



EVALUACIÓN Y ELECCIÓN ENTRE DIFERENTES TRAZADOS PARA SUMINISTRO DE AGUA POTABLE  
EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA PARA DISTINTOS SISTEMAS Y ALTERNATIVAS.

Presentado por:

Felipe Bazzani Montoya

Especialización en recursos hidráulicos y medio ambiente

Director:

Ingeniero German Acero Riveros

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO DE ESTUDIOS HIDRÁULICOS  
BOGOTÁ D.C.  
2021

## CONTENIDO

pág.

<b>2.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
3.1.	OBJETIVO GENERAL .....	10
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>4.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
4.1.	CÁLCULO DE ALTURA DINÁMICA TOTAL .....	11
4.2.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN .....	12
4.2.1.	<i>FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH</i> .....	13
4.2.2.	<i>FÓRMULA DE HAZEN-WILLIAMS</i> .....	16
4.2.3.	<i>FÓRMULA DE CHÉZY-MANNING</i> .....	18
4.3.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS LOCALES .....	20
4.4.	EPANET .....	22
4.4.1.	<i>CÁLCULO DE PERDIDAS POR FRICCIÓN</i> .....	23
4.4.2.	<i>CÁLCULO DE PERDIDAS LOCALES</i> .....	26
4.4.3.	<i>LIMITACIONES</i> .....	26
<b>5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE CASOS A ESTUDIAR</b> .....	<b>28</b>
5.1.	SELECCIÓN DE CASOS.....	28
5.2.	SIGMA .....	28
5.3.	PROVENZA PRESTIGE .....	29
5.4.	BLANC .....	30
<b>6.</b>	<b>MODELACIONES HIDRÁULICAS</b> .....	<b>34</b>
6.1.	PROPUESTAS.....	34
6.2.	CONSIDERACIONES Y SUPOSICIONES.....	37
6.3.	PROCESO DE ARMADO DE LOS MODELOS.....	38
6.3.1.	<i>IMPORTAR ARCHIVO CAD AL EPANET</i> .....	38
6.3.2.	<i>CONDICIONES PRINCIPALES DEL MODELO</i> .....	41
6.3.3.	<i>DIBUJO DE LA RED</i> .....	42
6.3.4.	<i>DATOS DE ENTRADA</i> .....	43
6.3.5.	<i>CAUDALES USADOS</i> .....	45
6.3.6.	<i>RESULTADOS</i> .....	47
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
7.1.	RESULTADOS DE MODELACIÓN .....	48
7.1.1.	<i>SIGMA</i> .....	48
7.1.2.	<i>PROVENZA PRESTIGE</i> .....	52

7.1.3.	<i>BLANC</i> .....	60
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS Y COMPARACIÓN</b> .....	<b>66</b>
8.1.	ANÁLISIS Y COMPARATIVO TÉCNICO .....	66
8.1.1.	<i>SIGMA</i> .....	66
8.1.2.	<i>PROVENZA PRESTIGE</i> .....	67
8.1.3.	<i>BLANC</i> .....	68
8.2.	ANÁLISIS Y COMPARATIVO ECONÓMICO .....	68
8.2.1.	<i>SIGMA</i> .....	69
8.2.2.	<i>PROVENZA PRESTIGE</i> .....	69
8.2.3.	<i>BLANC</i> .....	69
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>73</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>75</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>76</b>

## TABLAS

Pág.

<i>Tabla 1. Valores de rugosidad absoluta .....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2. Coeficientes de Rugosidad de Hazen-Williams .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Coeficientes de rugosidad de Manning .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4. Pérdidas locales o por accesorios .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5. Valores de "A" y "B" usados por EPANET.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6. Coeficientes de pérdidas menores recomendadas por EPANET .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 7. Caudales implementados en los aparatos hidráulicos. ....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8. Caudales implementados en BLANC.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Proyecto SIGMA: Presiones altas obtenidas en el modelo real - Pisos 5, 12 y 19.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 10. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Pisos 11, 18 y 27.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 11. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Pisos 18 y 27.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 12. Proyecto SIGMA: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Pisos 5 y 19. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Pisos 9 y 10.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 14. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Torres 1 y 3, Piso 17.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Torre 2, Piso 18.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 16. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas en los pisos bajos en el modelo real – Torres 1 a 3, Pisos 2 y 9. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 17. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas en el modelo real – Torre 2, Piso 10.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 18. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto – Torres 1 y 3, Piso 17. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 19. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto – Torre 2, Piso 18. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas de la red regulada en el modelo propuesto – Torre 1, Piso 2 y Torre 3, Piso 10.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 21. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto – Torre 2, Piso 10..</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 22. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Piso 16. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 23. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Piso 8. ....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 24. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo real - Piso 9.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 25. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo real – Piso 5. ....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 26. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 16. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 27. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 10. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 28. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 5.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 29. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 11.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 30. Tabla de compilación de resultados de proyectos.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 31. Caudales implementados en PROVENZA PRESTIGE.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 32. Caudales implementados en SIGMA. ....</i>	<i>78</i>

## ILUSTRACIONES

Pág.

<i>Ilustración 1. Diagrama de Moody.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 2. Iteración para hallar coeficiente f en flujos transicional .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 3. Trazado del proyecto SIGMA.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 4. Trazado del proyecto PROVENZA PRESTIGE.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 5. Trazado del proyecto BLANC.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 6. Modelo propuesto - MARVAL.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 7. Modelo propuesto - PROVENZA PRESTIGE.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 8. Trazado del modelo real en vista isométrica. Proyecto Blanc.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 9. Propiedades AutoCAD.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 10. Proceso de importación del modelo AutoCAD a EPANET mediante el software EpaCAD.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 11. Cuadro de ajuste de unidades y fórmula de pérdidas.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 12. Propiedades de tuberías.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 13. Tipo de válvulas posible en EPANET.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 14. Propiedades de nodos.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 15. Botón de ejecución de simulación.....</i>	<i>47</i>

## ECUACIÓN

Pág.

<i>Ecuación 1. Principio de Bernoulli.....</i>	<i>11</i>
<i>Ecuación 2. Ecuación de Bernoulli entre dos puntos del fluido. ....</i>	<i>12</i>
<i>Ecuación 3. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Prony.....</i>	<i>13</i>
<i>Ecuación 4. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Darcy.....</i>	<i>13</i>
<i>Ecuación 5. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Darcy.....</i>	<i>13</i>
<i>Ecuación 6. Fórmula de Darcy-Weisbach .....</i>	<i>14</i>
<i>Ecuación 7. Fórmula de Colebrook-White .....</i>	<i>14</i>
<i>Ecuación 8. Número de Reynolds .....</i>	<i>15</i>
<i>Ecuación 9. Cálculo de factor de fricción para régimen laminar .....</i>	<i>16</i>
<i>Ecuación 10. Fórmula de Hazen-Williams .....</i>	<i>16</i>
<i>Ecuación 11. Ecuación de Chézy para flujos uniformes en canales .....</i>	<i>18</i>
<i>Ecuación 12. Ecuación de Manning .....</i>	<i>19</i>
<i>Ecuación 13. Fórmula de Chézy-Manning .....</i>	<i>20</i>
<i>Ecuación 14. Cálculo de pérdidas locales o menores.....</i>	<i>21</i>
<i>Ecuación 15. Expresión usada por EPANET para el cálculo de pérdidas por fricción.....</i>	<i>24</i>
<i>Ecuación 16. Ecuación de Swamee-Jain .....</i>	<i>25</i>

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar algunas de las formas de suministro de agua en edificaciones de gran altura y evaluar su eficiencia. A partir de esto, el documento que aquí se presenta tiene como fin plantear una metodología de suministro para este tipo de estructuras y hacer un análisis comparativo frente a los comportamientos hidráulicos de los otros modelos de suministro existentes.

Para lograrlo, se tomarán tres tipos de construcción: dos de ellas estructura tipo vivienda y uno de tipo oficina. En estos tres modelos, las alturas de los edificios oscilan entre 50 y 100 metros de altura. Esto delimita el objeto de análisis del trabajo.

Para efectos de la evaluación propuesta, se analizará tanto los aspectos hidráulicos como el impacto económico de los distintos modelos de suministro sometidos a evaluación. En cuanto a lo primero, se hará una explicación de cómo funcionan los distintos modelos sometidos a análisis, sus características (caudales y presiones), su forma de operación y mantenimiento. En cuanto al aspecto económico, se evaluarán los costos de cada uno de los modelos. Este último aspecto es de gran importancia debido al gran reto que tenemos los ingenieros de hacer diseños óptimos, es decir, que cumplan con su función con los costos más bajos posibles.

Para los efectos de esta propuesta de trabajo, se estudiarán los siguientes tipos de estructura: (i) el primer modelo es un proyecto de oficinas llamado SIGMA, ubicado en la carrera 19 con calle 95 y fue construido en el año 2019 por IC CONSTRUCTORA. El edificio cuenta con un área total construida de 25.312 m<sup>2</sup>, una altura de 99.85 metros, dos (2) sótanos dobles de parqueo, veintisiete (27) pisos y en la parte superior se encuentra una cubierta de descanso para los usuarios. (ii) el segundo modelo, es un proyecto de vivienda en la ciudadela PROVENZA de la constructora MARVAL. Fue construido en 2019 y se encuentra ubicado en Bogotá en la avenida Suba con calle 119, cuenta con un (1) sótano y un (1) semisótano, seis (6) torres de vivienda, divididas en tres (3) unidades estructurales de las cuales dos son de diecisiete (17) pisos y una tercera de dieciocho (18). Las unidades estructurales más bajas tienen una altura total de 57.80 metros, cada una, mientras que la más alta tiene un total de 61.10 metros. Por último, (iii) se tomó como modelo una edificación de vivienda, la cual fue construida entre 2017-2019 por la urbanizadora VERTIKAL. Se encuentra ubicada en la calle 16 con carrera 4 y cuenta con una (1) torre de trece (13) pisos y un (1) sótano de parqueaderos, para una altura total de 50.40 metros.

La selección de los casos de estudio se hizo teniendo en cuenta la altura de los proyectos, en todos los casos se trata de estructuras con altura mayor a los 28 metros. En segundo lugar, se seleccionaron proyectos con diferentes sistemas de suministro con el objetivo de poder comparar unos con otros.

Una vez elegidos cada uno de los escenarios de estudio, se modelaron en EPANET cada una de las edificaciones. En cada caso, el ejercicio se hizo utilizando dos modelos de suministro diferentes: (i) el sistema utilizado en cada uno de esos proyectos en su construcción real (*modelo real*) y; (ii) utilizando después el modelo de propuesta de este trabajo (*modelo propuesto*). Una vez hecho esto, se compararon los datos arrojados por el sistema relativos a caudales y presiones, con el objetivo de evaluar el rendimiento de los distintos modelos en cada estructura.

Después de terminada la evaluación técnica, en el trabajo se hace un análisis del costo que supone la utilización de cada uno de los modelos de suministro, tanto los *modelos reales* como el *modelo propuesto*. Esta evaluación técnico-económico permite establecer si el *modelo propuesto* ofrece un comportamiento igual o mejor a los *modelos reales* en términos de costos.

Como conclusión de los análisis comparativos, se determinó que los distintos modelos arrojan valores similares de rendimiento en cuanto a presiones y caudales, tienen costos de instalación que varían entre una construcción y otra dependiendo el caso. Con todo, puede decirse que la evaluación individual de cada modelo arroja como resultado la necesidad de valorar las características de cada proyecto a efectos de determinar qué modelo de suministro se ajusta mejor a cada estructura. Sin embargo, puede afirmarse categóricamente que todos ellos son recomendables en su utilización comercial.

Pese a todo lo anterior, puede decirse que el *modelo propuesto*, a diferencia de los *modelos reales*, evidencia unas ventajas comparativas en términos de las técnicas de construcción y maquinaria empleadas. Esto, además, dependiendo el caso, tiene un impacto positivo en el segmento de mantenimiento, puesto que su diseño y operación tiene elementos que facilitan estas actividades y reducen costos en el largo plazo.



## 2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo tiene su origen en la experiencia profesional, donde, durante los años de práctica se ha podido evidenciar la existencia de diferentes modelos de suministro que se emplean por diferentes constructores y empresas en diversos tipos de estructuras.

Sin embargo, pese a que la ingeniería es una profesión que reconoce en los datos su fuente principal para la toma de decisiones, este no parece ser el caso cuando se trata del modelo de suministro de aguas para estructuras de gran altura. Por el contrario, parecería más que cada constructor y cada empresa emprende a su gusto personal la elección del modelo de suministro que pretende instalar en sus estructuras. Si bien esto no representa una problemática de base que sea insuperable, lo cierto es que a los ingenieros nos corresponde el análisis de datos para optar por las alternativas de construcción más eficientes y económicas que permitan hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles.

Con base en este planteamiento principialístico de los ingenieros, se plantea realizar un levantamiento de datos ciertos sobre el funcionamiento de los distintos modelos de suministro de agua para evaluar su rendimiento comparativo (hidráulico y económico).

El objetivo del trabajo no es, por tanto, concluir que un modelo sea mejor que otro, ni más faltaba, sino establecer técnicamente y a través de datos reales las diferencias existentes entre cada uno de los modelos, para así tener criterios basados en evidencia empírica que permitan evaluar en cada caso concreto qué modelo de suministro resulta más apropiado para cada estructura.

Así se podrá aportar un elemento objetivo de discusión para la construcción de estructuras de gran altura que redunde en hacer edificios que presten un mejor servicio y a un menor costo, tanto para el constructor como para el comprador.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

- Comparar distintos modelos de suministro de agua empleados en proyectos de construcción para evaluar su rendimiento y costos en cada una de las estructuras planteadas. A partir de esto, contrastar estos modelos con uno base (*modelo propuesto*) con el objetivo de poder recaudar datos ciertos sobre las diferencias de rendimiento y costos de cada uno de ellos y así evaluar su conveniencia específica en cada caso.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar diferentes modelos de suministro de agua en estructuras de gran altura que se hayan usado en proyectos recientes de construcción, específicamente en estructuras con altura mayor a 28 metros.
- Establecer un modelo base de análisis (*modelo propuesto*) que pueda ser utilizado por sus características como referente de comparación con los *modelos reales* identificados en los diferentes proyectos analizados.
- Realizar modelaciones hidráulicas para comparar los rendimientos de cada *modelo real* en las estructuras en las que se han implementado.
- Utilizar el *modelo propuesto* en las modelaciones de cada uno de los proyectos bajo estudio para obtener información comparativa que permita evaluar qué modelo resulta mejor para cada tipo de estructura.
- Analizar los datos obtenidos de los ejercicios de simulación en EPANET con el objetivo de construir criterios basados en evidencia empírica que permitan evaluar la conveniencia de utilización de cada modelo en diferentes tipos de estructura.
- Establecer los costos de implementación, operación y mantenimiento de cada uno de los modelos de análisis (*modelos reales*) y en el *modelo propuesto* para evaluar las diferencias existentes en términos económicos.
- Determinar las diferencias entre cada uno de los modelos (hidráulicas y financieras) y elaborar algunas conclusiones considerativas del análisis practicado.

## 4. MARCO TEÓRICO

Tal como ya se ha expresado desde la introducción misma de este trabajo, se tomarán unos modelos de suministro de agua de diferentes proyectos de construcción para evaluar su funcionamiento, compararlos con un modelo base y elaborar información confiable para construir algunos criterios y consideraciones que permitan seleccionar el modelo adecuado de suministro de aguas para cada estructura.

Sin embargo, para poder hacer este trabajo, es necesario que este documento explique además cómo se realizan estas evaluaciones de presiones y caudales de aguas a través de las distintas fórmulas que ha desarrollado la ingeniería para tal efecto. Así mismo, se explicará cómo los *softwares* de apoyo que utilizan los ingenieros en la actualidad, como es el caso de EPANET, utilizan estas mismas fórmulas, pero se apoyan en cálculos adicionales para poder combinarlas y calcular coeficientes y exponenciales según el método que se utilice.

Así mismo, se desarrollarán y explicarán conceptos teóricos relevantes para el desarrollo de este documento como lo son el cálculo de la altura dinámica total, el cálculo de pérdidas por fricción, y el cálculo de pérdidas locales. En cada uno de estos temas se explicarán y desarrollarán las fórmulas empleadas para el análisis.

Por último, se hará una explicación de la herramienta EPANET, desarrollando su forma de funcionamiento y utilidad, de tal manera que se haga sea evaluable el método de análisis utilizado para este trabajo.

### 4.1. CÁLCULO DE ALTURA DINÁMICA TOTAL

Uno de los objetivos que tiene el ingeniero hidráulico a la de realizar el de diseño de una tubería de abastecimiento de agua a presión es determinar la presión del fluido en los diferentes puntos de la red para garantizar su correcto funcionamiento en los puntos críticos de la red.

La forma correcta de hallar la presión disponible sea cual sea el punto, es aplicar el principio o la ecuación de BERNOULLI. Este principio expuesto por el autor en el libro *HIDRODINÁMICA* (1738) estableció que un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) e incompresible la energía del fluido en un conducto es igual en cualquier punto, y apoyándose de la conservación de energía encontró que la energía del fluido expresadas en metros es:

$$E_t = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = cte$$

*Ecuación 1. Principio de Bernoulli.*

Donde:

$E_t =$  Energía total del fluido

$z =$  Energía potencial ó gravitacional

$\frac{p}{\gamma} =$  Energía de Presión

$\frac{V^2}{2g} =$  Energía Cinética Altura de velocidad generado por el fluido

La energía potencial ( $z$ ) o también conocida como altura de posición representa la altura de una partícula del fluido medida desde un nivel de referencia seleccionado arbitrariamente. El segundo término  $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$  viene siendo la altura de presión que posee el generada por el sistema de conducción. Por último, la energía cinética viene siendo la altura de velocidad generada por el flujo en el punto de interés.

El principio de BERNOULLI de una forma más familiarizada puede entenderse que la energía total en dos puntos de un fluido que pase por un tubo de corriente de flujo es  $E_{t_1} = E_{t_2}$ , y si tenemos en cuenta que el flujo suceden pérdidas a través de la red, la Ecuación 1 puede escribirse como:

$$(z)_1 + \left(\frac{p}{\gamma}\right)_1 + \left(\frac{V^2}{2g}\right)_1 = (z)_2 + \left(\frac{p}{\gamma}\right)_2 + \left(\frac{V^2}{2g}\right)_2 + \sum \text{Pérdidas}$$

*Ecuación 2. Ecuación de Bernoulli entre dos puntos del fluido.*

Donde  $z$ ,  $\frac{p}{\gamma}$  y  $\frac{V^2}{2g}$  son los términos ya mencionados previamente y la sumatoria de pérdidas son todos los gastos que sufre el fluido en el tramo entre los dos puntos seleccionados.

#### 4.2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Cuando algún fluido transita por algún elemento de conducción como lo puede ser una serie de tuberías o de canales, se presenta una fricción producto del contacto entre el líquido y las paredes de la conducción y que a su vez deriva en que el fluido sufra una pérdida de energía. Es así como se empezaron a realizar estudios y se han planteado diversas ecuaciones para el cálculo de las pérdidas de fricción.

El ejercicio del cálculo de fricción se hace a través de diferentes fórmulas. En el caso que nos ocupa, ya hemos advertido que la herramienta de trabajo es EPANET, de tal suerte que haremos referencia a las que utiliza este programa.

#### 4.2.1. FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH

El matemático e ingeniero francés GASPARD RICHE DE PRONY (1755-1839) planteó en el siglo XIX una ecuación empírica para calcular la pérdida de energía de un fluido causado por la fricción dentro de una tubería. La expresión es conocida como la *ecuación de Prony* y esta establece que:

$$h_f = \frac{L}{D} * (a * v + b * v^2)$$

*Ecuación 3. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Prony*

La ecuación determina la pérdida de carga ( $h_f$ ) mediante el producto de la relación de la longitud al diámetro ( $\frac{L}{D}$ ) por la velocidad del flujo ( $v$ ) y dos coeficientes netamente empíricos (a, b). Años después, en 1857, el ingeniero francés HENRY DARCY (1803-1858) tomando la ecuación de PRONY realizó una variación mediante experimentos de flujos en tuberías. Esta variación se consignó en la expresión propuesta por él, así:

$$h_f = \frac{L}{D} * \left[ \left( \alpha + \frac{\beta}{D^2} \right) * v + \left( \alpha' + \frac{\beta'}{D} \right) * v^2 \right]$$

*Ecuación 4. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Darcy*

Esta ecuación posteriormente sería reducida por su mismo autor, con el argumento que el primer término no afectaba en conducciones de material usado. Esta conclusión, condujo a la simplificación de la expresión:

$$h_f = \frac{L}{D} * \left( \alpha' + \frac{\beta'}{D} \right) * v^2$$

*Ecuación 5. Cálculo de pérdidas de fricción propuesta por Darcy*

Donde:  $\alpha'$  y  $\beta'$  son los coeficientes de fricción.

Fue entonces en 1985, utilizando la Ecuación 3, que el ingeniero Julius Weisbach (1806-1871) propuso entonces un factor de fricción ( $f$ ) el cual integrara ambos coeficientes de fricción. Fue así entonces como se reescribió la ecuación a como se conoce hoy en día:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 6. Fórmula de Darcy-Weisbach*

Donde:

$h_f$  = Pérdidas por fricción o longitud.

$L$  = Longitud.

$D$  = Diametro.

$\frac{L}{D}$  = Relación longitud entre diametro.

$v$  = Velocidad.

$g$  = Gravedad ( $9.806 \frac{m}{s^2}$ ).

$f$  = Factor de fricción.

Este factor de fricción ( $f$ ) está en función de la rugosidad relativa ( $\frac{\varepsilon}{D}$ ) y el número de Reynolds ( $Re$ ), los cuales están relacionados respectivamente con los términos  $\frac{\beta'}{D}$  y  $\alpha'$  propuestos en la Ecuación 5. DARCY al momento de plantear su expresión, si bien no la describió en la publicación, demostró estas relaciones (Brown, 2004).

La Ecuación 6 es mejor conocida como la ecuación DARCY-WEISBACH. De esta ecuación el factor de fricción ( $f$ ) es el más complicado de determinar, debido que al no ser una ecuación explícita se requiere de algún método numérico para poder determinarlo. Fue entonces en 1939 los investigadores C.F. COLEBROOK y C.M. WHITE inventaron una relación matemática para determinar este factor de fricción ( $f$ ):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

*Ecuación 7. Fórmula de Colebrook-White*

Donde:

$f$  = Factor de fricción.

$\varepsilon$  = Rugosidad absoluta del material.

$D = \text{Diámetro.}$

$\frac{\varepsilon}{D} = \text{Rugosidad relativa.}$

$Re = \text{Número de Reynolds}$

El número de Reynolds (Re) tiene como fin de este cálculo adimensional determinar el régimen del flujo que se está presentando en la tubería. Se define como la relación de fuerzas inerciales entre las fuerzas viscosas, que para las tuberías a presión se expresa de la siguiente manera:

$$Re = \frac{V * D}{\mu}$$

*Ecuación 8. Número de Reynolds*

Donde V es la velocidad, D es el diámetro y  $\mu$  es la viscosidad cinemática. El criterio de determinación del flujo esta dado por el siguiente rango:

- Flujo Laminar  $\rightarrow Re < 2000$
- Flujo transicional  $\rightarrow 2000 < Re < 4000$
- Flujo Turbulento  $\rightarrow Re > 4000$

La rugosidad del material ( $\varepsilon$ ) son valores que varían según el material, estos son los valores para los materiales más comunes a usarse:

<b>Material</b>	<b><math>\varepsilon</math> (mm)</b>	<b>Material</b>	<b><math>\varepsilon</math> (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: <http://www.miliarium.com/>

*Tabla 1. Valores de rugosidad absoluta*

Entre muchas otras investigaciones que se realizaron por los investigadores, se destaca la de JEAN LÉONARD POISEUILLE (1797 – 1869), quien pudo establecer que para flujos laminares en conducciones el factor de fricción se calculaba de la siguiente manera:

$$f = \frac{64}{Re}$$

*Ecuación 9. Cálculo de factor de fricción para régimen laminar*

También, una de las investigaciones más famosas al respecto fue la del ingeniero LEWIS MOODY, quien a partir de la Ecuación 7 realizó un diagrama según el cual, conociendo el número de Reynolds ( $Re$ ) y la rugosidad relativa  $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$ , permite identificar gráficamente y de manera rápida y práctica el coeficiente de fricción ( $f$ ). En la Ilustración 1 se presenta el grafico de MOODY.

#### 4.2.2. FÓRMULA DE HAZEN-WILLIAMS

Este método empírico de cálculo fue desarrollado en 1905 por el profesor GARDNER WILLIAMS y ALLEN HAZEN. Esta ecuación fue la más usada en su momento al ser una expresión implícita que facilitaba su cálculo para los ingenieros. Sin embargo, el método presenta varias limitaciones y solo es válida siempre y cuando cumpla las condiciones descritas a continuación:

- El fluido debe estar a temperaturas entre 5°C – 25°C.
- El diámetro debe ser mayor o igual a 4 pulgadas.
- Se debe tener una velocidad inferior a 3 m/s.

La ecuación propuesta por HAZEN-WILLIAMS además de las limitaciones mencionadas previamente se debe tener en cuenta que este método aplica a flujos turbulentos y la propuesta de la ecuación es la siguiente:

$$h_f = 10.674 * \left( \frac{L}{C_{HW}^{1.852} * D^{4.871}} \right) * Q^{1.852}$$

*Ecuación 10. Fórmula de Hazen-Williams*

Donde:

$h_f$  = Pérdidas por fricción o longitud.

