

*Dedicada a mis padres,  
por su gran apoyo en la realización  
de mis sueños.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA en cuyas instalaciones tuve la oportunidad de realizar investigaciones experimentales y teóricas a través de las cuales adquirí muchos conocimientos en el área de la hidráulica de canales y flujo a presión.

A mi familia por apoyarme desde el comienzo hasta el último día de mi maestría y darme ánimos en los momentos difíciles.

A Juan Saldarriaga por su dirección en la realización del presente trabajo de grado, por compartir conmigo sus grandes conocimientos y enseñanzas gracias a las cuales crecí tanto profesional como personalmente.

A las empresas Pavco S.A. y Corona, por su colaboración con los materiales para la construcción del montaje de laboratorio que permitió el desarrollo de esta tesis.

Universidad de los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



**Tesis de Grado  
Magíster en Ingeniería Civil**

**Revisión Crítica de los Métodos de Diseño de  
Abastecimiento de Agua Potable al Interior de  
Edificaciones.**

**Presentado por:  
Ing. María Fernanda Acero Fonseca**

**Asesor:  
Ing. Juan G. Saldarriaga**

**Bogotá D.C., Enero de 2009**

## Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1	OBJETIVOS.....	7
1.1.1	<i>Objetivo General .....</i>	<i>7</i>
1.1.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>7</i>
1.2	ANTECEDENTES.....	8
1.2.1	<i>Descripción de diferentes métodos de diseño.....</i>	<i>8</i>
1.2.1.1	Método británico.....	8
1.2.1.2	Método alemán de la raíz cuadrada.....	10
1.2.1.3	Método del factor desimultaneidad.....	10
1.2.1.4	Método racional o Español.....	11
1.2.1.5	Método de Hunter.....	12
1.2.2	<i>Muestra de resultados de investigaciones previas.....</i>	<i>17</i>
1.2.2.1	<i>“Estudio de caudales instantáneos para el diseño de instalaciones de diferente tipo”.....</i>	<i>17</i>
1.2.2.2	<i>“Evaluación de métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificios de diferente tipo”.....</i>	<i>18</i>
1.2.2.3	<i>“Estudio de los caudales máximos instantáneos en edificaciones”.....</i>	<i>19</i>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA EN TUBERÍAS A PRESIÓN.....	22
2.1.1	<i>Ecuación de continuidad.....</i>	<i>22</i>
2.1.2	<i>Principio de Bernoulli.....</i>	<i>22</i>
2.1.3	<i>Pérdidas de energía.....</i>	<i>23</i>
2.1.3.1	<i>Pérdidas de energía por fricción.....</i>	<i>23</i>
2.2	TEORÍA DE EMISORES.....	25
<b>3</b>	<b>DISEÑO CON EL MÉTODO DE HUNTER.....</b>	<b>26</b>
3.1	EJEMPLO DE CÁLCULO CON EL MÉTODO DE HUNTER.....	26
3.1.1	<i>Descripción del proyecto.....</i>	<i>26</i>
3.1.2	<i>Procedimiento de diseño.....</i>	<i>27</i>
3.1.2.1	<i>Diseño de la red de suministro de agua potable.....</i>	<i>27</i>
3.1.2.2	<i>Cálculo de pérdidas de energía.....</i>	<i>30</i>
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE DE LABORATORIO.....</b>	<b>36</b>
4.1	EQUIPO DE BOMBEO.....	37
4.2	VÁLVULA SOSTENEDORA DE PRESIÓN.....	39
4.3	APARATOS.....	41
<b>5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>OBTENCIÓN DE LAS ECUACIONES PARA LOS DIFERENTES APARATOS.....</b>	<b>45</b>
	LOS APARATOS QUE SE PROBARON EN EL PRESENTE TRABAJO CORRESPONDEN A GRIFERÍA DE LA MARCA GRIVALDE COLOMBIA, LOS CUALES SE SELECCIONARON POR SER UNA MARCA RECONOCIDA Y UTILIZADA A NIVEL NACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN. EN LA TABLA 6-1 SE MUESTRA EL LISTADO DE LOS APARATOS ENSAYADOS CON SU RESPECTIVO NÚMERO DE REFERENCIA.....	45
6.1	REGADERA DUAL CROMO – REF. 924300001.....	46
6.2	REGADERA GRIVAL ANTIGUA.....	47
6.3	REGADERA CORRIENTE CROMO – REF. 924000001.....	48

6.4	TELEDUCHA CORRIENTE – REF. 914090001.....	49
6.5	LLAVE MANGUERA LIVIANA NIQUEL – REF. 791020001.....	50
6.6	LLAVE JARDÍN CON EXTENSIÓN – REF. 380430001.....	51
6.7	LLAVE PARA LAVADORA Y CALENTADOR – REF. 977100001.....	52
6.8	LAVAMANOS MEZCLADOR DE 4” CENTURY – REF. 231220001.....	53
6.9	LAVAPLATOS MEZCLADOR DE 8” FLORENCIA – REF. 7954100001.....	54
6.10	LAVAMANOS 8” A 4” SFERA SCALA – REF. 561290001.....	55
6.11	MEZCLADOR-LAVAMANOS DE 8” VICTORIA – REF. 711700001.....	56
6.12	LAVAMANOS MONOCONTROL VICTORIA – REF. 711110001.....	57
6.13	LAVAPLATOS MONOC. PICO RECTO BAHÍA – REF. 775200001.....	58
6.14	LAVAMANOS MONOBLOCK VICTORIA – REF. 711120001.....	59
6.15	GRIFERÍA PARA TANQUE SANITARIO ATLANTIS – REF. 806800001.....	60
6.16	VÁLVULA HIDROSTÁTICA ANTISIFÓN – REF. 806630001.....	61
6.17	DUCHA MEZCLADORA VICTORIA – REF. 714100001.....	62
6.18	SALIDA A BAÑERA VICTORIA – REF. 714100001.....	63
6.19	DUCHA BALANCE DE PRESIÓN – REF. 274010001.....	64
6.20	SALIDA A BAÑERA – REFERENCIA 274010001.....	65
6.21	DUCHA MONOCONTROL CENTURY – REF. 234040001.....	66
6.22	SALIDA A BAÑERA MONOCONTROL CENTURY – REF. 234040001.....	67
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA DE DISEÑO UTILIZANDO EL PROGRAMA REDES.....</b>	<b>69</b>
7.1	DISEÑO PARA LA CONDICIÓN DE MÁXIMO CONSUMO.....	71
7.1.1	<i>Comparación de diseño para máximo consumo con el diseño por Hunter.....</i>	<i>75</i>
7.2	DISEÑO PARA UNA CONDICIÓN DE CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	83
7.2.1	<i>Combinación 1.....</i>	<i>83</i>
7.2.2	<i>Combinación 2.....</i>	<i>84</i>
7.2.3	<i>Combinación 3.....</i>	<i>85</i>
7.2.4	<i>Combinación 4.....</i>	<i>86</i>
7.2.5	<i>Combinación 5.....</i>	<i>87</i>
7.2.6	<i>Envolvente de diseño – apartamento tipo 1.....</i>	<i>88</i>
7.2.7	<i>Comparación de la envolvente de diseño con el diseño por el método de Hunter – Apartamento tipo 1</i>	<i>89</i>
7.2.8	<i>Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 1.....</i>	<i>91</i>
7.3	DISEÑO PARA UNA CONDICIÓN DE CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	92
7.3.1	<i>Combinación 1.....</i>	<i>92</i>
7.3.2	<i>Combinación 2.....</i>	<i>93</i>
7.3.3	<i>Combinación 3.....</i>	<i>94</i>
7.3.4	<i>Combinación 4.....</i>	<i>95</i>
7.3.5	<i>Combinación 5.....</i>	<i>96</i>
7.3.6	<i>Envolvente de diseño – apartamento tipo 2.....</i>	<i>97</i>
7.3.7	<i>Comparación de la envolvente de diseño con el diseño por el método de Hunter – Apartamento tipo 2</i>	<i>98</i>
7.3.8	<i>Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 2.....</i>	<i>100</i>
7.4	DISEÑO PARA UNA CONDICIÓN DE CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 3.....	101
7.4.1	<i>Combinación 1.....</i>	<i>101</i>
7.4.2	<i>Combinación 2.....</i>	<i>102</i>
7.4.3	<i>Combinación 3.....</i>	<i>104</i>
7.4.4	<i>Combinación 4.....</i>	<i>105</i>
7.4.5	<i>Combinación 5.....</i>	<i>106</i>
7.4.6	<i>Envolvente de diseño – apartamento tipo 3.....</i>	<i>107</i>
7.4.7	<i>Comparación envolvente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 3.....</i>	<i>108</i>

7.4.8	<i>Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 3</i> .....	109
7.5	DISEÑO PARA UNA CONDICIÓN DE CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 4.....	110
7.5.1	<i>Combinación 1</i> .....	110
7.5.2	<i>Combinación 2</i> .....	111
7.5.3	<i>Combinación 3</i> .....	112
7.5.4	<i>Combinación 4</i> .....	113
7.5.5	<i>Combinación 5</i> .....	114
7.5.6	<i>Envolvente de diseño – apartamento tipo 4</i> .....	115
7.5.7	<i>Comparación envolvente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 4</i> .....	116
7.5.8	<i>Diseño tubería que alimenta el apartamento tipo 4</i> .....	118
7.6	EQUIPO DE BOMBEO.....	119
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	121
9	CONCLUSIONES.....	123
10	RECOMENDACIONES.....	126
11	BIBLIOGRAFÍA.....	127

## Índice de Tablas

TABLA 1-1	DESCARGAS APROXIMADAS PARA MUEBLES SANITARIOS EN AGUA FRÍA Y AGUA CALIENTE.....	9
TABLA 1-2	DESCARGAS SIMULTÁNEAS PARA MUEBLES SANITARIOS.....	9
TABLA 1-3	CAUDALES MÍNIMOS PARA CADA APARATO.....	11
TABLA 1-4	CAUDALES MÍNIMOS MÉTODO RACIONAL.....	12
TABLA 1-5	CAUDAL MÁXIMO PROBABLE SEGÚN EL MÉTODO DE HUNTER.....	16
TABLA 1-6	CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS.....	18
TABLA 1-7	RESUMEN CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES EN IPS.....	19
TABLA 1-8	COEFICIENTE DE USO PARA EL MÉTODO “RACIONAL-UNAL”.....	20
TABLA 1-9	VARIABLES, MÉTODO DE HUNTER VS HUNTER-UNAL.....	21
TABLA 3-1	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE RESERVA DE AGUA POTABLE.....	27
TABLA 3-2	CAUDALES Y PRESIONES DE DIFERENTES APARATOS.....	28
TABLA 3-3	DIÁMETROS REALES.....	29
TABLA 3-4	UNIDADES DE DIFERENTES APARATOS.....	33
TABLA 3-5	CÁLCULO DE PRESIÓN EN LA DESCARGA DE LA BOMBA POR EL MÉTODO DE HUNTER – RUTA CRÍTICA.....	35
TABLA 6-1	GRIFERÍA ENSAYADA.....	45
TABLA 6-2	PRESIÓN MÍNIMA RECOMENDADA POR APARATO ENSAYADO.....	68
TABLA 7-1	KM POR UNIDAD DE LONGITUD DE TUBERÍA.....	70
TABLA 7-2	COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES BAJO CONDICIÓN DE 100% DE USO – APARTAMENTO TIPO 1.....	76
TABLA 7-3	COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES BAJO CONDICIÓN DE 100% DE USO – APARTAMENTO TIPO 2.....	78
TABLA 7-4	COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES BAJO CONDICIÓN DE 100% DE USO – APARTAMENTO TIPO 3.....	80
TABLA 7-5	COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES BAJO CONDICIÓN DE 100% DE USO – APARTAMENTO TIPO 4.....	82
TABLA 7-6	COMPARACIÓN DE ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 1.....	90
TABLA 7-7	COMPARACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 2.....	99
TABLA 7-8	ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 3.....	108

TABLA 7-9 ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 4 ..... 117

## Índice de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 4-1 MONTAJE DE LABORATORIO.....	36
ILUSTRACIÓN 4-2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA .....	37
ILUSTRACIÓN 4-3 TANQUE DE RECIRCULACIÓN DEL AGUA .....	37
ILUSTRACIÓN 4-4 EQUIPO DE BOMBEO.....	38
ILUSTRACIÓN 4-5 TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS .....	38
ILUSTRACIÓN 4-6 PRESOSTATOS .....	39
ILUSTRACIÓN 4-7 BY PASS DE VÁLVULA SOSTENEDORA DE PRESIÓN.....	40
ILUSTRACIÓN 4-8 DETALLE DE VÁLVULA SOSTENEDORA DE PRESIÓN .....	41
ILUSTRACIÓN 4-9 APARATOS.....	42
ILUSTRACIÓN 5-1 MONTAJE DE APARATOS Y MANÓMETRO.....	43
ILUSTRACIÓN 5-2 ELEMENTOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL.....	44
ILUSTRACIÓN 6-1 REGADERA DUAL CROMO.....	46
ILUSTRACIÓN 6-2 REGADERA GRIVAL ANTIGUA.....	47
ILUSTRACIÓN 6-3 REGADERA CORRIENTE CROMO.....	48
ILUSTRACIÓN 6-4 TELEDUCHA.....	49
ILUSTRACIÓN 6-5 LAVE MANGUERA LIVIANA NIQUEL.....	50
ILUSTRACIÓN 6-6 LLAVE JARDÍN CON EXTENSIÓN.....	51
ILUSTRACIÓN 6-7 LLAVE PARA LAVADORA Y CALENTADOR.....	52
ILUSTRACIÓN 6-8 LAVAMANOS MEZCLADOR DE 4” - CENTURY .....	53
ILUSTRACIÓN 6-9 LAVAPLATOS MEZCLADOR DE 8” - FLORENCIA.....	54
ILUSTRACIÓN 6-10 CONJUNTO SFERA SCALA LAVAMANOS DE 8” A 4”.....	55
ILUSTRACIÓN 6-11 MEZCLADOR LAVAMANOS DE 8” - VICTORIA.....	56
ILUSTRACIÓN 6-12 SUBCONJUNTO LAVAMANOS MONOCONTROL - VICTORIA .....	57
ILUSTRACIÓN 6-13 LAVAPLATOS MONOCONTROL PICO RECTO - BAHIA.....	58
ILUSTRACIÓN 6-14 SUBCONJUNTO LAVAMANOS MONOCONTROL - VICTORIA .....	59
ILUSTRACIÓN 6-15 GRIFERÍA PARA TANQUE SANITARIO - ATLANTIS.....	60
ILUSTRACIÓN 6-16 VÁLVULA DE ENTRADA HIDROSTÁTICA ANTI SFÓN.....	61
ILUSTRACIÓN 6-17 DUCHA MEZCLADORA - VICTORIA .....	62
ILUSTRACIÓN 6-18 SALIDA A BAÑERA - VICTORIA.....	63
ILUSTRACIÓN 6-19 DUCHA BALANCE DE PRESIÓN.....	64
ILUSTRACIÓN 6-20 SALIDA A BAÑERA.....	65
ILUSTRACIÓN 6-21 DUCHA MONOCONTROL CENTURY .....	66
ILUSTRACIÓN 6-22 SALIDA A BAÑERA MONOCONTROL CENTURY .....	67
ILUSTRACIÓN 7-1 MODELO APARTAMENTO TIPO 1.....	72
ILUSTRACIÓN 7-2 MODELO APARTAMENTO TIPO 2.....	73
ILUSTRACIÓN 7-3 MODELO APARTAMENTO TIPO 3.....	74
ILUSTRACIÓN 7-4 MODELO APARTAMENTO TIPO 4.....	75
ILUSTRACIÓN 7-5 COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES EN CONDICIÓN DE SIMULTANEIDAD TOTAL – APARTAMENTO TIPO 1.....	77
ILUSTRACIÓN 7-6 COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES EN CONDICIÓN DE SIMULTANEIDAD TOTAL – APARTAMENTO TIPO 2.....	79
ILUSTRACIÓN 7-7 COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES EN CONDICIÓN DE SIMULTANEIDAD TOTAL – APARTAMENTO TIPO 3.....	81

ILUSTRACIÓN 7-8 COMPARACIÓN DE DIÁMETROS HUNTER VS. REDES EN CONDICIÓN DE SIMULTANEIDAD TOTAL – APARTAMENTO TIPO 4.....	83
ILUSTRACIÓN 7-9 COMBINACIÓN 1 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	84
ILUSTRACIÓN 7-10 COMBINACIÓN 2 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	85
ILUSTRACIÓN 7-11 COMBINACIÓN 3 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	86
ILUSTRACIÓN 7-12 COMBINACIÓN 4 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	87
ILUSTRACIÓN 7-13 COMBINACIÓN 5 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 1.....	88
ILUSTRACIÓN 7-14 ENVOLVENTE DE DISEÑO – APARTAMENTO TIPO 1.....	89
ILUSTRACIÓN 7-15 HUNTER VS. ENVOLVENTE DE DISEÑO.....	91
ILUSTRACIÓN 7-16 TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN APARTAMENTO TIPO 1 PISO 6.....	92
ILUSTRACIÓN 7-17 COMBINACIÓN 1 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	93
ILUSTRACIÓN 7-18 COMBINACIÓN 2 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	94
ILUSTRACIÓN 7-19 COMBINACIÓN 3 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	95
ILUSTRACIÓN 7-20 COMBINACIÓN 4 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	96
ILUSTRACIÓN 7-21 COMBINACIÓN 5 PARA CONSUMO MEDIO – APARTAMENTO TIPO 2.....	97
ILUSTRACIÓN 7-22 ENVOLVENTE DE DISEÑO – APARTAMENTO TIPO 2.....	98
ILUSTRACIÓN 7-23 ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 2.....	100
ILUSTRACIÓN 7-24 TUBERÍA QUE ALIMENTA EL APARTAMENTO TIPO 2.....	101
ILUSTRACIÓN 7-25 COMBINACIÓN 1 – APARTAMENTO TIPO 3.....	102
ILUSTRACIÓN 7-26 COMBINACIÓN 2 – APARTAMENTO TIPO 3.....	103
ILUSTRACIÓN 7-27 COMBINACIÓN 3 – APARTAMENTO TIPO 3.....	104
ILUSTRACIÓN 7-28 COMBINACIÓN 4 – APARTAMENTO TIPO 3.....	105
ILUSTRACIÓN 7-29 COMBINACIÓN 5 – APARTAMENTO TIPO 3.....	106
ILUSTRACIÓN 7-30 ENVOLVENTE DE DISEÑO – APARTAMENTO TIPO 3.....	107
ILUSTRACIÓN 7-31 COMPARACIÓN HUNTER VS. ENVOLVENTE DE DISEÑO – APARTAMENTO TIPO 3.....	109
ILUSTRACIÓN 7-32 TUBERÍA QUE ALIMENTA EL APARTAMENTO TIPO 3.....	110
ILUSTRACIÓN 7-33 COMBINACIÓN 1 – APARTAMENTO TIPO 4.....	111
ILUSTRACIÓN 7-34 COMBINACIÓN 2 – APARTAMENTO TIPO 4.....	112
ILUSTRACIÓN 7-35 COMBINACIÓN 3 – APARTAMENTO TIPO 4.....	113
ILUSTRACIÓN 7-36 COMBINACIÓN 4 – APARTAMENTO TIPO 4.....	114
ILUSTRACIÓN 7-37 COMBINACIÓN 5 – APARTAMENTO TIPO 4.....	115
ILUSTRACIÓN 7-38 ENVOLVENTE DE DISEÑO – APARTAMENTO TIPO 4.....	116
ILUSTRACIÓN 7-39 COMPARACIÓN ENVOLVENTE DE DISEÑO VS. HUNTER – APARTAMENTO TIPO 4.....	118
ILUSTRACIÓN 7-40 DISEÑO DE LA TUBERÍA QUE ALIMENTA EL APARTAMENTO TIPO 4.....	119
ILUSTRACIÓN 7-41 DISEÑO DE TUBERÍA BOMBA - MEDIDORES.....	120
ILUSTRACIÓN 8-1 DUCHAS CON Y SIN DISPOSITIVO AHORRADOR DE AGUA.....	122

## **1 Introducción**

---

En el diseño de redes de abastecimiento de agua potable en edificaciones se han utilizado diversas metodologías que provienen de la experiencia o de la aplicación de análisis probabilísticos, las cuales han dado diferentes resultados, por una parte así es como funcionan actualmente las redes en edificaciones pero por otra en muchos casos se presentan problemas, por ejemplo, estallido de tuberías, daños en los aparatos sanitarios por sobrepresiones, deterioros rápidos en los equipos de bombeo, mal funcionamiento de los sistemas de calefacción de agua, entre otras. Y de estos inconvenientes no se sabe con certeza las causas y la manera de prevenirlos desde la fase de diseño, y a que no se tiene un problema netamente hidráulico y fácil de modelar.

Como las redes de abastecimiento en edificaciones tienen un comportamiento que compete a la hidráulica y que actualmente se cuenta con modelos y sistemas modernos que permiten resolver problemas complejos de manera muy acertada, se realiza esta investigación con el fin de llegar a plantear una metodología de diseño que sea más clara y que permita ver el comportamiento y funcionamiento hidráulico para diferentes condiciones de consumo que se presentan en las edificaciones.

El presente trabajo cuenta con un montaje de laboratorio en el cual se obtienen las ecuaciones de la forma caudal en función de la presión para diferentes aparatos. Una vez se tienen estas ecuaciones se realiza un modelo en el programa redes y se estudian diversos escenarios para finalmente llegar a obtener las conclusiones respectivas.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Realizar un estudio sobre el consumo real de los aparatos sanitarios en el mercado nacional e investigar un nuevo concepto que pueda reemplazar el método de Hunter.

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Revisar los métodos utilizados tradicionalmente para el diseño de las redes de agua potable al interior de edificaciones.
- Realizar un montaje físico para probar diferentes aparatos típicos de edificaciones, tales como: duchas, lavamanos, sanitarios, entre otros, con el fin de medir experimentalmente caudales reales de los aparatos.

- Modelar una red de distribución de agua potable en el programa redes utilizando los datos obtenidos del montaje físico y analizar el comportamiento hidráulico que se presenta bajo diferentes condiciones de operación.
- Probar la teoría de emisores en redes de distribución de agua potable para el caso de redes interiores en edificaciones y evaluar una metodología de diseño nueva para estos casos.

## 1.2 Antecedentes

En los siguientes renglones se muestran los principales métodos de diseño que se utilizan para las redes de suministro de agua potable al interior de edificaciones, además de los resultados de investigaciones realizadas previas a ésta, los cuales motivaron la realización del presente trabajo.

### 1.2.1 Descripción de diferentes métodos de diseño

Los métodos de diseño pretenden determinar el caudal máximo que se pueda presentar en la tubería para un instante de tiempo dado. En algunos casos es posible determinar éste caudal a partir del criterio del diseñador; por ejemplo en casos como instalaciones de ejércitos en las cuales la probabilidad de que todas las duchas funcionen al mismo tiempo, puede llegar a ser de 1.0, por lo tanto es válido este criterio para realizar el diseño.

Sin embargo en la mayoría de las edificaciones, el uso de aparatos sanitarios tiene un comportamiento aleatorio por lo cual se han inventado varias metodologías de diseño. Las más conocidas se describen en éste numeral.

#### 1.2.1.1 Método británico<sup>1</sup>

Este método consiste en contar el número de muebles sanitarios que va a alimentar la tubería y con base en la Tabla 1-1 obtener el caudal total mediante la suma de los caudales parciales.

---

<sup>1</sup> Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas. México D.F. 1991.

Tabla 1-1 Descargas aproximadas para muebles sanitarios en agua fría y agua caliente.

Muebles sanitarios	Descarga
Individuales	l/min.
Baño privado	18.93
Baño público	30.28
Lavadero	15.14
Lavamanos	7.57
Ducha	7.57
Regadera 4"	15.14
Regadera 6"	30.28
Válvulas de fluxómetro*	7.5
*Caudal supuesto	

Una vez se tiene la descarga se procede a calcular la demanda probable máxima simultánea utilizando los valores que aparecen en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Descargas simultáneas para muebles sanitarios.

Gasto total	Demanda probable	Gasto total	Demanda probable
l/min.	l/min.	l/min.	l/min.
Hasta 12	100% del máximo probable	318	147.6
53	49.2	405	159
60.6	54.9	465.6	170.3
68.1	60.6	537.5	181.7
75.7	66.2	617	196.8
87.1	71.9	711.7	212
98.4	77.6	817.6	230.9
113.6	85.2	938.8	246.1
132.5	90.8	1082.8	268.8
151.4	98.4	1245.4	291.5
174.1	106	1430.9	321.8
200.6	113.6	1646.6	359.6
230.9	121.1	1892.7	393.7
268.8	128.7	Más de 1892.7	20% del máximo probable
306.6	140.1		

Finalmente se tiene un caudal para diseñar la tubería correspondiente. Cabe señalar que las tablas que utiliza éste método fueron obtenidas de manera empírica por personas que trabajaban en éste área.

### 1.2.1.2 Método alemán de la raíz cuadrada<sup>2</sup>.

Este método trabaja con la relación de los caudales de cada aparato con respecto al de una llave de 3/8", cuyo caudal se asumió igual a 0.25 l/s y se denomina  $q_1$  y el factor correspondiente es el valor unitario denominado  $f_1$ . La ecuación para calcular el caudal de un sistema sería:

$$Q = 0.25 \sqrt{(f_1 n_1 + f_2 n_2 + \dots + f_i n_i + n q_1)} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

donde,

$Q$  = Caudal de diseño. lps

$f$  = factor de carga.

$n$  = número de aparatos por clase.

Por ejemplo  $n_2$  puede representar el número de sanitarios,  $n_3$  el número de lavamanos y así con los demás aparatos.

Para calcular el factor de carga se toma el caudal promedio del aparato y se relaciona con el mencionado 0.25 de la llave de 3/8" y se eleva al cuadrado el resultado.

Finalmente como se ve en la ecuación, al resultado se le saca la raíz cuadrada, la cual considera el que los aparatos no trabajen de manera simultánea.

### 1.2.1.3 Método del factor de simultaneidad<sup>3</sup>

Esta metodología consiste en estimar el caudal de cada aparato, una vez se haga esto se suman los caudales de todos los aparatos instalados y finalmente se afecta el resultado por un factor de simultaneidad  $k_1$  que se calcula como:

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde,  $n$  es el número de aparatos instalados y  $k$  debe ser mayor o igual a 0.2. Como esta fórmula es establecida por la Norma Francesa NP 41-204, allí figuran los caudales mínimos recomendados para el diseño tal como se ven en la Tabla 1-3.

<sup>2</sup> Díaz Sosa, Jorge. Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios. Editado por Fernando Luna Rojas. México D.F. 1991.

<sup>3</sup> Melguizo, Samuel. Fundamentos de hidráulica. Vol. 2. Pág. 97.

**Tabla 1-3** Caudales mínimos para cada aparato

Aparato	Qmín.
-	l/s
Calentador eléctrico	0.30
Ducha	0.20
Sanitario de tanque	0.15
Sanitario 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

#### 1.2.1.4 Método racional o Español<sup>4</sup>

En el método racional se tienen en cuenta 2 factores denominados  $k_1$  y  $k_2$ . El primero de estos es el coeficiente de simultaneidad y se calcula con la ecuación 1.3:

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

En este caso  $n$  corresponde al número total de aparatos instalados en la vivienda.

$k_2$  se utiliza para afectar el caudal total que alimenta varias viviendas del mismo tipo y se calcula mediante la ecuación 1.4:

$$k_2 = \frac{(N+19)}{10*(N+1)} \quad \text{Ecuación 1-4}$$

Donde  $N$  es el número de viviendas.

En la Tabla 1-4 se muestran los caudales y presiones mínimas para varios aparatos, según lo recomienda la norma española.

<sup>4</sup> Roca Suárez, Manuel y Caratalá Fuentes, Juan. Manual de fontanería. Editorial CA. España.2002.

Tabla 1-4 Caudales mínimos método racional

Aparato	Q	Presión	Presión
	l/s	kg/cm <sup>2</sup>	m. c. a.
Sanitario de tanque	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

### 1.2.1.5 Método de Hunter<sup>5</sup>

Fue presentado por Roy B. Hunter en 1932 a la oficina nacional de normas de los Estados Unidos (The National Bureau of Standards) y ha sido aceptado por todos los códigos.

Este 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 ( $q$ )
- Frecuencia de uso ( $T$ )
- Duración de uso ( $t$ )

Hunter asumió inicialmente que la operación de aparatos era aleatoria. Además determinó la frecuencia de uso de todos los aparatos basado en datos tomados en edificaciones.

Según Hunter, se tiene un funcionamiento satisfactorio cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar el caudal 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.

<sup>5</sup> Granados, Jorge. Redes hidráulicas y sanitarias en edificios. Editorial Unibiblos. Bogotá. 2002.

La probabilidad de que se encuentren  $m+1$  aparatos funcionando simultáneamente es remota; para  $m+2$  la probabilidad es más remota y así sucesivamente.

### ***1.2.1.5.1 Aplicación de la teoría de probabilidades para estimación de los caudales máximos probables en las edificaciones***

Se supone un sistema simple con aparatos de una sola clase, por ejemplo, baños con un solo tipo de válvula en operación con  $n$  elementos presentes en el sistema; las variables de estudio son:

$T$  = duración en segundos entre los usos sucesivos de cada elemento individual.

$t$  = duración en segundos de la demanda de un solo elemento, o sea tiempo de funcionamiento del aparato.

$p$  = probabilidad de que un elemento particular sea encontrado funcionando en un instante arbitrario de observación del sistema.

$p = t/T$ , o sea que la probabilidad de que no esté funcionando es  $1 - p = 1 - t/T$

Nótese que los  $n - 1$  aparatos restantes no tienen nada que ver con las expresiones anteriores.

La probabilidad de encontrar de encontrar 2 elementos funcionando es  $p^2$ , por la ley de los eventos compuestos; tampoco se han tenido en cuenta los  $n - 2$  restantes.

Si se tiene  $t = 9$  segundos y  $T = 5$  minutos,  $p = 9/300 = 0.03$  y  $p^2 = 0.0009$ .

Para 3 elementos la probabilidad es  $p^3$ ; para  $n$  es  $0.03^n$ .

Para calcular la probabilidad de que 2 elementos particulares sean encontrados funcionando y los  $n - 2$  restantes sean encontrados no funcionando, se procede de la siguiente manera:

Probabilidad de encontrar el primer elemento funcionando:  $p$

Probabilidad de encontrar el segundo elemento funcionando:  $p$

Probabilidad de encontrar el tercer elemento no funcionando:  $1 - p$

Probabilidad de encontrar el enésimo elemento no funcionando:  $1 - p$

La probabilidad de que se sucedan todos los fenómenos anteriores al tiempo es producto de las probabilidades particulares.

$$P = (1 - p)^{n-2} p^2 ;$$

Si  $n = 5$ ,  $P = (1 - 0.03)^3 \times 0.03^2 = 0.00082$

En el caso más general, que cualesquiera 2 de los  $n$  aparatos pero ninguno de los  $n - 2$  restantes funcionen simultáneamente en un instante arbitrario, resulta una combinación de  $n$  elementos de 2 en 2. Para un número  $r$  de aparatos que funcionen simultáneamente, la combinación es  $n$  elementos de  $r$  en  $r$ .

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r! \times (n-r)!} ; \text{ para el ejemplo:}$$

$$\binom{5}{2} = \frac{5!}{2! \times 3!} = 10$$

Se aumentan las posibilidades 10 veces pues ya los 2 elementos no son particulares sino una pareja cualquiera (por ejemplo, 105 con 401 o con 202, etc.).

$$P = \binom{n}{r} (1 - p)^{n-r} p^r ; \sum_{r=0}^{f=n} P_r^n = 1$$

### **1.2.1.5.2 Aplicación del criterio de diseño del 1%**

La condición de que no más de  $m$  de los  $n$  aparatos sean encontrados funcionando simultáneamente por más del 1% del tiempo, se puede expresar así:

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

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

$$P_m^n + 1 + P_m^n + 2 + \dots + P_m^n - 1 + P_m^n \leq 0.01 ,$$

escrito de otra forma:

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

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:** un sistema hipotético de 100 aparatos con válvula de fluxómetro; se asume que cada aparato se usa en promedio cada 5 minutos y que el tiempo de funcionamiento es de 9 segundos.

$$p = 9 / 300 = 0.03$$

La probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando es:

$$P_0^n = \binom{n}{0} (1-p)^{n-0} p^0 = (1-p)^n = (0.97)^{100} = 0.048$$

Las otras probabilidades se plantean a continuación:

$$P_1^n = \binom{n}{1} (1-p)^{n-1} p = \frac{n!}{r!(n-r)!} (1-p)^{n-1} p = 0.147$$

$$P_2^n = 0.225; P_3^n = 0.227; P_4^n = 0.1705; P_5^n = 0.1013; P_6^n = 0.0496; P_7^n = 0.0206; P_8^n = 0.0074;$$

$$P_9^n = 0.0023; P_{10}^n = 0.00065$$

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:

$$Q_{\text{diseño}} = m \times q = 8 \times q;$$

$q$  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 la influencia de un aparato con respecto a los demás.

En forma sencilla, el número que identifica a un aparato es 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.

Esto puede ser expresado como:

Unidades para un aparato = (número de fluxómetros / número de aparatos de otro tipo) x unidades asignadas al fluxómetro.

Finalmente se obtiene como resultado la tabla que permite estimar el caudal para un número determinado de unidades, el cual sirve para realizar el respectivo diseño de las tuberías, estos resultados se pueden ver en la Tabla 1-5.

**Tabla 1-5 Caudal máximo probable según el método de Hunter**

Caudal Máximo probable según el método de Hunter											
Caudal		Unidades de aparato		Caudal		Unidades de aparato		Caudal		Unidades de aparato	
GPM	LPS	Tanque	Fluxómetro	GPM	LPS	Tanque	Fluxómetro	GPM	LPS	Tanque	Fluxómetro
1	0,06	0	-	45	2,84	107	37	145	9,15	611	521
2	0,13	1	-	46	2,9	111	39	150	9,46	638	559
3	0,19	3	-	47	2,96	115	42	155	9,78	665	596
4	0,25	4	-	48	3,03	119	44	160	10,09	692	631
5	0,32	6	-	49	3,09	123	46	165	10,41	719	666
6	0,38	7	-	50	3,15	127	48	170	10,72	748	700
7	0,44	8	-	51	3,22	130	50	175	11,04	778	739
8	0,5	10	-	52	3,28	135	52	180	11,36	809	775
9	0,57	12	-	53	3,34	141	54	185	11,67	840	811
10	0,63	13	-	54	3,41	146	57	190	11,99	874	850
11	0,69	15	-	55	3,47	151	60	200	12,62	945	931
12	0,76	16	-	56	3,53	155	63	210	13,25	1018	1009
13	0,82	18	-	57	3,6	160	66	220	13,88	1091	1091
14	0,88	20	-	58	3,66	165	69	230	14,51	1173	1173
15	0,95	21	-	59	3,72	170	73	240	15,14	1254	1254
16	1,01	23	-	60	3,79	175	76	250	15,77	1335	1335
17	1,07	24	-	62	3,91	185	82	260	16,4	1418	1418
18	1,14	26	-	64	4,04	195	88	270	17,03	1500	1500
19	1,2	28	-	66	4,16	205	95	280	17,66	1583	1583
20	1,26	30	-	68	4,29	215	102	290	18,29	1668	1668
21	1,32	32	-	70	4,42	225	108	300	18,93	1755	1755
22	1,39	34	5	72	4,54	236	116	310	19,56	1845	1845
23	1,45	36	6	74	4,67	245	124	320	20,19	1926	1926
24	1,51	39	7	76	4,79	254	132	330	20,82	2018	2018
25	1,58	42	8	78	4,92	264	140	340	21,45	2110	2110
26	1,64	44	9	80	5,05	275	148	350	22,08	2204	2204
27	1,7	46	10	82	5,17	284	158	360	22,71	2298	2298
28	1,77	49	11	84	5,3	294	168	370	23,34	2388	2388
29	1,83	51	12	86	5,43	305	176	380	23,97	2480	2480
30	1,89	54	13	88	5,55	315	186	390	24,6	2575	2575
31	1,96	56	14	90	5,68	326	195	400	25,23	2670	2670
32	2,02	58	15	92	5,8	337	205	410	25,86	2765	2765
33	2,08	60	16	94	5,93	348	214	420	26,5	2862	2862
34	2,14	63	18	96	6,06	359	223	430	27,13	2960	2960
35	2,21	66	20	98	6,18	370	234	440	27,76	3060	3060

36	2,27	69	21	100	6,31	380	245	450	28,39	3150	3150
37	2,33	74	23	105	6,62	406	270	500	31,54	3620	3620
38	2,4	78	25	110	6,94	431	295	550	34,7	4070	4070
39	2,46	83	26	115	7,25	455	329	600	37,85	4480	4480
40	2,52	86	28	120	7,57	479	365	700	44,16	5380	5380
41	-	90	30	125	-	506	396	800	-	6280	6280
42	-	95	31	130	-	533	430	900	-	7280	7280
43	-	99	33	135	-	559	460	1000	-	8300	8300
44	-	103	35	140	-	585	490	1075	-	9000	9000

Al método de Hunter se le hizo una modificación que lo que hace es reducir el caudal promedio de los aparatos respecto a los valores del método original, creándose así unas nuevas curvas a las que se les conoce como Método de Hunter Modificado.

## 1.2.2 Muestra de resultados de investigaciones previas

### 1.2.2.1 “Estudio de caudales instantáneos para el diseño de instalaciones de diferente tipo”<sup>6</sup>

El objetivo de esta investigación fue determinar el caudal máximo instantáneo que se presenta en una edificación real. Para ello se realizaron mediciones directamente en las redes de cada edificio. Los edificios medidos fueron: Takay II, ubicado en la Calle 22f No. 35 – 41 de Bogotá, Conjunto Residencial Santa María del Campo (Calle 164 No.64 – 37 de Bogotá) y edificio de oficinas Lago 76 (Carrera 16 No.76-42).

El criterio para seleccionar los edificios fue que se tratara de construcciones recientes y lo suficientemente grandes para que necesitaran de un equipo de bombeo completo, y verificar que éste último estuviera en buen estado.

Cada edificación tiene usos diferentes: Takay II es de apartamentos para uso residencial, El Lago 76 es de oficinas y Santa María del Campo es un conjunto residencial de casas.

Las mediciones de caudal se realizaron cada segundo de tiempo obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 1-6.

<sup>6</sup> 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.

**Tabla 1-6 Caudales máximos obtenidos**

Nombre de la instalación	Q <sub>máx.</sub> probable teórico	Q <sub>máx.</sub> instantáneo medido	Porcentaje de sobre-diseño	Porcentaje de uso
Conjunto residencial Takay II	8.05 l/s	3.12 l/s	258%	38.76%
Conjunto residencial Sta. María del campo	20.79 l/s	3.24 l/s	641.67%	15.58%
Edificio de oficinas Lago 76	3.66 l/s	0.86 l/s	425.58%	23.50%

En la segunda columna de la Tabla 1-6 se muestran los caudales máximos probables teóricos calculados con el método de Hunter que es el más utilizado en el diseño de redes internas en Colombia.

En la tercera columna están los caudales máximos instantáneos que se midieron directamente en las edificaciones. Como se aprecia los porcentajes de sobrediseño son muy altos, lo cual muestra la necesidad de crear nuevas metodologías que se acerquen más a la realidad, ya que el sobredimensionar la red no solo causa mayores costos si no que genera problemas en los equipos de bombeo y por ende en el funcionamiento general de la red hidráulica.

En la última columna se muestra el porcentaje de uso de los equipos de bombeo, como se puede ver los valores son menores al 50%, lo que indica que se no se están colocando los equipos de bombeo adecuados para el sistema.

### **1.2.2.2 “Evaluación de métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificios de diferente tipo”<sup>7</sup>**

En ésta investigación Yóvani Castro y Jorge Garzón realizaron los cálculos del caudal máximo instantáneo para las edificaciones mencionadas en el numeral anterior, y compararon los resultados con los datos obtenidos experimentalmente.

El cuadro resumen se muestra en la Tabla 1-7. Como se aprecia el método que más se acerca al valor medido es el Racional, seguido de Hunter Modificado, lo cual resulta para todos los casos.

Los métodos del Factor de Simultaneidad, Alemán de la Raíz Cuadrada y Británico son los que presentan resultados de caudal más lejanos al medido.

<sup>7</sup> Castro Ladino, Yóvani. Garzón Garzón, Jorge. Tesis “Evaluación de métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificios de diferente tipo”. Universidad Nacional de Colombia Bogotá 2004.

Tabla 1-7 Resumen caudales máximos probables en lps

Métodos	Edificios		
	Takay II	El Lago 76	Santa María del Campo
-			
Hunter	8.52	3.72	20.79
Hunter Modificado	6.42	2.83	16.00
Británico	11.10	3.33	34.62
Raíz Cuadrada	9.49	4.61	17.15
Simultaneidad	17.20	2.99	52.92
Racional	2.68	1.22	6.25
Medido	3.12	0.86	3.24

Finalmente se aprecia que el Método de Hunter sobrestima el caudal máximo probable con respecto al medido en diferentes proporciones para cada tipo de edificación.

### 1.2.2.3 “Estudio de los caudales máximos instantáneos en edificaciones”<sup>8</sup>

En este trabajo el autor hace una recopilación de los datos tomados en las investigaciones mencionadas en los numerales previos a éste, de las cuales fue director, junto con otras que no se mencionaron y con base en los resultados de éste proceso propone modificar los dos métodos que más se acercaron a los caudales medidos, es decir Racional y Hunter, dando origen a lo que llamó Método Racional-Unal y Método Hunter-Unal.

#### 1.2.2.3.1 Método Racional-Unal

En éste método se introduce un factor de simultaneidad  $K_3$  que tiene en cuenta el tipo de edificación que se esté tratando y el área del proyecto así:

$$K_3 = K_u \times A \quad \text{Ecuación 1-5}$$

donde

$K_u$  = Coeficiente de uso, que es función del tipo de edificación. (ver Tabla 1-8)

$A$  = Área de la edificación en hectáreas (Ha).

<sup>8</sup> Ortiz, Rafael. Tesis “Estudio de los caudales máximos instantáneos en edificaciones”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2007.

**Tabla 1-8** Coeficiente de uso para el método “Racional-Unal”

Tipo de edificación (uso)	$K_u$
Apartamentos	5
Casas	0.55
Oficinas	3.5
Aulas universitarias	0.4
Aulas y consultorios odontológicos	4
Aulas y laboratorios médicos	1.5
Bibliotecas	0.08

Con el nuevo coeficiente  $K_3$  la ecuación para el cálculo del caudal máximo probable quedaría como:

$$Q_{\text{máx-prob}} = K_1 * K_2 * K_3 * q_{\text{máx}} \quad \text{Ecuación 1-6}$$

Los factores  $K_1$ ,  $K_2$  y  $q_{\text{máx}}$  son los mismos del método Racional original.

### **1.2.2.3.2 Método Hunter-Unal**

La propuesta de éste método consiste en hacer cambios en los valores de las variables originales del método de Hunter, es decir: caudal del aparato, frecuencia de uso y duración del uso, de tal manera que se ajusten a las características de los aparatos que se utilizan hoy en día.

Las modificaciones realizadas con respecto al método de Hunter original se muestran en la Tabla 1-9.

**Tabla 1-9 Variables, Método de Hunter vs Hunter-Unal**

<b>Método de Hunter original</b>				
	Duración	Frecuencia	Probabilidad de	Caudal del
	de uso	de uso	uso simultáneo	aparato
	$t$ (s)	$T$ (s)	$P=t/T$	$q$ (l/s)
Válvulas de	9	300	0.03	1.7
Fluxómetro				
Válvulas de	60	300	0.20	-
Tanque				
<b>Método de Hunter-Unal</b>				
Válvulas de	9	300	0.03	1.26
Fluxómetro				
Válvulas de	30	300	0.10	-
Tanque				

El método de Hunter-Unal cambia la duración de uso de las válvulas de tanque teniendo en cuenta que los aparatos que se utilizan hoy en día demoran menos tiempo en el llenado que aquellos asumidos en el método de Hunter original, esto incide además en la probabilidad de uso simultáneo.

