

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FILIAL ABANCAY**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“HERRAMIENTA DE AYUDA PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SECTOR II-B  
DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE  
ABANCAY – APURÍMAC – AÑO 2015”**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ELVIS HOYOS PEÑA**

**ASESOR TÉCNICO :**

**PhD, ING. LUCY MARISOL GUANUCHI ORELLANA**

**ASESOR METODOLÓGICO :**

**MG. ING. SONIA MARÍA LOAYZA CHÁCARA**

**ABANCAY – PERÚ**

**2016**

## **DEDICATORIA**

Dedico a Dios y a mis padres Luis y Eva que son la razón de mi existencia, y a mi hermano por el apoyo incondicional que me brindó durante la formación de mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad ALAS PERUANAS Filial Abancay, por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Al Ph.D, Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana y Mg. Ing. Sonia María Loayza Chácara, asesoras de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la Tesis; y al Ing. Ángel Maldonado Mendivil, por apoyarme durante el estudio de campo.

A Mauro Chumpisuca Arando, quien ha sido como un padre para mí, por acompañarme durante este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos. A mi enamorada Kister que ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional.

También agradezco a todos mis compañeros de clase por su amistad y apoyo moral en mi formación Universitaria.

## RESUMEN

El presente investigación sobre HERRAMIENTA DE AYUDA PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SECTOR II-B DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC – AÑO 2015 contempla la determinación del plano de presión para el sector II-B del sistema de distribución de la ciudad de Abancay- Apurímac, como una estrategia para la toma decisiones de tipo operativo y de planeación del servicio, el cual involucra la evaluación hidráulica del sistema de distribución del sector II-B, analizando variables hidráulicas como velocidades y presiones en escenarios de modelación, identificando las condiciones en que opera el sistema.

Es importante resaltar que la evaluación hidráulica del sector se realizó mediante la simulación de las redes con un modelo debidamente calibrado que garantiza la representación de la realidad del sistema. La investigación aplicada para el desarrollo de la tesis fue evaluativa y descriptiva, permitiendo estudiar el comportamiento de las principales variables operativas y de calidad del servicio como la demanda y las presiones manejadas en el sector II-B.

El Sector II-B se caracteriza por tener una topografía de pendiente unidireccional de aproximadamente de 25%, no muy accidentada. Con esta pendiente topográfica la E.P.S. Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable de Abancay (EMUSAP ABANCAY S.A.C). Empresa que abastece de agua potable al Distrito de Abancay y a una parte del Distrito de Tamburco, a través de cinco sectores y dos subsectores (Sector I, Sector II-A, Sector II-B, Sector III-A, Sector III-B, Sector IV, Sector V) en el cual el Sector II-B respecto a la alineación cotas elevadas con bajas presiones y cotas bajas con presiones elevadas, las cuales se encuentran fuera del rango establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones 2014.

La simulación realizada para el sistema de distribución del sector II-B, permitió una gestión más eficiente sobre la infraestructura existente, ampliación del sistema y atención a los usuarios.

Por lo tanto, la hipótesis general de la investigación sobre la herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejora el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B, se obtuvo el resultado que, el p-value es 0.001 menor al nivel de significancia de 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de las presiones del modelo 3 es menor al promedio de presiones del actual sistema, lo que implica que la herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejora el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B.

Asimismo, la hipótesis específica sobre el sistema de distribución del servicio de agua potable el uso del manómetro permite la obtención de presión y el método de áreas contribuye en la asignación de demanda al modelo hidráulico del sector II-B , permitió obtener el “p-value” es 0.282 mayor al nivel de significancia de 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de las presiones del modelo 1 son similares al promedio de presiones del actual sistema.

Por último, el ajuste y calibración permitió comparar los resultados obtenidos en el modelo hidráulico con medidas de campo del sector II-B, obteniendo que el “p-value” es 0.942 mayor al nivel de significancia de 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de presión del modelo 2 es similar al promedio de presión del sistema actual.

**Palabras claves:** modelamiento hidráulico WaterCAD, herramienta de ayuda y sistema de distribución de agua.

## **ABSTRACT**

The present research on AID TOOL FOR THE HYDRAULIC MODELING OF SECTOR II-B OF THE CITY OF ABANCAY - APURÍMAC - YEAR 2015 POTABLE WATER DISTRIBUTION SYSTEM contemplates the determination of the pressure plane for sector II-B of the distribution system Of the city of Abancay-Apurimac, as a strategy for operational and service planning decisions, which involves the hydraulic evaluation of the sector distribution system II-B, analyzing hydraulic variables such as speeds and pressures in scenarios of Modeling, identifying the conditions under which the system operates.

It is important to emphasize that the hydraulic evaluation of the sector is carried out by means of the simulation of the networks with a duly calibrated model that guarantees the representation of the reality of the system. The applied research for the development of the thesis was evaluative and descriptive, allowing to study the behavior of the main operating variables and service quality as the demand and the pressures managed in sector II-B.

Sector II-B is characterized by a unidirectional slope topography of approximately 25%, not very rugged. With topography pending E.P.S. Municipal Company of Abancay Drinking Water Supply and Sewerage Services (EMUSAP ABANCAY S.A.C). Sector I, Sector II-A, Sector II-B, Sector III-A, Sector III-B, Sector III-A, Sector III-A, Sector IV, Sector V) in which Sector II-B with respect to the alignment of high quotas with low pressures and low quotas with high pressures, which are outside the range established in the National Building Regulations 2014.

The simulation carried out for the distribution system of sector II-B, allowed a more efficient management over the existing infrastructure, expansion of the system and attention to the users.

Therefore, the general hypothesis of the research on the tool of aid for hydraulic modeling improves the distribution system of the drinking water service sector II-B, we obtained the result that, the p-value is 0.001 lower than the level Of significance of 0.05 then the null hypothesis (Ho) is rejected, so we can affirm with a 95% confidence level that the average of the pressures of model 3 is less than the average pressures of the current system, which implies that The help tool for hydraulic modeling improves the distribution system of the potable water service sector II-B.

Likewise, the specific hypothesis about the distribution system of the potable water service the use of the manometer allows the obtaining of pressure and the method of areas contributes in the allocation of demand to the hydraulic model of sector II-B, allowed to obtain the "p- Value "is 0.282 greater than the significance level of 0.05 then the null hypothesis (Ho) is accepted, so it can be stated with a 95% confidence level that the average of the pressures of model 1 are similar to the average of pressures Of the current system.

Finally, the adjustment and calibration will allow to compare the results obtained in the hydraulic model with field measurements of sector II-B, obtaining that the "p-value" is 0.942 greater than the level of significance of 0.05 then the null hypothesis is accepted ( Ho), so it can be stated with a 95% confidence level that the average pressure of model 2 is similar to the average pressure of the current system.

**Key words:** WaterCAD hydraulic modeling, support tool and water distribution system.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problema Especificos .....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivos generales .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Justificación del estudio.....	4
2. MARCO REFERENCIAL .....	6
2.1. Marco geográfico .....	6
2.1. Descripción general del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay.....	7
2.2. Principales elementos de captación, aducción, y almacenamiento que abastece el sistema de acueducto de la ciudad asociados a la operación del sector II – B.....	10
2.2.1. Captación Marcamarca .....	10
2.2.2. Captación de Amaruyoc. ....	10
2.2.3. Captación Laguna Rontoccocha .....	11
2.2.4. Reservorios Prado 1 y 2 .....	11
2.2.5. Reservorio Díaz Bárcenas .....	12
2.2.6. Descripción general del sector II-B .....	12
2.2.7. Diagnóstico operativo .....	14
2.2.8. Presentación del software de modelación .....	14
2.2.9. Etapas de la modelación hidráulica .....	16
2.2.10. Actualización topológica del modelo .....	16
2.2.11. Resultados de la topología .....	18
2.2.12. Recopilación de la información de presión. ....	19
2.2. Antecedentes del estudio.....	20
2.3. Bases teóricas.....	21
2.3.1. Marco histórica.....	21
2.2.1. Modelación hidráulica .....	25

2.2.2. Fundamentos teóricos .....	26
2.2.3. El modelo de la red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: la importancia de la calibración del mismo. ....	26
2.2.4. El proceso de calibración del modelo matemático de la red de abastecimiento. ....	34
2.2.5. La calibración por escenarios. ....	34
2.4. Definición de términos.....	36
2.5. Hipótesis.....	38
2.5.1. Hipótesis general .....	38
2.5.2. Hipótesis específica .....	38
2.6. Variables.....	38
2.6.1. Definición conceptual de las variables .....	38
2.6.1.1. Variable independiente (X) .....	38
2.6.1.2. Variables Secundarias: .....	38
2.6.1.3. Variable dependiente (Y) .....	38
2.6.1.4. Variables Secundarias: .....	38
2.6.2. Definición operacional de la variable .....	39
3. METODOLOGÍA .....	40
3.1. Tipo de investigación.....	40
3.2. Nivel de investigación.....	40
3.2.1. Métodos de la investigación .....	40
3.3. Técnicas.....	41
3.3.1. Descripción de las técnicas que se utilizarán en la investigación .....	41
4. RESULTADOS .....	43
2.3. Asignación de demandas al modelo.....	46
2.3.1. Metodología para la asignación de demandas a los nodos. ....	46
2.4. Proceso de modelación, corrida ajuste y calibración del modelo.....	48
2.4.1. Proceso de modelación .....	48
2.4.2. Calibración del modelo .....	50
2.4.3. Actividades principales para la calibración del modelo .....	51
2.4.4. Principios de calibración .....	51
2.4.5. Resultados de la calibración .....	53
2.4.6. Calculo del patrón de demanda .....	57
2.4.7. Curvas de masas .....	60
2.4.8. Presentación, análisis e interpretación de resultados. ....	66
2.4.9. Prueba de hipótesis .....	75

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	82
5.1. DISCUSIÓN .....	82
5.2. CONCLUSIONES .....	83
5.3. RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
ANEXOS .....	88
A. Panel Fotográfico del sector II-B.....	88
B. Presupuesto.....	101
Presupuesto de actualización de catastro técnico de agua potable	
EPS EMUSAP ABANCAY S.A.C. ....	101
Presupuesto de la tesis. ....	102
C. Planos.....	103
Plano de Ubicación del sector II- B .....	104
Plano de lotes del catastro de usuarios de la E.P.S. Emusap Abancay del	
sector II- B .....	105
Plano de red de distribución de agua potable de la E.P.S. Emusap Abancay	
del sector II-B .....	106
Plano Topográfico del sector II-B .....	107
Plano de áreas delimitadas del sector II-B .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales zonas de captación de la ciudad de Abancay.....	8
Tabla 2: Zonificación y sectores del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Abancay.....	8
Tabla 3: Consolidado de materiales y longitudes por cada diámetro de tubería presente en el Sector II-B.....	14
Tabla 4: Consolidado de reporte – Topología física del modelo calibrado por el programa WaterCad V8i.....	18
Tabla 5: Síntesis Histórica de Formulaciones y Métodos de Análisis de Redes Malladas...	23
Tabla 6: Fases de la elaboración del modelo.....	29
Tabla 7: Toma de medidas de presión en el sector II-B.....	43
Tabla 8: Finalmente los parámetros considerados son los que se muestran en el cuadro....	47
Tabla 9: Cuadro de demandas para el modelo del sector II-B.....	58
Tabla 10: Datos Curva de masas del sector II-B.....	60
Tabla 11: Consolidado de datos de presión registrados en Campo.....	62
Tabla 12: Consolidado de datos de presión reportados por el modelo.....	64
Tabla 13: Consolidado de diferencia de presiones después de la calibración.....	65
Tabla 14: Válvulas de control de flujo del modelo calibrado a datos de campo.....	66
Tabla 15: Válvulas de control de flujo del modelo Propuesto.....	67
Tabla 16: Válvulas de uso general calibrado a datos de campo.....	69
Tabla 17: Válvulas de uso general Propuesto.....	71
Tabla 18: Válvulas reductora de presión calibrado a los datos de campo.....	73
Tabla 19: Válvulas reductora de presión propuesto.....	74
Tabla 20: Comparación de presiones actual y modelo recomendado.....	75
Tabla 21: Comparación de presiones actual y primer modelo.....	77
Tabla 22: Comparación de presiones actual y modelo calibrado mediante el programa WaterCad.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Geográfica del Sector II-B.....	7
Figura 2: Esquema operacional del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay.....	9
Figura 3: Sectorización de Agua Potable en Abancay.....	13
Figura 4: Elementos del modelo.....	17
Figura 5: Ubicación y toma de presiones en las diferentes áreas delimitadas del sector II-B.....	19
Figura 6: Arquitectura de la tecnología de la información según Stern y Kendall.....	33
Figura 7: Metodología de calibración por escenarios.....	35
Figura 8: Cálculo de los caudales de influencia.....	48
Figura 9: Válvulas utilizadas para Control Hidráulico.....	49
Figura 10: Modelo Estructurado del Sector II-B. Programa WaterCAD V8i.....	50
Figura 11: Calibración del modelo.....	52
Figura 12: Interfase del programa WaterCAD V8i.....	54
Figura 13: Modelo hidráulico del sector II B elaborado en WaterCAD V8i.....	55
Figura 14: Propiedades del nodo y de válvula del modelo hidráulico del sector II-B. WaterCAD V8i. (Nodos).....	56
Figura 15: Propiedad del modelo hidráulico óptimo del sector II-B. WaterCAD V8i. (Presiones) y propiedades de la tubería.....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamiento gráfico del patrón de demanda del sector II-B.....	58
Gráfico 2: Curva de masas sector II-B.....	61
Gráfico 3: Factor de variación horaria de la demanda del sector II-B.....	61
Gráfico 4: Presión recabada de áreas delimitadas del sector II-B.....	62
Gráfico 5: Boxplot para Presión del modelo 3 y del sistema actual.....	76
Gráfico 6: Boxplot para presiones del modelo1 y del sistema actual.....	79
Gráfico 7: Boxplot para presiones del modelo 2 y del sistema actual.....	81

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación pretende utilizar la HERRAMIENTA COMO AYUDA PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SECTOR II-B DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE ABANCAY, utilizando el software WaterCAD V8i, este programa permite modelar el comportamiento hidrológico e hidráulico de un sistema de distribución de agua potable, además permite observar resultados en condición dinámica no solo en forma estática y en una variedad de formatos (como gráficos, tablas de evolución en el tiempo y análisis estadísticos entre otros), lo cual optimiza la toma de decisiones en un proyecto y contribuye con un diseño apropiado para las condiciones del sistema de distribución del agua potable en el sector II-B, con el fin de evidenciar los problemas y proponer soluciones al sistema de distribución de agua potable resaltando también los beneficios del uso de esta herramienta frente a los tradicionales.

Utilizando el software WaterCAD V8i, se hace necesario implementar una herramienta, que permita incluir los cambios del sistema y a su vez conocer la operación del mismo; la modelación hidráulica de redes se convierte en el instrumento que logra simular las condiciones reales de operación del sistema.

Para una mejor comprensión de la tesis, a continuación se detalla el contenido de cada capítulo:

**Etapa I.** Determinar el algoritmo de cálculo que se basa en el método del Gradiente Hidráulico, que permitió el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano)

**Etapa II.** Determinar las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: bombas, válvulas de control, tanques, etc.

**Etapa III.** Asimismo, el ajuste y calibración que permitirá comparar los resultados obtenidos en el modelo hidráulico con medidas de campo del sector II-B.

**Etapa IV.** Realizar el modelamiento de sistema de distribución del agua potable del sector II-B.

## **CAPITULO I:**

### **1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Desde la antigüedad el hombre es capaz de construir diferentes tipos de obras algunas poco complejas, y otras de gran magnitud como son las presas, puentes, sistema de distribución de aguas, etc., entre otras, ayudándose de las tecnologías y técnicas de construcción que en ese momento sean innovadoras; así como de los reglamentos y normas que se encuentren vigentes, sin embargo, la distribución en la sector II- B de la Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac es deficiente.

Asimismo, el desconocimiento de cómo se comporta el sistema de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Abancay, con respecto al sector II-B, ya que se presentan roturas de tuberías, presiones elevadas, mal uso de las válvulas de frontera entre otros. Por la expansión de asociaciones en la parte sur de la ciudad para abastecer (sector II-B), se realiza la ampliación de las redes de agua potable, colocación de válvulas para satisfacer a la población. Es así que el incremento de la población en la parte sur de la ciudad sin un cálculo adecuado correspondiente del sistema de distribución de agua potable del sector II-B, mediante un modelo hidráulico, seguirá habiendo problemas en el sistema de distribución de agua potable de la red. En relación a lo descrito anteriormente, surgen las siguientes interrogantes:

#### **1.2. Formulación del problema**

##### **1.2.1. Problema general**

¿Es posible plantear una herramienta de ayuda para la modelación hidráulica del sector II-B del sistema de distribución de agua potable de la Ciudad de Abancay – Apurímac – año 2015?

##### **1.2.2. Problema Especificos**

- ¿En qué medida contribuirá la obtención de la información, consolidación de presiones y asignación de demandas al modelo hidráulico del sector II-B, del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay en el año 2015?
- ¿Cuál es el ajuste y calibración del modelo hidráulico del sector II-B, del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay en el año 2015?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivos generales**

Plantear una herramienta de ayuda para la modelación hidráulica del sector II-B del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay – Apurímac – año 2015”

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Obtener información, consolidación de presiones y asignación de demandas al modelo hidráulico del sector II-B, del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay en el año 2015.
- Ajustar y calibrar el modelo hidráulico del sector II-B, del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay en el año 2015.

### **1.4. Justificación del estudio**

La Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable de Abancay (EMUSAP ABANCAY S.A.C), con el fin de garantizar la adecuada distribución de agua potable que necesita la ciudad; en este contexto la conceptualización de los modelos hidráulicos permite tener un panorama general del comportamiento real del sistema, identificando puntos neurálgicos de la red para ser intervenidos.