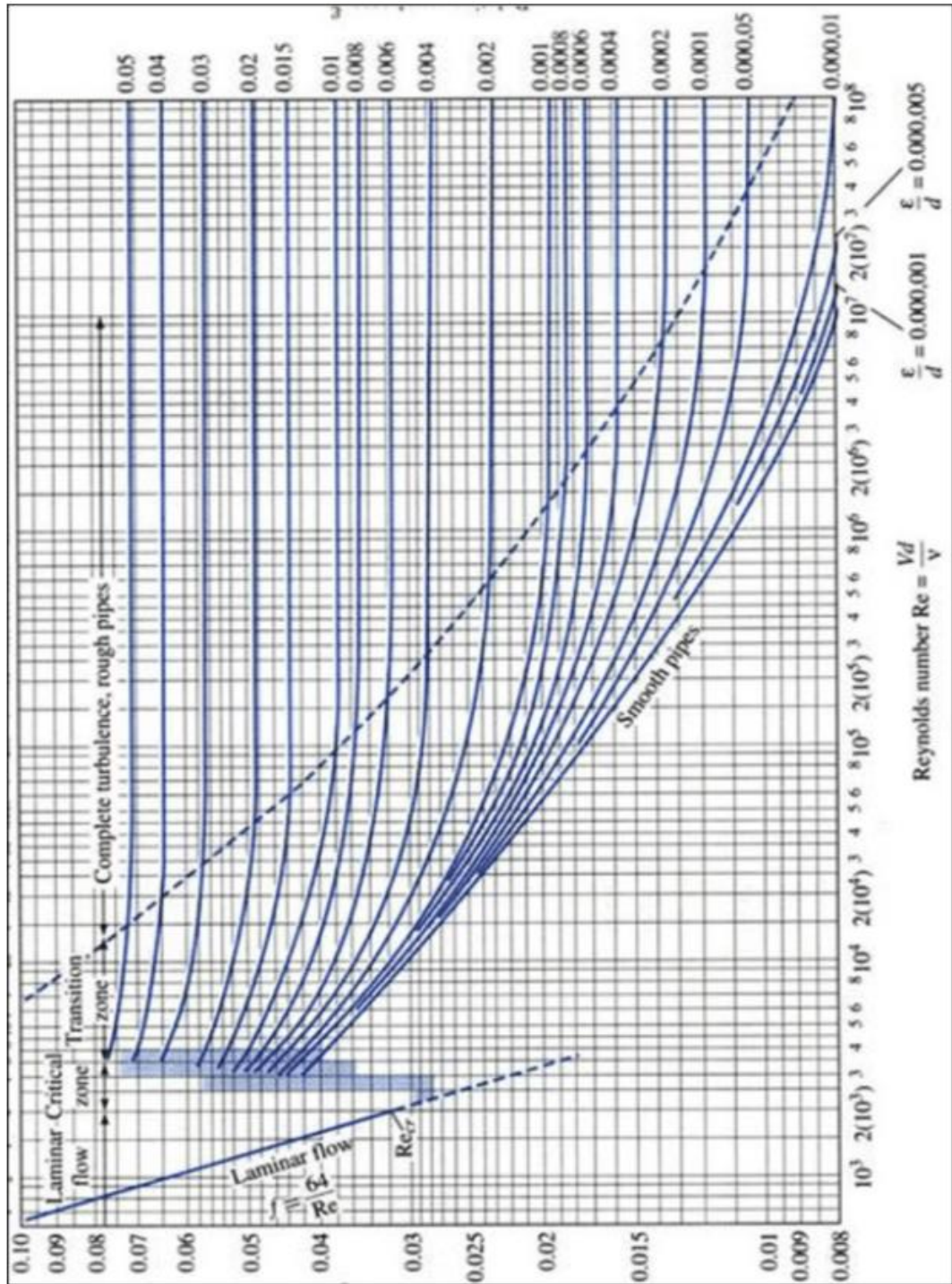
$Q$  = Caudal.

$D$  = Diámetro.

$L$  = Longitud.

$C_{HW}$  = Coeficiente de Hazen – Williams.





Fuente: <http://www.researchgate.net/>

Ilustración 1. Diagrama de Moody

Los coeficientes de Hazen-Williams son valores propuestos por los mismos autores y estos coeficientes varían entre 65 y 140 dependiendo del material y de la edad de la tubería.

Material	C	Material	C
Asbesto cement	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: <http://www.miliarium.com/>

Tabla 2. Coeficientes de Rugosidad de Hazen-Williams

#### 4.2.3. FÓRMULA DE CHÉZY-MANNING

Esta fórmula originalmente es una ecuación trabajada para el uso en canales abiertos. ANTOINE DE CHÉZY (1718-1798) fue uno de los primeros en hacer deducción para los canales abiertos, específicamente para los flujos uniformes, esto mediante la hipótesis del equilibrio de fuerzas entre las fuerzas de gravedad y fricción y demostró la siguiente expresión en 1768:

$$v = C * R_h^{\frac{1}{2}} * S_f^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 11. Ecuación de Chézy para flujos uniformes en canales

Donde  $v$  es la velocidad del flujo,  $R_h$  es el radio hidráulico,  $S_f$  es la pendiente y  $C$  es el coeficiente de rugosidad de CHÉZY, si bien el autor propuso sus propios valores de  $C$  que varían entre 30 y 90, otros autores como CHOW, KUTTER, BAZIN, entre otros plantearon fórmulas para el cálculo de este coeficiente  $C$ .

Años después, el ingeniero irlandés ROBERT MANNING (1816-1897) a partir de la Ecuación 11 planteó su propia expresión, sin embargo, a diferencia de CHÉZY propuso un coeficiente de rugosidad propio

y también propuso un exponente diferente para el radio hidráulico. La ecuación lanzada en 1889 y es una de las ecuaciones más usadas hoy en día en el cálculo de canales abiertos, en términos del caudal la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{K}{n} * A * R_h^{\frac{2}{3}} * S_f^{\frac{1}{2}}$$

*Ecuación 12. Ecuación de Manning*

Donde:

$Q =$  Caudal

$A =$  Área

$R_h =$  Radio hidráulico

$S_f =$  Pendiente

$n =$  Coeficiente de Manning

$K =$  Factor de conversión (S.I. = 1.00; Sistema Inglés = 1.49)

Nuevamente, como en las otras expresiones expuestas previamente, el coeficiente rugosidad de Manning es un factor experimental de gran importancia propuesto por el autor y que en el momento de usarla en el diseño puede ser sensible y afectar la concepción de diseño. Estos valores, han sido muy estudiados por diferentes autores para confirmar y completar con otros materiales, estos se han consignado en una tabla sugerida de uso:

Material	Coficiente n de Manning (Adimensional)
Hierro Colado	0.012 - 0.015
Hormigón o Revestido de Hormigón	0.012 – 0.017
Hierro Galvanizado	0.015 – 0.017
Plástico	0.011 – 0.015
Acero	0.015 – 0.017
Arcilla Vitrificada	0.013 – 0.015

Fuente: Manual de usuario de EPANET

*Tabla 3. Coeficientes de rugosidad de Manning*

La fórmula para el cálculo de pérdidas por fricción o longitud de CHÉZY-MANNING esta trabajada a partir de la ecuación de MANNING, de la expresión de  $S_f = \frac{h_f}{L}$  se reemplazó en la Ecuación 12 y se despejo  $h_f$  de la expresión, se obtuvo entonces:

$$h_f = \left( \frac{10.29}{K^2} * \frac{L * n^2}{D^{5.33}} \right) * Q^2$$

*Ecuación 13. Fórmula de Chézy-Manning*

Donde:

$h_f$  = Pérdidas por fricción o longitud.

$Q$  = Caudal.

$D$  = Diametro.

$L$  = Longitud.

$n$  = Coeficiente de rugosidad de manning.

$K$  = Factor de conversion (S.I. = 1.00; Sistema Inglés = 1.49)

Como bien se ha dicho previamente, está fórmula se llegó a partir de ecuaciones que fueron inicialmente trabajadas para canales de flujo abierto y para ciertas condiciones de flujo, por lo que es pertinente decir que aplicarlo en sistemas de tuberías a presión se debe tener en cuenta que este método es limitado su uso, solamente se recomienda usarla en flujos turbulentos completamente desarrollados y tuberías de gran diámetro.

#### 4.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS LOCALES

Existen también otro tipo de pérdidas de mucho menor importancia si se comparan en su magnitud con las pérdidas por fricción, estas como su nombre indican son desgaste de energía que suceden en puntos específicos, generalmente, en los accesorios de la red que generan alteraciones en el flujo como lo es su régimen de flujo o la alteración en su velocidad y por consiguiente en el caudal que transporta en la red, haciendo que el fluido tenga que realizar mayor gasto energético y por tanto unas pérdidas en estos puntos localizadas. Las más comunes que se presenta en una red de agua potable son las siguientes:

- ✓ Cambios de dirección
- ✓ Ampliaciones y reducciones de sección
- ✓ Entrada y salidas
- ✓ Sistemas de control como válvulas, registros, entre otros
- ✓ Dispositivos de control de flujo como contadores de agua

Estudios experimentales han concluido que las pérdidas por accesorios ( $h_L$ ) están en función del producto de un coeficiente (K) que varía según el elemento que esté generando el gasto energético por la energía cinética ( $\frac{v^2}{2g}$ ), es decir:

$$h_L = K * \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

*Ecuación 14. Cálculo de pérdidas locales o menores*

Donde:

$h_L =$  *Perdidas locales ó menores*

$v =$  *Velocidad*

$g =$  *Gravedad*  $\left( 9.81 \frac{m}{s^2} \right)$

$K =$  *Coficiente de pérdidas menores según el accesorio*

El ingeniero ALFONSO RODRIGUEZ en su libro "DISEÑOS HIDRÁULICOS, SANITARIOS Y DE GAS EN EDIFICACIONES" propone los siguientes valores para el coeficiente de pérdidas menores y así mismo, propone variaciones en el término de la energía cinética para ciertos accesorios ampliación o contracción que obligan el flujo a tener diferentes velocidades antes y después del elemento.

Accesorios	Pérdida media de energía
1. ENTRADA (de tanque de almacenamiento a tubería)	$0,5 \cdot \frac{V^2}{2g}$
* conexión a ras de pared	$1,00 \cdot \frac{V^2}{2g}$
* tubería entrante	$1,00 \cdot \frac{V^2}{2g}$
2. SALIDA (de tubería a depósito) (Entrada al tanque del inodoro)	$1,00 \cdot \frac{V^2}{2g}$
3. AMPLIACIÓN GRADUAL	$K \cdot \frac{(V_{ENTRADA} - V_{SALIDA})^2}{2g}$ K se encuentra en la tabla 3.3B.2
4. CONTRACCIÓN BRUSCA	$K \cdot \frac{V_2^2}{2g}$ K se encuentra en la tabla 3.3B.1
5. CAMBIOS DE DIRECCIÓN (estándar)	$K \cdot \frac{V^2}{2g}$
* Codo	K = 0,9
7. BIFURCACIONES	
* Tee	1,5 < K < 2,0
* Tee (salida lateral)	K = 0,9
* Tee (salida bilateral)	K = 2,0
* Tee (paso directo)	K = 0,15
9. VÁLVULAS	
* de compuerta (abierta)	K aprox. = 0,25
* de cierre rápido	K aprox. = 7,7
* de check	K aprox. = 2,5

Contracción brusca		Ensanchamiento gradual para un ángulo de:							
d1/d2	K	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°	
1,2	0,08	0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37	
1,4	0,17	0,03	0,06	0,12	0,23	0,36	0,50	0,53	
1,6	0,26	0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61	
1,8	0,34	0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65	
2,0	0,37	0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68	
2,5	0,41	0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70	
3,0	0,43	0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71	
4,0	0,45	0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72	
5,0	0,46	0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72	

Fuente: Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones, Héctor Rodríguez.

Tabla 4. Pérdidas locales o por accesorios

#### 4.4. EPANET

EPANET es un programa gratuito de dominio público desarrollado por la “Environmental Protection Agency” (EPA) de los Estados Unidos en 1993 que permite realizar simulaciones en periodos prolongados (uno o varios días) del comportamiento hidráulico y de la evolución de la calidad del agua en redes de distribución a presión. Se desarrolló con el fin de ser una herramienta computacional para analizar y comprender el movimiento de los componentes del agua potable dentro de los sistemas de distribución.

El programa determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, las presiones en cada uno de los nudos, los niveles en los depósitos y las concentraciones de los distintos componentes químicos presentados en el agua, a través del análisis de redes cerradas o abiertas que están constituidas de links (tuberías), nudos (uniones de tuberías), depósitos de almacenamiento, embalse, válvulas y bombas.

Entre las múltiples aplicaciones de EPANET, sus usos más frecuentes por parte de ingenieros y consultores son:

- ✓ Dimensionar nueva infraestructura de agua
- ✓ Renovar la infraestructura existente de agua
- ✓ Optimizar las operaciones de tanques y bombas para lograr reducir el uso de energía
- ✓ Calcular las pérdidas por fricción en las tuberías
- ✓ Calcular las pérdidas localizadas o menores en accesorios como codos, uniones, etc.
- ✓ Facilitar la realización de cálculos iterativos para sistemas complejos
- ✓ Ayudar a realizar modelaciones del sistema a presión con condiciones de demandas variable en el tiempo
- ✓ Analizar problemas de calidad de agua
- ✓ Analizar el mezclado de aguas de diferentes fuentes
- ✓ Realizar el seguimiento de líquidos no reactivos que se encuentren en la red
- ✓ Modelar el comportamiento de un material reactivo tanto si aumenta su concentración como si se disipa a lo largo del tiempo
- ✓ Determinar la edad del agua a lo largo de la red

#### 4.4.1. CÁLCULO DE PERDIDAS POR FRICCIÓN

EPANET cuenta con tres métodos para calcular las pérdidas por fricción en las conducciones. Estos métodos que están integrados en el programa son:

- ✓ Método de HAZEN-WILLIAMS
- ✓ Método de DARCY-WEISBACH
- ✓ Método de CHÉZY-MANNING

El programa utiliza la siguiente ecuación para calcular las pérdidas entre el nudo inicial y nudo final de un tramo de tubería independientemente del método usado. Esta expresión multiplica un coeficiente de resistencia "A" (el cual depende de un coeficiente de fricción, diámetro y longitud) por el gasto que circula por el tramo de tubería, este gasto está elevado a un exponente de caudal "B" el cual varía según el método usado:

$$h_f = A * q^B$$

Ecuación 15. Expresión usada por EPANET para el cálculo de pérdidas por fricción

Donde:

$h_f$  = Pérdidas de fricción ó Longitud

$q$  = Caudal

$A$  = Coeficiente de resistencia o fricción

$B$  = Exponente del caudal

EPANET utiliza esta expresión para hacer el cálculo de manera general de las pérdidas de fricción. Esto es importante pues facilita la elaboración de cálculos a través de un método más eficiente que aporta información específica con mayor prontitud.

En la Tabla 5 se muestran las expresiones para el cálculo de los coeficientes de resistencia y el exponente del caudal que varían según el método usado:

Fórmula	Coeficiente de Resistencia (A)	Exponente de Caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 f(\epsilon, d, Q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10.294 n^2 d^{-5.33} L$	2

donde:

- C: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams
- $\epsilon$ : coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m)
- f: factor de fricción (depende de  $\epsilon$ , d y Q)
- n: coeficiente de rugosidad de Manning
- d: diámetro de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)
- Q: caudal (m<sup>3</sup>/seg)

Fuente: Manual de usuario de EPANET

Tabla 5. Valores de "A" y "B" usados por EPANET

Es importante tener en cuenta las siguientes dos cosas, (i) al usar algunos de los coeficientes "A" y "B" que al aplicarlos en la Ecuación 15 se obtiene alguna expresión similar a las expresiones explicadas en la sección 4.2, esto dependiendo del método usado, (ii) Las ecuaciones mostradas en la Tabla 5 están en sistema internacional de unidades.

Para el método de solución por DARCY-WEISBACH, como ya se mostró en el subcapítulo 4.2.1, esta fórmula presenta complejidad para determinar el factor de fricción (f) y las distintas formas de determinar este valor adimensional puede variar en la manera que el programa usa para el cálculo de este valor.



EPANET usa entonces las siguientes expresiones para calcular este factor que se hace dependiendo del régimen que se esté presentando en el flujo. Para flujos laminares, el programa usa la fórmula de POISEUILLE, es decir, la Ecuación 9 presentada en este documento.

Para flujos turbulentos utiliza la ecuación de SWAMEE y JAIN, la cual es una aproximación a la ecuación de COLEBROOK-WHITE y está definida de la siguiente manera:

$$f = \frac{0.25}{\left( \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

*Ecuación 16. Ecuación de Swamee-Jain*

Donde D es el diámetro de la tubería, Re es el número de Reynolds y  $\varepsilon$  es el coeficiente de rugosidad del material, cuyo valor se selecciona de la Tabla 1.

Para flujos en transición, es donde más varía EPANET en su forma para determinar este coeficiente. El programa usa una interpolación cubica del diagrama de MOODY, esta teoría fue planteada por DUNLOP en 1991, con la finalidad de realizar el cómputo más rápido.

$$f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R(0.032 - 3FA + 0.5FB)$$

$$FA = (Y3)^{-2}$$

$$FB = FA \left( 2 - \frac{0.00514215}{(Y2)(Y3)} \right)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$$

$$Y3 = -0.86859 \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right)$$

Fuente: Manual de usuario de EPANET

*Ilustración 2. Iteración para hallar coeficiente f en flujos transicional*

Explicado lo anterior, se debe tener en cuenta que cuando se presente flujo transicional o turbulento puede existir una pequeña variación entre los resultados obtenidos por el programa y los cálculos manuales.

#### 4.4.2. CÁLCULO DE PERDIDAS LOCALES

Para el cálculo de pérdidas locales o menores usa la misma ecuación mostrada en la sección 4.3. con la Ecuación 14, en lo que varía es en el coeficiente K que usa EPANET como se muestra en la Tabla 6 a diferencia de valores propuestos por diferentes autores.

<i>Conectores</i>	<i>Coeficiente de pérdidas</i>
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar – dirección de paso	0.6
Te estándar – dirección desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida brusca	1.0

Fuente: Manual de usuario de EPANET

*Tabla 6. Coeficientes de pérdidas menores recomendadas por EPANET*

#### 4.4.3. LIMITACIONES

Una de las consideraciones que se tiene al momento de realizar el diseño de una red de una edificación, sea cual sea uso, es que nunca se va a tener en funcionamiento todos los aparatos hidráulicos consumiendo agua al mismo tiempo, es decir que nunca va a suceder el *caudal máximo posible* en una red. Como opción para la estimación de caudales usados para el diseño se usa el término de *caudal máximo probable*, este es el gasto que se esperaría tener en los diferentes tramos del diseño y básicamente consistente en aplicar algún método de factor de simultaneidad.

En el caso del *software*, se pide ingresar los caudales en los diferentes puntos que tenga demanda de agua, y cuando se presenta una unión de dos o más tuberías se va sumando todos los gastos, en otras palabras, en el programa se presenta el *caudal máximo posible*. Esto se puede considerar como una limitación, la ausencia de usar métodos de factores de simultaneidad en las redes para obtener los *caudales máximos probables*, pueden complicar las simulaciones hidráulicas en este *software*.

Aunque de forma manual se puede corregir este problema mediante la sustracción de caudales en las uniones, hacer esta corrección complica más la modelación y así mismo aumenta las posibilidades de errores humanos en las simulaciones.

También, se presenta en EPANET una limitación es la de no poder contemplar cambios bruscos en la red al ser un modelo no inercial. Esto, en conclusión, conlleva a que varios fenómenos hidráulicos de gran importancia como lo son los golpes de arietes, cierres bruscos de válvula de no retorno, el inicio o la parada de una bomba, entre otros no se pueden medir debido a que estos fenómenos ocurren demasiado rápido dentro de la red.

## 5. DESCRIPCIÓN DE CASOS A ESTUDIAR

### 5.1. SELECCIÓN DE CASOS

Tal como se advirtió en la introducción del texto, se buscaron proyectos de construcción que reúnen dos características importantes: (i) que se tratara de construcciones con altura superior a los 28 metros; y (ii) que emplearan diferentes métodos de suministro de agua. Los proyectos se eligieron también por su envergadura y dada la trayectoria y reconocimiento de las compañías involucradas. Es interesante, acudir al trabajo de compañías con importante reputación y experiencia en Colombia. También se buscó elegir proyectos con uso tipo vivienda y oficinas para evaluar distintos tipos de ocupación en las estructuras.

No hay razón particular por la cual se hayan dejado de considerar otros proyectos igualmente importantes. Sin embargo, con el propósito de hacer alcanzables los objetivos de este trabajo limitamos el ámbito de evaluación de los proyectos a tres solamente. Con todo, tenemos la convicción de que este análisis puede ser replicado en otros muchos proyectos.

### 5.2. SIGMA

SIGMA es un proyecto de oficinas, ubicado en la carrera 19 con calle 95 y fue construido en el año 2019 por IC CONSTRUCTORA. El edificio cuenta con un área total construida de 25.312 m<sup>2</sup>, una altura de 99.85 metros, dos (2) sótanos dobles de parqueo, veintisiete (27) pisos y en la parte superior se encuentra una cubierta de descanso para los usuarios. De los veintisiete (27) pisos las tres primeras plantas son parqueaderos y las oficinas comienzan desde el piso quinto (5) hasta el veintisieteavo (27).

Debido a la gran altura que se tiene en el edificio, la filosofía del diseño se hizo a partir de dividir en tres zonas el edificio (*pisos bajos, medios y altos*). Los *pisos bajos* son las oficinas que se encuentran en las plantas 5 al 11, luego, se encuentran los *pisos medios* que comprenden las plantas 12 a 18, mientras tanto, los *pisos altos* es la zona que incluyen las plantas 19 al 27. Cada zona tiene una red con características diferentes para poder llevar el agua hasta los diferentes puntos.

El proyecto desde el punto de vista hidráulico entonces está compuesto por un tanque total de agua potable de 86 m<sup>3</sup>, el 70 por ciento del volumen, unos 60 m<sup>3</sup>, se ubica en el sótano en un tanque inferior y el 30 por ciento restante (26 m<sup>3</sup>) se almacena en un depósito superior ubicado en la terraza comunal.

Adicionalmente, SIGMA cuenta con tres equipos de presión de agua potable, los dos primeros de ellos toman el agua del tanque inferior y último equipo lo hace desde el tanque superior; el *equipo de presión principal*, el cual es el de mayor capacidad es un sistema de dos bombas centrifugas que tiene la capacidad de dar un caudal total de 6.01 L/s (3.00 L/s por bomba) y una potencia total de 20.00 H.P. (10.00 H.P. por bomba), las bombas cuentan con un variador de presión y un hidroacumulador de 500 litros. El *equipo de presión auxiliar* ubicado en el sótano es un sistema de

dos bombas centrífugas que tiene la capacidad de dar un caudal total de 3.00 l/s por bomba y una potencia total de 5.00 H.P. por bomba, la función es dar presión a una red que sube por la edificación y mantiene el tanque superior con agua, al igual que el equipo de presión principal este sistema cuenta con un variador de presión y un hidroacumulador de 500 litros. Por último, el *equipo de presión superior* es un sistema de dos bombas muy pequeñas, de 2 H.P. y 2.50 l/s cada bomba, también, se cuenta con un hidroacumulador de 200 litros.

Las redes principales del modelo real se dividen en varios ramales, (i) el primero de ellos consta de una tubería de 2" que sale del *equipo de presión principal*, pasa por una válvula reguladora de presión de 1-1/2" y alimentan los *pisos bajos* del edificio. (ii) El segundo ramal, se deriva del tubo de 2" con el mismo diámetro antes de que se pase por la regulación, y se lleva el suministro de agua a los y del proyecto. (iii) La tercera red sale del *equipo de presión auxiliar* que se encuentra en el sótano # 1 y lleva el agua al tanque superior en un diámetro de 1-1/2". Por último, (iv) se encuentra una red que va desde el tanque alto en 2" alimentando por gravedad y con ayuda del *equipo de presión superior* mejoran la presión de los pisos altos.

La Ilustración 3 muestra el esquema de distribución del modelo real implementado en el edificio.

### 5.3. PROVENZA PRESTIGE

Este proyecto de vivienda está ubicado en la ciudadela PROVENZA de la constructora MARVAL. Fue construido en 2019 y se encuentra ubicado en Bogotá en la avenida suba con calle 119, cuenta con un (1) sótano y un (1) semisótano, seis (6) torres de vivienda, divididas en tres (3) unidades estructurales de las cuales dos son de diecisiete (17) pisos y una tercera de dieciocho (18). Las unidades estructurales más bajas tienen una altura total de 57.80 metros, cada una, mientras que las más alta tiene un total de 61.10 metros.

Para el diseño del proyecto se establecieron varios criterios principales para su planteamiento. Primero (i), se estableció usar tres verticales principales, una por cada unidad estructural. Y dos (ii), el planteamiento debe ser lo más sencillo posible, es decir, un método que no necesite usar tanques y equipos adicionales.

En este orden de ideas, el proyecto que se constituye de un tanque de agua potable de 206 m<sup>3</sup>, cuya capacidad es capaz de abastecer el cien por ciento de las seis torres y está enterrado por debajo del mismo sótano.

También, se cuenta con un *equipo de presión constante* que toma el agua del tanque ya mencionado, este equipo está compuesto por tres bombas centrífugas capaces de dar un caudal total de 30.91 L/s (15.45 L/s cada una) y una potencia total de 90.00 H.P. (30.00 H.P. cada una)

Las redes principales del proyecto se derivan a partir de una tubería principal de 6" que sale del *equipo de presión constante* y se derivan tres ramales que alimentan cada unidad estructural, el ramal de cada unidad estructural recorre el techo del sótano hasta empalmar con la vertical de agua

potable que sube hasta el último piso, todo este trazado lo hace en 4" y se devuelve por la acción de la gravedad a alimentar los diferentes pisos de las torres. Dado que el caudal que circula por la tubería de bajada va disminuyendo, el diámetro de los conductos también disminuye.

Hay que aclarar que para garantizar una presión adecuada en los pisos 17 y 18, se tuvo que garantizar una presión de 47.30 PSI en el punto más alto de la red; como consecuencia en los *pisos bajos* se presentó presiones superiores a lo permitido por la normativa técnica colombiana (NTC-1500) y se procedió a incluir en los pisos decimos de cada ramal una válvula reguladora de presión para controlar los excesos de presiones.

La Ilustración 4 muestra el esquema de distribución del modelo real implementado en el proyecto.

#### 5.4. BLANC

BLANC es una edificación de vivienda, la cual fue construida entre 2017 por la urbanizadora VERTIKAL. Se encuentra ubicado en la carrera 7ª con 130 y cuenta de una (1) torre de trece (13) pisos y un (1) sótano de parqueaderos, para una altura total de 50.40 metros. De los trece (13) pisos de la vivienda, los primeros cuatro (4) plantas son de parqueaderos complementarios a los ya existente en el sótano, mientras que la vivienda empieza desde la planta quinta (5) a la dieciseisava (16).

La filosofía del diseño se hizo estableciendo dos zonas del edificio, denominado *pisos bajos* y *altos*. Los *pisos bajos* son las viviendas que se encuentran en las plantas 5 al 9, mientras tanto, los *pisos altos* es la zona que incluyen las plantas 10 al 16.

El proyecto desde el punto de vista hidráulico entonces está compuesto por un tanque total de agua potable de 36.50 m<sup>3</sup>, aproximadamente el 45 por ciento del volumen, unos 16.50 m<sup>3</sup>, se ubica en el sótano en un tanque inferior y el restante, unos 20 m<sup>3</sup> (aproximadamente un 55 por ciento), se almacena en un depósito superior ubicado en la cubierta del edificio.

Adicionalmente, BLANC cuenta con dos equipos de presión de agua potable, el *equipo de presión principal*, el cual está ubicado en sótano, es un sistema de dos bombas centrifugas que tiene la capacidad de dar un caudal total de 1.00 l/s por bomba y una potencia total de 2.00 H.P. por bomba, la idea es que cada bomba pueda abastecer el tanque alto y se alterna con el segundo equipo, las bombas para lograr lo anterior cuentan con un variador de presión. Mientras que el *equipo de presión superior* es un sistema de dos bombas, 5.00 H.P. y 5.25 l/s cada bomba, para una potencia total de 10.00 H.P. y 10.50 l/s, además, cuenta con un hidroacumulador de 200 litros.

