la toma de muestras por ciclos, cada muestreo compone un ciclo, es decir a cada grupo de trabajo se le entrego un Número de medidores, por el lapso de 2 semanas, lo dejaron instalado tomando los datos, en consecuencia, la fase de toma de

datos del proyecto fue de 7 ciclos y duró aproximadamente 7 meses, dando que entre cada inicio y final ciclo se dejaba pasar una semana.

Tabla 3.3 Programación por tramos horarios para los medidores

A					B					C					D				
Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes	Lunes									
0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
E					F					G					H				
Lunes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes	Martes								
22:00	0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
I					J					K					L				
Martes	Martes	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco	Mierco							
21:00	22:00	0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
M					N					O					P				
Mierco	Mierco	Mierco	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Jueves						
20:00	21:00	22:00	0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Q					R					S					T				
Jueves	Jueves	Jueves	Jueves	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Viene
19:00	20:00	21:00	22:00	0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
U					V					W					X				
Viene	Viene	Viene	Viene	Viene	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad
18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	0:00	2:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Y					Z					AA					BB				
Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Sabad	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin	Domin
17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00
CC					DD														
Domin	Domingo																		
14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00										

Las fechas en que se ejecutaron los ciclos de instalación de los medidores digitales fue la siguiente:

- Ciclo 1: 7 al 22 de junio.
- Ciclo 2: del 28 de junio al 13 de julio
- Ciclo 3: del 19 de julio al 4 de agosto
- Ciclo 4: del 30 agosto al 14 de septiembre
- Ciclo 5: del 21 de septiembre al 5 de octubre.
- Ciclo 6: del 11 al 26 de octubre
- Ciclo 7: del 1 al 9 de noviembre.

En consecuencia se llevo a cabo el trabajo de campo como se indica en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Ciclos para cambio de medidores

	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. Medidores disponibles	80	79	78	78	78	78	78
No. De cuadrillas	4	4	4	4	3	3	4
No. De medidores instalados	52	49	47	50	52	52	47
No. Días	22	22	22	22	22	22	2
No. De grupos de encuestas	4	4	4	4	4	4	4
No. De encuestas realizadas	52	49	47	50	52	52	47

### **3.4 PROCEDIMIENTOS Y RESPONSABLES:**

A continuación se relaciona los procedimientos que se llevaron a cabo y los responsables de los mismos.

#### **3.4.1 Grupo De Coordinación, encargado de las siguientes actividades:**

- Establecer procedimientos.
- Organización de los grupos.
- Coordinación de todos los componentes para la realización del proyecto.
- Establecer planes de contingencia.
- Verificar criterios de selección de la muestra.
- Preparación de rutas y listado de los usuarios que conformaron el tamaño muestral.

Los responsables dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota fueron La Dirección Apoyo Comercial, La Dirección de Ingeniería Especializada, Gestores.

#### **3.4.2 Grupo De Socialización Y Sensibilización encargado de las siguientes actividades:**

Promoción del proyecto, consiste en las opciones adoptadas para que el usuario acepte el cambio de medidor

Encargado de presentación de cartas, actas, firma de las mismas y el diligenciamiento de la encuesta.

Los responsables dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota fueron La Dirección Apoyo Comercial, Las Zonas y los Gestores.

#### **3.4.3 Grupo de Instalación Y Desinstalación De Medidores, encargado de las siguientes actividades:**

- Desinstalación de medidor propiedad del usuario.
- Instalación de medidor digital.

- Desinstalación de medidor digital.
- Instalación del medidor nuevo propiedad del usuario.

Los responsables dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota fueron La Dirección de Servicios Técnicos y los Gestores.

Nota: Cada grupo de trabajo contó con un vehículo y las herramientas y materiales necesarios para llevar a cabo su trabajo.

#### 3.4.4 Grupo de Toma De Datos De Medidores Digitales, encargado de las siguientes actividades:

Encargados de bajar los datos de los de los medidores digitales mediante un computador portátil y una interfase que se conectaba a cualquiera de los 2 conectores telefónicos que posee el medidor, descargando los datos. Se siguió el plan de configuración de los equipos, se bajaba los datos del ciclo correspondiente y se dejaba configurado el equipo para que continuara registrando los datos según la programación planeada.

El responsable dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota fue La Dirección de Servicios Técnicos.

#### 3.4.5 Grupo de Verificación De Los Medidores Digitales Para Su Reinstalación En El Ciclo Siguiente:

Se examinaban los medidores digitales para verificar sus condiciones técnicas y de instalación.

El responsable dentro de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota fue La Dirección de Servicios Técnicos.

#### 3.4.6 Grupo de Procesamiento De Datos Y Resultados:

Los datos entregados por el software de los medidores Contazara CZ 2000 3M y por las encuestas fueron digitalizados y procesados estableciendo la caracterización de los consumos, curvas de patrón de consumo, perfiles de consumo, caudales máximos y mínimos y el modelo de estimación de consumo de agua, entre otros datos de interés.

La responsabilidad del procesamiento de datos fue el compromiso cumplido con la ejecución de la tesis de grado presentada en este documento. Quiero

dar un especial agradecimiento a La Dirección de Ingeniería Especializada del Acueducto de Bogota por toda la colaboración prestada para que este proyecto se hiciera posible.

## 4 PROCESAMIENTO DE DATOS

En la obtención de los datos se presentaron varios inconvenientes, usuarios en desacuerdo con la instalación de medidor, clientes que dañaron algunos equipos, encuestas sin un total diligenciamiento, medidores mal programados, datos perdidos, inconvenientes en la planeación de cada ciclo por la disponibilidad de personal y equipos, entre otros. Esta tesis es el resultado del procesamiento de datos validos, luego de una detallada selección.

Los datos obtenidos del medidor fueron organizados en un archivo en Excel, cada lectura proporciona la siguiente información:

### 4.1 DATOS OBTENIDOS CON EL MEDIDOR DIGITAL

<b>Día:</b>	Fecha de la lectura en formato dd/mm/aaaa.
<b>Hora:</b>	Hora de la lectura en formato hh:mm:ss.
<b>SerNum:</b>	Número de serie del contador (8 caracteres).
<b>Program:</b>	Número de programa del contador (2 caracteres).
<b>Versión:</b>	Versión del programa del contador (2 caracteres).
<b>Tipo:</b>	Tipo de contador (2 caracteres).
<b>Unidad:</b>	Unidades de medida (1 carácter).
<b>Qmax:</b>	Caudal máximo de funcionamiento del contador (Hasta 2 caracteres).
<b>Status:</b>	Bits de estado (4 caracteres). El bit de mayor peso indica el estado de fuga y el de menor peso indica fallo interno del contador. Lo otros dos no se usan.
<b>Batería:</b>	Nivel de carga de la pila (1 dígito)
<b>Reserv:</b>	Información reservada (4 caracteres).No usada.
<b>Contbus:</b>	Contadores en el bus (máximo 2 dígitos)
<b>Índice:</b>	Índice del contador
<b>UltInd:</b>	Índice que tenía el contador la última vez que se actualizó la información extendida.
<b>UltFecha:</b>	Día en que se actualizó por última vez la información extendida en formato dd/mm/aaaa
<b>UltHora:</b>	Hora en que se actualizó por última vez la información extendida en formato hh:mm:ss
<b>Arranques:</b>	Número de veces que el contador ha empezado a contar
<b>TDormido:</b>	Tiempo sin paso de agua en segundos
<b>TGoteo:</b>	Tiempo con paso de agua por debajo del caudal de goteo en segundos

<b>TNormal:</b>	Tiempo con paso de agua por encima del caudal de goteo en segundos
<b>RtcFecha:</b>	Día del reloj-calendario interno en formato dd/mm/aaaa
<b>RtcDds:</b>	Día de la semana del reloj-calendario interno
<b>RtcHora:</b>	A1 Hora del reloj-calendario interno en formato hh:mm:ss
<b>RtcCh:</b>	Cambio horario 0 - Sin cambio horario, 1 - UE , 2 - USA.
<b>DiaRet:</b>	Día programado para la retención del índice en formato dd/mm
<b>HoraRet:</b>	Hora programada para la retención del índice en formato hh:mm
<b>IndRet:</b>	Índice retenido
<b>VmaxAl:</b>	Volumen para alarma
<b>AlarmP:</b>	Periodo de alarma en minutos (máximo 3 dígitos)
<b>IndAlar:</b>	Índice el último periodo de alarma
<b>Alarma:</b>	Estado de la alarma 0-Alarma desactivada, 1-Alarma activada.
<b>XX:</b>	Unidad registro ( 1 dígito)
<b>IndultXX:</b>	Índice en el último cambio de unidad de registro
<b>Vrxx0:</b>	Volumen registrado la ante-ante-penúltima unidad de registro
<b>Vrxx1:</b>	Volumen registrado la ante-penúltima unidad de registro
<b>Vrxx2:</b>	Volumen registrado la penúltima unidad de registro
<b>Vrxx3:</b>	Volumen registrado la última unidad de registro
<b>HistoVol1:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 1
<b>HistoVol2:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 2
<b>HistoVol3:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 3
<b>HistoVol4:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 4
<b>HistoVol5:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 5
<b>HistoVol6:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 6
<b>HistoVol7:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 7
<b>HistoVol8:</b>	Volumen del histograma de caudales tramo 8.
<b>IdUltHora:</b>	Índice en el último cambio de hora
<b>IDdS1:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 1
<b>FDdS1:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 1
<b>IH1:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 1
<b>FH1:</b>	Hora de final del tramo horario número 1