Asimismo, la Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable de Abancay, es indispensable conocer la modelación hidráulica

“WaterCAD V8i”, con la finalidad de mejorar el comportamiento hidráulico del sector II-B, dado que se está convirtiendo en una zona de mayor desarrollo urbano y de inversión de la ciudad. Con base en la información monitoreada y reportada por los modelos hidráulicos será posible tomar decisiones relacionadas con la optimización del servicio, planificando de acuerdo a las demandas y las presiones del sector; la renovación, ampliación de redes e instalación de un instrumento adicional. Permitirá de otra parte agilizar los tiempos de respuesta en la atención de quejas de usuarios.

Como resultado al final de este proceso se obtiene un modelo calibrado, que permitirá realizar simulaciones de cualquier estado de carga en la red, lo que contribuirá a la mejor distribución de agua potable del sector II-B.

## **CAPITULO II:**

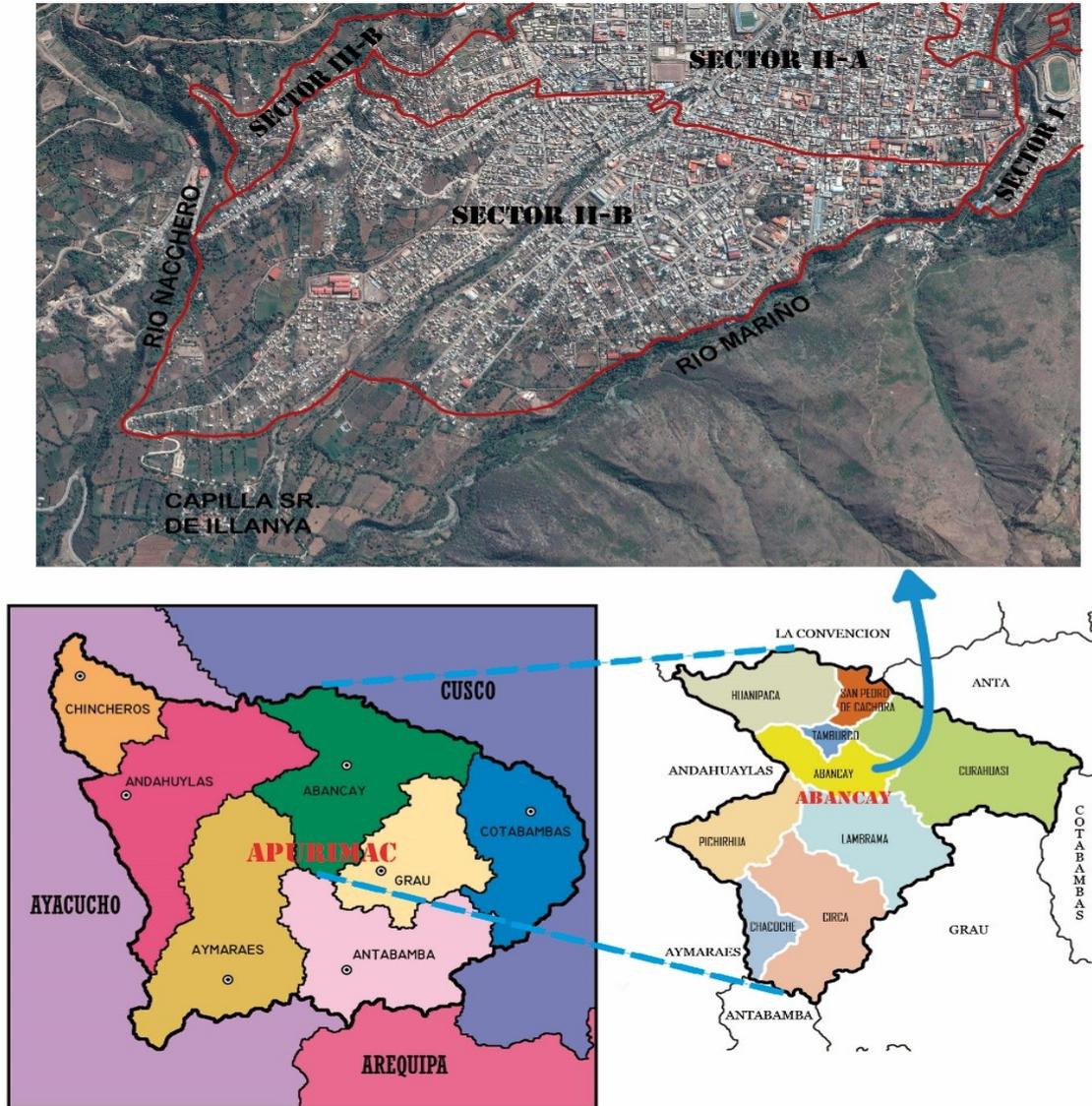
### **2. MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Marco geográfico**

La tesis se desarrolla para el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay, capital del departamento de Apurímac. - Perú, específicamente para el Sector II-B, de la zona Sur del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad (Ver Figura 1. Ubicación Geográfica del Sector II-B).

Abancay se encuentra ubicada a 953.58 Km. de la ciudad de Lima, con una población de 45,864 habitantes según los resultados censales realizado por el Instituto de Estadística e Informática (INEI), altitud de 2,378 m.s.n.m.; el departamento está situado en el Sur del país, en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes; la superficie es de 3,447.13 km<sup>2</sup>, limita por el Norte con los departamentos de Ayacucho y Cusco, por el Este con el departamento de Cusco, por el Sur con los Departamentos de Arequipa y Ayacucho, y por el Oeste con el Departamento de Ayacucho. Ubicación Geográfica del departamento de Apurímac - Abancay.

Figura 1: Ubicación Geográfica del Sector II-B.



Fuente: Elaboración propia.

## 2.1. Descripción general del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay, es un sistema que opera predominantemente por gravedad, siendo abastecido por una fuente superficial, la laguna de Rontoccocha, y de las cinco captaciones subterráneas. (Ver Tabla 1. Principales zonas de captación de la ciudad de Abancay.

Tabla 1: Principales zonas de captación de la ciudad de Abancay

Captación	Nombre	Fuente
<b>Manantial</b>	Marcahuasi	Subterránea
	Amaruyoc	
	Marcamarca	
<b>Galería Filtrante</b>	Manzanares	Superficial
	Chinchichaca	
<b>Laguna natural</b>	Rontoccocha	Superficial

Fuente: E.P.S. EMUSAP ABANCAY S.A.C.

- ✓ Según cuadros de producción se cuenta con una oferta de: Aguas subterráneas caudal máximo diario de Qmd = 122,03 lps.
- ✓ Aguas superficial laguna de Rontoccocha se ha considerado para que de una oferta caudal máximo diario de Qmd = 80,00 lps.

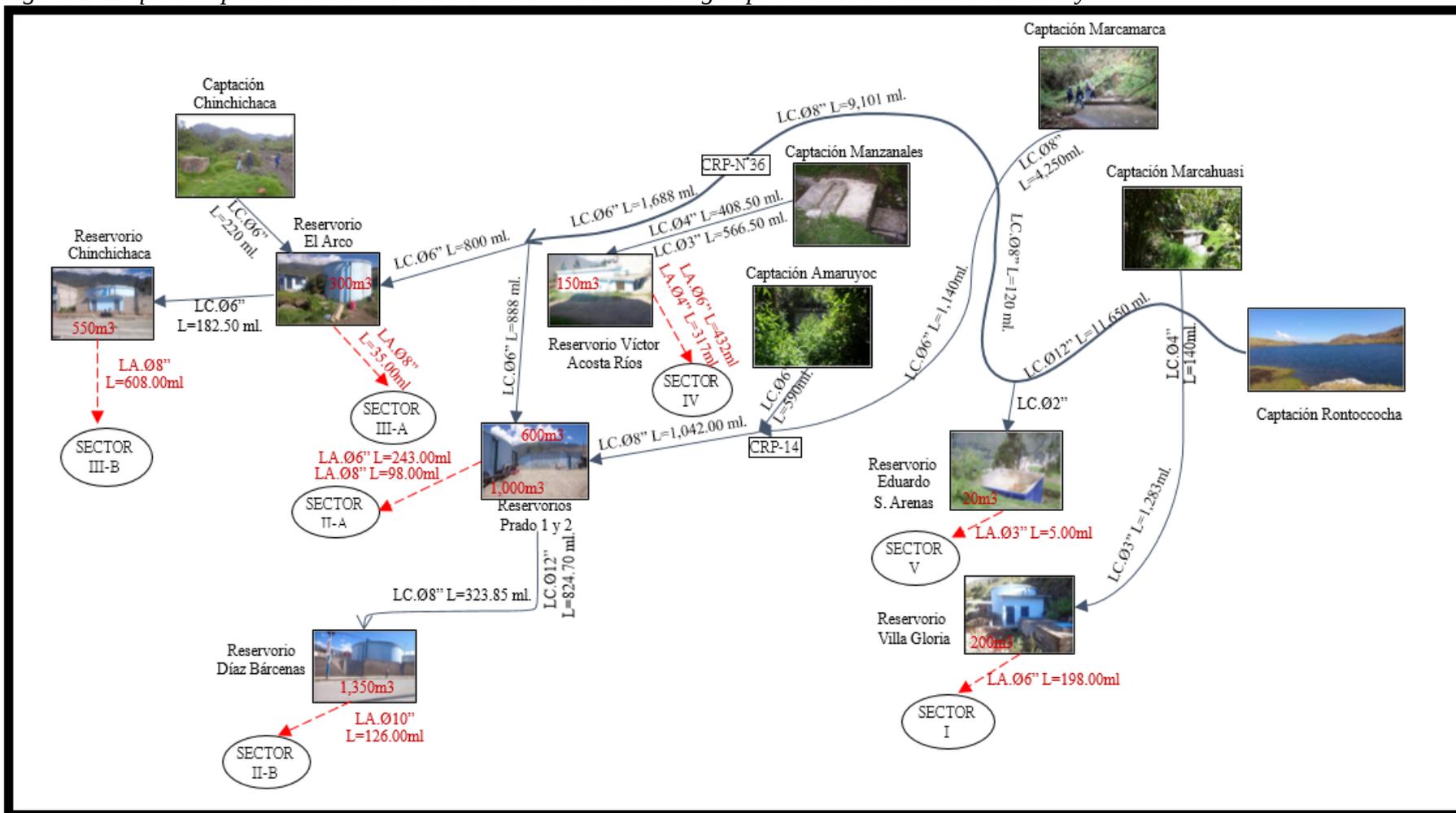
El sistema de la E.P.S. Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable de Abancay EMUSAP ABANCAY S.A.C. Empresa que abastece de agua potable al distrito de Abancay y a una parte del distrito de Tamburco, a través de cinco sectores y dos subsectores (Sector I, Sector II A, Sector II B, Sector III A, Sector III B, Sector IV, Sector V). (Ver Tabla 2. Zonificación y sectores del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Abancay).

Tabla 2: Zonificación y sectores del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Abancay.

ZONA	SECTOR
NORTE	IV, III-A
CENTRO	III-B, II-A
ORIENTE	I, V
SUR	II-B
<b>TOTAL ZONAS</b>	<b>4</b>
	<b>TOTAL SECTORES</b>
	<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Esquema operacional del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Abancay



Fuente: Elaboración propia

## **2.2. Principales elementos de captación, aducción, y almacenamiento que abastece el sistema de acueducto de la ciudad asociados a la operación del sector II – B.**

A continuación se presenta la descripción detallada de los componentes del sistema de Abastecimiento de la Ciudad de Abancay.

### **2.2.1. Captación Marcamarca**

Se ubica en la cuenca del Rio Marcahuasi y es abastecido por manantes, por las condiciones geológicas del lugar y la vegetación la captación Marcamarca tiene una excelente capacidad de retención del agua. Los manantes son de ladera ubicados a 8.5 km al Nor-Este de la ciudad en la cota 3,032 msnm; tiene un rendimiento que fluctúa entre 60 - 75 lps, con un caudal promedio de 64.72 lps.

Las estructuras de captación de agua están conformadas por tres cámaras de concreto y desde la cámara denominada de distribución a 10 m de distancia de la primera se reparte para fines de agua potable y para riego agrícola mediante un canal de conducción. De esta cámara se conecta la línea de conducción constituida por una tubería de 8" de diámetro, y a 30 m aguas abajo se encuentra otra cámara de captación y reunión construida en 1994 en la cual se captan las aguas del sector inferior, lo cual ha incrementado la producción en unos 65 lps. A partir de este sistema de captación se inicia la línea de conducción constituida por una tubería de 8" de diámetro de PVC hacia los reservorios de **"El Prado"**, juntamente con la línea de conducción de Amaruyoc en la cámara rompe presión ubicada en la Asoc. De Vivienda Víctor Acosta Ríos. Cabe mencionar que esta captación fue construida hace 35 años aprox., no cuenta con cerco perimétrico lo cual la hace vulnerable ante cualquier evento que pueda causar daño a la misma. Dicha captación se encuentra en buen estado estructural. Es necesario trabajos de mantenimiento continuo (limpieza, resane y pintado).

### **2.2.2. Captación de Amaruyoc.**

Este sistema de manantes y filtraciones se localizan en la cuenca del Río Colcaque, hacia el Nor-Este de la ciudad, ubicado en la cota 2,569 msnm., y a 2.5 km., de los reservorios **El prado**.

Esta fuente de captación es conducida a través de una línea de conducción de 6" de diámetro hacia los reservorios "**El Prado**".

### **2.2.3. Captación Laguna Rontoccocha**

La captación de Rontoccocha proviene de la laguna del mismo nombre, fue construida el año 1998 entrando en operación el año 2000, tiene una capacidad promedio de 37.32 lps., con variaciones significativas entre la temporada de estío y la temporada de lluvias (desde 75 lps a 20 lps), debido al insuficiente nivel del represamiento de la laguna.

Esta captación se basa en el represamiento de la laguna mediante una presa de concreto armado (muro contrafuerte), hecha sobre la base de roca sana, su forma es trapezoidal (conformada por dos bloques) tiene en la parte alta de la presa una abertura (vertedero) de 0.25 x 4.20 m por donde rebosa el agua para la quebrada, regula su caudal de ingreso a la captación mediante una compuerta de 0.60 x 0.60 m, previo a la cámara de 0.60 x 0.70 m con su respectiva válvula B de 12" hacia el vertedero triangular de placa laminar ¼" donde se mide el rendimiento de la captación; el estado de conservación de esta fuente es buena.

### **2.2.4. Reservorios Prado 1 y 2**

Los dos Reservorios son apoyados: el primero de 1,000 m<sup>3</sup>. (58 años de antigüedad en promedio) y el segundo de 600 m<sup>3</sup> (22 años de antigüedad en promedio), ambos reservorios se abastecen de las captaciones (mediante tubería de PVC de 8") de Amaruyoc y Marcamarca. Asimismo, estos reservorios son abastecidos por una tubería de 6 pulgadas que viene de la laguna Rontoccocha. Estos reservorios están ubicados en el cruce de las Avenidas Manuel Prado y Túpac Amaru en el cual que ocupan las oficinas y talleres de EMUSAP – Abancay.

El reservorio Prado 1 (1,000 m<sup>3</sup>) ha sido construido el año de 1953, esta infraestructura es de concreto armado de tipo apoyado, de forma circular con techo plano y losa sólida, con radio interior de 8.00 metros y una altura interior de 5.50 metros, la losa del techo está soportado por 07 columnas de concreto armado, abastece aproximadamente al 60% del Sector II-A (Comprendidos entre la Av. Prado Norte y Jr. Lima, y parte del barrio las Américas). Cabe mencionar que el reservorio Prado 1 abastece al reservorio Díaz Bárcenas.

#### **2.2.5. Reservorio Díaz Bárcenas**

Tiene una capacidad de 1,350 m<sup>3</sup> con una antigüedad de 16 años. Ubicado en la Av. Díaz Bárcenas con el Jr. Andahuaylas, construido en concreto armado, tipo apoyado, de forma circular, cuenta con una caseta de cloración y caseta de válvulas, tiene cerco perimétrico de protección. Abastece al sector II-B zona intermedia y baja de la ciudad de Abancay.

Cabe mencionar que la desinfección se lleva a cabo en el reservorio Prado 1 (1,000 m<sup>3</sup>), en el que se almacena y conduce agua clorada hacia el reservorio Díaz Bárcenas. Para la desinfección se utiliza cloro gas al 99.5% cuya dosificación se da de acuerdo al caudal de ingreso del agua al reservorio, con la finalidad de mantener la concentración de cloro residual mayor a 0.5 mg/lit; la limpieza del reservorio se realiza dos veces por año, se emplea una motobomba de 15 HP y la desinfección se realiza con hipoclorito de calcio al 65%.