La red que sale del *equipo de presión principal* es una serie de tuberías de 1-1/4" que alimenta los tanques superiores. Luego, desde los tanques superiores salen dos ramales a alimentar los pisos bajos y pisos altos, que se abastecen mediante la fuerza de gravedad y el *equipo de presión superior* respectivamente.

La Ilustración 5 muestra el esquema de distribución del modelo real implementado en el edificio.







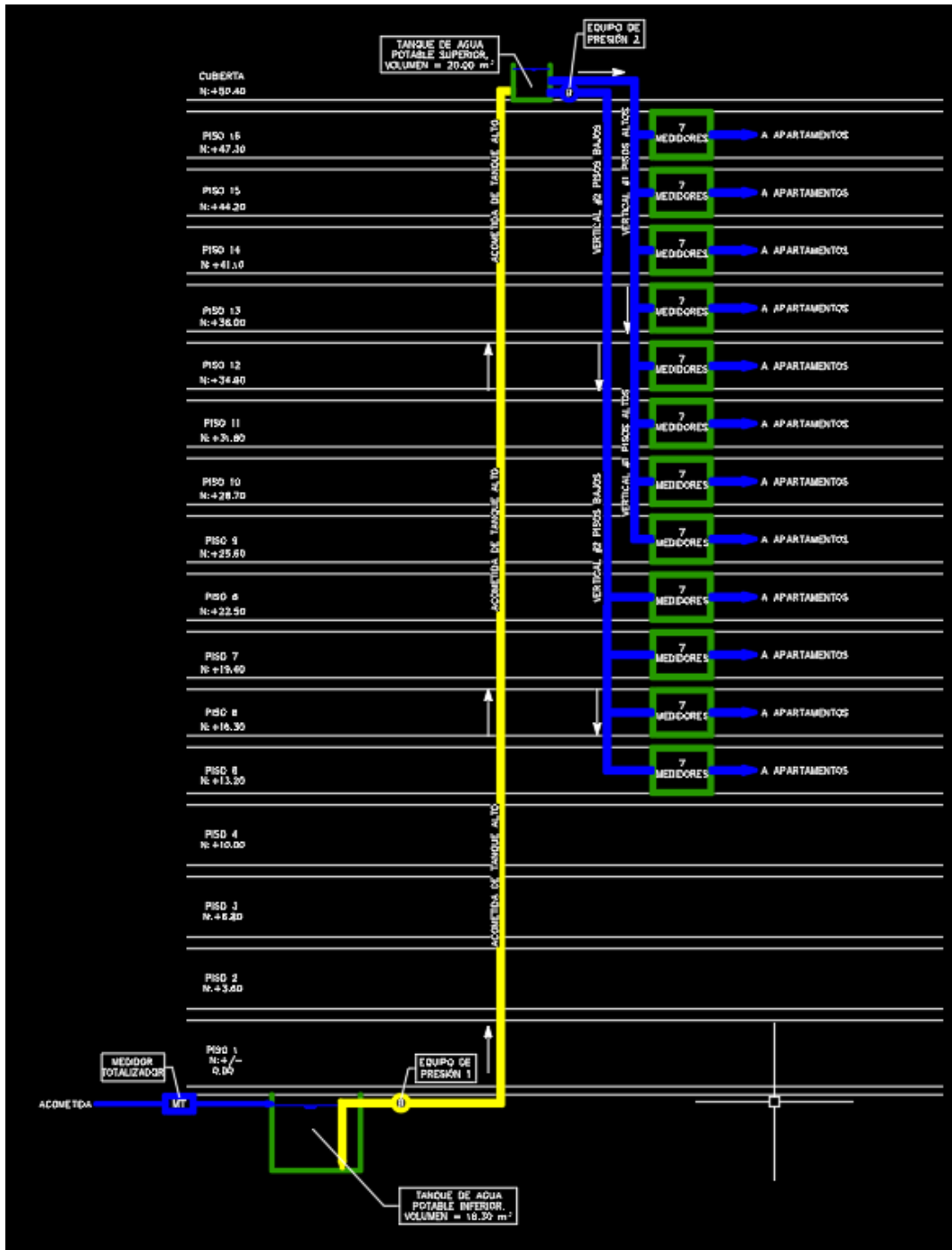


Ilustración 5. Trazado del proyecto BLANC.

## 6. MODELACIONES HIDRÁULICAS

Con el fin de poder limitar y facilitar el desarrollo del trabajo, se tomó un *modelo propuesto* de referencia, el cual se usó para armar las simulaciones propuestas y realizar las debidas comparaciones con los *modelos reales* de los casos seleccionados que ya se explicaron en el capítulo anterior.

Este *modelo propuesto* (*modelo MARVAL*) de construcción es planteado por la constructora MARVAL, ellos vienen aplicándolo en sus proyectos de gran altura y superficie. En general, con este modelo buscan minimizar el uso de tanques y equipos y así mismo hacer que el mantenimiento sea de con menor frecuencia en el sistema hidráulico del edificio.

El *modelo real* de PROVENZA PRESTIGE, como se mencionó previamente es de la constructora MARVAL, y debido a sus grandes dimensiones se usó y diseño con el *modelo MARVAL*, es decir, el *modelo real* es realmente el *modelo propuesto*, por lo tanto, se propuso otro sistema de suministro con el fin de poder realizar las comparaciones, esta construcción propuesta entonces viene siendo un sistema más convencional y diferente a cualquier otro método de suministro de agua.

### 6.1. PROPUESTAS

El *modelo MARVAL* tiene como filosofía diseño usar la menor cantidad de tanques y equipos posibles en el sistema hidráulico sin sacrificar el buen funcionamiento de la red de tuberías, a diferencia de otros modelos de suministro convencionales, que tiene como base repartir la cantidad de agua a varios depósitos de agua para garantizar el buen funcionamiento del sistema.

Con base a lo anterior, este sistema se compone de un tanque de agua potable, el cual es capaz de poder almacenar el cien por ciento del volumen que se debe tener para el edificio en la parte más baja del proyecto.

También, se incluye un *equipo de presión principal*, este equipo se debe componer con equipos dos o más equipos que sumados los caudales deben tener la capacidad de suplir el cien por ciento del caudal y presión del proyecto.

En cuanto al trazado principal de la red del *modelo MARVAL*, este sistema se compone de varias tuberías conectadas en serie, que salgan del *equipo de presión principal* y suban por una o varios ductos destinados para la tubería de agua potable, según lo dispuesto en la propuesta arquitectónica. Esta red sube hasta el último piso y luego se devuelve alimentando por las fuerzas de gravedad todos los pisos. Cabe aclarar que se debe garantizar una presión lo suficientemente alta en la parte más alta de la red para el óptimo funcionamiento de los aparatos hidráulicos más cercanos a estos puntos.

Como se mencionó previamente, el *modelo real* de PROVENZA PRESTIGE debe ser comparado con un *modelo propuesto* diferente para poder realizar las respectivas comparaciones técnico-económicas.

El *modelo propuesto* entonces se compone de un tanque inferior y un equipo de presión principal, estos dos componentes deben tener las mismas características que el *modelo MARVAL*.

La diferencia entre los *modelos propuestos* radica en el trazado de la tubería principal de los sistemas, es decir, este *modelo propuesto* tiene dos ramales diferentes de conducciones, de las cuales una de ellas sube a alimentar los *pisos altos* (10 al 17), paralelamente, el otro ramal abastece los *pisos bajos* (2 al 9), y se implementa una válvula reguladora de presión para esta última red.

La Ilustración 6 e Ilustración 7 se muestra los esquemas teóricos de las dos *modelaciones propuestas* para su fácil visualización e interpretación.

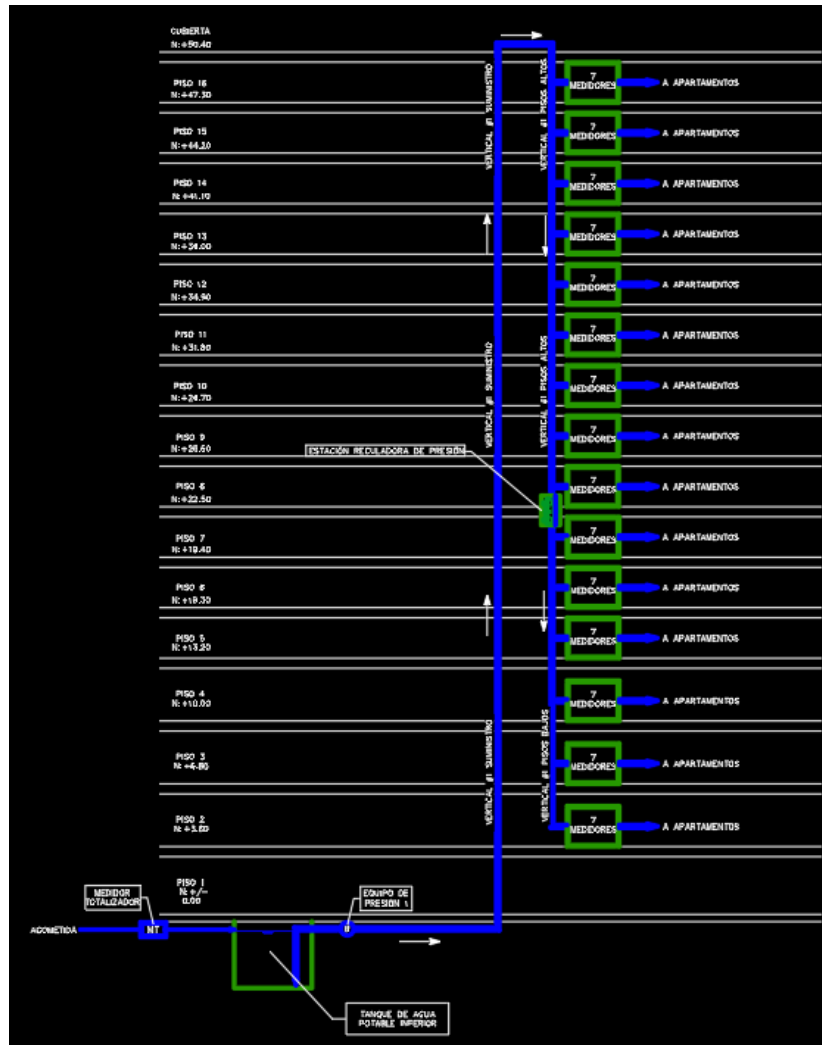


Ilustración 6. Modelo propuesto - MARVAL.

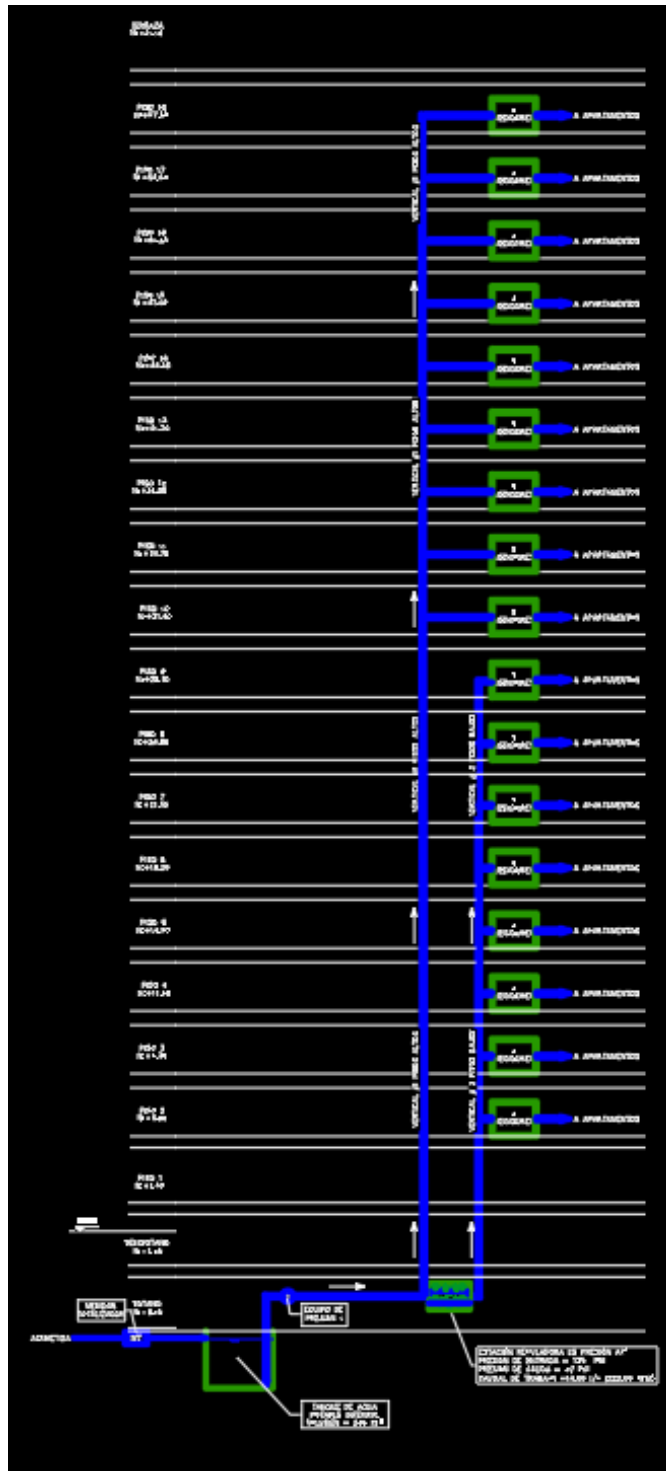


Ilustración 7. Modelo propuesto - PROVENZA PRESTIGE.

## 6.2. CONSIDERACIONES Y SUPOSICIONES

Con la finalidad de poder facilitar la ejecución del trabajo se realizaron las siguientes consideraciones y suposiciones en las modelaciones hidráulicas de los casos, teniendo en cuenta que al aplicar este tipo de consideraciones y suposiciones no afectan los resultados, es decir, que sus alteraciones sean mínimas o insignificantes y no discrepen demasiado de los resultados.

- ✓ La primera consideración que se realizó fue establecer un nivel de referencia arbitrario en cada proyecto con el objetivo de poder en lo posible tener alturas positivas en todos los nodos de las modelaciones.

En el edificio SIGMA, se tomó el sótano uno como el nivel cero, como el tanque de agua potable está ubicado en este piso, el nivel de la lámina de agua quedó a 3.06 metros y el nivel de tubería que sale del equipo de presión se estableció a 4.10 metros, es decir que todos los niveles de esta modelación quedaron positivos.

Así mismo, en PROVENZA PRESTIGE se estableció el sótano como el nivel cero, sin embargo, el tanque de agua potable como bien ya se explicó, se diseñó enterrado del piso del sótano y, por tanto, la lámina de agua del tanque y los nodos que salen del cuarto bombas quedaron a -1.30 y -1.00 metros correspondientemente, el resto de los niveles de los puntos quedaron positivos.

Mientras tanto, en BLANC no se cambió el nivel cero y se usó el del piso uno, y al igual que en Provenza Prestige el tanque de agua se encuentra por debajo del piso uno, por consiguiente, la lámina de agua del tanque y la altura de la conducción en el cuarto de bombas quedaron a -1.10 y -0.40 metros correspondientemente. Adicionalmente, se tiene un tramo en piso uno que en su diseño se propuso llevar la red enterrada a -0.50 metros, antes de subirla por ductos de agua.

- ✓ Con el fin de facilitar las modelaciones no se considerando las redes de agua fría de servicios comunes, por lo que los caudales que se tuvieron en cuenta para las modelaciones fueron los caudales de los espacios privados.
- ✓ Para las modelaciones de los en todos los casos solo se trazó las tuberías principales de la red, en los proyectos BLANC y PROVENZA PRESTIGE donde todos los pisos de vivienda son iguales y por tanto se supone que las pérdidas son exactamente iguales, por lo que se trazaron únicamente las redes del último piso y estas representan las pérdidas de cada piso. Mientras tanto, en Sigma se trazaron todas las tuberías de todos los pisos ya que la mayoría de los pisos varían en su trazado y en este caso la suposición hecha para los otros casos no puede ser aplicada en este.
- ✓ Para el proyecto BLANC, se decidió modelar los medidores de agua potable suponiendo que estuvieran paralelos y no perpendiculares como se muestra en el plano de AUTOCAD (Ver Anexo 5)

- ✓ No se tuvieron en cuenta en la modelación las válvulas de cortes y de sectorización que se implementan en los apartamentos, esto debido a que no se puede modelar este tipo de válvulas en el *software*. Sin embargo, si se tuvieron en cuenta las pérdidas locales generadas en las válvulas de cortes de la red principal.

### 6.3. PROCESO DE ARMADO DE LOS MODELOS

El proceso de armado de modelos puede dividirse en cuatro pasos generales, que van desde la exportación del modelo desde programas alternos al EPANET, seguido de la preparación de las condiciones generales a resolver, pasando luego por el bosquejo, y por último en la incorporación de datos.

Para la explicación del desarrollo del proceso de armado de los modelos, las imágenes tomadas corresponden al proyecto de BLANC, sin embargo, se aclara que el proceso fue exactamente para todos los casos de estudio.

#### 6.3.1. IMPORTAR ARCHIVO CAD AL EPANET

Este gran primer paso el cual no es obligatorio más si es recomendado para modelaciones de gran dimensión donde se puede usar *softwares* como AUTOCAD o *sistema de información geográfica* (SIG) que ayuda a realizar el dibujo o trazado de la red a modelar de forma más rápida. En nuestro caso se usó el programa AUTOCAD para importar la red hecha, y se siguieron entonces los siguientes pasos descritos a continuación:

- i) Lo primero fue realizar el trazado de forma isométrica en el *software*, tal como se puede observar en la Ilustración 8, teniendo en cuenta las suposiciones y consideraciones mencionadas anteriormente.

El trabajo del modelo en AUTOCAD se hizo teniendo en cuenta dos cosas, (i) verificando que las longitudes reales de las tuberías quedaran en el isométrico, (ii) todas las líneas en sus propiedades geométricas quedaran con sus alturas reales; estas dos consideraciones se modifican fácilmente desde las propiedades tal como se ve en la Ilustración 9. Es importante aclarar que al ajustar las diferentes alturas de los elementos por defecto se pierde la longitud real, por lo tanto, se hizo primero todo el trazado en forma 3D y luego si se ajustaron las propiedades de los elementos y así poder tener el esquema del edificio de forma proporcional, sin embargo, la altura real se ajustó una vez se tuviera el modelo en EPANET.

Adicionalmente, todo el dibujo se dejó en el *Layer 0*, el cual viene por defecto en este programa, sin embargo, este se puede desarrollar en capas diferentes si el usuario lo desea y así poder elegir que capas desea importar.

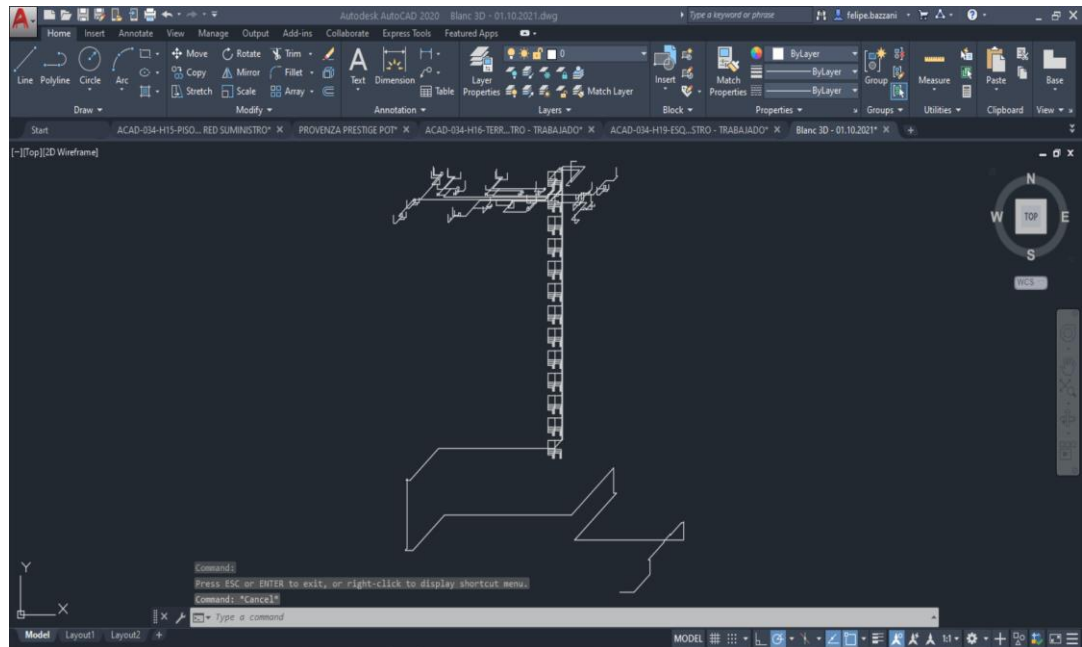


Ilustración 8. Trazado del modelo real en vista isométrica. Proyecto Blanc.

- ii) Una vez terminado el proceso de armado en el programa AUTOCAD se guardó en el formato de extensión “.dxf”, esta opción se puede visualizar dándole en *guardar como* y cambiando en la casilla de extensión de archivos, se debe guardar en este formato ya que este fue el creado en su momento por los desarrolladores del *software* para hacer posibles la exportación de archivos *CAD* a otros programas.
- iii) Luego, mediante el programa EPACAD, el cual fue desarrollado por el grupo de investigación *Gestión Sostenible del Agua Urbana (ITA)* de la *Universidad Politécnica de Valencia*, se hizo la conversión del archivo esto gracias a que el objetivo del EPACAD es convertir los ficheros de AUTOCAD a uno ejecutable con EPANET.

Para la ejecución del programa, se selecciona el archivo “.dxf” y después el o los *Layers* a convertir, en esa misma vista se pide elegir el modo de conversión (nodos o vértices) junto con la tolerancia de conexión deseada, tal como se observa en la Ilustración 10

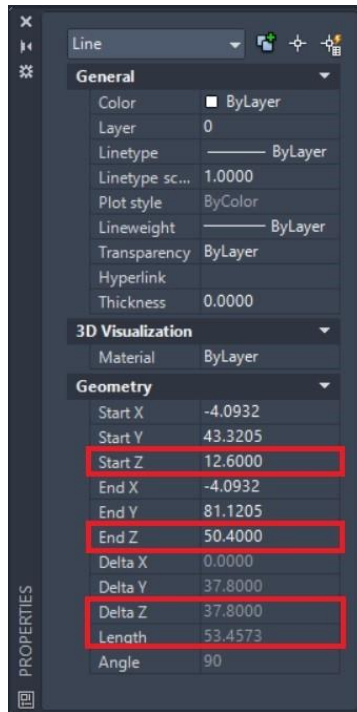


Ilustración 9. Propiedades AutoCAD.

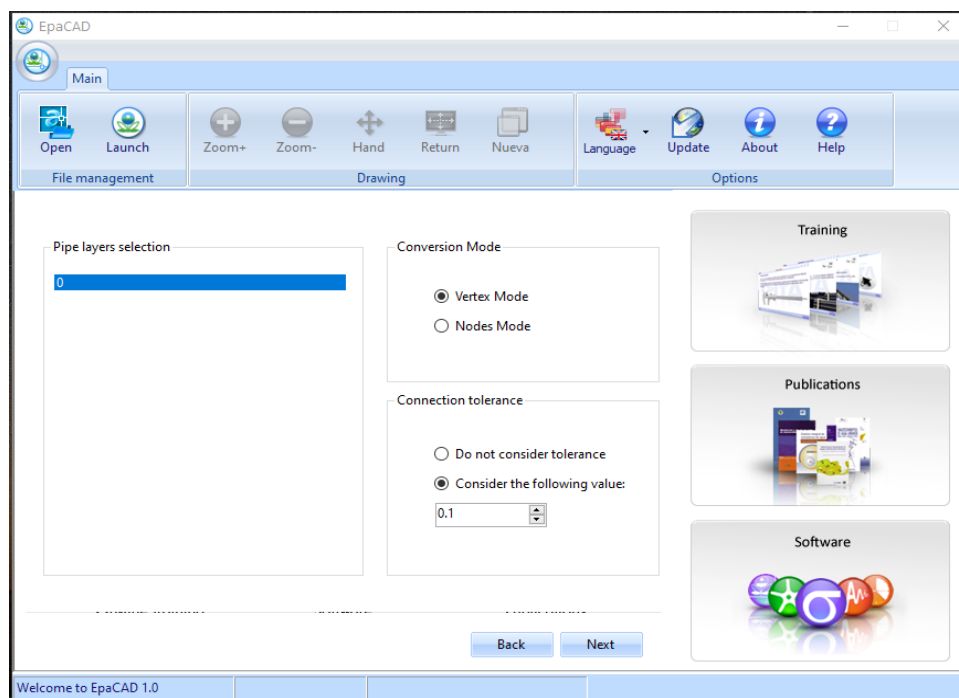


Ilustración 10. Proceso de importación del modelo AutoCAD a EPANET mediante el software EpaCAD.



- iv) Seguido, se debe hacer *click* en *siguiente* y se mostrara una previsualización de la red, si se está satisfecho se puede dar *click* en *Finalizar*.
- v) Para terminar, una vez se selecciona en *Finalizar* y se debe guardar el archivo en un formato “.inp”, el cual puede ser leído por el *software* deseado EPANET.

### 6.3.2. CONDICIONES PRINCIPALES DEL MODELO

Este paso de gran importancia es para poder indicar las condiciones principales de uso a resolver en el programa, como los son las unidades que se va a usar y las ecuaciones fundamentales a resolver, los cuales ya se explicaron previamente. Este viene siendo realmente el primer paso por realizar dentro del programa y que se realizó de primeras para no tener problemas al ejecutar la simulación del modelo. Los pasos que se siguieron fueron entonces los siguientes:

- i) Lo primero, se guardó el archivo en el formato de extensión apropiada del programa, es decir en “.net”, esto tiene como garantizar la correcta lectura del programa y así evitar que el modelo fallé en su ejecución.
- ii) Luego, se ajustó las unidades a manejar, en nuestro caso se manejó el sistema internacional con las unidades de caudal en litros por segundo. Para ajustar se siguió la ruta de *Project > Defaults > Hydraulics > Flow units*. Cuando el usuario ajusta las unidades de caudal el programa automáticamente ajusta las variables restantes en sus unidades equivalentes.
- iii) Para finalizar, se ajustó la fórmula de pérdidas a ser usada por EPANET, esto es de gran importancia pues es vital tener claro la ecuación fundamental usada para resolver los cálculos de la modelación y así ingresar los datos en sus dimensiones correctas. La ruta que se siguió para ajustar este parámetro fue *Project > Defaults > Hydraulics > Headloss Formula*, y ahí se desplegó las opciones a seleccionar, que en nuestro caso fue la fórmula de DARCY-WEISBACH.