<b>VR1:</b>	Volumen del tramo horario número 1
<b>IDdS2:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 2
<b>FDdS2:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 2
<b>IH2:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 2
<b>FH2:</b>	Hora de final del tramo horario número 2
<b>VR2:</b>	Volumen del tramo horario número 2
<b>IDdS3:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 3
<b>FDdS3:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 3
<b>IH3:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 3
<b>FH3:</b>	Hora de final del tramo horario número 3
<b>VR3:</b>	Volumen del tramo horario número 3
<b>IDdS4:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 4
<b>FDdS4:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 4
<b>IH4:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 4
<b>FH4:</b>	Hora de final del tramo horario número 4
<b>VR4:</b>	volumen del tramo horario número 4
<b>IDdS 5:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 5
<b>FDdS5:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 5
<b>IH5:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 5
<b>FH5:</b>	Hora de final del tramo horario número 5
<b>VR5:</b>	Volumen del tramo horario número 5
<b>IDdS6:</b>	Día de la semana de inicio del tramo horario número 6
<b>FDdS6:</b>	Día de la semana de final del tramo horario número 6
<b>IH6:</b>	Hora de inicio del tramo horario número 6
<b>FH6:</b>	Hora de final del tramo horario número 6
<b>VR6:</b>	Volumen del tramo horario número 6.
<b>QminR:</b>	Caudal mínimo registrado en l/h
<b>QminF:</b>	Día del caudal mínimo en formato dd/mm/aaaa
<b>QminDdS:</b>	Día de la semana del caudal mínimo
<b>QminH:</b>	Hora del caudal mínimo en formato hh:mm:ss
<b>QmaxR:</b>	Caudal máximo registrado en l/h

<b>QmaxF:</b>	Día del caudal máximo en formato dd/mm/aaaa
<b>QmaxDdS:</b>	Día de la semana del caudal máximo
<b>QmaxH:</b>	Hora del caudal máximo en formato hh:mm:ss
<b>FUltArr:</b>	Día del último arranque en formato dd/mm
<b>HUltArr:</b>	Hora del último arranque en formato hh:mm

## 4.2 DATOS OBTENIDOS CON LAS ENCUESTAS

Los datos obtenidos de las encuestas se digitaron en una hoja de calculo y son relacionados con los datos del medidor correspondiente a través del Número de identificación del usuario en la empresa (cuenta contrato). Los datos recogidos son 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, Área, Número de habitantes, edad.
- Número de puntos hidráulicos.
- Usos del Agua para baños, riego de jardines, pisos y ropa.

## 4.3 PATRONES DE CONSUMO

Para la determinación de los de patrones de consumo se utilizaron 598 lecturas, que corresponden a los 349 usuarios efectivos, algunos de ellos cuentan con datos completos de las dos semanas, otros solo tienen datos de una semana.

Las graficas de patrón de consumo por estrato, representan el promedio de todos los usuarios y se trazan en ocho tramos de caudal, en litros por hora.

Adicionalmente se realizó un análisis de frecuencias con los datos instantáneos de caudales máximos y mínimos.

## 4.4 PERFILES DE CONSUMO

Para la determinación de la curva de perfil de consumo se utilizaron 571 lecturas, cada una de estas lecturas aporta datos de volumen consumido en cinco tramos horarios, con la combinación de todas las lecturas y la normalización del volumen por habitante se construyó una curva de Caudal horario versus la hora a la cual se realizo dicho consumo.

Debido a la poca cantidad de datos para cada tramo horario solo se estableció una curva de perfil de consumo de todos los usuarios, sin distinción de estrato, para cada día de la semana y curvas agregadas. Cada curva esta normalizada para un habitante.

Con los datos medidos de tiempo total de registro y los datos de número de habitantes obtenidos en la encuesta, se calculó dotación por habitante y por estrato. Además, se calcularon datos de interés como caudales promedio, consumos promedios, Número de habitantes promedio, entre otros que se muestran el aparte de Resultados Obtenidos de este documento.

#### **4.5 MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA**

Para la determinación del modelo de Estimación de consumo de agua se utilizaron datos de 155 suscriptores, estos usuarios contaban con todos los datos necesarios para el cálculo.

El modelo se estableció mediante un análisis de regresión múltiple, explicando la variable dependiente, es decir, el consumo en metros cúbicos por usuario por vigencia, a través de las variables independientes, consumo histórico, Número de habitantes, estrato, tipo de vivienda, área de la vivienda y Número de puntos hidráulicos.

Para los cálculos se utilizó el software estadístico SPSS por el método paso a paso.

Los datos obtenidos de los medidores y las encuestas fueron estudiados y clasificados, cada uno según el objetivo que se quería alcanzar, por ello para algunos resultados obtenidos existen mas datos que para otros. Las encuestas no fueron diligenciadas totalmente por lo que para el modelo de estimación de consumo de agua solo se utilizaron datos válidos y completos.

## 5 RESULTADOS OBTENIDOS

El objetivo del presente capítulo es presentar los resultados obtenidos con el desarrollo de la tesis y consecuencia del procesamiento de los datos tomados a los usuarios que formaron parte del tamaño muestral del proyecto. Este capítulo presenta el alcance de los objetivos planteados con la tesis.

### 5.1 PATRONES DE CONSUMO

Se calculó un único patrón de consumo que caracteriza la demanda de agua en todos los estratos con excepción del estrato 1 del que no se obtuvo ningún dato. Este patrón de consumo se muestra en la Tabla 5.1 y en la Figura 5.1.

Tabla 5.1 Patrón de consumo residencial.

Rangos de caudal (l/h)	% de volumen consumido	% de volumen Acumulado
0-15	3,41%	3,41%
15-22.5	4,13%	7,54%
22.5-50	3,70%	11,25%
50-500	51,73%	62,98%
500-1500	35,90%	98,88%
1500-2000	0,86%	99,74%
2000-3000	0,26%	100,00%
3000+	0,00%	100,00%

Como se observa en la Figura 5.1 el mayor porcentaje de volumen se consume en los rangos de caudal 50-500 l/h y 500-1500 l/h ; por debajo de este último ya se ha consumido el 98.88% del volumen total de agua. El volumen de agua consumido por encima de los 3000 l/h solo representa un 0,004% correspondiente a 15 lecturas.

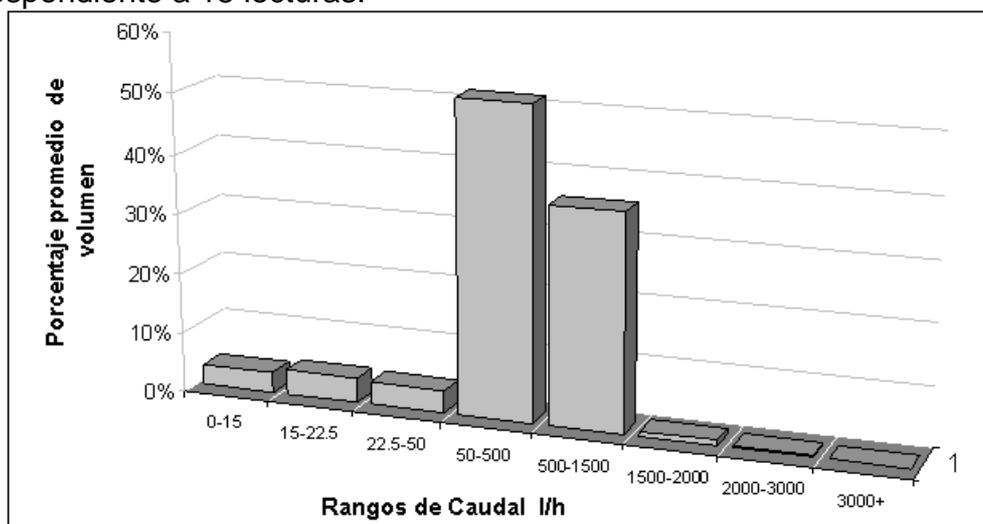


Figura 5.1. Curva Patrón de consumo residencial

Se utilizaron ocho (8) rangos de caudal en l/h . De 0-15, de 1 a 22.5, de 22.5 a 50, 50-500, 500-1500, 1500-2000 de 2000-3000 y mayores de 3000. Estos 8 tramos son consecuencia de la programación definida desde la fabricación en los equipos digitales y que no podía modificarse para discretizarse de forma diferente.

Para hacer una mejor representación de los datos obtenidos se utilizara un diagrama de caja que permiten identificar la distribución y la dispersión de los datos de una variable, con este gráfico se representa la mediana, los valores atípicos y los valores extremos, el límite superior corresponde al valor del tercer cuartil y el límite inferior al primer cuartil.

En la Figura 5.2, los círculos en la grafica representan los valores atípicos y los asteriscos representan los valores extremos, la línea negra dentro de las cajas representa el promedio de los datos, el 50% de los datos están dentro de la caja y el 95% de los datos que se cubren desde los límites de los bigotes.