#### **2.2.6. Descripción general del sector II-B**

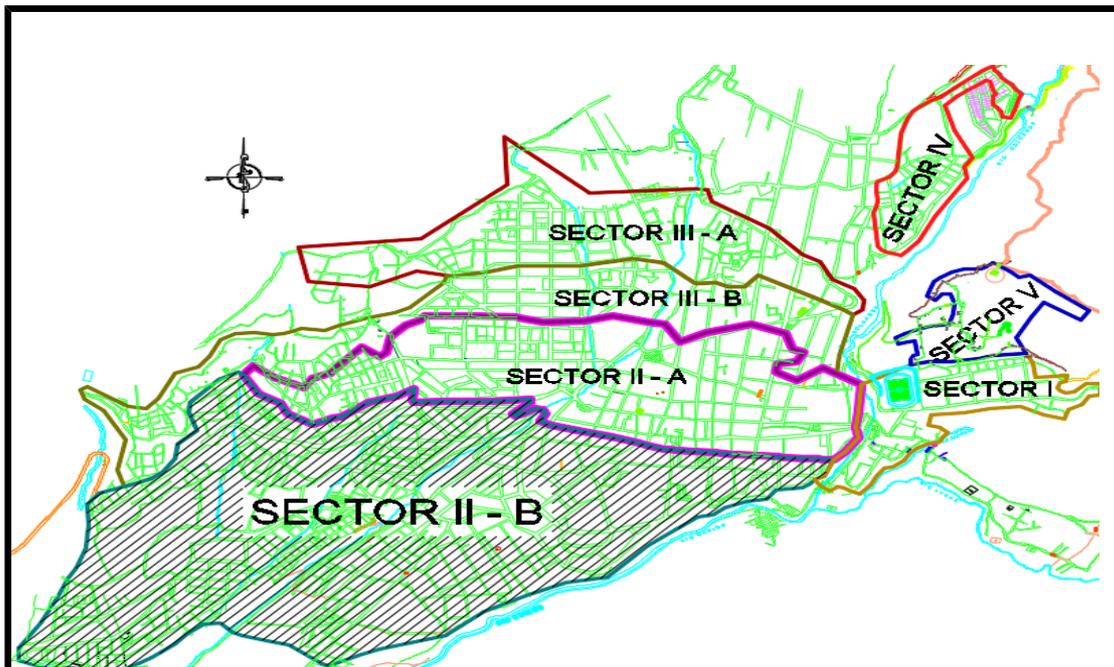
El Sector II-B hace parte de la zona baja de la ciudad de Abancay (que comprende los barrios y/o Asoc. De vivienda: casco urbano central de la ciudad, Patibamba alta y Baja, Los Chancas, Villa Hermosa, Banco de la Nación, Pueblo Libre, Luis Alberto Sánchez, Las Palmeras, Mariátegui, Ciudad de Dios, Nuevo Amanecer, Santo Domingo, Santa Elena, Vallecito El Olivo, Las Américas II Etapa, José María Arguedas, San Martín de Porres II, Asoc. IPSS, Justo Juez de Illanya, Bella Vista Alta y Baja, Asoc. Mns. Isidro Sala Rivera, Asoc. Santos Camacho, Los Ángeles, Virgen del Carmen, Manuel Scorza, Asoc. Quinta Isabel, Sol Brillante, San Francisco, Ccoylluriti, San Javier y Tabla Alta.

Se encuentra delimitado en el oriente por el Rio Mariño y el Sector I (Condebamba), en el occidente con el Sector III-B y Molinopata, en el norte con el Jr. Lima, a través del Sector II-A y por el sur con la capilla Señor de Illanya.

Este sector así como los otros sectores se caracteriza por tener variaciones de altitud, cuenta con una topografía quebrada que desciende desde Norte al Sur de la ciudad; esta variación de elevaciones se evidencia en sus cotas terreno, con respecto al punto más elevado Norte del sector de 2,328.00 m.s.n.m. y con respecto al sur punto más bajo con 2,118.00 m.s.n.m., con el Barrio Tabla Alta, reportando una diferencia de alturas de 210.00 m. Por lo cual en los puntos bajos generan grandes diferencias de altura, por lo que generan altas presiones en gran parte del sector.

En cuanto la red de distribución del Sector II-B tiene una extensión de 52,263.37 m, en tuberías de PVC, y 137.69 m, en tubería de F°Do, cuya distribución de los diámetros es de 2 a 8 pulgadas.

*Figura 3: Sectorización de Agua Potable en Abancay*



Fuente: EPS. EMUSAP S.A.C, 2015.

Tabla 3: Consolidado de materiales y longitudes por cada diámetro de tubería presente en el Sector II-B.

DIAMETRO (mm)	DIAMETRO (")	PVC	F°DO	TOTAL LONGITUD POR DIAMETROS (m)	
250	10	407.04	0.00	0.78%	407.04
200	8	1,982.73	0.00	3.78%	1,982.73
160	6	4,021.92	0.00	7.67%	4,021.92
110	4	20,678.69	221.53	39.87%	20,900.22
90	3	22,088.36	0.00	42.14%	22,088.36
63	2	3,016.15	0.00	5.75%	3,016.15
LONGITUD POR MATERIALES		99.58%	0.42%	100%	
		52,194.88	221.53	52,416.41	

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.7. Diagnóstico operativo

Dentro de la metodología implementada para la ejecución del proyecto es importante resaltar las herramientas y procedimientos implementados, en este capítulo se presenta específicamente la descripción de la herramienta, los criterios y pasos a tener en cuenta para la modelación y calibración

### 2.2.8. Presentación del software de modelación

Los avances existentes en desarrollo de Software especializado en ingeniería de consulta, han posibilitado hoy en día, obtener mayor flexibilidad en la conceptualización básica y el posterior desarrollo de proyectos, agilizando el estudio de alternativas y mejorando ostensiblemente la calidad de la información requerida en los diseños.

Para las Empresas de abastecimiento de agua potable, una de las mayores dificultades que se presenta, es el tener que tomar decisiones que influyen en el funcionamiento de su sistema desde el punto de vista hidráulico, sin conocer exactamente la forma en que éste se verá afectado. Resoluciones sobre instalación de válvulas, construcción de nuevas redes matrices, cierre de tuberías, aislamiento de sectores, etc., suelen ser planeadas y ejecutadas sin tener un conocimiento exacto de las consecuencias que éstas van a tener sobre la totalidad de la red de distribución de agua. De esta forma se corre el riesgo de tener resultados imprevistos en el comportamiento de la red y/o cometer

equivocaciones que redundan no solo en perjuicios económicos, sino también en una disminución en la calidad del servicio prestado.

Es por esto que la empresa requiere el apoyo permanente de herramientas que le permitan evaluar el estado o funcionamiento operativo del sistema de acueducto y le permitan tomar decisiones operativas, constructivas y de mantenimiento en forma rápida y acertada. Es así, que el diagnóstico operativo de redes del Sector II-B se ha realizado con la ayuda de herramienta computacional de modelación hidráulica, para el caso específico, El programa WaterCAD V8i, que permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.).

(Características de programa de modelación WaterCad. Disponible en: [www.bentley.com](http://www.bentley.com)). El software cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano) determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: Bombas, Válvulas de Control, Tanques, etc. a partir de las características físicas del sistema y unas condiciones de demanda previamente establecidas. WaterCAD V8i además permite extender sus capacidades a temas de gestión a largo plazo de sistemas de abastecimiento incluyendo: análisis de vulnerabilidad, análisis de protección contra incendio, estimación de costos energéticos, calibración hidráulica, optimización, etc.

Este programa adicional a las herramientas convencionales para el análisis y modelación de redes a presión, cuenta con herramientas de productividad en los procesos de gestión de datos, construcción de modelos a partir de archivos externos, extracción de elevaciones, asignación de demandas a partir de técnicas de análisis espacial, preparación y gestión de escenarios, cálculos hidráulicos complementarios, gestión operativa y preparación de reportes y planos. Asimismo

el software ofrece diversas opciones para visualización de resultados como reportes tabulares, perfiles, gráficos de variación temporal, anotaciones y codificación por color, etc.

El software además de contar con una interfaz gráfica autónoma (Windows Stand Alone), puede trabajarse de manera integrada entornos CAD como los son AutoCAD y Bentley MicroStation.

### **2.2.9. Etapas de la modelación hidráulica**

- ✓ Etapa 1. Construcción topológica
- ✓ Etapa 2. Información de infraestructura
- ✓ Etapa 3. Asignación de elevaciones
- ✓ Etapa 4. Estimación de demandas
- ✓ Etapa 5. Simplificación o Esqueletización
- ✓ Etapa 6. Escenarios y alternativas
- ✓ Etapa 7. Ejecución de simulaciones
- ✓ Etapa 8. Calibración

Actividades de apoyo para la modelación

- ✓ Determinación de las áreas de Influencia de los puntos de medición
- ✓ Asignación de demandas al modelo

### **2.2.10. Actualización topológica del modelo**

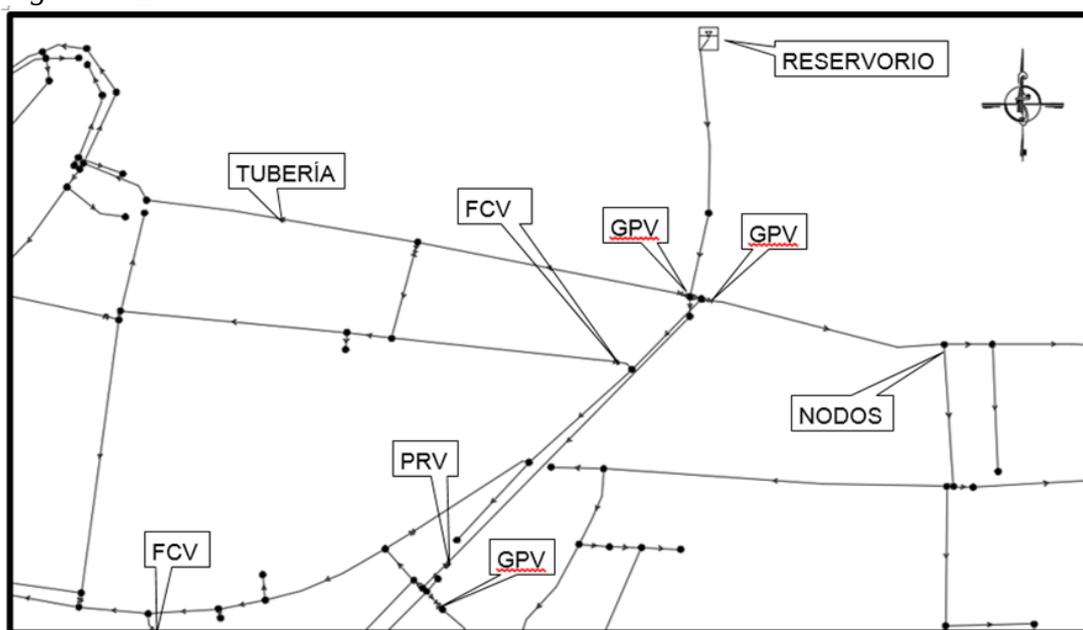
(EPS. EMUSAP S.A.C. división de ingeniería y catastro. Procedimiento para la modelación). La topología del modelo se divide en dos clases básicas, topología física y topología operacional. La topología física se fundamenta en la alimentación de información física de elementos del sistema que se convierten

(información reportada por el Autocad de la empresa) al modelo en creación de geometría, así:

Redibujo del sistema: Se debe contar con un plano actualizado del sistema (impreso o en formato DXF, método de calcado) el cual se vincula a la interfaz determinada.

- ✓ Elevaciones: Ingresar la altura sobre el nivel del mar del componente de interés
- ✓ Redes: Se ingresan los diámetros, longitudes y rugosidades de las Tuberías
- ✓ Tanques: dimensiones, niveles
- ✓ Válvulas: diámetros, coeficientes de pérdidas, materiales, elevaciones.

Figura 4: Elementos del modelo



Fuente: Elaboración propia

El armado o construcción geométrica del modelo se realizó con base en el plano existente en el catastro de la empresa EMUSAP ABANCAY S.A.C., a partir del cual se dibujaron las tuberías que hacen parte del sector, se pusieron nodos en los cambios de tubería, en las intersecciones o empalmes de éstas y en

accesorios y puntos terminales de la red. La fuente de abastecimiento del reservorio de caudal a la entrada del sector.

La alimentación física y topológica del modelo se realizó con información de catastro referente a diámetros y materiales de las tuberías que hacen parte de este sector y cotas de los nodos. La información para la alimentación de demandas en los nodos se obtuvo del plano de catastro de usuarios de la empresa. a topología Operacional se fundamenta en la asignación al modelo de información operacional de los componentes del sistema, variables que rigen el comportamiento de patrones, perfiles, tendencias y comportamientos del sistema.

- ✓ Demanda. Caudales teóricos, caudales por consumo (Facturación) caudales por nodo (Por área), caudal de incendios, caudal grandes consumidores, caudal por perdidas, caudal máximo diario, caudal máximo horario.
- ✓ Válvulas. (FCV) Válvula de control de flujo (Limita el flujo de agua que pasa por la válvula a un valor deseado).

### 2.2.11. Resultados de la topología

Los resultados de la topología del modelo son básicamente representaciones gráficas y de atributos físicos del sistema, información que prepara la plataforma del modelo para la correcta asignación de propiedades operativas, son también la confirmación de elementos computacionales con que el modelo representa los resultados calibrados del sistema, presentando ubicación, nombre por defecto de los elementos entre otras características.

*Tabla 4: Consolidado de reporte – Topología física del modelo calibrado por el programa WaterCad V8i*

<b>CONSOLIDADO DE LA TOPOLOGÍA DEL MODELO CALIBRADO</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD (Un)</b>
Tuberías	961
Nodos	798
Reservorio	1
Válvula reductora de presión (PRV)	6
Válvula de control de flujo (FCV)	39
Válvula de uso general (GPV)	39

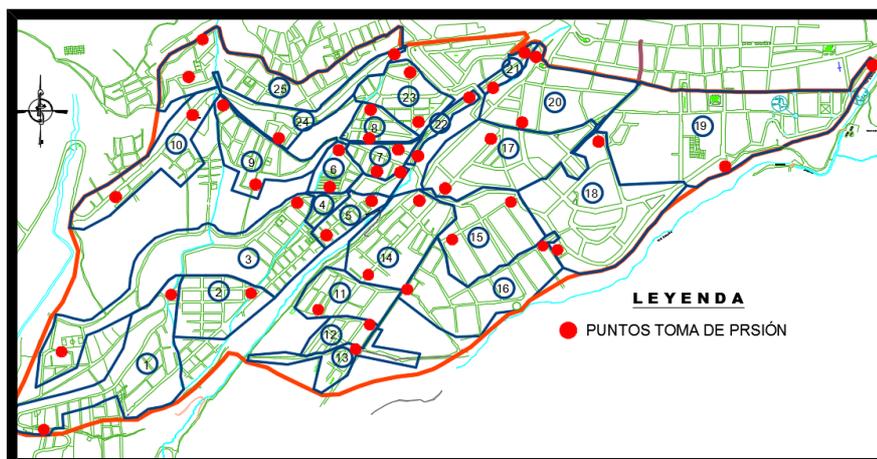
Fuente: Elaboración propia

## 2.2.12. Recopilación de la información de presión.

Esta actividad fue fundamental para el desarrollo del proyecto, y consistió en la toma de presiones del sector en campo, la medición de presiones se realizó con manómetro. e buscó generar una distribución y configuración representativa que permita evaluar el comportamiento de presiones en diferentes puntos de las áreas delimitadas del sector en estudio que entre ellos presentarán las distintas diferencias de niveles de tal forma que fuese posible obtener datos de campo relevantes y con ellos llevar a proceso de ajuste y calibración del modelo hidráulico y de esta forma representar las variaciones de presión a lo largo de todo el sistema de distribución.

Para registrar presiones en la red se realizó la toma de datos en las 25 áreas delimitadas del proyecto en fecha junio del 2015, que estos datos considerados son puntos de abastecimiento de la red en los cual se procedió a la toma de presiones punto altos y bajos de las áreas delimitadas con manómetro (Ver Anexos panel fotográfico de toma de presiones, parte alta y baja de las 25 áreas delimitadas del sector II-B). Toma de medidas de presión en el sector II-B). Los datos tomados en campo sirven para la comparación con el sistema simulado de la red para su calibración.

*Figura 5: Ubicación y toma de presiones en las diferentes áreas delimitadas del sector II-B*



*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2. Antecedentes del estudio

(E. CRUZ, 2008) En el caso del programa del WaterCAD, es el más práctico y entendible para el cálculo de la red, y el más sencillo de utilizar ya que trae todas las opciones y funciones necesarios para el cálculo de la red. Una de las ventajas principales es que este programa realiza cálculos, de despiece de cruceros, cuantificaciones de piezas especiales, etc. También ya no se tiene que dibujar nada a mano, el mismo programa se encargara de hacerlo hasta completar el plano ejecutivo. Además incluye tres variante de cálculo incluido dentro del programa como son Hardy Cross/Manning, Hardy-Cross/Hanzen-Williams y Hardy-Cros/Darcy-Weisbach, todo estos trabajan con el método estático. Al termino de todos estos cálculos y el programa utilizado para el cálculo de la red se opta como mejor opción, más práctico, más fácil, eficaz y sencillo de utilizarlo y en menos tiempo el programa el WaterCAD, ya que este programa realiza cálculos de la red abierta, cerrada y mixtas tan solo seleccionar las tuberías principales o red de distribución en cuestiones de segundo, en cambio el programa del Excel también es una buena opción solo que es un poco más lenta y se complica un poco más cuando se trata de varios circuitos, pero también da buenos resultados.

Bonilla (2014), revisión del sistema de agua potable de la zona deportiva dentro de ciudad universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, utilizando el software EPA SWMM. La revisión del sistema de agua potable de la zona deportiva dentro de Ciudad Universitaria (CU) utilizando el software EPA SWMM, es un trabajo realizado de manera objetiva con datos reales, a fin de determinar el comportamiento hidráulico y las posibles fallas que pueden presentarse durante un evento determinado y que afecten al sistema de desagüe. Este trabajo se llevó a cabo utilizando el software EPA SWMM, el cual ha sido creado y desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental EPA por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency). EPA SWMM facilita el diseño de los sistemas de agua potable de cualquier tipo, así mismo ofrece una visualización del comportamiento del sistema en cualquier instante.

Este trabajo ofrece al lector la posibilidad de observar las características de los elementos que integran al software EPA SWMM, los cuales son utilizados para

la simulación. Lo anterior con el propósito de facilitar la comprensión del funcionamiento de dicho software, Además de promover la utilización de éste como una herramienta valiosa para el diseño o revisión de sistemas de agua potable. Adicionalmente se explica el funcionamiento del software por medio de un ejemplo de aplicación, realizándose la detección de los elementos que durante la tormenta de diseño presentan problemas provocando la falla de algunos componentes del sistema.

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Marco histórica**

(Gutiérrez Araujo J. C., 2011). Estos métodos van desde aproximaciones gráficas basadas en analogías físicas, métodos numéricos iterativos simples hasta complejas organizaciones matriciales para la resolución numérica de sistemas de ecuaciones no lineales.

Una de las mejores recopilaciones se presenta en el artículo (The History of Water Distribution Network Analysis: The Computer Age" escrito por Lindell E. Ormsbee) quien se desempeñó como Director de Instituto de Investigaciones de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Kentucky.