Por otra parte el cambio en el caudal del aparato se basa en mediciones de los fabricantes de fluxómetros utilizados en Colombia.

## 2 Marco teórico

---

### 2.1 Conceptos básicos de hidráulica en tuberías a presión

Para realizar el análisis del flujo en tuberías es necesario hacer un recuento de las ecuaciones principales que se aplican, éstas son la ecuación de continuidad y el principio de Bernoulli.

#### 2.1.1 Ecuación de continuidad

Esta ecuación trata de la conservación de la masa de un fluido a través de 2 secciones de un conducto. El principio dice: “la masa que entra al conducto es igual a la masa que sale del mismo”.

A partir de este principio y para el caso de un tramo de tubería la ecuación se puede expresar como:

$$\rho_e V_e A_e = \rho_s V_s A_s \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Si se tiene un solo fluido, el factor  $\rho$  (densidad del fluido) se cancela, por tanto la ecuación queda como:

$$V_e A_e = V_s A_s \quad \text{ó}$$
$$Q_E = Q_S \quad \text{Ecuación 2-2}$$

donde,

V = velocidad del flujo. m/s

A = área de la sección transversal del conducto. m<sup>2</sup>

Q = caudal que circula en el conducto. m<sup>3</sup>/s

#### 2.1.2 Principio de Bernoulli

El principio de Bernoulli hace la formulación de la ley de conservación de la energía a lo largo de un tramo de flujo. Tomando una tubería en la cual fluye agua, y una sección 1 en cualquier lugar y más adelante en la dirección del flujo una sección 2, la ecuación se plantea de la siguiente manera:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

**Ecuación 2-3**

donde,

$z$  = posición con respecto al nivel de referencia. m

$p/\rho g$  = altura de presión. m

$v^2/2g$  = altura de velocidad. m

$h_{1-2}$  = pérdidas de energía entre 1 y 2. m

### **2.1.3 Pérdidas de energía**

Las pérdidas de energía en el flujo a presión se producen por 2 razones: 1) la fricción que existe entre el fluido y la pared del conducto que lo transporta y 2) la presencia de accesorios en el recorrido del flujo, estos pueden ser codos, tees, válvulas, entre otros.

#### **2.1.3.1 Pérdidas de energía por fricción**

Estas pérdidas se producen porque al estar avanzando el fluido dentro del conducto, en las paredes de éste se crea una fuerza llamada esfuerzo cortante, el cual va en dirección contraria al sentido del flujo oponiéndose al movimiento de éste. Dicho fenómeno hace que se produzcan pérdidas de energía que van a ser función de la rugosidad que tenga el material con cual está hecho el conducto.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción se han utilizado diferentes ecuaciones a lo largo de la historia de las cuales se destacan la ecuación de Hazen-Williams y la de Darcy-Weisbach.

##### **2.1.3.1.1 Ecuación de Hazen-Williams**

Es una ecuación empírica desarrollada en el año 1906 por G.S. Williams y A.H. Hazen, se plantea para el cálculo de pérdidas por fricción como:

$$h_f = \frac{6.824 \times l \times v^{1.851}}{C_{HW}^{1.851} \times d^{1.167}}$$

**Ecuación 2-4**

donde,

$h_f$  = pérdidas por fricción.

$l$  = longitud de la tubería

$v$  = velocidad del flujo.

$C_{HW}$  = Coeficiente de rugosidad de la tubería.

$d$  = diámetro de la tubería.

La obtención del coeficiente de rugosidad se hace de manera experimental, así se han obtenido ya valores para diferentes materiales utilizados en la elaboración de tuberías para el transporte de agua potable.

Como se puede apreciar la ecuación 2.4 tiene la ventaja de que expresa las pérdidas de tal forma que el cálculo resulta bastante sencillo. Sin embargo ésta ecuación tiene limitaciones por haber sido un resultado de experimentos, dichas limitaciones son:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales
- El diámetro debe ser superior o igual a 75 mm (3 pulg.)
- La velocidad en las tuberías debe ser inferior a 3 m/s (10 pies/s)

### **2.1.3.1.2 Ecuación de Darcy-Weisbach**

La ecuación planteada por éstos investigadores es:

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

donde,

$h_f$  = pérdidas por fricción

$f$  = coeficiente de fricción

$l$  = longitud de la tubería

$d$  = diámetro de la tubería

$v$  = velocidad del flujo

$g$  = constante gravitacional

Para el cálculo de  $f$  existen muchas ecuaciones, pero la más utilizada es la de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k_s/d}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 2-6

donde,

$f$  = factor de fricción. Adimensional

$k_s$  = rugosidad absoluta del material. m

$d$  = diámetro interno real de la tubería. m

$k_s/d$  = rugosidad relativa. Adimensional

$\text{Re}$  = número de Reynolds. Adimensional

La ventaja que motiva el utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach es que es físicamente basada, es decir que se desarrollo aplicando los principios de la física de Newton.

## 2.2 Teoría de emisores<sup>9</sup>

Un emisor es un accesorio que deja salir un caudal determinado como función de la presión que tenga en el punto de descarga. Los emisores se utilizan tradicionalmente para modelar hidrantes, aspersores, fugas de agua, entre otras.

La ecuación de un emisor es:

$$Q = K_e h^{n_e}$$

Ecuación 2-7

donde,

$Q$  = Caudal de salida por el emisor

$K_e$  = Coeficiente del emisor, depende de sus características geométricas

$h$  = Altura de presión en el sitio del emisor

$n_e$  = Exponente del emisor, depende de sus características geométricas

<sup>9</sup> Saldarriaga, Juan. Hidráulica de Tuberías. Editorial Alhambra Bogotá. D.C. 2007.

## **3 Diseño con el método de Hunter**

---

### **3.1 Ejemplo de cálculo con el método de Hunter**

A continuación se presenta el diseño hidráulico de las redes de suministro de agua potable para un edificio localizado en la ciudad de Bogotá. El diseño y la construcción de éste fueron realizados en el año 2006.

#### **3.1.1 Descripción del proyecto**

El edificio consta de 6 pisos y sótano, en cada piso tiene 4 apartamentos para un total de 20 y los pisos 2 al 6 son de un solo tipo (ver planos 1 al 3).

A continuación se describen los aparatos sanitarios con que cuenta cada tipo de apartamento y las zonas comunes, con el fin de crear una concepción de lo que va a alimentar la red de suministro de agua potable de la edificación.

- Sótano: aquí se encuentra la zona de parqueo de vehículos, depósitos, cuarto de basuras, Subestación eléctrica, Cuarto de bombas y el tanque de agua. Éste último es dimensionado en planta previamente por el arquitecto de acuerdo a la distribución de espacios que él tenga en consideración.
- Primer piso: en éste piso se debe suministrar agua para 2 baños ubicados uno en la portería y el otro en el salón comunal, estos baños comprenden únicamente 1 lavamanos y 1 sanitario. Adicionalmente en la zona comunal se debe ubicar una línea para una alimentar una poceta.
- Apartamento tipo 1: tiene un área de 156 m<sup>2</sup> y se ubica en la parte frontal del edificio, consta de los siguientes aparatos sanitarios: 4 Baños con ducha, 1 Baño social, 1 Cocina, Lavadero, Lavadora, Secadora y un Calentador de Paso de 10LPM.
- Apartamento tipo 2: el área en éste caso es de 67 m<sup>2</sup> y contiene: 2 Baños con ducha, 1 Baño social, 1 Cocina, Lavadero, Lavadora, Secadora y un Calentador de Paso de 10LPM.
- Apartamento tipo 3: su área es de 124 m<sup>2</sup> en los cuales hay 2 Baños con ducha, 1 Baño social, 1 Baño auxiliar, 1 Cocina, Lavadero, Lavadora, Secadora y un Calentador de Paso de 10LPM.
- Apartamento tipo 4: corresponde a un apartaestudio con 38 m<sup>2</sup> de área, 1 Baño con ducha, 1 Cocina, Lavadero, Lavadora, Secadora y un Calentador de Paso de 10LPM.

### 3.1.2 Procedimiento de diseño

Para dimensionar el tanque de reserva de agua potable se debe tener en cuenta lo estipulado en el numeral 6.6 del Código de Fontanería<sup>10</sup>, según esta norma la dotación para vivienda está entre 200 y 250 litros por habitante por día, y el tiempo mínimo de reserva es de 1 día. En éste ejemplo se calcula con una dotación de 200 lt/hab-día y un tiempo de reserva de un día y medio, en caso de suspensión del servicio público, lo cual es un tiempo de corte razonable para la ciudad de Bogotá. Por otro lado el número de habitantes se estima de acuerdo al criterio del diseñador teniendo en cuenta el número de apartamentos y su tamaño.

Tabla 3-1 Cálculo del volumen del tanque de reserva de agua potable.

Cálculo del volumen del tanque de reserva		
Dotación	200 l/hab.día	
Habitantes	65 hab.	
Días de reserva	1.5 días	
Volúmen requerido	20 m <sup>3</sup>	
Dimensiones	*Ancho	1.40 m
	*Largo	8.45 m
	Altura útil	1.70 m
	Volumen	20 m <sup>3</sup>

\* Estas dimensiones son medidas del plano según el espacio asignado en el diseño arquitectónico.

Con base en el cálculo anterior se procede a recomendar el volumen de reserva mínimo de 20 m<sup>3</sup>.

#### 3.1.2.1 Diseño de la red de suministro de agua potable

El primer paso del diseño es hacer el trazado de la red con base en los planos arquitectónicos. Éste trazado debe tener en cuenta los ductos que se asignen para llevar las columnas de la red y los espacios comunes en los que sea permitido llevar las tuberías. Se deben considerar espacios en los que no haya riesgos en caso de que se presenten infiltraciones, por ejemplo no se recomienda llevar tuberías de agua encima del cuarto eléctrico, y a que un daño en una de ellas puede ocasionar cortos en los equipos eléctricos.

Una vez se tiene el trazado físico de la red, se procede a realizar el diseño hidráulico desde el punto más crítico que en éste caso es la ducha con mezclador que queda en el apartamento tipo 3 del sexto piso.

<sup>10</sup> INCONTEC. "Código colombiano de fontanería – NTC 1500". Bogotá 2004.

En el plano anexo No. 4, se muestra el esquema isométrico de la ruta crítica con los puntos del recorrido señalados en el orden del sentido del flujo.

Como se parte de la ducha, lo primero que se debe considerar es la presión mínima que dicho aparato requiere para su buen funcionamiento, ésta presión se denomina presión residual y debe ser suministrada por los fabricantes del aparato ya que varía según su diseño. Para éste ejemplo se obtuvo, por parte de los proveedores del proyecto, la ecuación para calcular la mencionada presión. En la Tabla 3-2 se muestran presiones promedio que también pueden utilizarse para efectos de diseño.

Tabla 3-2 Caudales y presiones de diferentes aparatos<sup>11</sup>

Caudales y presiones de aparatos sanitarios			
Aparato	Presión m.c.a.	Caudal (l/s)	Diámetro de conexión
Sanitario de fluxómetro	7 - 17.5	0.95 - 2.84	1"
Sanitario de tanque	7 - 10.5	0.19 - 0.32	1/2"
Lavamanos	3.5 - 5.6	0.13 - 0.19	1/2"
Tina de llave	3.5	0.38	1/2"
Ducha	5.6 - 8.4	0.19 - 0.32	1/2"
Orinal de fluxómetro de 1"	7 - 17.5	0.95 - 2.84	1"
Orinal de fluxómetro de 3/4"	10.5	0.95	3/4"
Orinal de llave	3.5	0.13	1/2"
Lavaplabas	5.6	0.25	1/2"
Lavadora	5.6	0.25	1/2"

### Cálculo de la presión residual de la ducha

Ducha grival dual con mezclador monocontrol:

$$Pr = 1189.14 * Q^2 + 0.9 \quad \text{Ecuación 3-1}$$

El caudal se debe introducir en l/s, y la presión resultante es en m.c.a

El caudal de esta ducha completamente abierta es de 7 l/min, por tanto la presión residual es:

$$Pr = 1189.14 * (7/60)^2 + 0.9$$

$$Pr = 17.09 \text{ mca}$$

<sup>11</sup> Tomado de Granados, Jorge. "Redes hidráulicas y sanitarias en edificios". Bogotá. 2002.

Partiendo de ésta presión se procede a calcular el tramo o – 1 como se indica en la Tabla 3-5. Este tramo lleva el caudal correspondiente a la ducha, como la ruta crítica se presenta cuando se abre totalmente la llave de agua caliente a ésta tubería se le asignan las unidades respectivas que se obtienen de la Tabla 3-4. Se escoge la ducha con mezclador para uso privado, por tanto se tiene un total de 1.5 unidades de agua caliente.

Con las unidades se puede entrar a la Tabla 1-5 en la columna correspondiente a unidades de tanque ya que ésta red contiene sanitarios tipo tanque. Como se puede ver es necesario realizar una interpolación para 1.5 unidades, entre las existentes que son 1 y 3 unidades, obteniéndose como resultado un caudal de 0.16 l/s.

La asignación de diámetros depende de los valores comerciales del material seleccionado, sin embargo se puede probar en éste tubo con el diámetro de conexión que aparece en la Tabla 3-2, el cual es de ½”. Para los cálculos hidráulicos se debe tener el valor real del diámetro interno de las tuberías. En la Tabla 3-3 se pueden apreciar los valores mencionados, que son función del tipo de material a utilizar, para la construcción de la red de suministro de agua potable en éste edificio se seleccionó PVC-P. Como el tramo o – 1 es para transportar agua caliente, el diámetro real según la tabla sería el correspondiente a CPVC de ½”, es decir 0.489 pulgadas, que equivalen a 0.012 m.

Tabla 3-3 Diámetros reales<sup>12</sup>

Diámetro reales (pulgadas)									
Diámetro nominal	Tubería acero CED.40	Tubería acero CED.80	Tubería cobre Tipo k	Tubería cobre Tipo L	Tubería cobre Tipo M	Tubería PVC RDE 21	Tubería CPVC	Tubería HG Pesada	Tubería HG Liviana
1/2"	0.622	0.546	0.527	0.545	0.569	0.716*	0.489	0.645	0.661
3/4"	0.824	0.742	0.745	0.785	0.811	0.930	0.715	0.873	
1"	1.049	0.957	0.995	1.025	1.055	1.189		1.091	1.111
1 1/4"	1.380	1.278	1.245	1.265	1.291	1.502		1.435	
1 1/2"	1.610	1.500	1.481	1.505	1.527	1.720		1.672	
2"	2.067	1.939	1.959	1.985	2.009	2.149		2.107	2.127
2 1/2"	2.469	2.323	2.435	2.465	2.495	2.601		2.522	
3"	3.068	2.900	2.907	2.945	2.981	3.166		3.182	
4"	4.026	3.826	3.857	3.905	3.935	4.072		4.152	

\* PVC RDE 13.5

Para obtener la longitud del tramo de tubería, se debe medir a escala real en el plano correspondiente. Las longitudes de las diferentes tuberías de la ruta crítica se pueden ver en el plano No.4.

<sup>12</sup> Tomado de Granados, Jorge. “Redes hidráulicas y sanitarias en edificios”. Bogotá. 2002.

Con el fin de verificar si el diámetro escogido es adecuado para el tramo, se debe calcular la velocidad y se recomienda que no sea mayor que 2.4 m/s para evitar problemas de golpe de ariete que deterioran las tuberías.

### 3.1.2.2 Cálculo de pérdidas de energía

Para el cálculo de las pérdidas por fricción se hace uso de una ecuación físicamente basada como es la de Darcy – Weisback en combinación con Colebrook – White, ésta última para obtener el factor de fricción  $f$ .

Ecuación de Colebrook – White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k_s/d}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 3-2}$$

donde,

$f$  = factor de fricción. Adimensional

$k_s$  = rugosidad absoluta del material. m

$d$  = diámetro interno real de la tubería. m

$k_s/d$  = rugosidad relativa. Adimensional

$\text{Re}$  = número de Reynolds. Adimensional

La rugosidad absoluta del PVC se puede conseguir en los catálogos de las tuberías, siendo éste  $K_s = 1.5 \times 10^{-6}$  m.

El número de Reynolds se calcula como:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

donde,

$V$  = velocidad del fluido. m/s

$d$  = diámetro real interno. m

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido.  $m^2/s$

La viscosidad es función de la temperatura del fluido, para éste ejemplo se tiene agua a 15° centígrados, para la cual  $\nu = 1.14 \times 10^{-6} m^2/s$ .

Para el tramo 0 – 1 los cálculos serían:

$$Re = \frac{1.32m/s * 0.0124m}{1.14 \times 10^{-6} m^2/s} = 14387$$

Y de la ecuación de Colebrook – White, cuyo desarrollo es iterativo, se obtiene el valor de  $f$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{1.5 \times 10^{-6} m / 0.012 m}{3.7} + \frac{2.51}{13895 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0283$$

Con el valor de  $f$  se aplica la ecuación de Darcy – Weisbach para el cálculo de las pérdidas por fricción.

$$h_f = f \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

**Ecuación 3-4**

donde,

$h_f$  = pérdidas producidas por fricción. m

$f$  = factor de fricción. Adimensional

$l$  = longitud de la tubería. m

$d$  = diámetro interno de la tubería. m

$v$  = velocidad del flujo. m/s

$g$  = aceleración gravitacional.  $m/s^2$

$$h_f = 0.0283 \frac{4.11}{0.012} * \frac{1.321^2}{2 * 9.81} = 0.833m$$

Para calcular las pérdidas de energía producidas por los accesorios, ó pérdidas menores, se utiliza la ecuación:

$$h_m = k_m \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

donde,

$h_m$  = pérdidas de energía por accesorios.

$k_m$  = coeficiente de pérdidas menores.

$v$  = velocidad del flujo. m/s

$g$  = aceleración gravitacional. m/s<sup>2</sup>

El coeficiente de pérdidas menores  $k_m$  se puede conseguir en la bibliografía referente al tema. De la investigación “Determinación experimental del coeficiente de pérdidas menores  $k_m$  en accesorios para agua potable de PVC” realizada por el Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA, se obtuvieron los siguientes valores: 1.16, 0.27 y 0.94 para codos de 90°, tees de paso directo y tees con salida lateral, respectivamente.

Una vez se tiene el valor de  $k_m$  se deben contar los accesorios que tiene el tramo y clasificarlos según el tipo, con lo cual se pueden calcular las pérdidas menores como:

$$h_m = \sum k_m \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Para el tramo 0 – 1 existen únicamente 3 codos de 90°, por tanto la sumatoria de los  $k_m$  sería igual a  $1.16 \cdot 3 = 3.48$ , y las pérdidas menores serían:

$$h_m = 3.48 \left( \frac{1.32^2}{2 \cdot 9.81} \right) = 0.309m$$

Finalmente las pérdidas de energía totales resultan de sumar las pérdidas por fricción con las pérdidas menores. Para el tramo 0 – 1 serían iguales a  $0.833+0.309$  que da como resultado 1.14 m, tal como se muestra en la Tabla 3-5.

Además de las pérdidas de energía se debe tener en cuenta la distancia en vertical que debe ser recorrida por el flujo, a ésta se le denomina  $\Delta z$  en la Tabla 3-5.

Tal como se hizo para el tramo 0 – 1 se procede con los siguientes tramos en el orden de la ruta crítica, sumando las unidades correspondientes en cada derivación hasta llegar a la descarga de la bomba. Cabe aclarar que después del calentador el agua es fría, por lo tanto el material ya no es CPVC sino PVC, esto varía los diámetros internos reales de las tuberías. Además en el cálculo de unidades de agua fría para cada aparato se debe tener en cuenta las asignadas de agua caliente, las cuales deben ser restadas al total de unidades del aparato que se muestra en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Unidades de diferentes aparatos<sup>13</sup>

Aparato o grupo	Tipo de uso	Tipo de suministro	Unidades de aparato		Total
			Agua caliente	Agua fría	
Sanitario	Público	Fluxómetro	-	10	10
Sanitario	Público	Tanque	-	5	5
Orinal pedestal	Público	Fluxómetro 1"	-	10	10
Orinal de pared	Público	Fluxómetro 3/4"	-	5	5
Lavamanos	Público		1.5	1.5	2
Tina	Público		3	3	4
Ducha	Público	Mezdador	3	3	4
Lavaplatos	Público	Mezdador	3	3	4
Sanitario	Privado	Fluxómetro	-	6	6
Sanitario	Privado	Tanque	-	3	3
Lavamanos	Privado	Mezdador	0.75	0.75	1
Tina	Privado	Mezdador	1.5	1.5	2
Ducha	Privado	Mezdador	1.5	1.5	2
Grupo de baño	Privado	Sanitario de fluxómetro	2.25	6.75	8
Grupo de baño	Privado	Sanitario de tanque	2.25	4.5	6
Lavaplatos	Privado	Mezdador	1.5	1.5	2
Lavadora	Privado		2.25	2.25	3

<sup>13</sup> Tomado de Granados, Jorge. "Redes hidráulicas y sanitarias en edificios". Bogotá. 2002.

Las pérdidas en el calentador se estimaron de 10 m. c.a., dicho valor es el recomendado por los fabricantes de calentadores.

Para obtener las pérdidas en el medidor, se utilizó la expresión:

$$h_f = 10 * \left( \frac{Q_{real}}{Q_{nominal}} \right)^2 = 10 * \left( \frac{0.66}{0.92} \right)^2 = 5.15 m.c.a.$$

**Ecuación 3-7**

En la Tabla 3-5 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 3-5 Cálculo de presión en la descarga de la bomba por el método de Hunter – Ruta Crítica**

TRAMO	UNIDADES	CAUDAL	DIÁMETRO	DIÁMETRO	L (m)	V (m/s)	f	Re	hf	CANTIDAD			Suma	hm	PERDIDAS	D z	PRESION
										90°	TEE	TEE					
		l/s	PULGADAS	metros	m							km		m	m	m.c.a.	
AGUA CALIENTE																	
Ducha grival dual con mezclador monocontrol $P=1189.14*(0.1167*0.1167)+0.9=17.09$																	
0 - 1	1,5	0,16	1/2	0,01242	4,11	1,321	0,0283	14387	0,8330	3	0	0	3,4838	0,3096	1,14	0,95	19,18
1 - 2	2,25	0,17	3/4	0,01816	5,37	0,656	0,0307	10455	0,1990	0	0	1	0,2702	0,0059	0,20		19,39
2 - 3	4,5	0,27	3/4	0,01816	2,83	1,042	0,0273	16605	0,2353	0	3	0	2,8170	0,1560	0,39		19,78
3 - 4	7,5	0,41	3/4	0,01816	2,87	1,583	0,0247	25214	0,4979	0	1	0	0,9390	0,1199	0,62		20,40
4 - 5	9,75	0,49	3/4	0,01816	1,68	1,892	0,0237	30134	0,3995	1	0	0	1,1613	0,2118	0,61		21,01
CALENTADOR = 10m ca															10,00		31,01
5 - 6	9,75	0,49	3/4	0,02362	3,62	1,118	0,0251	23168	0,2453	2	0	0	2,3225	0,1480	0,39		31,40
6 - 7	13	0,63	1	0,03020	2,93	0,879	0,0251	23299	0,0958	0	0	1	0,2702	0,0107	0,11		31,51
7 - 8	19,5	0,87	1	0,03020	1,02	1,214	0,0232	32174	0,0590	0	0	1	0,2702	0,0203	0,08		31,59
8 - 9	24,25	1,08	1	0,03020	0,66	1,508	0,0221	39940	0,0560	0	1	0	0,9390	0,1088	0,16		31,75
9 - 10	28	1,20	1 1/4	0,03815	35,37	1,050	0,0228	35130	1,1847	9	0	1	10,7214	0,6022	1,79	17,05	50,59
10 - 11	MEDIDOR 1/2" DELTA P= $(0.66/0.92)^2*10=5.15m$																
11 - 12	490	7,7	2 1/2	0,06607	2,97	2,246	0,0172	130173	0,1986	2	0	0	2,3225	0,5973	0,80		56,53
12 - 13	500	7,82	2 1/2	0,06607	18,82	2,281	0,0171	132202	1,2942	3	0	1	3,7539	0,9957	2,29		58,82

Una vez se tiene el caudal y la descarga en la bomba, el constructor selecciona el equipo de bombeo adecuado, según las recomendaciones de los fabricantes.

## 4 Descripción del montaje de laboratorio

El montaje de laboratorio (ver Ilustración 4-1) ha sido diseñado de tal manera que asemeje las condiciones hidráulicas existentes en las instalaciones típicas de las edificaciones.

Está conformado por un tanque de almacenamiento de agua, en fibra de vidrio, que tiene un volumen de 3000 litros, es decir  $3 \text{ m}^3$  (ver Ilustración 4-2).

El llenado del tanque se hace una sola vez y cada que se requiera realizar limpieza, ya que tiene un tanque elevado que recibe el agua de los aparatos y la devuelve por gravedad al tanque de reserva (ver Ilustración 4-3), por tanto el sistema funciona con recirculación del agua.



Ilustración 4-1 Montaje de Laboratorio



**Ilustración 4-2 Tanque de almacenamiento de agua**



**Ilustración 4-3 Tanque de recirculación del agua**

## 4.1 Equipo de bombeo

El equipo de bombeo está conformado por 3 bombas serie VP – 135 de 5 etapas cada una y con un motor de 6.6 hp, de la marca IHM. Cada bomba da una cabeza máxima de 85 m. c.a. aproximadamente y varía en un rango de caudal de 0 a 75 galones por minuto (ver Ilustración 4-4a.).

Además de las bombas es necesario tener un tanque hidroneumático (ver Ilustración 4-4b.), cuya función es mantener presurizada la red y evitar el funcionamiento de las bombas en consumos bajos que requieran una baja presión.

El funcionamiento de las bombas junto con el del tanque hidroneumático está controlado mediante un tablero eléctrico que se muestra en la figura 4-5. Este tablero se programa a criterio del operador, de tal manera que las bombas, las cuales están manejadas por los presostatos funcionen para un rango de presiones determinado, es decir se prendan y se apaguen cuando se presente la presión ya calibrada en cada Presostato (ver Ilustración 4-6).

Además de lo anterior se debe programar si el funcionamiento de las bombas será alterno o cada bomba suministra un porcentaje del caudal de diseño. La tercera bomba se tiene en caso de emergencia, es decir es una bomba de suplencia, sin embargo se debe poner en funcionamiento para evitar que se pegue el eje de la misma y verificar que se encuentre en buen estado.

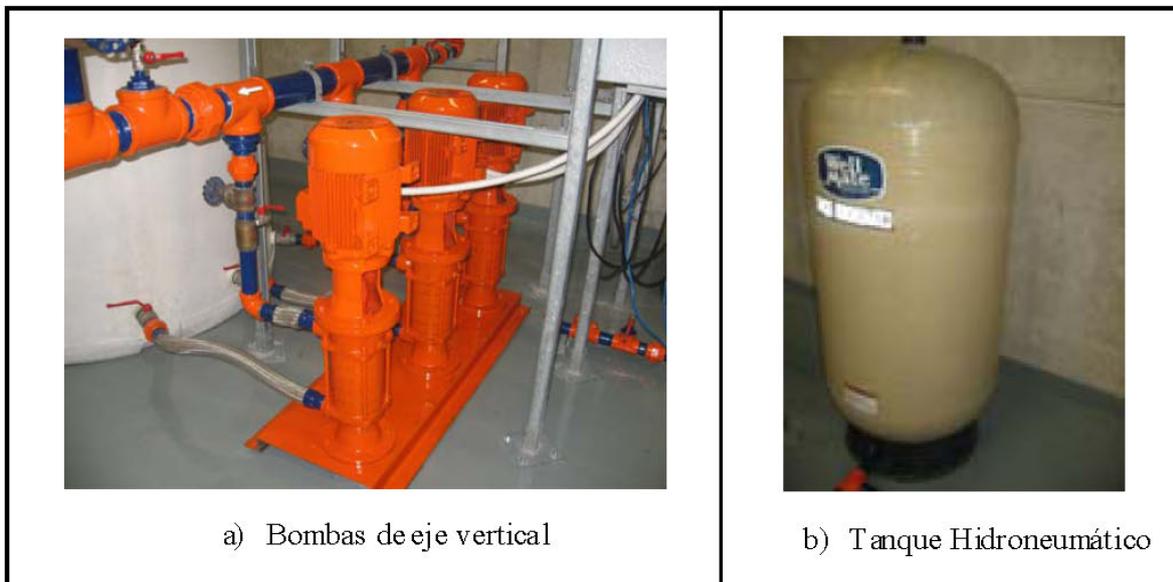


Ilustración 4-4 Equipo de bombeo

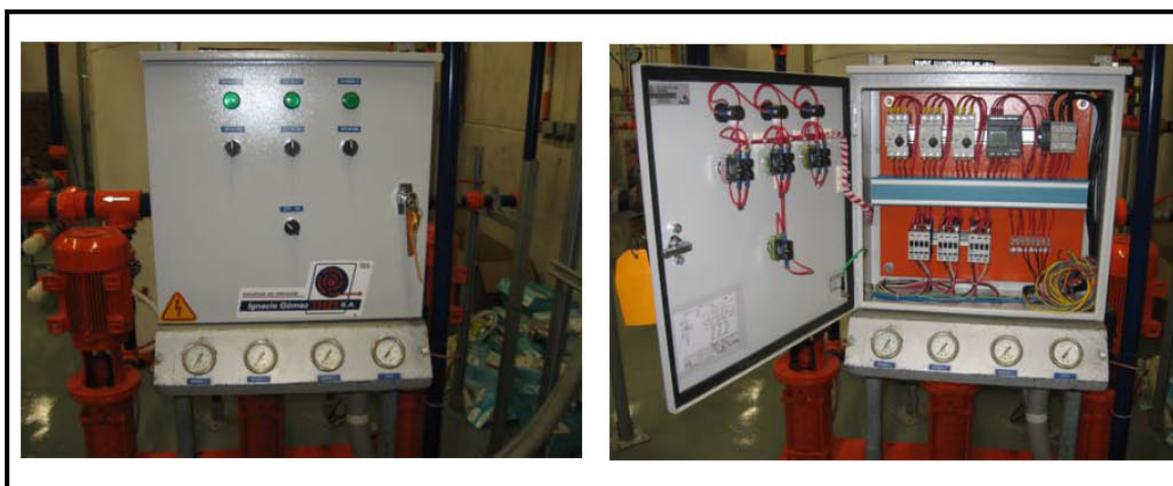
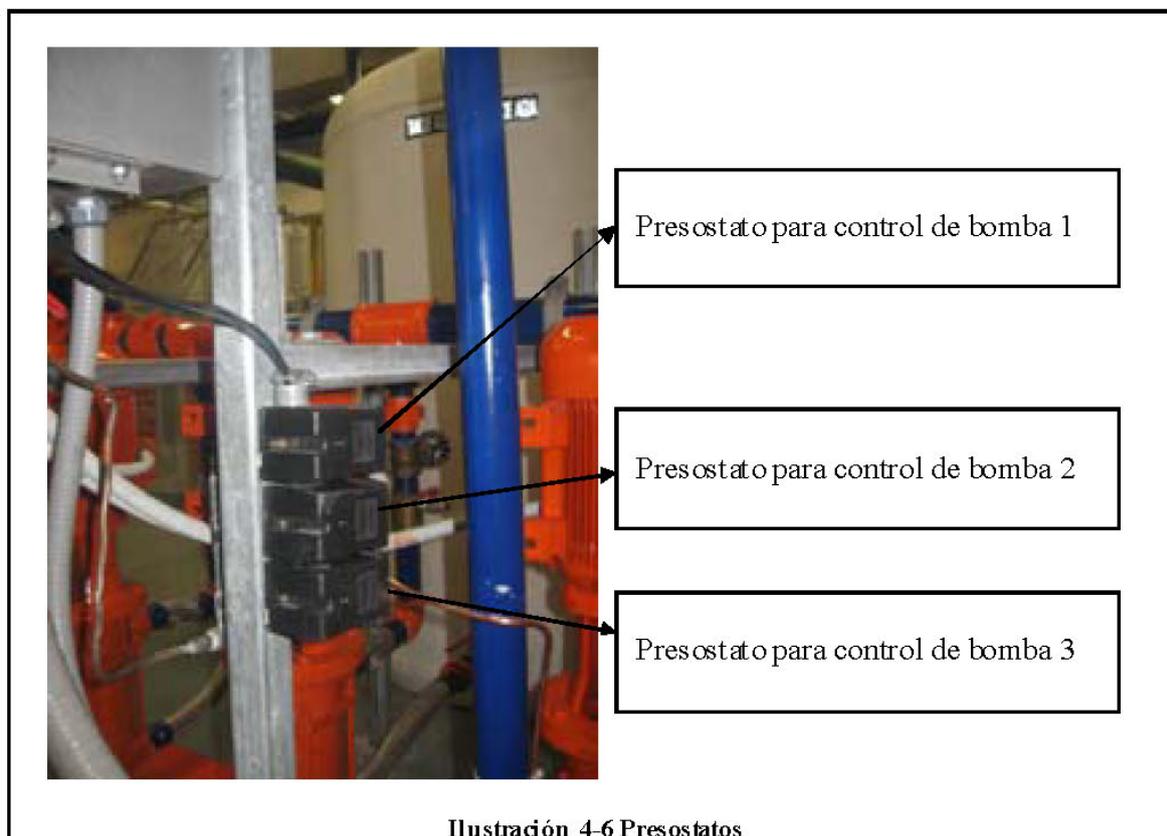


Ilustración 4-5 Tablero de control de bombas

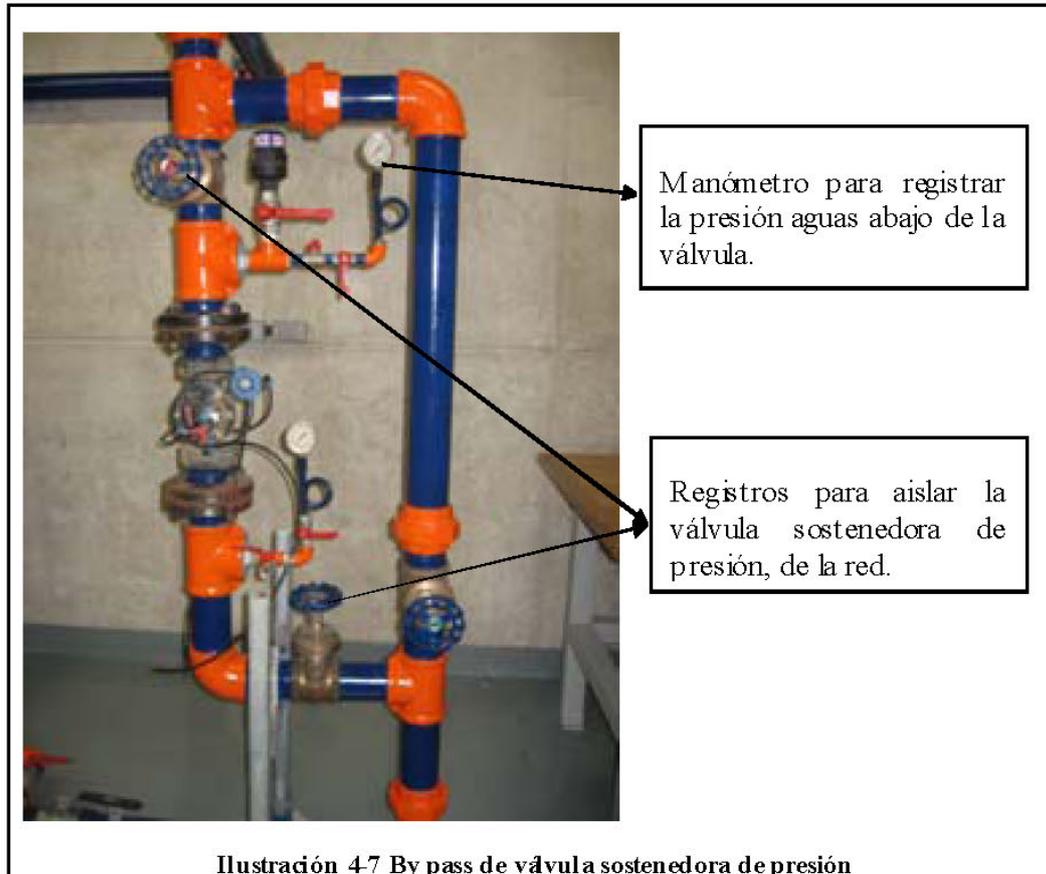
En la Ilustración 4-6 se observan 4 manómetros, 3 de éstos se conectan a las bombas y el otro va a una línea que conecta al tanque hidroneumático.



El objetivo del montaje de laboratorio es obtener las ecuaciones de los diferentes aparatos ensayados, por lo tanto es necesario ver como varía el caudal en la medida que se va variando la presión, teniendo en cuenta esto se pensó en trabajar con una válvula sostenedora de presión de tal manera que se simulen las condiciones reales que se presentan en las edificaciones.

## 4.2 Válvula sostenedora de presión

La función que cumple esta válvula es la de mantener la presión aguas abajo en un valor constante, independientemente de la presión con que llegue el agua aguas arriba de la válvula. Está ubicada de tal manera que su uso sea opcional, como se ve en la Ilustración 4-7 existen registros que permiten aislar la válvula de la red o permitir el paso de agua por la misma según se requiera.



**Ilustración 4-7 By pass de válvula sostenedora de presión**

En la Ilustración 4-8 se señalan las diferentes partes de la válvula, la cual funciona de la siguiente manera: la llave de 3 vías tiene las opciones de abierto, cerrado y automático. En la opción abierto, se abre totalmente la válvula, mientras que en automático se puede regular y abrir parcialmente.

Para las pruebas a realizar en este trabajo es necesario manejar la válvula en automático y a que se requiere tener un rango con varios valores de presión para la calibración de los aparatos.

Al colocar la llave en automático se le da el control al piloto sostenedor para operar el cierre o apertura de la válvula. Como se aprecia en la Ilustración 4-8 el piloto sostenedor tiene un tornillo, éste al ser girado le da tensión al resorte interno del piloto variando la presión aguas abajo de la válvula, de esta manera se obtienen los diferentes valores con que se quiere trabajar.

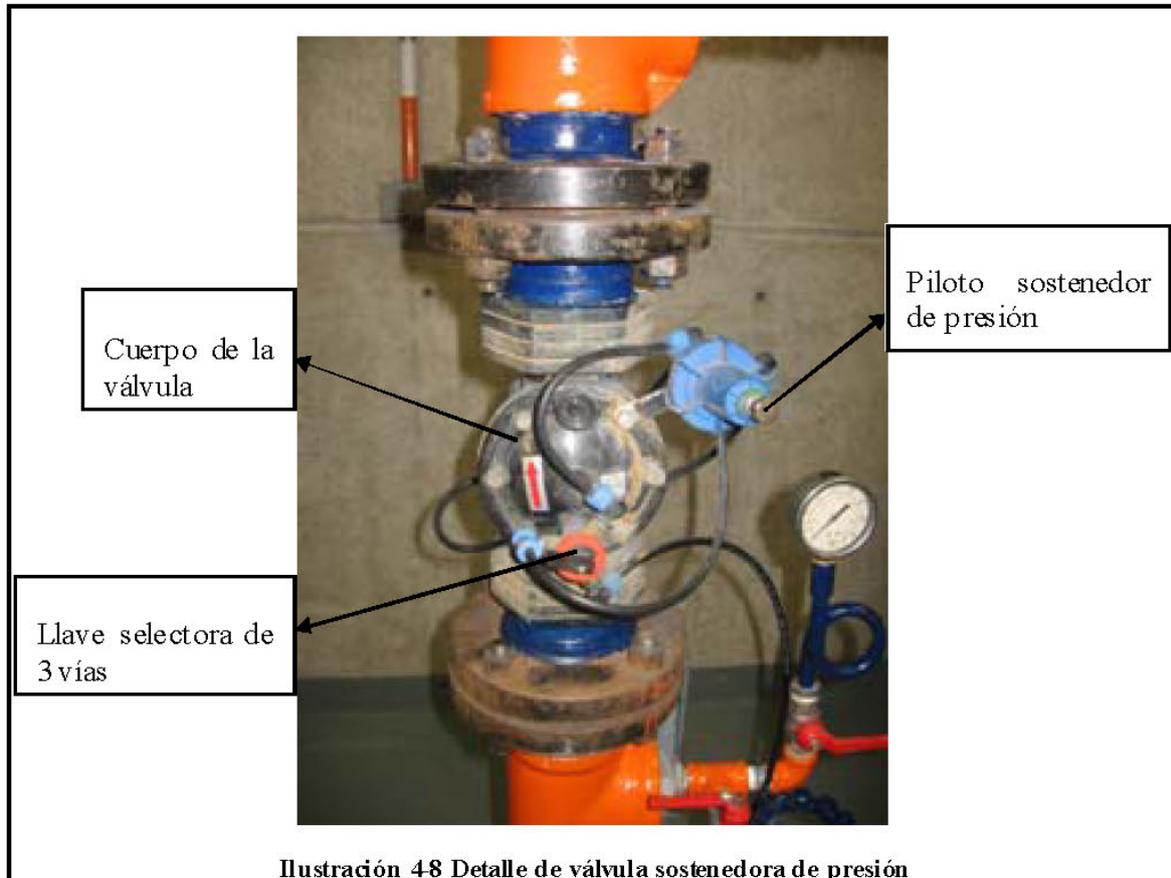


Ilustración 48 Detalle de válvula sostenedora de presión

### 4.3 Aparatos

Después de la válvula sostenedora de presión se encuentra la línea que alimenta a los aparatos, cuyo caudal cae a un tanque recolector regresando el agua al tanque de reserva.

En el lugar donde están ubicados los aparatos se conectó un manómetro de glicerina que mide la presión antes de la conexión del aparato respectivo (ver Ilustración 4-9).

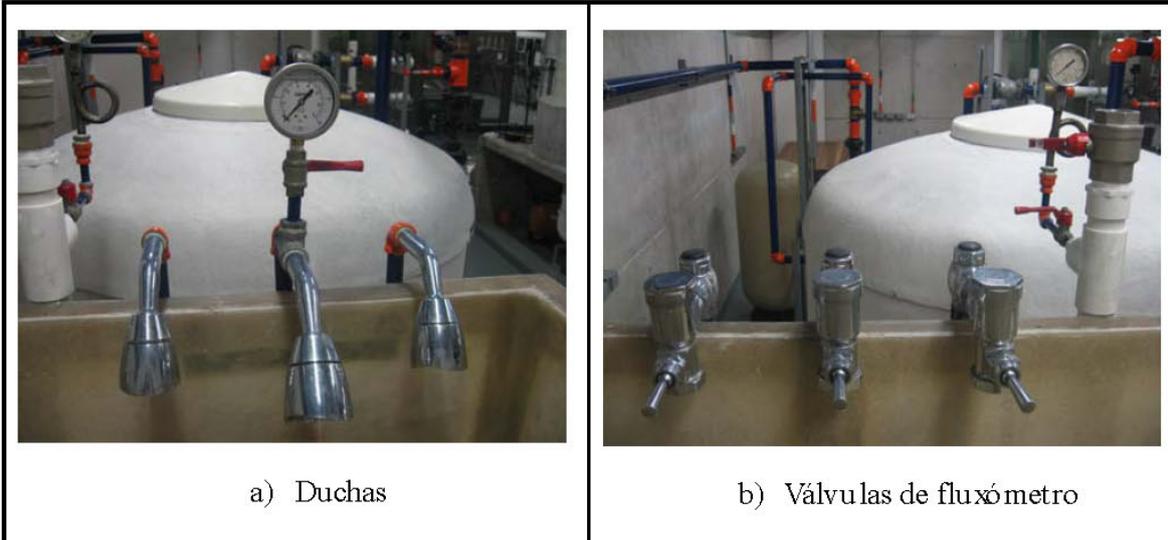


Ilustración 49 Aparatos

## ***5 Descripción de las pruebas de laboratorio***

Para obtener las ecuaciones de cada aparato, se tiene en cuenta en primer lugar los parámetros a medir. Como se trata de buscar el comportamiento del aparato como un emisor, se debe medir la variación del caudal en función del valor de presión que se tenga justo antes del aparato.