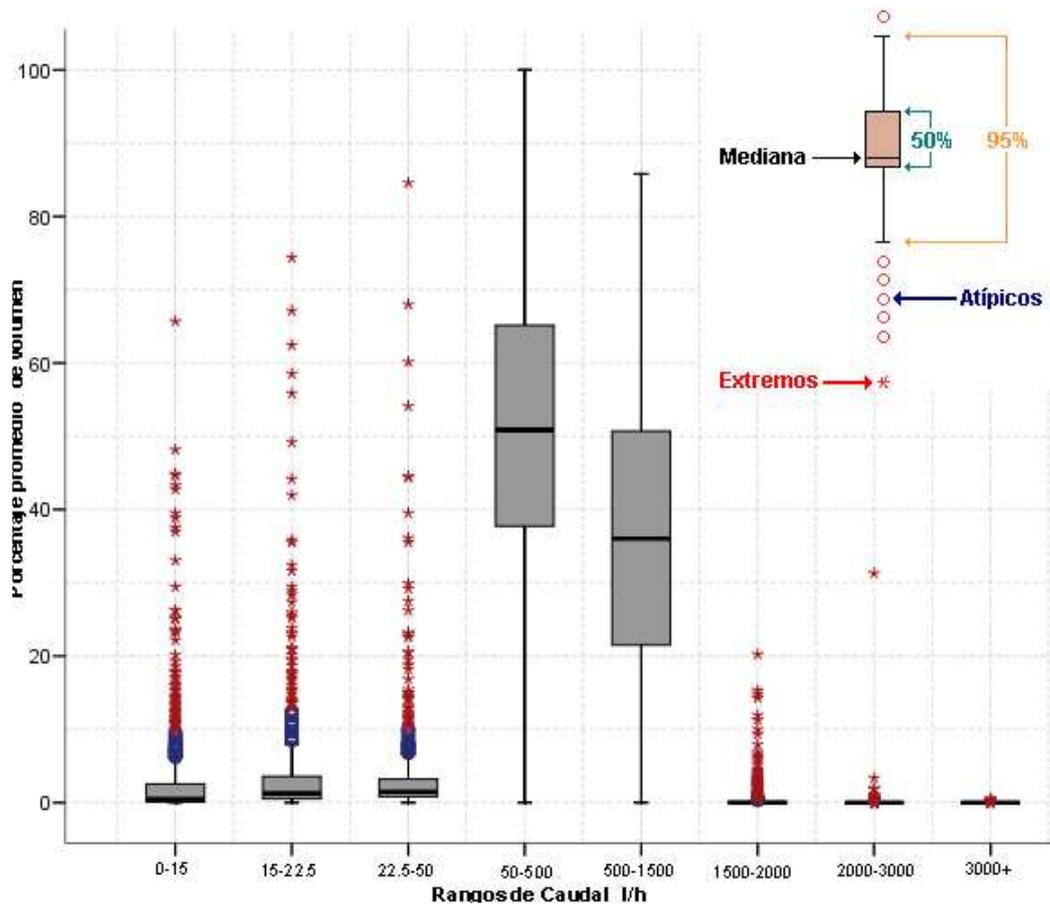
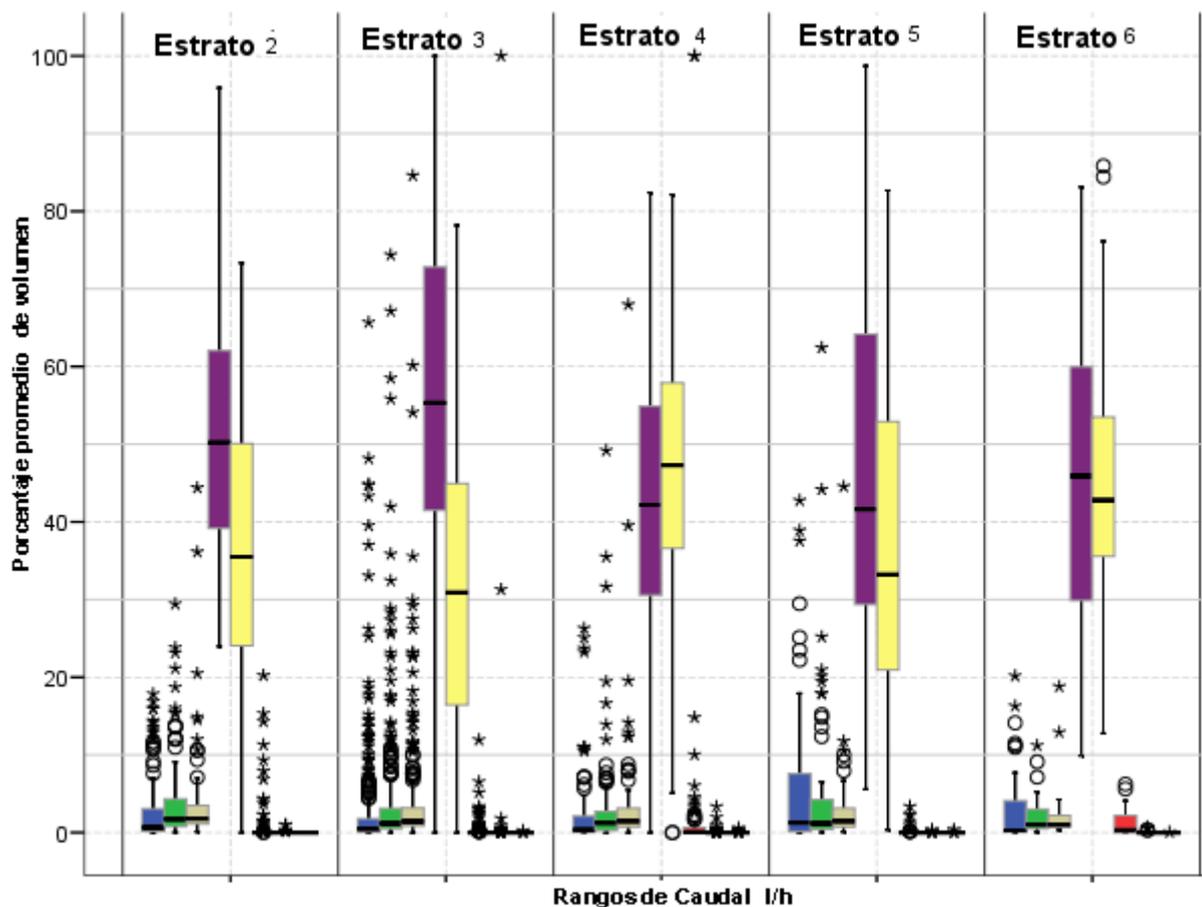


Figura 5.2. Patrón de consumo residencial \_Diagrama de caja.

Se puede observar el bajo porcentaje de volumen consumido en los últimos tres rangos, de aproximadamente el 1% del total. Los dos rangos más

representativos son el 50-500 l/h y el 500-1500 l/h , en ellos ocurre el mayor porcentaje de consumo de agua, cerca del 87%. El consumo en el primer rango es de más del 3% del volumen total, lo que evidencia la importancia de contar con aparatos de micromedición con valores de caudales de arranque y Q1 lo más bajo posible. Estos caudales bajos son, también, evidencia de fugas en las viviendas porque son resultado de goteos.

El patrón de consumo por debajo de 50 l/h y por encima de 1500 l/h es similar en todos los estratos estudiados. El porcentaje de volumen consumido por debajo de 50 l/h oscila entre el 8% y el 16% y el utilizado por encima de 1500 l/h esta comprendido entre el 0,24% y el 2.9%. Los dos rangos entre los cuales sucede el mayor consumo de agua fluctúan entre el 84% y el 91%, como se observa en la Figura 5.3 el rango 50-500 l/h y el 500-1500 l/h ocurren de forma distinta dependiendo del estrato, exceptuando el estrato 4, conservan la tendencia a consumir mayor volumen en el rango 50-500 l/h .



El volumen de agua que se utiliza en cada vivienda no difiere mucho dependiendo del estrato. En la Figura 5.4 se observa la representación de los consumos por vigencia, medidos con los medidores digitales, de los cinco

estratos estudiados, los consumos en promedio oscilan entre 24m<sup>3</sup> y 26m<sup>3</sup> aproximadamente.

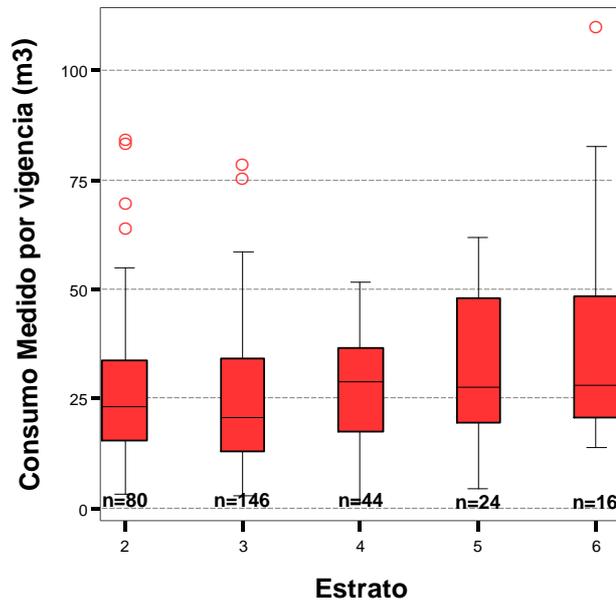


Figura 5.4. Consumo de agua medido por vigencia

Como se puede ver en la Figura 5.5, los datos históricos de consumo promedio de las últimas 6 vigencias para los mismos usuarios muestran un comportamiento diferente a la de la Figura 5.4, los consumos medidos son mayores a los históricos.