Es importante destacar que todos los métodos numéricos de análisis de régimen permanente en redes de distribución se basan en dos principios tan básicos como antiguos que se cumplen independientemente de la configuración y elementos que componen el sistema, estos son:

- i) Ecuación de conservación de masa en nodos
- ii) Ecuación de Conservación de Energía aplicadas a un flujo incompresible a través de un sistema a Presión.

Las variables del modelo (algunas conocidas) son entonces:

- a) Caudales ( $q$ ) internos que circulan por las líneas.
- b) Caudales ( $QD$ ) externos demandados por los nodos.

c) Altura piezométrica (H) y presión (P) en los nodos del sistema.

d) Pérdidas de carga (H) en cada línea.

Las diferentes aproximaciones numéricas para la determinación de incógnitas en redes de distribución se pueden agrupar en dos grandes familias

1. Metodologías basadas en técnicas iterativas de Gauss-Seidel y Jacobi ejemplo: Métodos de Cross y sus derivados.
2. Metodologías de Equilibrio Simultáneo de las Variables ejemplo: métodos del nodo y circuito simultáneos.

En resumen, los métodos de análisis de redes de distribución más significativos que abarcan un periodo de desarrollo de cerca de 6 décadas y son los siguientes:

- Método de Hardy Cross
- Método del Nodo Simultáneo (Conocido también como el método clásico de Newton Raphson)
- Método del Circuito Simultáneo
- Método de la Teoría Lineal
- Método del Gradiente Hidráulico (Conocido también como Método de la Red Simultánea)

Es importante anotar que los métodos del circuito y nodo simultáneo, teoría lineal y gradiente hidráulico emplean formulaciones matriciales aprovechando el gran poder de procesamiento numérico de los computadores modernos.

En el siguiente cuadro se puede establecer una breve síntesis histórica clasificando en 5 diferentes periodos los avances que nos han conllevado al estado actual de la tecnología (Ver cuadro 1. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas).

Tabla 5: Síntesis Histórica de Formulaciones y Métodos de Análisis de Redes Malladas

Periodo	Año	Investigador/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
<b>Desarrollo Fundamentos Teóricos</b>			
Periodo I	1839	G. Hagen y J.L. Poiseulle	Ecuación de Pérdidas de Carga para tuberías en régimen laminar.
	1845	Darcy y Weisbach	Fórmula para las pérdidas de carga por fricción en un flujo a través de una tubería simple
	1883	O. Reynolds	Definición de Número Adimensional para distinción entre flujos en régimen laminar y turbulento
	1906	C. Colebrook y C. White	Fórmula empírica para la pérdida de carga por fricción en el flujo a través de una tubería simple
	1938	C. Colebrook y C. White	Formulación basada en trabajos de Prandtl y sus discípulos (Von Karman, Nikuradse y Blasius) para la determinación del factor de fricción en la fórmula de Darcy.
<b>Era Pre-Infornmática</b>			
Periodo II	1936	Hardy Cross	Método de Cross con Corrección de Caudales. Técnica de Relajación elaborada por H. Cross profesor de ingeniería estructural de la Univ. de Illinois. Método originalmente desarrollado para cálculo de estructuras aporticadas de concreto extendido a Redes Malladas a Presión basado en un principio de balanceo de caudal.
	1938	R.J. Cornish	Modificación al Método Cross denominado originalmente Balance de Cantidad que posteriormente se conoció como M. Hardy Cross con corrección de altura.
	1950	Mclroy	Método de Análisis de Fluido en Redes análogo al Método Computacional Eléctrico
<b>Inicio de la Era Computacional</b>			
Periodo III	>1950	N/A	Desarrollos y Pruebas con subrutinas numéricas de los primeros computadores digitales.
	1957	Hoag and Weinberg	Adaptación de los métodos de Hardy Cross para computadores digitales
	1955 – 1965	Rader & Associates y Brown & Caldwell	Comercialización de Servicios de Ingeniería para cálculo de redes basado en modelos computacionales
	>1960	Datics Corporation, TX	Pioneros en la Venta de Software de Cálculo comercial.
<b>Surgimiento de Métodos de Análisis Avanzados en la Era Computacional Moderna</b>			
Periodo IV	1962 - 1963	Martin y Peters	Método del Nodo Simultáneo. Aplicación del Método Iterativo de Newton Raphson a redes de distribución por parte de D.W. Martin y G. Peters.
	1968	Shamir y Howard	Expansión del Método del Nodo Simultáneo.
	1970	A. Fowler y R. Epp	Método del Circuito Simultáneo
	1970 - 1972	Wood y Charles	Método de la Teoría Lineal. Metodología desarrollada por D.J. Wood y C.O.A. Charles que permite resolver simultáneamente las ecuaciones de conservación de masa en nodos y conservación de energía en circuitos.

	1977	R. Jeppson	Programa comercial para el análisis de redes con base en el método del circuito simultáneo
	1987	Todini y Pilati	Método del Gradiente Hidráulico. Finalmente formulado por E. Todini y Pilati. Método de manejo matricial de las ecuaciones de energía y conservación de masa de rápida convergencia.
<b>La Industria del Software Comercial para Análisis de Sistemas de Distribución.</b>			
Periodo V	1980 - 1985	BM y Otros Fabricantes	Introducción de los primeros Computadores Personales (IBM PC o Compatibles) y nacimiento de la industria del Software Comercial para Análisis de Redes.
	1981-1985	Boeing Computer Services – Univ. Kentucky Civil	Lanzamiento de primeros programas comerciales de Análisis de Redes Distribución para PC como el WATSIM (Boeing Computer Serv.) y KYPIPE (Universidad de Kentucky).
	1982 - 1985	D. Wood y U.S. EPA	Desarrollos de los primeros modelos de calidad en estado estático.
	1985	ASCE – División Gestión de Recursos Hidráulicos	La sociedad de Ingenieros de EE.UU. en su conferencia anual realizó una serie de sesiones para evaluación de metodologías numéricas que posteriormente se llamaron “La Batalla de los Modelos”
	1986	AWWA – U-S. EPA – Diversas Universidades	En el Simposio de Sistemas de Distribución organizado por AWWA se da una Introducción formal a los Modelos Dinámicos de Calidad de Agua.
	1987	J. Gessler, J. Sjostrom y T. Walski – Patrocinio USACE	Lanzamiento del software WADISO, programa de dominio público con simulaciones en periodo estático y extendido. Uno de los pioneros en incluir un módulo de optimización de diseño
	1988 -1990	W. Graynman, R. Clark y D. Males	Desarrollo del modelo de calidad DWQM. Modelo Dinámico de calidad basado en un Método de Elementos de Volumen Discretos que se integraba y partía de los resultados generados por un modelo hidráulico.
	1990 - 1993	Firmas varias de desarrollo de Software Comercial	Lanzamiento de paquetes de software con entrada amigable de datos y entornos gráficos como CyberNet, RINCAD, STONER, AQUANET, Piccolo, etc. Se destaca la integración de algunos paquetes con entornos CAD como el CyberNet de Haestad Methods.
	1993	Lewis Rossman – U.S. EPA	EPANET 1.0, Lanzamiento al Público del Programa para el Análisis de Redes por parte de la EPA y bajo el liderazgo de L. Rossman retomando los modelos WADISO y DQM, y llevando al usuario a una interfaz gráfica en Windows. La versión 2.0 a finales de los 90's incluyó importantes modificaciones al programa original.
	1998 - 2002	Centro Suizo de Desarrollo Cooperativo en Tecnologías (SKAT)	Publicación/Recopilación Técnica de los 10 programas de software más usado a nivel mundial para el análisis y diseño de sistemas de Distribución. Predecesores de los programas actualmente más populares del mercado: WaterCAD/GEMS,

			H2ONet/H2OMap, MikeNet, Pipe 2010, etc.
	2002 - Actualidad	Firmas varias de desarrollo de Software Comercial	Adopción del método del gradiente como algoritmo estándar de la mayoría de software, entorno gráfico en Windows, y técnicas de inteligencia artificial para Calibración Hidráulica y Diseño Optimizado.

Fuente: Gutiérrez Araujo J. C., 2011

### 2.2.1. Modelación hidráulica

(Saldarriaga, J. G., SISA, A., 2004). La modelación hidráulica de la red incluye el uso de modelos computacionales para el análisis de la red de distribución. En esta parte de la metodología se debe realizar un registro cuidadoso de todas las tuberías instaladas incluyendo su estado, edad, material y diámetro. Para esto se requiere la alimentación constante de información proveniente de los procesos de distribución, como micromedición y facturación, macromedición y mantenimiento y obras civiles que permiten mantener el modelo calibrado, para ser utilizado en la implementación de la metodología y la operación diaria de la red, ya que a partir de los resultados de la calibración del modelo es posible diseñar planes de acción que determinan de una manera muy económica la posible concentración de fugas técnicas y en conjunto con el análisis de lecturas y consumos en los micromedidores se puede encontrar una concentración de pérdidas comerciales o clandestinas.

La modelación y calibración de las redes del sistema de acueducto permitirá entre otras cosas, hallar la mejor alternativa de bombeo, disminuyendo costos de energía y buscar la opción de operación óptima de los equipos evitando su desgaste, permite modelar diferentes tipos de válvulas de control, reductoras de presión, reguladoras de flujo, válvulas unidireccionales y válvulas de altitud entre otras.

Permite evaluar diferentes alternativas de diseño, para encontrar la que mejor se acomode al proyecto en cuanto a costo-beneficio, ya que se pueden estimar los costos de inversión y de energía y analizar la operación de cada una de las opciones dentro del sistema, ahorrando tiempo y dinero en estudios que son costosos y demorados.

### 2.2.2. Fundamentos teóricos

- Conservación de la masa. En cualquier nodo de un sistema, los flujos entrantes son equivalentes a los flujos salientes menos las variaciones por almacenamiento.

$$\sum Q_{in} \times \Delta t = Q_{out} \times \Delta t - \Delta s$$

Donde:

$Q_{in}$  = Caudal de entrada,                       $Q_{out}$  = Caudal de salida

$\Delta t$  = tiempo,     $\Delta s$  = Almacenamiento

- Conservación de la energía. Las pérdidas de energía entre dos nodos de un sistema, siempre serán las mismas independientemente de la ruta o trayectoria que se elija entre dichos puntos.

### 2.2.3. El modelo de la red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: la importancia de la calibración del mismo.

La importancia de los modelos matemáticos de redes de distribución en la gestión de los abastecimientos, los aspectos relacionados con la modelación, el tratamiento de la información que en los modelos se considera, así como el proceso de calibración de los mismos que suponen, se destaca como la vía para darle fiabilidad a los resultados del modelo, para asegurar que las predicciones que con él se realicen van a representar de forma fidedigna la realidad.

#### ❖ La modelación de la red de abastecimiento de agua.

(López J., Amparo P., 2004) Uno de los usos más importantes del agua es el que se le da para consumo humano en ciudades y centros urbanos. En este sentido, el modelo se convierte en el elemento fundamental a la hora de gestionar la red de distribución de agua, de la que dependen aspectos tan importantes como la calidad del servicio, la eficiencia en el suministro o la calidad de la propia agua para el consumo humano.

Por otra parte, la red de distribución es un ente complejo en sus aspectos de gestión que conlleva muchas implicaciones sociales (especialmente relacionadas con la calidad de suministro y estado del bienestar). Incluso para redes sencillas, se hace necesario disponer de un modelo de simulación bien ajustado a la realidad como herramienta de trabajo.

En este sentido, la utilización de modelos como herramienta de representación del funcionamiento de la red de distribución de agua para la correcta gestión del abastecimiento es una práctica generalizada, especialmente considerando la complejidad que presenta la red cuando el abastecimiento suministrado es de envergadura y el sistema hidráulico a modelar se hace más y más complejo. La bibliografía, el mercado y la experiencia están llenos de ejemplos de la utilidad de los modelos en estos menesteres y los buenos resultados que proporcionan.

En la actualidad, el uso de los modelos para la representación de sistemas está completamente generalizado, desde los modelos físicos hasta los más complejos modelos numéricos de simulación computacional, son una herramienta imprescindible en la gestión de estos sistemas por dos razones principalmente: el modelo permite la representación en forma continua en el espacio y en el tiempo de lo que ocurre en el sistema y por otro lado el modelo es susceptible de representar escenarios que no han ocurrido todavía, por dispares de la realidad actual que estos sean, lo que permite conocer el comportamiento, en este caso de la red, en situaciones futuras o bajo supuestos sustancialmente diferentes.

Sin embargo, estas utilidades carecen de sentido si el modelo no se ha calibrado de forma conveniente. Un modelo bien calibrado proporcionará confiabilidad en las predicciones de circunstancias que no han ocurrido a la vez que permitirá el conocimiento preciso del comportamiento de la red en todos sus puntos, en circunstancias que pueden estar ocurriendo en tiempo real. Si el modelo no ha sido correctamente calibrado y validado en cualquier circunstancia posible de funcionamiento del sistema, no es en realidad una herramienta de gestión, sino un instrumento matemático sin validez alguna.

#### ❖ **Evolución de los modelos de simulación hidrodinámica.**

En (Abbott et al. 1991) se describe la evolución de los modelos de simulación hidrodinámica de redes en lo que considera como generaciones. Aspecto que con la aparición de los ordenadores a mediados del pasado siglo permite una adaptación de las operaciones matemáticas hasta ese momento realizadas por los ingenieros a un ordenador. Así surge la primera generación de modelos de simulación. Esta generación (alrededor de 1960) llega con la práctica a la traducción de las operaciones algebraicas utilizadas en los métodos analíticos previamente conocidos para las redes.

Conforme el uso de ordenadores se populariza, empiezan a utilizarse otras técnicas de resolución de ecuaciones como las diferencias finitas o los elementos finitos. Este planteamiento de resolución, más orientado hacia la máquina, constituye la segunda generación de modelos de cálculo, extendido durante toda la década de 1960. Esta segunda generación traducía las ecuaciones diferenciales (fácilmente interpretables por las personas) en ecuaciones algebraicas fácilmente interpretables por el ordenador.

En estos modelos de segunda generación la entrada de datos es tediosa, surgiendo la necesidad de que esta entrada sea menos específica y más amigable, que no tiene que ser realizada por personal especializado. Aparece así la tercera generación de modelos hidráulicos, caracterizada por una modelación más cercana a la percepción humana de la red y que luego deberá ser interpretada por el ordenador. Esta generación se extiende a lo largo de la siguiente década.

La aparición de la cuarta generación de modelos alrededor de 1985, incorporándoles interfaces de usuario amigables, permite que estos puedan ser utilizados por usuarios que no sean expertos. Surge el término Hidroinformática (Hydroinformatics, propuesto por Abbott en 1991).

En la tendencia a que el modelo procese la información surge la quinta generación en la década de 1990. En este caso se desea integrar conceptos propios de la inteligencia artificial que permiten extraer conclusiones de los resultados de la simulación e incluso proponer soluciones a estos problemas,

integrando otras herramientas como SIGs con objeto de hacer del modelo un sistema experto.

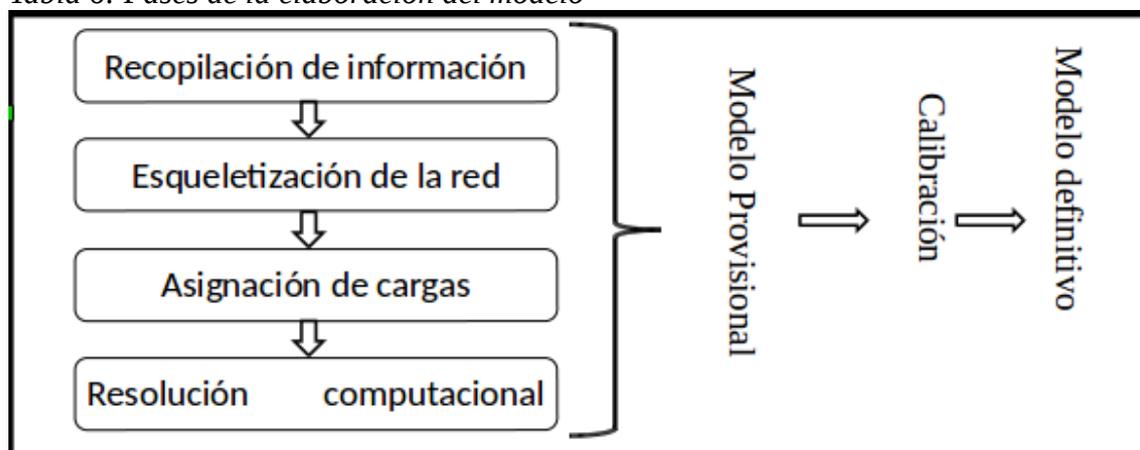
Un avance de este tipo de modelos son aquellos que integran en sí mismos herramientas de computación paralela o auxiliar para su calibración, ajenas a las ecuaciones de la hidrodinámica pero que permiten, con series de datos procedentes de la realidad, ajustar a los modelos de simulación de forma automática a esta realidad. Esta es la incipiente generación de modelos autocalibrantes que se encuentran en la actualidad.

❖ **Fases en la elaboración del modelo matemático de la red de abastecimiento.**

Modelar una red requiere el tratamiento de una gran cantidad de información. Con los avances tanto de la computación como de las técnicas de análisis de redes, el problema debe incluir todas las líneas que en realidad se presentan en la red, se elimina. Sin embargo persiste la necesidad de la precisión de los datos de entrada para que la fiabilidad del modelo se asegure. Incluir toda la red en el modelo, supone modelar hasta las acometidas de los edificios, cuya información es tan difícil de modelar como imprecisa.

La modelación hidrodinámica de la red de abastecimiento está muy ligada al tratamiento de la información que en ella se genera y a la propia resolución de las ecuaciones del modelo hidrodinámico y de calidad en el caso de que exista.

Tabla 6: Fases de la elaboración del modelo



Fuente: López, P.A. 2001

## ❖ **La Recopilación de información**

Es uno de los momentos clave en la confección del modelo matemático. La disponibilidad y fiabilidad de los datos así como una herramienta adecuada para su tratamiento son cruciales para la buena modelación. La información recopilada en el modelo hidrodinámico puede agruparse en:

### - **Datos cartográficos**

Principalmente conteniendo modelos del terreno y cartografía con información detallada de las calles y las infraestructuras en ellas presentes.