En la Ilustración 11 se observa el cuadro de valores por defecto, el cual se puede visualizar siguiendo la ruta descrita en los pasos ii) y iii) de la sección 6.3.2 y ajustar con lo ya explicados.

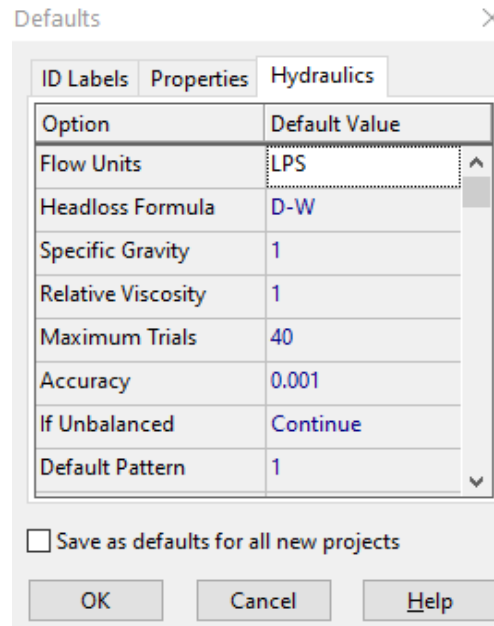


Ilustración 11. Cuadro de ajuste de unidades y fórmula de pérdidas.

### 6.3.3. DIBUJO DE LA RED

Este paso debe verse como complemento del primero, donde si bien ya se tiene el esquema general de la red a modelar hecha se deben anexar elementos como tanques, depósitos, bombas, válvulas que solamente se pueden incluir desde el programa como tal. Para nuestro caso en específico, fue necesario complementar las modelaciones con elementos como bombas, depósitos y válvulas reguladoras de presión. A continuación, más allá de establecer una serie de pasos a seguir se describe como fue el proceso de ingresar estos objetos en el modelo.

Para agregar los objetos adicionales como tanques o depósitos, se reemplazó un nodo en donde se quiera ubicar este objeto por este elemento; mientras que, si el objeto a ingresar es algún tipo de válvula o bomba, es necesario adicionar dos nodos en las zonas a ubicar estos objetos ya que este elemento se comporta como un *link*, una vez se insertaron los nodos adicionales se deben ingresar la válvula o bomba.

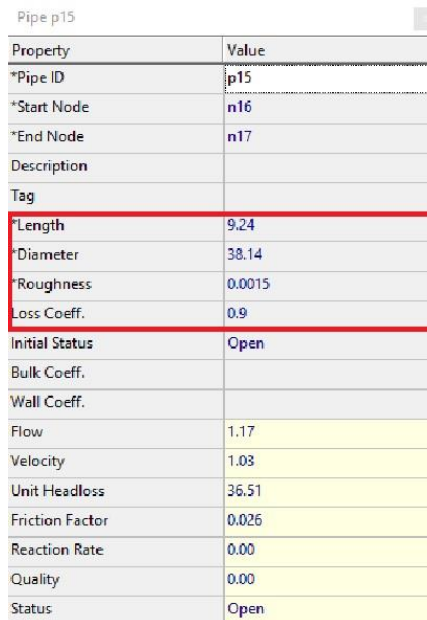
Adicionalmente a lo anterior, se considera necesario que al realizar importaciones del trazado de la red desde otro programa se revise en su totalidad los *nodos* y *links* para garantizar que el sistema esté completamente conectado y no halla zonas del modelo sin conectar que generen errores a la hora de correr las simulaciones.

#### 6.3.4. DATOS DE ENTRADA

Antes de correr las simulaciones se deben ingresar datos en los diferentes objetos del modelo, este paso es crítico pues un dato mal ingresado puede alterar los cálculos internos que haga el programa y por consiguiente variar los resultados que se obtengan. Estos datos se modifican desde la ventana *Browser* que se observa a la derecha de la pantalla, en la pestaña *Data*.

En los *links* o *tuberías*, tal como se observa en la Ilustración 12, como mínimo se introdujo los datos en la lista que tienen asterisco antes del nombre, como lo son la longitud en metros, el diámetro en milímetros, los coeficientes de pérdidas menores y coeficiente rugosidad correspondiente a la fórmula de solución elegida en unidad adimensional. También, este paso se usó como un proceso de revisión y se rectificó el sentido del flujo este en la dirección correcta y así evitar obtener alteraciones en los resultados.

En las válvulas se ingresaron varios datos, primero, el diámetro del dispositivo en milímetros, después, el tipo de válvula a usar, recordando que el programa puede simular seis tipos diferentes, por último, en *setting*, el cual es un parámetro que varía según la válvula usada, en nuestro caso como solo usaron válvulas reguladoras de presión (VRP), se indicó a presión de salida o aguas abajo del dispositivo medido en metros. La Ilustración 13 **Error! Reference source not found.** muestra los seis dispositivos posibles a simular en el EPANET.



Property	Value
*Pipe ID	p15
*Start Node	n16
*End Node	n17
Description	
Tag	
*Length	9.24
*Diameter	38.14
*Roughness	0.0015
Loss Coeff.	0.9
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	1.17
Velocity	1.03
Unit Headloss	36.51
Friction Factor	0.026
Reaction Rate	0.00
Quality	0.00
Status	Open

Ilustración 12. Propiedades de tuberías.

Tipo de válvula	
PRV	Válvula reductora de presión
PSV	Válvula sostenedora de presión
PBV	Válvula de rotura de carga
FCV	Válvula controladora de caudal
TCV	Válvula reguladora por estrangulación
GPV	Válvula de proposito general

Ilustración 13. Tipo de válvulas posible en EPANET.

Para los equipos de presión se creó la curva característica de la bomba, para crearla se siguió la ruta con la ventana ubicada a la derecha de la pantalla *Browsers > Data > Curves*, y para fórmula, se ingresaron un caudal y altura, el programa automáticamente es capaz de poder generar una curva característica, sin embargo, entre más puntos se pueda dar ingresar se tendrá una mayor confiabilidad.

Para los nodos, se insertó la altura o elevación del elemento en el sistema en la casilla de *elevation* y el caudal de consumo en los diferentes puntos, este último se hizo siguiendo los criterios descritos en la sección 6.3.5. En la Ilustración 14 se muestra la tabla de propiedades con las casillas a ajustar resaltas en un recuadro rojo.

Property	Value
*Junction ID	Calentador-Apto1606
X-Coordinate	-2.20
Y-Coordinate	74.49
Description	
Tag	
*Elevation	48.5
Base Demand	0.14
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	0.14
Total Head	74.98
Pressure	26.48
Quality	0.00

Ilustración 14. Propiedades de nodos.

### 6.3.5. CAUDALES USADOS

Para la estimación de los caudales de diseño de la red se estimaron a partir del método de Hunter modificado tal como lo sugiere la NTC-1500, y como ya se mencionó en el numeral 4.4.3, Limitaciones, el programa solamente suma o resta los caudales ingresados en los nodos, por lo que fue necesario crear la Tabla 7 y Tabla 8 que muestra los caudales estimados que se esperan transportar por la tubería y la cantidad de flujo a ingresar y quitar en los nodos y así poder tener los gastos correspondientes estimados por el método.

Adicionalmente, la Tabla 8 muestran los caudales implementados en los aparatos hidráulicos que aplican para todos los casos estudiados.

Los caudales mostrados en la Tabla 7 corresponden al proyecto de BLANC, sin embargo, en los Anexos 1 y 2 se encuentran la Tabla 31 y Tabla 32 correspondiente a los caudales estimados en los proyectos de SIGMA y PROVENZA PRESTIGE.

NUC	Caudal Diseño (l/s)	Caudal Completo (l/s)
CAUDALES EN APARATOS		
1	lavamanos	0.08
2	ducha	0.12
3	inodoro	0.18
3	lavadora	0.15
2	lavadero	0.09
2	lavaplatos	0.09
--	Calentador	0.14

*Tabla 7. Caudales implementados en los aparatos hidráulicos.*

MEDIDORES							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	Σ Unidades de consumo	Q max probable	Σ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
4 MEDIDORES							
n64	p56	14	14	0.64	0.64	0.64	0.00
n60	p54	14	28	0.64	1.04	1.04	-0.24
n57		14	42	0.64	1.38	1.38	-0.30
n55	p52-p291	14	56	0.64	1.70	1.70	-0.32
3 MEDIDORES							
n71	p65	14	14	0.64	0.64	0.64	0.00
n70	p64	14	28	0.64	1.04	1.04	-0.24
n55		14	42	0.64	1.38	1.38	-0.30
TOTAL							
n55	p51	0	98	3.08	2.52	2.52	-0.56
n41		0	98	3.08	2.52	2.52	0.00

VERTICAL TORRE							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	Σ Unidades de consumo	Q max probable	Σ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
RED CONECTADA AL HIDRONEUMATICO							
n52	p46	98	98	2.52	2.52	2.52	0.00
n51	p45	98	196	2.52	4.11	3.70	-1.34
n50		98	294	2.52	5.47	4.14	-2.08
n49	p44	98	392	2.52	6.70	4.57	-2.09
RED NO CONECTADA AL HIDRONEUMATICO							
n48	p42	98	98	2.52	2.52	2.52	0.00
n47	p41	98	196	2.52	4.11	3.70	-1.34
n46		98	294	2.52	5.47	4.14	-2.08
n45	p40	98	392	2.52	6.70	4.57	-2.09
n44	p39	98	490	2.52	7.85	5.00	-2.09
n43	p38	98	588	2.52	8.93	5.43	-2.09
n42	p37	98	686	2.52	9.95	5.86	-2.09
n41	p36	98	784	2.52	10.94	6.29	-2.09
TOTAL							
n54	p30	0	1176	10.85	14.56	8.02	-2.83
Tanque S.		0	1176	10.85	14.56	8.02	0.00

Tabla 8. Caudales implementados en BLANC.

### 6.3.6. RESULTADOS

Con todos los pasos anteriores terminado, se corrió la simulación oprimiendo el botón igual al mostrado en la Ilustración 15, el programa mostró una ventana indicando que la ejecución se realizó con éxito.



Ilustración 15. Botón de ejecución de simulación.

En otras ocasiones puede suceder que el modelo se ejecute correctamente e indique algún mensaje de advertencia que debe ser tomada en cuenta por el usuario para la interpretación del modelo.

El programa tiene la capacidad de crear tanto tablas de datos como gráficos que consolidan los valores en función de algún parámetro deseado por el usuario, esta consolidación de valores puede ser los datos ingresados por el usuario o los valores calculados por el *software*.

Si se desea obtener tabla de datos, esta se puede generar a partir de la opción *Report > Table*, o bien se puede hacer *click* en la imagen de una tabla que se encuentra en la vista principal del programa. Después, se debe seleccionar si los resultados son para *nodos* o *links* y los elementos que desea incluir.

Para los gráficos, los pasos son muy similares a los de la tabla de datos, se debe seguir entonces esta ruta *Report > Graph*, o también haciendo *click* en la imagen de una gráfica. Se debe tener en cuenta que EPANET puede generar tipos de gráficos, los cuales son:

- ✓ Curvas de evolución en el tiempo
- ✓ Perfiles longitudinales
- ✓ Mapas de contorno
- ✓ Gráficos de frecuencia
- ✓ Balance de caudales

Con todo lo dicho anteriormente, la creación de estas tablas de datos o gráficos de resultados pueden también ayudar al ingeniero a identificar datos mal ingresados o no insertados que está alterando los resultados de la simulación. En general, lo primero que debe hacer el ingeniero con los resultados de las modelaciones sea cual sea el programa de usado, es interpretar que las simulaciones estén dando resultados esperados y en el caso de no ser así debe verse como una alerta de que el modelo está presentando alguna falencia y debe ser verificado el origen de la falla.

## 7. RESULTADOS

Una vez terminando todo el proceso de armado y ajuste de las condiciones de todos los modelos, se procedió a correr el programa, e inmediatamente después a extraer e interpretar los resultados de los diferentes modelos y así poder realizar el análisis de resultados y respectivas comparaciones.

### 7.1. RESULTADOS DE MODELACIÓN

De las modelaciones corridas, se generaron tablas de datos con los resultados, tanto de los *modelos reales* como de los *modelos propuestos* de cada caso. De las tablas generadas solamente se muestran los resultados de los puntos críticos, es decir, los nodos que tiene consumo, representando los caudales de los aparatos hidráulicos y donde se tiene las presiones máximas y mínimas en la red.

Para lograr obtener el consolidado de resultados anteriores, se generaron las tablas siguiendo los pasos ya mencionando y se aplicaron los siguientes filtros para poder visualizar los resultados deseados. (i) El primer filtro es que muestre los nudos con caudales superiores a cero, es decir, nudos que tuvieran consumos, y (ii) que mostrara los nudos de un piso específico, que se pueden obtener a partir de una altura igual a la desea.

#### 7.1.1. SIGMA

##### ➤ MODELO REAL

El *modelo real* de este proyecto, como ya se describió, cuenta con tres redes verticales principales, por lo tanto, se presentan tres pisos con las posibles presiones más favorables, todas ellas en zonas diferentes de la edificación. Para los resultados entonces, se generaron tres tablas con las elevaciones de los nodos en metros (m), las demandas en litros por segundo (L/s) y las presiones calculadas en metros columna de agua (m.c.a.) de los nodos en los pisos 5, 12 y 19. La Tabla 9 se observan estas presiones de cada punto de entrega a las oficinas, recordando que, las oficinas vienen sin ningún aparato hidráulico previsto por la obra y por tanto sin ninguna red desarrollada e instalada dentro de ellas.

Por otro lado, las presiones bajas de las tres redes verticales del *modelo real* posiblemente ocurren en los pisos 11, 18 y 27. En la planta 27, la red hidráulica se encuentra desarrollada y diseñada, por lo que en la Tabla 10 se observa que la tabla de resultados arroja la presión en los diferentes aparatos hidráulicos correspondiente a este piso y así poder identificar el nodo con la presión más desfavorable.



Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc SalónMúltiple2	25.65	0.26	27.93
Junc SalónMúltiple1	25.65	0.26	28.41
Junc Oficina506	25.65	0.26	28.99
Junc Oficina505	25.65	0.26	29.02
Junc Oficina504	25.65	0.26	29.91
Junc Oficina501	25.65	0.26	30.91
Junc Oficina502	25.65	0.26	30.92
Junc Oficina503	25.65	0.26	30.95
Junc Oficina1204	50.15	0.26	45.56
Junc Oficina1203	50.15	0.26	46.88
Junc Oficina1202	50.15	0.26	47.19
Junc Oficina1201	50.15	0.26	48.16
Junc Oficina1901	71.15	0.26	53.82

Tabla 9. Proyecto SIGMA: Presiones altas obtenidas en el modelo real - Pisos 5, 12 y 19.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Oficina1101	46.65	0.26	9.20
Junc Oficina1801	67.65	0.26	31.13
Junc Sanitario1-Oficina2701	99.45	0.31	22.86
Junc Sanitario2-Oficina2701	99.45	0.31	23.12
Junc Lavamanos1-Oficina2701	99.75	0.16	23.14
Junc Lavamanos3-Oficina2701	99.75	0.16	23.18
Junc Sanitario3-Oficina2701	99.45	0.31	23.21
Junc Lavamanos2-Oficina2701	99.75	0.16	23.21
Junc Sanitario4-Oficina2701	99.45	0.31	23.29
Junc Orinal1-Oficina2701	99.45	0.31	23.52
Junc Lavamanos5-Oficina2701	99.75	0.16	23.63
Junc Lavamanos4-Oficina2701	99.75	0.16	23.70
Junc Lavamanos6-Oficina2701	99.75	0.16	24.04
Junc Sanitario5-Oficina2701	99.45	0.31	24.07

Tabla 10. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Pisos 11, 18 y 27.

➤ MODELO PROPUESTO

El *modelo propuesto* de Sigma, en la red principal se prevé que las presiones más bajas de la red estén en el piso 27 esto debido a como se planteó el trazado principal de la propuesta, adicionalmente, con el *modelo propuesto* al tener una estación reguladora de presión en la planta 19 se espera una reducción importante de presión causando que en el piso 18 se presenten presiones desfavorables, es así que en la Tabla 11 se compilan las presiones de estas plantas críticas.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Oficina1801	67.65	0.26	14.83
Junc Sanitario1-Oficina2701	99.45	0.31	18.47
Junc Sanitario2-Oficina2701	99.45	0.31	18.74
Junc Lavamanos1-Oficina2701	99.75	0.16	18.76
Junc Lavamanos3-Oficina2701	99.75	0.16	18.79
Junc Sanitario3-Oficina2701	99.45	0.31	18.82
Junc Lavamanos2-Oficina2701	99.75	0.16	18.82
Junc Sanitario4-Oficina2701	99.45	0.31	18.90
Junc Orinal1-Oficina2701	99.45	0.31	19.13
Junc Lavamanos5-Oficina2701	99.75	0.16	19.24
Junc Lavamanos4-Oficina2701	99.75	0.16	19.31
Junc Lavamanos6-Oficina2701	99.75	0.16	19.66
Junc Sanitario5-Oficina2701	99.45	0.31	19.68

Tabla 11. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Pisos 18 y 27.

Mientras tanto, se esperan obtener las presiones más altas en las plantas 5 y 19 debido al esquema de distribución propuesto, donde en el piso 19 viene siendo el último piso alimentado por gravedad y el piso 5 viene siendo el último alimentado por gravedad después de la válvula reguladora de presión. Por lo tanto, se sacaron los resultados de estos pisos que se ven reflejados en la Tabla 12.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc SalónMúltiple2	25.65	0.26	49.71
Junc SalónMúltiple1	25.65	0.26	50.19
Junc Oficina506	25.65	0.26	50.77
Junc Oficina505	25.65	0.26	50.80
Junc Oficina504	25.65	0.26	51.70
Junc Oficina501	25.65	0.26	52.69
Junc Oficina502	25.65	0.26	52.70
Junc Oficina503	25.65	0.26	52.73
Junc Oficina1901	71.15	0.26	50.24

Tabla 12. Proyecto SIGMA: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Pisos 5 y 19.

Del *modelo real* se puede notar que en el piso 11 se tiene una presión de 9.20 m.c.a., aproximadamente 13.00 PSI, este punto de entrada se puede interpretar que es muy bajo, afectando el óptimo funcionamiento de los aparatos instalados o la cantidad de aparatos posibles a instalar en el piso. Esta planta está conectada a la red que alimenta los *pisos bajos*, y se decidió hacer un chequeo de las plantas 9 y 10, que están conectada a la misma tubería vertical para identificar si estos pisos presentan déficit de presión, y se identificó en el piso 10 presiones bajas que limitan el uso de aparatos tal como se observa en la Tabla 13.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Oficina1006	43.15	0.26	10.81
Junc Oficina1007	43.15	0.26	10.82
Junc Oficina1005	43.15	0.26	11.01
Junc Oficina1004	43.15	0.26	11.87
Junc Oficina1003	43.15	0.26	12.89
Junc Oficina1001	43.15	0.26	13.41
Junc Oficina1002	43.15	0.26	13.42
Junc Oficina906	39.65	0.26	13.81
Junc Oficina907	39.65	0.26	14.29
Junc Oficina905	39.65	0.26	15.08
Junc Oficina904	39.65	0.26	15.47
Junc Oficina903	39.65	0.26	16.44
Junc Oficina901	39.65	0.26	16.96
Junc Oficina902	39.65	0.26	16.97

Tabla 13. Proyecto SIGMA: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Pisos 9 y 10.

Por el contrario, en las redes de los *pisos medios* y *pisos altos* las presiones más bajas estuvieron variando entre 22 y 32 m.c.a., aproximadamente 31 y 45 PSI respectivamente, estas se pueden decir que están dentro de un rango aceptable, esto guiándose con las presiones mínimas recomendadas dentro de la norma vigente de diseño (NTC-1500) y las recomendaciones de los fabricantes de los aparatos hidráulicos.

Analizando el *modelo propuesto* del edificio, se puede analizar que la presión más baja encontrada a través de todo el proyecto es de 14.83 m.c.a. (21.00 PSI), esta presión mínima está cumpliendo con el rango de operación recomendado por los fabricantes, el cual está dada entre los 20 y 125 PSI.

Si se analizan todos los pisos donde se presentan las presiones más favorables, la más alta encontrada fue en el piso 19 del *modelo real* con un valor de 53.82 m.c.a. (76.00 PSI aproximadamente), y en el *modelo propuesto*, el nodo más alto en presión es el de la oficina 503 con unos 52.73 m.c.a., unos 74.70 PSI. Estas presiones están en dentro de las presiones máximas recomendadas nuevamente por la norma (NTC-1500) y los fabricantes de griferías y sanitarios.

#### 7.1.2. PROVENZA PRESTIGE

Como se indicó en capítulo 6.2, Consideraciones y Suposiciones, en el proyecto PROVENZA PRESTIGE al ser un proyecto exclusivamente de vivienda con apartamentos iguales en todas las plantas de las torres, por lo tal motivo se decidió realizar solamente el trazado del último piso, y se estimó la caída de presión desde el medidor hasta el aparato hidráulico que será exactamente la misma en cada piso al tener mismas longitudes y accesorios.

Estos resultados se obtuvieron de manera manual y se compilaron en una tabla de datos usando Excel, por lo que la presentación de ciertos resultados es diferente a las del programa.

##### ➤ MODELO REAL

Los resultados obtenidos de este sistema indican que las presiones más bajas se encuentren en la torre 2 en el último piso, y no en la torre 3 como podría pensarse inicialmente, esto sucede porque si bien el trazado de este último es mayor, en la torre 2 se tiene un piso adicional que hace que sea más crítica la presión requerida para subir el piso extra que la misma caída de presión generada por efectos de fricción, el cual es mucho menor.

Como se observa en la Tabla 14, las presiones con mayor favorabilidad y desfavorabilidad en los aparatos hidráulicos fluctuaron entre 31.11 m.c.a. (44 PSI) y 35.50 m.c.a. (50 PSI) para el piso 18 en la torre 2, y la Tabla 15, muestra las del piso 17 de las torres 1 y 3 que variaron entre 27.80 m.c.a. (39.30 PSI) y 30.30 m.c.a. (43 PSI). Las presiones completas de estos pisos de todas las torres se pueden ver en el Anexo 3.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	31.11	Junc Calentador-Torre1-Apto1707	60.45	0.14	34.16
Junc Ducha1-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	31.16	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Ducha2-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	31.24	Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	34.17
Junc Ducha2-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	31.26	Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	34.17
Junc Lavadora-Torre3-Apto1704	59.85	0.15	31.45	Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Lavadora-Torre3-Apto1705	59.85	0.15	31.47	Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	34.18
Junc Ducha1-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	31.53	Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	34.18
Junc Lavadero-Torre3-Apto1704	59.95	0.09	31.54	Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	34.20
Junc Lavadero-Torre3-Apto1705	59.95	0.09	31.55	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1707	59.65	0.09	34.22
Junc Ducha1-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	31.60	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1703	59.65	0.09	34.23
Junc Ducha2-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	31.63	Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1801	59.65	0.09	34.25
Junc Ducha1-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	31.64	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	34.26
Junc Calentador-Torre3-Apto1704	60.45	0.14	31.65	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	34.27
Junc Ducha2-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	31.69	Junc Calentador-Torre1-Apto1702	60.45	0.14	34.30
Junc Ducha2-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	31.72	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	34.31
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.74	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	34.33
Junc Calentador-Torre3-Apto1705	60.45	0.14	31.75	Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	34.34
Junc Lavadero-Torre3-Apto1706	59.95	0.09	31.76	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	34.36
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	31.82	Junc Ducha1-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	34.39
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	31.85	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1702	59.65	0.09	34.52
Junc Ducha2-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	31.85	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	34.55
Junc Ducha1-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	31.85	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	34.57
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	31.85	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	34.62
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.85	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	34.71
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.85	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	34.76
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	31.89	Junc Ducha1-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	34.79
Junc Calentador-Torre3-Apto1706	60.45	0.14	31.89	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	34.81
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	31.89	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	34.87
Junc Lavadora-Torre3-Apto1706	59.65	0.15	31.92	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	35.11
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1706	59.65	0.09	31.94	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	35.27
Junc Lavadora-Torre3-Apto1708	59.85	0.15	31.95	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	35.50
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	31.95				

Tabla 14. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Torres 1 y 3, Piso 17.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	27.77	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	29.00
Junc Ducha1-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	27.82	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	29.00
Junc Ducha2-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	27.90	Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	29.00
Junc Ducha2-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	27.92	Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	29.00
Junc Lavadora-Torre2-Apto1804	63.15	0.15	28.12	Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	29.00
Junc Ducha1-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	28.19	Junc Lavadero-Torre2-Apto1802	63.25	0.09	29.01
Junc Lavadero-Torre2-Apto1804	63.25	0.09	28.21	Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	29.01
Junc Ducha1-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	28.26	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	29.04
Junc Lavadora-Torre2-Apto1805	63.15	0.15	28.30	Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	29.05
Junc Ducha2-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	28.30	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1807	62.95	0.09	29.05
Junc Ducha1-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	28.30	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1803	62.95	0.09	29.06
Junc Calentador-Torre2-Apto1804	63.75	0.14	28.32	Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	29.08
Junc Ducha2-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	28.35	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	29.09
Junc Lavadero-Torre2-Apto1805	63.25	0.09	28.38	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	29.10
Junc Ducha2-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	28.38	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	29.14
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.40	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	29.16
Junc Calentador-Torre2-Apto1805	63.75	0.14	28.41	Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	29.17
Junc Lavadero-Torre2-Apto1806	63.25	0.09	28.42	Junc Calentador-Torre2-Apto1802	63.75	0.14	29.19
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	28.48	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	29.19
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.51	Junc Ducha1-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	29.22
Junc Ducha2-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	28.51	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1802	62.95	0.09	29.33
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	28.51	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	29.38
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.52	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	29.40
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.52	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	29.45
Junc Calentador-Torre2-Apto1806	63.75	0.14	28.56	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	29.54
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	28.56	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	29.60
Junc Lavadora-Torre2-Apto1806	62.95	0.15	28.58	Junc Ducha1-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	29.63
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1806	62.95	0.09	28.60	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	29.64
Junc Lavadora-Torre2-Apto1808	63.15	0.15	28.61	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	29.70
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	28.61	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	29.94
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.61	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	30.10
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	28.61	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	30.33
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.63				

Tabla 15. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Torre 2, Piso 18.

Adicionalmente, en este modelo usado, al usar una válvula reguladora de presión como ya se describió previamente, en los *pisos bajos* de todas las torres la presión está igualada debido a que las estaciones reguladoras de presión se calibraron a la misma presión de salida para todas las torres.