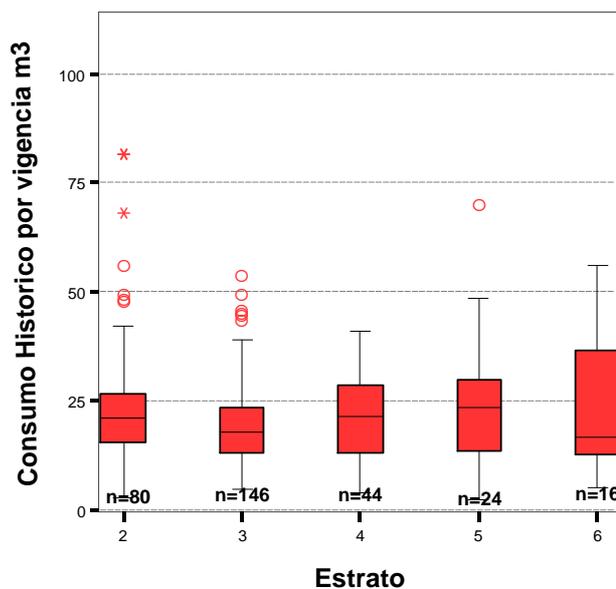


Figura 5.5. Consumo de agua histórico ultimas 6 vigencias

En cuanto a los caudales máximos instantáneos estudiados se obtuvo 450 datos validos, se pudo establecer que el 70% de los valores se encuentran en el rango de 500-1500  $l/h$  y el 17% en el de 1500-2000  $l/h$  , solo el 5% de los datos sobrepasa un caudal máximo de 2300  $l/h$  . En la Figura 5.6 se observa la distribución de los datos de caudal máximo por estratos, existe una tendencia a mostrar un mayor caudal máximo en el estrato 4, 5 y 6.

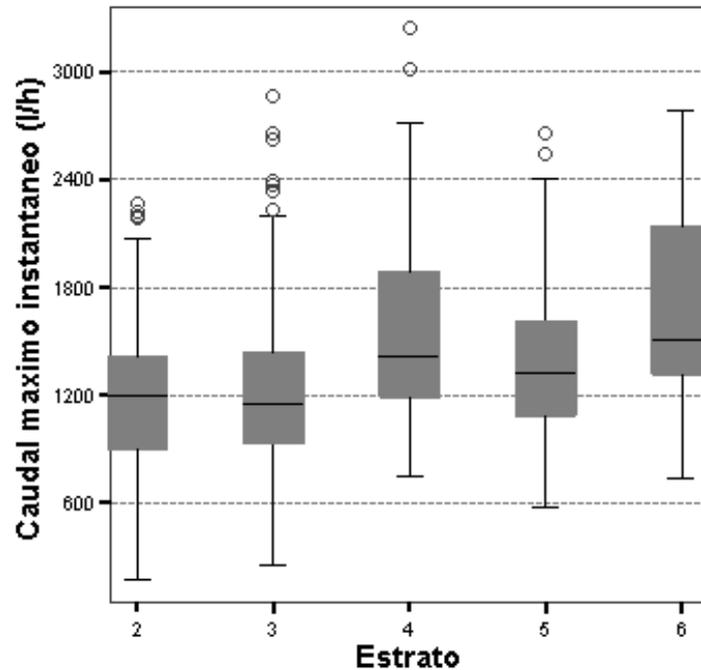


Figura 5.6. Caudal máximo instantáneo

En cuanto a la relación entre caudal máximo y consumo, existe una correspondencia directa, el valor de caudal máximo no es independiente del valor del consumo total de un usuario. Como se puede ver en la Figura 5.7 se presenta una tendencia a que entre mayor consumo de agua, en metros cúbicos por ciclo instalado, mayor es el caudal máximo.

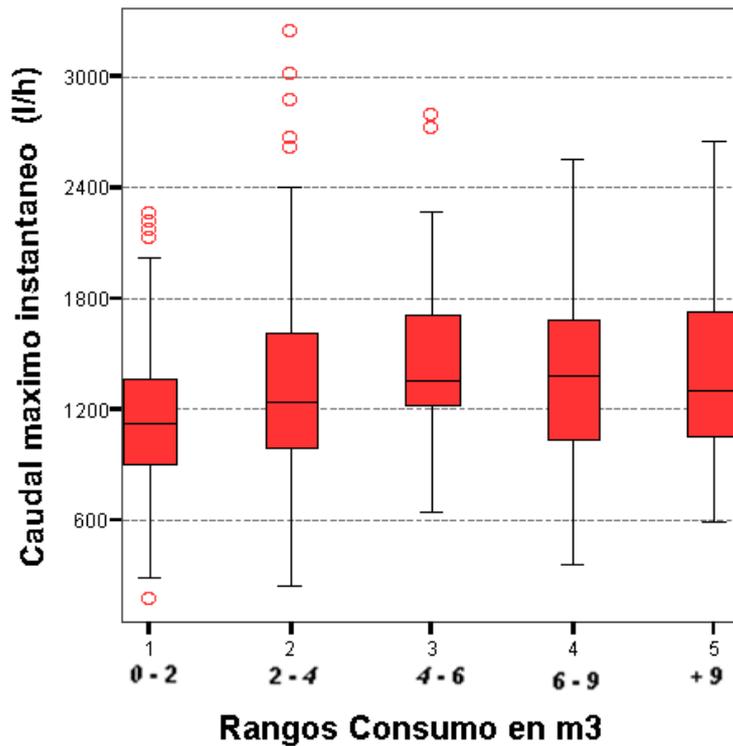


Figura 5.7. Caudal máximo instantáneo con respecto al consumo.

Se detectaron diferencias entre los estratos en las características de las instalaciones interiores, los estratos 4, 5 y 6 son los que mayor número de puntos hidráulicos poseen. (Ver Figura 5.8). Se encontró que las casas y apartamentos en promedio tienen el mismo número de puntos hidráulicos y que no hay diferencia de esta variable si las viviendas son construcciones viejas de más de 10 años o son construcciones nuevas.

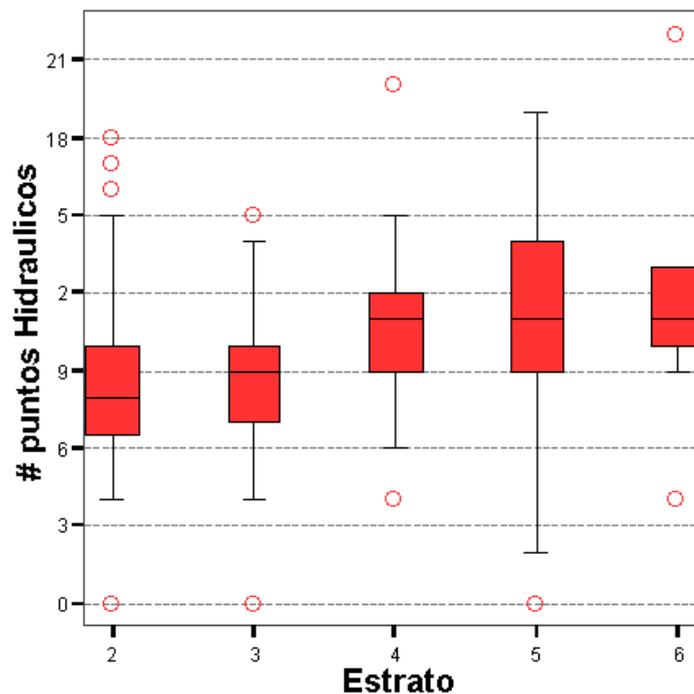


Figura 5.8. Número de puntos hidráulicos por vivienda por estrato

De los 470 datos válidos obtenidos con el valor del caudal mínimo registrado para cada usuario, se puede concluir que el 75% de los datos se encuentran por debajo de 15 l/h .