### • **Datos descriptivos de la red:**

**Datos de abonados.** Facturaciones de agua potable, principalmente.

**Datos topológicos.** Que marquen las relaciones espaciales entre los elementos de la red:

## ❖ **La Esqueletización de la red**

Consiste en la simplificación de la misma (de forma coherente) para crear un modelo matemático. Esto es necesario para que el número de líneas que aparecen sea tratable por el modelo y porque un nivel de detalle excesivo puede ser contraproducente en el correcto tratamiento de la información proveniente del modelo.

## ❖ **La Asignación de cargas**

Consiste en la determinación de los caudales inyectados y consumidos en los diferentes elementos de la red, generalmente puntos de inyección y consumo previamente predeterminados. Esta es una de las fases más importantes porque debe representar las pautas de comportamiento de los usuarios viendo el tratamiento de caudales como uno de los elementos más importantes en la calibración de la red puesto que es uno a los que el modelo se muestra más sensible. (Ver Figura 1. Fases de la elaboración del modelo).

Con todos estos datos, el modelo debe resolver las ecuaciones que permitan el conocimiento de las variables hidrodinámicas que se desean conocer. Estas serán presiones y caudales en todos los puntos e instantes de tiempo, en función de las curvas de modulación de caudales que se hayan introducido. En el caso de que el modelo de la red incluya análisis de la calidad del agua, una vez conocidas las presiones y velocidades en todos los puntos, se integrarán en el mismo las ecuaciones de la cinética y dispersión de los compuestos que se deseen estudiar (normalmente cloro y sus derivados u otros desinfectantes) y se propondrán las concentraciones requeridas en todos los puntos y situaciones de consumo.

Una vez realizado este proceso, disponemos de lo que se llama un modelo provisional. Este modelo no se convierte en una herramienta de trabajo o en un modelo definitivo hasta que no se calibra.

Es importante que el modelador conozca las capacidades de la herramienta que está utilizando, así como las limitaciones de la misma. Para ello, es crucial que sea consciente, al menos de forma cualitativa, de las fuentes de error que van a estar presentes en la modelación de la red. (Martínez, 2002). A continuación, se citan las fuentes de error que se pueden encontrar:

- **Errores tipográficos.** Aparecidos en las fuentes consultadas o en los propios algoritmos de cálculo de los modelos.
- **Errores de medida.** Imprecisiones debidas a la sensibilidad de los aparatos de medida o a las metodologías utilizadas para estas mediciones. Tienen una gran influencia del factor humano.
- **Imprecisión de las cotas.** Relacionado con la profundidad a la que se encuentran las conducciones, muchas veces influenciado por la antigüedad de las mismas.
- **Errores en los planos y mapas.** Por ambigüedad en la información o no actualización de la misma, una escala inadecuada o anomalías presentes en la delineación (tramos aislados, uniones que no se presentan, no rotulación de las características de los elementos).

- **Errores debidos al paso del tiempo en los elementos.** Esta es una de las fuentes de incertidumbre más importantes del modelo. Principalmente se refiere al aumento de rugosidad en las tuberías, lo que de forma directa determina el tamaño del diámetro interior de las mismas, y al deterioro de bombas y elementos activos de las redes, que afectan al comportamiento hidráulico de las mismas.

El proceso de calibración proporcionará los valores de ciertos parámetros que se pueden controlar en la modelación pero que son difíciles de medir (como rugosidades o diámetros interiores, o curvas de modulación de los consumos) con objeto de que las predicciones del modelo se asemejen al máximo a las mediciones realizadas. Considerando que también las mediciones tienen un error inherente (lo que determina ciertos márgenes de confianza), se deberá proceder al ajuste. Como ya se ha visto, estos datos posiblemente erróneos o imprecisos confieren al tratamiento del modelo una incertidumbre que debe ser tratada numéricamente de forma adecuada (López, 2001, Mac Berthouex, y Brown, L. 1994)

- **Herramientas involucradas en la gestión de los datos del modelo.** (López, 2002). En los inicios se trabaja con modelos matemáticos de redes hidráulicas y a presión para el diseño y ampliación a grandes arterias. Este es el primer paso para prever el efecto de futuros escenarios en los que la información respecto a las variables hidráulicas del abastecimiento es crucial. En esta fase se obliga a conocer a fondo el abastecimiento y a estructurar los datos en la forma en la que lo requieran los modelos de simulación. Por otra parte, como ya se ha indicado, para que estos modelos se conviertan en herramientas fiables para gestionar situaciones que no han ocurrido, y disponer de información de futuros comportamientos del abastecimiento con base a los resultados provistos por el modelo, deberá haberse superado un proceso de calibración y validación muy exhaustivo que les permita convertirse en herramientas de predicción.

(Ver Figura 6. Arquitectura de la tecnología de la información según Stern y Kendall).

Figura 6: Arquitectura de la tecnología de la información según Stern y Kendall.



Fuente: López, P.A. 2002.

Los sistemas de tele medida SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) surgen y se implantan de forma generalizada aunque se limitan a monitorizar áreas troncales de los sistemas de distribución (plantas de tratamiento, depósitos o estaciones aisladas del sistema) extendiéndose en pocos casos la información procedente de las grandes arterias a niveles de detalle de la red. Por otra parte, para controlar los valores de las mediciones más importantes del conjunto de la red se dispone en estas ocasiones de sistemas de telemando en los que la información se controla y centraliza de diferentes maneras en cada uno de los abastecimientos.

Los CAD aparecen más tarde y no son más que un sucedáneo de sistemas de información geográfica más complejos, sin embargo, el hito que marca la diferencia entre las herramientas informáticas para la gestión de la información es la aparición de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), ya que se abre la posibilidad de relacionar la información económica y física de la red con el componente espacial de esta información. La información debe fluir con el objeto de conectar a los entes gestores de los bienes y servicios que componen el

sistema con las necesidades del abastecimiento y los indicadores de los rendimientos y funcionamientos principales del mismo. (Martínez, 2002).

#### **2.2.4. El proceso de calibración del modelo matemático de la red de abastecimiento.**

La calibración es el proceso por el cual se determinan los valores de una serie de parámetros característicos del sistema para que los resultados del modelo se ajusten a unos datos que se consideran como de referencia en este ajuste. La elección y determinación del rango de estos valores es de gran importancia, puesto que precisamente son los que van a caracterizar el comportamiento del sistema.

La calibración es una garantía para la aplicabilidad del modelo, la importancia de la cual se sustenta en tres aspectos básicos (Walski et al, 2001):

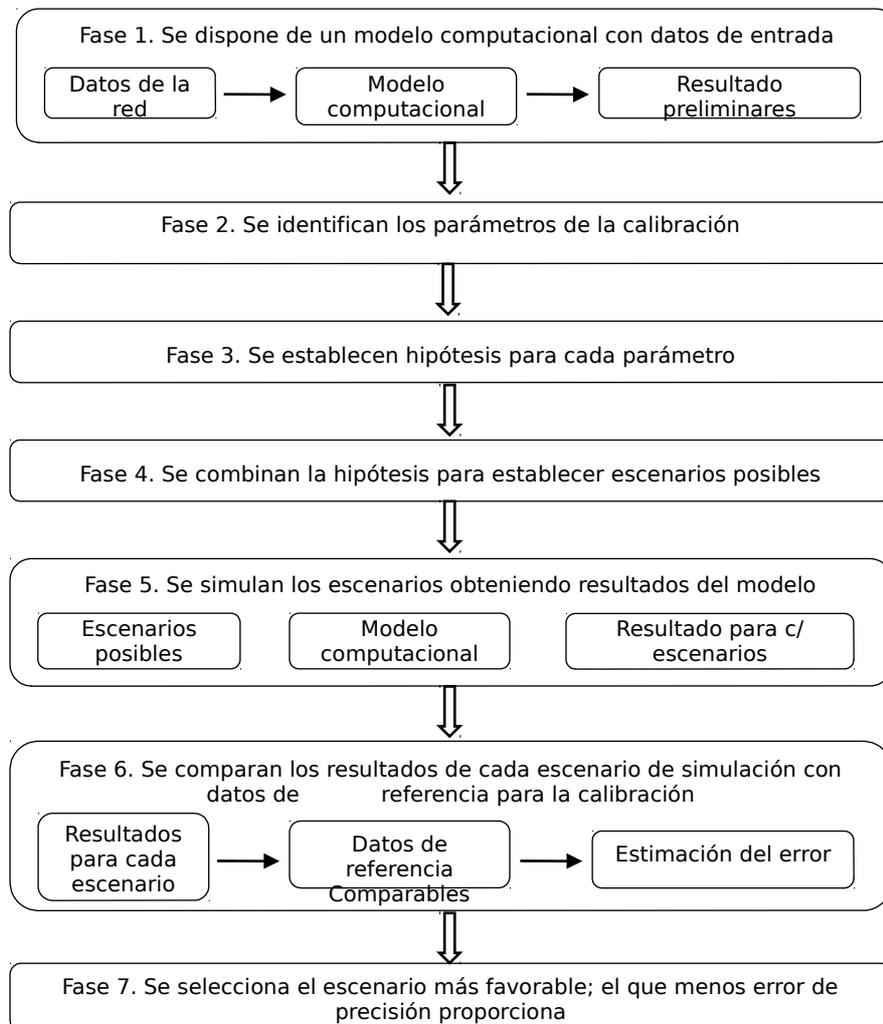
- **Confianza:** demostrando que el modelo tiene capacidad de reproducir condiciones existentes y fiabilidad para resolver situaciones futuras.
- **Conocimiento y comprensión:** la calibración convierte el modelo en una herramienta para conocer el comportamiento del sistema en su totalidad, explicando cambios que ocurren en su comportamiento con base a variaciones de las condiciones operativas.
- **Resolución de problemas:** Puede, mediante una calibración adecuada, reconstituirse información perdida o registrarse alarma sobre situaciones de comportamiento anómalo o información errónea. Permite así la detección de errores de información de partida así como apoyo para la detección de averías o fallos por parte de los dispositivos de telemetría.

#### **2.2.5. La calibración por escenarios.**

La denominada calibración por escenarios consiste en suponer situaciones de funcionamiento, variando los parámetros que intervienen en la calibración, definiendo hipótesis de funcionamiento parciales y combinándolas en escenarios posibles o probables de manera que se genera una gran cantidad de “modelos de

entrada". Estas situaciones al ser simulados y comparados con los valores de la red, proporcionan las presiones y caudales adecuados en los puntos de comparación. (Ver Figura 3. Metodología de calibración por escenarios).

*Figura 7: Metodología de calibración por escenarios*



Fuente: López, P.A. 2002.

Es, en esencia una metodología de ensayo-error que puede ser controlada matemáticamente, para que la convergencia de los resultados de la modelación con la realidad sea lo más rápida posible, en este sentido podemos suponer hipótesis sobre:

- Posibles escenarios de consumo (variación de caudales asignados a nodos)

- Diferentes valores de la rugosidad
- Reducción de diámetros efectivos
- Alteración de las capacidades de bombeo
- Determinación de los parámetros que representan las pérdidas menores y acciones localizadas.

Ejemplos de aplicación de esta metodología en los que los autores trabajado de forma activa se encuentran en los trabajos de (Gutiérrez, 2003) y López et al, (2004), en los que se han presentado hipótesis de funcionamiento que hacen que el ajuste de redes reales (en el primer caso la red de la ciudad de Alicante y en el segundo la esqueletización de la red de suministro de agua a un polígono industrial) sea muy grande con respecto a las mediciones disponibles.

#### **2.4. Definición de términos**

- ✓ **Calibración.** El proceso por medio del cual se gradúan las entradas del modelo, de modo que las salidas del modelo reproduzcan de forma acertada el modelo de red observado, es decir, la representación atinada de la configuración geométrica de la red, las características físicas del sistema y la calidad de los datos introducidos al modelo.
- ✓ **Catastro.** Censo estadístico de los bienes inmuebles de una determinada población que contiene la descripción física, económica y jurídica de las propiedades rústicas y urbanas.
- ✓ **Delimitación.** Delimitar, por lo tanto, consiste en trazar una división (separando dos o más cosas) o en imponer un cerco (físico o simbólico).
- ✓ **Demanda.** Es el volumen, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo.

- ✓ **Dotación.** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.
- ✓ **Esqueletización.** Es el proceso de representar solamente algunas tuberías seleccionadas de acuerdo al nivel de detalle en la red, directamente relacionado con el objetivo del trabajo, se denomina Esqueletización.
- ✓ **Modelo de simulación hidráulica.** Modelo desarrollado para simular el comportamiento del flujo y la presión en un sistema de distribución, bajo condiciones de permanentes o variantes en el tiempo.
- ✓ **Modelo.** Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja.
- ✓ **Nodo.** Representación gráfica de la intersección de dos o más tuberías en un sistema de distribución de agua.
- ✓ **Organismo operador.** Instancia responsable de operar, mantener y administrar el sistema de abastecimiento.
- ✓ **Red de distribución.** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- ✓ **Sector.** Designar a la porción de un determinado espacio o de un territorio. Entendiendo por ésta su subdivisión en varias subredes de menor tamaño, no es un fin en sí mismo, sino una herramienta que ayuda a regular eficazmente un abastecimiento. Cada porción en que se ha dividido la red se denominará sector en lo sucesivo.
- ✓ **Topografía.** Técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.
- ✓ **Tubería.** Conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

La herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejorará el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

### **2.5.2. Hipótesis específica**

- La obtención de la presión hidráulica del sector II-B favorece significativamente en el sistema de prevención del servicio de agua potable de la ciudad de Abancay en el año 2015.
- El ajuste y calibración permitirá comparar los resultados obtenidos en el modelo hidráulico con medidas de campo del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

## **2.6. Variables**

### **2.6.1. Definición conceptual de las variables**

#### **2.6.1.1. Variable independiente (X)**

- ✓ Modelación Hidráulica.

#### **2.6.1.2. Variables Secundarias:**

- ✓ Uso del manómetro y método de áreas.
- ✓ Calibración del modelo

#### **2.6.1.3. Variable dependiente (Y)**

- ✓ Distribución de agua potable.

#### **2.6.1.4. Variables Secundarias:**

- ✓ Presión en la red, consumo de la población determinada por el método de áreas.

- ✓ Capacidad del modelo en reproducir condiciones reales.

## **2.6.2. Definición operacional de la variable**

### **✓ Modelación hidráulica.**

La modelación hidráulica es la reproducción, a escala reducida, de fenómenos, estados o procesos relevantes del flujo del agua.

### **✓ Calibración del modelo.**

La calibración del modelo se ajusta a unos datos que se consideran como referencia en este ajuste con el que deberá ser recalibrado periódicamente para incorporar las ampliaciones en la red para una correcta toma de decisiones.

### **✓ Uso del manómetro.**

Los manómetros para uso hidráulico son un componente importante de los sistemas hidráulicos. Funcionan para medir los niveles de presión en el sistema tanto en la entrada, en la salida y en cualquier sección del sistema donde se quiera medir la presión hidráulica. Estos manómetros son llenados de Glicerina que es un material que les permite hacer las mediciones con gran precisión.

- Precisión:  $\pm 1,6\%$  en la escala total
- Escala: escala psi / bar

### **✓ Método de áreas.**

Se trata de determinar el gasto o consumo medio para toda la zona a proyectar y las áreas de influencia de cada nodo con su peso respectivo, a fin de definir una demanda unitaria.

Se entiende por peso de un nodo a la rata de ocupación del nodo o desarrollo en el periodo de diseño. Se enumeran los nodos que configuran la malla y se determinan las áreas de influencia de cada uno, trazando las mediatrices de los tramos. Se procura tener áreas de figuras geométricas conocidas o en caso contrario debe disponerse de planímetros para su medición.

## CAPITULO III:

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo de investigación

**Investigación Aplicada.** La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad concreta. (Valderrama, S. M., *“Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica”*, p. 29).

#### 3.2. Nivel de investigación

Desde el punto de vista del lugar es **Cuantitativo:** usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. (Hernández Sampieri., & Fernández Collado., & Baptista, P. – 2010 - *Metodología de la Investigación Quinta edición* - www.FreeLibros.com: McGrawHill)

##### 3.2.1. Métodos de la investigación

###### 3.2.1.1. Método sistémico

Está dirigido a modelar el objeto mediante la determinación de sus componentes, así como las relaciones entre ellos. Esas relaciones determinan por un lado, la estructura del objeto y por otro su dinámica.

###### 3.2.1.2. Método inductivo – deductivo

Aplicado en la organización y sistematización del marco teórico. Este método relaciona una ley general con hechos particulares; es deductivo en un sentido (parte de lo general a lo particular) y es inductivo en un sentido contrario (parte de lo particular a lo general), por tal razón, empleamos estas formas de inferencias juntas, y son simultáneamente complementarias.

### **3.2.1.3. Método analítico – sintético**

Son procesos del conocimiento cuya utilización nos permitió conocer la realidad investigada, partiendo de la identificación de las partes que conforman el todo, o como resultado de ir aumentando el conocimiento de la realidad, iniciando con los elementos más simples y fáciles de conocer para ascender, gradualmente, al conocimiento complejo.

### **3.2.1.4. Método estadístico**

Es un conjunto de métodos organizados sistemáticamente y que tiene por objetivo el estudio cuantitativo de los fenómenos observados, es considerado como una herramienta de trabajo puesto que se aplican en distintos estadios de la investigación, desde la recolección de datos, procesamiento de los mismos y análisis e interpretación de los resultados.

### **3.2.1.5. Universo y muestra**

La población referente por el área de catastro de usuarios de la empresa Emusap Abancay S.A.C. para el año 2016 hasta el mes de mayo es de 15,042 viviendas en general.

La muestra del sector II-B delimitado y obtenido del plano de catastro de usuarios de la empresa Emusap Abancay S.A.C. se registró en 3,941 viviendas.