Por lo anterior se sabe que las dos variables a determinar son: presión y caudal. En la secuencia del desarrollo de las pruebas lo primero que se hace es ajustar el valor de presión antes del aparato, utilizando las válvulas del montaje, y verificando con el manómetro que se encuentra en este sitio (ver Ilustración 5-1), que la presión sea la deseada. El rango de presión que se maneja está entre los 0 y 100 psi. Esto teniendo en cuenta que corresponde a la presión que pueden tener los aparatos en las edificaciones.



**Ilustración 5-1 Montaje de aparatos y manómetro**

Una vez se ha graduado la presión, se hacen mediciones de caudal de forma volumétrica, es decir se mide el volumen de agua que sale del aparato en un tiempo dado, para esto se hace uso de los instrumentos mostrados en la Ilustración 5-2, conformados por recipientes aforados y un cronómetro con precisión de centésima de segundo.



**Ilustración 5-2 Elementos para medición de caudal**

Con el fin de tener una mayor certeza en los valores de caudal, para cada valor de presión se tomaron 3 mediciones de caudal y se calculó el promedio respectivo de éstas para obtener este parámetro de la ecuación del aparato.

El procedimiento mencionado se realizó 10 veces por cada aparato, para tener así esta cantidad de puntos en la gráfica cuya regresión da origen a la ecuación de emisor del aparato.

## 6 Obtención de las ecuaciones para los diferentes aparatos

Los aparatos que se probaron en el presente trabajo corresponden a grifería de la marca Grival de Colombia, los cuales se seleccionaron por ser una marca reconocida y utilizada a nivel nacional en la construcción. En la Tabla 6-1 se muestra el listado de los aparatos ensayados con su respectivo número de referencia.

Tabla 6-1 Grifería ensayada

Grifería ensayada - Grival	
Descripción	Referencia
<b>Baños</b>	
Conjunto mezclador lavamanos 8"- Victoria	711700001
Subconjunto lavamanos monocontrol- Victoria	711110001
Subconjunto lavamanos monoblock- Victoria	711120001
Ducha mezcladora - Victoria	714100001
Salida bañera - Victoria	714100001
Conjunto esfera scala lavamanos 8" a 4"- Sfera	561290001
Ducha monocontrol balance de presión csb- Sfera	234040001
Salida bañera - Sfera	234040001
Conjunto lavamanos mezclador de 4"-Century triceta	231220001
Ducha balance de presión	274010001
Salida bañera	274010001
Lavaplatos mezclador 8"- Florencia	795410001
Lavaplatos monocontrol pico recto - Bahia	775200001
Regadera dual	924300001
Regadera corriente	924000001
Teleducha corriente	914090001
Llave de jardín pesada con extensión	380430001
Llave manguera níquel liviana	791020001
Llave para lavadora y calentador	977100001
Conjunto grifería tanque Atlantis reposición	806800001
Válvula de entrada hidrostática antisifón	806630001

### 6.1 Regadera Dual Cromo – Ref. 924300001

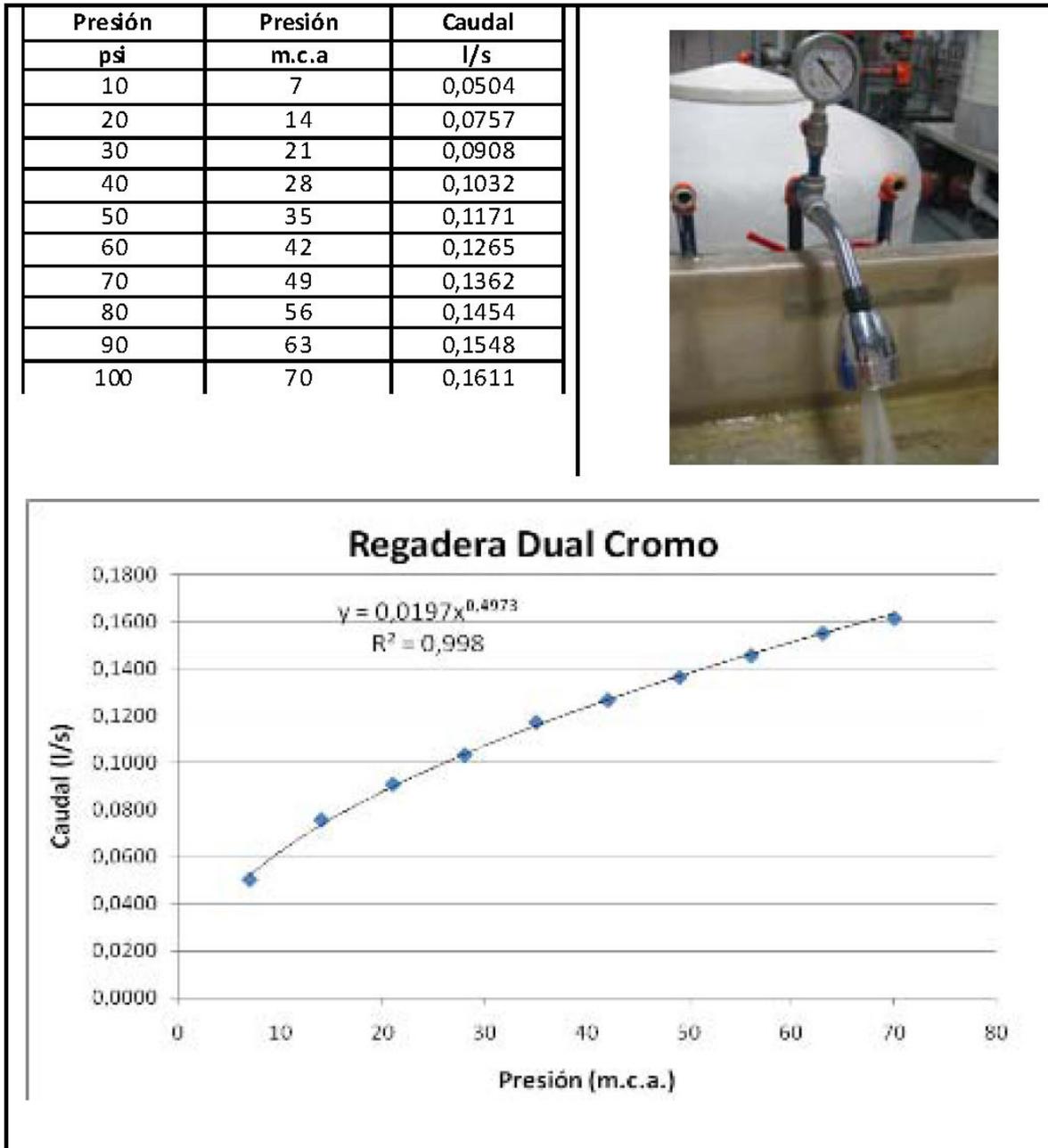


Ilustración 6-1 Regadera Dual Cromo

## 6.2 Regadera Grival Antigua

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
5	3,5	0,2508
7,5	5,25	0,3250
10	7	0,3742
12,5	8,75	0,4133
15	10,5	0,4631
17,5	12,25	0,5130
20	14	0,5444
22,5	15,75	0,5931
25	17,5	0,6197
27,5	19,25	0,6274

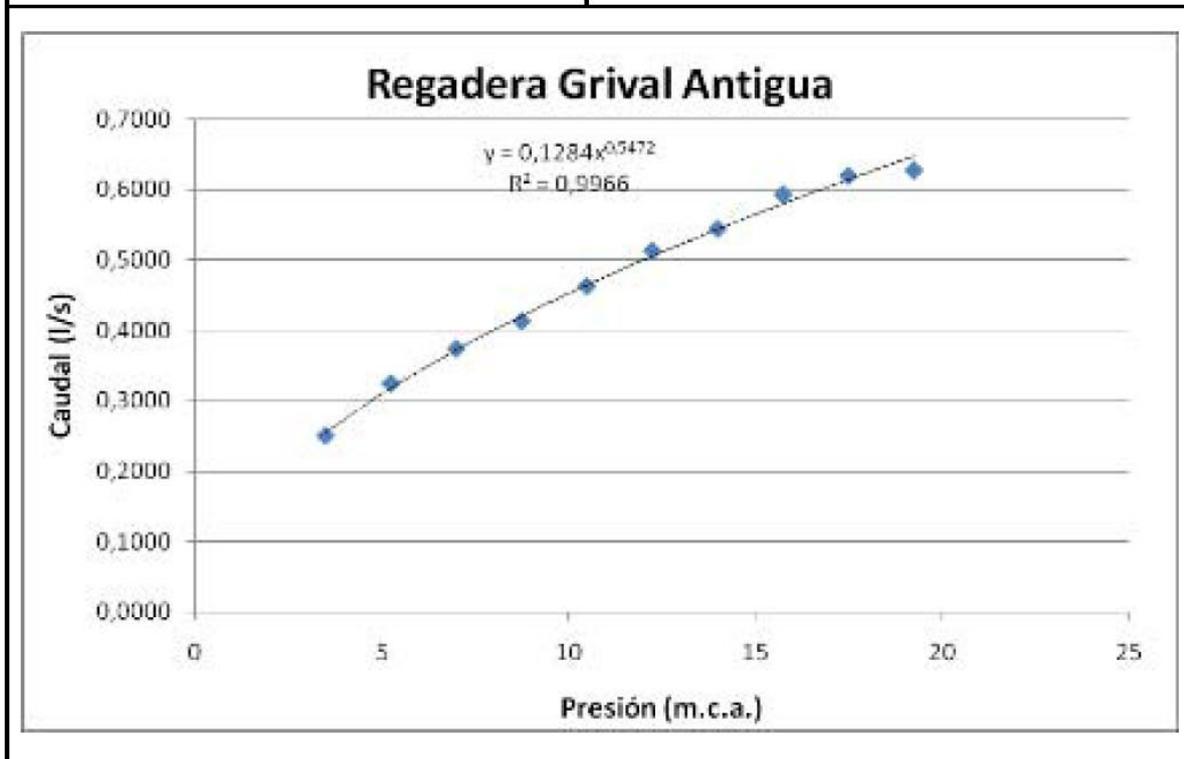


Ilustración 6-2 Regadera Grival Antigua

### 6.3 Regadera Corriente Cromo – Ref. 924000001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,0365
20	14	0,0528
30	21	0,0657
40	28	0,0775
50	35	0,0882
60	42	0,0956
70	49	0,1030
80	56	0,1153
90	63	0,1195
100	70	0,1257

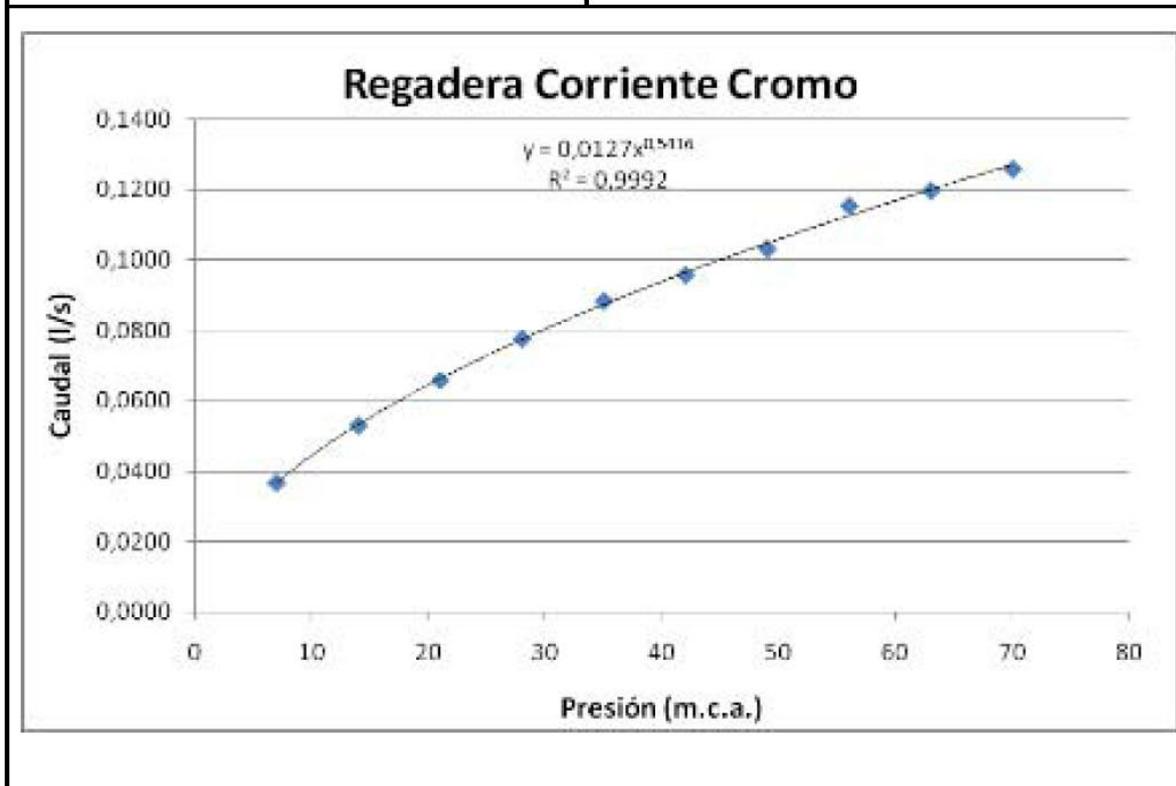


Ilustración 6-3 Regadera Corriente Cromo

### 6.4 Teleducha Corriente – Ref. 914090001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
5	3,5	0,1108
7,5	5,25	0,1605
10	7	0,1901
12,5	8,75	0,2097
15	10,5	0,2306
17,5	12,25	0,2493
20	14	0,2676
22,5	15,75	0,2784
25	17,5	0,2967
27,5	19,25	0,3125

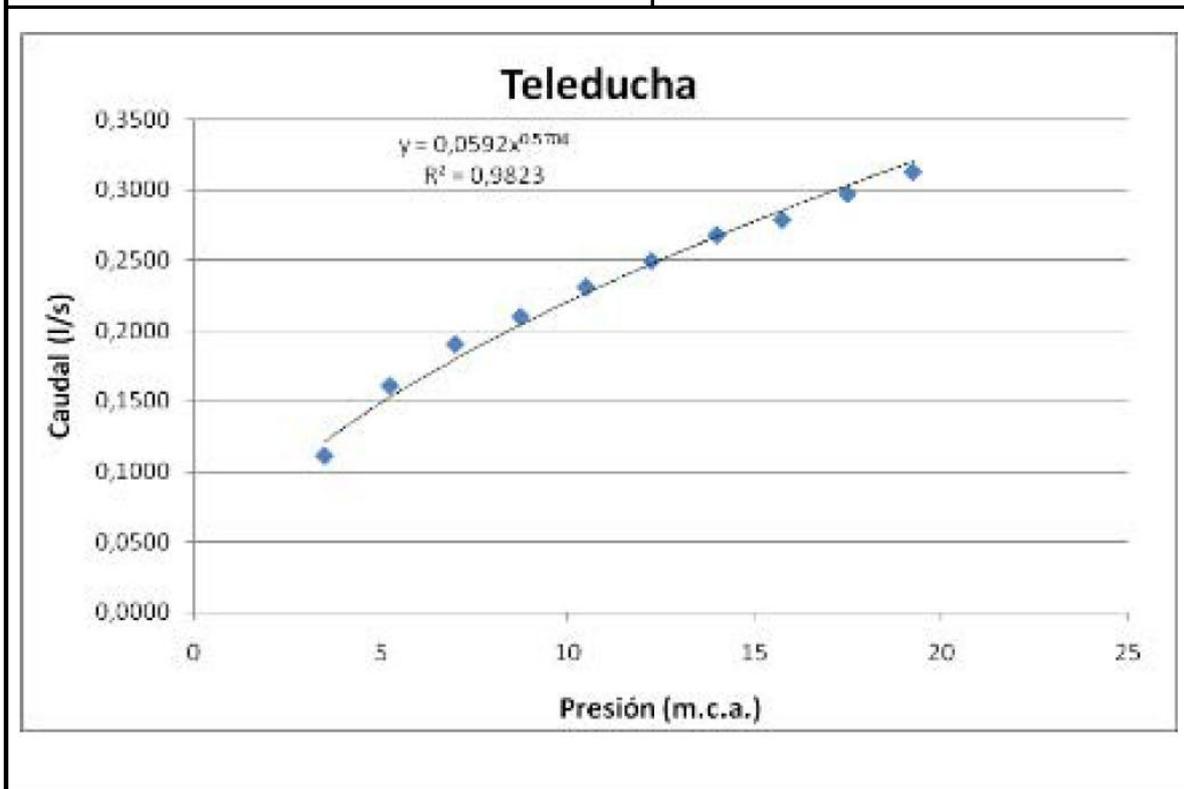


Ilustración 6-4 Teleducha

### 6.5 Llave Manguera Liviana Niquel – Ref.791020001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,1737
20	14	0,2111
30	21	0,2529
40	28	0,2772
50	35	0,3148
60	42	0,3351
70	49	0,3493
80	56	0,3787
90	63	0,3981
100	70	0,4214

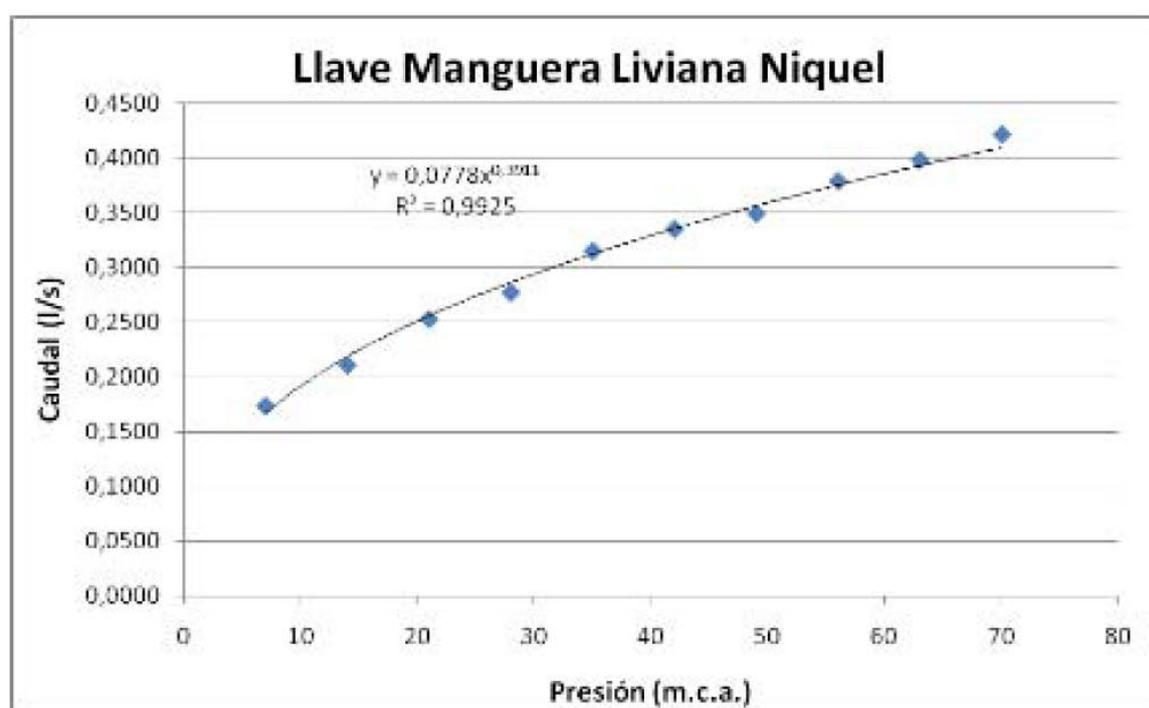


Ilustración 6-5 Llave Manguera Liviana Niquel

### 6.6 Llave jardín con extensión – Ref. 380430001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
2,5	1,75	0,1657
5	3,5	0,2268
7,5	5,25	0,2859
10	7	0,3326
12,5	8,75	0,3639
15	10,5	0,4019
17,5	12,25	0,4355
20	14	0,4635
22,5	15,75	0,4991
25	17,5	0,5000

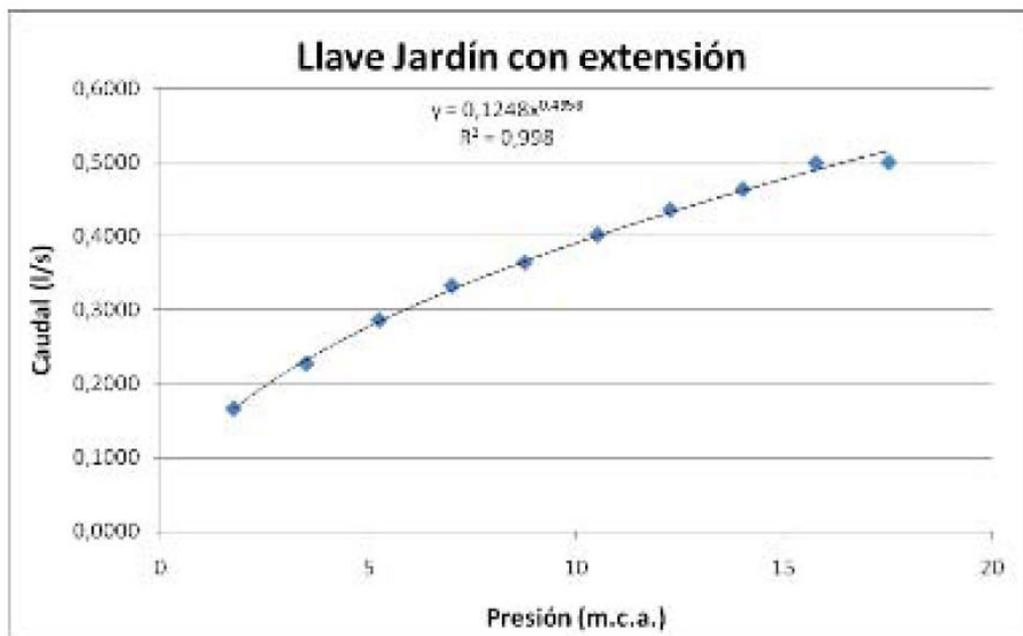


Ilustración 6-6 Llavejardín con extensión

### 6.7 Llave para lavadora y calentador – Ref. 977100001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
2,5	1,75	0,2667
5	3,5	0,3674
7,5	5,25	0,4737
10	7	0,5599
12,5	8,75	0,6064
15	10,5	0,6387
17,5	12,25	0,7404
20	14	0,8082
22,5	15,75	0,8640
25	17,5	0,8846

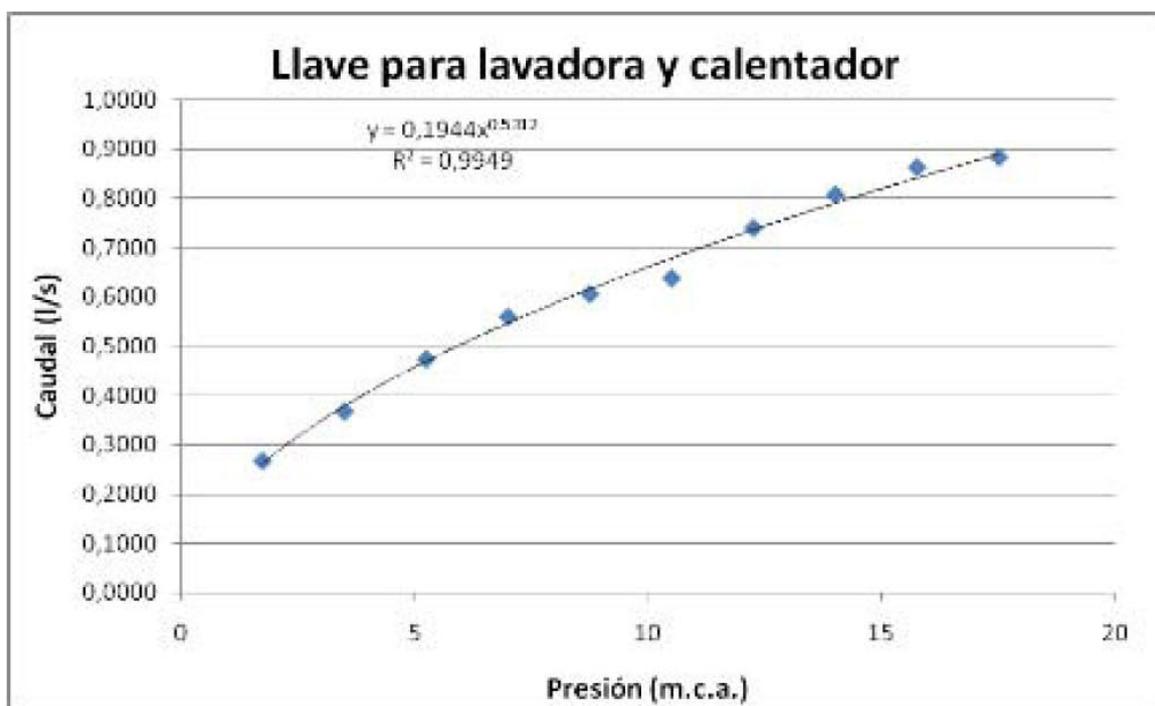


Ilustración 6-7 Llave para lavadora y calentador

### 6.8 Lavamanos mezclador de 4" Century – Ref. 231220001

1 Válvula abierta			2 Válvulas abiertas		
Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s	Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,0481	10	7	0,0522
20	14	0,0711	20	14	0,0762
30	21	0,0858	30	21	0,0916
40	28	0,0987	40	28	0,1060
50	35	0,1097	50	35	0,1175
60	42	0,1224	60	42	0,1278
70	49	0,1280	70	49	0,1343
80	56	0,1363	80	56	0,1436
90	63	0,1453	90	63	0,1521
100	70	0,1547	100	70	0,1652

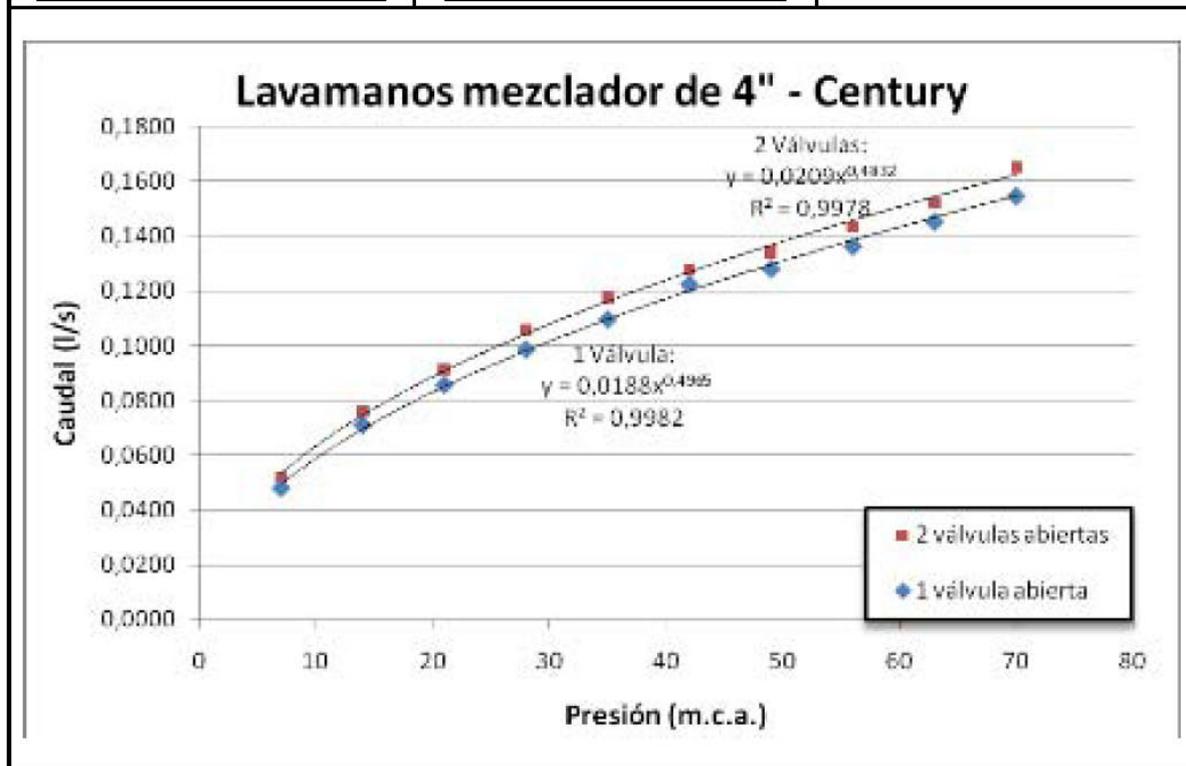


Ilustración 6-8 Lavamanos mezclador de 4" - Century

### 6.9 Lavaplatos mezclador de 8" Florencia – Ref. 7954100001

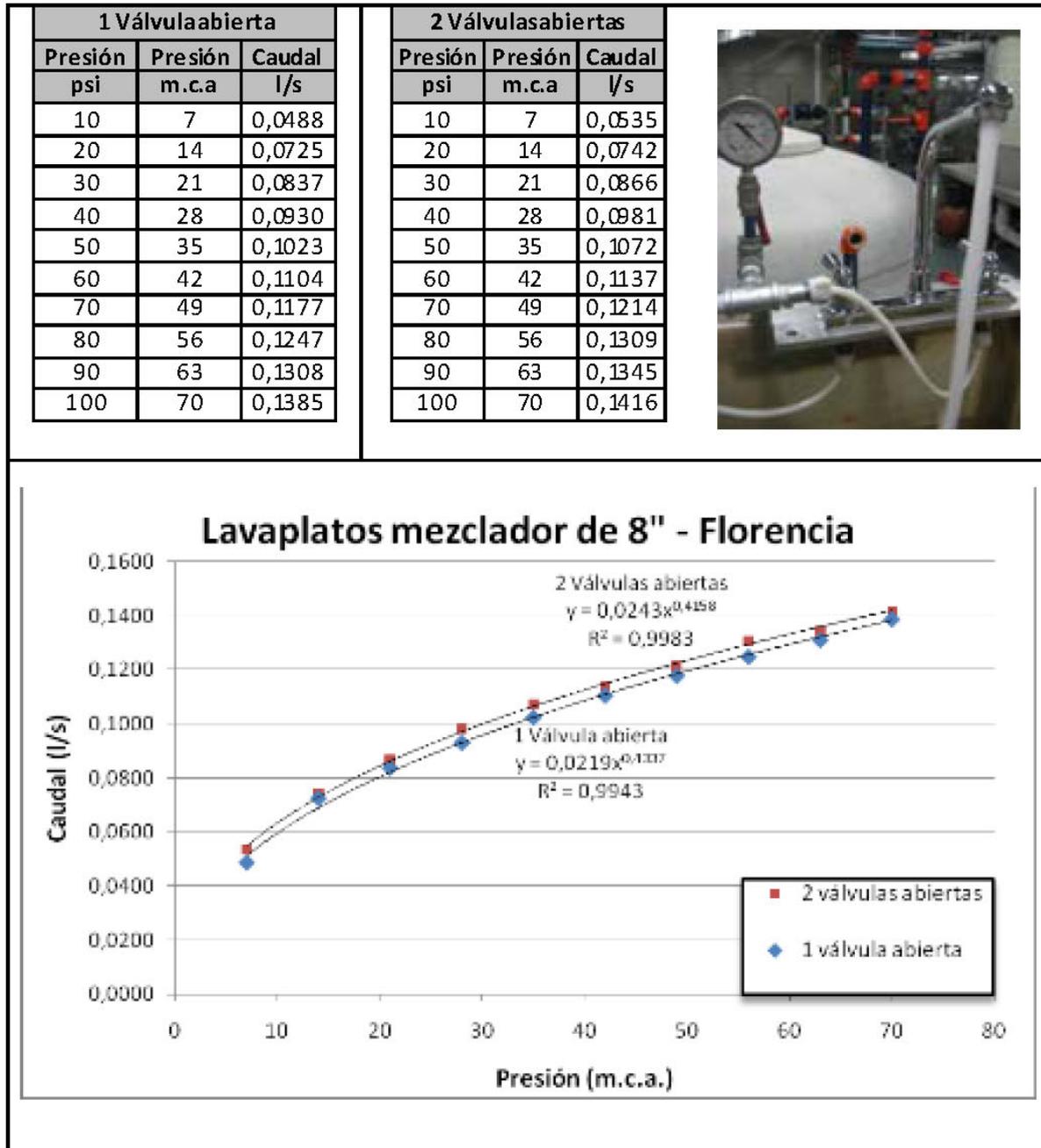


Ilustración 6-9 Lavaplatos mezclador de 8" - Florencia

### 6.10 Lavamanos 8" a 4" Sfera Scala – Ref. 561290001

1 Válvula abierta			2 Válvulas abiertas		
Presión	Presión	Caudal	Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s	psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0434	10	7	0,0483
20	14	0,0637	20	14	0,0694
30	21	0,0820	30	21	0,0872
40	28	0,0908	40	28	0,1010
50	35	0,0999	50	35	0,1136
60	42	0,1111	60	42	0,1231
70	49	0,1200	70	49	0,1318
80	56	0,1280	80	56	0,1431
90	63	0,1358	90	63	0,1515
100	70	0,1438	100	70	0,1594

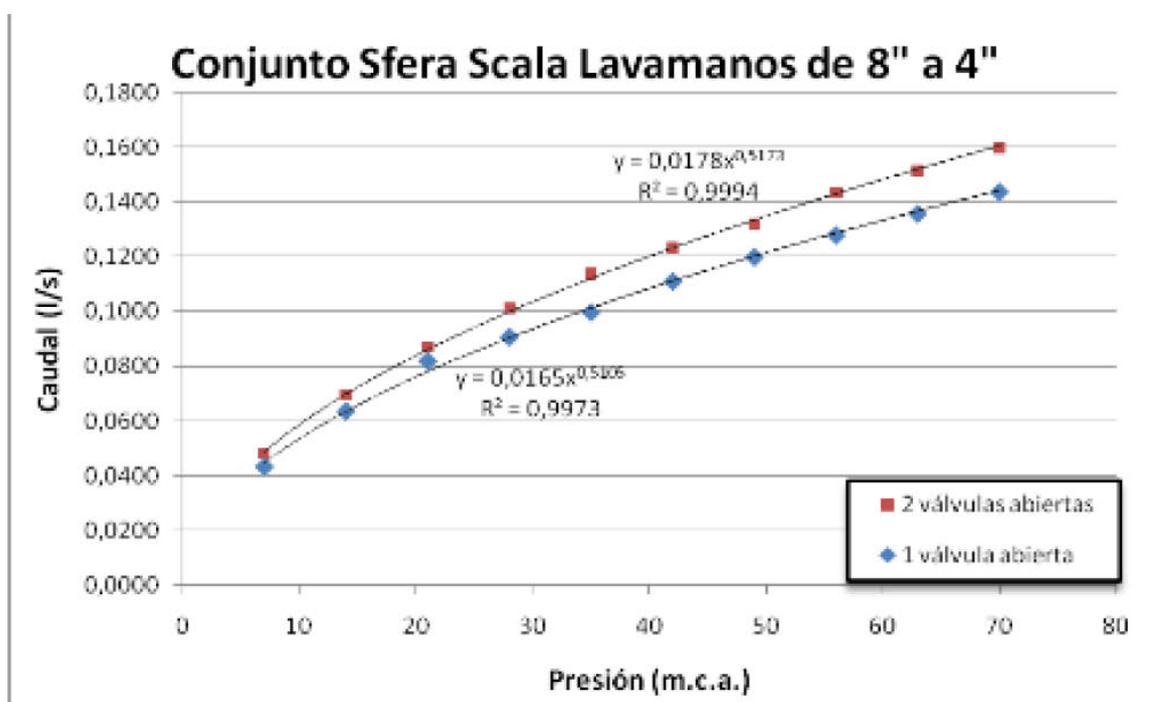


Ilustración 6-10 Conjunto Sfera Scala Lavamanos de 8" a 4"

### 6.11 Mezclador-Lavamanos de 8" Victoria – Ref. 711700001

1 Válvula abierta			2 Válvulas abiertas		
Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s	Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,0532	10	7	0,0563
20	14	0,0771	20	14	0,0814
30	21	0,0915	30	21	0,0966
40	28	0,1019	40	28	0,1094
50	35	0,1117	50	35	0,1184
60	42	0,1216	60	42	0,1287
70	49	0,1286	70	49	0,1365
80	56	0,1372	80	56	0,1444
90	63	0,1439	90	63	0,1496
100	70	0,1523	100	70	0,1608

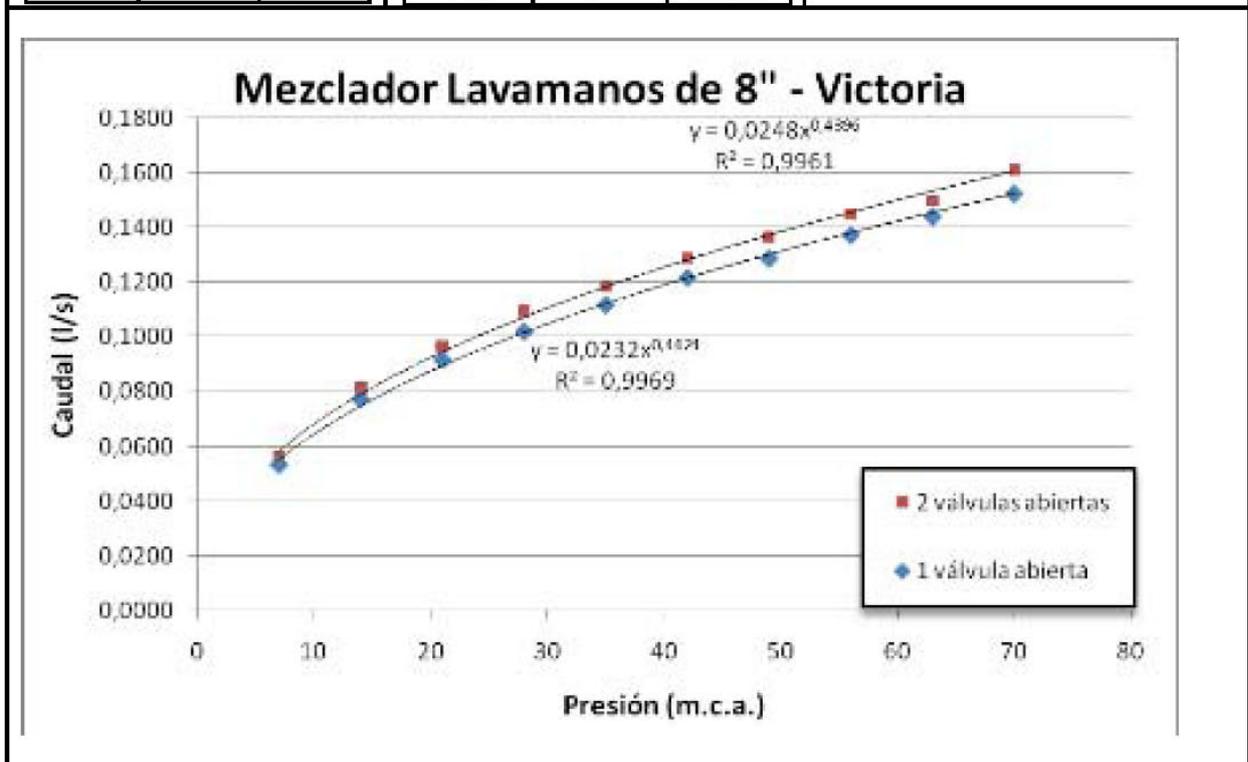


Ilustración 6-11 Mezclador Lavamanos de 8" - Victoria

### 6.12 Lavamanos Monocontrol Victoria – Ref. 711110001

Posición de válvula en máximo caudal		
Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0446
20	14	0,0683
30	21	0,0811
40	28	0,0917
50	35	0,1000
60	42	0,1093
70	49	0,1154
80	56	0,1243
90	63	0,1293
100	70	0,1363

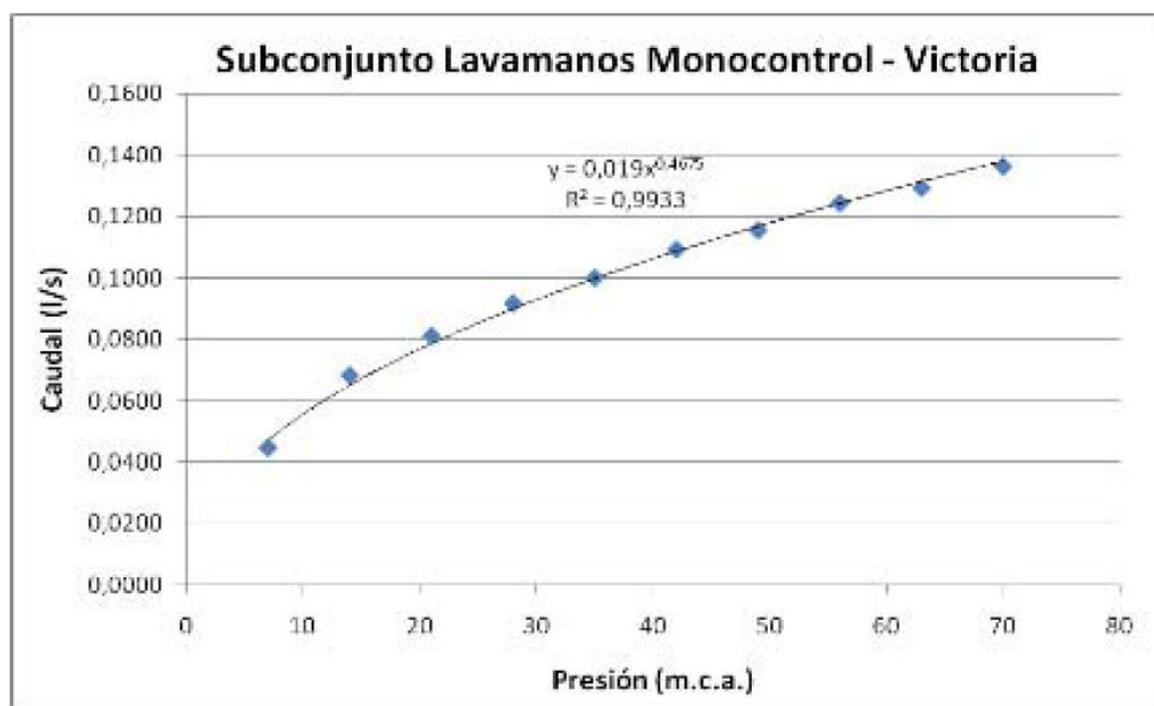


Ilustración 6-12 Subconjunto Lavamanos Monocontrol - Victoria

### 6.13 Lavaplatos Monoc. Pico Recto Bahía – Ref. 775200001

Posición de válvula en máximo caudal		
Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0392
20	14	0,0644
30	21	0,0823
40	28	0,0961
50	35	0,1095
60	42	0,1217
70	49	0,1306
80	56	0,1413
90	63	0,1500
100	70	0,1594