Como se mencionó al comienzo de este subcapítulo, se realizó una estimación de caída de presión para estimar la presión en los aparatos de las plantas diferentes a las trazada en el modelo, y se

estimaron entonces las presiones en los *pisos bajos*, específicamente en los pisos 2 y 9, y también en la planta 10 de los *pisos altos* tal y como se observan en las Tabla 16 y Tabla 17.

La presión más alta de los *pisos bajos* se presentó en la ducha de la alcoba principal del apartamento 204 con unos 49.81 m.c.a. (70.50 PSI), mientras tanto, la presión más baja se presenta en el piso noveno, específicamente, en el apartamento 905 en el sanitario del baño auxiliar con unos 26.69 m.c.a. (37.80 PSI).

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre3-Apto204	0.12	49.81	Junc Ducha1-Torre3-Apto904	0.12	25.98
Junc Ducha1-Torre3-Apto205	0.12	49.83	Junc Ducha1-Torre3-Apto905	0.12	26.00
Junc Ducha2-Torre3-Apto204	0.12	49.88	Junc Ducha2-Torre3-Apto904	0.12	26.05
Junc Ducha2-Torre3-Apto205	0.12	49.90	Junc Ducha2-Torre3-Apto905	0.12	26.00
Junc Lavadora-Torre3-Apto204	0.15	49.93	Junc Lavadora-Torre3-Apto904	0.15	26.07
Junc Lavadora-Torre3-Apto205	0.15	49.93	Junc Lavadora-Torre3-Apto905	0.15	26.08
Junc Ducha1-Torre3-Apto201	0.12	49.97	Junc Ducha1-Torre3-Apto901	0.12	26.45
Junc Lavadero-Torre3-Apto204	0.09	50.02	Junc Lavadero-Torre3-Apto904	0.09	26.14
Junc Lavadero-Torre3-Apto205	0.09	50.11	Junc Lavadero-Torre3-Apto905	0.09	26.31
Junc Ducha1-Torre3-Apto208	0.12	50.11	Junc Ducha1-Torre3-Apto908	0.12	26.65
Junc Ducha2-Torre3-Apto201	0.12	50.13	Junc Ducha2-Torre3-Apto901	0.12	26.71
Junc Ducha1-Torre3-Apto203	0.12	50.14	Junc Ducha1-Torre3-Apto903	0.12	26.32
Junc Calentador-Torre3-Apto204	0.14	50.14	Junc Calentador-Torre3-Apto904	0.14	26.28
Junc Ducha2-Torre3-Apto203	0.12	50.16	Junc Ducha2-Torre3-Apto903	0.12	26.31
Junc Ducha2-Torre3-Apto208	0.12	50.21	Junc Ducha2-Torre3-Apto908	0.12	26.73
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto204	0.08	50.22	Junc Lavamanos1-Torre3-Apto904	0.08	26.25
Junc Calentador-Torre3-Apto205	0.14	50.23	Junc Calentador-Torre3-Apto905	0.14	26.33
Junc Lavadero-Torre3-Apto206	0.09	50.25	Junc Lavadero-Torre3-Apto906	0.09	26.39
Junc Sanitario1-Torre3-Apto204	0.18	50.27	Junc Sanitario1-Torre3-Apto904	0.18	26.39
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto205	0.08	50.31	Junc Lavamanos1-Torre3-Apto905	0.08	26.57
Junc Ducha2-Torre3-Apto206	0.12	50.34	Junc Ducha2-Torre3-Apto906	0.12	26.43
Junc Ducha1-Torre3-Apto202	0.12	50.35	Junc Ducha1-Torre3-Apto902	0.12	26.82
Junc Sanitario1-Torre3-Apto205	0.18	50.36	Junc Sanitario1-Torre3-Apto905	0.18	26.46
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto204	0.08	50.37	Junc Lavamanos2-Torre3-Apto904	0.08	26.60
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto204	0.08	50.37	Junc Lavamanos3-Torre3-Apto904	0.08	26.46
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto205	0.09	50.37	Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto905	0.09	26.54
Junc Calentador-Torre3-Apto206	0.14	50.38	Junc Calentador-Torre3-Apto906	0.14	26.63
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto204	0.09	50.42	Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto904	0.09	26.59
Junc Lavadora-Torre3-Apto206	0.15	50.45	Junc Lavadora-Torre3-Apto906	0.15	26.64
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto206	0.09	50.46	Junc Lavaplatos-Torre3-Apto906	0.09	26.62
Junc Lavadora-Torre3-Apto208	0.15	50.47	Junc Lavadora-Torre3-Apto908	0.15	26.99
Junc Sanitario2-Torre3-Apto205	0.18	50.49	Junc Sanitario2-Torre3-Apto905	0.18	26.69

Tabla 16. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas en los pisos bajos en el modelo real – Torres 1 a 3, Pisos 2 y 9.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1004	0.12	52.93
Junc Ducha1-Torre2-Apto1005	0.12	52.96
Junc Ducha2-Torre2-Apto1004	0.12	53.00
Junc Ducha2-Torre2-Apto1005	0.12	52.96
Junc Lavadora-Torre2-Apto1004	0.15	53.02
Junc Lavadora-Torre2-Apto1005	0.15	53.04
Junc Ducha1-Torre2-Apto1001	0.12	53.40
Junc Lavadero-Torre2-Apto1004	0.09	53.09
Junc Lavadero-Torre2-Apto1005	0.09	53.27
Junc Ducha1-Torre2-Apto1008	0.12	53.60
Junc Ducha2-Torre2-Apto1001	0.12	53.66
Junc Ducha1-Torre2-Apto1003	0.12	53.27
Junc Calentador-Torre2-Apto1004	0.14	53.23
Junc Ducha2-Torre2-Apto1003	0.12	53.26
Junc Ducha2-Torre2-Apto1008	0.12	53.68
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1004	0.08	53.20
Junc Calentador-Torre2-Apto1005	0.14	53.29
Junc Lavadero-Torre2-Apto1006	0.09	53.34
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1004	0.18	53.34
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1005	0.08	53.53
Junc Ducha2-Torre2-Apto1006	0.12	53.38
Junc Ducha1-Torre2-Apto1002	0.12	53.77
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1005	0.18	53.42
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1004	0.08	53.55
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1004	0.08	53.41
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1005	0.09	53.50
Junc Calentador-Torre2-Apto1006	0.14	53.58
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1004	0.09	53.54
Junc Lavadora-Torre2-Apto1006	0.15	53.59
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1006	0.09	53.57
Junc Lavadora-Torre2-Apto1008	0.15	53.94
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1005	0.18	53.65

Tabla 17. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas en el modelo real – Torre 2, Piso 10.

➤ MODELO PROPUESTO

Para este *modelo propuesto* del proyecto PROVENZA PRESTIGE, se identificó que en los pisos altos al igual que en el *modelo real*, en el último piso de la torre 2 se presentan las presiones más bajas por las mismas razones ya expuestas y tal y como se puede apreciar en las Tabla 18 y Tabla 19.

En los *pisos bajos* de cada torre las presiones ya no se encuentran igualadas, ya que la única estación reguladora de presión se encuentra en el sótano muy cerca del cuarto de bombas y no las verticales de la torre, como sucede en *modelo real*, las diferencias de longitudes entre la válvula y los pisos de cada torre y por tanto cambian las presiones según la torre.



Las presiones con mayor desfavorabilidad en los aparatos hidráulicos fueron aproximadamente entre 24.93 m.c.a. (35.30 PSI) y 25.00 m.c.a. (35.50 PSI) para el piso 18 en la torre 2, mientras tanto, las del piso 17 de las torres 1 y 3 que variaron entre 24.99 m.c.a. (35.40 PSI) y 29.14 m.c.a. (41.30 PSI). Estas presiones son un poco más bajas que las del *modelo real*, pero, no son los suficientes bajos para un mal funcionamiento de los aparatos.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	24.99	Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	27.94
Junc Ducha1-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	25.02	Junc Lavadora-Torre1-Apto1703	59.85	0.15	27.97
Junc Ducha2-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	25.06	Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	27.99
Junc Ducha1-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	25.09	Junc Lavadero-Torre1-Apto1703	59.95	0.09	27.99
Junc Ducha2-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	25.12	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.00
Junc Ducha1-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	25.12	Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	28.01
Junc Ducha2-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	25.16	Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	28.02
Junc Ducha2-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	25.21	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	28.03
Junc Lavadora-Torre3-Apto1705	59.85	0.15	25.29	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	28.03
Junc Calentador-Torre3-Apto1704	60.45	0.14	25.30	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1707	59.65	0.09	28.10
Junc Lavadero-Torre3-Apto1705	59.95	0.09	25.31	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	28.11
Junc Calentador-Torre3-Apto1705	60.45	0.14	25.32	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	28.12
Junc Lavadora-Torre3-Apto1704	59.85	0.15	25.33	Junc Sanitario3-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.13
Junc Lavadero-Torre3-Apto1704	59.95	0.09	25.35	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	28.17
Junc Calentador-Torre3-Apto1708	60.45	0.14	25.40	Junc Ducha1-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	28.19
Junc Ducha1-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	25.41	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	28.21
Junc Calentador-Torre3-Apto1701	60.45	0.14	25.42	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	28.25
Junc Lavadora-Torre3-Apto1708	59.85	0.15	25.44	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1703	59.65	0.09	28.27
Junc Lavadero-Torre3-Apto1708	59.95	0.09	25.46	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	28.28
Junc Calentador-Torre3-Apto1706	60.45	0.14	25.50	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	28.29
Junc Lavadora-Torre3-Apto1701	59.85	0.15	25.53	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	28.30
Junc Ducha1-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	25.54	Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1702	59.65	0.09	28.31
Junc Lavadero-Torre3-Apto1701	59.95	0.09	25.55	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	28.33
Junc Lavadero-Torre3-Apto1706	59.95	0.09	25.56	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	28.35
Junc Ducha2-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	25.56	Junc Ducha1-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	28.42
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	25.56	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	28.47
Junc Ducha2-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	25.57	Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	28.49
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	25.60	Junc Sanitario2-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	28.62
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	25.63	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	28.64
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	25.65	Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	28.88
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	25.66	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	28.91
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	25.67	Junc Sanitario1-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	29.14
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	25.68				

Tabla 18. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto – Torres 1 y 3, Piso 17.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	22.93	Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	23.80
Junc Ducha1-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	22.95	Junc Lavadora-Torre2-Apto1803	63.15	0.15	23.83
Junc Ducha2-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	22.99	Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	23.85
Junc Ducha1-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	23.02	Junc Lavadero-Torre2-Apto1803	63.25	0.09	23.85
Junc Ducha2-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	23.05	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.86
Junc Ducha1-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	23.05	Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	23.87
Junc Ducha2-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	23.10	Junc Lavadero-Torre2-Apto1802	63.25	0.09	23.88
Junc Ducha2-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	23.14	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	23.89
Junc Calentador-Torre2-Apto1804	63.75	0.14	23.24	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	23.89
Junc Calentador-Torre2-Apto1805	63.75	0.14	23.26	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1807	62.95	0.09	23.96
Junc Lavadora-Torre2-Apto1804	63.15	0.15	23.27	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	23.98
Junc Lavadero-Torre2-Apto1804	63.25	0.09	23.29	Junc Sanitario3-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.98
Junc Calentador-Torre2-Apto1808	63.75	0.14	23.34	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	24.01
Junc Calentador-Torre2-Apto1801	63.75	0.14	23.35	Junc Ducha1-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	24.05
Junc Lavadora-Torre2-Apto1805	63.15	0.15	23.37	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	24.06
Junc Lavadora-Torre2-Apto1808	63.15	0.15	23.37	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	24.07
Junc Lavadero-Torre2-Apto1805	63.25	0.09	23.39	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	24.11
Junc Lavadero-Torre2-Apto1808	63.25	0.09	23.39	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1803	62.95	0.09	24.13
Junc Calentador-Torre2-Apto1806	63.75	0.14	23.43	Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1802	62.95	0.09	24.15
Junc Lavadora-Torre2-Apto1801	63.15	0.15	23.46	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	24.16
Junc Ducha1-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	23.47	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	24.18
Junc Lavadero-Torre2-Apto1801	63.25	0.09	23.48	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	24.19
Junc Lavadero-Torre2-Apto1806	63.25	0.09	23.49	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	24.19
Junc Ducha2-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	23.50	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	24.21
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	23.50	Junc Ducha1-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	24.28
Junc Ducha2-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	23.51	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	24.33
Junc Ducha1-Torre2-Apto1802	63.35	0.12	23.52	Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	24.35
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	23.53	Junc Sanitario2-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	24.48
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	23.58	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	24.50
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	23.60	Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	24.74
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	23.60	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	24.77
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	23.62	Junc Sanitario1-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	25.00

Tabla 19. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto – Torre 2, Piso 18.

De los resultados obtenidos en esta simulación, se puede ver en las Tabla 20 y Tabla 21 que la red regulada en todas las torres fluctuó entre ellas. La presión más baja se encontró en la torre 3, en uno de los lavamos del apartamento 905 con un valor de 26.40 m.c.a. (37.30 PSI), por el contrario, la presión más alta sucedió en la torre 1, en la ducha del apartamento 205 con 49.81 m.c.a. (70.60 PSI).

<u>Nodo ID</u>	Base Demand LPS	Pressure m	<u>Nodo ID</u>	Base Demand LPS	Pressure m
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto205</u>	0.12	49.81	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto905</u>	0.12	25.72
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto204</u>	0.12	49.83	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto904</u>	0.12	25.74
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto205</u>	0.12	49.88	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto905</u>	0.12	25.79
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto201</u>	0.12	49.90	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto901</u>	0.12	25.81
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto204</u>	0.12	49.93	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto904</u>	0.12	25.84
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto208</u>	0.12	49.93	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto908</u>	0.12	25.84
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto201</u>	0.12	49.97	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto901</u>	0.12	25.88
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto208</u>	0.12	50.02	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto908</u>	0.12	25.93
<u>Junc Lavadora-Torre1-Apto205</u>	0.15	50.11	<u>Junc Lavadora-Torre3-Apto905</u>	0.15	26.02
<u>Junc Calentador-Torre1-Apto204</u>	0.14	50.11	<u>Junc Calentador-Torre3-Apto904</u>	0.14	26.02
<u>Junc Lavadero-Torre1-Apto205</u>	0.09	50.13	<u>Junc Lavadero-Torre3-Apto905</u>	0.09	26.04
<u>Junc Calentador-Torre1-Apto205</u>	0.14	50.14	<u>Junc Calentador-Torre3-Apto905</u>	0.14	26.05
<u>Junc Lavadora-Torre1-Apto204</u>	0.15	50.14	<u>Junc Lavadora-Torre3-Apto904</u>	0.15	26.05
<u>Junc Lavadero-Torre1-Apto204</u>	0.09	50.16	<u>Junc Lavadero-Torre3-Apto904</u>	0.09	26.07
<u>Junc Calentador-Torre1-Apto208</u>	0.14	50.21	<u>Junc Calentador-Torre3-Apto908</u>	0.14	26.12
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto202</u>	0.12	50.22	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto902</u>	0.12	26.13
<u>Junc Calentador-Torre1-Apto201</u>	0.14	50.23	<u>Junc Calentador-Torre3-Apto901</u>	0.14	26.14
<u>Junc Lavadora-Torre1-Apto208</u>	0.15	50.25	<u>Junc Lavadora-Torre3-Apto908</u>	0.15	26.16
<u>Junc Lavadero-Torre1-Apto208</u>	0.09	50.27	<u>Junc Lavadero-Torre3-Apto908</u>	0.09	26.18
<u>Junc Calentador-Torre1-Apto206</u>	0.14	50.31	<u>Junc Calentador-Torre3-Apto906</u>	0.14	26.23
<u>Junc Lavadora-Torre1-Apto201</u>	0.15	50.34	<u>Junc Lavadora-Torre3-Apto901</u>	0.15	26.25
<u>Junc Ducha1-Torre1-Apto203</u>	0.12	50.35	<u>Junc Ducha1-Torre3-Apto903</u>	0.12	26.26
<u>Junc Lavadora-Torre1-Apto201</u>	0.15	50.36	<u>Junc Lavadora-Torre3-Apto901</u>	0.15	26.27
<u>Junc Lavadero-Torre1-Apto206</u>	0.09	50.37	<u>Junc Lavadero-Torre3-Apto906</u>	0.09	26.29
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto203</u>	0.12	50.37	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto903</u>	0.12	26.28
<u>Junc Lavamanos1-Torre1-Apto204</u>	0.08	50.37	<u>Junc Lavamanos1-Torre3-Apto904</u>	0.08	26.28
<u>Junc Ducha2-Torre1-Apto206</u>	0.12	50.38	<u>Junc Ducha2-Torre3-Apto906</u>	0.12	26.30
<u>Junc Lavamanos1-Torre1-Apto205</u>	0.08	50.42	<u>Junc Lavamanos1-Torre3-Apto905</u>	0.08	26.33
<u>Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto205</u>	0.08	50.45	<u>Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto905</u>	0.08	26.36
<u>Junc Lavamanos2-Torre1-Apto204</u>	0.08	50.46	<u>Junc Lavamanos2-Torre3-Apto904</u>	0.08	26.37
<u>Junc Lavamanos1-Torre1-Apto208</u>	0.08	50.47	<u>Junc Lavamanos1-Torre3-Apto908</u>	0.08	26.38
<u>Junc Lavamanos2-Torre1-Apto205</u>	0.08	50.49	<u>Junc Lavamanos2-Torre3-Apto905</u>	0.08	26.40

Tabla 20. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones obtenidas de la red regulada en el modelo propuesto – Torre 1, Piso 2 y Torre 3, Piso 10.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1004	0.12	50.51
Junc Ducha1-Torre2-Apto1005	0.12	50.47
Junc Ducha2-Torre2-Apto1004	0.12	50.58
Junc Ducha2-Torre2-Apto1005	0.12	50.47
Junc Lavadora-Torre2-Apto1004	0.15	50.60
Junc Lavadora-Torre2-Apto1005	0.15	50.55
Junc Ducha1-Torre2-Apto1001	0.12	50.64
Junc Lavadero-Torre2-Apto1004	0.09	50.67
Junc Lavadero-Torre2-Apto1005	0.09	50.78
Junc Ducha1-Torre2-Apto1008	0.12	50.80
Junc Ducha2-Torre2-Apto1001	0.12	50.90
Junc Ducha1-Torre2-Apto1003	0.12	50.89
Junc Calentador-Torre2-Apto1004	0.14	50.81
Junc Ducha2-Torre2-Apto1003	0.12	50.88
Junc Ducha2-Torre2-Apto1008	0.12	50.88
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1004	0.08	50.78
Junc Calentador-Torre2-Apto1005	0.14	50.80
Junc Lavadero-Torre2-Apto1006	0.09	50.81
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1004	0.18	50.92
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1005	0.08	51.04
Junc Ducha2-Torre2-Apto1006	0.12	50.85
Junc Ducha1-Torre2-Apto1002	0.12	51.08
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1005	0.18	50.93
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1004	0.08	51.13
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1004	0.08	50.99
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1005	0.09	51.01
Junc Calentador-Torre2-Apto1006	0.14	51.05
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1004	0.09	51.12
Junc Lavadora-Torre2-Apto1006	0.15	51.06
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1006	0.09	51.04
Junc Lavadora-Torre2-Apto1008	0.15	51.14
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1005	0.18	51.16

Tabla 21. Proyecto PROVENZA PRESTIGE: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto – Torre 2, Piso 10.

### 7.1.3. BLANC

Como se indicó en capítulo 6.2, Consideraciones y Suposiciones, en el proyecto BLANC al ser un proyecto exclusivamente de vivienda con apartamentos iguales en todos los pisos, se decidió realizar solamente el trazado del último piso, y se estimó la caída de presión desde el medidor hasta el aparato hidráulico que será exactamente la misma en cada piso al tener mismas longitudes y accesorios.

Estos resultados se obtuvieron de manera manual y se compilaron en una tabla de datos usando Excel, por lo que la presentación de ciertos resultados es diferente a las del programa.

➤ MODELO REAL

El modelo de suministro implementado en esta única torre de vivienda, el cual se conforma de dos redes verticales que alimenta de bajada los medidores que hay en todo el edificio, se espera que en las plantas 5 (*pisos bajos*) y 9 (*pisos altos*) se presentaran las presiones más altas del edificio.

Por otro lado, en la planta 8, la cual se encuentra conectada a la red de *pisos bajos*, y el piso 16, correspondiente a la red de *pisos altos*, se presentan las presiones más desfavorables del proyecto, específicamente, las del piso 8 son las más bajas y esto sucede debido a que el piso 16 están conectado a la red que funciona gracias a la acción de la gravedad y tiene ayuda del equipo hidroneumático.

Se identifica que las duchas de la serie X03 se genera las presiones más bajas de cada piso, las presiones más bajas identificadas en el modelo real fueron de 22.50 y 19.08 m.c.a. (32 y 27 PSI aproximadamente) en los pisos 16 y 8 respectivamente.

La Tabla 22 muestra las presiones obtenidas directamente desde EPANET, mientras que la Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25 se observan las presiones obtenidas que se crearon en Excel.

Node ID	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto1603	0.12	22.50	Junc Ducha-Apto1605	0.12	24.98
Junc Lavamanos2-Apto1603	0.08	23.08	Junc Calentador-Apto1602	0.14	25.16
Junc Sanitario2-Apto1603	0.18	23.30	Junc Lavaplatos-Apto1601	0.09	25.24
Junc Ducha1-Apto1603	0.12	23.52	Junc Lavadora-Apto1604	0.15	25.27
Junc Ducha-Apto1601	0.12	23.59	Junc Ducha-Apto1606	0.12	25.41
Junc Lavadero-Apto1602	0.09	23.69	Junc Calentador-Apto1604	0.14	25.45
Junc Lavadora-Apto1603	0.15	23.81	Junc Lavaplatos-Apto1604	0.09	25.53
Junc Ducha-Apto1602	0.12	23.85	Junc Ducha-Apto1607	0.12	25.56
Junc Lavadero-Apto1603	0.09	23.87	Junc Lavamanos-Apto1605	0.08	25.57
Junc Lavadora-Apto1602	0.15	23.92	Junc Sanitario-Apto1605	0.18	25.81
Junc Lavaplatos-Apto1603	0.09	24.04	Junc Lavamanos-Apto1606	0.08	26.03
Junc Ducha-Apto1604	0.15	24.05	Junc Lavamanos-Apto1607	0.08	26.13
Junc Lavamanos1-Apto1603	0.08	24.10	Junc Calentador-Apto1605	0.14	26.16
Junc Lavamanos1-Apto1601	0.08	24.17	Junc Sanitario-Apto1606	0.18	26.17
Junc Sanitario1-Apto1603	0.18	24.31	Junc Lavadora-Apto1606	0.15	26.19
Junc Lavamanos-Apto1602	0.08	24.32	Junc Lavadero-Apto1606	0.09	26.20
Junc Sanitario1-Apto1601	0.18	24.39	Junc Calentador-Apto1601	0.14	26.32
Junc Calentador-Apto1603	0.14	24.39	Junc Sanitario-Apto1607	0.18	26.36
Junc Lavaplatos-Apto1602	0.09	24.45	Junc Lavadora-Apto1605	0.15	26.42
Junc Lavadero-Apto1601	0.09	24.48	Junc Lavaplatos-Apto1606	0.09	26.43
Junc Lavamanos2-Apto1601	0.08	24.59	Junc Calentador-Apto1606	0.14	26.48
Junc Sanitario-Apto1602	0.18	24.70	Junc Lavadero-Apto1607	0.09	26.50
Junc Lavadora-Apto1601	0.15	24.72	Junc Lavadora-Apto1607	0.15	26.58
Junc Lavamanos-Apto1604	0.08	24.78	Junc Calentador-Apto1607	0.14	26.68
Junc Sanitario-Apto1604	0.18	24.92	Junc Lavaplatos-Apto1605	0.09	26.71
Junc Sanitario2-Apto1601	0.18	24.93	Junc Lavaplatos-Apto1607	0.09	26.78

Tabla 22. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Piso 16.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto803	0.12	19.08	Junc Ducha-Apto805	0.12	21.57
Junc Lavamanos2-Apto803	0.08	19.66	Junc Calentador-Apto802	0.14	21.75
Junc Sanitario2-Apto803	0.18	19.88	Junc Lavaplatos-Apto801	0.09	21.82
Junc Ducha1-Apto803	0.12	20.10	Junc Lavadora-Apto804	0.15	21.86
Junc Ducha-Apto801	0.12	20.17	Junc Ducha-Apto806	0.12	21.99
Junc Lavadero-Apto802	0.09	20.28	Junc Calentador-Apto804	0.14	22.04
Junc Lavadora-Apto803	0.15	20.39	Junc Lavaplatos-Apto804	0.09	22.12
Junc Ducha-Apto802	0.12	20.44	Junc Ducha-Apto807	0.12	22.14
Junc Lavadero-Apto803	0.09	20.45	Junc Lavamanos-Apto805	0.08	22.16
Junc Lavadora-Apto802	0.15	20.51	Junc Sanitario-Apto805	0.18	22.40
Junc Lavaplatos-Apto803	0.09	20.62	Junc Lavamanos-Apto806	0.08	22.61
Junc Ducha-Apto804	0.15	20.64	Junc Lavamanos-Apto807	0.08	22.71
Junc Lavamanos1-Apto803	0.08	20.68	Junc Calentador-Apto805	0.14	22.75
Junc Lavamanos1-Apto801	0.08	20.75	Junc Sanitario-Apto806	0.18	22.75
Junc Sanitario1-Apto803	0.18	20.89	Junc Lavadora-Apto806	0.15	22.77
Junc Lavamanos-Apto802	0.08	20.91	Junc Lavadero-Apto806	0.09	22.78
Junc Sanitario1-Apto801	0.18	20.97	Junc Calentador-Apto801	0.14	22.90
Junc Calentador-Apto803	0.14	20.97	Junc Sanitario-Apto807	0.18	22.94
Junc Lavaplatos-Apto802	0.09	21.04	Junc Lavadora-Apto805	0.15	23.01
Junc Lavadero-Apto801	0.09	21.06	Junc Lavaplatos-Apto806	0.09	23.01
Junc Lavamanos2-Apto801	0.08	21.17	Junc Calentador-Apto806	0.14	23.06
Junc Sanitario-Apto802	0.18	21.29	Junc Lavadero-Apto807	0.09	23.08
Junc Lavadora-Apto801	0.15	21.30	Junc Lavadora-Apto807	0.15	23.16
Junc Lavamanos-Apto804	0.08	21.37	Junc Calentador-Apto807	0.14	23.26
Junc Sanitario-Apto804	0.18	21.51	Junc Lavaplatos-Apto805	0.09	23.30
Junc Sanitario2-Apto801	0.18	21.51	Junc Lavaplatos-Apto807	0.09	23.36