## **3.3. Técnicas**

### **3.3.1. Descripción de las técnicas que se utilizarán en la investigación**

#### **3.3.1.1. Técnica de muestreo probabilístico**

Es aquel en el que cada muestra tiene la misma probabilidad de ser elegida.

#### **3.3.1.2. Técnica de muestreo sistemático.**

Es un tipo de muestreo que es aplicable cuando los elementos de la población sobre la que se realiza el muestreo están ordenados.

### **3.3.1.3. Técnica para recolectar información**

Como técnica de **recolección de información** primaria se da a la recolección de datos con el manómetro con respecto a las presiones del sistema de distribución de la red de agua potable del sector II-B

### **3.3.1.4. Técnica para el procesamiento y análisis de los datos**

Son distintas operaciones a los que serán sometidos los datos:

**Datos.-** Obtenidos a través de la recolección de información con el uso del manómetro.

**Clasificación de datos.-** Cuantitativos

**Registro de datos.-** Mediante un formato digital.

**Codificación de datos.-** datos que se lleva un control más profundo.

**Tabulación de datos.-** Es el agrupamiento, ordenamiento y clasificación de datos que estén contenidos en los cuestionarios, encuestas formatos, etc.

**Procesamiento de datos.-** Datos, procesamiento información.

- ✓ Análisis de datos, programa informático
- ✓ Presentación de datos, presentación tabular porque se presentan en filas y columnas y presentación gráfica.

## CAPITULO IV:

### 4. RESULTADOS

Tabla 7: Toma de medidas de presión en el sector II-B

ÁREA DELIMITADA 1				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA/FECHA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Simón Bolívar/Jr. La Alegría	3:43pm/05-06-15	120	84.43
2	Carretera antigua Illanya	3:55pm/05-06-15	155	109.05
ÁREA DELIMITADA 2				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Aviación/Av la cultura	3:22pm/05-06-15	120	84.43
2	Av. Señor de Illanya/ Jr. la Alegría	No se pudo	---	---
ÁREA DELIMITADA 3				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Jorge Chávez/Pje. Saturno	12:32pm/05-06-15	80	56.28
2	Asoc. Costa Verde	4:15pm/05-06-15	112	78.80
ÁREA DELIMITADA 4				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Martinelli/Av. Circunvalación	11:35am/05-06-15	85	59.80
2	Asoc. Virgen del Carmen	No se pudo	---	---
ÁREA DELIMITADA 5				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Pje. las Flores	2:49pm/05-06-15	80	56.28
2	Pje. José maría Arguedas/Av. Aviación	3:00pm/05-06-15	128	90.05
ÁREA DELIMITADA 6				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Martinelli / Av. Circunvalación	5:00pm/04-06-15	85	59.80
2	Asoc. Quinta Isabel Pje. S/n 179	12:20pm/05-06-15	82	57.69
3	Av. Jorge Chávez	12:10am/05-06-15	110	77.39
ÁREA DELIMITADA 7				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Martinelli / Pje. S/n 192	11:40am/05-06-15	80	56.28
2	Asoc. Justo Juez de Illanya (Pje. s/n 187)	11:53am/05-06-15	82	57.69
ÁREA DELIMITADA 8				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Martinelli / Pje. San Gabriel	10:50am/05-06-15	65	45.73
2	Pje. los Jazmines / Av. Martinelli	11:15am/05-06-15	70	49.25

ÁREA DELIMITADA 9				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Panamericana/Av. Brilla el sol	3:35pm/04-06-15	48	33.77
2	Asoc mns. Isidro salas/Calle S/N 173	4:44pm/04-06-15	100	70.35
ÁREA DELIMITADA 10				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Panamericana/Av. Brilla el sol	3:50pm/04-06-15	58	40.81
2	Av. Panamericana (curva)	4:01pm/04-06-15	80	56.28
ÁREA DELIMITADA 11				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Calle 7 ensayos/ Av Ayacucho	3:28pm/09-06-15	68	47.84
2	Calle s/n 122/Calle s/n 118	3:45pm/09-06-15	60	42.21
ÁREA DELIMITADA 12				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Calle Primavera (123)/ Av. Ayacucho	4:00pm/09-06-15	39	27.44
2	Av. Sinchi roca / Av. corona de cristo	No se pudo	---	---
ÁREA DELIMITADA 13				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Calle 18 de enero/ Calle S/N 125	4:15pm/09-06-15	39	27.44
2	Asoc. Santo Domingo	No se pudo	---	---
ÁREA DELIMITADA 14				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Circunvalación/ Pasaje 01 (109)	4:33pm/05-06-15	90	63.32
2	Av. Sinchi Roca / Calle 7 ensayos	3:33pm/09-07-15	110	77.39
ÁREA DELIMITADA 15				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Circunvalación/ Jr. los lirios	9:40am/09-06-15	82	57.69
2	Jr. Los Lirios/ Jr. las magnolias	9:50am/09-06-15	47	33.07
ÁREA DELIMITADA 16				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Jr. los Geranios/ Pje. la floresta	9:30am/09-06-15	83	58.39
2	Av. Corona de Cristo (camal de equinos)	No se pudo	---	---
ÁREA DELIMITADA 17				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Abancay/Av. Sinchi Roca	4:58pm/05-06-15	55	38.70

2	Av. Sinchi Roca / Av. Circunvalación	4:45pm/05-06-15	85	59.80
<b>ÁREA DELIMITADA 18</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Juan Pablo C./ Av. Daniel Alcides c.	9:13am/09-06-15	25	17.59
2	Av. Circunvalación/ Paje S/n (093)	9:25am/09-06-15	80	56.28
<b>ÁREA DELIMITADA 19</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Circunvalación (Rio Colcaqui)	8:45am/05-06-15	10	7.04
2	Asoc. Villa Herm. I Etapa (Electro sur)	9:00am/05-06-15	40	28.14
<b>ÁREA DELIMITADA 20</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Jr. Lima (Fabrica San José)	9:20am/05-06-15	28	19.70
2	Jr. Independencia/Av. Abancay	5:05pm/05-06-15	55	38.70
<b>ÁREA DELIMITADA 21</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Jr. Lima/ Asoc. Vallecito el olivo I Etapa	9:30am/05-06-15	32	22.51
2	Asoc. Vallecito el Olivo IET /Av. Canadá	10:05am/05-06-15	68	47.84
<b>ÁREA DELIMITADA 22</b>				
PUNTO	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Canadá/ Asoc. Vallec. el Olivo II ET	10:15am/05-06-15	58	40.81
2	Asoc. Vallec. el olivo II ETA /Av. Circunv.	11:42am/05-06-15	100	70.35
<b>ÁREA DELIMITADA 23</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Jr. San Martin/Calle sucre	10:30am/05-06-15	50	35.18
2	Pje. Montevideo/ Av. Martinelli	11:00am/05-06-15	70	49.25
<b>ÁREA DELIMITADA 24</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Panamericana/Jr. Benigno la torre	2:20pm/05-06-15	20	14.07
2	Jr. Agustín Gamarra/ Av. Brilla el Sol	4:30pm/04-06-15	95	66.84
<b>ÁREA DELIMITADA 25</b>				
MUESTRA	DIRECCIÓN	HORA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN (MCA)
1	Av. Vista Alegre/ Qda. San Luis	3:25pm/04-06-15	28	19.70

2	Carret. Molino Pat./ Pasaje S/N 270	2:38pm/05-06-15	52	36.58
---	--	-----------------	----	-------

Fuente: Elaboración propia

### **2.3. Asignación de demandas al modelo**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada en el estudio para la asignación de demandas en el modelo de simulación, teniendo en cuenta el software de modelación WaterCAD V8i.

#### **2.3.1. Metodología para la asignación de demandas a los nodos.**

#### **ESTIMACIÓN DE DEMANDA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE**

(EPS. EMUSAP ABANCAY, Plan maestro optimizado segundo quinquenio, Abancay noviembre 2013, p. 104,105). La determinación de la demanda del servicio de agua potable está definida por el volumen de agua que los distintos grupos de consumidores están dispuestos a consumir y pagar, para tal efecto a partir de la estimación de la población administrada se definirá los niveles de cobertura y la población servida.

A partir de la determinación de la población servida se realiza la estimación el número de conexiones por categoría de usuario, lo cual dado el volumen requerido por cada grupo de usuarios, determinará la demanda por el servicio de agua potable que enfrentará la empresa en los próximos años.

Cabe precisar que, el volumen de producción de la empresa será equivalente a la demanda del servicio de agua potable más el volumen de agua que se pierde en el sistema a través de las pérdidas técnicas y pérdidas comerciales.

#### **❖ PARÁMETROS EMPLEADOS**

- Tasa de crecimiento poblacional 2.59.
- Número de habitantes por vivienda 4.26 hab. /viv.
- Factor de Subregistro 7%.

- Factor de desperdicio

El factor de desperdicio está dado por aquellos usuarios que no cuentan con medidor y presentan un factor de desperdicio respecto al consumo de un usuario medido, siempre que mantengan condiciones similares (misma categoría y rango de consumo). Para la localidad de Abancay, se ha considerado un factor de desperdicio de 40%.

- **Dotación de agua potable a la población 40 l/h/día**

Para aquellos habitantes que no cuentan con servicio de agua potable a través de conexiones domiciliarias, se ha estimado una dotación básica de 40 l/h/día.

- **Elasticidad precio de -0.24%**

Es el efecto que tiene el consumo medio, cuando el precio varía, si el precio sube el volumen de consumo disminuye en dicho porcentaje.

- **Elasticidad ingreso**

Es el efecto que tiene el consumo medio, cuando el nivel de ingreso de la población se varía, es decir si el ingreso familiar sube en una unidad el consumo medio se incrementará en 0.04%.

- **Tasa de crecimiento del PBN**

Se ha considerado una tasa de crecimiento del PBN del ámbito de la prestación del servicio de 3.0% anual.

*Tabla 8: Finalmente los parámetros considerados son los que se muestran en el cuadro*

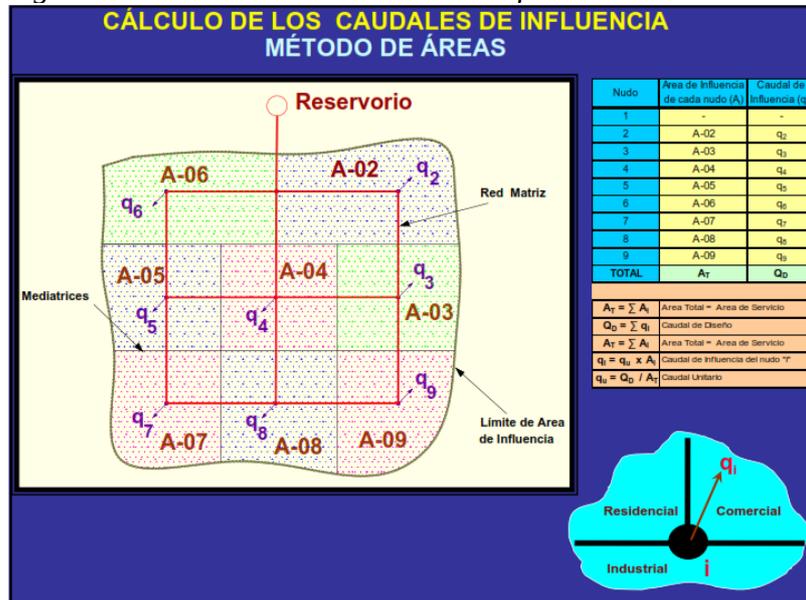
<b>PARÁMETROS ASUMIDOS</b>	
Tasa de Crecimiento	2.59
Número de Habitantes por Vivienda	4.26
Conexiones Activas	95%
Factor de Subregistro	7%
Factor de Desperdicio	40%

Dotación de agua a la población sin servicio	40 l/hab/día
Elasticidad del Precio	-0.24
Elasticidad del Ingreso	0.04
Tasa de Crecimiento del FBI	3%

Fuente: EPS. EMUSAP ABANCAY S.A.C.

Considerando los datos de la empresa prestadora de servicios de agua potable (EPS. EMUSAP ABANCAY S.A.C) se determinó la demanda en los nodos por el método de áreas (Ver Figura 8. Calculo de los caudales de influencia).

Figura 8: Cálculo de los caudales de influencia



Fuente: Manual WaterCAD, Modelamiento computarizado de sistema de distribución de agua, Ing. Yuri Marco Sánchez Merlo

## 2.4. Proceso de modelación, corrida ajuste y calibración del modelo

### 2.4.1. Proceso de modelación

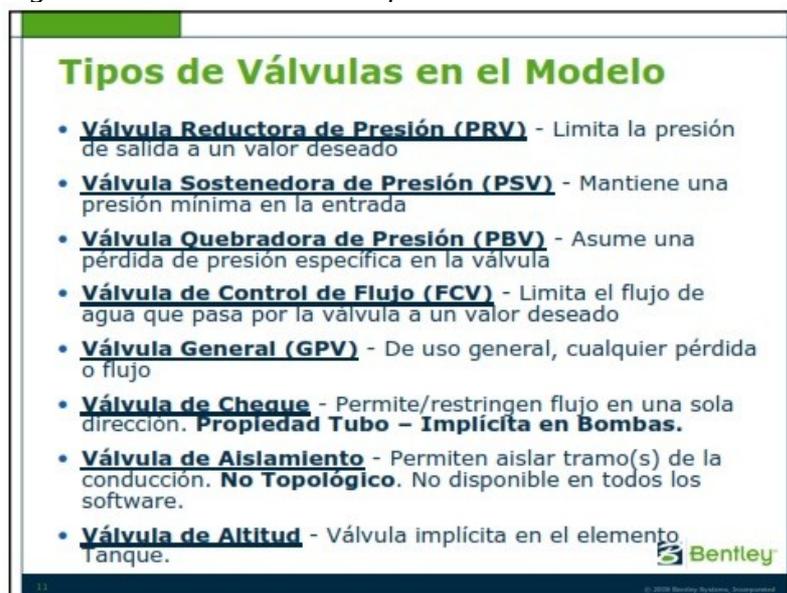
Para el ensamblaje de un modelo en primer lugar se requieren planos o mapas de referencia de los cuales se obtiene la siguiente información:

- ❖ **Topología de la red.** Configuración física y la conectividad de la red: diámetros, longitudes, materiales, coeficientes de fricción, pérdidas

menores, etc. Esta información se ha obtiene de los planos catastrales de la EPS. EMUSAP ABANCAY. S.A.C.

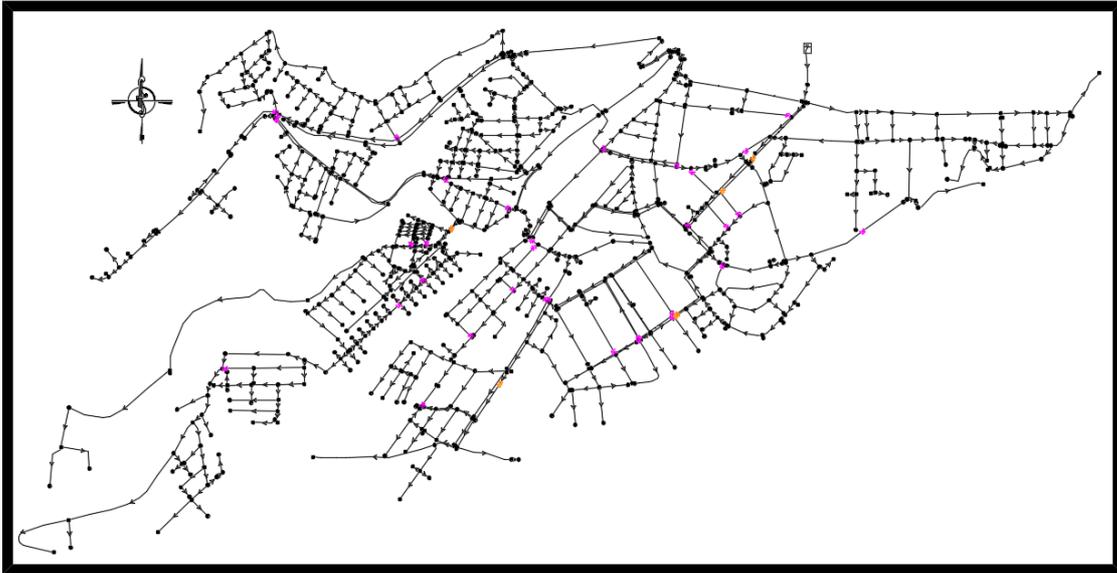
- ❖ Tanques. Elevación, geometría, volumen activo, niveles de operación, etc. Esta información también se ha obtenido exclusivamente en campo.
- ❖ Nodos. Cotas de elevación, demandas, patrones de demanda, etc. Los datos se ha obtenido de la topografía, macro mediciones y proyecciones de población.
- ❖ Válvulas de control hidráulico. Diámetros, coeficientes de pérdidas menores. Mediante catálogos técnicos, información de campo, etc.
- ❖ Luego de obtenida los datos se ha introducido al Programa WaterCAD V8i cuyo resultado presentamos en el siguiente captura de pantalla.

Figura 9: Válvulas utilizadas para Control Hidráulico



Fuente: Curso Water/GEMS – Aguazul, Colombia – Noviembre de 2008.

Figura 10: Modelo Estructurado del Sector II-B. Programa WaterCAD V8i.



Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.2. Calibración del modelo

La calibración es el proceso mediante el cual se ajustan las características del modelo de simulación, para que este refleje de la mejor forma posible el comportamiento del sistema real. La calibración demuestra la capacidad del modelo para reproducir condiciones existentes y por lo tanto genera confianza para predecir condiciones futuras.