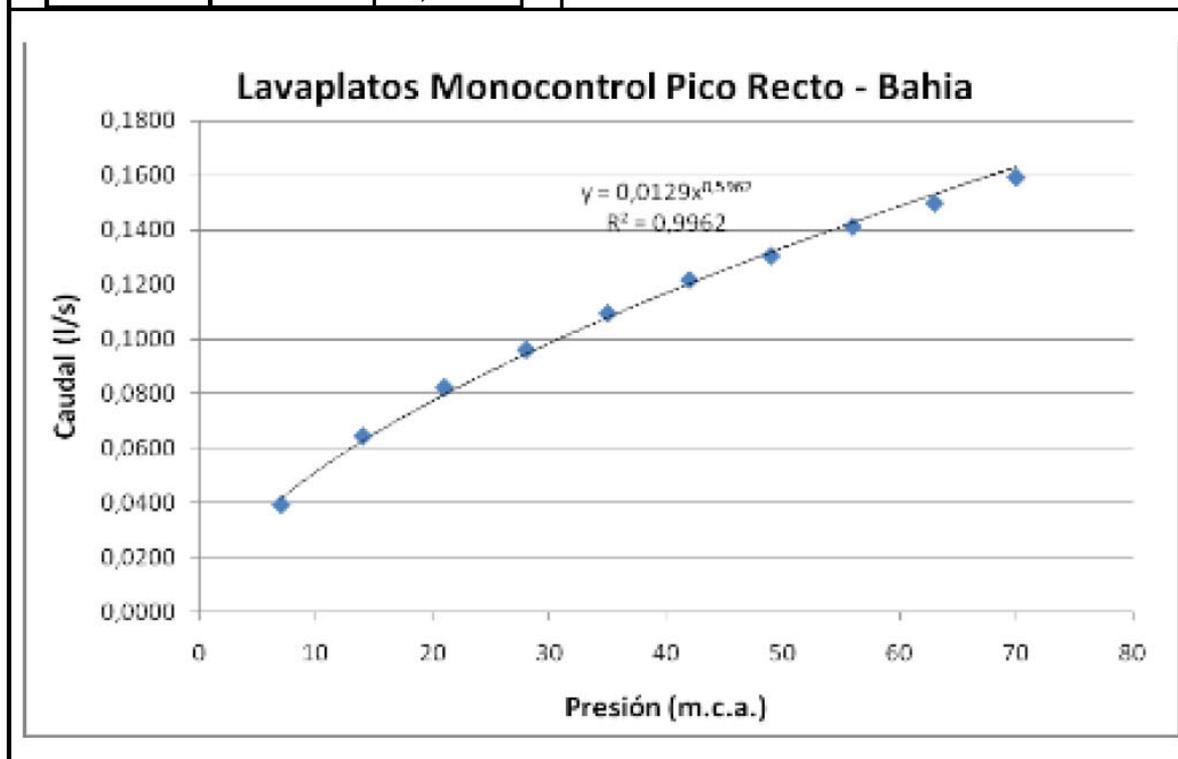


Ilustración 6-13 Lavaplatos Monocontrol Pico Recto - Bahia

### 6.14 Lavamanos Monoblock Victoria – Ref. 711120001

1 Válvula abierta			2 Válvulas abiertas		
Presión	Presión	Caudal	Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s	psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0362	10	7	0,0431
20	14	0,0600	20	14	0,0648
30	21	0,0749	30	21	0,0791
40	28	0,0856	40	28	0,0893
50	35	0,0963	50	35	0,0977
60	42	0,1040	60	42	0,1058
70	49	0,1126	70	49	0,1154
80	56	0,1201	80	56	0,1224
90	63	0,1267	90	63	0,1289
100	70	0,1333	100	70	0,1367

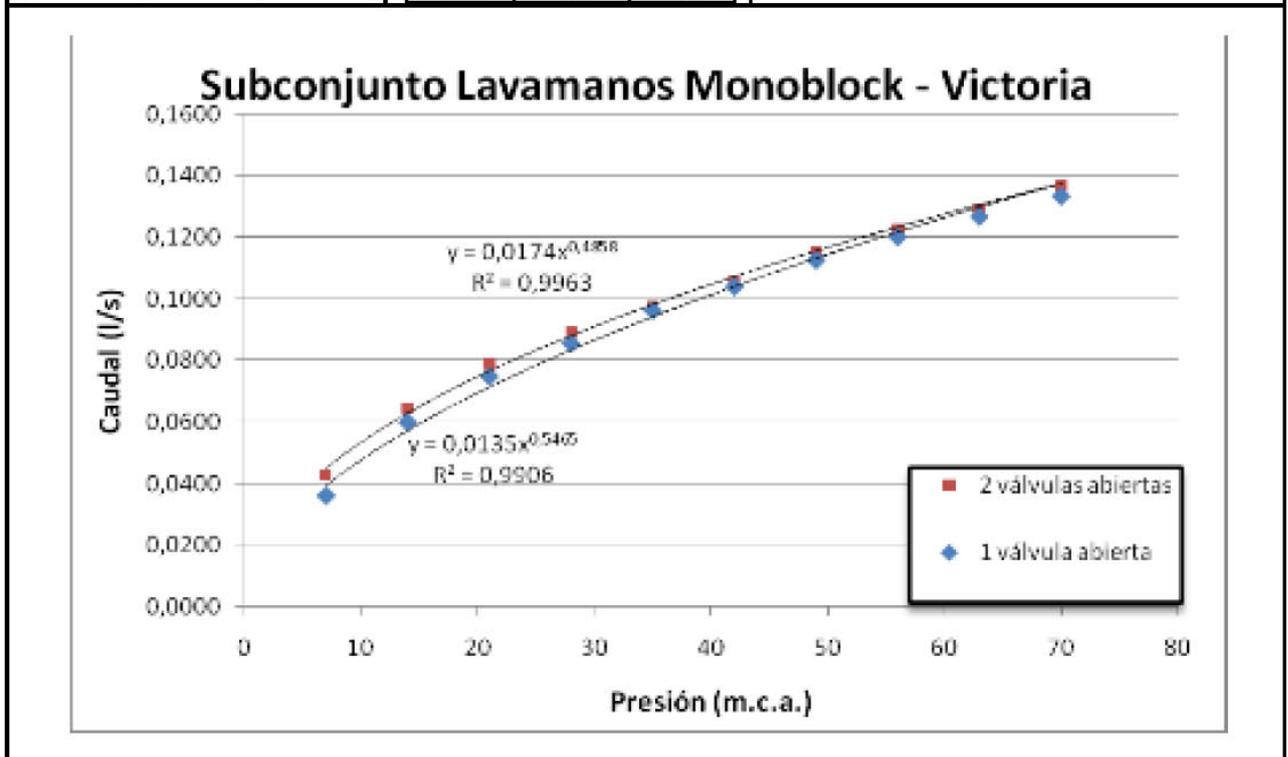


Ilustración 6-14 Subconjunto Lavamanos Monocontrol - Victoria

### 6.15 Grifería para Tanque Sanitario Atlantis – Ref. 806800001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,1216
20	14	0,1932
30	21	0,2561
40	28	0,2937
50	35	0,3352
60	42	0,3662
70	49	0,3877
80	56	0,4310
90	63	0,4462
100	70	0,4708

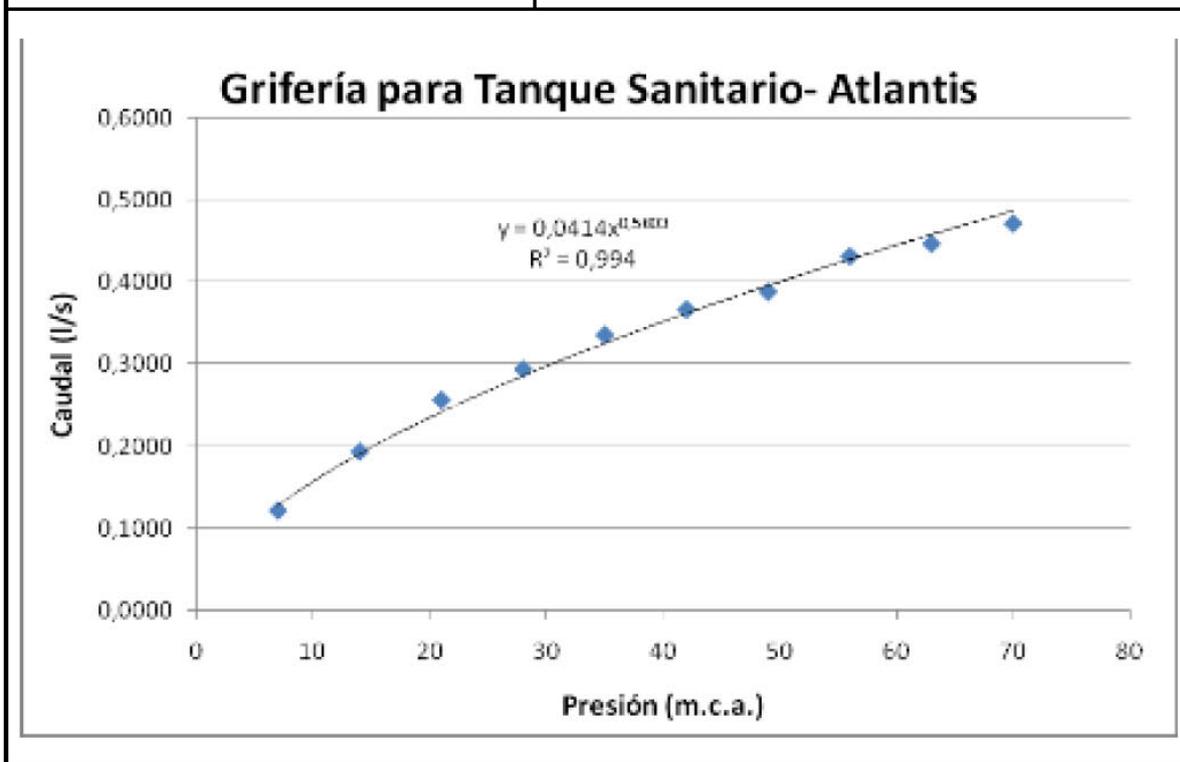


Ilustración 6.15 Grifería para Tanque Sanitario - Atlantis

### 6.16 Válvula Hidrostática Antisifón – Ref. 806630001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
5	3,5	0,0522
10	7	0,0810
15	10,5	0,1036
20	14	0,1284
25	17,5	0,1439
30	21	0,1619
35	24,5	0,1807
40	28	0,1911
45	31,5	0,2056
50	35	0,2175

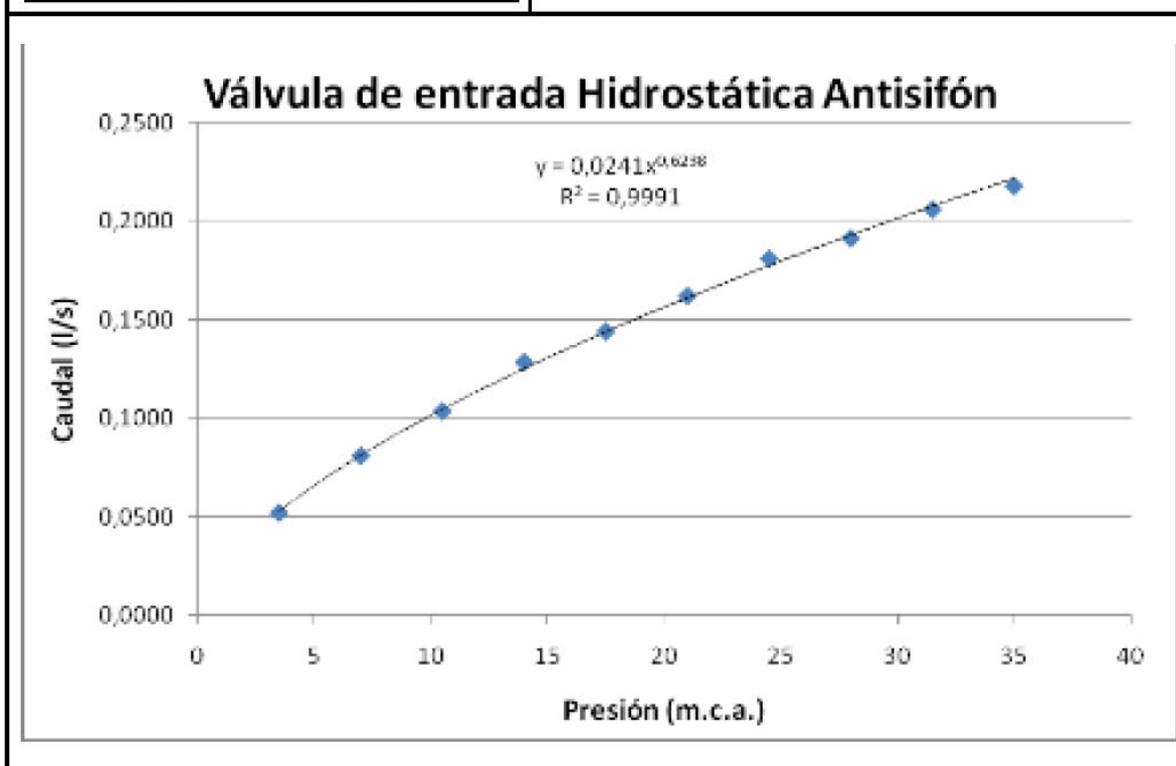


Ilustración 6-16 Válvula de entrada Hidrostática Antisifón

### 6.17 Ducha Mezcladora Victoria – Ref. 714100001

1 Válvula abierta			2 Válvulas abiertas		
Presión	Presión	Caudal	Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s	psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0273	10	7	0,0256
20	14	0,0407	20	14	0,0396
30	21	0,0497	30	21	0,0492
40	28	0,0573	40	28	0,0574
50	35	0,0641	50	35	0,0633
60	42	0,0703	60	42	0,0692
70	49	0,0748	70	49	0,0751
80	56	0,0795	80	56	0,0803
90	63	0,0848	90	63	0,0853
100	70	0,0882	100	70	0,0895

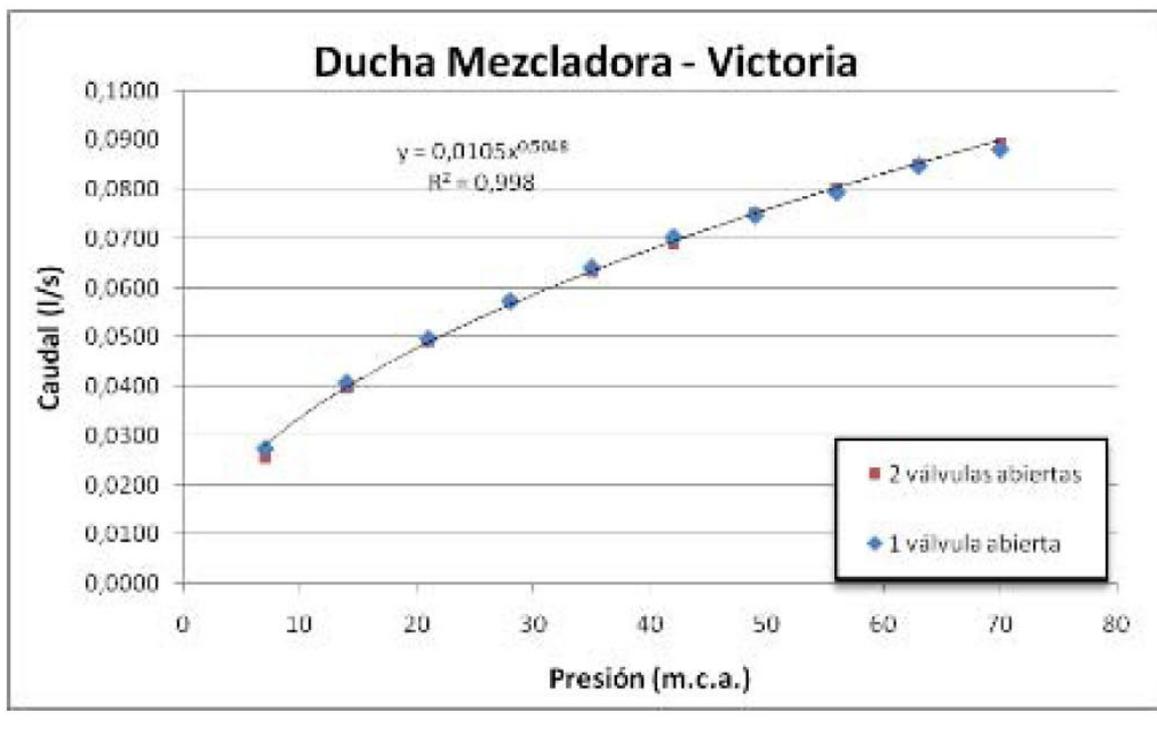


Ilustración 6-17 Ducha Mezcladora - Victoria

### 6.18 Salida a bañera Victoria – Ref. 714100001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
10	7	0,1027
20	14	0,1485
30	21	0,1835
40	28	0,2143
50	35	0,2357
60	42	0,2585
70	49	0,2796
80	56	0,2932
90	63	0,3111
100	70	0,3247

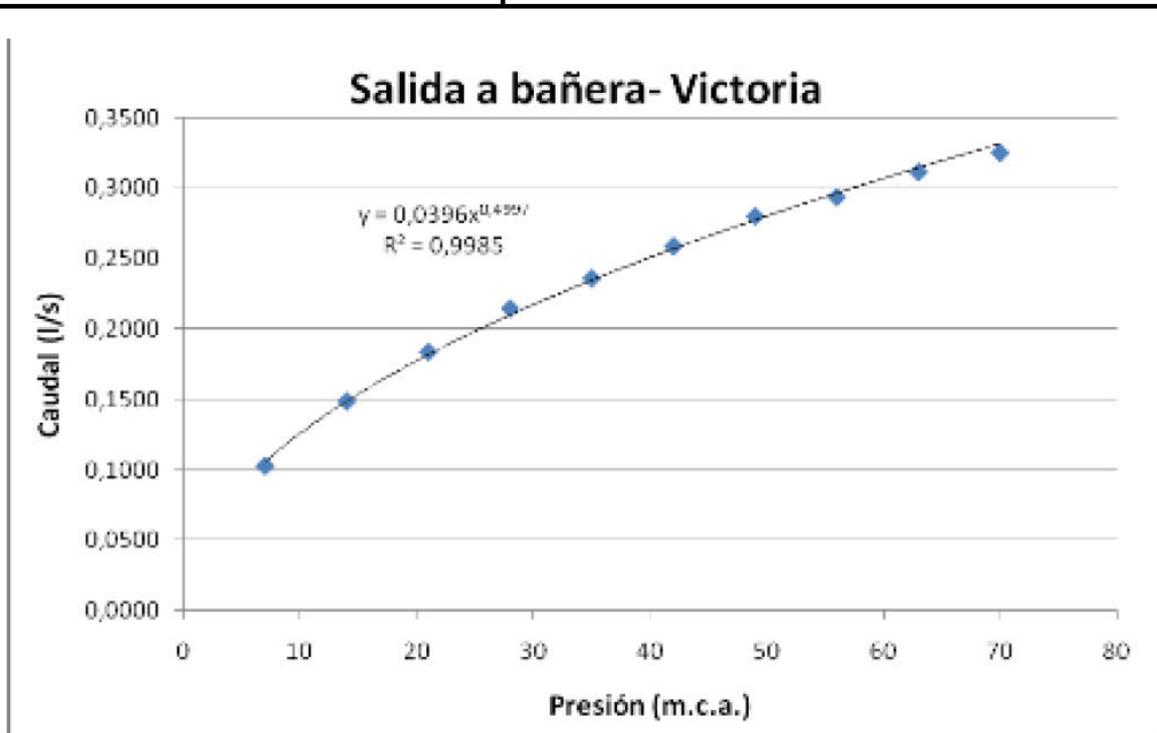


Ilustración 6-18 Salida a bañera - Victoria

### 6.19 Ducha Balance de Presión – Ref. 274010001

Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
30	21	0,0879
35	24,5	0,0955
40	28	0,1004
50	35	0,1105
60	42	0,1188
70	49	0,1280
80	56	0,1344
85	59,5	0,1375
90	63	0,1424
100	70	0,1494

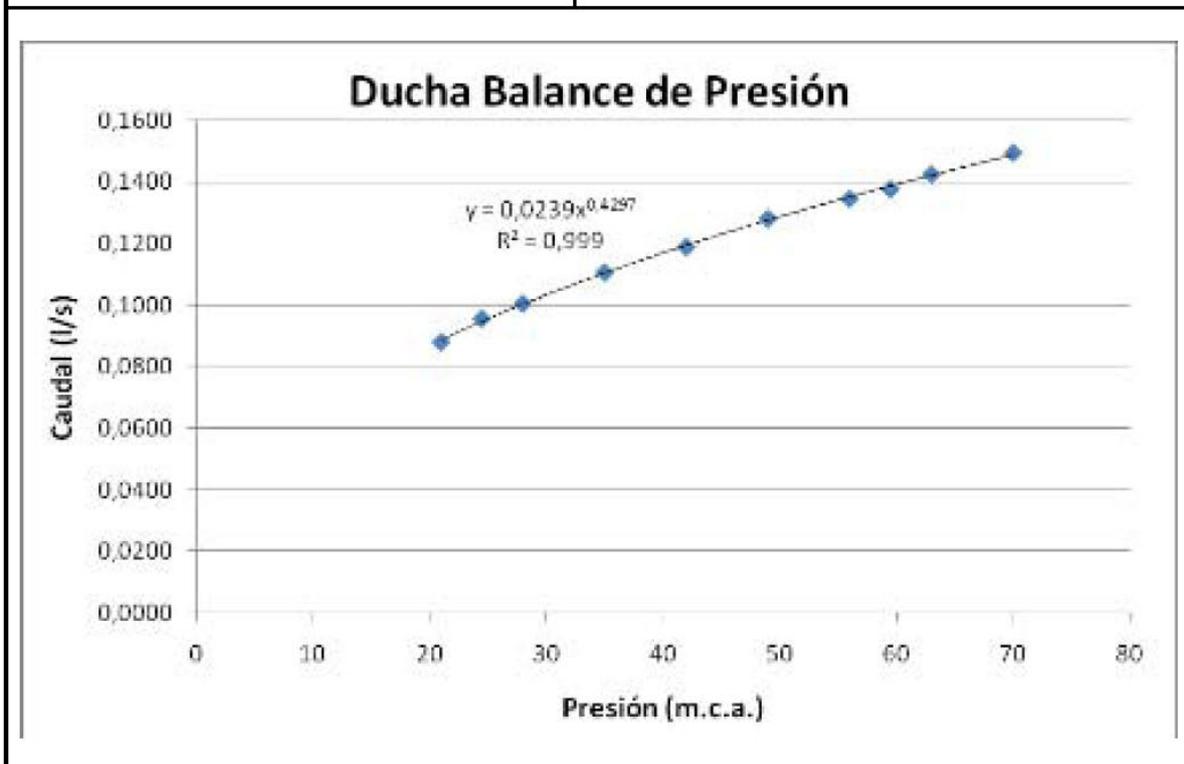


Ilustración 6-19 Ducha Balance de Presión

### 6.20 Salida a bañera – Referencia 274010001

Salida a bañera		
Presión psi	Presión m.c.a	Caudal l/s
30	21	0,1861
40	28	0,2183
50	35	0,2453
60	42	0,2727
65	45,5	0,2886
70	49	0,2919
80	56	0,3184
85	59,5	0,3306
90	63	0,3364
100	70	0,3590

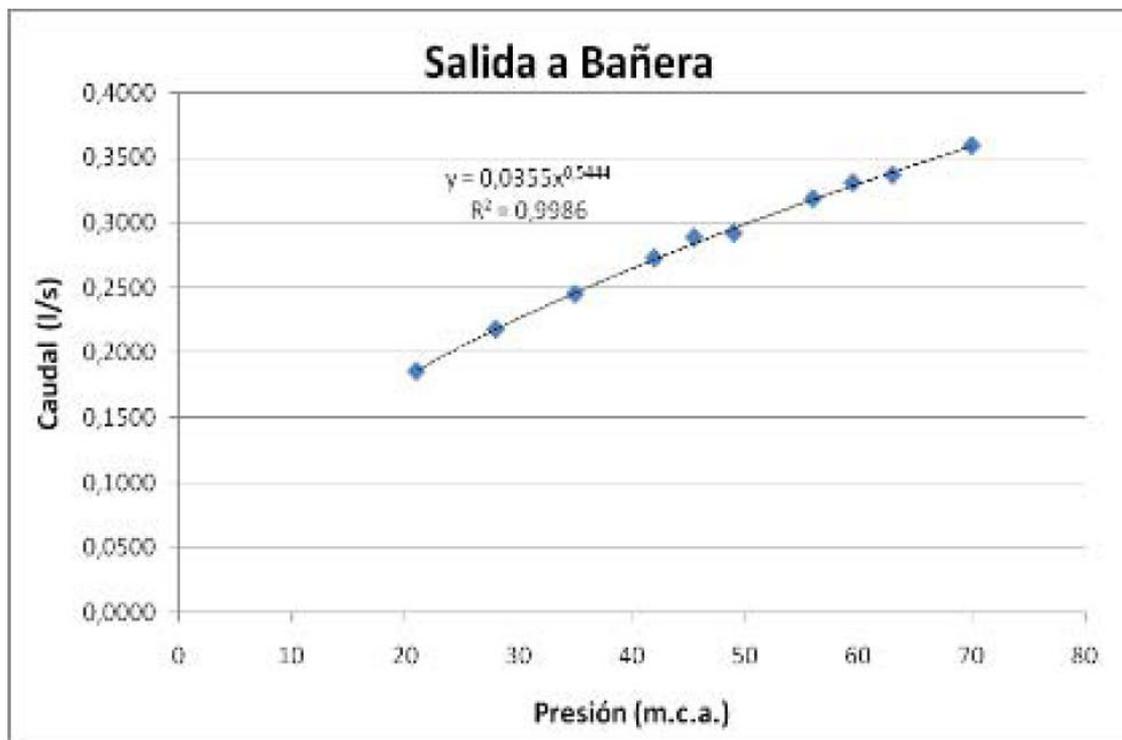


Ilustración 6-20 Salida a bañera

### 6.21 Ducha Monocontrol Century – Ref. 234040001

Ducha Monocontrol Century		
Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s
10	7	0,0367
20	14	0,0531
30	21	0,0652
40	28	0,0744
50	35	0,0853
60	42	0,0898
70	49	0,0965
80	56	0,1007
90	63	0,1055
100	70	0,1131

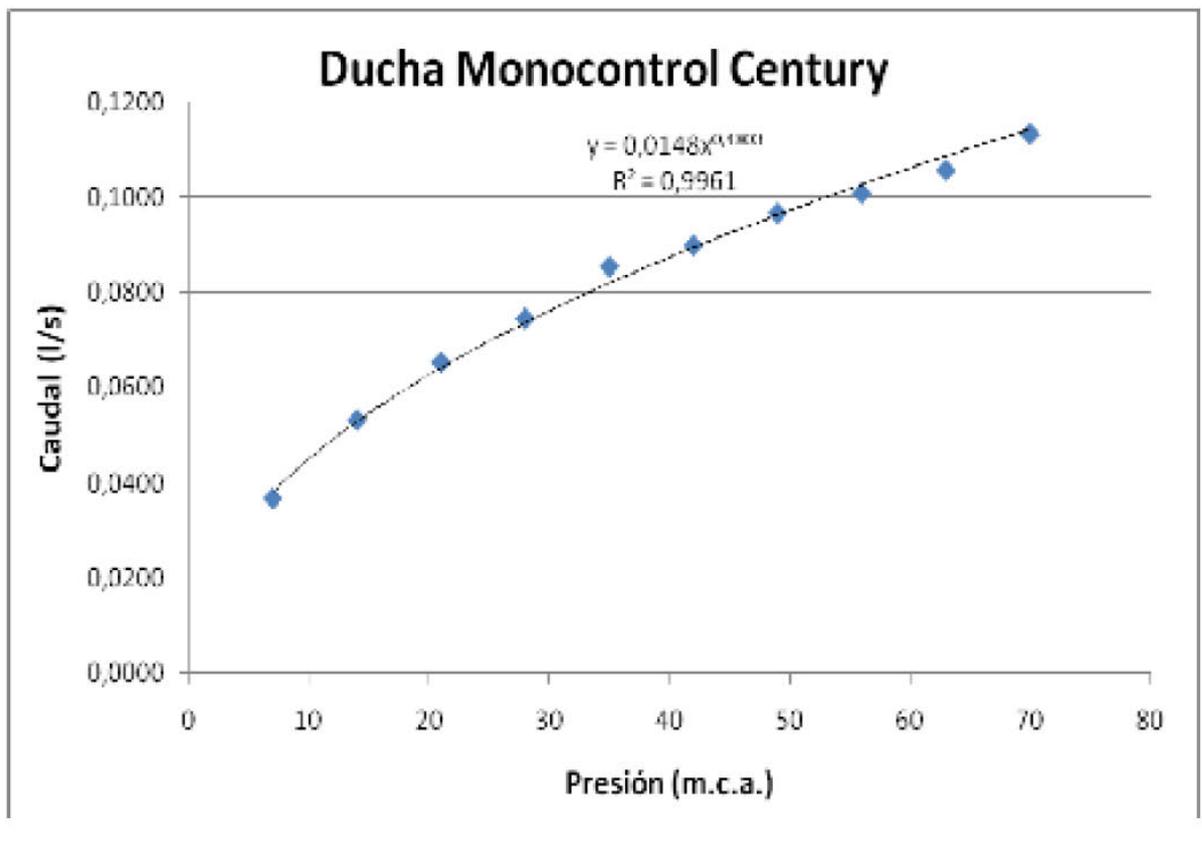


Ilustración 6-21 Ducha Monocontrol Century

### 6.22 Salida a bañera Monocontrol Century – Ref. 234040001

Salida a Bañera Monocontrol Century		
Presión	Presión	Caudal
psi	m.c.a	l/s
10	7	0,1237
15	10,5	0,1468
20	14	0,1711
25	17,5	0,1872
30	21	0,2082
35	24,5	0,2256
40	28	0,2401
45	31,5	0,2489
50	35	0,2629
55	38,5	0,2736

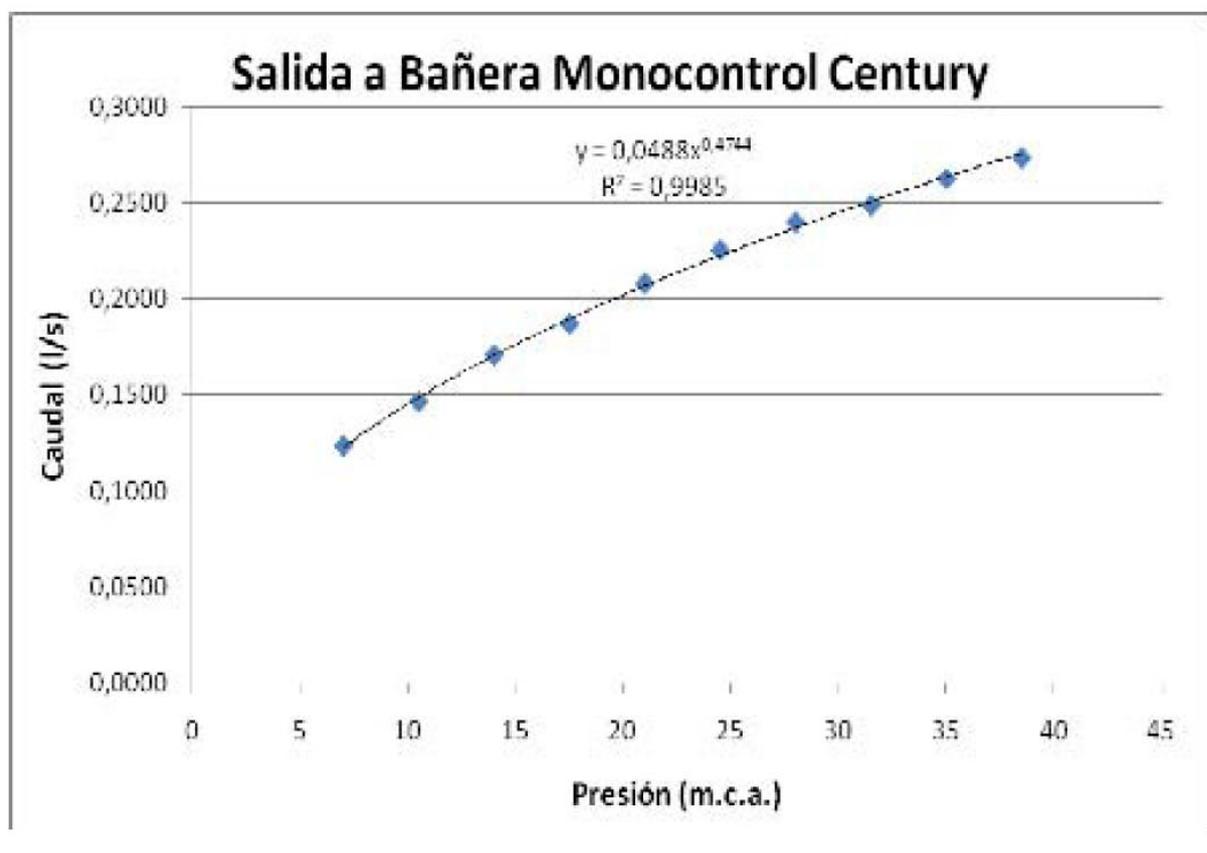


Ilustración 6-22 Salida a Bañera Monocontrol Century

Teniendo en cuenta el criterio del autor en la aprobación de un caudal razonable de funcionamiento para cada uno de los aparatos ensayados, se obtuvo una presión mínima recomendada para cada aparato, la cual representa un parámetro importante a la hora de realizar el diseño de la red. Los valores de dicho parámetro se presentan en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2 Presión mínima recomendada por aparato ensayado**  
**Presión mínima recomendada por aparato ensayado**

Descripción	Referencia	Presión mínima recomendada	
		psi	m.c.a.
<b>Baños</b>			
Conjunto mezclador lavamanos 8" - Victoria	711700001	25	17,5
Subconjunto lavamanos monocontrol- Victoria	711110001	20	14,0
Subconjunto lavamanos monoblock- Victoria	711120001	25	17,5
Ducha mezcladora- Victoria	714100001	40	28,0
Salida bañera- Victoria	714100001	20	14,0
Conjunto sfera scala lavamanos 8" a 4"- Sfera	561290001	20	14,0
Ducha monocontrol balance de presión csb- Sfera	234040001	60	42,0
Salida bañera- Sfera	234040001	10	7,0
Conjunto lavamanos mezclador de 4"-Century triceta	231220001	20	14,0
Ducha balance de presión	274010001	40	28,0
Salida bañera	274010001	20	14,0
Lavaplatos mezclador 8"- Florencia	795410001	15	10,5
Lavaplatos monocontrol pico recto - Bahía	775200001	15	10,5
Regadera dual	924300001	30	21,0
Regadera corriente	924000001	40	28,0
Teleducha corriente	914090001	5	3,5
Llave de jardín pesada con extensión	380430001	5	3,5
Llave manguera níquel liviana	791020001	5	3,5
Llave para lavadora y calentador	977100001	2,5	1,8
Conjunto grifería tanque Atlantis reposición	806800001	30	21,0
Válvula de entrada hidrostática antisifón	806630001	50	35,0

## **7 Metodología de diseño utilizando el programa redes**

La propuesta de diseño consiste en realizar el modelo hidráulico de la red utilizando un programa de diseño, que en este caso es Redes, en el cual se introduce cada aparato como un emisor, con los valores de coeficiente y exponente de los emisores encontrados experimentalmente en el montaje construido.

Los aparatos a utilizar en este modelo se seleccionaron de manera aleatoria entre los medidos, y son los que se presentan a continuación, con sus respectivas ecuaciones:

- Regadera Dual – Ref. 924300001

$$Q = 0.0197 * P^{0.4973} \quad \text{Ecuación 7-1}$$

Presión mínima recomendada = 30 psi

- Lavamanos de 4" Century – Ref. 231220001

$$Q = 0.0209 * P^{0.4832} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Presión mínima recomendada = 20 psi

- Lavaplatos de 8" Florencia – Ref. 795410001

$$Q = 0.0243 * P^{0.4158} \quad \text{Ecuación 7-3}$$

Presión mínima recomendada = 15 psi

- Grifería para Sanitario de tanque Atlantis – Ref. 806800001

$$Q = 0.0414 * P^{0.5803} \quad \text{Ecuación 7-4}$$

Presión mínima recomendada = 30 psi

- Llave para lavadora – Ref. 977100001

$$Q = 0.1944 * P^{0.5312} \quad \text{Ecuación 7-5}$$

Presión mínima recomendada = 2.5 psi

- Llave manguera liviana (Lavadero) – Ref. 791020001

$$Q = 0.0778 * P^{0.3911}$$

Ecuación 7-6

Presión mínima recomendada = 5 psi

Para tener en cuenta las pérdidas que producen los accesorios de la red, se contabiliza el número de accesorios de cada tipo (Tees y codos 90°) y se totaliza la longitud de tubería, de esta manera se reparte el coeficiente de pérdidas menores resultante en el total de metros de tubería y se asigna un coeficiente de pérdidas menores por unidad de longitud, tal como se aprecia en la Tabla 7-1. Este coeficiente de pérdidas se introduce en el programa Redes para llevar a cabo el proceso de diseño.

**Tabla 7-1 km por unidad de longitud de tubería**

<b>Cálculo de km por unidad de longitud de tubería</b>		
<b>Apartamento tipo 1</b>		
		km
Longitud tubería (m)	85,53	-
Tees	27,00	0,61
Codos 90°	67,00	1,16
Sumatoria de km		94,14
km por unidad de longitud		1,10
<b>Apartamento tipo 2</b>		
Longitud tubería (m)	65,25	-
Tees	18,00	0,61
Codos 90°	49,00	1,16
Sumatoria de km		67,79
km por unidad de longitud		1,04
<b>Apartamento tipo 3</b>		
Longitud tubería (m)	79,67	-
Tees	21,00	0,61
Codos 90°	58,00	1,16
Sumatoria de km		80,06
km por unidad de longitud		1,00
<b>Apartamento tipo 4</b>		
Longitud tubería (m)	37,82	-
Tees	10,00	0,61
Codos 90°	34,00	1,16
Sumatoria de km		45,53
km por unidad de longitud		1,20

Adicional a las pérdidas por accesorios se deben colocar las pérdidas que produce un calentador de paso, las cuales se modelan en la tubería en donde éste se localiza. Como no se cuenta con datos medidos en laboratorio del coeficiente de pérdidas menores, se estimó un valor teniendo en cuenta las pérdidas recomendadas por los fabricantes de calentadores,

según los cuales se pierden aproximadamente 10 m.c.a. en el paso a través del calentador. Se estima una velocidad de 2 m/s y de esta manera se obtiene el coeficiente de pérdidas menores km del calentador:

$$hm = km \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 7-7}$$

$$10 = km \frac{2^2}{2 * 9.81}$$

$$km = 49.05$$

A la entrada del apartamento se coloca un embalse con el fin de obtener la presión mínima con la cual funciona la red. Una de las restricciones es que la presión mínima en los nodos sea de 21 m.c.a. dato que se obtiene de la presión mínima con la cual funciona el aparato crítico, que en este caso es la ducha.

Una vez se establece la presión mínima y se activan todos los emisores, se procede a realizar el diseño utilizando el botón de “Diseño Rápido” en Redes y asignando el conjunto de diámetros que se espera para este tipo de redes.

## 7.1 Diseño para la condición de máximo consumo

Con el fin de comparar la metodología de diseño que se propone en este informe, se tomara como ejemplo la red hidráulica de suministro de agua potable correspondiente al edificio descrito en el numeral 3.1.

Para realizar el modelo de la red se procede en primer lugar a exportar desde el programa Autocad el trazado de la tubería y modelar cada tipo de apartamento de manera independiente, de esta manera se obtienen los diámetros para cada apartamento tipo para luego realizar el diseño de las redes principales que alimentan los apartamentos.

En la Ilustración 7-1 se muestra el modelo para el apartamento tipo 1, el cual está compuesto a nivel hidráulico por 4 baños con servicio de ducha, lavamanos y sanitario; 1 baño social con lavamanos y sanitario; el lavaplatos y la zona de ropas en donde hay lavadora y lavadero.

Para obtener la presión que se debe tener en la entrada del apartamento es necesario conocer la presión mínima que deben tener los aparatos para su buen funcionamiento y de esta manera estimar una posible presión que cumpla con los requerimientos de la red. Como se puede ver a la entrada del apartamento se obtuvo una presión mínima de 40 m.c.a. para una condición del 100% de simultaneidad y los diámetros resultantes varían entre 0.5” y 1.25”.

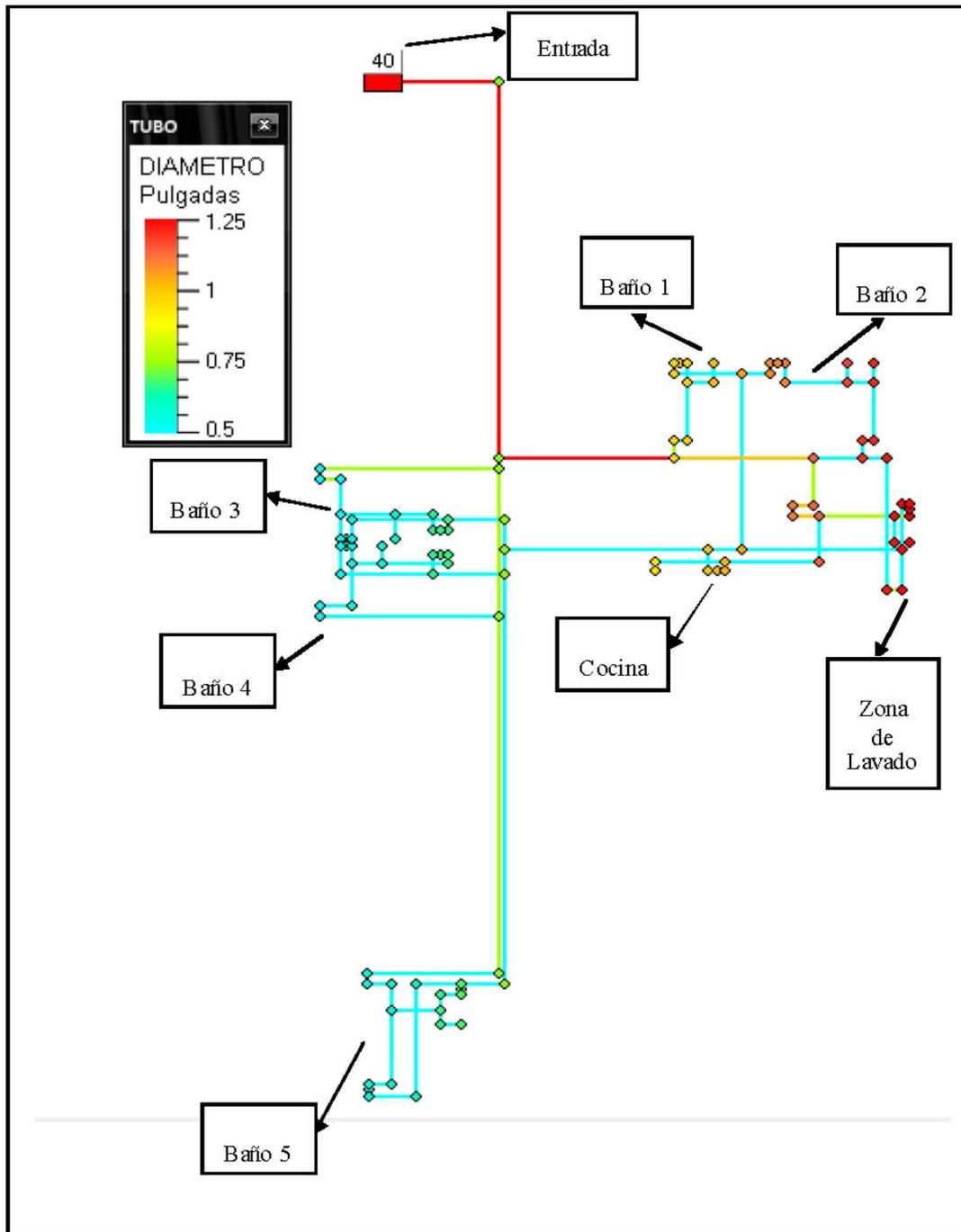


Ilustración 7-1 Modelo apartamento tipo 1

En la Ilustración 7-2 se muestra el modelo del apartamento tipo 2 compuesto por 3 baños, zona de lavado y cocina. El diseño resultante bajo una condición de simultaneidad del 100% arroja un diámetro máximo de 1" a la entrada del apartamento, seguido de algunas tuberías de 0.75" y en la mayoría restante de 0.5". Adicionalmente a la entrada se debe contar con una presión mínima de 40 m.c.a. para cumplir los requerimientos de los componentes de la red.