Tabla 23. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo real - Piso 8.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto903	0.12	42.53	Junc Ducha-Apto905	0.12	45.01
Junc Lavamanos2-Apto903	0.02	43.11	Junc Calentador-Apto902	0.14	45.20
Junc Sanitario2-Apto903	0.12	43.33	Junc Lavaplatos-Apto901	0.09	45.27
Junc Ducha1-Apto903	0.12	43.55	Junc Lavadora-Apto904	0.15	45.31
Junc Ducha-Apto901	0.12	43.62	Junc Ducha-Apto906	0.12	45.44
Junc Lavadero-Apto902	0.09	43.73	Junc Calentador-Apto904	0.14	45.49
Junc Lavadora-Apto903	0.15	43.84	Junc Lavaplatos-Apto904	0.09	45.57
Junc Ducha-Apto902	0.12	43.89	Junc Ducha-Apto907	0.12	45.59
Junc Lavadero-Apto903	0.09	43.90	Junc Lavamanos-Apto905	0.02	45.60
Junc Lavadora-Apto902	0.15	43.96	Junc Sanitario-Apto905	0.12	45.84
Junc Lavaplatos-Apto903	0.09	44.07	Junc Lavamanos-Apto906	0.02	46.06
Junc Ducha-Apto904	0.15	44.09	Junc Lavamanos-Apto907	0.02	46.16
Junc Lavamanos1-Apto903	0.02	44.13	Junc Calentador-Apto905	0.14	46.19
Junc Lavamanos1-Apto901	0.02	44.20	Junc Sanitario-Apto906	0.12	46.20
Junc Sanitario1-Apto903	0.12	44.34	Junc Lavadora-Apto906	0.15	46.22
Junc Lavamanos-Apto902	0.02	44.36	Junc Lavadero-Apto906	0.09	46.23
Junc Sanitario1-Apto901	0.12	44.42	Junc Calentador-Apto901	0.14	46.35
Junc Calentador-Apto903	0.14	44.42	Junc Sanitario-Apto907	0.12	46.39
Junc Lavaplatos-Apto902	0.09	44.49	Junc Lavadora-Apto905	0.15	46.45
Junc Lavadero-Apto901	0.09	44.51	Junc Lavaplatos-Apto906	0.09	46.46
Junc Lavamanos2-Apto901	0.02	44.62	Junc Calentador-Apto906	0.14	46.51
Junc Sanitario-Apto902	0.12	44.74	Junc Lavadero-Apto907	0.09	46.53
Junc Lavadora-Apto901	0.15	44.75	Junc Lavadora-Apto907	0.15	46.61
Junc Lavamanos-Apto904	0.02	44.82	Junc Calentador-Apto907	0.14	46.71
Junc Sanitario-Apto904	0.12	44.96	Junc Lavaplatos-Apto905	0.09	46.74
Junc Sanitario2-Apto901	0.12	44.96	Junc Lavaplatos-Apto907	0.09	46.81

Tabla 24. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo real - Piso 9.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto503	0.12	27.58	Junc Ducha-Apto505	0.12	30.07
Junc Lavamanos2-Apto503	0.05	28.16	Junc Calentador-Apto502	0.14	30.25
Junc Sanitario2-Apto503	0.15	28.38	Junc Lavaplatos-Apto501	0.09	30.32
Junc Ducha1-Apto503	0.12	28.60	Junc Lavadora-Apto504	0.15	30.36
Junc Ducha-Apto501	0.12	28.67	Junc Ducha-Apto506	0.12	30.49
Junc Lavadero-Apto502	0.09	28.78	Junc Calentador-Apto504	0.14	30.54
Junc Lavadora-Apto503	0.15	28.89	Junc Lavaplatos-Apto504	0.09	30.62
Junc Ducha-Apto502	0.12	28.94	Junc Ducha-Apto507	0.12	30.65
Junc Lavadero-Apto503	0.09	28.95	Junc Lavamanos-Apto505	0.05	30.66
Junc Lavadora-Apto502	0.15	29.01	Junc Sanitario-Apto505	0.15	30.90
Junc Lavaplatos-Apto503	0.09	29.12	Junc Lavamanos-Apto506	0.05	31.11
Junc Ducha-Apto504	0.15	29.14	Junc Lavamanos-Apto507	0.05	31.22
Junc Lavamanos1-Apto503	0.05	29.18	Junc Calentador-Apto505	0.14	31.25
Junc Lavamanos1-Apto501	0.05	29.25	Junc Sanitario-Apto506	0.15	31.25
Junc Sanitario1-Apto503	0.15	29.39	Junc Lavadora-Apto506	0.15	31.27
Junc Lavamanos-Apto502	0.05	29.41	Junc Lavadero-Apto506	0.09	31.28
Junc Sanitario1-Apto501	0.15	29.47	Junc Calentador-Apto501	0.14	31.40
Junc Calentador-Apto503	0.14	29.47	Junc Sanitario-Apto507	0.15	31.45
Junc Lavaplatos-Apto502	0.09	29.54	Junc Lavadora-Apto505	0.15	31.51
Junc Lavadero-Apto501	0.09	29.56	Junc Lavaplatos-Apto506	0.09	31.51
Junc Lavamanos2-Apto501	0.05	29.67	Junc Calentador-Apto506	0.14	31.56
Junc Sanitario-Apto502	0.15	29.79	Junc Lavadero-Apto507	0.09	31.59
Junc Lavadora-Apto501	0.15	29.80	Junc Lavadora-Apto507	0.15	31.67
Junc Lavamanos-Apto504	0.05	29.87	Junc Calentador-Apto507	0.14	31.77
Junc Sanitario-Apto504	0.15	30.01	Junc Lavaplatos-Apto505	0.09	31.80
Junc Sanitario2-Apto501	0.15	30.01	Junc Lavaplatos-Apto507	0.09	31.87

Tabla 25. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo real – Piso 5.

➤ MODELO PROPUESTO

En el *modelo propuesto* del proyecto BLANC se observa que las presiones obtenidas en los *pisos altos* estuvieron entre 19.50 y 39.00 m.c.a. (28 y 55 PSI), mientras tanto, que en los *pisos bajos* se alcanzaron presiones entre 35.00 y 49.50 m.c.a., aproximadamente 50 y 70 PSI.

En general las presiones registradas en el piso 5 de este *modelo propuesto* son más altas que las del *modelo real*, esto sucede porque la presión que gana la red por gravedad, como es la alternativa real, no es suficiente a la red que adquiere presión por la gravedad y el equipo de presión, como lo es la alternativa propuesta.

Al igual que en *modelo real*, la Tabla 26 fue obtenida directamente desde el EPANET y la Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 fueron consolidadas en Excel a partir de los resultados de la simulación.

Node ID	Base Demand LPS	Pressure m	Node ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto1603	0.12	19.83	Junc Ducha-Apto1605	0.12	22.28
Junc Lavamanos2-Apto1603	0.08	20.42	Junc Calentador-Apto1602	0.14	22.45
Junc Sanitario2-Apto1603	0.18	20.63	Junc Lavaplatos-Apto1601	0.09	22.53
Junc Ducha1-Apto1603	0.12	20.85	Junc Lavadora-Apto1604	0.15	22.56
Junc Ducha-Apto1601	0.12	20.88	Junc Ducha-Apto1606	0.12	22.70
Junc Lavadero-Apto1602	0.09	20.98	Junc Calentador-Apto1604	0.14	22.74
Junc Lavadora-Apto1603	0.15	21.11	Junc Lavaplatos-Apto1604	0.09	22.82
Junc Ducha-Apto1602	0.12	21.15	Junc Ducha-Apto1607	0.12	22.85
Junc Lavadero-Apto1603	0.09	21.16	Junc Lavamanos-Apto1605	0.08	22.87
Junc Lavadora-Apto1602	0.15	21.22	Junc Sanitario-Apto1605	0.18	23.10
Junc Lavaplatos-Apto1603	0.09	21.34	Junc Lavamanos-Apto1606	0.08	23.32
Junc Ducha-Apto1604	0.15	21.35	Junc Lavamanos-Apto1607	0.08	23.43
Junc Lavamanos1-Apto1603	0.08	21.43	Junc Calentador-Apto1605	0.14	23.45
Junc Lavamanos1-Apto1601	0.08	21.47	Junc Sanitario-Apto1606	0.18	23.50
Junc Lavamanos-Apto1602	0.08	21.61	Junc Lavadora-Apto1606	0.15	23.52
Junc Sanitario1-Apto1603	0.18	21.65	Junc Lavadero-Apto1606	0.09	23.53
Junc Sanitario1-Apto1601	0.18	21.68	Junc Calentador-Apto1601	0.14	23.62
Junc Calentador-Apto1603	0.14	21.69	Junc Sanitario-Apto1607	0.18	23.65
Junc Lavaplatos-Apto1602	0.09	21.75	Junc Lavadora-Apto1605	0.15	23.72
Junc Lavadero-Apto1601	0.09	21.77	Junc Lavaplatos-Apto1606	0.09	23.76
Junc Lavamanos2-Apto1601	0.08	21.88	Junc Calentador-Apto1606	0.14	23.77
Junc Sanitario-Apto1602	0.18	21.99	Junc Lavadero-Apto1607	0.09	23.79
Junc Lavadora-Apto1601	0.15	22.01	Junc Lavadora-Apto1607	0.15	23.87
Junc Lavamanos-Apto1604	0.08	22.07	Junc Calentador-Apto1607	0.14	23.97
Junc Sanitario-Apto1604	0.18	22.21	Junc Lavaplatos-Apto1605	0.09	24.00
Junc Sanitario2-Apto1601	0.18	22.23	Junc Lavaplatos-Apto1607	0.09	24.07

Tabla 26. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 16.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto1003	0.12	27.91	Junc Ducha-Apto1005	0.12	30.39
Junc Lavamanos2-Apto1003	0.08	28.49	Junc Calentador-Apto1002	0.14	30.57
Junc Sanitario2-Apto1003	0.18	28.71	Junc Lavaplatos-Apto1001	0.09	30.65
Junc Ducha1-Apto1003	0.12	28.93	Junc Lavadora-Apto1004	0.15	30.69
Junc Ducha-Apto1001	0.12	29.00	Junc Ducha-Apto1006	0.12	30.82
Junc Lavadero-Apto1002	0.09	29.10	Junc Calentador-Apto1004	0.14	30.87
Junc Lavadora-Apto1003	0.15	29.22	Junc Lavaplatos-Apto1004	0.09	30.95
Junc Ducha-Apto1002	0.12	29.26	Junc Ducha-Apto1007	0.12	30.97
Junc Lavadero-Apto1003	0.09	29.28	Junc Lavamanos-Apto1005	0.08	30.98
Junc Lavadora-Apto1002	0.15	29.33	Junc Sanitario-Apto1005	0.18	31.22
Junc Lavaplatos-Apto1003	0.09	29.45	Junc Lavamanos-Apto1006	0.08	31.44
Junc Ducha-Apto1004	0.15	29.47	Junc Lavamanos-Apto1007	0.08	31.54
Junc Lavamanos1-Apto1003	0.08	29.51	Junc Calentador-Apto1005	0.14	31.57
Junc Lavamanos1-Apto1001	0.08	29.58	Junc Sanitario-Apto1006	0.18	31.58
Junc Sanitario1-Apto1003	0.18	29.72	Junc Lavadora-Apto1006	0.15	31.60
Junc Lavamanos-Apto1002	0.08	29.73	Junc Lavadero-Apto1006	0.09	31.61
Junc Sanitario1-Apto1001	0.18	29.80	Junc Calentador-Apto1001	0.14	31.73
Junc Calentador-Apto1003	0.14	29.80	Junc Sanitario-Apto1007	0.18	31.77
Junc Lavaplatos-Apto1002	0.09	29.86	Junc Lavadora-Apto1005	0.15	31.83
Junc Lavadero-Apto1001	0.09	29.89	Junc Lavaplatos-Apto1006	0.09	31.84
Junc Lavamanos2-Apto1001	0.08	30.00	Junc Calentador-Apto1006	0.14	31.89
Junc Sanitario-Apto1002	0.18	30.11	Junc Lavadero-Apto1007	0.09	31.91
Junc Lavadora-Apto1001	0.15	30.13	Junc Lavadora-Apto1007	0.15	31.99
Junc Lavamanos-Apto1004	0.08	30.20	Junc Calentador-Apto1007	0.14	32.09
Junc Sanitario-Apto1004	0.18	30.34	Junc Lavaplatos-Apto1005	0.09	32.12
Junc Sanitario2-Apto1001	0.18	30.34	Junc Lavaplatos-Apto1007	0.09	32.19

Tabla 27. Proyecto BLANC: Presiones bajas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 10.



Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto503	0.12	42.13	Junc Ducha-Apto505	0.12	44.62
Junc Lavamanos2-Apto503	0.05	42.71	Junc Calentador-Apto502	0.14	44.80
Junc Sanitario2-Apto503	0.15	42.93	Junc Lavaplatos-Apto501	0.09	44.88
Junc Ducha1-Apto503	0.12	43.15	Junc Lavadora-Apto504	0.15	44.91
Junc Ducha-Apto501	0.12	43.23	Junc Ducha-Apto506	0.12	45.05
Junc Lavadero-Apto502	0.09	43.33	Junc Calentador-Apto504	0.14	45.09
Junc Lavadora-Apto503	0.15	43.44	Junc Lavaplatos-Apto504	0.09	45.17
Junc Ducha-Apto502	0.12	43.49	Junc Ducha-Apto507	0.12	45.20
Junc Lavadero-Apto503	0.09	43.50	Junc Lavamanos-Apto505	0.05	45.21
Junc Lavadora-Apto502	0.15	43.56	Junc Sanitario-Apto505	0.15	45.45
Junc Lavaplatos-Apto503	0.09	43.67	Junc Lavamanos-Apto506	0.05	45.67
Junc Ducha-Apto504	0.15	43.69	Junc Lavamanos-Apto507	0.05	45.77
Junc Lavamanos1-Apto503	0.05	43.73	Junc Calentador-Apto505	0.14	45.80
Junc Lavamanos1-Apto501	0.05	43.81	Junc Sanitario-Apto506	0.15	45.81
Junc Sanitario1-Apto503	0.15	43.94	Junc Lavadora-Apto506	0.15	45.83
Junc Lavamanos-Apto502	0.05	43.96	Junc Lavadero-Apto506	0.09	45.84
Junc Sanitario1-Apto501	0.15	44.03	Junc Calentador-Apto501	0.14	45.96
Junc Calentador-Apto503	0.14	44.02	Junc Sanitario-Apto507	0.15	46.00
Junc Lavaplatos-Apto502	0.09	44.09	Junc Lavadora-Apto505	0.15	46.06
Junc Lavadero-Apto501	0.09	44.12	Junc Lavaplatos-Apto506	0.09	46.07
Junc Lavamanos2-Apto501	0.05	44.23	Junc Calentador-Apto506	0.14	46.12
Junc Sanitario-Apto502	0.15	44.34	Junc Lavadero-Apto507	0.09	46.14
Junc Lavadora-Apto501	0.15	44.36	Junc Lavadora-Apto507	0.15	46.22
Junc Lavamanos-Apto504	0.05	44.42	Junc Calentador-Apto507	0.14	46.32
Junc Sanitario-Apto504	0.15	44.56	Junc Lavaplatos-Apto505	0.09	46.35
Junc Sanitario2-Apto501	0.15	44.57	Junc Lavaplatos-Apto507	0.09	46.42

Tabla 28. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 5.

Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m	Nodo ID	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Apto1103	0.12	34.29	Junc Ducha-Apto1105	0.12	36.77
Junc Lavamanos2-Apto1103	0.02	34.87	Junc Calentador-Apto1102	0.14	36.95
Junc Sanitario2-Apto1103	0.12	35.09	Junc Lavaplatos-Apto1101	0.09	37.03
Junc Ducha1-Apto1103	0.12	35.31	Junc Lavadora-Apto1104	0.15	37.07
Junc Ducha-Apto1101	0.12	35.38	Junc Ducha-Apto1106	0.12	37.20
Junc Lavadero-Apto1102	0.09	35.48	Junc Calentador-Apto1104	0.14	37.25
Junc Lavadora-Apto1103	0.15	35.60	Junc Lavaplatos-Apto1104	0.09	37.33
Junc Ducha-Apto1102	0.12	35.64	Junc Ducha-Apto1107	0.12	37.35
Junc Lavadero-Apto1103	0.09	35.66	Junc Lavamanos-Apto1105	0.02	37.36
Junc Lavadora-Apto1102	0.15	35.71	Junc Sanitario-Apto1105	0.12	37.60
Junc Lavaplatos-Apto1103	0.09	35.83	Junc Lavamanos-Apto1106	0.02	37.82
Junc Ducha-Apto1104	0.15	35.85	Junc Lavamanos-Apto1107	0.02	37.92
Junc Lavamanos1-Apto1103	0.02	35.89	Junc Calentador-Apto1105	0.14	37.95
Junc Lavamanos1-Apto1101	0.02	35.96	Junc Sanitario-Apto1106	0.12	37.96
Junc Sanitario1-Apto1103	0.12	36.10	Junc Lavadora-Apto1106	0.15	37.98
Junc Lavamanos-Apto1102	0.02	36.11	Junc Lavadero-Apto1106	0.09	37.99
Junc Sanitario1-Apto1101	0.12	36.18	Junc Calentador-Apto1101	0.14	38.11
Junc Calentador-Apto1103	0.14	36.18	Junc Sanitario-Apto1107	0.12	38.15
Junc Lavaplatos-Apto1102	0.09	36.24	Junc Lavadora-Apto1105	0.15	38.21
Junc Lavadero-Apto1101	0.09	36.27	Junc Lavaplatos-Apto1106	0.09	38.22
Junc Lavamanos2-Apto1101	0.02	36.38	Junc Calentador-Apto1106	0.14	38.27
Junc Sanitario-Apto1102	0.12	36.49	Junc Lavadero-Apto1107	0.09	38.29
Junc Lavadora-Apto1101	0.15	36.51	Junc Lavadora-Apto1107	0.15	38.37
Junc Lavamanos-Apto1104	0.02	36.58	Junc Calentador-Apto1107	0.14	38.47
Junc Sanitario-Apto1104	0.12	36.72	Junc Lavaplatos-Apto1105	0.09	38.50
Junc Sanitario2-Apto1101	0.12	36.72	Junc Lavaplatos-Apto1107	0.09	38.57

Tabla 29. Proyecto BLANC: Presiones altas obtenidas en el modelo propuesto - Piso 11.

## 8. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN

Como se pudo apreciar en el capítulo pasado, hasta el momento solo se ha hablado en este trabajo de los resultados e interpretaciones a partir de las simulaciones hechas, sin embargo, desde el punto de vista técnico hay otros aspectos a ser tenidos en cuenta y que se incluirán en este capítulo, como lo son la operación y el mantenimiento del sistema, y así poder hacer una comparación más integral de los aspectos técnicos.

Así mismo, es importante realizar un comparativo económico pues si bien se puede ajustar los *modelos reales y propuestos* para que funcionen de manera óptima en el abastecimiento del proyecto, necesariamente se presenta una diferencia de costos entre los modelos que en ciertos casos puede ser un factor de peso para la toma de decisiones, esto se presentara en la sección 8.2.

### 8.1. ANÁLISIS Y COMPARATIVO TÉCNICO

#### 8.1.1. SIGMA

La ventaja del *modelo real* de SIGMA sin duda va más encaminada a la operación del edificio, en donde al tener dividido en tres zonas el edificio, se puede hacer cortes sectorizados del agua potable según donde sea requerido, facilitando así las reparaciones o mantenimiento de los sistemas sin afectar todo el edificio.

Por el contrario, este *modelo real* tiene unas desventajas que son notables, que afectan el buen funcionamiento de las redes del edificio. Primero, como ya se pudo apreciar en los resultados, el proyecto específicamente en los pisos 10 y 11 presentan un déficit de presión, comprometiendo el buen funcionamiento del sistema.

Adicionalmente, en general el sistema hidráulico es muy complejo de entender, esto por la cantidad de verticales presentes en funcionamiento, al igual que los numerosos equipos de presión y tanques que complementan la red, esto causa problemas al momento de realizar mantenimiento o arreglos, pues al no tener claridad del funcionamiento del sistema se empiezan hacer ajustes de la red que no tienen ningún sentido y lo único que causa es posibles del sistema.

En el *modelo propuesto* ocurre totalmente lo contrario al *modelo real*, es decir, que como ventaja de este sistema está en que, (i) las presiones a través de los pisos del edificio son más acorde a lo recomendado por los fabricantes, esto directamente hablando de los pisos 10 y 11. (ii) La alternativa propuesta al ser una única tubería vertical principal, un solo tanque y equipo de presión, hace más fácil la interpretación.

La desventaja por su lado es que este sistema para realizar arreglos y/o mantenimiento está sujeto a realizar un corte completo del suministro, y como tal se complejiza el garantizar un mínimo de

agua disponible para los momentos de corte de agua y que alcance para los tiempos estimados de arreglo o mantenimiento.

Tomando en cuenta todo lo dicho anteriormente, puede concluir que el *modelo propuesto* podría ser un sistema de abastecimiento más adecuado para el proyecto SIGMA, principalmente por la baja presión experimentada en ciertos pasos, y también, por las consecuencias de tener un sistema más fácil sin tantos elementos como los tiene el *modelo real*, donde se tendrá un trazado que requerirá mayor mantenimiento por los equipos y tanques adicionalmente que aumentan las interrupciones de la red.

#### 8.1.2. PROVENZA PRESTIGE

Como ventaja del *modelo real* está en que al momento de sufrir un daño o al verse descalibrado la válvula reguladora de presión se puede cortar el suministro de los *pisos bajos* de una sola torre y no todo el suministro de la torre afectada para realizar los ajustes y correctivos correspondientes.

Este proyecto en su *modelo real* tiene como desventaja desde un punto de vista del mantenimiento, donde el sistema al tener válvula de reguladora de presión por torre aumenta el mantenimiento del sistema, adicionalmente, con la ubicación de estas reguladoras de presión se debe prever un espacio lo suficiente cómodo en la vertical para realizar el mantenimiento, sin embargo, muchas veces es imposible dejar este espacio amplio y realizar cualquier movimiento toma un adicional.

Con el *modelo propuesto* para este proyecto, la cantidad de elementos que hacen parte de la red son muy similares al *modelo real*, pues ambos modelos al tener un único tanque de agua potable y equipo de presión la principal diferencia está en la estación reguladora de presión, donde el *modelo propuesto* tiene una estación para todo el proyecto, este elemento está ubicado en el cuarto de equipos.

Con todo lo dicho previamente, todos esos elementos descritos se deben ver como ventajas pues realmente ofrecen una mayor facilidad de mantenimiento y menor mantenimiento comparado con el *modelo real*.

Así mismo, el *modelo propuesto* si presenta la desventaja en la cual si se presenta algún problema en la estación reguladora de presión se debe cortar el suministro de los *pisos altos* de todas las torres.

En general, las presiones de ambos modelos son muy similares y buenas en todos los apartamentos de las torres, adicionalmente, si se analizan los *pros* y *contras* de la operación y mantenimiento de ambos modelos expuestos, se puede decir que sea cual sea el sistema elegido se va a tener que manejar con especial cuidado el mantenimiento, por lo tanto, se podría concluir que desde lo técnico ambas propuestas funcionan bien y se tendrá que manejar con mucho cuidado el mantenimiento y el factor de decisión viene siendo desde un punto de vista económico.

### 8.1.3. BLANC

La ventaja que presenta el *modelo real* de BLANC está en que los caudales y presiones exigidos en la edificación cumplen con las exigencias normativas y así mismo con las recomendaciones de los fabricantes de griferías y sanitarios.

El sistema como se ha presentado en el proyecto SIGMA tiene la desventaja de usar elementos como tanques superiores y equipo hidroneumáticos que aumentan la cantidad de mantenimiento a realizar al sistema, al igual, en otros aspectos como la operación se ve complejizada al aumentar el consumo de energía eléctrica para que el sistema funcione correctamente.

Para la ventaja del *modelo propuesto*, se rescata que las presiones obtenidas como resultado de las simulaciones hechas en el EPANET, se ofrecen muy buenas presiones en todo el sistema, donde no debería haber problema para usar varios aparatos al tiempo.

La desventaja del modelo está en la presencia de los problemas de operación del *modelo propuesto*, donde al presentarse algún problema en cualquier elemento sería necesario realizar cortes sectorizado o total del agua en el edificio según donde se presente el daño. De presentarse el problema en la válvula reguladora de presión, elemento que se encuentra principalmente se descalibra, solo se tendría que cortar el suministro de los *pisos bajos*.

Analizando las ventajas y desventajas de los modelos propuestos, se llega a la conclusión que ambos sistemas propuestos brindan presiones buenas que garantizan el buen funcionamiento de los aparatos hidráulicos. Sin embargo, de los dos sistemas propuestos, el *modelo Marval* ofrece una ventaja sobre el *modelo real*, pues este último al tener más elementos en el sistema se hace más complejo la operación y mantenimiento, además, del *modelo real* cualquier mantenimiento implica corte completo del agua.

## 8.2. ANÁLISIS Y COMPARATIVO ECONÓMICO

Para poder realizar las comparaciones económicas, se sacaron las cantidades de las tuberías, accesorios y elementos como equipos de presión, tanques y válvulas reguladoras de presión que componen la red principal de los *modelos reales* y *propuesto*, después, se estimaron los costos y así poder realizar las comparaciones.

Para estimar los costos de tuberías y accesorios se usaron los precios de catálogo de PAVCO, para todos los componentes de la estación reguladora de presión se tomaron de los catálogos de BERMAD y de los equipos de presión, así como de los hidroneumáticos se obtuvieron a partir de las cotizaciones hechas con la empresa IHM.

### 8.2.1. SIGMA

En términos económicos, ambos modelos al proponer una misma estación reguladora de presión de 1-1/2" tiene el mismo precio, sin embargo, el costo de los equipos de presión y tanques son más caros en el *modelo real* al tener dos equipos hidroneumáticos y un tanque superior de más al *modelo propuesto*, esta diferencia es de aproximadamente 16'700,000.00 de pesos. Mientras tanto, los costos de tubería y accesorios de ambos modelos varían muy poco entre ellos, siendo el *modelo propuesto* más barato.

En total el proyecto SIGMA en su *modelo real* se calculó un costo de 127'228,086.00 pesos en todo el trazado principal de la red, mientras que, el *modelo propuesto* se estimó un costo de 109'733,427.01 de pesos, es decir, que el sistema propuesto es de 17'494,659.00 pesos más barato, esto significa que es un 16% más económico.

### 8.2.2. PROVENZA PRESTIGE

Los dos modelos planteados para este proyecto al tener la misma cantidad de tanques y equipos de presión con las mismas características técnicas hacen que los costos de estos elementos sean exactamente iguales.

Sin embargo, la diferencia de costos se presenta principalmente en la estación reguladora de presión, donde el *modelo real* al incluir tres válvulas reguladoras de presión de 2" hace que el precio total sea el doble al del modelo propuesto que propone solamente un elemento de 3". En cuanto las tuberías y accesorios nuevamente se presenta una pequeña diferencia a favor de la alternativa propuesta.