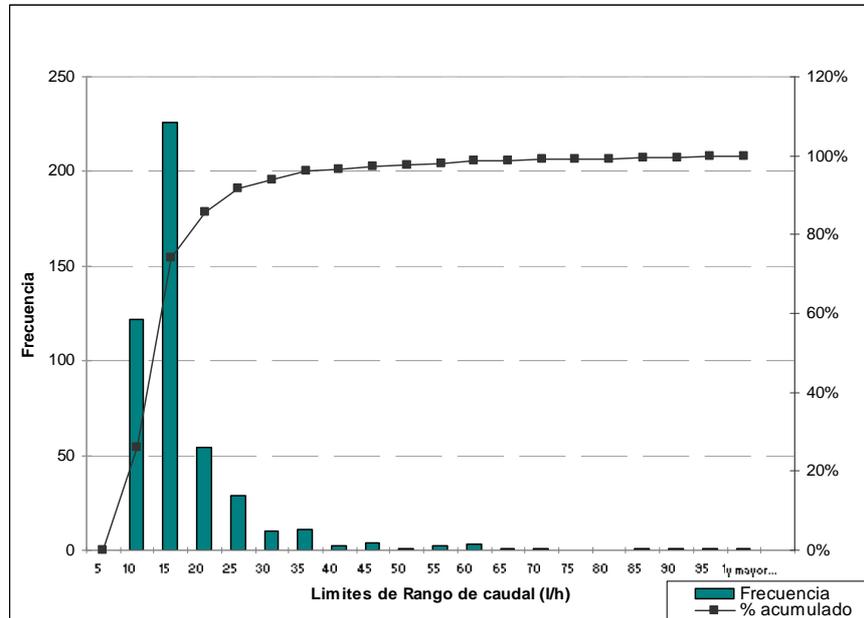


Figura 5.9. Análisis de frecuencias de los datos instantáneos de caudal mínimo en litros por hora

### 5.1.1 Recomendaciones sobre el dimensionamiento y selección de medidores.

Se recomienda la utilización de aparatos de medición que conserven sus características metrológicas durante toda su vida útil y que además que los errores máximos permisibles dentro de los cuales puedan trabajar sean lo más bajos posibles.

Para escoger los medidores que técnicamente se ajustan a las necesidades de medición se debe observar cuidadosamente el patrón de consumo característico de los usuarios residenciales y prestar especial atención al porcentaje de volumen que se consume a caudales bajos y a los caudales altos.

El Q1, menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del error máximo permisible, debe ser lo más bajo posible, un valor por encima de 15 l/h implica que el aparato deja de medir con precisión cerca del 3,4% del volumen total consumido.

El valor de Q3, que es el caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible no debe ser menor que 1500 l/h según los datos obtenidos en el muestreo.

Debe estudiarse de manera mas detalla el comportamiento del consumo de agua dentro del rango 500-1500 l/h para determinar de forma más precisa el valor de Q3. La determinación del valor de Q3 es independiente del valor del consumo total de un usuario, con los datos se demuestra que a mayor valor de consumo de agua, este se sigue consumido en su mayor parte en los rangos entre 50-500l/h y 500-1500l/h.

Por lo expuesto en la Figura 5.10 se determina que de los ocho rangos estudiados en este proyecto, cuando aumenta el consumo de agua no se varia el valor de consumo promedio de agua en los últimos tres rangos de caudal, sino que existe un cambio de consumo en los tres primeros rangos, haciéndose mayor. Este cambio en el comportamiento de los tres primeros rangos podría reflejar que a mayor consumo de agua de un usuario, mayores son las fugas que se presentan en su vivienda.

El Q4 tiene una relación directa con el consumo total, a mayor consumo de agua mayor caudal máximo. Debido a que los caudales máximos medidos en el proyecto llegan, hasta los 2000l/h , la especificación técnica de Q4 podría relacionarse con el consumo de agua y no con Q3 como actualmente se presenta en la norma NP 004, ya que la relación Q4/Q3 actual, dejaría el valor de Q4 muy bajo.

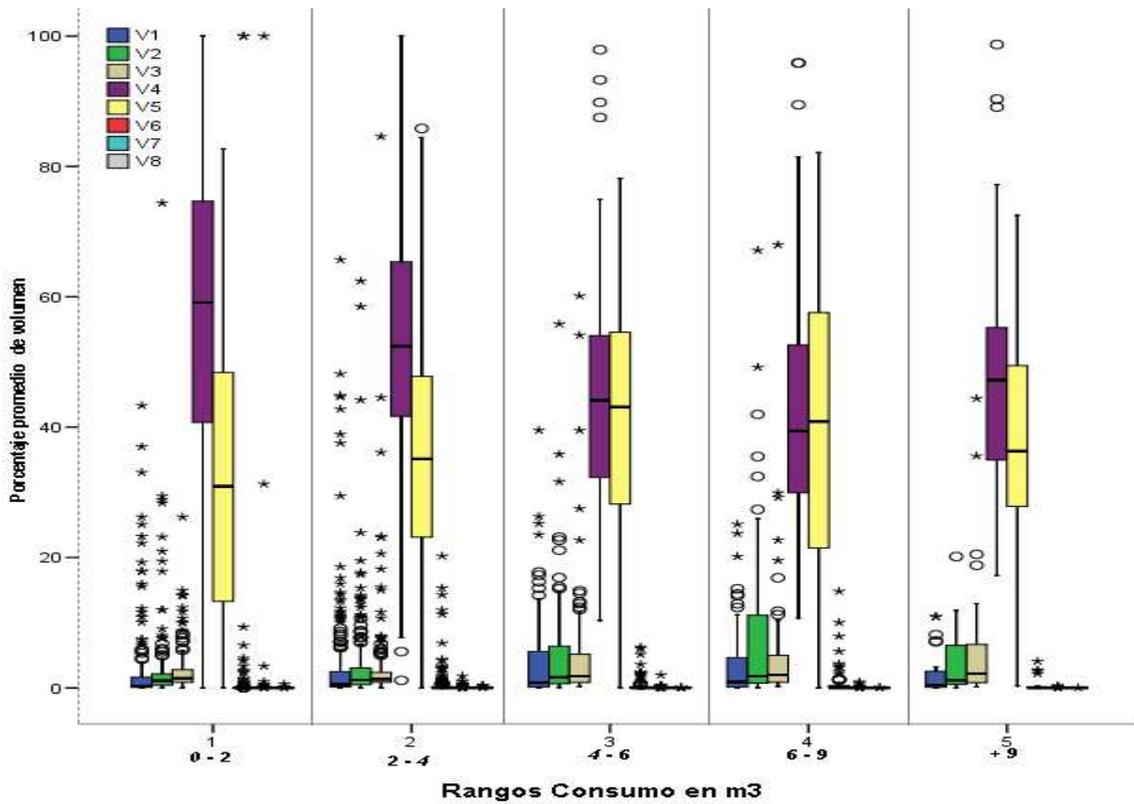


Figura 5.10. Curvas de patrón de consumo clasificadas según la magnitud del consumo de agua en m3

### 5.1.2 Calculo del error de medición

Con la curva de patrón estimada para los usuarios de la Zona 1 de la ciudad de Bogotá se puede calcular el error de medición de un medidor nuevo. En la Tabla 5.2 se observa que el porcentaje de consumo no medible por los micromedidores es del 3,41% y el porcentaje de consumo en el rango medible es de 2,06%, el total podría alcanzar un +/-5,47%, lo que indica que aun cuando un medidor es nuevo deja de medir un porcentaje del volumen de agua que pasa por el. Este porcentaje de agua crece cuando el medidor va perdiendo su vida útil y representa perdidas comerciales para la empresa.

Tabla 5.2 Error de medición de un medidor

Rango de Consumo	Consumo no medible por el medidor	Consumo medible por medidor	
		Consumo en rango de flujo inferior	Consumo en rango de flujo Superior
	0- Qarr	Q1-Q2	Q2-Q4
Patrón de Consumo	3,41%	4,13%	92,46%
Error medio medidor	100%	+/-5%	+/-2%
Error de medición	3,41%	0,21%	1,85%
<b>Total</b>		<b>5,47%</b>	

## 5.2 PERFILES DE CONSUMO

Con los datos recogidos en el trabajo en campo se realizó una aproximación de la curva que señala el caudal en litros por hora que es consumido a lo largo del día por un habitante, en la Figura 5.11 se presenta la curva para cada día de semana y una curva promedio, resultado del promedio de 95 datos por cada hora a lo largo de un día de la semana. Los datos de volúmenes de agua consumidos se convierten a caudal dividiéndolos entre 1 hora, tramo en el que se registro dicho consumo, razón por la cual los picos reflejados en las figuras son menores a los efectivamente realizados y a los mostrados como caudales máximos y caudales promedios.