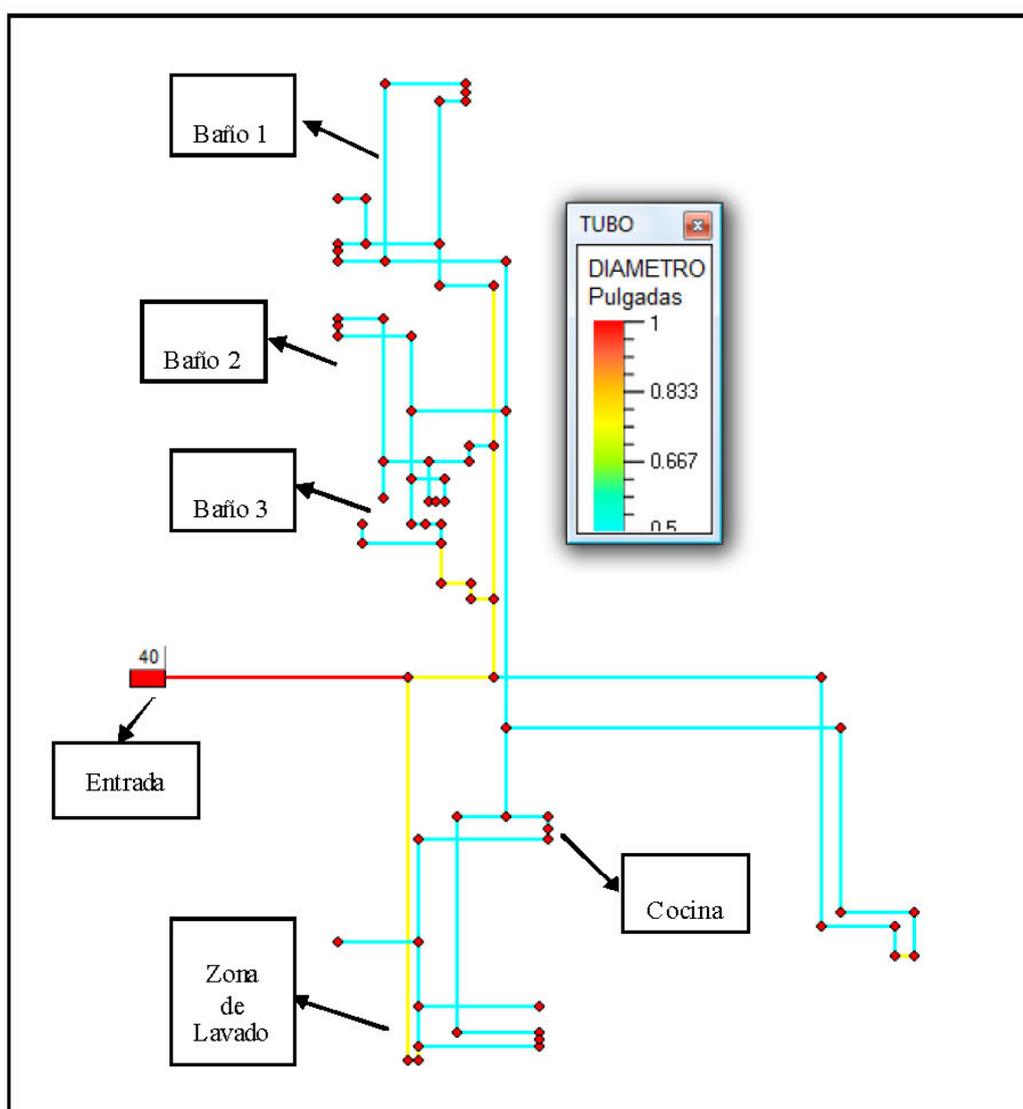


Ilustración 7-2 Modelo apartamento tipo 2

La Ilustración 7-3 permite ver la distribución del apartamento tipo 3. Este tipo de apartamento se compone de 4 baños, la zona de lavado y la cocina.

El apartamento tipo 3 del último piso del edificio hace parte de la ruta crítica de la red para el cálculo del equipo de bombeo, por ser el que está ubicado a mayor distancia de dicho equipo.

El diseño resultante de la condición de simultaneidad del 100%, arroja un diámetro máximo de 1.25", hasta ahora el mayor de los 3 apartamentos que se han diseñado, seguido de algunas tuberías en 1" y 0.75" y las restantes en 0.5".

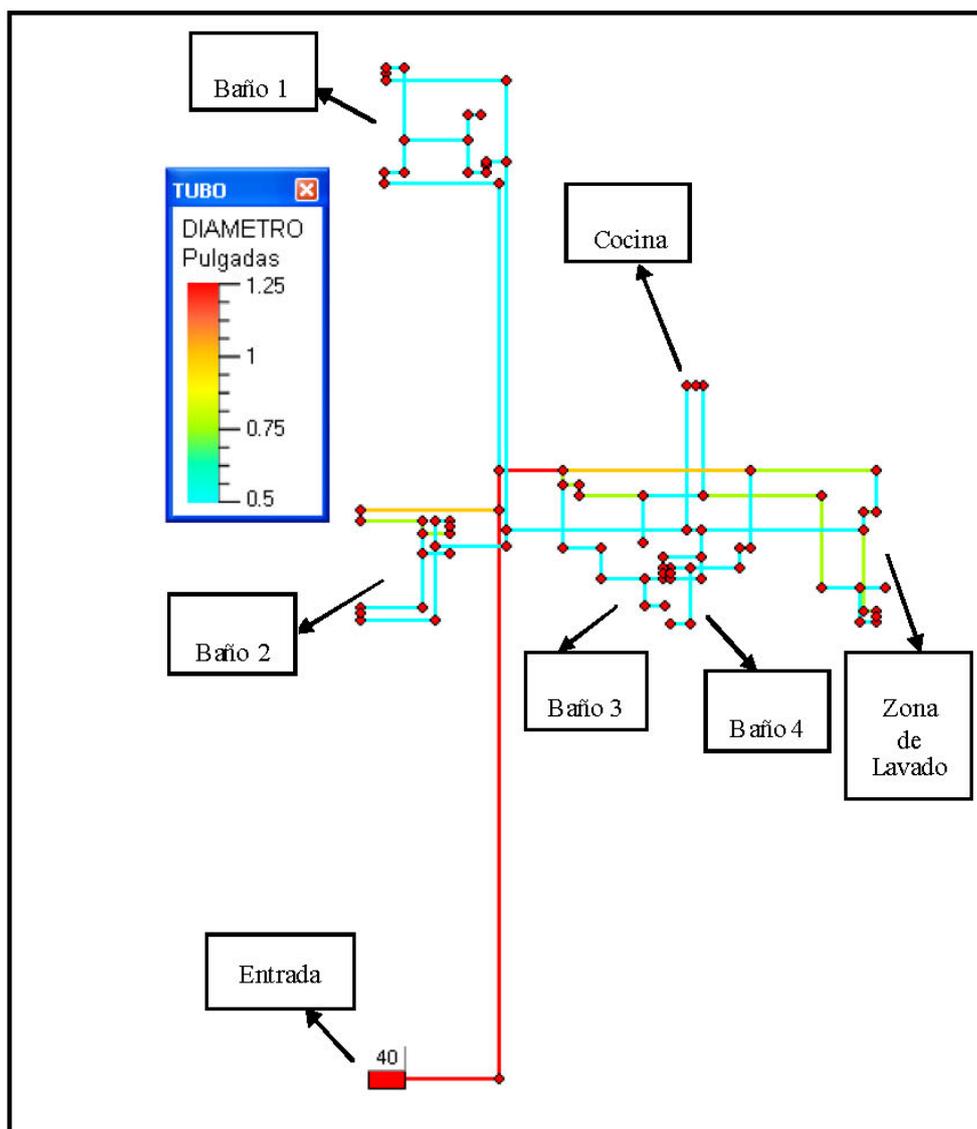


Ilustración 7-3 Modelo apartamento tipo 3

La Ilustración 7-4 muestra el apartamento tipo 4, el cual es tipo apartaestudio con 1 baño, la zona de lavado y la cocina. Del diseño resultante para el máximo caudal instantáneo se obtiene una tubería de 1" a la entrada y el resto en 0.5".

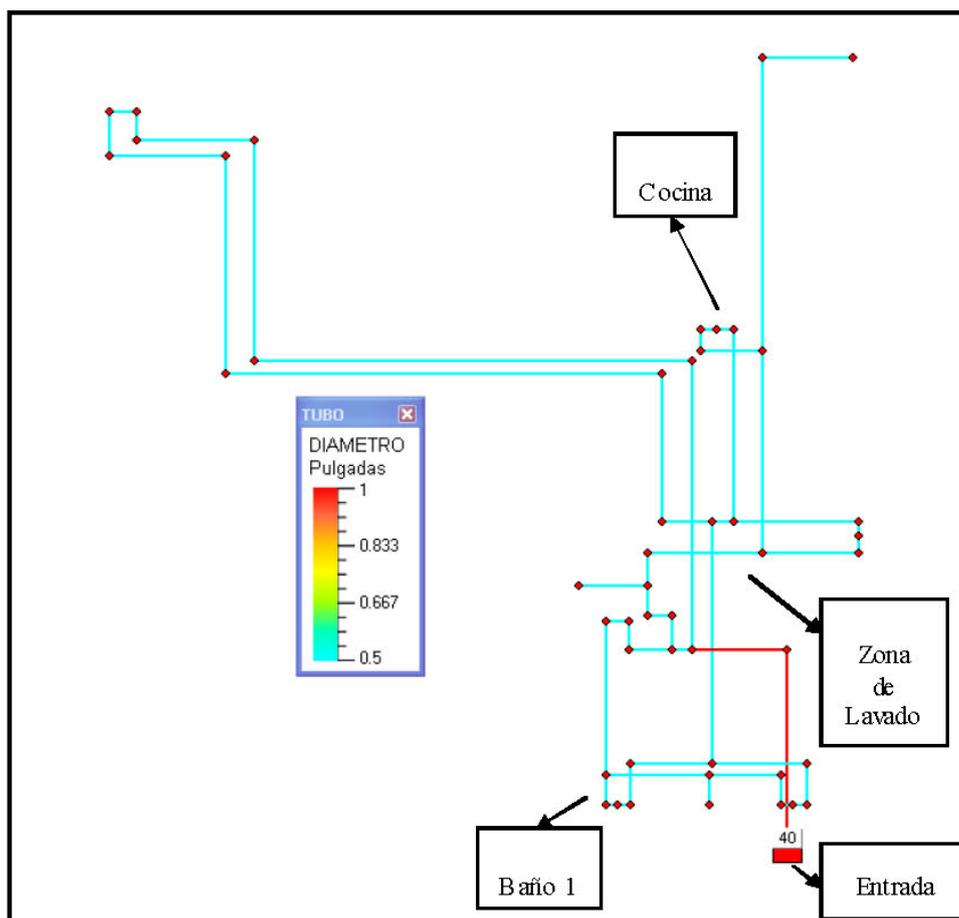


Ilustración 7-4 Modelo apartamento tipo 4

### 7.1.1 Comparación de diseño para máximo consumo con el diseño por Hunter

El objetivo de desarrollar este ítem de comparación es dar un concepto con respecto al método de diseño propuesto por Hunter, basados en las mediciones reales que se realizan en esta investigación.

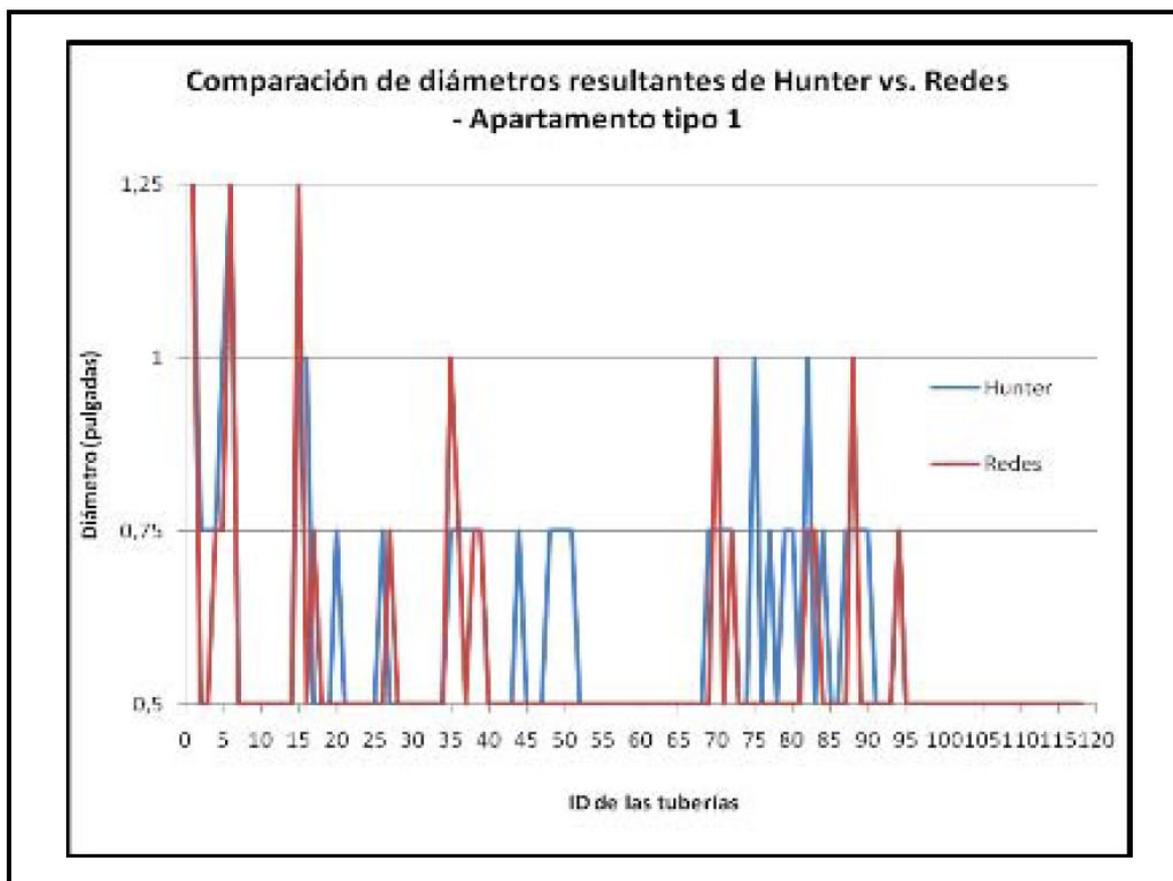
En la Tabla 7-2 se comparan los diámetros resultantes de Hunter contra los encontrados en el diseño en Redes bajo la condición de consumo de máximo caudal instantáneo.

**Tabla 7-2 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes bajo condición de 100% de uso – Apartamento tipo 1**

Comparación de diámetros en pulgadas											
Apartamento tipo 1											
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	1,25	1,25	31	0,5	0,5	61	0,5	0,5	91	0,5	0,5
2	0,75	0,5	32	0,5	0,5	62	0,5	0,5	92	0,5	0,5
3	0,75	0,5	33	0,5	0,5	63	0,5	0,5	93	0,5	0,5
4	0,75	0,75	34	0,5	0,5	64	0,5	0,5	94	0,75	0,75
5	1	0,75	35	0,75	1	65	0,5	0,5	95	0,5	0,5
6	1,25	1,25	36	0,75	0,75	66	0,5	0,5	96	0,5	0,5
7	0,5	0,5	37	0,75	0,5	67	0,5	0,5	97	0,5	0,5
8	0,5	0,5	38	0,75	0,75	68	0,5	0,5	98	0,5	0,5
9	0,5	0,5	39	0,75	0,75	69	0,75	0,5	99	0,5	0,5
10	0,5	0,5	40	0,5	0,5	70	0,75	1	100	0,5	0,5
11	0,5	0,5	41	0,5	0,5	71	0,75	0,5	101	0,5	0,5
12	0,5	0,5	42	0,5	0,5	72	0,75	0,75	102	0,5	0,5
13	0,5	0,5	43	0,5	0,5	73	0,5	0,5	103	0,5	0,5
14	0,5	0,5	44	0,75	0,5	74	0,5	0,5	104	0,5	0,5
15	1	1,25	45	0,5	0,5	75	1	0,5	105	0,5	0,5
16	1	0,5	46	0,5	0,5	76	0,5	0,5	106	0,5	0,5
17	0,5	0,75	47	0,5	0,5	77	0,75	0,5	107	0,5	0,5
18	0,5	0,5	48	0,75	0,5	78	0,5	0,5	108	0,5	0,5
19	0,5	0,5	49	0,75	0,5	79	0,75	0,5	109	0,5	0,5
20	0,75	0,5	50	0,75	0,5	80	0,75	0,5	110	0,5	0,5
21	0,5	0,5	51	0,75	0,5	81	0,5	0,5	111	0,5	0,5
22	0,5	0,5	52	0,5	0,5	82	1	0,75	112	0,5	0,5
23	0,5	0,5	53	0,5	0,5	83	0,5	0,75	113	0,5	0,5
24	0,5	0,5	54	0,5	0,5	84	0,75	0,5	114	0,5	0,5
25	0,5	0,5	55	0,5	0,5	85	0,5	0,5	115	0,5	0,5
26	0,75	0,5	56	0,5	0,5	86	0,5	0,5	116	0,5	0,5
27	0,5	0,75	57	0,5	0,5	87	0,75	0,5	117	0,5	0,5
28	0,5	0,5	58	0,5	0,5	88	0,75	1	118	0,5	0,5
29	0,5	0,5	59	0,5	0,5	89	0,75	0,5			
30	0,5	0,5	60	0,5	0,5	90	0,75	0,5			

En la Ilustración 7-5 se puede apreciar con mayor claridad la diferencia entre los diámetros obtenidos para cada metodología de diseño. Luego de observar dicha ilustración se puede concluir que en muchos de los casos Redes dice que se deben colocar diámetros de 0.5” mientras que en el diseño de Hunter resultan de 0.75”. Por otra parte en el rango de

diámetros de 1” y 1.25” existe un equilibrio entre las 2 metodologías de diseño en cuanto al número de tubos de cada diámetro.



**Ilustración 7-5 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes en condición de simultaneidad total – Apartamento tipo 1**

En la Tabla 7-3 se aprecia el comparativo de diámetros Hunter vs. Redes para el apartamento tipo 2, y se observa con claridad un sobredimensionamiento en la mayoría de los diámetros utilizando el método de Hunter, lo cual trae implicaciones tanto en el funcionamiento hidráulico de la red, como en los equipos de bombeo y los costos respectivos de la construcción.

Por otro lado, encontrar sobredimensionamiento, a pesar de estarse comparando Hunter con una condición de máximo caudal instantáneo corrobora lo que afirman las investigaciones previas mencionadas en el numeral 1.2.2 del presente informe.

**Tabla 7-3 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes bajo condición de 100% de uso – Apartamento tipo 2**

Comparación de diámetros en pulgadas											
Apartamento tipo 2											
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	1,25	1	21	0,5	0,5	41	0,75	0,5	61	0,5	0,5
2	1	0,75	22	1	0,75	42	0,75	0,5	62	0,5	0,5
3	0,75	0,75	23	0,5	0,5	43	0,75	0,5	63	1	0,75
4	0,5	0,75	24	0,5	0,5	44	0,75	0,5	64	0,75	0,5
5	0,5	0,75	25	0,75	0,75	45	0,75	0,5	65	0,5	0,5
6	0,5	0,5	26	0,5	0,5	46	0,75	0,5	66	0,75	0,75
7	0,5	0,5	27	0,5	0,5	47	0,75	0,5	67	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,5	0,5	48	0,5	0,75	68	0,5	0,5
9	0,75	0,5	29	0,5	0,5	49	0,75	0,75	69	0,5	0,5
10	0,5	0,5	30	0,5	0,5	50	0,75	0,5	70	0,5	0,5
11	0,5	0,5	31	0,75	0,5	51	0,5	0,5	71	0,5	0,5
12	0,5	0,5	32	0,5	0,5	52	0,5	0,5	72	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,5	0,5	53	0,5	0,5	73	0,5	0,5
14	0,5	0,5	34	0,5	0,5	54	0,5	0,5	74	0,5	0,5
15	0,75	0,5	35	0,5	0,5	55	0,5	0,5	75	0,5	0,5
16	0,5	0,5	36	0,5	0,5	56	0,5	0,5	76	0,5	0,5
17	0,5	0,5	37	0,5	0,5	57	0,75	0,5	77	0,5	0,5
18	0,5	0,5	38	0,5	0,5	58	0,5	0,75	78	0,5	0,75
19	0,5	0,5	39	0,75	0,5	59	1	0,75	79	0,5	0,5
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5	60	0,75	0,5			

En la Ilustración 7-6 se aprecia con mayor claridad el sobredimensionamiento que se presenta en el diseño bajo el método de Hunter, y se observa que ocurre en la mayoría de los casos que se requiere una tubería de 0.5” según lo encontrado en Redes y bajo Hunter la misma tubería resulta de 0.75”.

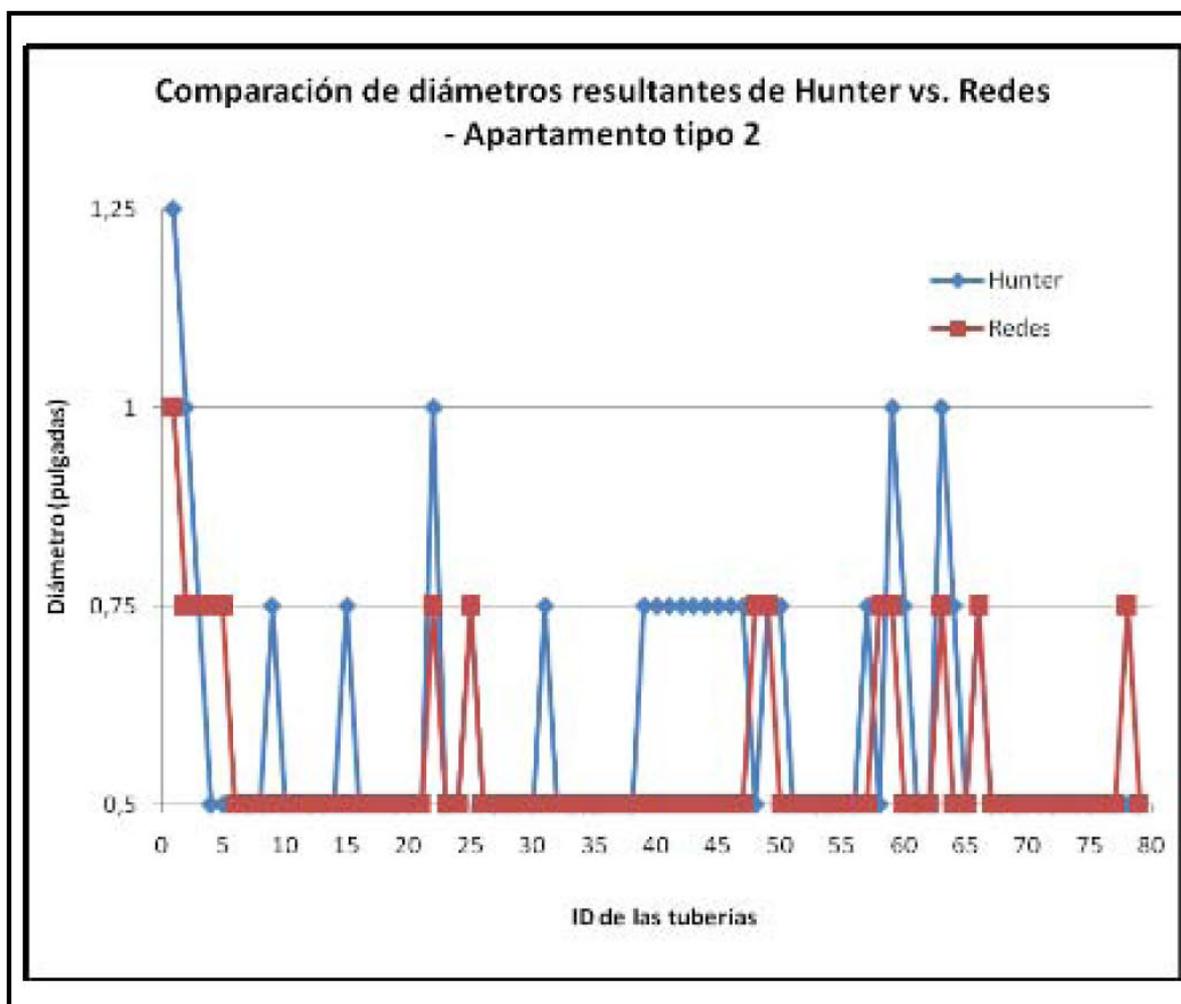


Ilustración 7-6 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes en condición de simultaneidad total – Apartamento tipo 2

La Tabla 7-4 muestra los diámetros resultantes del diseño para las 94 tuberías correspondientes a la red del apartamento tipo 3, que como se había mencionado antes es el crítico de la red para esta edificación debido a la cantidad de aparatos que contiene y a su distancia con respecto al equipo de bombeo.

**Tabla 7-4 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes bajo condición de 100% de uso – Apartamento tipo 3**

Comparación de diámetros en pulgadas														
Apartamento tipo 3														
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	0,75	1	21	0,5	0,5	41	0,5	0,5	61	0,75	0,5	81	0,75	0,5
2	0,5	0,5	22	0,5	0,5	42	0,5	0,5	62	0,75	0,5	82	1,25	1,25
3	0,5	0,5	23	0,5	0,5	43	0,5	0,5	63	0,5	0,75	83	0,5	0,5
4	1,25	1,25	24	0,5	0,5	44	0,5	0,5	64	0,5	0,5	84	0,5	0,5
5	0,75	0,5	25	0,5	0,5	45	0,75	0,5	65	0,5	0,5	85	0,5	0,5
6	0,75	0,5	26	0,5	0,5	46	0,5	0,5	66	0,5	0,5	86	0,5	0,5
7	0,5	0,5	27	0,5	0,5	47	0,5	0,5	67	1	1,25	87	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,5	0,5	48	0,5	0,5	68	0,5	0,75	88	0,5	0,5
9	0,5	0,75	29	0,5	0,5	49	0,5	0,5	69	1	1	89	0,5	0,5
10	0,75	0,75	30	0,5	0,5	50	0,5	0,5	70	0,75	0,75	90	0,5	0,75
11	0,5	0,5	31	0,75	0,75	51	0,5	0,5	71	0,75	0,75	91	0,5	0,5
12	0,5	0,5	32	0,5	0,5	52	0,5	0,5	72	0,75	0,5	92	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,75	0,75	53	0,5	0,5	73	0,5	0,5	93	0,5	0,5
14	0,5	0,5	34	0,5	0,75	54	0,5	0,5	74	0,5	0,5	94	0,5	0,5
15	1	1,25	35	0,5	0,5	55	0,5	0,5	75	0,5	0,5			
16	0,75	0,75	36	0,5	0,5	56	0,5	0,5	76	0,5	0,5			
17	0,5	0,5	37	0,5	0,5	57	0,75	0,75	77	0,5	0,5			
18	0,5	0,5	38	0,75	0,5	58	0,5	0,5	78	0,75	1,5			
19	0,5	0,75	39	0,5	0,75	59	0,75	0,5	79	0,75	0,5			
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5	60	0,5	0,5	80	0,5	0,5			

En la Ilustración 7-7 correspondiente al apartamento tipo 3, se observa que por el método de Hunter los diámetros resultan menores a los estimados en Redes con la condición de funcionamiento del 100%. Esto muestra irregularidades en el diseño bajo el método de Hunter ya que debería tener una tendencia constante a estar por encima o por debajo de los resultados de Redes, el cual trabaja con un algoritmo de diseño determinado.

Teniendo en cuenta que esta es la condición de máximo caudal instantáneo es válido hacer la comparación bajo otras condiciones de consumo para evaluar realmente el diseño de este apartamento tipo 3.

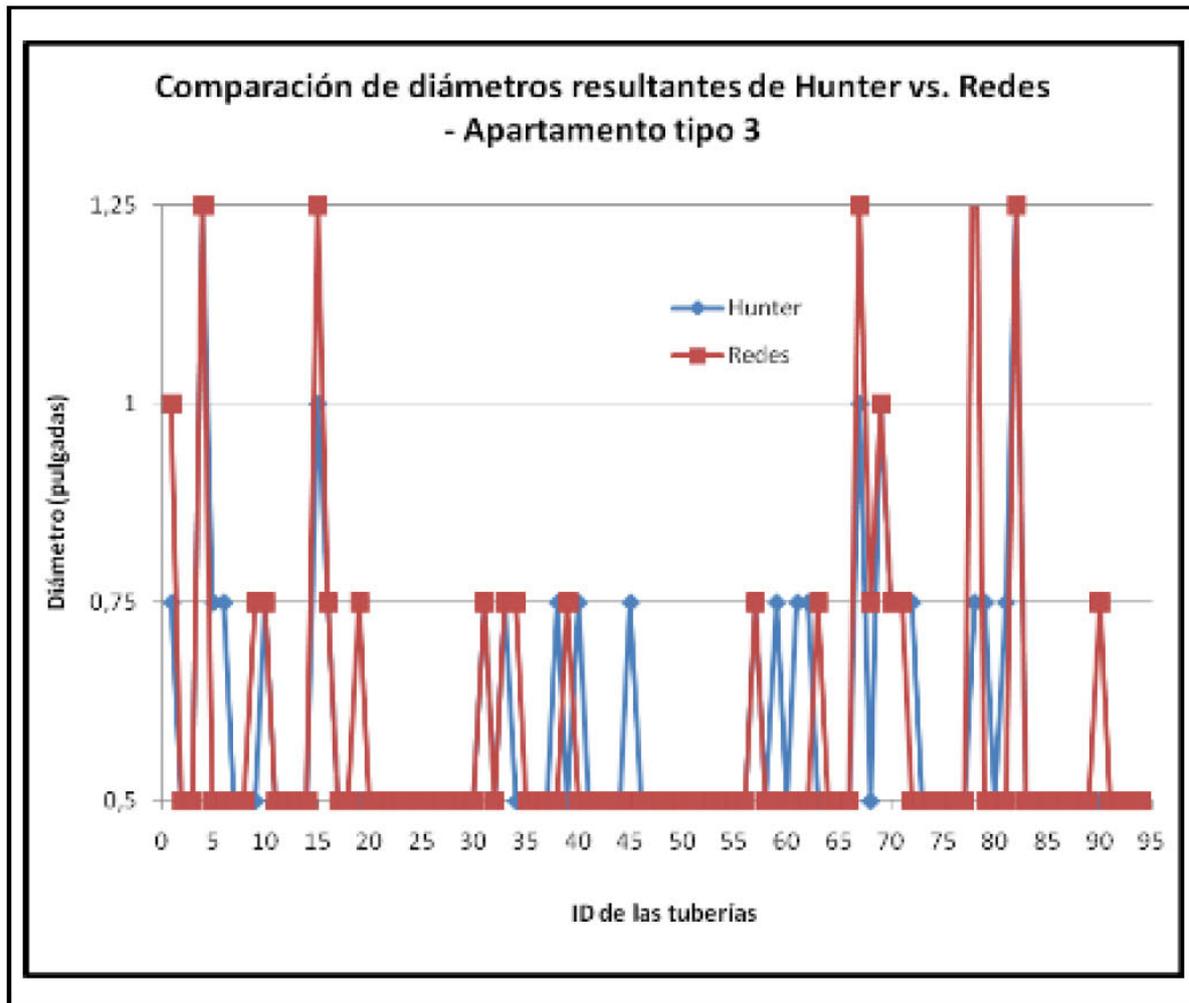


Ilustración 7-7 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes en condición de simultaneidad total – Apartamento tipo 3

La Tabla 7-5 muestra los diámetros de las 54 tuberías que conforman la red de suministro de agua potable del apartamento tipo 4, tanto utilizando el diseño con Hunter como el propuesto en esta investigación.

**Tabla 7-5 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes bajo condición de 100% de uso – Apartamento tipo 4**

Comparación de diámetros en pulgadas								
Apartamento tipo 4								
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	0,5	0,5	21	0,5	0,5	41	0,75	0,5
2	0,75	0,5	22	0,5	0,5	42	0,75	0,5
3	0,75	0,5	23	0,5	0,5	43	0,75	0,5
4	0,75	0,5	24	0,75	0,5	44	0,5	0,5
5	0,5	0,5	25	0,5	0,5	45	0,5	0,5
6	0,5	0,5	26	0,5	0,5	46	0,5	0,5
7	0,5	0,5	27	0,75	0,5	47	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,75	0,5	48	0,5	0,5
9	0,5	0,5	29	0,75	0,5	49	0,5	0,5
10	0,75	0,5	30	0,75	0,5	50	0,5	0,5
11	0,75	0,5	31	0,75	0,5	51	0,5	0,5
12	0,5	0,5	32	0,75	0,5	52	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,75	0,5	53	0,5	0,5
14	0,75	0,5	34	0,75	0,5	54	0,5	0,5
15	0,5	0,5	35	0,75	0,5			
16	0,5	0,5	36	0,5	0,5			
17	0,75	0,5	37	0,5	0,5			
18	1	1	38	0,75	0,5			
19	0,75	0,5	39	1	1			
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5			

Para el apartamento tipo 4, la Ilustración 7-8 muestra que el método de Hunter una vez más sobredimensiona el diámetro de las tuberías de la red, a pesar que se está comparando con un diseño realizado para el máximo caudal instantáneo posible del apartamento en mención. Una vez más se observa que la diferencia se concentra en los diámetros de 0.5”, los cuales resultan de aplicar la metodología utilizando Redes y los de 0.75” que propone el método de Hunter.

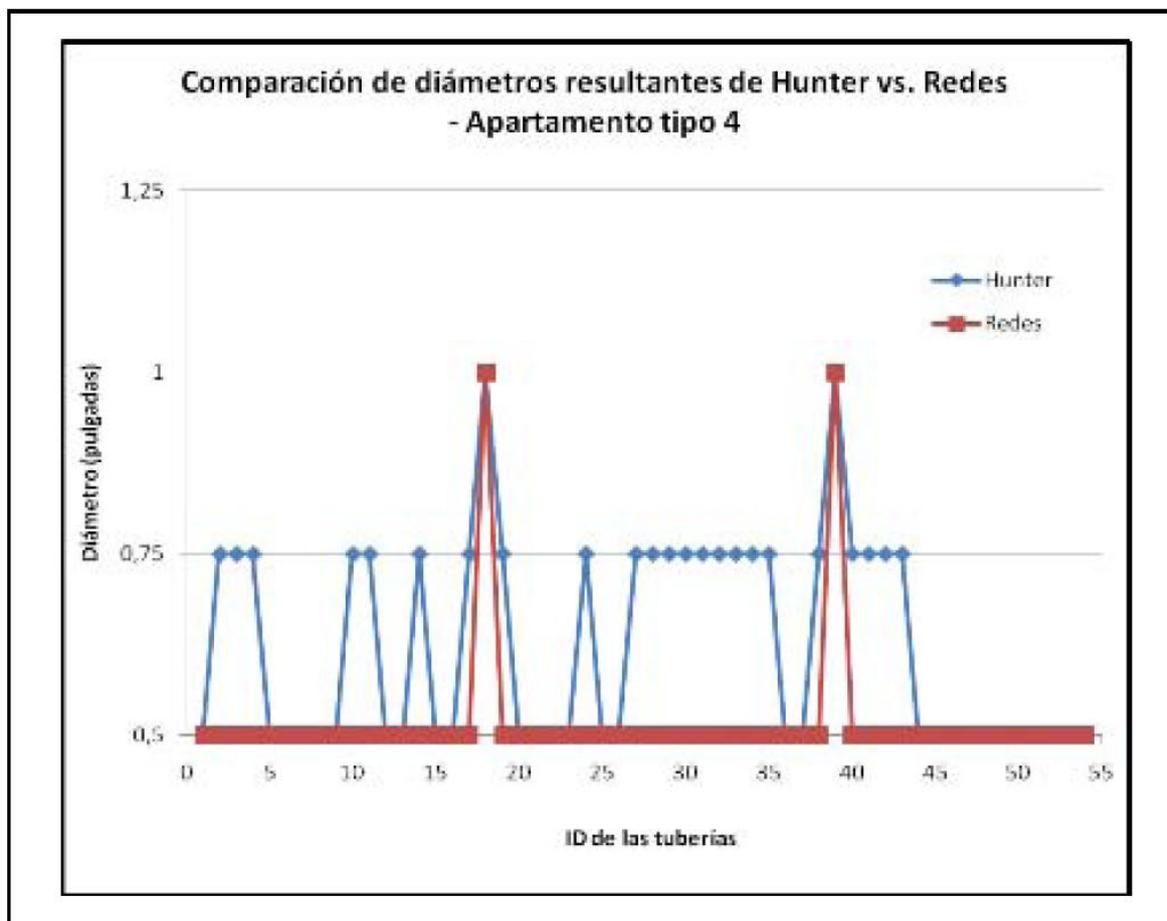


Ilustración 7-8 Comparación de diámetros Hunter vs. Redes en condición de simultaneidad total – Apartamento tipo 4

## 7.2 Diseño para una condición de consumo medio – Apartamento tipo 1

En las siguientes líneas se realizan diferentes combinaciones de simultaneidad de aparatos, con el fin de encontrar luego de varias suposiciones una envolvente de diseño que cubra una gran gama de casos posibles que se puedan presentar y realizar el diseño de la red de esta manera, de tal forma que se aplique cierto factor de reducción al diseño bajo una condición de funcionamiento del 100%.

### 7.2.1 Combinación 1

Suponiendo una condición de consumo en el apartamento tipo 1, en donde funcionen todas las duchas (son 4 en total) y el lavaplatos que puede ser una combinación que en la realidad

se presente en las horas de la mañana, tipo 6 am, se obtienen los diámetros y el requerimiento de presión a la entrada que se aprecian en la Ilustración 7-9.

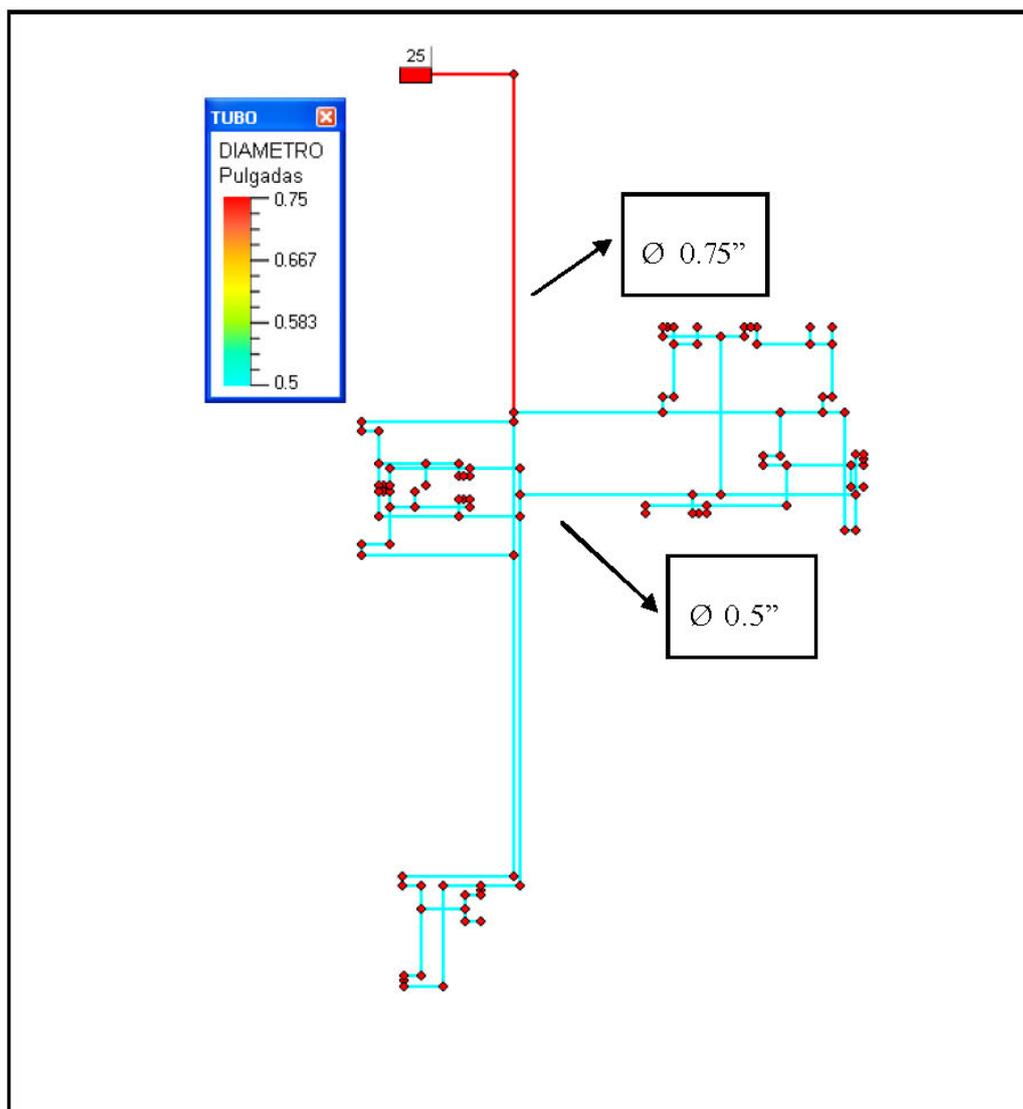


Ilustración 7-9 Combinación 1 para consumo medio –Apartamento tipo 1

### 7.2.2 Combinación 2

Otra combinación a modelar teniendo en cuenta parámetros reales de uso de los aparatos puede ser la simultaneidad de 1 sanitarios, 2 lavamanos y la lavadora. Bajo este esquema se obtienen los diámetros que se muestran en la Ilustración 7-10.

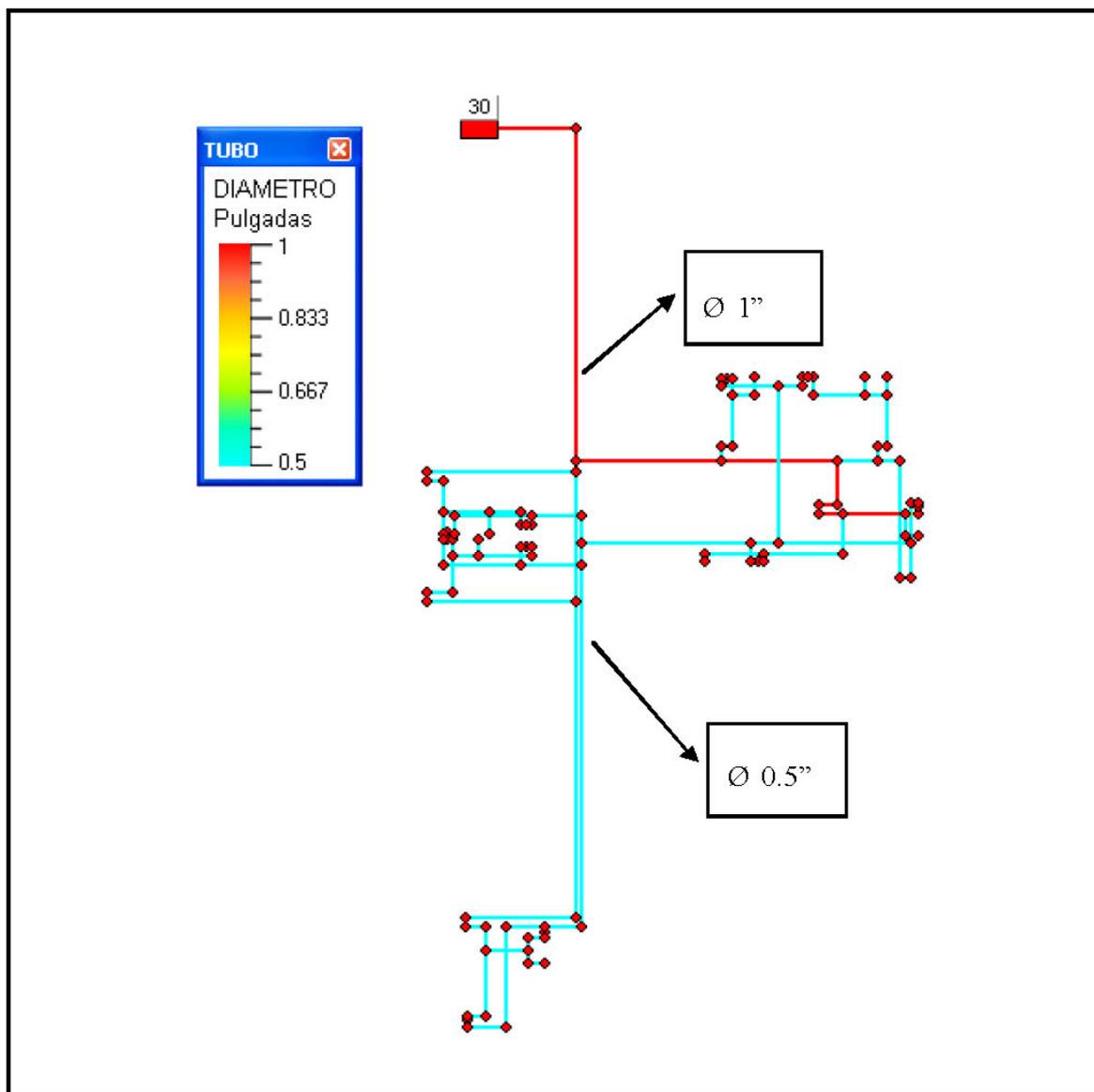


Ilustración 7-10 Combinación 2 para consumo medio –Apartamento tipo 1

### 7.2.3 Combinación 3

Suponiendo otra combinación de simultaneidad de 1 ducha, 1 sanitario, 1 lavamanos y el lavadero, se obtienen los diámetros que aparecen en la Ilustración 7-11.