Cuando el modelo hidráulico es utilizado en aplicaciones específicas destinadas al análisis del comportamiento de redes existentes, es indispensable realizar la calibración correspondiente en el mismo, para garantizar que se estén simulando las condiciones reales del sistema. Esto se logra realizando planes piezométricos sobre la red en estudio, ya sea en aplicaciones específicas destinadas a las acometidas domiciliarias o en hidrantes o como para el caso particular en puntos de monitores directamente instalados en red para tal fin, obteniendo información de referencia sobre las presiones existentes en los nodos referidos en cualquier hora del día. Así mismo es aconsejable realizar aforos de caudal en puntos estratégicos de la red, como salida de planta o puntos de alimentación de sectores independientes si se ha llevado a cabo un programa de

sectorización. El modelo permite realizar las calibraciones pertinentes a través del ingreso de patrones de demanda al sistema, patrones de consumo, patrones de fugas, simulación con gradientes hidráulicos variables en la alimentación del sector, recabar datos en los puntos y controles lógicos variables en válvulas de control, y finalmente modificaciones en el valor de los coeficientes de rugosidad de las tuberías o en el ajuste de las demandas reales en cada nodo.

Un modelo de simulación hidráulica de una red de distribución se crea a partir de una combinación de supuestos y criterios de modelación basados en información teórica.

#### **2.4.3. Actividades principales para la calibración del modelo**

- ❖ Recopilación de información de campo:
- ❖ Información física
- ❖ Comportamiento de válvulas reguladoras
- ❖ Características de tanques
- ❖ Condiciones de control (válvulas, etc.)
- ❖ Información Operacional

#### **2.4.4. Principios de calibración**

Un modelo de una red de distribución es creado a partir de una serie de suposiciones, modeladas a juicio, y las mejores suposiciones se basan en la información teórica. Obviamente, esto no siempre genera resultados que están de acuerdo con lo que sucede en el mundo real.

La calibración es el proceso de ajustar las características del modelo de distribución de agua que mejor refleje el comportamiento real del sistema. El proceso de calibración puede incluir cambios en las demandas del sistema, las variaciones en las rugosidades de las tuberías, alteraciones en las

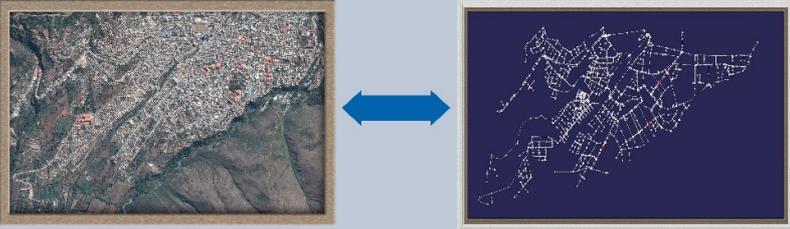
características de operación de las bombas y ajustes de otros parámetros que afectan la calidad del modelo.

- **El Significado de la Calibración.** El proceso de calibración es una operación importante y necesaria por las siguientes razones:
- **Confianza.** Los modelos de calibración tienen la habilidad de reproducir las condiciones existentes, por esto la creciente confianza en los modelos para predecir condiciones futuras.
- **Entendimiento.** La calibración también actúa como una introducción excelente a la actuación del sistema, mientras el modelador se familiariza con la conducta cambiante de la red causada por las alteraciones a los diferentes componentes.
- **Solución de Problemas.** Un beneficio del proceso de la calibración a menudo pasado por alto es que ayuda a destapar información perdida o desinformación sobre el sistema (como diámetros incorrectos de la tubería o las válvulas cerradas). Las situaciones de campo como las válvulas cerradas, se descubren a menudo y se corrigen durante la calibración.

*Figura 11: Calibración del modelo*

WWW.BENTLEY.COM

## Calibración



- Comparar valores observados vs. modelados
- Hacer ajustes de tal forma que el modelo reproduzca de mejor forma el mundo real
- Certeza en el modelo como una herramienta de decisión

WaterCAD V8i

Fuente: Curso Water/GEMS – Aguazul, Colombia – Noviembre de 2008.

Durante el desarrollo del proyecto se emplearon para el proceso de calibración diferentes alternativas, así:

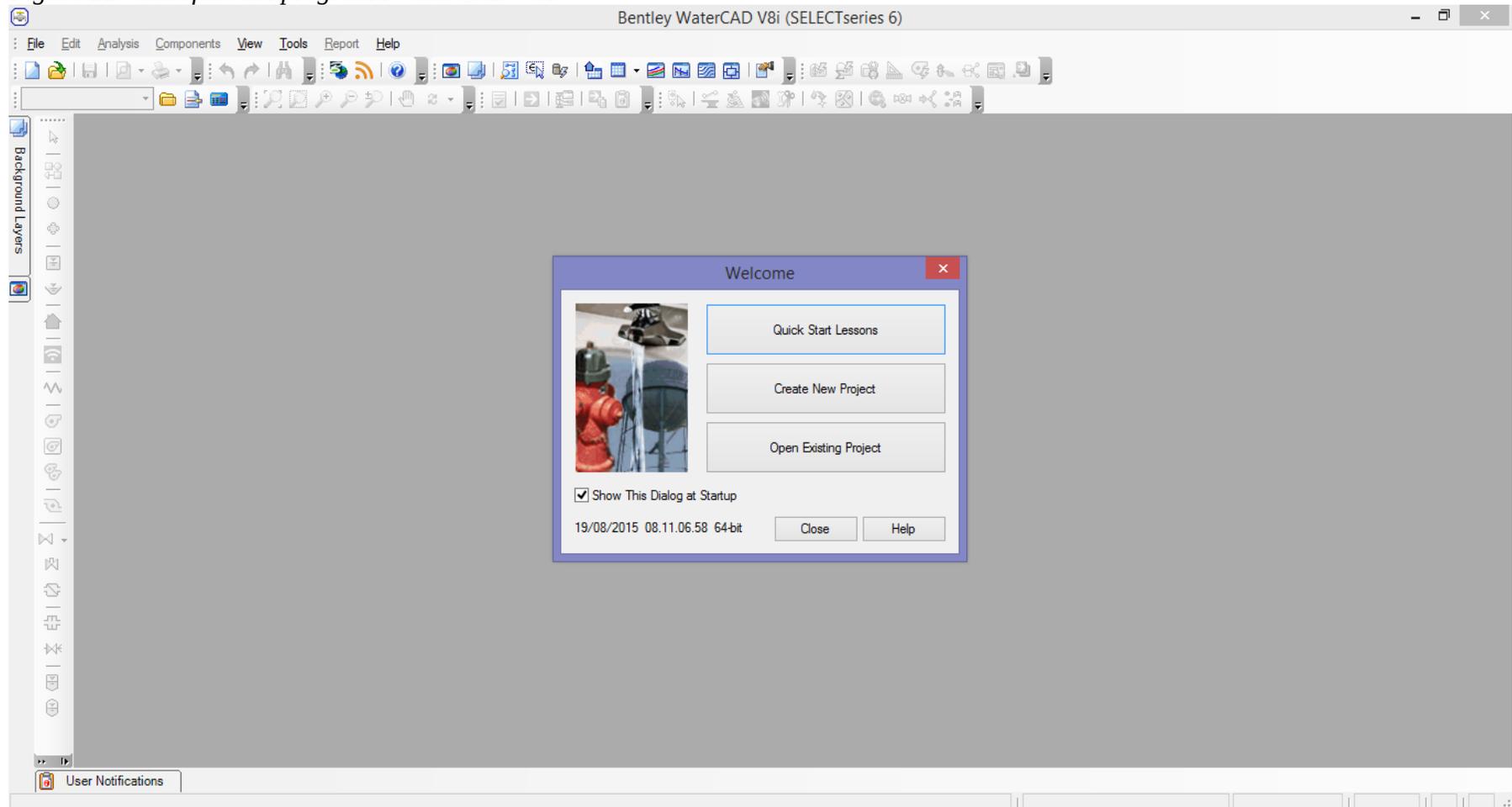
- Cálculo de patrones de alimentación
- Patrón de alimentación
- Definición de controles lógicos de válvulas: simulación de leves variaciones del gradiente hidráulico por efecto de condiciones operativas propias de los elementos hidráulicos de control en campo (Hidrómetros y válvulas reductoras).
- Ajuste de datos de campo Vs Modelo: ajustando de esta manera el calibrador que incorpora el software de modelación, denominado "Darwin Calibrator", el calibrador maneja la última tecnología en calibración, trabajando un gran número de algoritmos genéticos de alta velocidad y eficiencia que combinados con la posibilidad de crear escenarios y alternativas permite la modificación de diferentes variables buscando con ello la mayor aproximación del modelo a la condición real. Los algoritmos genéticos, herramienta utilizada, son una técnica matemática de búsqueda y optimización que encuentra soluciones a un problema basándose en los principios que rigen la evolución de las especies a nivel genético molecular. Estos algoritmos alimentados con una serie de datos permiten ajustar rápidamente los valores de rugosidad demandas y estado de los elementos del sistema, alcanzando un inigualable nivel de confianza en el modelo.

#### **2.4.5. Resultados de la calibración**

A continuación se presentan los resultados obtenidos por la toma de datos de campo, datos que fueron la base para la calibración y ajuste del modelo hidráulico como los son el cálculo del patrón de demanda, presiones y curvas de nivel.

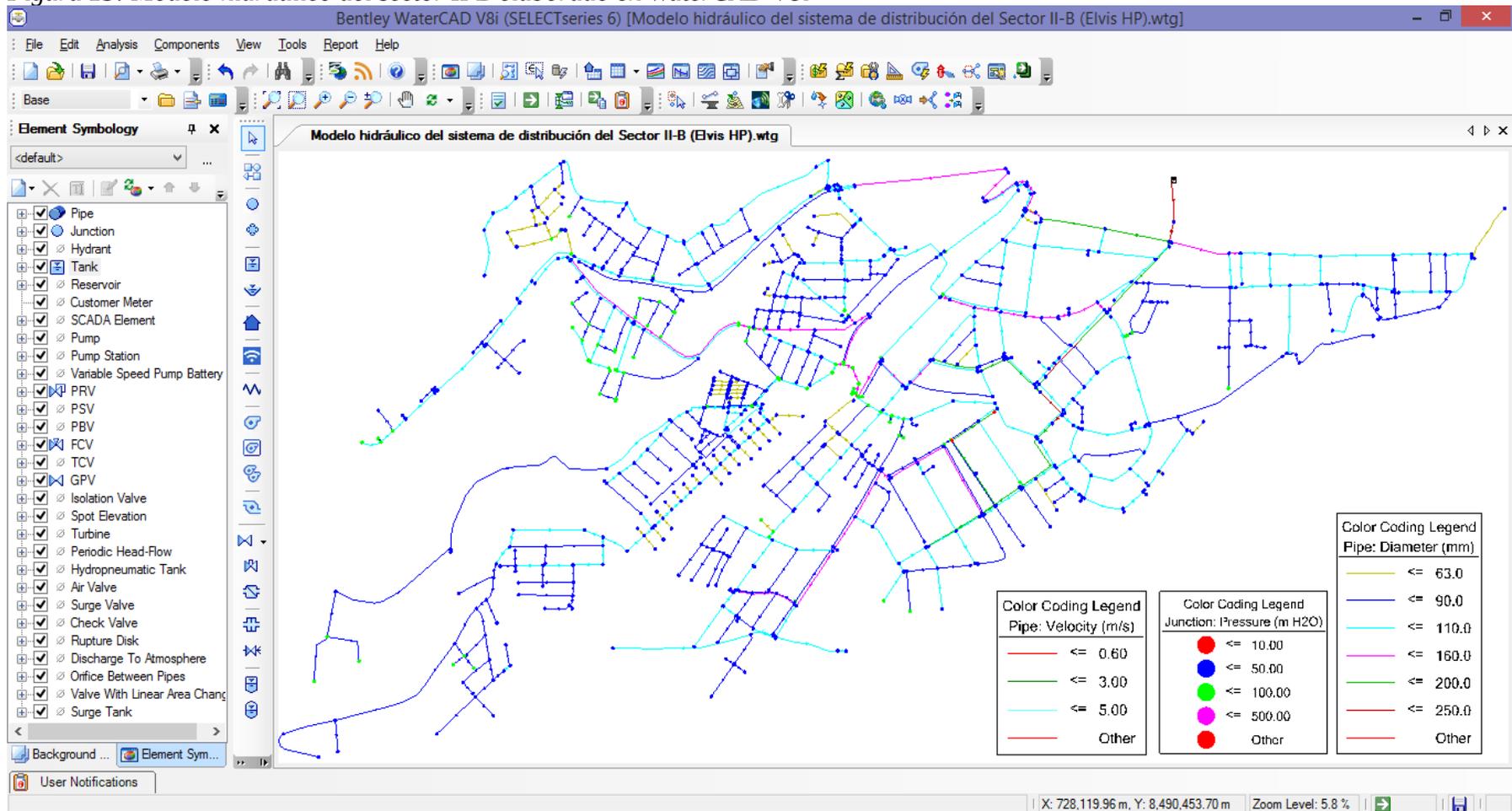
La Calibración se ha efectuado de manera independiente nodo por nodo en el modelo hidráulico cuyas capturas de pantalla presentamos a continuación:

Figura 12: Interfase del programa WaterCAD V8i



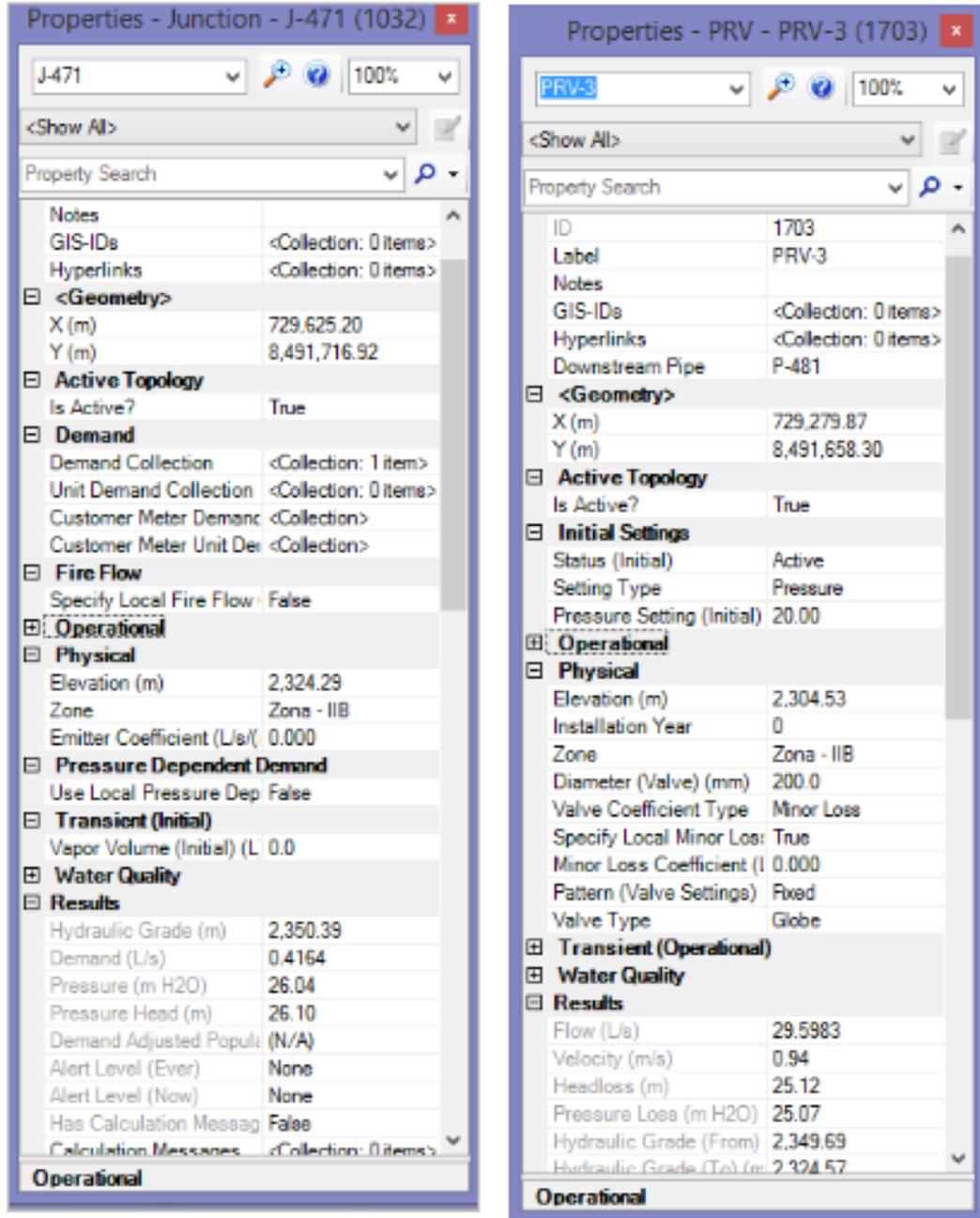
Fuente: Elaboración Propia

Figura 13: Modelo hidráulico del sector II B elaborado en WaterCAD V8i



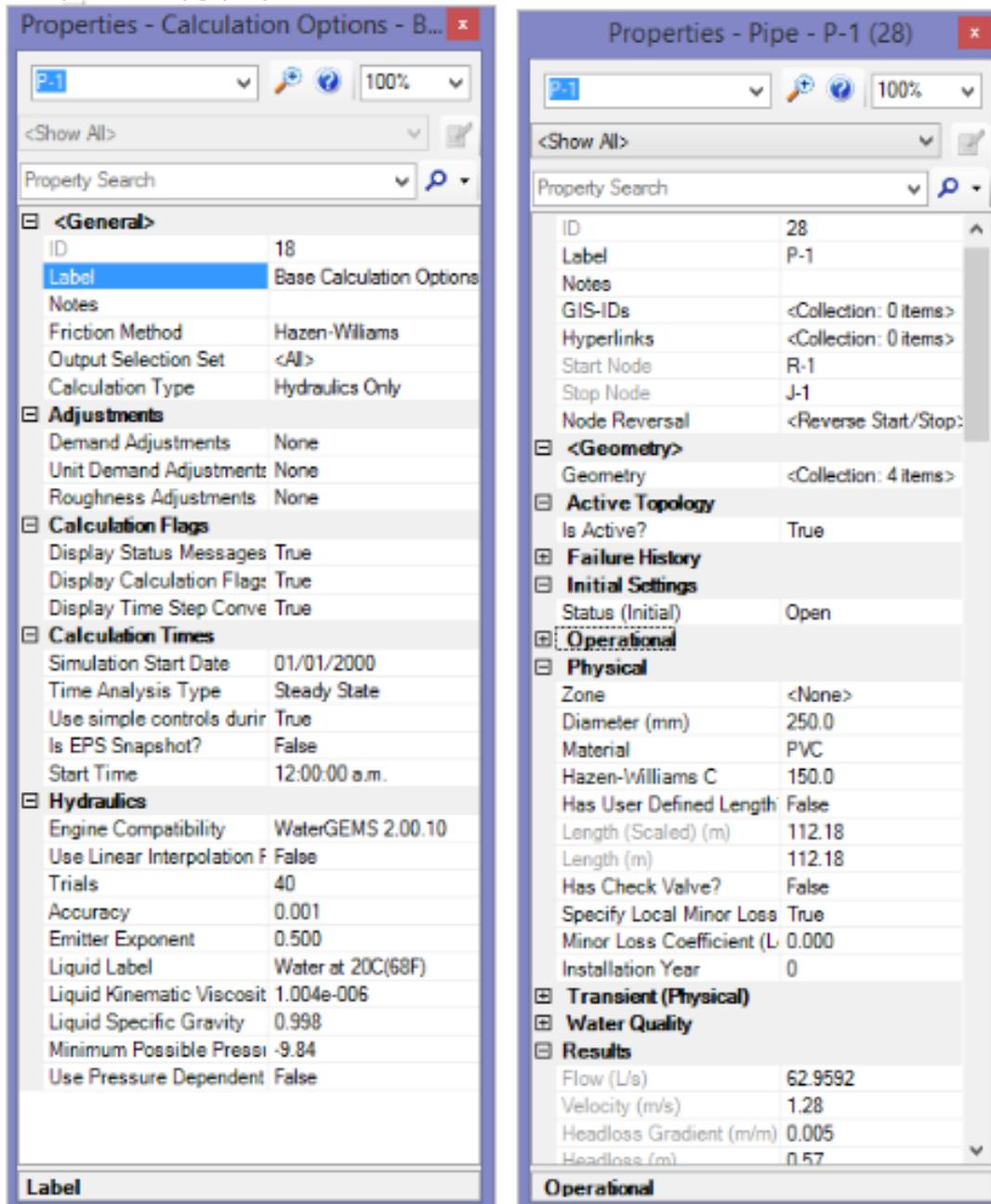
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Propiedades del nodo y de válvula del modelo hidráulico del sector II-B. WaterCAD V8i. (Nodos)