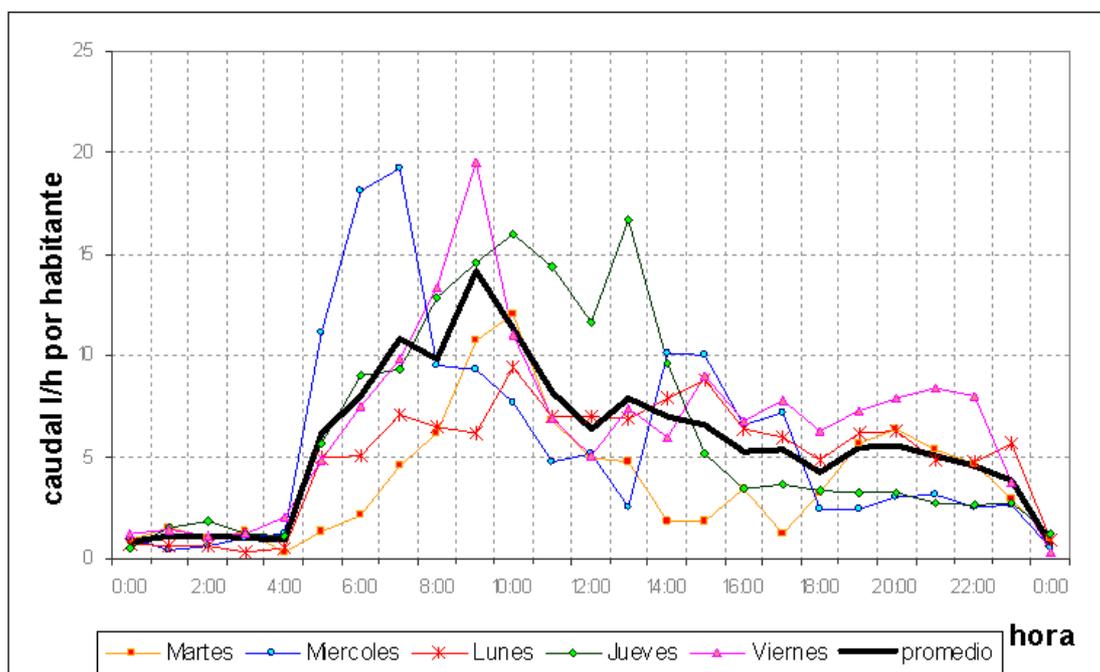


Figura 5.11. Curva Perfil de consumo día semana de todos los estratos

En la Figura 5.12 se presenta la curva para el día sábado y el día domingo y una curva promedio, resultado del promedio de 38 datos por cada hora a lo largo del día, igual que la anterior, los datos de volúmenes de agua consumidos se convierten a caudal dividiéndolos entre 1 hora, tramo en el que se registro dicho consumo, razón por la cual los picos reflejados en las figuras son menores a los evidentemente realizados.

Los datos de la Figura 5.11 y la Figura 5.12 muestran consumos muy bajos en horas de la madrugada, alrededor de las 4 de la mañana el consumo y por ende el caudal comienza a crecer, las curvas no muestran consumos en cero debido a que resultan de un promedio de los datos recogidos. Las curvas de los días de lunes a viernes, a excepción del día miércoles, exponen picos de caudal y consumo alrededor de la 9 y 10 de la mañana, luego van disminuyendo su caudal progresivamente a lo largo del día y se mantienen

relativamente constantes hasta que en la noche, alrededor de las 12 p.m. disminuyen nuevamente hasta valores muy bajos.

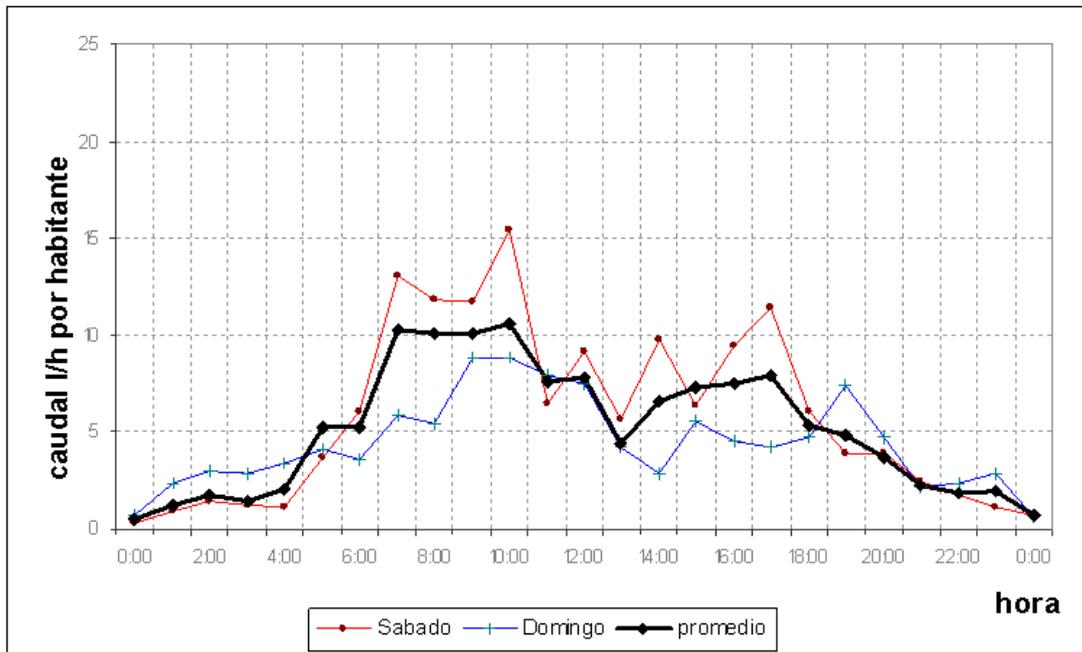


Figura 5.12. Curva Perfil de consumo fin de semana de todos los estratos

Los consumos de los fines de semana muestran un menor consumo con respecto a los días de la semana, el caudal es mas uniforme y mas bajo.

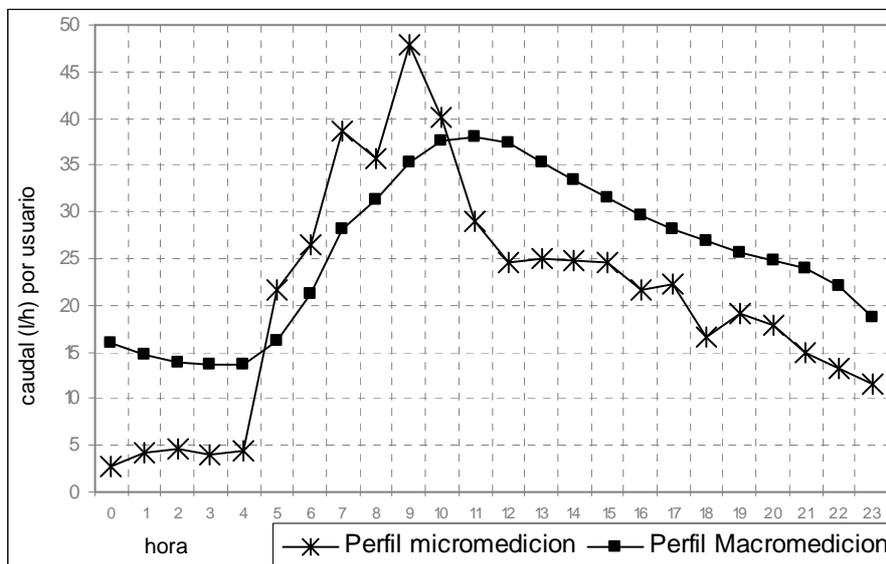


Figura 5.13. Curva Perfil de consumo macro y micro medición.

La Figura 5.13 representa datos de macromedición de la empresa convertidos a caudal en litros hora por usuario, y datos de micromedición basados en una aproximación con los datos de las curvas representadas en la Figura 5.11 y

Figura 5.12, teniendo en cuenta que el estudio arroja un dato de 3,6 habitantes por vivienda. La curva de macromedición presenta mayores consumos en horas de la madrugada, la posible causa serian las presiones en la red que favorecen la presencia de fugas, lo mismo ocurre en horas de la tarde y la noche. En la curva de micromedición se pueden observar picos de caudal entre las 6 y las 10 de la mañana, únicos valores que sobrepasan la curva de macromedición.

Tal y como se observa en la Figura 5.14 el tiempo en el cual el medidor estuvo registrando paso de agua, con respecto al tiempo total que estuvo instalado, en promedio, es cercano al 10%. El 95% de los datos no sobrepasan el 25% del tiempo total de uso.

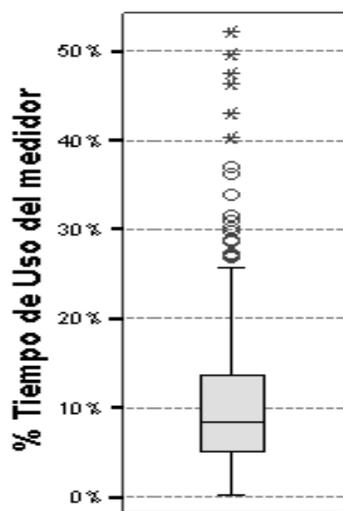


Figura 5.14. Tiempo de registro de agua del medidor

En promedio el caudal de consumo de agua por usuario, calculado de la división entre el consumo total por usuario en el tiempo en el que el medidor digital estuvo instalado y el tiempo de registro del agua del medidor mientras estuvo instalado es de  $204l/h$ . El equipo de medición en promedio registró paso de agua (arranques) 1000 veces por semana.

Con los datos obtenidos se pudieron establecer los parámetros de número promedio de habitantes por vivienda y Dotación promedio para cada estrato mostrados en la Tabla 5.3, el número de habitantes es mayor en el estrato 2 y similar para los demás estratos, la magnitud de la dotación se incrementa a medida que el estrato es mayor. El valor promedio total de la dotación medida es mayor que el calculado con los históricos de consumo cuyo valor es de  $93,51 l/h ab./día$ .

Tabla 5.3 Número de Habitantes por vivienda y dotaciones

Estratos	Número de habitantes por vivienda	Dotación Medida l/h ab/día
2	4,4	100,5
3	3,2	122,8
4	3,4	136,2
5	3,6	149,0
6	3,6	176,1
Promedio	3,6	122,4

Los datos obtenidos sirven para propósitos de diseño de redes y para calibración de modelos hidráulicos.