Con todo lo dicho anteriormente, el modelo real presenta un costo total de 292'400,893.43 pesos y el modelo propuesto presenta un costo total de 280'192,034.51, ambas propuestas presentan una diferencia de 15'208,858.9 pesos, esta diferencia viene siendo aproximadamente un 4%.

### 8.2.3. BLANC

La diferencia que se presentan en ambas alternativas se da principalmente en la tubería y accesorios de presión, donde si se compara el planteamiento del *modelo original*, el cual hay un largo tramo de tubería en 1-1/4" para llenar el tanque alto desde el tanque inferior, este costo es aproximadamente 24'000,000 de pesos más barato que el *modelo propuesto*, el cual propone el tramo más largo de tubería en 3".

En cuanto a los elementos como tanques, equipos y reguladoras de presión, el *modelo real* propone dos tanques y dos equipos, sin ninguna válvula reguladora de presión, pues no lo necesita, la suma de estos ítems asciende a uno 50'786,743 pesos, mientras tanto, el *modelo propuesto* el cual plantea un tanque, un equipo y una reguladora de presión la suma de estos ítems llega a ser unos 48'945,122

pesos. Esta diferencia compara con la que se presenta con las tuberías y accesorios es mucho menor, se podría decir que poco relevante para la diferencia total de ambos costos.

En definitiva, el *modelo propuesto* es unos 23'018,673 pesos más caro que el *modelo real*, está diferencia económica si puede ser determinante a la hora de elegir una alternativa a usar en el proyecto.

En la Tabla 30, se muestra una compilación de todo lo explicado previamente en cuanto a los resultados, las ventajas y desventajas de los modelos desde ambos puntos de vistas, el técnico y el económico.

Nombre Edificio	Descripción Proyecto	Descripción Hidráulica Simulación Real	Resultados Simulación Real	Ventajas Simulación Real	Desventajas Simulación Real	Descripción Hidráulica Simulación Propuesta
SIGMA	<p>Altura: 99.85m. Uso: Oficinas</p> <p>Proyecto el cual consta de un total de 27 pisos y 2 sótanos, de los primeros 5 pisos (los 2 sótanos y los pisos 2 a 4) son dedicados a parqueaderos y los siguientes 23 pisos son dedicados a oficinas, también, incluye una cubierta comunal.</p>	<p>Desde el punto de vista hidráulico, el proyecto cuenta con un tanque inferior de 60,00 m<sup>3</sup> ubicada en el sótano #1, este tanque alimenta mediante un sistema de bombeo de presión constante los pisos medios (12 a 18) y los pisos bajos (pisos 5 a 11) mediante dos líneas de tuberías independientes, estos últimos cuentan con una válvula reguladora de presión la cual está ajustada a 85 PSI. Por otro lado, del mismo tanque otro equipo de bombeo de presión constante de menor capacidad lleva el líquido a un tanque de agua superior de 26,00 m<sup>3</sup> y suministrar de agua por gravedad con la ayuda de un equipo de presión diferencial los pisos altos (19 - 27) del edificio.</p>	<p>El modelo para los pisos bajos se notó que en los pisos piso 9 a 11 se observaron presiones muy bajas, que están varían entre 13 y 20 PSI, afectando el óptimo funcionamiento de los aparatos instalados en dichos pisos o limitando los aparatos que puedan instalar en estas oficinas por la baja presión del sistema. A continuación, se muestran las presiones en los puntos críticos: Piso 5 (Presión Alta): 43.8 PSI - Piso 11 (Presión Baja): 13.00 PSI. En los pisos medios, el cual está alimentado por una tubería que no está regulada y en los pisos altos se lograron presiones deseadas en todos los pisos garantizando su buen funcionamiento: Piso 12 (Presión Alta): 68.2 PSI - Piso 18 (Presión Baja): 44.1 PSI. Piso 19 (Presión Alta): 76.2 PSI - Piso 27 (Presión Baja): 32.4 PSI.</p>	<p>1. Se presenta un ventaja con esta simulación va que al estar al estar dividido el sistema por pisos bajos, medios y altos cuando se presente algún daño ó a realizar un mantenimiento que implique cortes de agua se puede hacer de manera sectorizada y no completa del edificio.</p>	<p>1. La simulación real presenta en los pisos 9 a 11, presiones que si bien están por encima de la presión mínima exigida por la norma NTC-1500 para que funcione un aparato, son muy bajas para tener un óptimo funcionamiento.</p> <p>2. En general, este sistema hidráulico es muy complejo de entender por la cantidad de verticales de agua potable, equipos de presión, tanques en la red que puede complicar cualquier su operación ó mantenimiento.</p>	<p>El proyecto bajo la simulación propuesta está compuesta por un depósito de agua inferior de 86,00 m<sup>3</sup>, el depósito inferior mediante un equipo de bombeo de presión constante impulsa el líquido por una tubería principal de Ø2-1/2" que sube hasta el último piso y se devuelve alimentando por gravedad todo los pisos, se usa una reguladora de presión en el piso 18 para controlar que en los pisos bajos no se tengan exceso de presiones.</p>
PROVENZA PRESTIGE	<p>Altura Torre 1 y 3: 57.80. Altura Torre 2: 61.10 m. Uso: Vivienda</p> <p>Proyecto de 3 torres de vivienda donde las torres 1 y 3 consta de 17 pisos y la torre 2 con 18 pisos, además de terrazas comuna y 2 sótanos dedicados exclusivamente a parqueaderos.</p>	<p>El proyecto desde el punto de vista hidráulico cuenta con un depósito de agua inferior de 206,00 m<sup>3</sup>, desde este depósito mediante un equipo de bombeo de presión constante impulsa el líquido por una tubería principal de Ø4" que sube hasta el último piso y se devuelve alimentando por gravedad todos los pisos, el diámetro va disminuyendo según el caudal transportado por la tubería. Adicionalmente, se usa una válvula reguladora de presión ubicada en la vertical de la red sobre el piso 10 para controlar que en los pisos bajos se tengan exceso de presiones.</p>	<p>(Modelo Manual)</p> <p>Para esta simulación, en los pisos bajos (2 a 10) se lograron presiones en cada torre tal y como se muestran a continuación: Torres 1 a 3: Piso 9: 35.9 PSI - Piso 2: 16.9 PSI. Mientras tanto, para los pisos altos (10 al 17/18) se lograron presiones en cada torre tal y como se muestran a continuación: Torre 1: Piso 17: 46.0 PSI - Piso 10: 77.6 PSI. Torre 2: Piso 18: 39.0 PSI - Piso 10: 74.6 PSI. Torre 3: Piso 17: 43.9 PSI - Piso 10: 75.0 PSI. Además, para las velocidades se alcanzaron resultados que oscilan entre 1.12 - 2.15 m/s.</p>	<p>1. Al presentar algún daño en alguna de las válvulas reguladoras de presión ubicadas en cada una de la torres solo es necesario suspender el servicio de agua de los pisos bajos de la torre afectada.</p>	<p>1. Con este método se tiene más válvulas reguladoras de presión en funcionamiento en el sistema que trae como consecuencia un mayor mantenimiento.</p> <p>2. Se debe prever que la válvula reguladora de presión está ubicada en la tubería vertical de la torre, lo cual hace más complejo realizar el mantenimiento a este elemento.</p>	<p>El proyecto bajo la simulación propuesta cuenta con una reserva de agua inferior de 60,00 m<sup>3</sup> ubicada debajo sótano #1, este tanque alimenta mediante un sistema de bombeo de presión constante a los pisos altos (10 al 17 en la torre 1, 3 y 18 en la torre 2) y los pisos bajos (pisos 2 a 9), estos últimos cuentan con una válvula reguladora de presión en la red la cual está ubicada en el sótano, dentro de cuanto de bombas del proyecto.</p>
BLANC	<p>Altura: 50.40m. Uso: Vivienda</p> <p>Proyecto que está conformado de una torre de 16 pisos, la cual está distribuido de la siguiente manera: Los primeros 4 pisos son de parqueaderos, luego del piso 5 al 16 a 16) mediante un equipo de presión diferencial, es decir que no mantiene constante la presión del agua en toda la red.</p>	<p>La concepción del diseño se configura mediante un tanque inferior de 16,50 m<sup>3</sup>, de este tanque se impulsa con ayuda de un equipo de bombeo de presión constante a dos tanques superiores de plásticos de 10,00 m<sup>3</sup> cada uno. De estas reservas de agua se alimenta los pisos bajos (pisos 5 a 9) por gravedad y los pisos altos (pisos 10 a 16) mediante un equipo de presión diferencial, es decir que no mantiene constante la presión del agua en toda la red.</p>	<p>Piso 16: 41.6 PSI - Piso 9: 70.4 PSI - Piso 8: 36.8 PSI - Piso 5: 49.2 PSI. Para los pisos abastecidos por gravedad, las presiones arroja por la simulación en los pisos críticos (donde hay mayor y menor presión) fueron aproximadamente 36.8 PSI (piso 8) y 49.2 PSI (piso 5). Mientras tanto, en los pisos abastecidos por el equipo de presión, las presiones arroja por la simulación en los pisos críticos fueron aproximadamente de 41.6 PSI (piso 16) y 70.4 PSI (piso 9). Adicionalmente, se alcanzaron velocidades que oscilan entre 1.45 - 1.95 m/s.</p>	<p>1. En la simulación real del edificio se notó que la presión más baja de toda la red es de 36.8 PSI en el piso 8, esto quiere decir que todos los aparatos trabajarían dentro de las presiones de operación recomendadas del fabricante y se garantiza óptimo trabajo de los aparatos.</p>	<p>1. Con este método se tiene más equipos y tanques en funcionamiento en el sistema que trae como consecuencia un mayor mantenimiento y eventual cortes periódicos de agua.</p> <p>2. Al presentar algún daño en el sistema es necesario la suspensión del servicio de agua en todo el edificio.</p>	<p>El proyecto bajo la simulación propuesta cuenta con un depósito de agua inferior de 36,50 m<sup>3</sup>, del depósito inferior mediante un equipo de bombeo de presión constante impulsa el líquido por una tubería principal de Ø3" que sube hasta el último piso y se devuelve alimentando por gravedad todos los pisos, el diámetro va disminuyendo según el caudal transportado por la tubería; se usa una reguladora de presión en el piso 10 para controlar que en los pisos bajos se tengan exceso de presiones.</p>

Nombre Edificio	Descripción Hidráulica Simulación Propuesta	Resultados Simulación Propuesta	Ventajas Simulación Propuesta	Deventajas Simulación Propuesta	Comparación Simulación Real Vs Simulación Propuesta	Comparación Económica
SIGMA	El proyecto bajo la simulación propuesta está compuesta por un depósito de agua inferior de 86,00 m <sup>3</sup> . El depósito inferior mediante un equipo de bombeo de presión constante impulsa el líquido por una tubería principal de 02-1/2" que sube hasta el último piso y se devuelve alimentando por gravedad todos los pisos. Se usa una reguladora de presión en el piso 18 para controlar que en los pisos bajos no se tengan exceso de presiones.	Piso 5: 74.7 PSI - Piso 18: 21.0 PSI - Piso 19: 71.2 PSI - Piso 27: 28.2 PSI Con esta propuesta en los pisos regulados (los pisos bajos y medio) se registraron las presiones más bajas en los pisos 18 y 17 con aproximadamente 21 PSI. Sin embargo, en general en todo el sistema se registraron presiones por encima del mínimo recomendado por el fabricante de aparatos.	1. En la simulación propuesta se obtuvieron presiones mínimas en los pisos 18 y 17 de 21.0 y 25.6 PSI respectivamente, estas presiones si bien son bajas son mejor que las presiones registradas en la simulación real. Por otro lado, en los pisos altos las presiones que no afectan el óptimo funcionamiento de los aparatos sanitarios. 2. Este modelo es un sistema más sencillo y facilita su identificación en la operación y mantenimiento del edificio.	1. Al presentar algún daño en cualquier punto de la red es necesario hacer suspensión del servicio de agua en todos los pisos del edificio.	1. Si bien ambas simulaciones tienen presiones que funcionan, en la simulación real hay cierto piso (8 a 11) las presiones en estos pisos son muy justas para que trabaje un solo aparato dentro de estas oficinas, mientras que en la simulación propuesta específicamente en estos pisos se garantizan presiones mayores y confortables en estas oficinas. 2. La alternativa propuesta presenta una gran ventaja en cuanto a términos de operación y mantenimiento teniendo en cuenta que este modelo es mucho más fácil de poder identificar como funciona el sistema, además, en términos de mantenimiento esta propuesta no requiere de tantos equipos de presión y tanques que aumentan los costos de mantenimiento.	El modelo propuesto es más barato en aproximadamente un 14% que el modelo real, esta diferencia se observa debido a que el modelo propuesto al tener menos tanques y equipos de presión, los hace más barato en estos ítems, mientras que, los accesorios y tuberías los costos son más bajos con respecto a los otros ítems.
PROVENZA PRESTIGE	El proyecto bajo la simulación propuesta cuenta con una reserva de agua inferior de 60,00 m <sup>3</sup> ubicada debajo sótano #1, este tanque alimenta mediante un sistema de bombeo de presión constante a los pisos altos (10 al 17 en la torre 1, 3 y 18 en la torre 2) y los pisos bajos (pisos 2 a 9), estos últimos cuentan con una válvula reguladora de presión en la red la cual está ubicada en el sótano, dentro del cuarto de bombas del proyecto.	(Modelo 1) Los resultados de la simulación propuesta para los pisos bajos (2 a 9) en cada son torre 1a y como se muestran a continuación: Torre 1: Piso 9: 38.3 PSI - Piso 2: 72.8 PSI Torre 2: Piso 9: 37.9 PSI - Piso 2: 72.4 PSI Torre 3: Piso 9: 38.4 PSI - Piso 2: 69.9 PSI Mientras tanto, para los pisos altos (10 al 17/18) se registran presiones en cada torre tal y como se muestran a continuación: Torre 1: Piso 17: 27.3 PSI - Piso 10: 71.8 PSI Torre 2: Piso 18: 31.5 PSI - Piso 10: 70.8 PSI Torre 3: Piso 17: 34.4 PSI - Piso 10: 68.9 PSI Además, para las velocidades se alcanzaron resultados que oscilan entre 1.12 - 2.09 m/s.	1. La válvula reguladora de presión está ubicada en la zona destinada al cuarto de equipos de presión, al estar en esta zona se puede facilitar el mantenimiento. 2. Este método por la ubicación de la válvula reguladora de presión hace que sea solo un elemento.	1. Al presentar algún daño en alguna de la válvula reguladora de presión se debe suspender el servicio de agua de todo el edificio.	1. Las presiones de ambas simulación son muy similares y muy buenas para todos los apartamentos del edificio por lo que se puede concluir que ambas simulaciones son viables y el factor de decisión puede ser de tipo económico (costo del sistema) ó del mantenimiento que se requiera en los sistemas. 2. El mantenimiento del modelo propuesto tiene una ventaja al modelo real al usar solo una válvula reguladora de presión para todo el proyecto. Ambas propuestas al proponer la misma cantidad de tanques y equipos tienen el mismo costos en estos ítems.	Al comparar económicamente ambas propuestas, ambas modelo los tiene costos parecidos y tan solo un 4% más tiene el costo del modelo real que de la alternativa clásica, esta diferencia se presenta principalmente en la cantidad de VRR que hay en configuración real el cual tiene una VRR por torre mientras que la propuesta clásica propone solamente una VRR para todo el proyecto. Ambas propuestas al proponer la misma cantidad de tanques y equipos tienen el mismo costos en estos ítems.
BLANC	El proyecto bajo la simulación propuesta cuenta con un depósito de agua inferior de 36,50 m <sup>3</sup> del depósito inferior mediante un equipo de bombeo de presión constante impulsa el líquido por una tubería principal de 05" que sube hasta el último piso y se devuelve alimentando por gravedad todos los pisos, el diámetro va disminuyendo según el caudal transportado por la tubería, se usa una reguladora de presión en el piso 10 para controlar que en los pisos bajos se tengan exceso de presiones.	Piso 16: 37.8 PSI - Piso 11: 38.7 PSI - Piso 10: 49.2 PSI - Piso 5: 69.8 PSI Se obtuvo en este modelo presiones para los pisos bajos que varían entre 49.2 PSI (piso 10) y 69.8 PSI (piso 5); mientras tanto en los altos de obtuvieron presiones entre 37.8 PSI (piso 16) y 38.3 PSI (piso 11). Adicionalmente, se tienen velocidades que oscilan entre 1.41 - 1.95 m/s.	1. En la simulación real del edificio se noto que la presión más baja de toda la red es de 37.8 PSI en el piso 16, es decir, que todos los aparatos trabajaban dentro de las presiones de operación recomendadas de los fabricantes y se garantiza óptimo trabajo de los aparatos.	1. Al presentar algún daño en la válvula reguladora de presión es necesario suspender el servicio de agua de los pisos bajos del edificio.	1. Las presiones de ambas simulación son muy similares y muy buenas para todos los apartamentos del edificio por lo que se puede concluir que ambas simulaciones son viables y el factor de decisión puede ser de tipo económico (costo del sistema) ó del mantenimiento que se requiera en los sistemas. 2. El mantenimiento del modelo propuesto tiene una ventaja al modelo real al tener un tanque y un equipo de presión menos que se le debe hacer mantenimiento.	El método propuesto es más caro que el método original, si bien el costo de tanques y equipos es más barato para la alternativa propuesta, el sobrecosto de tubería, accesorios y sobrecosto de la VRR hace que esté modelo sea más caro que el original. Aproximadamente un 25% más barato el modelo real que en la alternativa propuesta.

Tabla 30. Tabla de compilación de resultados de proyectos



## 9. CONCLUSIONES

- i) Se puede deducir de todos los casos estudiados que todos los modelos son adaptables, de tal forma cumplan con los criterios mínimos exigidos en la normativa técnica nacional (NTC-1500) y de las recomendaciones para su óptimo funcionamiento de parte de los fabricantes de los aparatos hidráulicos.
- ii) Todos los modelos ofrecen *pros* y *contras* en cuanto a su operación y mantenimiento y por tanto no podría elegirse alguno que sobresalga más que los otros, en consecuencia, el factor de decisión se puede tomar bien sea por pura experiencia de proyectos pasados, donde se elige algún sistema que haya brindado muy buena confiabilidad en el sistema hidráulico; o se puede elegir una alternativa que en ventajas brinde un menor mantenimiento al tener menos tanques, equipos o estaciones reguladoras de presión; o seleccionar el aspecto económico como factor decisivo, seleccionando la propuesta que mejor se ajuste al presupuesto destinado al proyecto.
- iii) De las dos alternativas propuestas en el proyecto SIGMA, el *modelo propuesto* podría ser mucho más indicado para el proyecto que el *modelo original*, esto al ser un sistema mucho más adecuado desde un punto de vista económico y desde el aspecto técnico, si bien ambos sistemas son adecuados en cuanto a presiones, del *modelo propuesto* puede ofrecer unas mejoras presiones en ciertos pisos que *modelo original*.
- iv) Del proyecto PROVENZA PRESTIGE se concluye que ambas propuestas son perfectamente recomendables, donde la diferencia desde el aspecto económico es muy poca, siendo el *modelo MARVAL* el más barato, y al ser integrado con los costos de otras especialidades puede ser insignificantes pues el valor de la parte hidráulica en general no es de los más altos dentro de una obra. Desde el aspecto técnico se puede concluir que el modelo propuesto es más adecuado al tener proponer menos estaciones reguladoras de presión en su propuesta.
- v) La *modelación propuesta* del proyecto BLANC es mucho más costoso que el modelo real y al presentarse una igualdad desde el aspecto técnico, se puede concluir que la alternativa original es la más indicada para este edificio.
- vi) Sea cual sea la alternativa seleccionada para el proyecto, se debe tener en cuenta otros aspectos que no se incluyeron para la realización de este documento como, por ejemplo, que el sistema hidráulico seleccionado sea lo más armónico posible con la coordinación con las otras especialidades como, estructura, geotécnica, redes eléctricas, de gas y la arquitectura.

- vii) El *modelo MARVAL* en general es una alternativa que mostro ser más cara que otras alternativas más comunes, como sucedió en los proyectos de PROVENZA PRESTIGE y BLANC, sin embargo, entre más alto el edificio como Sigma el sistema puede ser más compatible desde el punto de vista económico. También, desde el aspecto técnico las ventajas en cuanto a operación y mantenimiento, al no proponer más equipos y tanques de los necesarios, puede ser un factor atractivo para implementarlo así el sistema sea más cotoso.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- De Plaza Solórzano, Juan Sebastián. Ejercicios prácticos en EPANET. 1ra edición. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2017.
- El Minya High Institute. Lecture 1: Review of pipe flow: Darcy-Weisbach, Manning, Hazen-Williams equation, Moody Diagram. Recuperado de: <https://mhiet.edu.eg/academic-files/Arabic/1140.pdf>
- Flechas Hernández, Rafael Alejandro. Efecto del uso de la ecuación de Hazen-Williams vs la ecuación de Darcy-Weisbach en tuberías de gran diámetro (Redes matrices). Bogotá: Uniandes, 2011.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Norma Técnica Colombiana, Código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias, NTC-1500. 3ra edición. Bogotá: INCONTEC, 2017.
- Pavco wavin. Manual Técnico Tubosistemas presión PVC. Bogotá: 2020.
- Pérez Carmona, Rafael. Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. 6ta edición. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2010.
- Pipe flow. Darcy-Weisbach Formula. Recuperado de: [https://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Darcy\\_Weisbach\\_Formula.pdf](https://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Darcy_Weisbach_Formula.pdf)
- Pipe flow. Hazen-Williams Formula. Recuperado de: [https://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Hazen\\_Williams\\_Formula.pdf](https://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Hazen_Williams_Formula.pdf)
- Rodríguez Díaz, Héctor Alfonso. Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. 1ra edición. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005.
- Sánchez Herrera, Juan Sebastián. Consideraciones para el diseño y la construcción de la red hidráulica de una edificación. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2019.
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. IMTA. Gobierno de México. Recuperado de: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/toolkit/files/assets/basic-html/index.html#20](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/toolkit/files/assets/basic-html/index.html#20)
- U.S. Environmental Protection Agency. EPANET. Recuperado de: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- Universidad Politécnica de Valencia. ITA. EpaCAD. Recuperado de: <http://www.epacad.com/caracteristicas-es.php>
- Vargas Ramirez, Carolina Ivón. Consideraciones de diseño y cálculo de las instalaciones hidráulicas en una red de distribución de agua potable. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2016.

## ANEXOS

Anexo 1: Tabla de caudales utilizados para el proyecto PROVENZA PRESTIGE.

ZONA DE MEDIDORES							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	$\Sigma$ Unidades de consumo	Q max probable	$\Sigma$ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
n48	p60	13	13	0.60	0.60	0.60	0.00
n46	p59	13	26	0.60	0.99	0.99	-0.21
n44		13	39	0.60	1.31	1.31	-0.28
n34	p58 - p32	13	52	0.60	1.61	1.61	-0.30
n33	p31	52	104	1.61	2.63	2.63	-0.59

TORRES 1 Y 3 - 17 PISOS							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	$\Sigma$ Unidades de consumo	Q max probable	$\Sigma$ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
n1002	p998	104	104	2.63	2.63	2.63	0.00
n971	p967	104	208	2.63	4.29	3.76	-1.50
n940		104	312	2.63	5.71	4.22	-2.17
n909	p936	104	416	2.63	6.99	4.67	-2.18
n878	p905	104	520	2.63	8.18	5.13	-2.17
n847	p874	104	624	2.63	9.31	5.59	-2.17
n816	p843	104	728	2.63	10.38	6.05	-2.17
n785	p1719, p812	104	832	2.63	11.41	6.50	-2.18
n754	p781	104	936	2.63	12.39	6.96	-2.17
n723	p750	104	1040	2.63	13.35	7.42	-2.17
n692	p719	104	1144	2.63	14.26	7.88	-2.17
n661	p668	104	1248	2.63	15.19	8.33	-2.18
n630	p657	104	1352	2.63	16.07	8.79	-2.17
n599	p626	104	1456	2.63	16.93	9.25	-2.17
n568	p595	104	1560	2.63	17.78	9.71	-2.17
n1606	p564	104	1664	2.63	18.61	10.16	-2.18

TORRE 2 - 18 PISOS							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	$\Sigma$ Unidades de consumo	Q max probable	$\Sigma$ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
n498	p495	104	104	2.63	2.63	2.63	0.00
n467	p464	104	208	2.63	4.29	3.76	-1.50
n436		104	312	2.63	5.71	4.22	-2.17
n405	p433	104	416	2.63	6.99	4.67	-2.18
n374	p402	104	520	2.63	8.18	5.13	-2.17
n343	p371	104	624	2.63	9.31	5.59	-2.17
n312	p340	104	728	2.63	10.38	6.05	-2.17
n281	p1785 - p309	104	832	2.63	11.41	6.50	-2.18
n250	p278	104	936	2.63	12.39	6.96	-2.17
n219	p247	104	1040	2.63	13.35	7.42	-2.17
n188	p216	104	1144	2.63	14.26	7.88	-2.17
n157	p185	104	1248	2.63	15.19	8.33	-2.18
n126	p154	104	1352	2.63	16.07	8.79	-2.17
n95	p123	104	1456	2.63	16.93	9.25	-2.17
n64	p92	104	1560	2.63	17.78	9.71	-2.17
n33	p57	104	1664	2.63	18.61	10.16	-2.18
n1606	p30	104	1768	2.63	19.42	10.62	-2.17

TOTAL							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	$\Sigma$ Unidades de consumo	Q max probable	$\Sigma$ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
n1606	p1713	3432	3432	20.78	20.78	17.94	-2.84
Tanque		1664	5096	10.16	41.06	25.26	-2.84

Tabla 31. Caudales implementados en PROVENZA PRESTIGE.

Anexo 2: Tabla de caudales utilizados para el proyecto SIGMA.

VERTICALES DE LA TORRE - PISOS ALTOS							
Nodo	Tramo	Unidades de consumo	Σ Unidades de consumo	Q max probable	Σ Q max probable	Q max posible	Q en nodo
				L/s	L/s	L/s	L/s
n130	p106	4	4	0.26	0.26	0.26	0.00
n129	p104 - p105	42	46	1.38	1.48	1.48	-0.16
n127		42	88	1.38	2.33	2.33	-0.53
n126	p103	42	130	1.38	3.09	3.08	-0.63
n125	p102	42	172	1.38	3.75	3.75	-0.71
n124	p101	42	214	1.38	4.37	4.04	-1.09
n123	p100	42	256	1.38	4.96	4.27	-1.15
n122	p99	42	298	1.38	5.52	4.50	-1.15
n121	p98	42	340	1.38	6.06	4.73	-1.15
VERTICALES DE LA TORRE - PISOS MEDIOS							
n103	p80	4	4	0.26	0.26	0.26	0.00
n102	p79	4	8	0.26	0.43	0.43	-0.09
n101		4	12	0.26	0.57	0.57	-0.12
n100	p78	4	16	0.26	0.70	0.70	-0.13
n99	p77	20	36	0.82	1.24	1.24	-0.28
n98	p76	16	52	0.7	1.61	1.61	-0.33
VERTICALES DE LA TORRE - PISOS BAJOS							
n97	p74	4	4	0.26	0.26	0.26	0.00
n96	p73	28	32	1.04	1.14	1.14	-0.16
n95		28	60	1.04	1.78	1.78	-0.40
n94	p72	28	88	1.04	2.33	2.33	-0.49
n93	p71	32	120	1.14	2.91	2.91	-0.56
n92	p70	28	148	1.04	3.37	3.37	-0.58
n91	p829	32	180	1.14	3.87	3.85	-0.64
VERTICALES DE LA TORRE - TOTALES							
n56	Equipo Presión Tanque Inferior	52	52	1.61	1.61	1.61	0.00
		180	232	3.87	4.63	4.14	-1.34

Tabla 32. Caudales implementados en SIGMA.