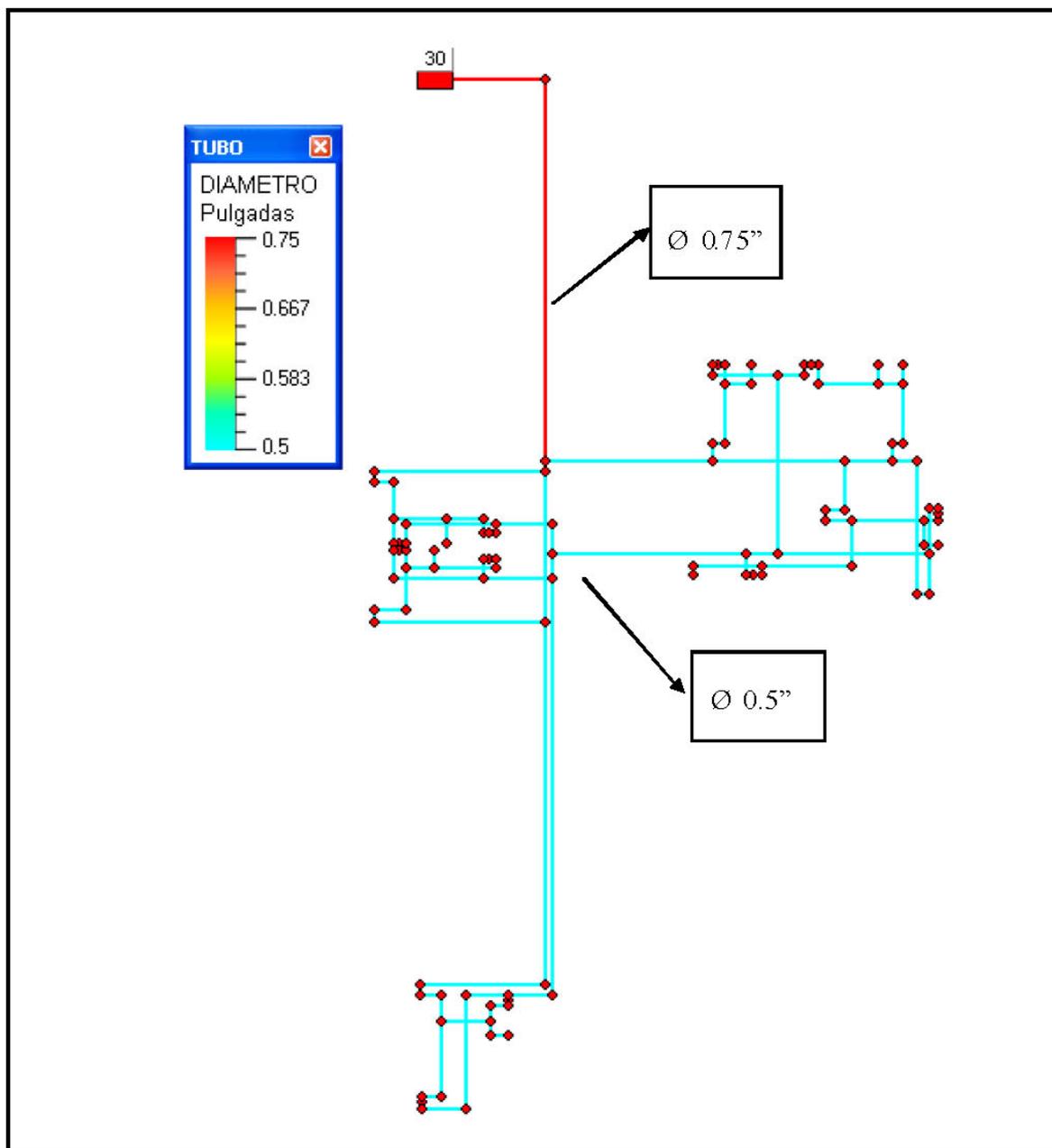


Ilustración 7-11 Combinación 3 para consumo medio –Apartamento tipo 1

### 7.2.4 Combinación 4

En este caso se supone que se tienen funcionando de manera simultánea 3 sanitarios, 1 ducha y el lavaplatos. Bajo esta configuración el diseño resultante se muestra en la Ilustración 7-12.

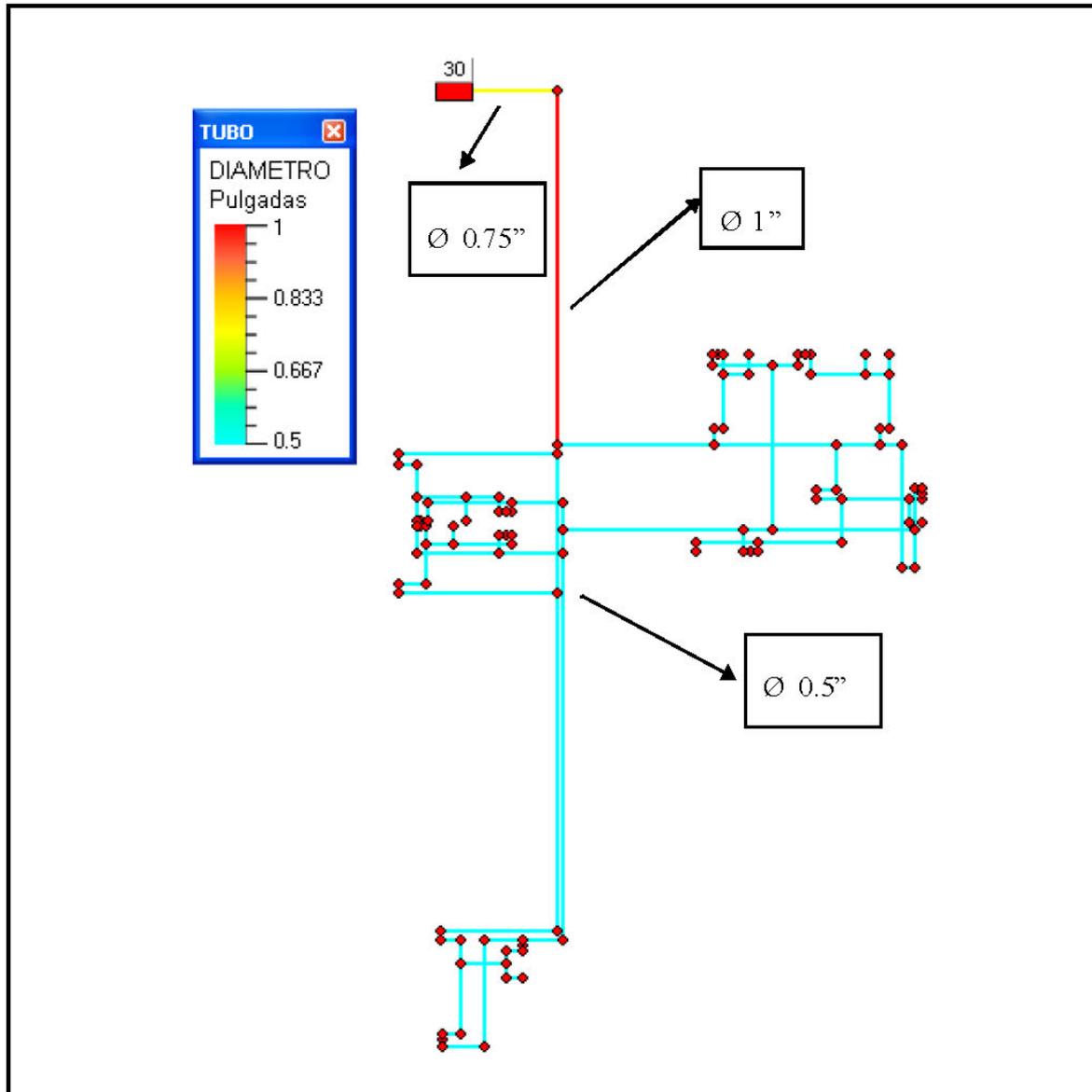


Ilustración 7-12 Combinación 4 para consumo medio –Apartamento tipo 1

### 7.2.5 Combinación 5

Como última combinación se pondrá a funcionar de manera simultánea la lavadora, el lavadero y 1 baño (ducha, lavamanos y sanitario). El diseño resultante se presenta en la Ilustración 7-13.



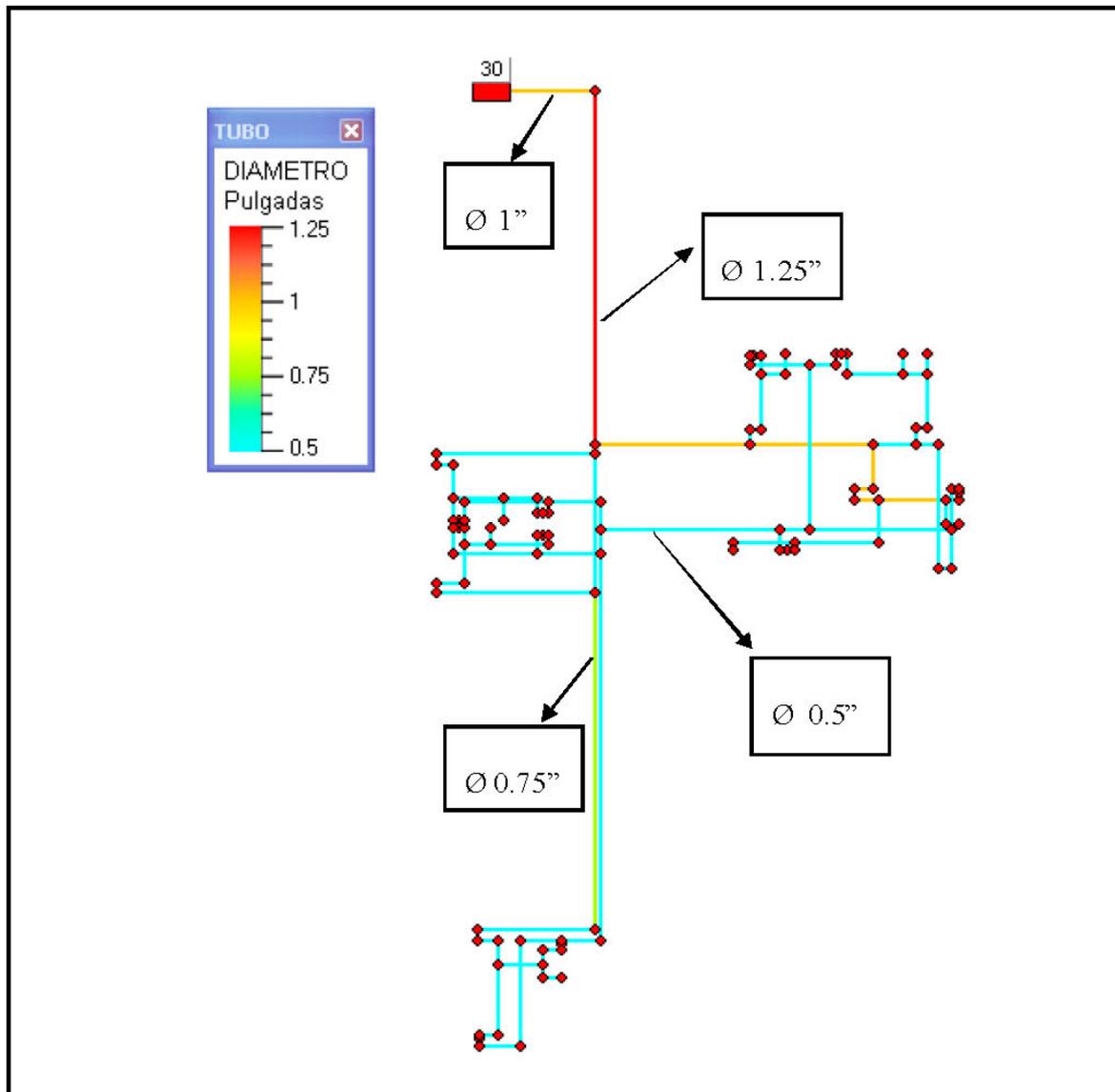


Ilustración 7-14 Envólvente de diseño – apartamento tipo 1

### 7.2.7 Comparación de la envolvente de diseño con el diseño por el método de Hunter – Apartamento tipo 1

Una vez se tiene la envolvente de diseño generada a partir de la combinación de diferentes condiciones de simultaneidad escogidas de manera aleatoria, se procede a comparar los resultados con el diseño por la metodología de Hunter, esto se puede ver en la Tabla 7-6 con mayor claridad se aprecia en la Ilustración 7-15.

**Tabla 7-6 Comparación de envoltente de diseño vs. Hunter – Apartamento tipo 1**

Comparación de diámetros en pulgadas - Envoltente de diseño vs. Hunter											
Apartamento tipo 1											
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	1,25	1	31	0,5	0,5	61	0,5	0,5	91	0,5	0,5
2	0,75	0,5	32	0,5	0,5	62	0,5	0,5	92	0,5	0,5
3	0,75	0,5	33	0,5	0,5	63	0,5	0,5	93	0,5	0,5
4	0,75	0,75	34	0,5	0,5	64	0,5	0,5	94	0,75	0,5
5	1	0,5	35	0,75	1	65	0,5	0,5	95	0,5	0,5
6	1,25	1,25	36	0,75	1	66	0,5	0,5	96	0,5	0,5
7	0,5	0,5	37	0,75	0,5	67	0,5	0,5	97	0,5	0,5
8	0,5	0,5	38	0,75	0,5	68	0,5	0,5	98	0,5	0,5
9	0,5	0,5	39	0,75	0,5	69	0,75	0,5	99	0,5	0,5
10	0,5	0,5	40	0,5	0,5	70	0,75	1	100	0,5	0,5
11	0,5	0,5	41	0,5	0,5	71	0,75	0,5	101	0,5	0,5
12	0,5	0,5	42	0,5	0,5	72	0,75	0,5	102	0,5	0,5
13	0,5	0,5	43	0,5	0,5	73	0,5	0,5	103	0,5	0,5
14	0,5	0,5	44	0,75	0,5	74	0,5	0,5	104	0,5	0,5
15	1	1	45	0,5	0,5	75	1	0,5	105	0,5	0,5
16	1	1	46	0,5	0,5	76	0,5	0,5	106	0,5	0,5
17	0,5	0,5	47	0,5	0,5	77	0,75	0,5	107	0,5	0,5
18	0,5	0,5	48	0,75	0,5	78	0,5	0,5	108	0,5	0,5
19	0,5	0,5	49	0,75	0,5	79	0,75	0,5	109	0,5	0,5
20	0,75	0,5	50	0,75	0,5	80	0,75	0,5	110	0,5	0,5
21	0,5	0,5	51	0,75	0,5	81	0,5	0,5	111	0,5	0,5
22	0,5	0,5	52	0,5	0,5	82	1	0,5	112	0,5	0,5
23	0,5	0,5	53	0,5	0,5	83	0,5	0,5	113	0,5	0,5
24	0,5	0,5	54	0,5	0,5	84	0,75	0,5	114	0,5	0,5
25	0,5	0,5	55	0,5	0,5	85	0,5	0,5	115	0,5	0,5
26	0,75	0,5	56	0,5	0,5	86	0,5	0,5	116	0,5	0,5
27	0,5	1	57	0,5	0,5	87	0,75	0,5	117	0,5	0,5
28	0,5	0,5	58	0,5	0,5	88	0,75	1	118	0,5	0,5
29	0,5	0,5	59	0,5	0,5	89	0,75	0,5			
30	0,5	0,5	60	0,5	0,5	90	0,75	0,5			

En la Ilustración 7-15 se puede ver que la mayoría de diámetros que Redes dimensiona con un diámetro de 0.5” Hunter los sobredimensiona a 0.75” y hasta 1”. Son pocos los casos en los que Redes arroja diámetros mayores que Hunter.

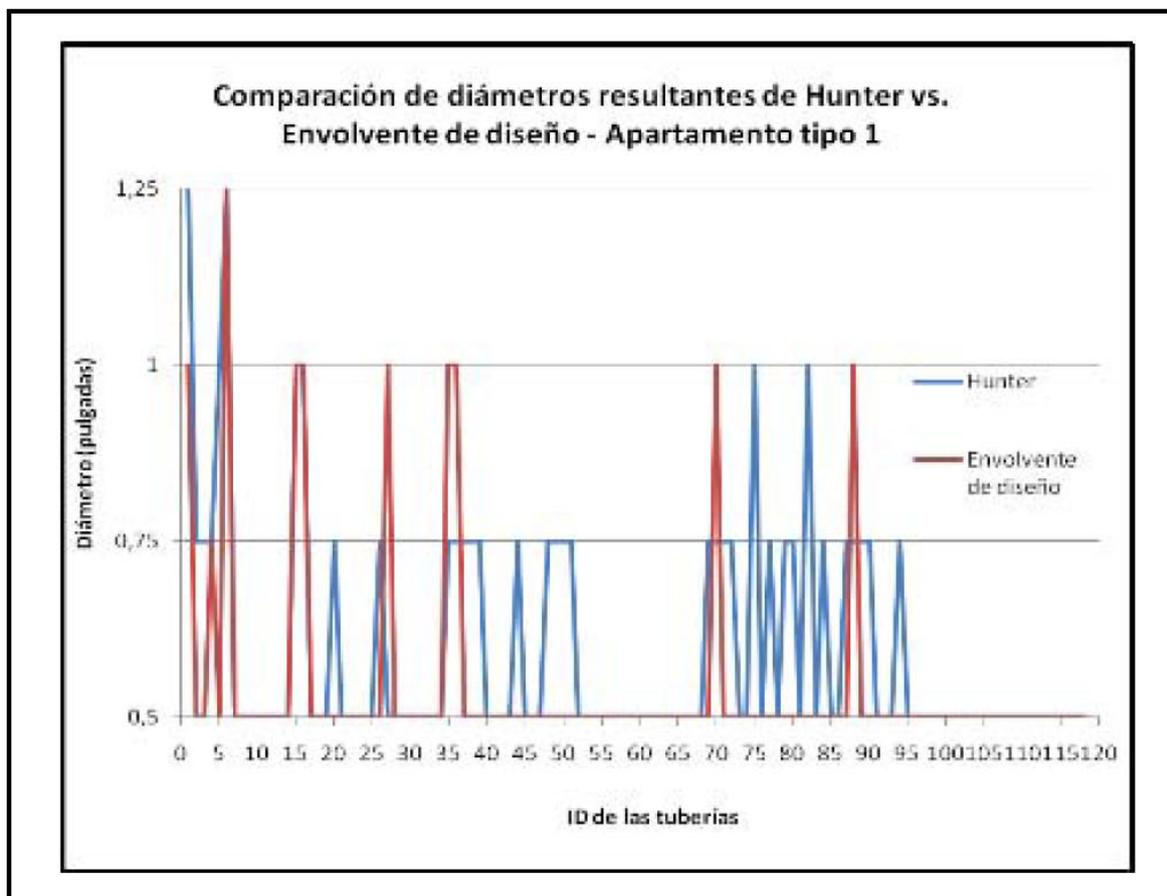


Ilustración 7-15 Hunter vs. Envoltente de diseño

El procedimiento realizado anteriormente se puede automatizar mediante un programa que genere aleatoriamente los escenarios de simultaneidad y al final una envolvente de diseño óptima.

### 7.2.8 Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 1

Una vez se tiene la presión y el caudal a la entrada del apartamento tipo 1, se diseña la tubería de alimentación que iría desde la salida de los medidores (ubicados en el primer piso) hasta la entrada del apartamento (sexto piso). La distancia que hay entre estos puntos corresponde a: 9.49 metros horizontales en total y 17.25 metros verticales (ver plano anexo No.4).

En la Ilustración 7-16 se muestra el diseño de la tubería de alimentación para el apartamento tipo 1 del sexto piso. Los parámetros de ingreso son, la presión en la entrada del apartamento, es decir los 30 m.c.a., y el caudal que es 1.5 lps. Estos valores se obtienen

de la condición crítica de las combinaciones de simultaneidad asumidas en la creación de la envolvente de diseño.

Como resultado se obtiene que una tubería de 1.25" con una presión a la salida de los medidores de 50 m.c.a. podría alimentar el apartamento cumpliendo de manera satisfactoria los requerimientos de caudal y presión bajo de condición crítica de consumo instantáneo encontrada en la envolvente de diseño.

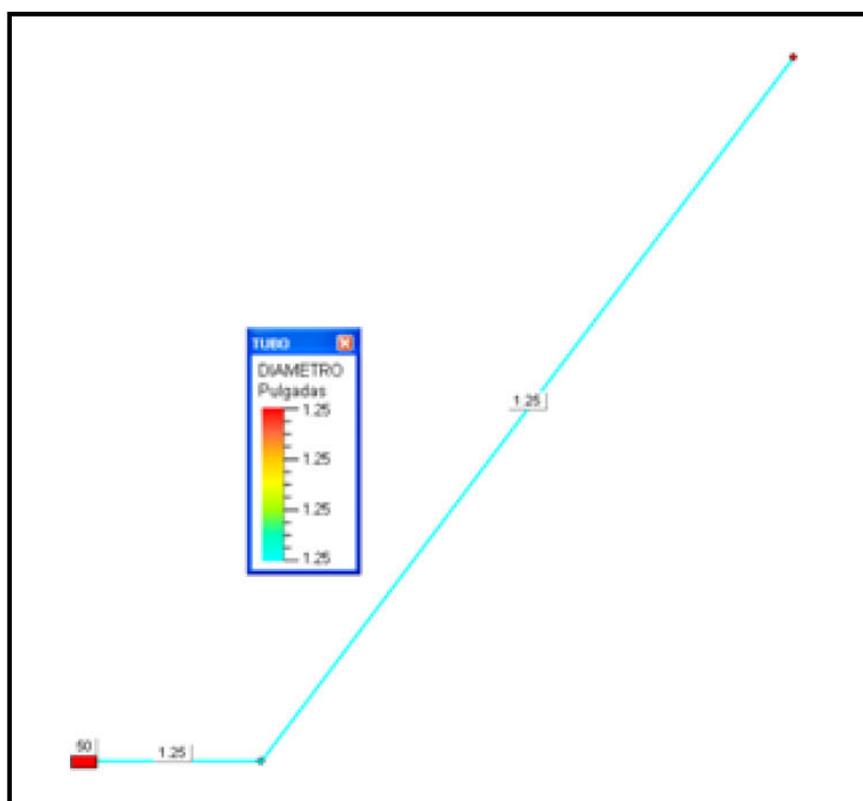


Ilustración 7-16 Tubería de alimentación apartamento tipo 1 piso 6

## 7.3 Diseño para una condición de consumo medio – Apartamento tipo 2

### 7.3.1 Combinación 1

Asumiendo una condición de simultaneidad en donde funcionen 3 sanitarios y el lavaplatos, se obtiene el diseño que se muestra en la Ilustración 7-17. Como se puede apreciar para casi todas las tuberías se obtiene el diámetro mínimo que es de 0.5", solamente las 2 tuberías ubicadas en la entrada del apartamento resultan en 0.75". Adicionalmente la presión que se requiere a la entrada es de 30 m.c.a. con los cuales funcionarían adecuadamente todos los aparatos.

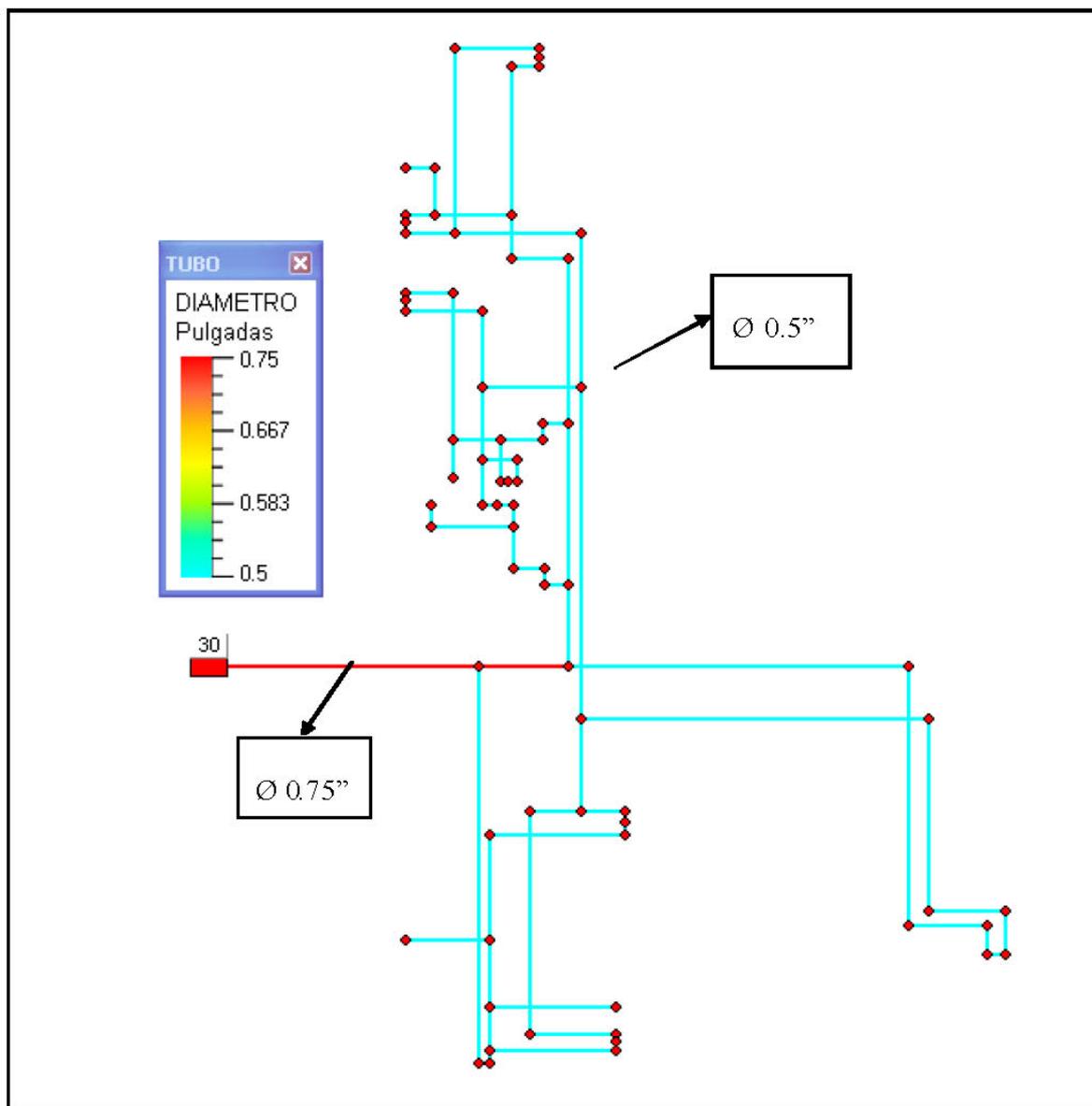


Ilustración 7-17 Combinación 1 para consumo medio –Apartamento tipo 2

### 7.3.2 Combinación 2

Otra posible combinación para este tipo de apartamento es que funcionen simultáneamente 1 ducha, 1 sanitario, la lavadora y el lavaplatos. De esta manera resultan los diámetros mostrados en la Ilustración 7-18.

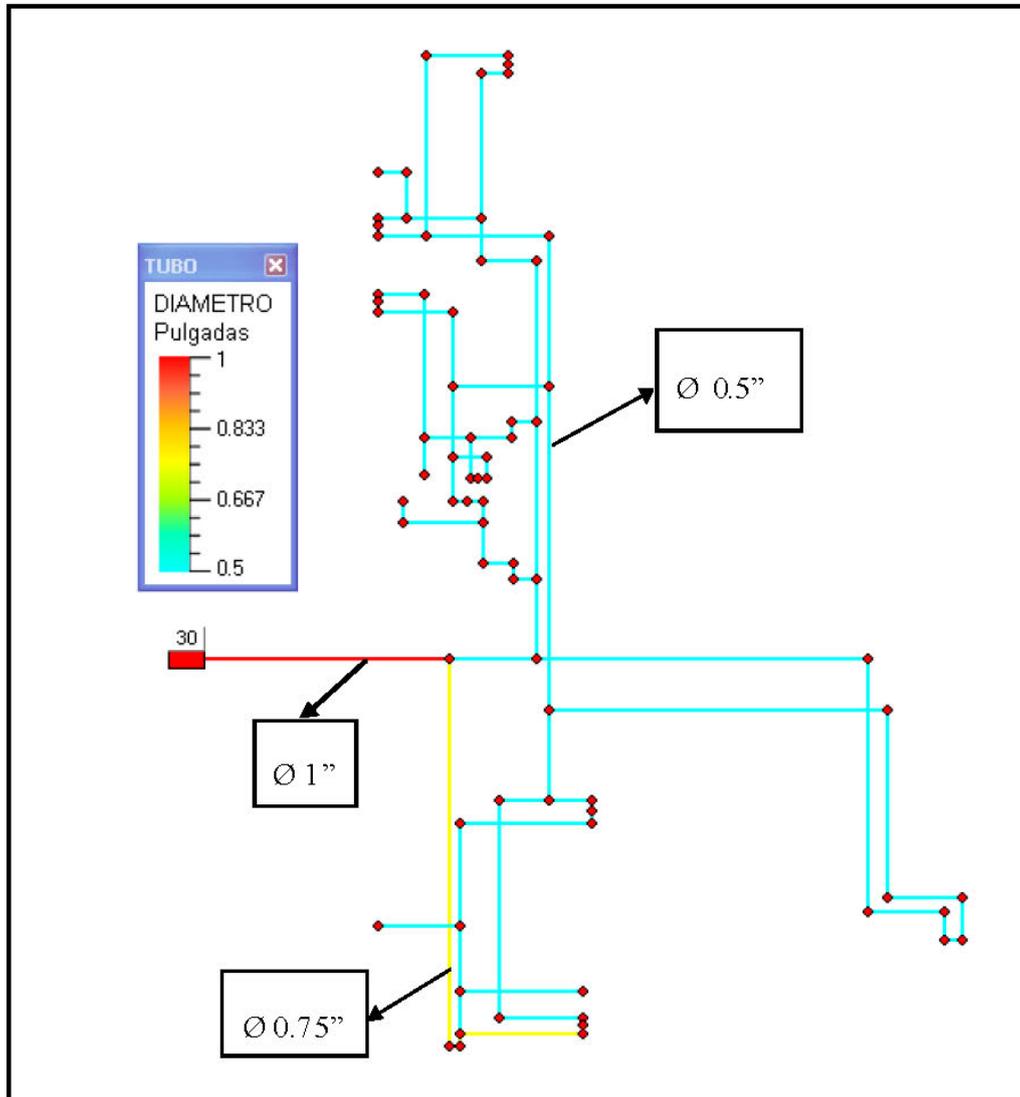


Ilustración 7-18 Combinación 2 para consumo medio –Apartamento tipo 2

### 7.3.3 Combinación 3

Como tercera combinación de simultaneidad se ponen a funcionar el lavadero, el lavaplatos, 1 lavamanos y 1 ducha.

El diseño resultante se aprecia en la Ilustración 7-19.

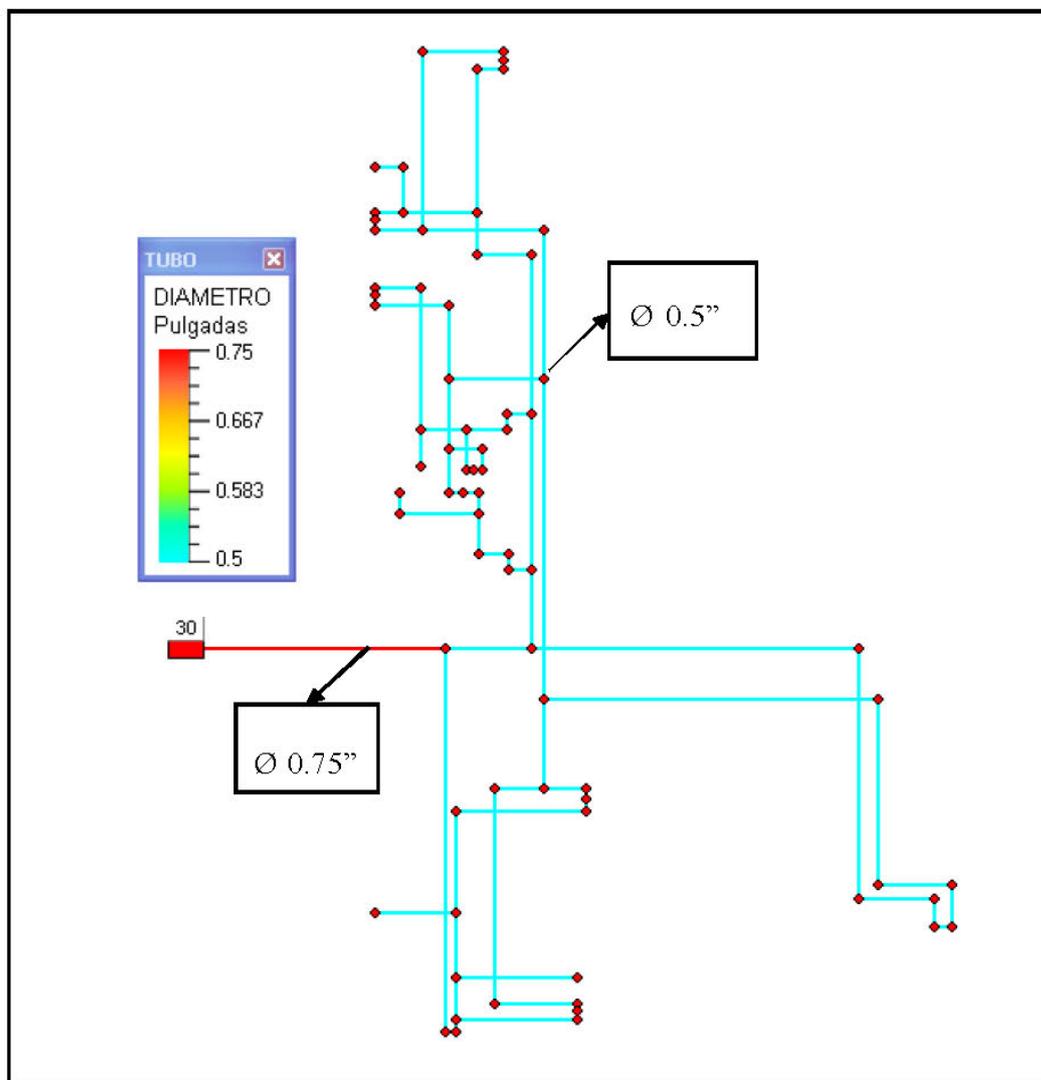


Ilustración 7-19 Combinación 3 para consumo medio –Apartamento tipo 2

### 7.3.4 Combinación 4

En este caso se considera la simultaneidad en el funcionamiento de 2 duchas, el lavaplatos y la lavadora. Como resultado de la combinación mencionada se originan los diámetros mostrados en la Ilustración 7-20.

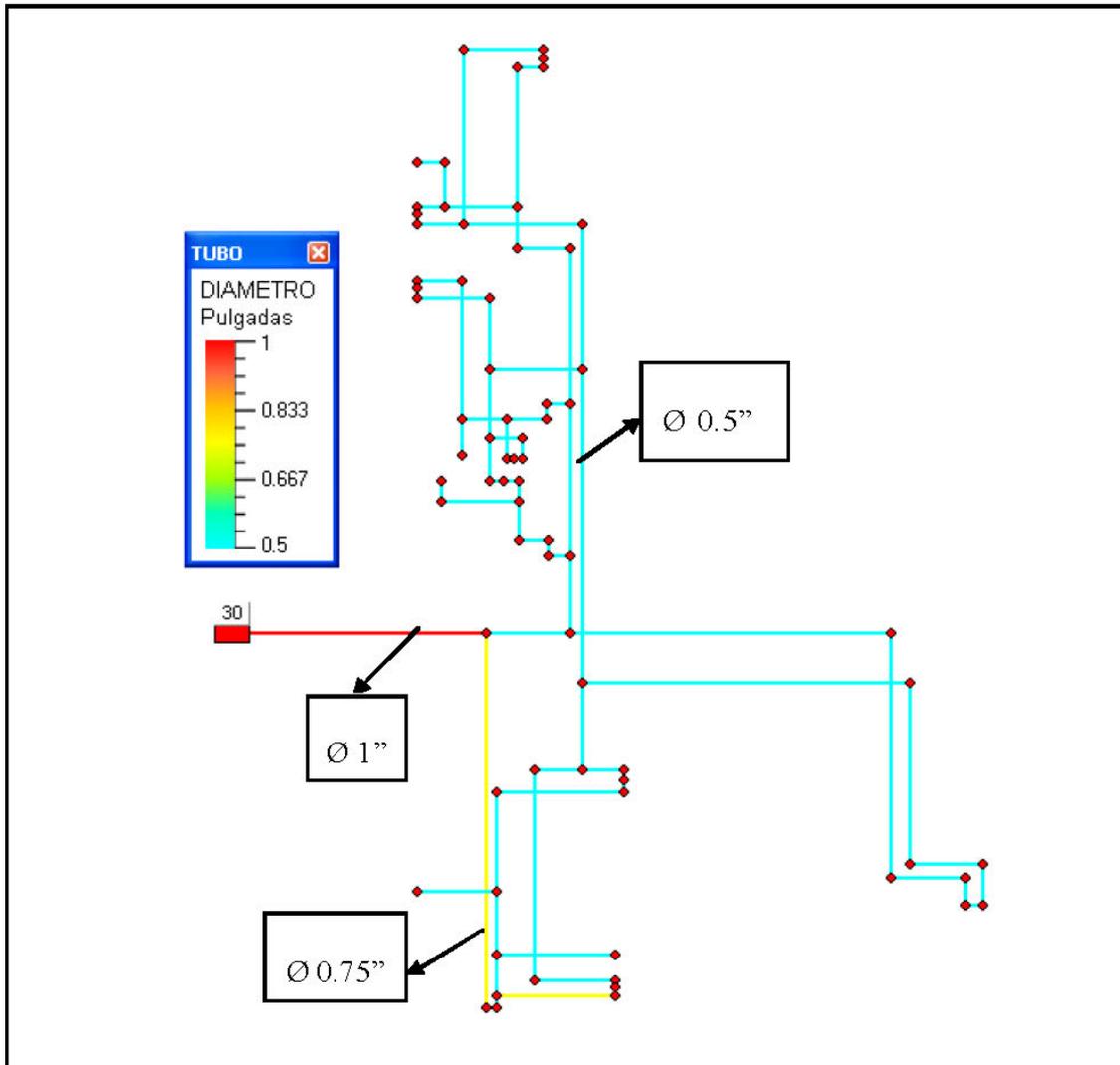


Ilustración 7-20 Combinación 4 para consumo medio –Apartamento tipo 2

### 7.3.5 Combinación 5

Como última combinación se asume la simultaneidad de 3 sanitarios y el lavaplatos, cuya simulación se aprecia en la Ilustración 7-21.

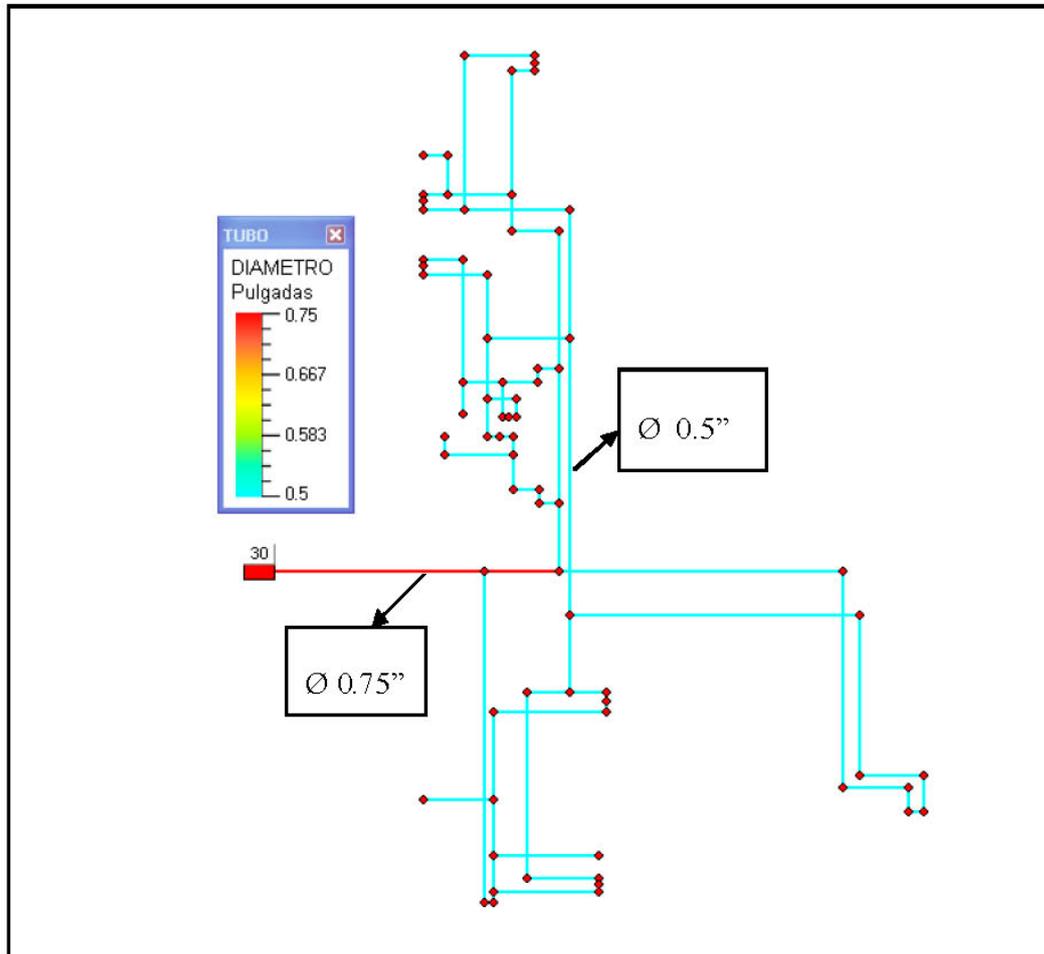


Ilustración 7-21 Combinación 5 para consumo medio –Apartamento tipo 2

### 7.3.6 Envolvente de diseño – apartamento tipo 2

En la Ilustración 7-22 se muestra la envolvente de diseño que resulta de tomar los mayores diámetros que resultaron para cada tubería de la modelación de las diferentes condiciones de simultaneidad asumidas.