### 5.3 MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA.

El Análisis de Regresión Lineal Múltiple permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes. El análisis de regresión lineal múltiple se acerca más a situaciones de investigación real puesto que los acontecimientos, hechos y asuntos sociales son confusos y deben ser explicados por una serie de variables que participan en su ejecución.

El estudio realizado para determinar el modelo es un análisis de regresión múltiple y para ello fue utilizado el programa estadístico SPSS.

En el análisis de regresión lineal múltiple, utilizado para el propósito de este modelo, el planteamiento de su correspondiente ecuación se realiza escogiendo las variables una a una por el método, "paso a paso", que el programa SPSS permite aplicar. El objetivo es examinar de entre todas las posibles variables aquellas que expliquen a la variable dependiente sin que ninguna de ellas sea combinación lineal de las restantes. Este análisis implica que:

En cada paso solo se incluye la variable que obedece a unos criterios de entrada.

En cada paso se estima si las variables cumplen criterios de salida.

En cada paso se evalúa la bondad de ajuste de los datos al modelo de regresión lineal y se calculan los parámetros del modelo verificado en dicho paso.

El proceso comienza sin ninguna variable independiente en la ecuación de regresión y el proceso termina cuando no queda ninguna variable fuera de la ecuación que complazca el criterio de selección, esto garantiza que las variables elegidas son significativas.

Para la determinación del modelo de estimación de consumo de agua, objetivo de la tesis, en una vivienda se estudiaron las siguientes variables, recogidas en el trabajo en campo:

- Consumo Medido
- Consumo Histórico
- Estrato
- Número de personas que permanecen en el día en la vivienda.
- Número de personas que permanecen en la noche en la vivienda.
- Número de habitantes por vivienda
- Edad de la vivienda
- Tipo de Vivienda
- Área de la Vivienda
- Ciclo de instalación del medidor digital.
- Número de grifos en la vivienda
- Número de sanitarios en la vivienda
- Número de duchas en la vivienda
- Número de tanques en la vivienda
- Número de lavadoras en la vivienda
- Número de otros puntos hidráulicos en la vivienda
- Número Total de puntos hidráulicos en la vivienda
- Número de veces que los habitantes se bañan al mes.
- Número de veces que se riegan los jardines al mes.
- Número de veces que se lavan los vehículos al mes.
- Número de veces que se lavan los pisos al mes.
- Número de veces que se lava la ropa al mes.

Para explicar porque se excluyeron algunas las variables se toma de ejemplo del ciclo de instalación, como herramienta para determinar si las fechas son una variable significativa. Como se explicó anteriormente se ejecutaron 7 ciclos de instalación desde el 7 de junio de 2008 hasta el 9 de noviembre del mismo año. En la Figura 5.15 se observa que los promedios de los consumos semanales son similares para todos los ciclos, siendo levemente mayores los consumos de los ciclos 3 y 5, por lo que se concluye que en el periodo medido las fechas a las que se ejecutan no son variables significativas.

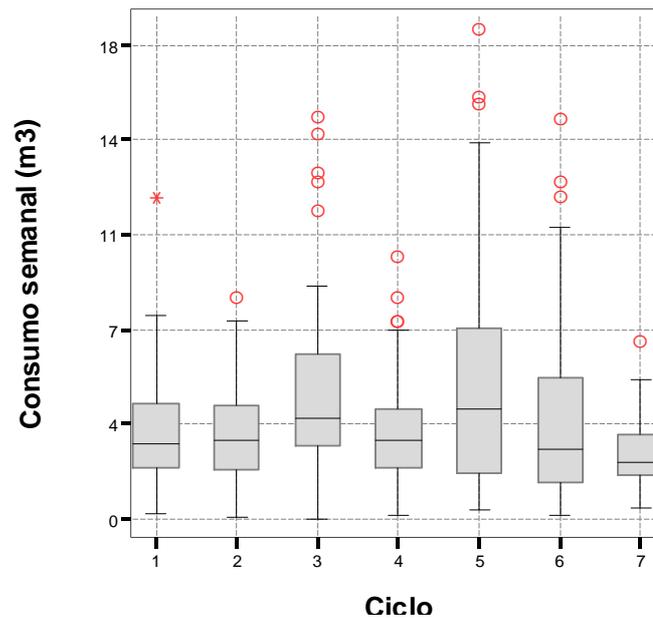


Figura 5.15. Consumo de agua por ciclo medido.

Luego de estudiar la significación que cada variable y determinar la relación y grado de asociación entre una variable dependiente y sus variables explicativas, se incluyeron dentro del modelo las siguientes variables:

- Consumo Medido (m3): **CM**
- Estrato **E**
- Número de habitantes por vivienda: **Nhab**
- Tipo de Vivienda (*Casa 1, apartamento 2*) **TV**
- Área de la Vivienda (m2). **A**

Como el área de la vivienda resulto ser una variable significativa se debió analizar el modelo solo con los datos de los suscriptores que tuvieran diligenciado, en la encuesta, dicho parámetro, razón por la cual para el modelo se utilizaron 155 datos de suscriptores.

Debido a que el tipo de vivienda se estableció como una variable significativa se propone 2 ecuaciones diferentes dependiendo si la vivienda es una casa o un apartamento. De los 155 suscriptores con datos completos, 87 de ellos viven en una casa y 68 viven en apartamentos, por cuanto el planteamiento de los modelos se realizó separando dichos usuarios.

### 5.3.1 Modelo de estimación de consumo de agua para una vivienda de tipo Casa.

En la Tabla 5.4 y en la Tabla 5.5 se presenta un resumen del modelo, se presentan los estadísticos a partir de los cuáles valorar la bondad de ajuste de los datos del modelo, el coeficiente de determinación es de 0,656, esto quiere

decir que el 65% de la variación de la variable **Consumo Medido** esta explicada por la variación de las variables independientes seleccionadas como significativas para el modelo. El valor de Durbin – Watson cercano a dos demuestra que los residuos están incorrelacionados.

Tabla 5.4 Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				Durbin-Watson	
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. del cambio en F	Sig. del cambio en F
1	,810	,656	,644	9,9639	,656	52,758	3	83	,000	1,745

Tabla 5.5 Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Error típ.	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-7,673	4,350		-1,764	,081
	#hab.	6,067	,564	,741	10,755	,000
	Estrato	2,238	1,419	,114	1,577	,119
	Área Real	,059	,026	,171	2,284	,025

Con los cálculos se obtiene la siguiente ecuación:

$$CM_{casa} = 6,067N_{hab} + 2,238E + 0,059 A - 7,673$$

Ecuación 5.1

Donde:

**CM<sub>casa</sub>**: Consumo Medido en casa (m3)

**E**: Estrato

**N<sub>hab</sub>**: Número de habitantes por vivienda:

**A**: Área de la Vivienda (m2).

El modelo permite estimar de forma aproximada el consumo de agua en una casa en una vigencia (dos meses), la Figura 5.16 muestra los datos medidos versus los datos pronosticados, entre mayor sea el acercamiento de los puntos

a la línea de 45° mas ajustados están los cálculos. La grafica muestra que los datos estimados tienen una buena aproximación a los medidos.

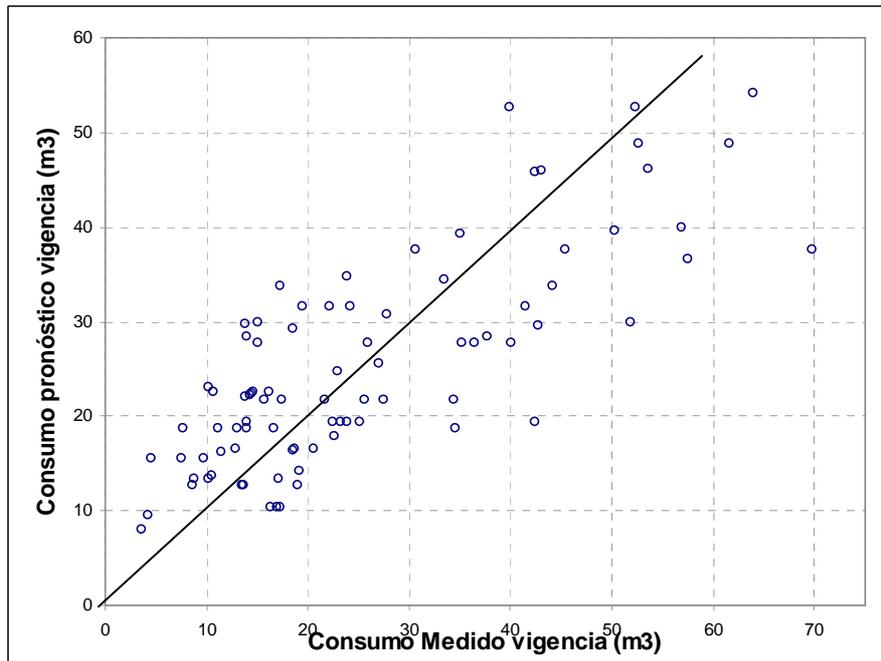


Figura 5.16. Consumo de agua medido versus consumo de agua pronosticado

### 5.3.2 Modelo de estimación de consumo de agua para una vivienda de tipo Apartamento.

En la Tabla 5.4 y en la Tabla 5.7 se presenta un resumen del modelo, se presentan los estadísticos a partir de los cuáles valorar la bondad de ajuste de los datos del modelo, el coeficiente de determinación es de 0,789, esto quiere decir que el 79% de la variación de la variable **Consumo Medido** esta explicada por la variación de las variables independientes seleccionadas como significativas para el modelo. El valor de Durbin – Watson cercano a dos demuestra que los residuos están incorrelacionados.