Anexo 3: Tabla de resultados completo del proyecto PROVENZA PRESTIGE – *Modelo Real*.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	31.11
Junc Ducha1-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	31.16
Junc Ducha2-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	31.24
Junc Ducha2-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	31.26
Junc Lavadora-Torre3-Apto1704	59.85	0.15	31.45
Junc Lavadora-Torre3-Apto1705	59.85	0.15	31.47
Junc Ducha1-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	31.53
Junc Lavadero-Torre3-Apto1704	59.95	0.09	31.54
Junc Lavadero-Torre3-Apto1705	59.95	0.09	31.55
Junc Ducha1-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	31.60
Junc Ducha2-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	31.63
Junc Ducha1-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	31.64
Junc Calentador-Torre3-Apto1704	60.45	0.14	31.65
Junc Ducha2-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	31.69
Junc Ducha2-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	31.72
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.74
Junc Calentador-Torre3-Apto1705	60.45	0.14	31.75
Junc Lavadero-Torre3-Apto1706	59.95	0.09	31.76
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	31.82
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	31.85
Junc Ducha2-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	31.85
Junc Ducha1-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	31.85
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	31.85
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.85
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	31.85
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	31.89
Junc Calentador-Torre3-Apto1706	60.45	0.14	31.89
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	31.89
Junc Lavadora-Torre3-Apto1706	59.65	0.15	31.92
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1706	59.65	0.09	31.94
Junc Lavadora-Torre3-Apto1708	59.85	0.15	31.95
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	31.95

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	31.95
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	31.95
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	31.96
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	31.98
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	31.99
Junc Lavadora-Torre3-Apto1701	59.85	0.15	32.00
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	32.02
Junc Lavadero-Torre3-Apto1708	59.95	0.09	32.03
Junc Lavadora-Torre3-Apto1703	59.85	0.15	32.05
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	32.07
Junc Lavadero-Torre3-Apto1701	59.95	0.09	32.08
Junc Lavadero-Torre3-Apto1703	59.95	0.09	32.09
Junc Calentador-Torre3-Apto1701	60.45	0.14	32.12
Junc Lavadora-Torre3-Apto1707	59.85	0.15	32.13
Junc Calentador-Torre3-Apto1703	60.45	0.14	32.14
Junc Calentador-Torre3-Apto1708	60.45	0.14	32.14
Junc Ducha2-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	32.17
Junc Lavadero-Torre3-Apto1707	59.95	0.09	32.18
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	32.21
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	32.22
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	32.23
Junc Lavadora-Torre3-Apto1702	59.85	0.15	32.23
Junc Lavadero-Torre3-Apto1702	59.95	0.09	32.24
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1703	59.65	0.08	32.25
Junc Ducha2-Torre3-Apto1707	60.05	0.12	32.30
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	32.31
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	32.31
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	32.33
Junc Calentador-Torre3-Apto1707	60.45	0.14	32.33
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1703	59.65	0.08	32.33
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	32.34
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	32.34



Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1703	59.25	0.18	32.34
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	32.34
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1801	59.65	0.09	32.35
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1703	59.25	0.18	32.37
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1708	59.65	0.09	32.39
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1707	59.65	0.09	32.39
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1801	59.65	0.09	32.41
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1703	59.65	0.09	32.42
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	32.43
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	32.43
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	32.47
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1706	59.65	0.08	32.49
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1708	59.65	0.09	32.51
Junc Calentador-Torre3-Apto1702	60.45	0.14	32.52
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1706	59.25	0.18	32.52
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1702	59.25	0.18	32.53
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1702	59.65	0.08	32.55
Junc Ducha1-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	32.56
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1702	59.65	0.09	32.56
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1702	59.65	0.08	32.78
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1702	59.25	0.18	32.87
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1707	59.65	0.08	32.93
Junc Ducha1-Torre1-Apto1704	60.05	0.12	32.94
Junc Ducha1-Torre3-Apto1707	60.05	0.12	32.96
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1707	59.25	0.18	32.98
Junc Ducha1-Torre1-Apto1705	60.05	0.12	32.99
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1706	59.65	0.08	33.03
Junc Ducha2-Torre1-Apto1704	60.05	0.12	33.07
Junc Ducha2-Torre1-Apto1705	60.05	0.12	33.09
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1706	59.25	0.18	33.27
Junc Lavadora-Torre1-Apto1704	59.85	0.15	33.29
Junc Ducha1-Torre1-Apto1701	60.05	0.12	33.31

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre1-Apto1703	60.05	0.12	33.36
Junc Lavadero-Torre1-Apto1704	59.95	0.09	33.37
Junc Ducha2-Torre1-Apto1703	60.05	0.12	33.41
Junc Ducha1-Torre1-Apto1708	60.05	0.12	33.43
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1707	59.65	0.08	33.44
Junc Ducha2-Torre1-Apto1701	60.05	0.12	33.45
Junc Lavadora-Torre1-Apto1705	59.85	0.15	33.46
Junc Calentador-Torre1-Apto1704	60.45	0.14	33.49
Junc Calentador-Torre1-Apto1705	59.95	0.09	33.55
Junc Ducha2-Torre1-Apto1708	60.05	0.12	33.55
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	33.57
Junc Lavadero-Torre1-Apto1705	60.45	0.14	33.58
Junc Lavadero-Torre1-Apto1706	59.95	0.09	33.59
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	33.65
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1707	59.25	0.18	33.67
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	33.68
Junc Ducha2-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	33.68
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	33.68
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	33.68
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	33.69
Junc Calentador-Torre1-Apto1706	60.45	0.14	33.73
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1704	59.65	0.09	33.73
Junc Lavadora-Torre1-Apto1706	59.65	0.15	33.75
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1706	59.65	0.09	33.77
Junc Lavadora-Torre1-Apto1708	59.85	0.15	33.78
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	33.78
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	33.78
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	33.78
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	33.80
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1705	59.65	0.09	33.82
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	33.82
Junc Lavadora-Torre1-Apto1701	59.85	0.15	33.83

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1704	59.65	0.09	33.85
Junc Calentador-Torre1-Apto1703	60.45	0.14	33.86
Junc Lavadero-Torre1-Apto1708	59.95	0.09	33.87
Junc Calentador-Torre1-Apto1701	60.45	0.14	33.87
Junc Ducha1-Torre1-Apto1702	60.05	0.12	33.88
Junc Lavadora-Torre1-Apto1703	59.85	0.15	33.88
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1705	59.65	0.09	33.88
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	33.90
Junc Lavadero-Torre1-Apto1701	59.95	0.09	33.92
Junc Lavadero-Torre1-Apto1703	59.95	0.09	33.92
Junc Calentador-Torre1-Apto1708	60.45	0.14	33.92
Junc Lavadora-Torre1-Apto1707	59.85	0.15	33.96
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	33.97
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	33.99
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	34.00
Junc Ducha2-Torre1-Apto1702	60.05	0.12	34.01
Junc Lavadero-Torre1-Apto1707	59.95	0.09	34.01
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	34.05
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	34.06
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.06
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	34.10
Junc Ducha2-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	34.13
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	34.13
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	34.14
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	34.14
Junc Calentador-Torre1-Apto1707	60.45	0.14	34.16
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	34.17
Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	34.17
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	34.18
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	34.18

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Calentador-Torre1-Apto1707	60.45	0.14	34.16
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	34.17
Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	34.17
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	34.17
Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	34.18
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	34.18
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	34.20
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1707	59.65	0.09	34.22
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1703	59.65	0.09	34.23
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1801	59.65	0.09	34.25
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	34.26
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	34.27
Junc Calentador-Torre1-Apto1702	60.45	0.14	34.30
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	34.31
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	34.33
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	34.34
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	34.36
Junc Ducha1-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	34.39
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1702	59.65	0.09	34.52
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	34.55
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	34.57
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	34.62
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	34.71
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	34.76
Junc Ducha1-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	34.79
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	34.81
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	34.87
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	35.11
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	35.27
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	35.50

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	27.77
Junc Ducha1-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	27.82
Junc Ducha2-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	27.90
Junc Ducha2-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	27.92
Junc Lavadora-Torre2-Apto1804	63.15	0.15	28.12
Junc Ducha1-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	28.19
Junc Lavadero-Torre2-Apto1804	63.25	0.09	28.21
Junc Ducha1-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	28.26
Junc Lavadora-Torre2-Apto1805	63.15	0.15	28.30
Junc Ducha2-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	28.30
Junc Ducha1-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	28.30
Junc Calentador-Torre2-Apto1804	63.75	0.14	28.32
Junc Ducha2-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	28.35
Junc Lavadero-Torre2-Apto1805	63.25	0.09	28.38
Junc Ducha2-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	28.38
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.40
Junc Calentador-Torre2-Apto1805	63.75	0.14	28.41
Junc Lavadero-Torre2-Apto1806	63.25	0.09	28.42
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	28.48
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.51
Junc Ducha2-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	28.51
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	28.51
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.52
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	28.52
Junc Calentador-Torre2-Apto1806	63.75	0.14	28.56
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	28.56
Junc Lavadora-Torre2-Apto1806	62.95	0.15	28.58
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1806	62.95	0.09	28.60
Junc Lavadora-Torre2-Apto1808	63.15	0.15	28.61
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	28.61
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.61
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	28.61

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	28.63
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.09	28.65
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	28.65
Junc Lavadora-Torre2-Apto1801	63.15	0.15	28.66
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	28.68
Junc Lavadero-Torre2-Apto1808	63.25	0.09	28.70
Junc Ducha1-Torre2-Apto1802	63.35	0.12	28.71
Junc Lavadora-Torre2-Apto1803	63.15	0.15	28.72
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.09	28.72
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	28.73
Junc Lavadero-Torre2-Apto1801	63.25	0.09	28.75
Junc Lavadero-Torre2-Apto1803	63.25	0.09	28.75
Junc Calentador-Torre2-Apto1801	63.75	0.14	28.78
Junc Lavadora-Torre2-Apto1807	63.15	0.15	28.79
Junc Calentador-Torre2-Apto1803	63.75	0.14	28.80
Junc Calentador-Torre2-Apto1808	63.75	0.14	28.81
Junc Ducha2-Torre2-Apto1802	63.35	0.12	28.84
Junc Lavadero-Torre2-Apto1807	63.25	0.09	28.84
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	28.87
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	28.88
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	28.89
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	28.92
Junc Ducha2-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	28.96
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	28.97
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	28.98
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	28.99
Junc Calentador-Torre2-Apto1807	63.75	0.14	28.99
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	28.99
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	29.00
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	29.00
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	29.00
Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	29.00

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	29.00
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	29.00
Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	29.00
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	29.00
Junc Lavadero-Torre2-Apto1802	63.25	0.09	29.01
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	29.01
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	29.04
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	29.05
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1807	62.95	0.09	29.05
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1803	62.95	0.09	29.06
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	29.08
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	29.09
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	29.10
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	29.14
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	29.16
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	29.17
Junc Calentador-Torre2-Apto1802	63.75	0.14	29.19
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	29.19
Junc Ducha1-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	29.22
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1802	62.95	0.09	29.33
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	29.38
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	29.40
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	29.45
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	29.54
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	29.60
Junc Ducha1-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	29.63
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	29.64
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	29.70
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	29.94
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	30.10
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	30.33

Anexo 4: Tabla de resultados completo del proyecto PROVENZA PRESTIGE – *Modelo Propuesto*.

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	24.99
Junc Ducha1-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	25.02
Junc Ducha2-Torre3-Apto1705	60.05	0.12	25.06
Junc Ducha1-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	25.09
Junc Ducha2-Torre3-Apto1704	60.05	0.12	25.12
Junc Ducha1-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	25.12
Junc Ducha2-Torre3-Apto1701	60.05	0.12	25.16
Junc Ducha2-Torre3-Apto1708	60.05	0.12	25.21
Junc Lavadora-Torre3-Apto1705	59.85	0.15	25.29
Junc Calentador-Torre3-Apto1704	60.45	0.14	25.30
Junc Lavadero-Torre3-Apto1705	59.95	0.09	25.31
Junc Calentador-Torre3-Apto1705	60.45	0.14	25.32
Junc Lavadora-Torre3-Apto1704	59.85	0.15	25.33
Junc Lavadero-Torre3-Apto1704	59.95	0.09	25.35
Junc Calentador-Torre3-Apto1708	60.45	0.14	25.40
Junc Ducha1-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	25.41
Junc Calentador-Torre3-Apto1701	60.45	0.14	25.42
Junc Lavadora-Torre3-Apto1708	59.85	0.15	25.44
Junc Lavadero-Torre3-Apto1708	59.95	0.09	25.46
Junc Calentador-Torre3-Apto1706	60.45	0.14	25.50
Junc Lavadora-Torre3-Apto1701	59.85	0.15	25.53
Junc Ducha1-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	25.54
Junc Lavadero-Torre3-Apto1701	59.95	0.09	25.55
Junc Lavadero-Torre3-Apto1706	59.95	0.09	25.56
Junc Ducha2-Torre3-Apto1703	60.05	0.12	25.56
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	25.56
Junc Ducha2-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	25.57
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	25.60
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	25.63
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	25.65
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	25.66
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	25.67
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	25.68



Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	25.69
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	25.69
Junc Ducha2-Torre3-Apto1702	60.05	0.12	25.70
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1705	59.65	0.09	25.70
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1704	59.65	0.08	25.73
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	25.73
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1706	59.65	0.09	25.74
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	25.75
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	25.75
Junc Lavadora-Torre3-Apto1706	59.65	0.15	25.76
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	25.76
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1705	59.65	0.08	25.76
Junc Calentador-Torre3-Apto1707	60.45	0.14	25.77
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	25.78
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1708	59.65	0.09	25.79
Junc Lavaplatos2-Torre3-Apto1701	59.65	0.09	25.79
Junc Calentador-Torre3-Apto1703	60.45	0.14	25.80
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1704	59.65	0.09	25.81
Junc Lavadero-Torre3-Apto1707	59.95	0.09	25.82
Junc Lavadora-Torre3-Apto1707	59.85	0.15	25.83
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1708	59.65	0.08	25.83
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	25.83
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	25.83
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	25.86
Junc Lavamanos3-Torre3-Apto1701	59.65	0.08	25.86
Junc Ducha2-Torre3-Apto1707	60.05	0.12	25.87
Junc Calentador-Torre3-Apto1702	60.45	0.14	25.87
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1701	59.65	0.09	25.87
Junc Lavadora-Torre3-Apto1703	59.85	0.15	25.89
Junc Lavadora-Torre3-Apto1702	59.85	0.15	25.90
Junc Lavadero-Torre3-Apto1702	59.95	0.09	25.91
Junc Lavaplatos1-Torre3-Apto1708	59.65	0.09	25.92
Junc Lavadero-Torre3-Apto1703	59.95	0.09	25.92

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	25.92
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1704	59.25	0.18	25.95
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1705	59.25	0.18	25.96
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1707	59.65	0.09	26.03
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1702	59.65	0.08	26.04
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1701	59.25	0.18	26.05
Junc Sanitario3-Torre3-Apto1708	59.25	0.18	26.05
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1703	59.65	0.08	26.07
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1702	59.25	0.18	26.10
Junc Ducha1-Torre3-Apto1706	60.05	0.12	26.11
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1703	59.65	0.08	26.13
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1706	59.65	0.08	26.14
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1702	59.65	0.09	26.18
Junc Lavaplatos-Torre3-Apto1703	59.65	0.09	26.22
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1702	59.65	0.08	26.23
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1703	59.25	0.18	26.24
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1703	59.25	0.18	26.25
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1706	59.25	0.18	26.25
Junc Ducha1-Torre3-Apto1707	60.05	0.12	26.34
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1702	59.25	0.18	26.40
Junc Lavamanos2-Torre3-Apto1707	59.65	0.08	26.42
Junc Sanitario2-Torre3-Apto1707	59.25	0.18	26.55
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1706	59.65	0.08	26.57
Junc Lavamanos1-Torre3-Apto1707	59.65	0.08	26.80
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1706	59.25	0.18	26.84
Junc Sanitario1-Torre3-Apto1707	59.25	0.18	27.06
Junc Ducha1-Torre1-Apto1705	60.05	0.12	27.07
Junc Ducha1-Torre1-Apto1704	60.05	0.12	27.09
Junc Ducha2-Torre1-Apto1705	60.05	0.12	27.13
Junc Ducha1-Torre1-Apto1701	60.05	0.12	27.15
Junc Ducha2-Torre1-Apto1704	60.05	0.12	27.19
Junc Ducha1-Torre1-Apto1708	60.05	0.12	27.19
Junc Ducha2-Torre1-Apto1701	60.05	0.12	27.24

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha2-Torre1-Apto1708	60.05	0.12	27.28
Junc Calentador-Torre1-Apto1704	60.45	0.14	27.38
Junc Calentador-Torre1-Apto1705	60.45	0.14	27.40
Junc Lavadora-Torre1-Apto1704	59.85	0.15	27.41
Junc Calentador-Torre1-Apto1708	60.45	0.14	27.43
Junc Lavadero-Torre1-Apto1704	59.95	0.09	27.43
Junc Calentador-Torre1-Apto1701	60.45	0.14	27.44
Junc Lavadora-Torre1-Apto1705	59.85	0.15	27.51
Junc Lavadora-Torre1-Apto1708	59.85	0.15	27.51
Junc Lavadero-Torre1-Apto1705	59.95	0.09	27.53
Junc Lavadero-Torre1-Apto1708	59.95	0.09	27.53
Junc Calentador-Torre1-Apto1706	60.45	0.14	27.57
Junc Ducha1-Torre1-Apto1703	60.05	0.12	27.57
Junc Lavadora-Torre1-Apto1701	59.85	0.15	27.60
Junc Ducha2-Torre1-Apto1703	60.05	0.12	27.60
Junc Lavadero-Torre1-Apto1701	59.95	0.09	27.62
Junc Lavadero-Torre1-Apto1706	59.95	0.09	27.63
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	27.64
Junc Ducha2-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	27.65
Junc Ducha1-Torre1-Apto1702	60.05	0.12	27.66
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	27.67
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	27.72
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	27.74
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	27.75
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	27.75
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1704	59.65	0.09	27.76
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	27.76
Junc Ducha2-Torre1-Apto1702	60.05	0.12	27.77
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1705	59.65	0.09	27.77
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1704	59.65	0.08	27.80
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	27.80
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1706	59.65	0.09	27.81
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	27.82

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	27.83
Junc Lavadora-Torre1-Apto1706	59.65	0.15	27.83
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	27.84
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1705	59.65	0.08	27.84
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	27.84
Junc Calentador-Torre1-Apto1703	60.45	0.14	27.84
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	27.85
Junc Calentador-Torre1-Apto1707	60.45	0.14	27.85
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1705	59.65	0.09	27.85
Junc Lavaplatos2-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	27.87
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1704	59.65	0.09	27.89
Junc Calentador-Torre1-Apto1702	60.45	0.14	27.89
Junc Lavadero-Torre1-Apto1707	59.95	0.09	27.90
Junc Lavadora-Torre1-Apto1707	59.85	0.15	27.90
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1708	59.65	0.08	27.90
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	27.91
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	27.91
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	27.94
Junc Lavamanos3-Torre1-Apto1701	59.65	0.08	27.94
Junc Ducha2-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	27.94
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	27.94
Junc Lavadora-Torre1-Apto1703	59.85	0.15	27.97
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	27.99
Junc Lavadero-Torre1-Apto1703	59.95	0.09	27.99
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.00
Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	28.01
Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	28.02
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	28.03
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	28.03
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1707	59.65	0.09	28.10
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	28.11
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	28.12
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.13

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1701	59.65	0.09	27.94
Junc Lavadora-Torre1-Apto1703	59.85	0.15	27.97
Junc Lavaplatos1-Torre1-Apto1708	59.65	0.09	27.99
Junc Lavadero-Torre1-Apto1703	59.95	0.09	27.99
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.00
Junc Lavadora-Torre1-Apto1702	59.85	0.15	28.01
Junc Lavadero-Torre1-Apto1702	59.95	0.09	28.02
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1704	59.25	0.18	28.03
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1705	59.25	0.18	28.03
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1707	59.65	0.09	28.10
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	28.11
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1701	59.25	0.18	28.12
Junc Sanitario3-Torre1-Apto1708	59.25	0.18	28.13
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1703	59.65	0.08	28.17
Junc Ducha1-Torre1-Apto1706	60.05	0.12	28.19
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	28.21
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	28.25
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1703	59.65	0.09	28.27
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	28.28
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1703	59.25	0.18	28.29
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1702	59.65	0.08	28.30
Junc Lavaplatos-Torre1-Apto1702	59.65	0.09	28.31
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	28.33
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	28.35
Junc Ducha1-Torre1-Apto1707	60.05	0.12	28.42
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1702	59.25	0.18	28.47
Junc Lavamanos2-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	28.49
Junc Sanitario2-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	28.62
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1706	59.65	0.08	28.64
Junc Lavamanos1-Torre1-Apto1707	59.65	0.08	28.88
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1706	59.25	0.18	28.91
Junc Sanitario1-Torre1-Apto1707	59.25	0.18	29.14

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Ducha1-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	22.93
Junc Ducha1-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	22.95
Junc Ducha2-Torre2-Apto1805	63.35	0.12	22.99
Junc Ducha1-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	23.02
Junc Ducha2-Torre2-Apto1804	63.35	0.12	23.05
Junc Ducha1-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	23.05
Junc Ducha2-Torre2-Apto1801	63.35	0.12	23.10
Junc Ducha2-Torre2-Apto1808	63.35	0.12	23.14
Junc Calentador-Torre2-Apto1804	63.75	0.14	23.24
Junc Calentador-Torre2-Apto1805	63.75	0.14	23.26
Junc Lavadora-Torre2-Apto1804	63.15	0.15	23.27
Junc Lavadero-Torre2-Apto1804	63.25	0.09	23.29
Junc Calentador-Torre2-Apto1808	63.75	0.14	23.34
Junc Calentador-Torre2-Apto1801	63.75	0.14	23.35
Junc Lavadora-Torre2-Apto1805	63.15	0.15	23.37
Junc Lavadora-Torre2-Apto1808	63.15	0.15	23.37
Junc Lavadero-Torre2-Apto1805	63.25	0.09	23.39
Junc Lavadero-Torre2-Apto1808	63.25	0.09	23.39
Junc Calentador-Torre2-Apto1806	63.75	0.14	23.43
Junc Lavadora-Torre2-Apto1801	63.15	0.15	23.46
Junc Ducha1-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	23.47
Junc Lavadero-Torre2-Apto1801	63.25	0.09	23.48
Junc Lavadero-Torre2-Apto1806	63.25	0.09	23.49
Junc Ducha2-Torre2-Apto1803	63.35	0.12	23.50
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	23.50
Junc Ducha2-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	23.51
Junc Ducha1-Torre2-Apto1802	63.35	0.12	23.52
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	23.53
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	23.58
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	23.60
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	23.60
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	23.62
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	23.62

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	23.62
Junc Ducha2-Torre2-Apto1802	63.35	0.12	23.63
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1805	62.95	0.09	23.63
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1804	62.95	0.08	23.66
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	23.66
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1806	62.95	0.09	23.67
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	23.68
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	23.69
Junc Lavadora-Torre2-Apto1806	62.95	0.15	23.69
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	23.70
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1805	62.95	0.08	23.70
Junc Calentador-Torre2-Apto1807	63.75	0.14	23.71
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1805	62.95	0.09	23.71
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	23.72
Junc Lavaplatos2-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	23.72
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	23.73
Junc Calentador-Torre2-Apto1803	63.75	0.14	23.74
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1804	62.95	0.09	23.75
Junc Lavadero-Torre2-Apto1807	63.25	0.09	23.76
Junc Lavadora-Torre2-Apto1807	63.15	0.15	23.76
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1808	62.95	0.08	23.76
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	23.77
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.77
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	23.79
Junc Lavamanos3-Torre2-Apto1801	62.95	0.08	23.80
Junc Ducha2-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	23.80
Junc Calentador-Torre2-Apto1802	63.75	0.14	23.80
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	23.80
Junc Lavadora-Torre2-Apto1803	63.15	0.15	23.83
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	23.85
Junc Lavadero-Torre2-Apto1803	63.25	0.09	23.85
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.86
Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	23.87

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Pressure m
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1801	62.95	0.09	23.80
Junc Lavadora-Torre2-Apto1803	63.15	0.15	23.83
Junc Lavaplatos1-Torre2-Apto1808	62.95	0.09	23.85
Junc Lavadero-Torre2-Apto1803	63.25	0.09	23.85
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.86
Junc Lavadora-Torre2-Apto1802	63.15	0.15	23.87
Junc Lavadero-Torre2-Apto1802	63.25	0.09	23.88
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1804	62.55	0.18	23.89
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1805	62.55	0.18	23.89
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1807	62.95	0.09	23.96
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1801	62.55	0.18	23.98
Junc Sanitario3-Torre2-Apto1808	62.55	0.18	23.98
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	24.01
Junc Ducha1-Torre2-Apto1806	63.35	0.12	24.05
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1803	62.95	0.08	24.06
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	24.07
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	24.11
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1803	62.95	0.09	24.13
Junc Lavaplatos-Torre2-Apto1802	62.95	0.09	24.15
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1802	62.95	0.08	24.16
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	24.18
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1803	62.55	0.18	24.19
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	24.19
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	24.21
Junc Ducha1-Torre2-Apto1807	63.35	0.12	24.28
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1802	62.55	0.18	24.33
Junc Lavamanos2-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	24.35
Junc Sanitario2-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	24.48
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1806	62.95	0.08	24.50
Junc Lavamanos1-Torre2-Apto1807	62.95	0.08	24.74
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1806	62.55	0.18	24.77
Junc Sanitario1-Torre2-Apto1807	62.55	0.18	25.00



#### Anexo 5: Información magnética.

- ✓ Archivo de costos estimados de los casos en EXCEL.
- ✓ Modelos de casos en AutoCAD.
- ✓ Modelos de casos en EPANET.