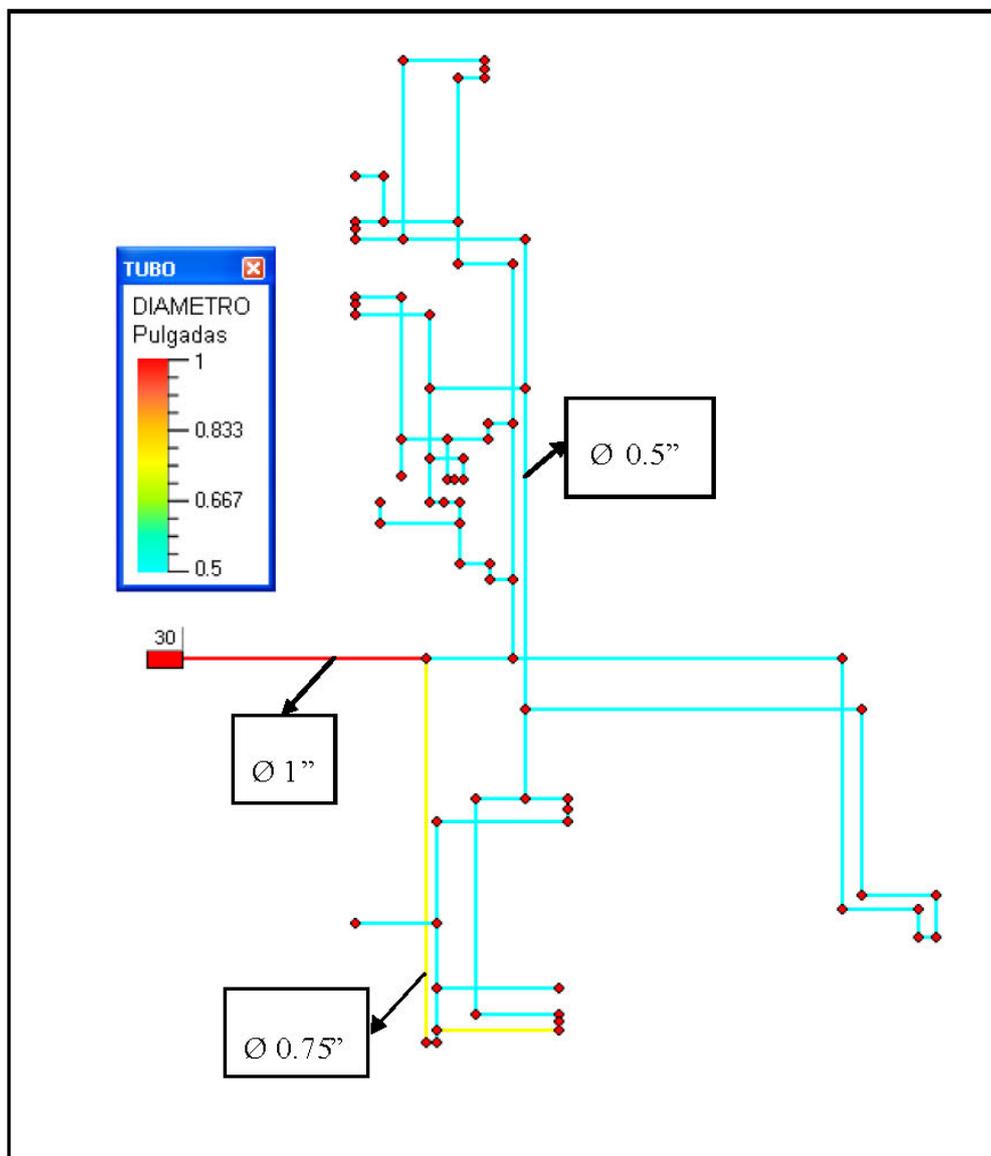


Ilustración 7-22 Envoltente de diseño – apartamento tipo 2

### 7.3.7 Comparación de la envoltente de diseño con el diseño por el método de Hunter – Apartamento tipo 2

En la Tabla 7-7 se muestra una comparación de los diámetros resultantes de la metodología que aquí se propone con los que se tenían del diseño por el método de Hunter, la diferencia se aprecia con mayor claridad en la Ilustración 7-23.

**Tabla 7-7 Comparación de la envolvente de diseños vs. Hunter – apartamento tipo 2**

Comparación de diámetros en pulgadas - Envolvente de diseño vs. Hunter											
Apartamento tipo 2											
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	1,25	1	21	0,5	0,5	41	0,75	0,5	61	0,5	0,5
2	1	0,5	22	1	0,75	42	0,75	0,5	62	0,5	0,5
3	0,75	0,5	23	0,5	0,5	43	0,75	0,5	63	1	0,5
4	0,5	0,5	24	0,5	0,75	44	0,75	0,5	64	0,75	0,5
5	0,5	0,5	25	0,75	0,5	45	0,75	0,5	65	0,5	0,5
6	0,5	0,5	26	0,5	0,5	46	0,75	0,5	66	0,75	0,5
7	0,5	0,5	27	0,5	0,5	47	0,75	0,5	67	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,5	0,5	48	0,5	0,5	68	0,5	0,5
9	0,75	0,5	29	0,5	0,5	49	0,75	0,5	69	0,5	0,5
10	0,5	0,5	30	0,5	0,5	50	0,75	0,5	70	0,5	0,5
11	0,5	0,5	31	0,75	0,5	51	0,5	0,5	71	0,5	0,5
12	0,5	0,5	32	0,5	0,5	52	0,5	0,5	72	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,5	0,5	53	0,5	0,5	73	0,5	0,5
14	0,5	0,5	34	0,5	0,5	54	0,5	0,5	74	0,5	0,5
15	0,75	0,5	35	0,5	0,5	55	0,5	0,5	75	0,5	0,5
16	0,5	0,5	36	0,5	0,5	56	0,5	0,5	76	0,5	0,5
17	0,5	0,5	37	0,5	0,5	57	0,75	0,5	77	0,5	0,5
18	0,5	0,5	38	0,5	0,5	58	0,5	0,5	78	0,5	0,5
19	0,5	0,5	39	0,75	0,5	59	1	0,5	79	0,5	0,5
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5	60	0,75	0,5			

En la Ilustración 7-23 se observa claramente que para el apartamento tipo 2 el método de Hunter sobredimensiona la gran mayoría de las tuberías.

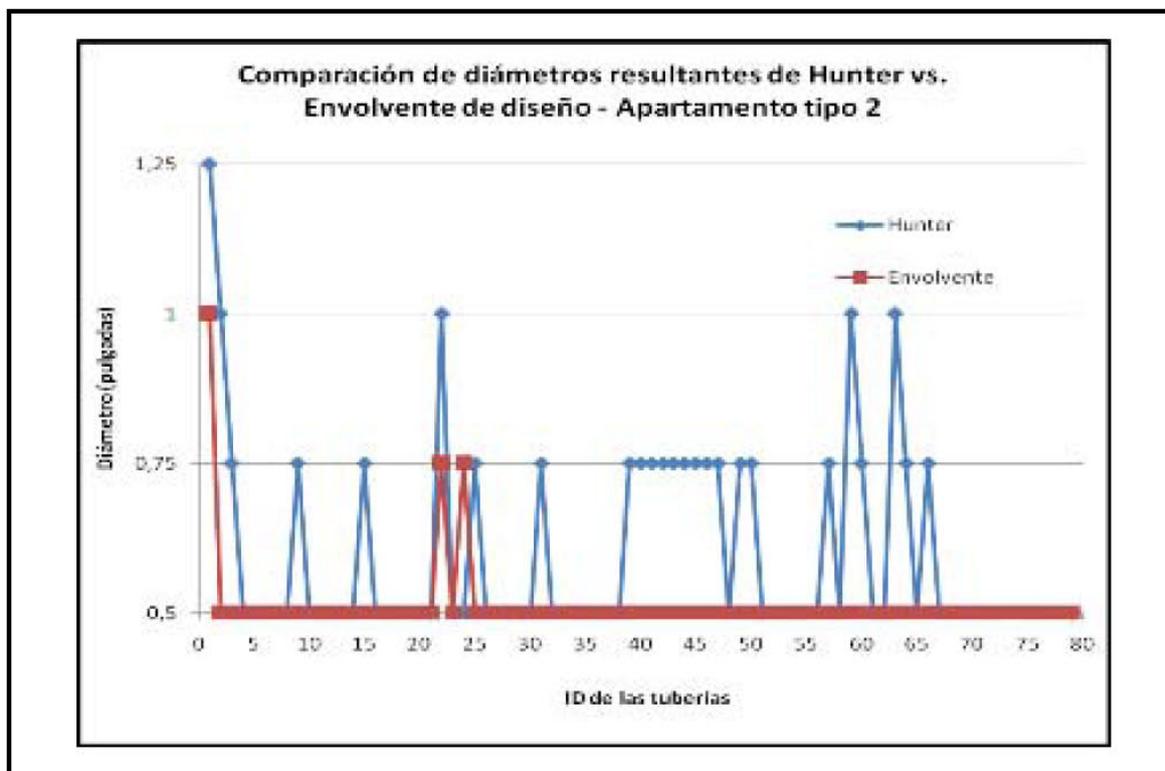


Ilustración 7-23 Envoltente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 2

### 7.3.8 Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 2

De la envoltente de diseño resultante para el apartamento tipo 2, se obtienen como datos a la entrada del apartamento una presión de 30 m.c.a y un caudal de 1.3 lps, con estos parámetros y la geometría de la red se calcula el diámetro de la tubería principal que sale de los medidores y va hasta la entrada del apartamento, este cálculo se muestra en la Ilustración 7-24.

Como diseño resultante se obtiene un diámetro de 1.25", igual al propuesto por el diseño de Hunter, con una cabeza a la salida del medidor de 50 m.c.a.

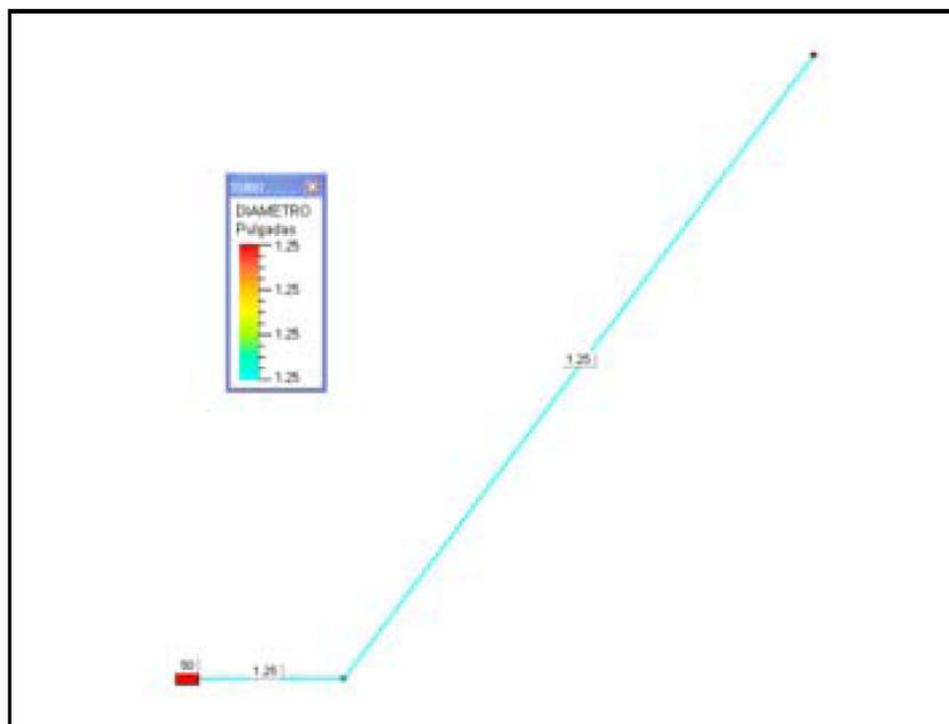


Ilustración 7-24 Tubería que alimenta el apartamento tipo 2

## 7.4 Diseño para una condición de consumo medio – Apartamento tipo 3

### 7.4.1 Combinación 1

Para esta suposición de consumo se hacen funcionar simultáneamente 2 duchas, el lavaplatos y la lavadora. De lo anterior el diseño resultante se puede ver en la Ilustración 7-25.

Para este diseño se probó en primer lugar con una presión a la entrada de 30 m.c.a. pero esta no permite que se cumpla con las presiones mínimas en todos los aparatos, por lo cual se aumenta a 40 m. c.a.

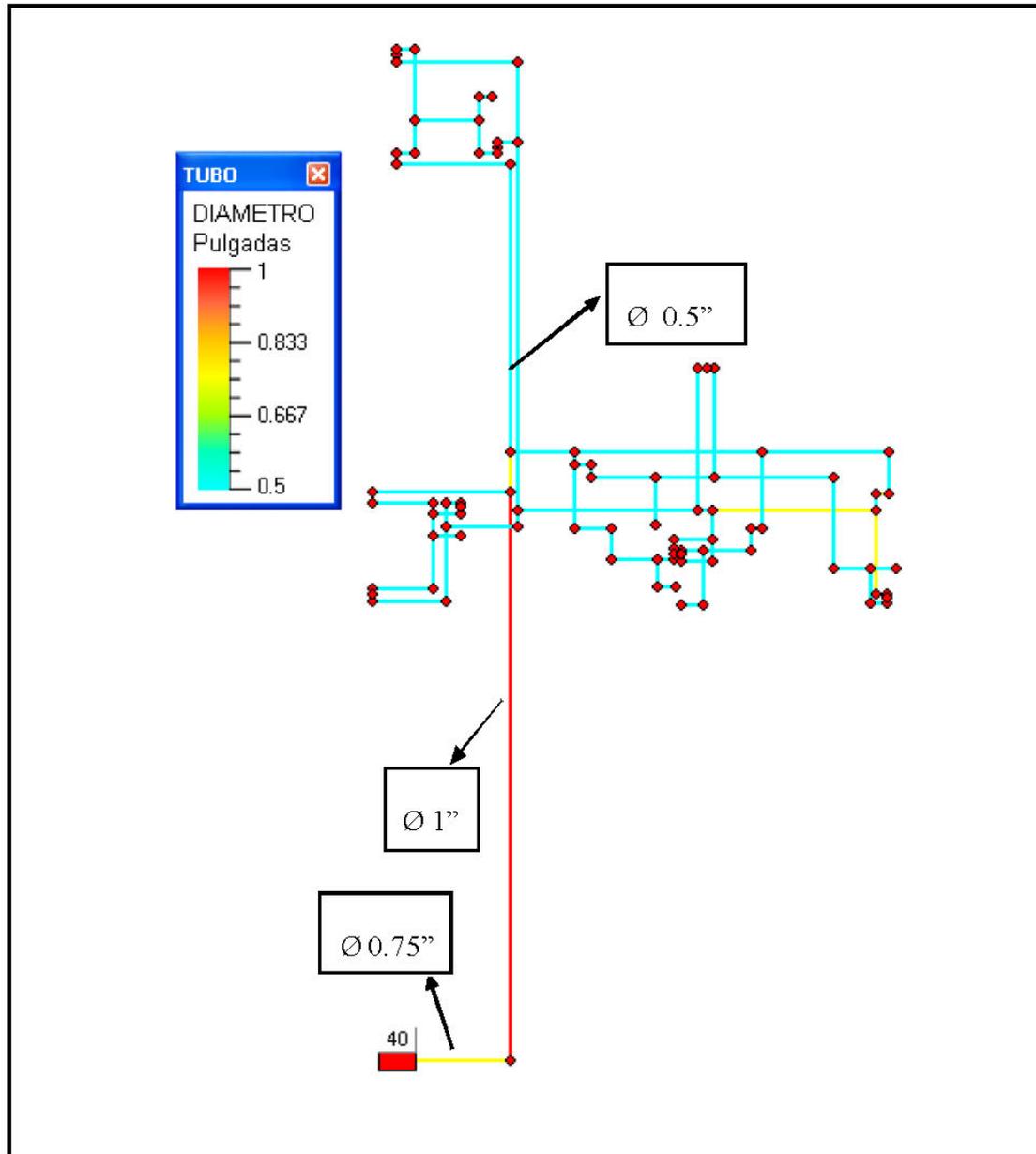


Ilustración 7-25 Combinación 1 - apartamento tipo 3

### 7.4.2 Combinación 2

Para este caso se supone el funcionamiento simultáneo de 2 sanitarios, 2 lavamanos y el lavadero. Bajo esta condición el diseño que resulta se muestra en la Ilustración 7-26.

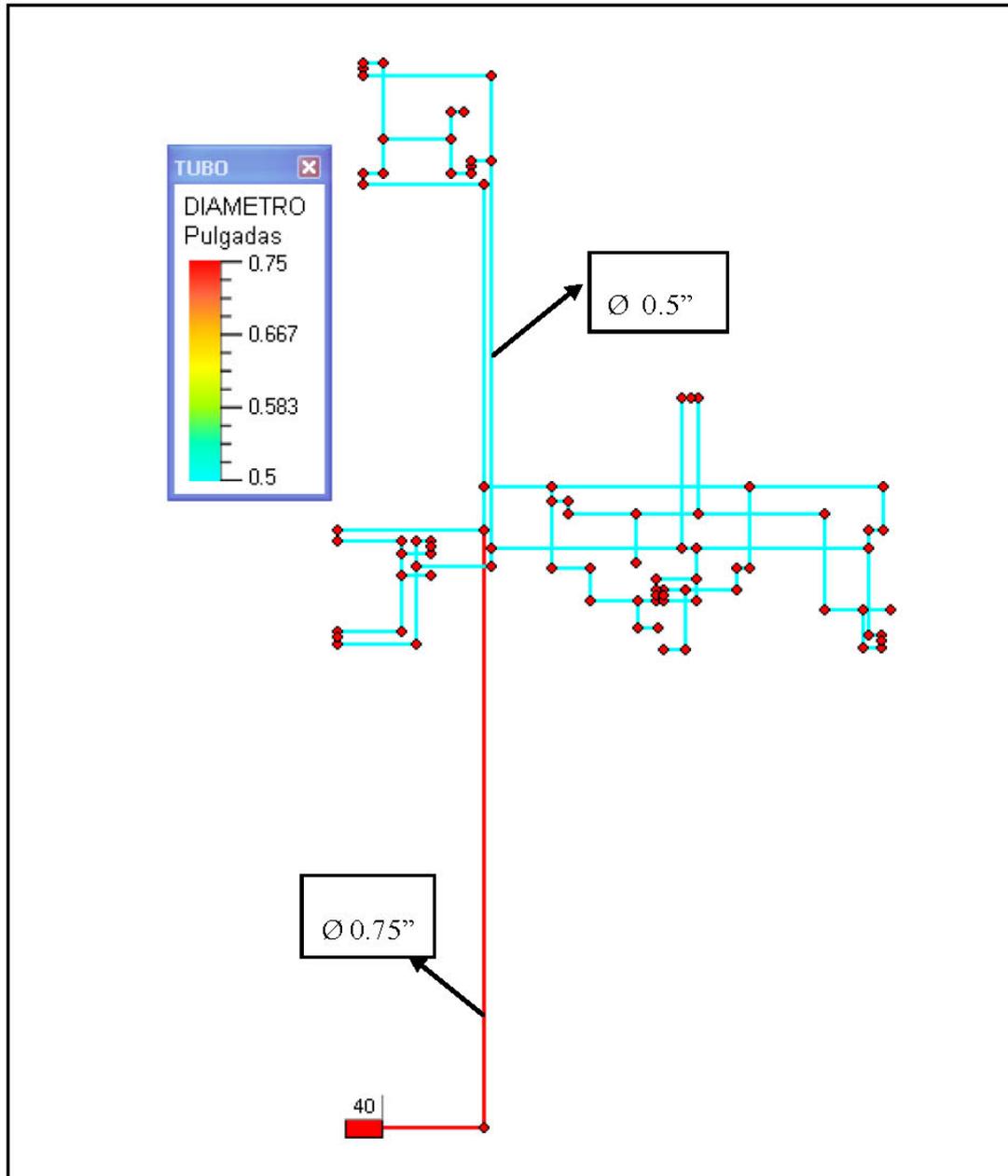


Ilustración 7-26 Combinación 2 – apartamento tipo 3

### 7.4.3 Combinación 3

Suponiendo que se prenden 1 sanitario, 2 lavamanos, el lavaplatos y el lavadero al mismo tiempo, se requiere para un buen funcionamiento tener los diámetros que se muestra en la Ilustración 7-27.

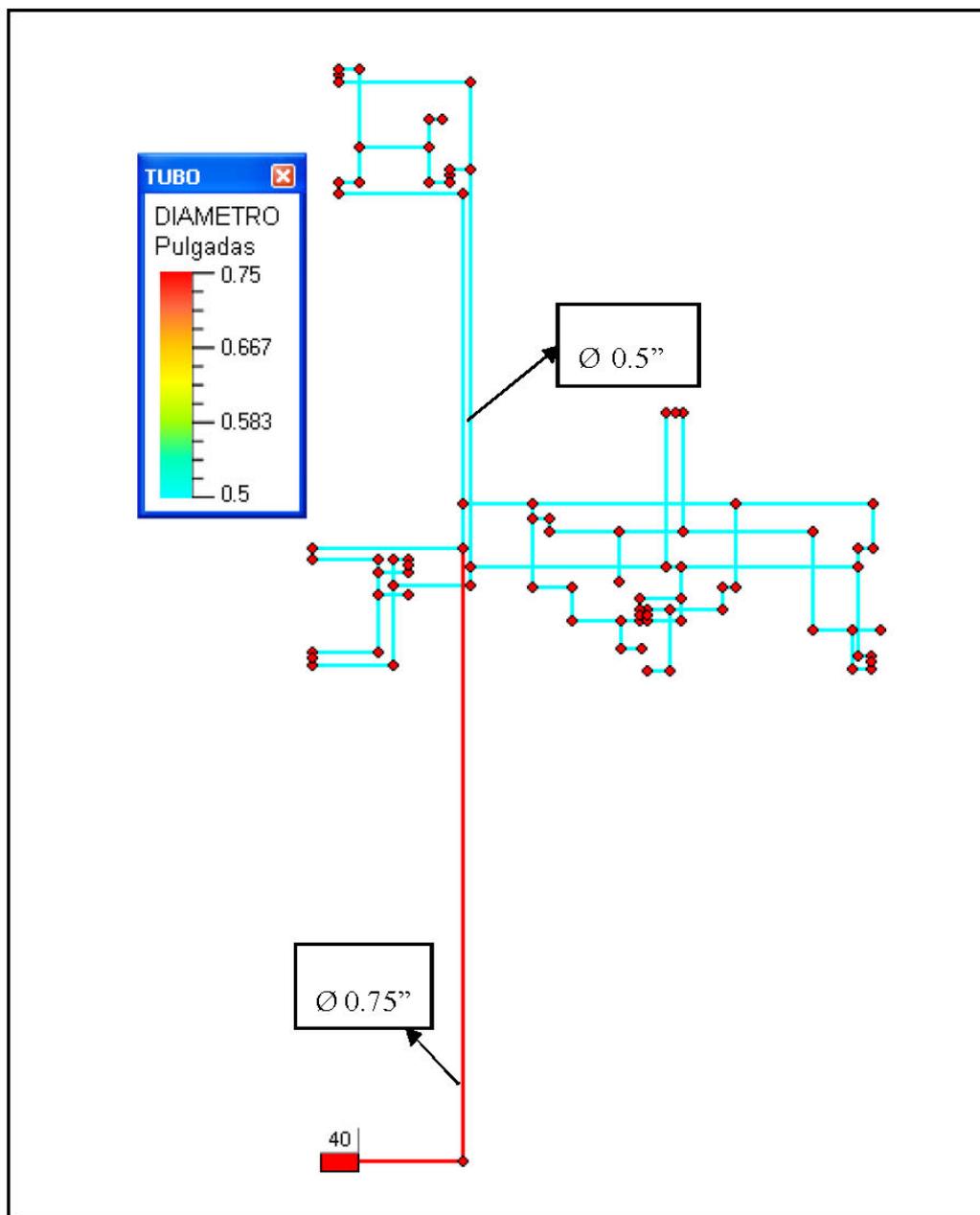


Ilustración 7-27 Combinación 3 – apartamento tipo 3

### 7.4.4 Combinación 4

Suponiendo para este caso la simultaneidad del lavadero, 1 ducha y el lavaplatos, se necesita colocar los diámetros que se muestran en la Ilustración 7-28.

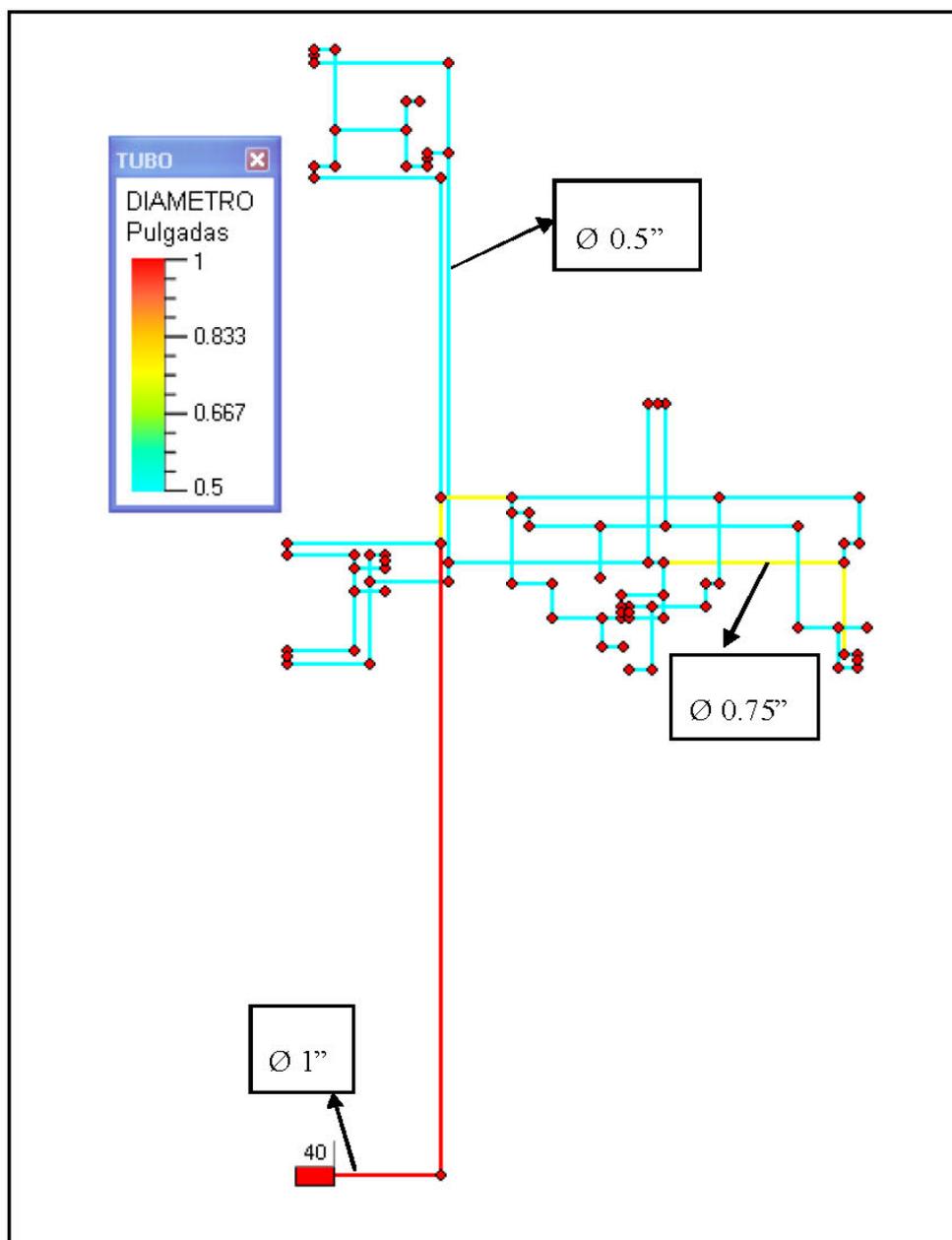


Ilustración 7-28 Combinación 4 – apartamento tipo 3

### 7.4.5 Combinación 5

Asumiendo como última combinación de simultaneidad el funcionamiento de 1 ducha, 1 sanitario, 1 lavamanos y el lavaplatos resulta el diseño que se observa en la Ilustración 7-29.

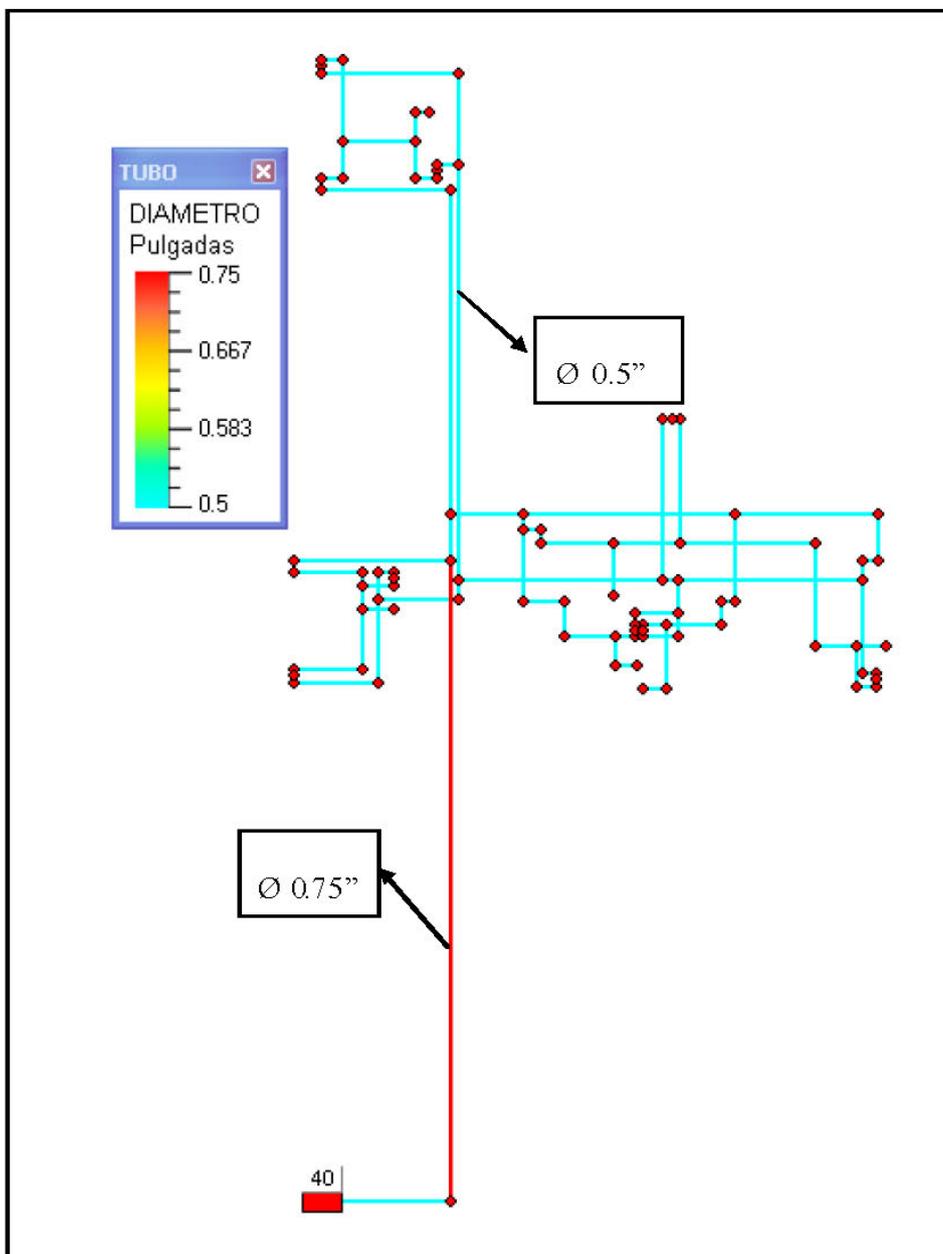


Ilustración 7-29 Combinación 5 – apartamento tipo 3

### 7.4.6 Envolvente de diseño – apartamento tipo 3

Como resultado de colocar los mayores diámetros encontrados en las diferentes combinaciones de simultaneidad asumidas, resulta la envolvente de diseño para el apartamento tipo 3, tal como se aprecia en la Ilustración 7-30.

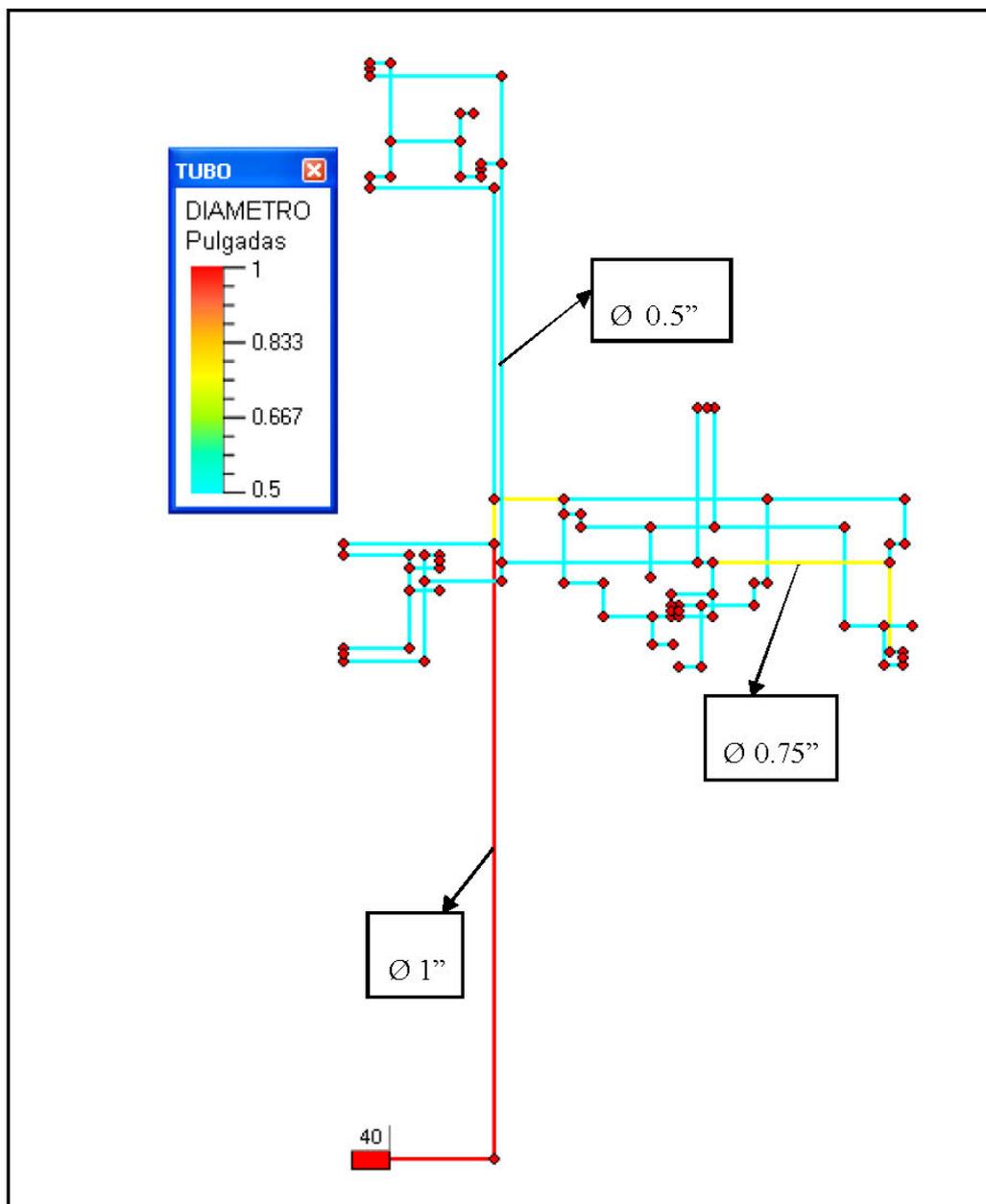


Ilustración 7-30 Envolvente de diseño – apartamento tipo 3

### 7.4.7 Comparación envolvente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 3

Tabla 7-8 Envolve de diseño vs. Hunter – Apartamento tipo 3

Comparación de diámetros en pulgadas - Envolve de diseño vs. Hunter														
Apartamento tipo 3														
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	0,75	0,5	21	0,5	0,5	41	0,5	0,5	61	0,75	0,5	81	0,75	0,5
2	0,5	0,5	22	0,5	0,5	42	0,5	0,5	62	0,75	0,75	82	1,25	2
3	0,5	0,5	23	0,5	0,5	43	0,5	0,5	63	0,5	0,75	83	0,5	0,5
4	1,25	1	24	0,5	0,5	44	0,5	0,5	64	0,5	0,5	84	0,5	0,5
5	0,75	0,5	25	0,5	0,5	45	0,75	0,5	65	0,5	0,5	85	0,5	0,5
6	0,75	0,5	26	0,5	0,5	46	0,5	0,5	66	0,5	0,5	86	0,5	0,5
7	0,5	0,5	27	0,5	0,5	47	0,5	0,5	67	1	0,75	87	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,5	0,5	48	0,5	0,5	68	0,5	0,5	88	0,5	0,5
9	0,5	0,5	29	0,5	0,5	49	0,5	0,5	69	1	0,5	89	0,5	0,5
10	0,75	0,5	30	0,5	0,5	50	0,5	0,5	70	0,75	0,5	90	0,5	0,5
11	0,5	0,5	31	0,75	0,5	51	0,5	0,5	71	0,75	0,5	91	0,5	0,5
12	0,5	0,5	32	0,5	0,5	52	0,5	0,5	72	0,75	0,5	92	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,75	0,5	53	0,5	0,5	73	0,5	0,5	93	0,5	0,5
14	0,5	0,5	34	0,5	0,5	54	0,5	0,5	74	0,5	0,5	94	0,5	0,5
15	1	0,75	35	0,5	0,5	55	0,5	0,5	75	0,5	0,5			
16	0,75	0,5	36	0,5	0,5	56	0,5	0,5	76	0,5	0,5			
17	0,5	0,5	37	0,5	0,5	57	0,75	0,5	77	0,5	0,5			
18	0,5	0,5	38	0,75	0,5	58	0,5	0,5	78	0,75	0,5			
19	0,5	0,5	39	0,5	0,5	59	0,75	0,5	79	0,75	0,5			
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5	60	0,5	0,5	80	0,5	0,5			

Para el apartamento tipo 3, cuyo diseño se muestra en la Ilustración 7-31, el diseño por el método de Hunter arroja diámetros mayores que los encontrados en la envolvente de diseño con Redes.



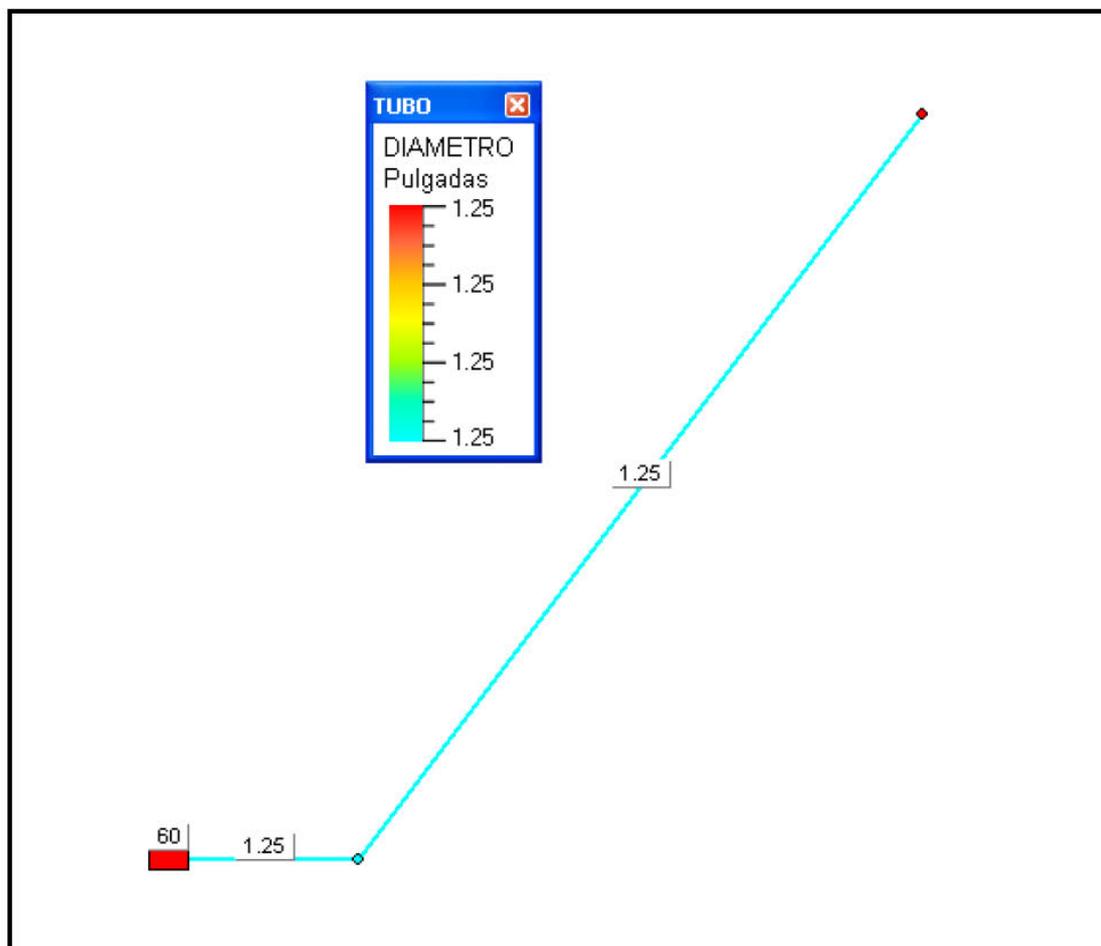


Ilustración 7-32 Tubería que alimenta el apartamento tipo 3

## 7.5 Diseño para una condición de consumo medio – Apartamento tipo 4

### 7.5.1 Combinación 1

En primer lugar se tendrá en cuenta una combinación de consumo con simultaneidad de uso de la ducha y la lavadora. Teniendo en cuenta estos aparatos resulta el diseño que se ve en la Ilustración 7-33.

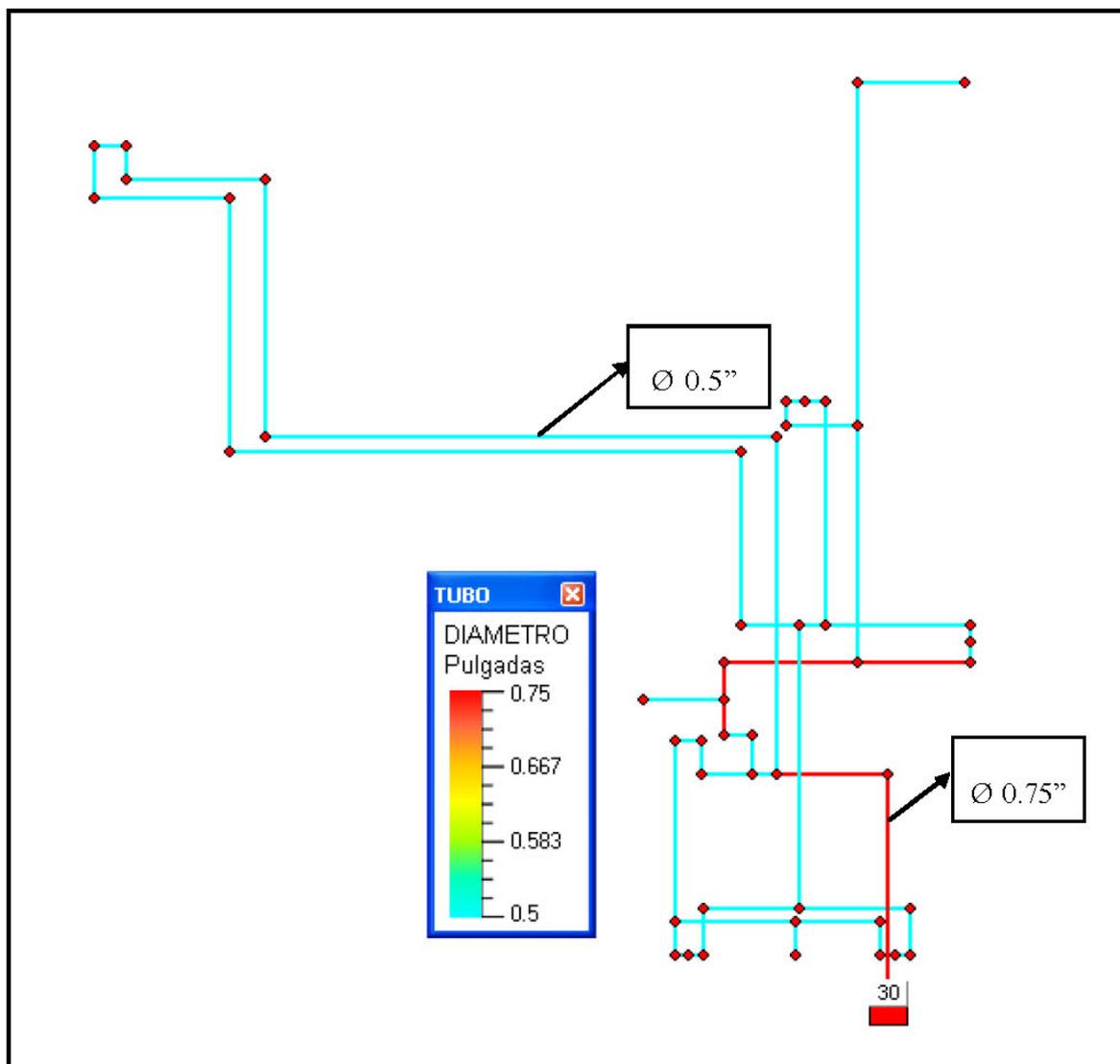


Ilustración 7-33 Combinación 1 – apartamento tipo 4

### 7.5.2 Combinación 2

Una segunda combinación de uso simultáneo puede ser que funcionen el sanitario y el lavaplatos. Los resultados de diseñar bajo esta condición de caudal instantáneo generan el diseño que se ve en la Ilustración 7-34.