Tabla 5.6 Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					
					Sig. del cambio en F	Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Durbin-Watson
1	,888(a)	,789	,779	8,9332	,789	79,851	3	64	,000	2,122

Tabla 5.7 Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-	4,043		-3,677	,000
	Estrato	14,864	1,219	-,104	-1,483	,143
	#hab.	-1,807	1,007	,699	10,522	,000
	Área Real	10,599	,040	,354	4,537	,000

Con los cálculos se obtiene la siguiente ecuación:

$$CM_{apto} = 10,599Nhab - 1,807E + 0,181 A - 14,864$$

Ecuación 5.2

Donde:

**CM<sub>apto</sub>**: Consumo de agua Medido en un apartamento (m3)

**E**: Estrato

**Nhab**: Número de habitantes por vivienda:

**A**: Área de la Vivienda (m2).

El modelo permite estimar de forma aproximada el consumo de agua en una casa en una vigencia (dos meses), la Figura 5.17 muestra los datos medidos versus los datos pronosticados, entre mayor sea el acercamiento de los puntos a la línea de 45° mas ajustados están los cálculos. La grafica muestra que los datos estimados tienen una buena aproximación a los medidos.

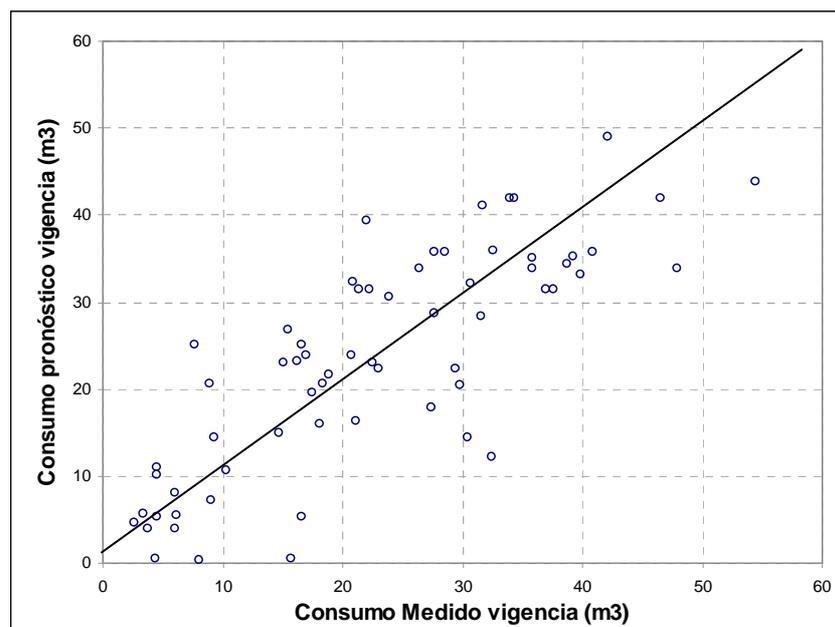


Figura 5.17. Consumo de agua medido versus consumo de agua pronosticado

## 6 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Se ejecuto un trabajo en campo de recolección de datos con micromedidores digitales instalados en una muestra de usuarios residenciales de la Zona1 de la ciudad de Bogotá-Colombia el fin de determinar curvas de patrón y perfil de consumo y establecer el modelo de Estimación de consumo de agua, objetivos desarrollados con el procesamiento de los datos obtenidos.

Los rangos de caudal estudiados para la determinación de los patrones de consumo deberían discretizarse mas, el rango 500-1500l/h es un rango muy amplio, rangos mas cortos podrían contribuir aun calculo de Q3 mas bajo.

Se recomienda complementar la recolección del trabajo en campo de los datos con el objeto de ajustar mejor las curvas y el modelo de Estimación, hasta llegar, por lo menos, al tamaño muestral calculado inicialmente.

Los resultados del estudio arrojan datos estimados para la Zona 1 del Acueducto de Bogotá, por lo tanto, se recomienda efectuar el mismo procedimiento para el establecimiento de las curvas y el modelo general para toda la ciudad de Bogotá.

Las ecuaciones de estimación de consumo de agua se obtuvieron a través de un análisis regresión múltiple que mostraron coeficientes de determinación de 0,65 y 0,79 para casas y apartamentos, esto quiere decir que, respectivamente, el 65% y el 79%, de la variación de la variable Consumo Medido esta explicada por la variación de las variables independientes seleccionadas como significativas para el modelo.

Para determinar con mayor aproximación el valor del agua que se deja de medir por los micromedidores instalados en la ciudad de Bogotá se debería adelantar un estudio de determinación de curvas metrológicas a una muestra representativa de medidores de agua viejos.

La Empresa de Acueducto de Bogotá debe analizar los datos determinados para realizar las modificaciones de especificaciones técnicas de medidores correspondientes. Un caudal de arranque y un Q1 menores son de gran eficacia para registrar bien el volumen consumido.

La Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá debe analizar la posibilidad de implementar las ecuaciones de Estimación de consumo para determinar y facturar el consumo a usuarios que posean algún tipo de daño en su medidor que impida la lectura de la vigencia.

Los medidores digitales utilizados no admitían el almacenamiento del caudal consumido por un usuario a lo largo de toda una semana, por lo que se recomienda utilizar aparatos de medición que permitan registrar y almacenar

toda esta cantidad de datos con el fin de determinar una curva de perfil de consumo más aproximada a la realidad.

Para profundizar en el estudio y el modelo de Estimación se deben incluir otras variables que pueden generar significación, como el tipo de aparatos hidráulicos utilizados, caudales que generan y hábitos de uso de agua en las viviendas mucho más detallados.

Es importante conseguir que los medidores tengan un periodo de tiempo instalado en una vivienda mucho mas largo, los 15 días estudiados con el proyecto presentan diferencias entre lecturas semanales para un mismo suscriptor.

Los datos recogidos en las encuestas deben ser recogidos minuciosamente, sobre todo las variables que están incluidas dentro del modelo de Estimación.

Es de vital importancia ejecutar el estudio con usuarios de estrato 1 con el objeto de ampliar el horizonte del proyecto a todos los usuarios residenciales.

Los encargados de la programación y lectura de los medidores son un factor fundamental en la obtención de información correcta y de utilidad para análisis. Algunos datos del proceso de campo debieron ser eliminados pues la programación no fue cuidadosamente realizada.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aceituno Juárez, Marco Tulio. Teoría Del Muestreo. Publicación En Internet.
- [2] Benavides, Oscar. Aspectos Técnicos Del Índice De Agua No Contabilizada En Colombia. Tesis De Grado Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil, Universidad De Los Andes. 2003.
- [3] Contazara. Manual De Producto. Versión 4.0.España 2002.
- [4] Ejemplo de Regresión múltiple con SPSS 8.0, el problema de la multicolinealidad. (sf). Recuperado el 12 de diciembre de 2008, de [http://es.geocities.com/r\\_vaquerizo/multiple.htm](http://es.geocities.com/r_vaquerizo/multiple.htm)
- [5] Universidad De Huelva. Práctica 3 regresión lineal simple y múltiple. Huelva, España, 2007.
- [6] Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá. Programa General De Control De Pérdidas. Conceptualización Del Ianc. Documento 146- Ico00-03-1. EAAB Esp: Bogotá, 2001. 63 P.
- [7] Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá. Norma Técnica De Producto NP-004 "Medidores Domiciliarios De Agua Potable Fría". Versión 4.0. Bogotá 2008.
- [8] Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá. Estado Del Arte Del Índice De Agua No Contabilizada (Ianc). Informe Parcial. Eaab Esp: Bogotá, 2006. 25 P.
- [9] Barón López, F.J. y Téllez Montiel, F. Apuntes de Bioestadística. Capitulo 6 regresión múltiple. Recuperado el 12 de diciembre de 2008, de <http://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/>
- [10] Hidrantal .Centro De Investigación Y Desarrollo Proyecto: Determinación Del Volumen De Agua No Registrado Por El Uso De Medidores De Clase B En El Parque De Medidores De Sedapal. Lima-Perú, 2003.
- [11] João, Bau. Investigación Sobre La Conservación Del Agua En Portugal. Tesis De Pregrado. Universidad. Laboratorio Nacional De Engenharia Civil, Portugal. Robles
- [12] Fabián, Daniel A. Regresión Múltiple. Universidad Inca Garcilaso de la Vega Recuperado el 12 de diciembre de 2008 de <http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-multiple/regresion-multiple.shtml#intro>.
- [13] Superintendencia Nacional De Servicios De Saneamiento. Estudio De Evaluación Del Desempeño De Medidores Domiciliarios Y Estimación Del Error De Medición En El Sistema De Agua Potable De La Ciudad De Lima Y Callao. Lima, Perú, 2003.