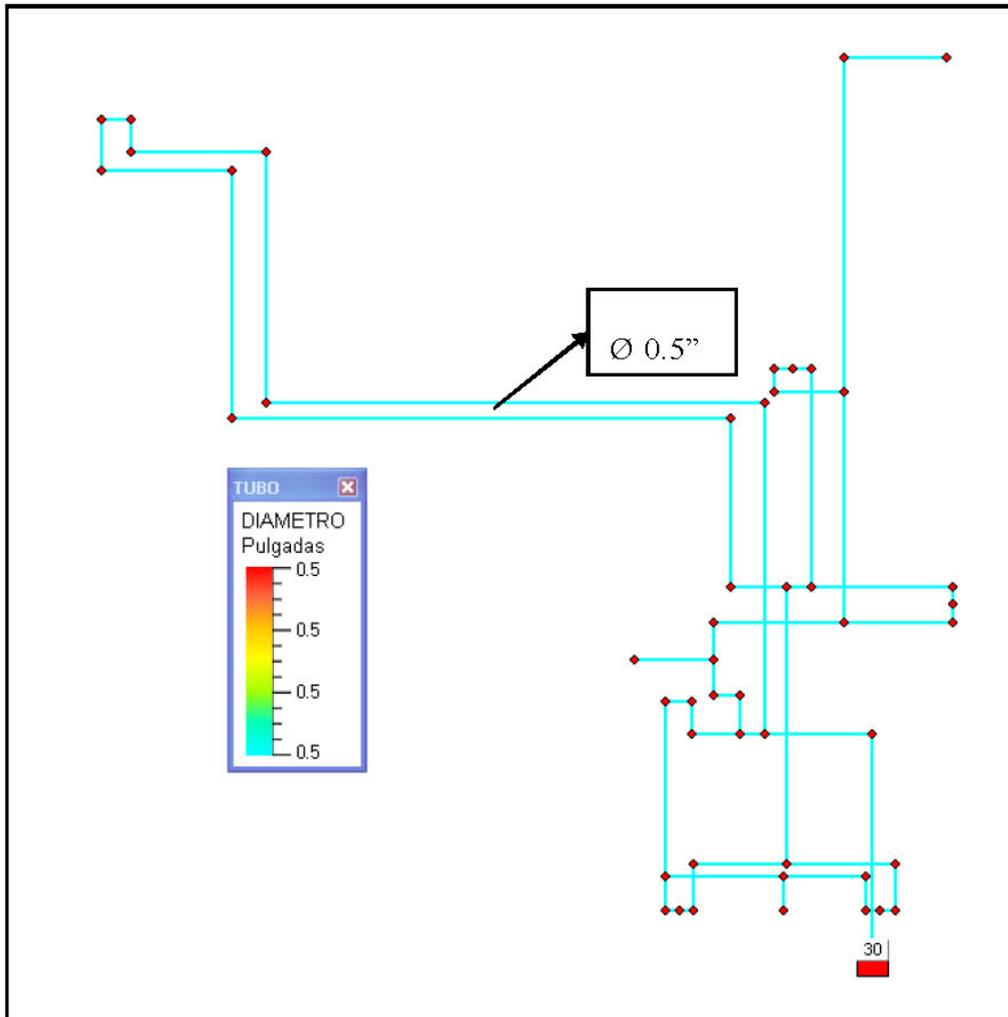


Ilustración 7-34 Combinación 2 – apartamento tipo 4

### 7.5.3 Combinación 3

Suponiendo un uso simultáneo del lavaplatos, el sanitario y la ducha resultan los diámetros de diseño que aparecen en la Ilustración 7-35 con su respectiva presión mínima a la entrada del apartamento.

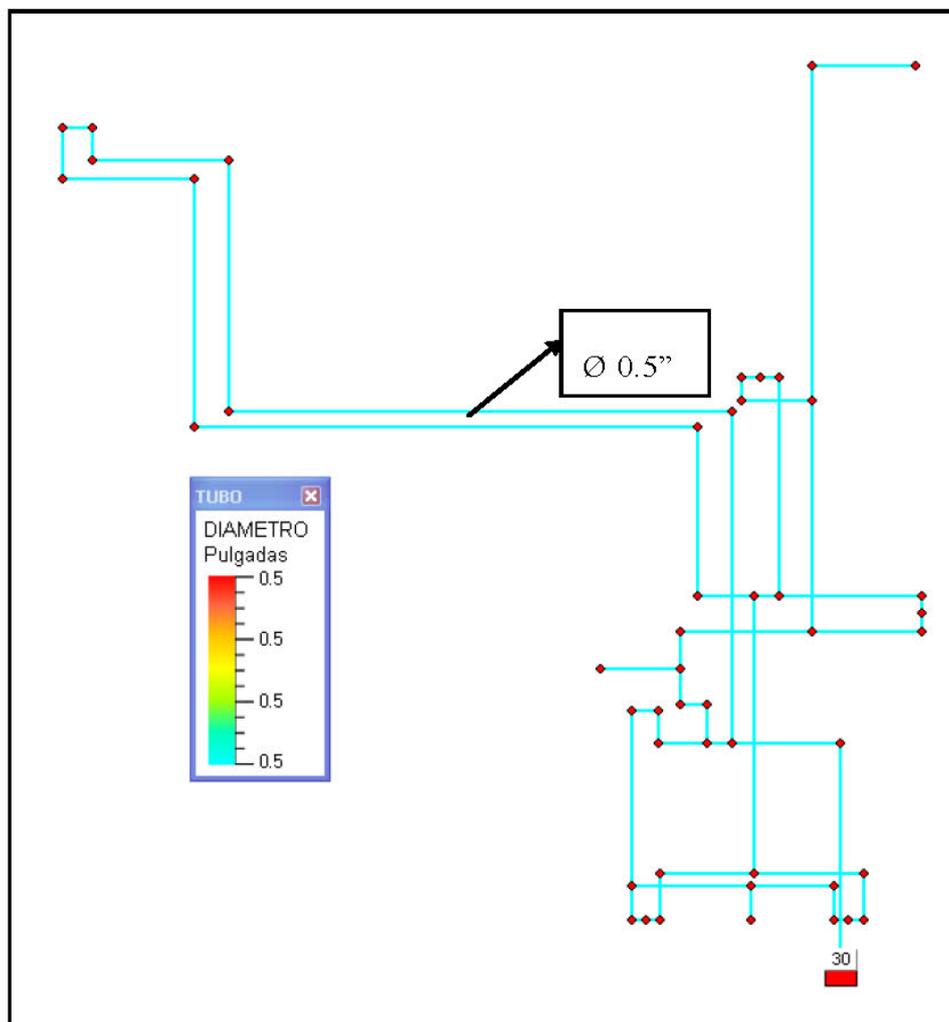


Ilustración 7-35 Combinación 3 – apartamento tipo 4

#### 7.5.4 Combinación 4

Si se asume que están en uso simultáneo el lavaplatos, la lavadora y la ducha se obtiene como diseño resultante el mostrado en la Ilustración 7-36.

Comparando este diseño con los anteriores para el apartamento tipo 4, se puede ver que la ruta que lleva el agua a la lavadora, resulta ser una línea de alto consumo de caudal. Por lo cual requiere de un diámetro considerable para su buen servicio.

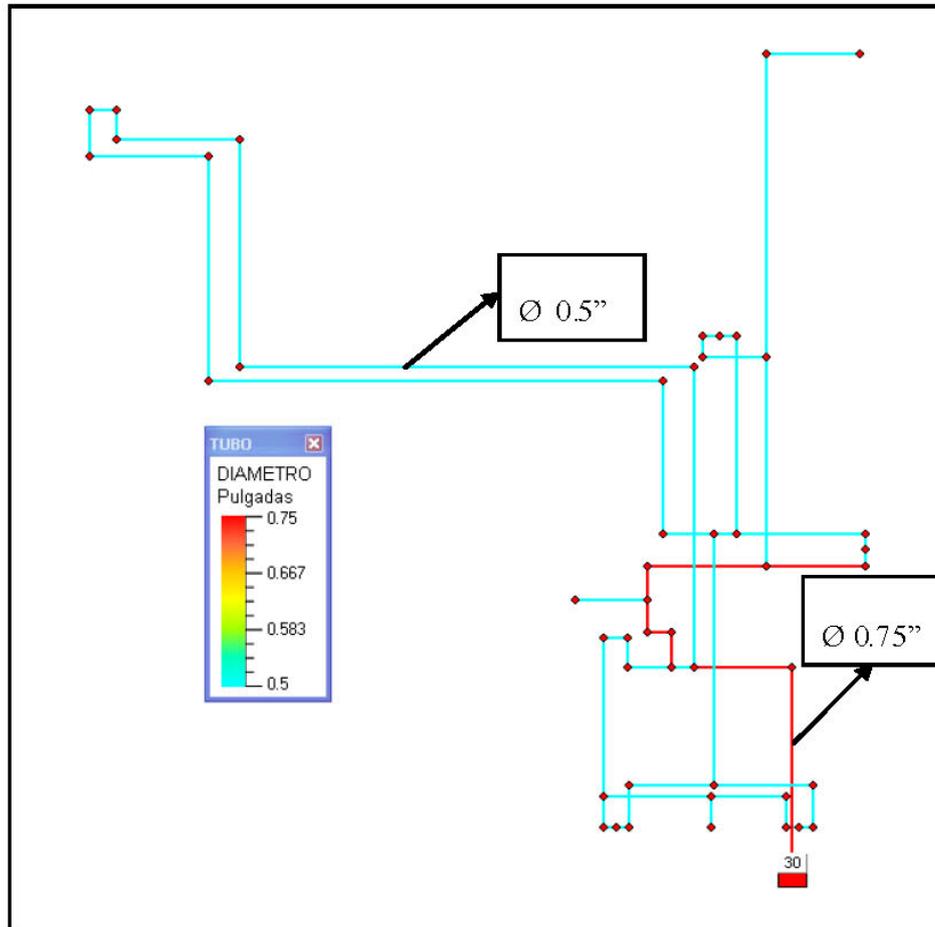


Ilustración 7-36 Combinación 4 – apartamento tipo 4

### 7.5.5 Combinación 5

Como última combinación se considera el caudal máximo instantáneo que es generado por el uso del lavamanos, el lavadero y la lavadora. La Ilustración 7-37 se muestran los diámetros que resultan del diseño bajo estas condiciones y se puede corroborar el hecho que la ruta hacia la lavadora requiere un diámetro considerable para disminuir las pérdidas que se generan por el alto caudal que circula en esta tubería alimentadora y evitar la disminución de presión en el resto de la red.

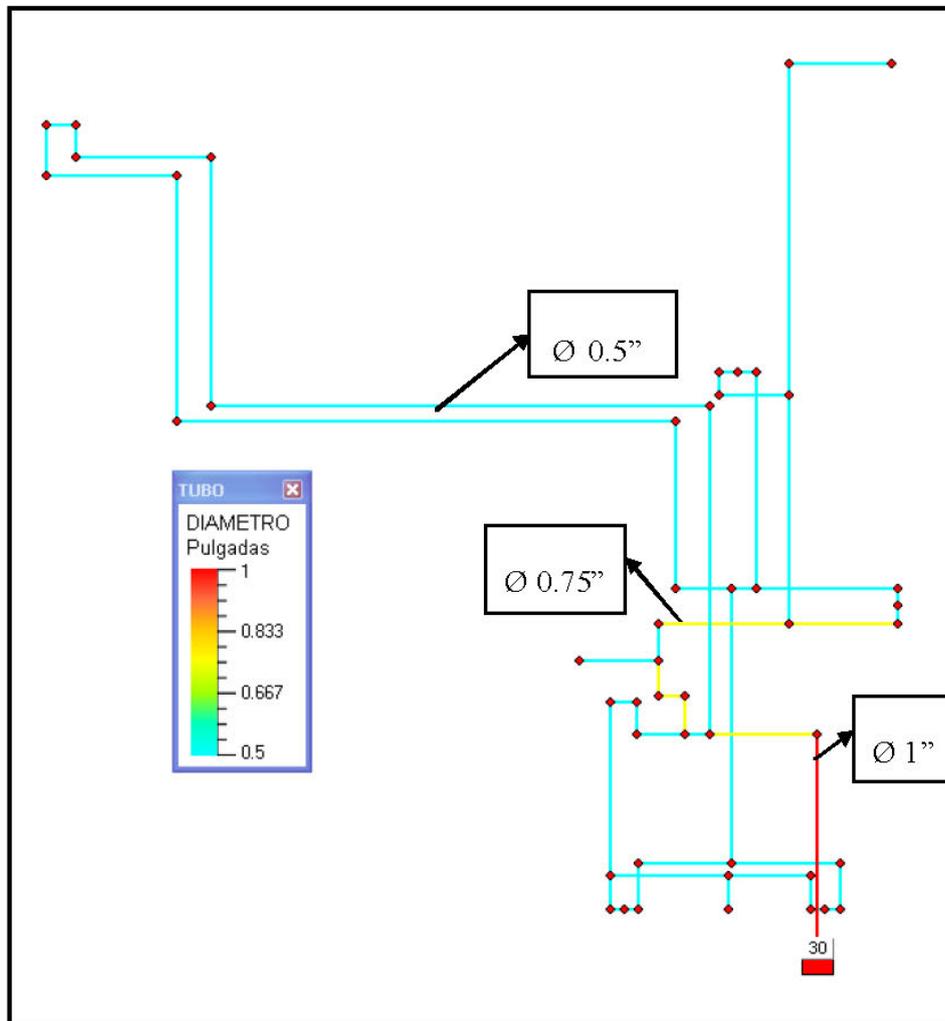


Ilustración 7-37 Combinación 5 – apartamento tipo 4

### 7.5.6 Envolvente de diseño – apartamento tipo 4

Al igual que en los apartamentos anteriores, para el apartamento tipo 4 se toman los mayores diámetros de cada tubería que resultaron de las diferentes condiciones de simultaneidad y se asignan a la red junto con el caudal crítico encontrado en las simulaciones realizadas, y de esta manera se genera la envolvente de diseño de la red para este apartamento.

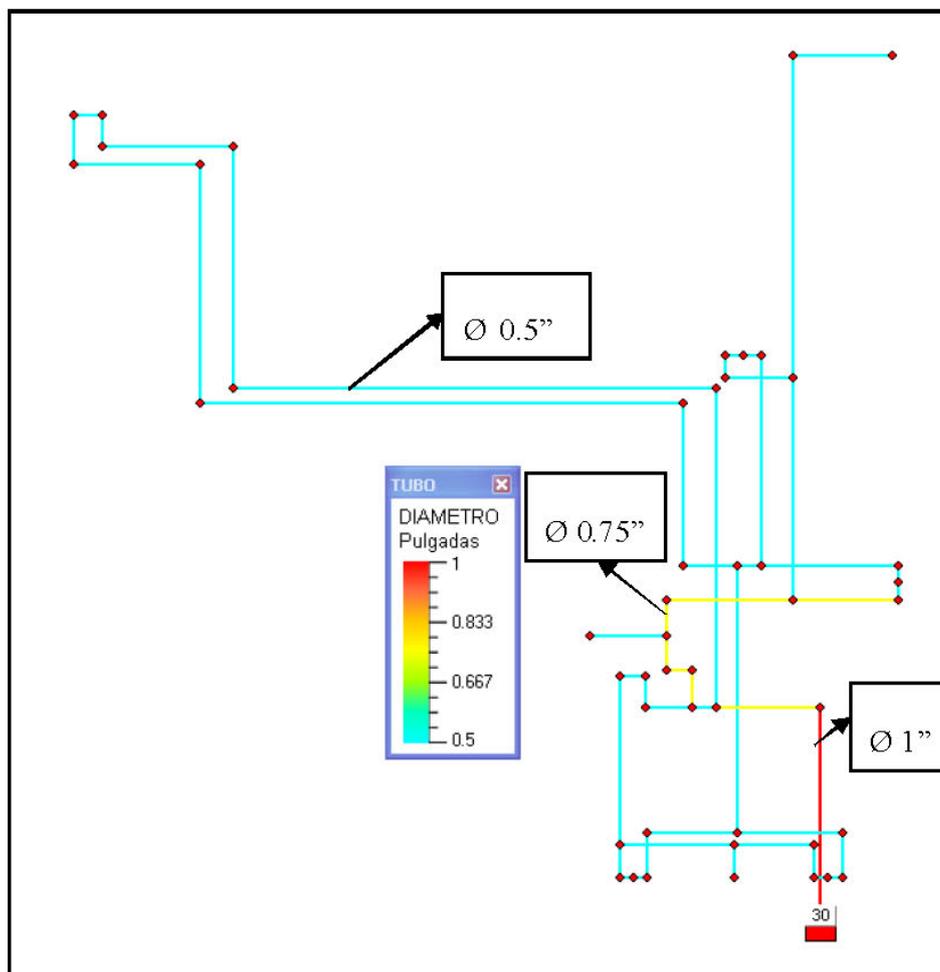


Ilustración 7.38 Envoltente de diseño – apartamento tipo 4

### 7.5.7 Comparación envolvente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 4

En la Tabla 7-9 se muestran los diámetros del diseño de Hunter y de la envolvente de diseño encontrada para el apartamento tipo 4.

Tabla 7-9 Envoltente de diseño vs. Hunter – apartamento tipo 4

Comparación de diámetros en pulgadas - Envoltente de diseño vs. Hunter								
Apartamento tipo 4								
ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes	ID	Hunter	Redes
1	0,5	0,5	21	0,5	0,5	41	0,75	0,75
2	0,75	0,5	22	0,5	0,5	42	0,75	0,75
3	0,75	0,5	23	0,5	0,5	43	0,75	0,5
4	0,75	0,5	24	0,75	0,5	44	0,5	0,5
5	0,5	0,5	25	0,5	0,5	45	0,5	0,5
6	0,5	0,5	26	0,5	0,5	46	0,5	0,5
7	0,5	0,5	27	0,75	0,5	47	0,5	0,5
8	0,5	0,5	28	0,75	0,5	48	0,5	0,5
9	0,5	0,5	29	0,75	0,5	49	0,5	0,5
10	0,75	0,75	30	0,75	0,5	50	0,5	0,5
11	0,75	0,75	31	0,75	0,5	51	0,5	0,5
12	0,5	0,75	32	0,75	0,5	52	0,5	0,5
13	0,5	0,5	33	0,75	0,5	53	0,5	0,5
14	0,75	0,5	34	0,75	0,5	54	0,5	0,5
15	0,5	0,5	35	0,75	0,75			
16	0,5	0,5	36	0,5	0,5			
17	0,75	0,5	37	0,5	0,5			
18	1	1	38	0,75	0,5			
19	0,75	0,5	39	1	0,75			
20	0,5	0,5	40	0,75	0,5			

La Ilustración 7-39 muestra como Hunter una vez más arroja diámetros mayores a los encontrados utilizando la metodología de diseño propuesta en esta investigación.

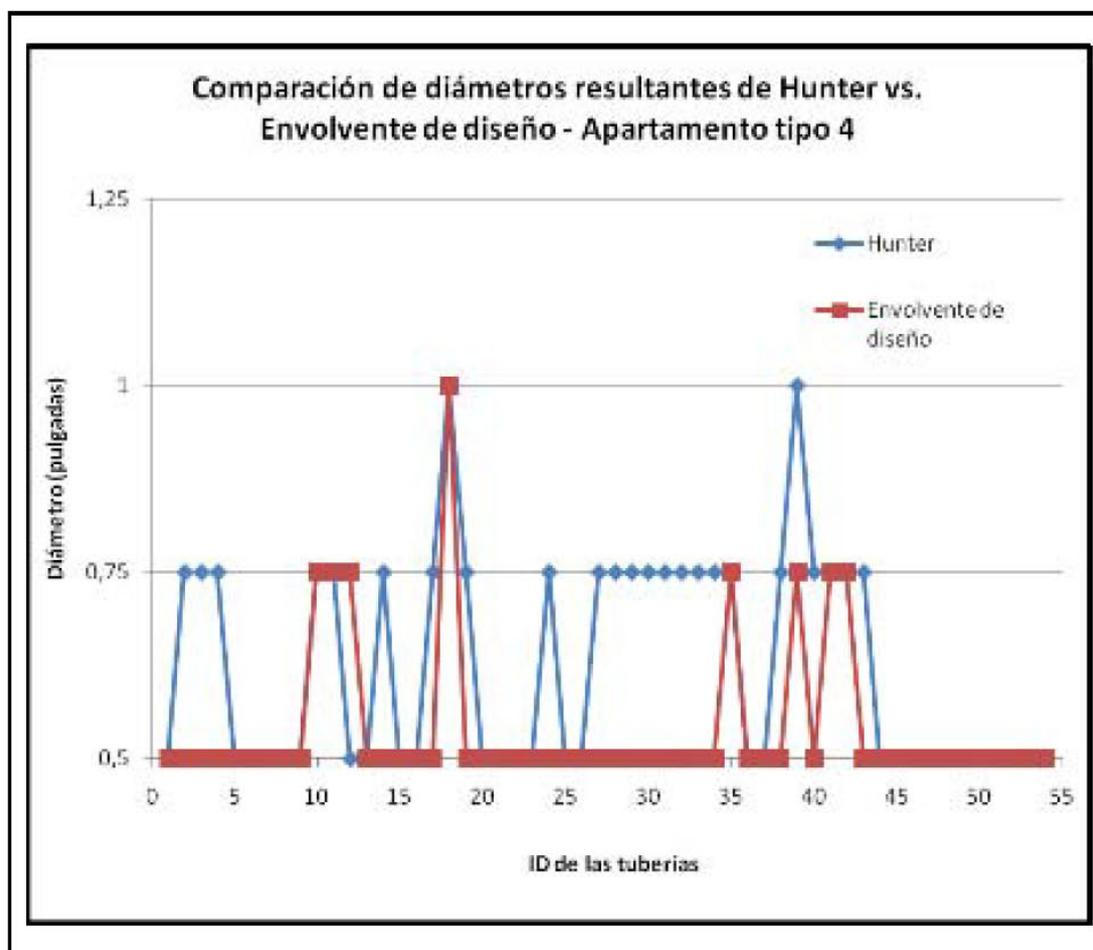


Ilustración 7-39 Comparación envoltente de diseños vs. Hunter – apartamento tipo 4

### 7.5.8 Diseño tubería que alimenta el apartamento tipo 4

Para diseñar la tubería que va desde los medidores, ubicados en el primer piso del edificio en cuestión, hasta la entrada del apartamento tipo 4 del sexto piso, se tienen como datos de entrada un caudal de 1.4 lps y una presión a la entrada del apartamento igual a 30 m. c.a. Con estos parámetros resulta una tubería de diámetro de 1.25” con una presión a la salida del medidor igual a 50 m. c.a. para cumplir con los requerimientos hidráulicos de la red.

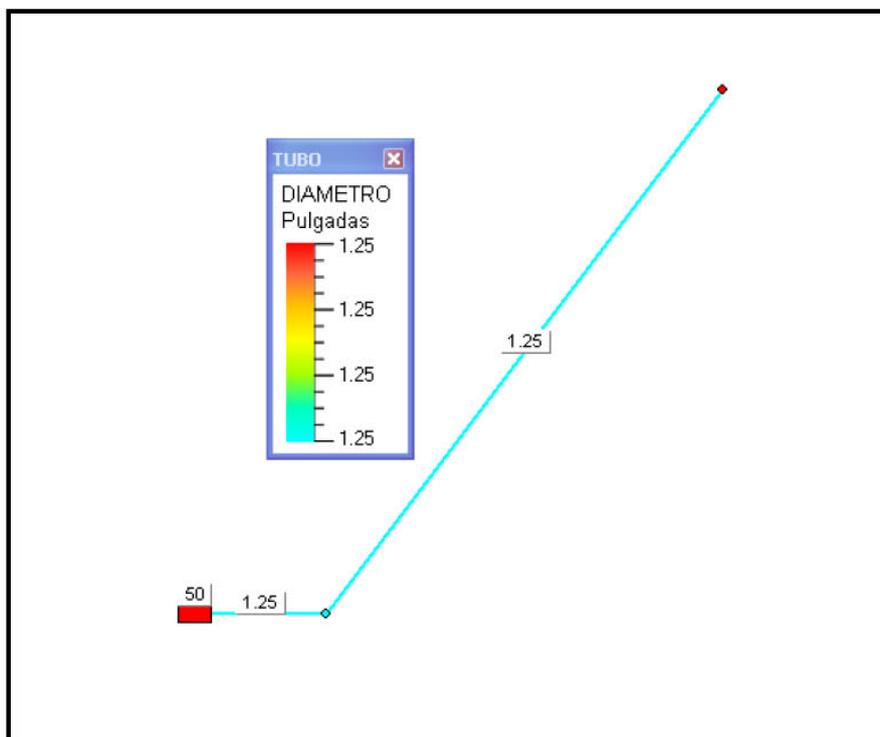


Ilustración 7-40 Diseño de la tubería que alimenta el apartamento tipo 4

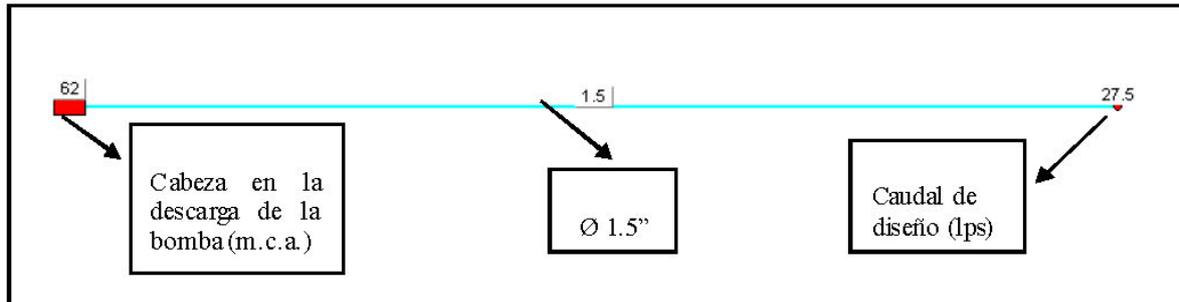
## 7.6 Equipo de bombeo

Para escoger el equipo de bombeo es necesario conocer la cabeza que debe tener la bomba en la descarga y el caudal que ésta debe suministrar.

Teniendo en cuenta las envolventes de diseño resultantes para los 4 tipos de apartamentos que hay en esta edificación, y el diseño de la tubería que alimenta cada tipo de apartamento del sexto piso, se observa que el diseño crítico es el correspondiente al apartamento tipo 3, en donde a la salida del medidor se debe tener una presión de 60 m. c.a.

Teniendo en cuenta la distancia que hay entre la descarga de la bomba y los medidores, la cual es de 21.79 m, y el caudal resultante para el edificio es de 27.5 lps, el cual se obtiene de multiplicar el caudal de la envolvente de diseño para cada apartamento por 5 que es el total de apartamentos de cada tipo que se encuentran en la edificación. En la Ilustración 7-41 se muestra el diseño de la tubería que va desde la descarga de la bomba hasta los medidores.

Finalmente el equipo de bombeo se debe escoger para un caudal de diseño de 27.5 lps y una cabeza de 62 m. c.a.



**Ilustración 7-41 Diseño de tubería bomba - medidores**

## **8 Análisis de resultados**

---

- Al observar las ecuaciones obtenidas para cada uno de los aparatos se concluye que el exponente de la ecuación es cercano al que predice la teoría de emisores, variando alrededor de un valor de 0.5.
- Teniendo en cuenta las presiones mínimas recomendadas por el autor, se encuentra con las ecuaciones de cada aparato que el valor de caudal óptimo por tipo de aparato es similar. Para los lavamanos se encuentra un caudal óptimo entre 0.08 y 0.1 lps, para los lavaplatos entre 0.06 y 0.08 lps, para las duchas de 0.08 a 0.12 lps.
- Comparando el diseño realizado con la envolvente de diseño encontrada mediante la metodología propuesta en el presente trabajo, contra lo estipulado por el método de Hunter se encontró que el caudal por apartamento para Hunter es de 1.2 lps, mientras que en el otro caso resulta de 1.5, 1.3, 1.3 y 1.4 lps para los apartamentos tipo 1, 2, 3 y 4 respectivamente.
- Las tuberías que resultan críticas en el diseño, es decir las que generaron mayores diámetros corresponden a las localizadas a la entrada de los apartamentos como es de esperarse y adicional a estas, las tuberías que alimentan el punto hidráulico de la lavadora, esto debido a que dicho aparato tiene un alto consumo de caudal.
- En la Ilustración 8-1 se observan fotografías que permiten ver el interior de dos duchas, de las cuales la primera muestra un dispositivo ahorrador adoptado después de la creación de la Ley 373 de 1997 por la cual se establece el programa de uso eficiente y ahorro del agua y la segunda ducha es de las utilizadas antes de la creación de la mencionada ley. Una vez realizadas las pruebas se puede ver la gran variación de caudal para una misma presión entre la ducha sin ahorrador y las duchas que si lo tienen.



**Ilustración 8-1 Duchas con y sin dispositivo ahorrador de agua**

- Si se toma como precepto el hecho que un consumidor tiene la opción de graduar el caudal del aparato que esté utilizando hasta obtener una cantidad de agua deseada, que no sea muy pequeña ni muy grande a su criterio y le resulte cómodo para el uso, se podría decir que el caudal final que van a tener muchos aparatos tales como duchas, lavamanos y lavaplatos tiende a ser aproximadamente constante y no es exactamente el que sale según la presión que tenga el aparato en su conexión. Podría decirse que los dispositivos ahorradores de agua lo que hacen es que se tenga que colocar un equipo de bombeo de gran capacidad para poderle ofrecer al futuro usuario un caudal cómodo para su uso, antes que ofrecer ventajas en el ahorro del agua.

## 9 Conclusiones

---

- Al comparar los resultados del diseño utilizando Hunter con la metodología que aquí se propone bajo una condición de uso simultáneo de todos los aparatos que conforman cada apartamento, es decir para la condición de máximo caudal instantáneo posible, se obtuvo que para los apartamentos tipo 1 y 3, los diámetros resultantes son parecidos, y el diseño en general es equitativo, y a que para algunos tramos Hunter da diámetros más grandes y en otros casos los diámetros resultan mayores con Redes. Sin embargo para el caso de los apartamentos tipo 2 y 4 a pesar de que se diseñaron para el 100% del caudal, los diámetros que origina el método de Hunter son mayores que los que se obtienen en Redes.
- A través de la metodología propuesta en este trabajo utilizando las envolventes de diseño se logran disminuir los diámetros de los apartamentos con respecto a los calculados mediante el método de Hunter. Por lo tanto al tener un diseño más ajustado a los consumos reales se logran mejorar las condiciones hidráulicas de las redes internas además de disminuir costos en la construcción de las mismas.
- Comparando la metodología de diseño propuesta con la tradicional de Hunter se puede decir que el diseño con Hunter se asemeja a una caja negra en donde se contabilizan unas unidades y se obtienen unos caudales con los cuales se estiman los diámetros a utilizar, a diferencia de lo anterior con la metodología propuesta se sabe con exactitud el consumo de todos los aparatos a utilizar y se puede ver en cada nodo la presión y el caudal de emisor de tal manera que se verifique el buen funcionamiento de los aparatos, además en las tuberías se sabe el caudal y la velocidad y en general se conoce el comportamiento hidráulico de la red para diferentes condiciones de uso.
- Una de las ventajas que presenta la metodología de diseño propuesta es que se tiene en cuenta el criterio del diseñador para realizar los cálculos de acuerdo a las condiciones reales de consumo que puede presentar determinada edificación según sea su tipo de uso. Para aclarar lo anterior se puede mencionar el caso de edificaciones correspondientes a centros de reclutamiento y cárceles en donde es razonable que se diseñen para un funcionamiento con simultaneidad del 100% y a que esta sí puede ocurrir con un alto grado de probabilidad por las condiciones de horario que se tienen en estas edificaciones.
- Al comparar el funcionamiento de las duchas sin ahorrador de agua con las que sí lo tienen, se aprecia que para el buen funcionamiento de estas duchas se requiere una presión mucho mayor en el caso de las duchas modernas con dispositivo ahorrador de agua, lo cual hace necesario que se diseñe un equipo de bombeo con mayor capacidad que en el caso de utilizar duchas sin dispositivo ahorrador. Esto hace

cuestionar la utilidad de dicho dispositivo, si se toma como precepto que el ahorro del agua está en el individuo más que en el tipo de aparato, y con lo mencionado se podría pensar que el dispositivo lo que hace es crear la necesidad de un equipo de bombeo de gran capacidad para vencer las pérdidas producidas por el reductor de diámetro.

- La metodología de diseño propuesta le ofrece al diseñador la posibilidad de crear a su criterio diferentes condiciones de uso, esto puede ser útil al clasificar las edificaciones en estratos o tipos de uso, por ejemplo para estratos bajos o donde existe poco presupuesto para la construcción se puede decidir realizar el diseño probando diferentes condiciones de consumo medio y no precisamente con la de simultaneidad del 100%, por otro lado ésta última se puede aplicar en estratos altos, edificaciones especiales, y en otras en donde el tipo de uso así lo sugiera.
- Como se ha visto hasta ahora es determinante en el diseño conocer con certeza los valores de coeficiente y exponente de emisor para cada aparato específico, además del valor de presión mínima con la cual funciona adecuadamente.
- La ventaja que ofrece la presente metodología es que permite ver con claridad el comportamiento hidráulico de la red. Se puede saber con precisión la presión que se tiene en cada nodo de la red, caudales y velocidades en las tuberías y así evitar que se presenten problemas como los que han ocurrido en obras reales con los diseños realizados aplicando el método de Hunter en donde no se sabe en donde se encuentra la raíz del problema ya que no se cuenta al menos con un modelo en computador para analizarlo.
- Al comparar los caudales de diseño del método de Hunter con los que resultaron de las envolventes que aquí se proponen, se observa que el caudal de diseño para los apartamentos es similar, por un lado con Hunter resulta un caudal de 1.2 lps y por otro lado el caudal promedio de diseño con las envolventes es de 1.4 lps. Sin embargo para calcular el equipo de bombeo con las unidades Hunter, este método aplica un factor de reducción grande ya que se obtiene un caudal de 7.82 lps para el total de unidades contabilizadas en la edificación. Por el método que aquí se propone se hace el cálculo con un caudal que resulta de sumar todos los caudales encontrados para cada uno de los apartamentos.
- Se logró verificar que los aparatos ensayados tienen un comportamiento que perfectamente se ajusta a la teoría de los emisores, por lo cual es válido realizar la modelación de las redes de abastecimiento de agua potable al interior de edificaciones utilizando una red con emisores.
- Las presiones mínimas encontradas experimentalmente según el criterio del autor de esta investigación son mucho mayores que las recomendadas por J. Granados. Es importante tener en cuenta esta variación ya que con los dispositivos ahorradores de

---

agua, los aparatos requieren de una mayor presión de diseño para su buen funcionamiento.

## 10 Recomendaciones

---

- Se recomienda a los fabricantes de griferías, que prueben sus productos y den a conocer a sus clientes las ecuaciones de cada aparato con sus respectivas presiones mínimas recomendadas con el fin de mejorar esta área del diseño de las redes internas en edificaciones y así evitar que se presenten problemas en las futuras construcciones por la falta de conocimiento en el comportamiento hidráulico de los aparatos.
- Para implementaciones del programa Redes se recomienda que identifique los accesorios de la red con la geometría que es cargada desde Autocad, de tal manera que asigne automáticamente el coeficiente de pérdidas menores por unidad de longitud de tubería.
- Se recomienda para el programa Redes que se genere un módulo en donde automáticamente se creen escenarios aleatorios de simultaneidad de consumo de tal manera que se obtenga un envolvente de diseño, para así optimizar la metodología de diseño que se introduce en la presente investigación.
- Se recomienda mejorar el formato de resultados gráficos de redes, de tal manera que sea posible generar planos a una escala óptima que muestren los diámetros de diseño resultantes.
- Se recomienda realizar estudios para encontrar un factor de reducción del caudal total de la edificación que se utilizaría en el diseño del equipo de bombeo, ya que es importante tener en cuenta la baja probabilidad que hay de encontrar todos los apartamentos de un edificio determinado funcionando simultáneamente bajo las condiciones encontradas en la envolvente de diseño.

## 11 Bibliografía

---

Castro Ladino, Yóvani. Garzón Garzón, Jorge. (2004). Tesis *“Evaluación de métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificios de diferente tipo”*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

CIACUA. (2007). *“Determinación Experimental del coeficiente de pérdidas menores km en accesorios para agua potable de PVC”*. Bogotá, D.C.

Cruz Beltrán, Claudia. Barros Forero, Bibiana. (2002). Tesis *“Estudio de caudales instantáneos para el diseño de instalaciones de diferente tipo”*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Díaz Sosa, Jorge. (1991). *“Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios”*. Editado por Fernando Luna Rojas. México D.F.

Granados, J. (2002). *“Redes hidráulicas y sanitarias en edificios”*. Bogotá, D.C.: Unibiblos.

ICONTEC. (2004). *“Código Colombiano de Fontanería - Norma Técnica Colombiana NTC 1500”*. Bogotá, D.C.

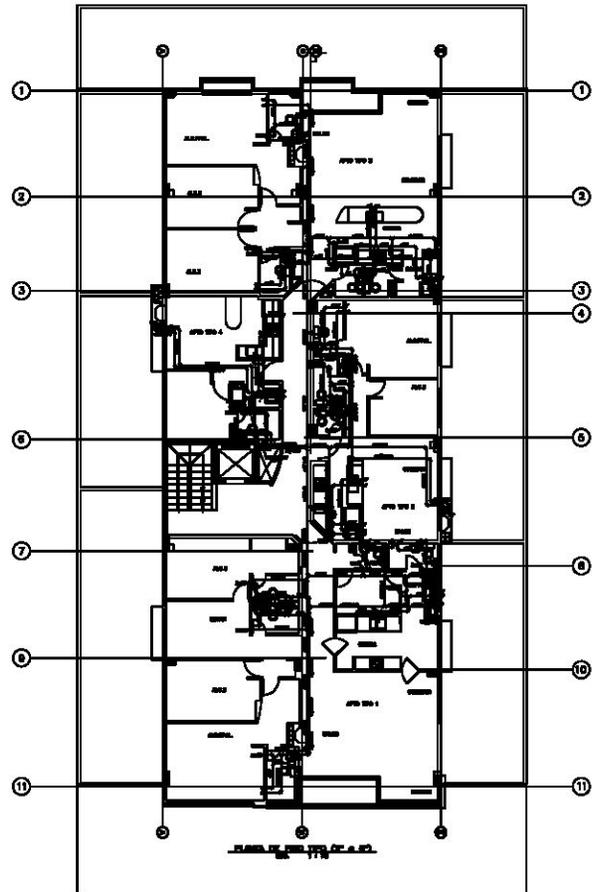
Jaramillo, J. (1997). *“Laboratorio de pruebas dinámicas - Manual de operación”*. Bogotá, D.C.

Melguizo, Samuel. (2002). *“Fundamentos de hidráulica”*. Vol. 2. Pág. 97.

Roca Suárez, Manuel y Carratalá Fuentes, Juan. *“Manual de fontanería”*. Editorial CA. España.

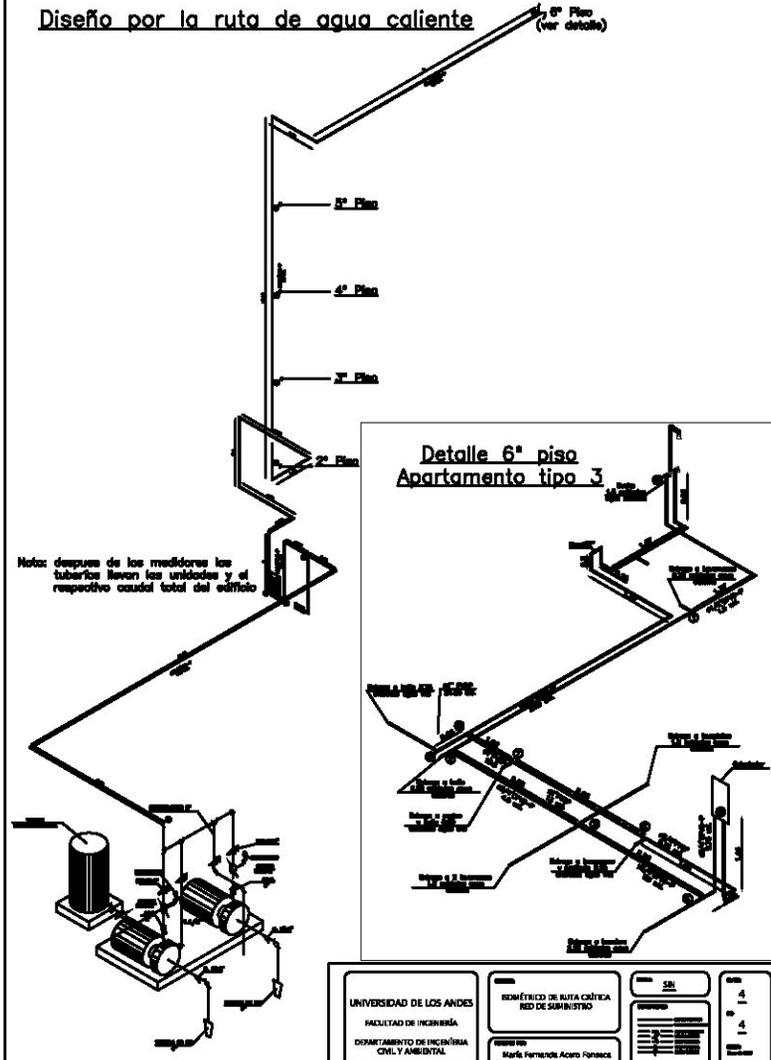
Ortiz, Rafael. (2007). Tesis *“Estudio de los caudales máximos instantáneos en edificaciones”*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Saldarriaga, J. G. (2007). *“Hidráulica de tuberías - Abastecimiento de agua, redes y riego”*. Bogotá, D.C.: Alfaomega.



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL	PLANTA TIPO TIPO RED DE SUMINISTRO	1:25	3
	PROFESOR María Fernanda Acero Fonseca		4

Diseño por la ruta de agua caliente



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL	SCHEMA TIPO TIPO RED DE SUMINISTRO	5/11	4
	PROFESOR María Fernanda Acero Fonseca		4