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Propiedad del modelo hidráulico óptimo del sector II-B. WaterCAD V8i. (Presiones) y propiedades de la tubería



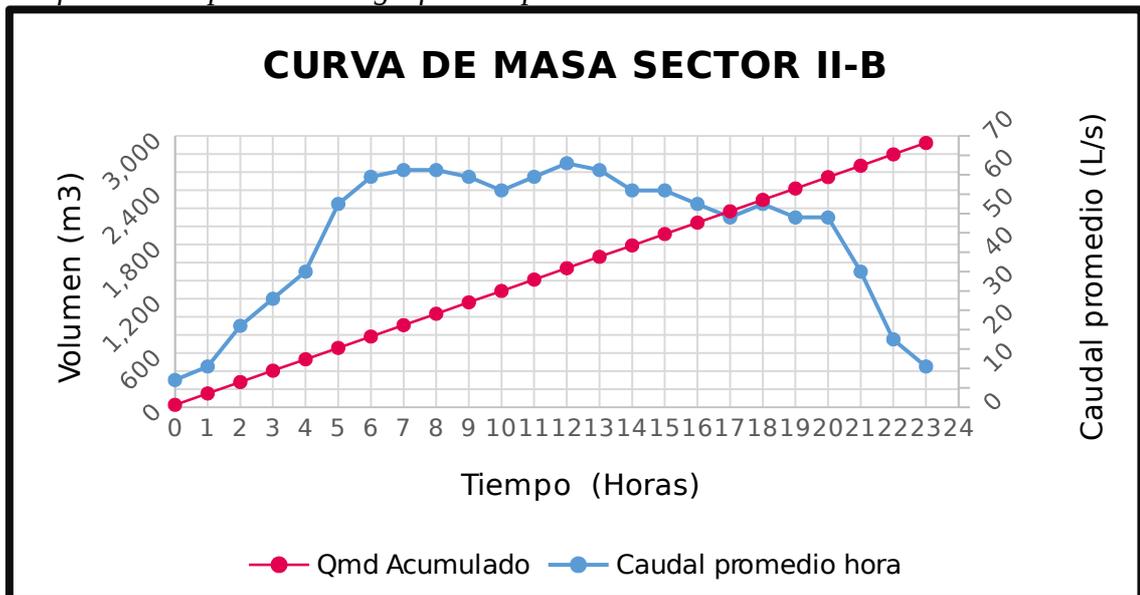
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.6. Cálculo del patrón de demanda

El patrón de demanda es el valor numérico que expresa el comportamiento y variación horaria de la demanda de agua del sistema, para el caso específico del Sector II-B, es posible interpretar las variaciones presentadas en el

consumo a lo largo del día y que son producto de las características sociales, culturales y económicas de la población servida, así como también de aspectos como el clima, las actividades comerciales y administrativas de la población. En este sentido, determinar el patrón de demanda es vital para el proceso de calibración, ya que es el que define caudales máximos, mínimos y medios en el sector y rige el comportamiento hidráulico del sector, logrando con ello entender el sistema bajo estas condiciones. El patrón de la demanda se deriva del número de habitantes por vivienda extraídos de los parámetros empleados de la empresa EMUSAP ABANCAY S.A.C. Y la cantidad de viviendas en el sector mediante el catastro de usuarios de la empresa (Ver Tabla 9. Cuadro de demanda para el modelo del sector II-B). Donde por medio de cálculo el patrón de demanda para cada hora es el resultado del valor horario de caudal de demanda como promedio de caudal para 24 horas (Ver Gráfico 1. Comportamiento gráfico del patrón de demanda del sector II-B)

Gráfico 1: Comportamiento gráfico del patrón de demanda del sector II-B



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Cuadro de demandas para el modelo del sector II-B

CUADRO DE DEMANDAS PARA EL SECTOR II-B				
CAUDAL ASIGNADO EN EL SECTOR II-B MÉTODO DE ÁREAS			CAUDAL ASIGNADO	
Nº DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (Q) (l/s)	NODOS (J)	DEMANDA
ÁREA DELIMITADA 1	136,419.28	4.100	375, 763, 369,368, 363,	0.3727

			366, 372, 373, 360, 357, 355.	
ÁREA DELIMITADA 2	70,420.42	2.116	791, 789, 788, 787, 786, 784, 782, 783, 781.	0.2351
ÁREA DELIMITADA 3	208,018.44	6.251	761, 762, 336, 334, 332, 328, 330, 322, 320, 326, 327, 403, 405, 407, 409, 343, 342, 340, 346, 345,	0.3126
ÁREA DELIMITADA 4	25,621.85	0.770	767, 771, 318.	0.2567
ÁREA DELIMITADA 5	27,548.14	0.828	400, 401, 398, 397, 394, 395, 391, 392, 389, 387, 383, 385, 379, 780, 381.	0.0552
ÁREA DELIMITADA 6	26,829.92	0.806	288, 313, 314, 315, 316, 303, 302, 300, 299, 298, 297, 307.	0.0672
ÁREA DELIMITADA 7	26,305.70	0.791	242, 241, 239, 237, 236, 231.	0.1318
ÁREA DELIMITADA 8	28,128.91	0.845	248, 252, 255, 257, 269.	0.1691
ÁREA DELIMITADA 9	69,971.83	2.103	151, 149, 153, 155, 140, 131, 128, 141, 143, 139, 148, 146, 134, 145.	0.1502
ÁREA DELIMITADA 10	83,063.51	2.496	176, 175, 177, 166, 160, 165, 167, 169, 171, 173, 174.	0.2269
ÁREA DELIMITADA 11	55,085.96	1.655	724, 718, 726, 722, 720, 714, 680, 681.	0.2069
ÁREA DELIMITADA 12	26,445.80	0.795	688, 710, 712, 687, 705, 706, 708, 689.	0.0993
ÁREA DELIMITADA 13	40,176.16	1.207	699, 697, 698, 702, 694, 692, 700.	0.1725
ÁREA DELIMITADA 14	98,759.24	2.968	744, 743, 737, 739, 651, 656, 652, 654, 613, 604, 735, 729, 733.	0.2283
ÁREA DELIMITADA 15	102,145.37	3.070	608, 612, 676, 622, 642, 621, 645, 674.	0.3837
ÁREA DELIMITADA 16	121,760.28	3.659	647, 662, 658, 664, 670, 669, 667, 671, 640, 637, 631, 627, 628, 643.	0.2614
ÁREA DELIMITADA 17	129,756.00	3.899	588, 598, 280, 279, 596, 595, 190, 582, 584, 513, 523, 435, 434.	0.2999
ÁREA DELIMITADA 18	170,426.47	5.121	561, 559, 547, 568, 539, 543, 527, 538, 530, 750, 554, 556, 551, 537.	0.3658
ÁREA DELIMITADA 19	263,269.10	7.912	448, 445, 441, 456, 453, 452, 455, 471, 463, 498, 467, 495, 492, 462, 491, 476, 499, 500, 482.	0.4164
ÁREA DELIMITADA 20	113,399.65	3.408	11, 503, 417, 412, 188, 421, 429, 431.	0.4260
ÁREA DELIMITADA 21	12,778.64	0.384	12, 16, 15.	0.1280
ÁREA DELIMITADA 22	13,407.41	0.403	194, 274.	0.2015
ÁREA DELIMITADA 23	58,006.12	1.743	215, 183, 216, 212, 217, 211, 209, 205, 201, 200, 199, 196, 224, 223, 221, 222.	0.1089
ÁREA DELIMITADA 24	55,534.46	1.669	90, 89, 94, 97, 99, 101, 108, 109, 110, 103, 118.	0.1517
ÁREA DELIMITADA 25	131,741.69	3.959	43, 52, 54, 46, 36, 76,	0.2329

			74, 72, 70, 77, 34, 67, 63, 60, 61, 59, 78.	
TOTAL	<b>2,095,020.35</b>	<b>62.96</b>		<b>5.66</b>

Fuente: Elaboración propia

Este patrón de demanda calculada fue asignada a cada nodo del modelo para que valide el comportamiento real del caudal y considerando a través del tiempo para el sistema. Es decir para que a nivel de consumos en cada nodo o parte del sistema reproduzca de igual manera sobre un valor medio, la tendencia general del sector, variando un promedio a valores horarios de demanda.

#### 2.4.7. Curvas de masas

Se determinó la curva de masas y el factor de variación horaria de la demanda para el sector, evidenciando claramente los requerimientos de caudal y los picos horarios de consumo o caudales máximos que se presentan habitualmente en el transcurso del día (Ver Tabla 10. Datos Curva de masas del Sector II-B y gráficos N° 2 y 3 - Curvas de masas del sector y factor de variación horaria de la demanda del sector II-B).

Tabla 10: Datos Curva de masas del sector II-B

HORA	CAUDAL PROMEDI O HORA (L/S)	CAUDAL PROMEDI O HORA (m3/hr)	VOLUMEN ACUMULAD O (m3)	FVHD	Qmd Acumulad o	Qmd (m3/h)	Qmd (L/S)
0.00	7.00	25.20	25.20	0.20	25.20	126.00	35.00
1.00	10.49	37.76	62.96	0.30	151.20		
2.00	20.99	75.56	138.52	0.60	277.20		
3.00	27.98	100.73	239.25	0.80	403.20		
4.00	34.98	125.93	365.18	1.00	529.20		
5.00	52.46	188.86	554.04	1.50	655.20		
6.00	59.46	214.06	768.10	1.70	781.20		
7.00	61.21	220.36	988.46	1.75	907.20		
8.00	61.21	220.36	1,208.82	1.75	1,033.20		
9.00	59.46	214.06	1,422.88	1.70	1,159.20		
10.00	55.96	201.46	1,624.34	1.60	1,285.20		
11.00	59.46	214.06	1,838.40	1.70	1,411.20		
12.00	62.96	226.66	2,065.06	1.80	1,537.20		
13.00	61.21	220.36	2,285.42	1.75	1,663.20		
14.00	55.96	201.46	2,486.88	1.60	1,789.20		
15.00	55.96	201.46	2,688.34	1.60	1,915.20		
16.00	52.46	188.86	2,877.20	1.50	2,041.20		
17.00	48.97	176.29	3,053.49	1.40	2,167.20		
18.00	52.46	188.86	3,242.35	1.50	2,293.20		

19.00	48.97	176.29	3,418.64	1.40	2,419.20		
20.00	48.97	176.29	3,594.93	1.40	2,545.20		
21.00	34.98	125.93	3,720.86	1.00	2,671.20		
22.00	17.49	62.96	3,783.82	0.50	2,797.20		
23.00	10.49	37.76	3,821.58	0.30	2,923.20		
<b>Promedio</b>	44.23	159.23	1928.11	1.26			
<b>Mínimo</b>	7.00	25.20	25.20	0.20			
<b>Máximo</b>	62.96	226.66	3821.58	1.80			

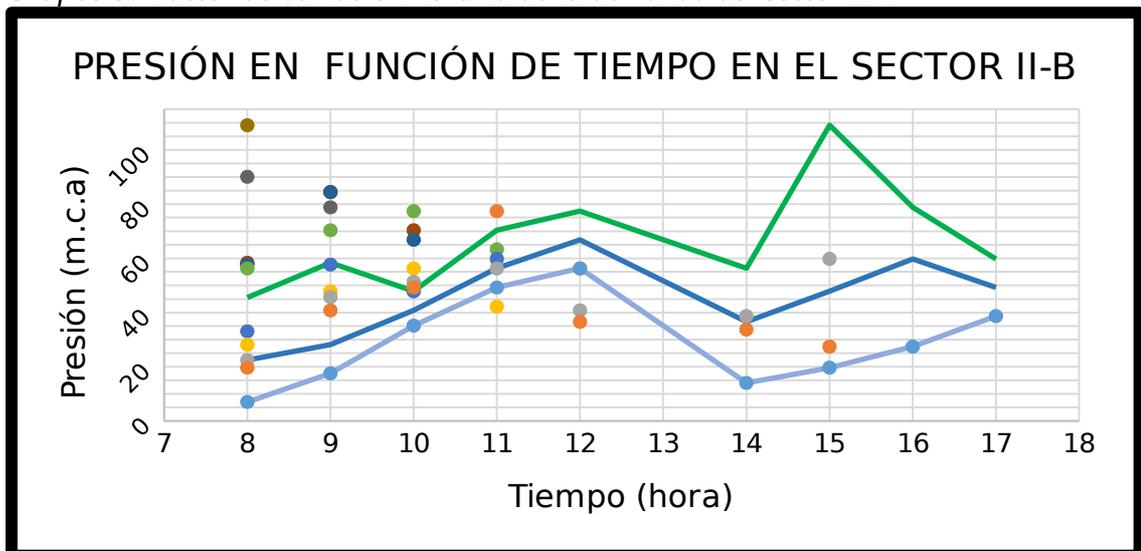
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Curva de masas sector II-B



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Factor de variación horaria de la demanda del sector II-B



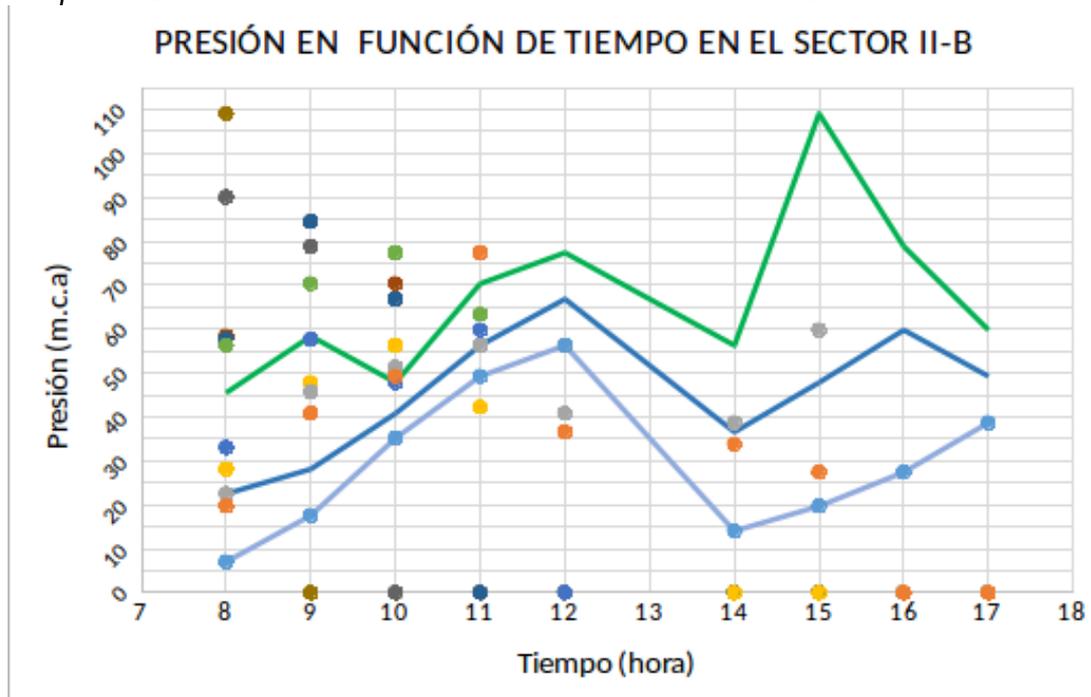
Fuente: Elaboración propia

Donde:

FVHD.- Factor de variación horaria de la demanda del sector, el cual se deriva de la división entre caudal promedio hora y el caudal medio diario, y define la forma en la cual varía la demanda hora a hora para el sector, permitiendo entre otras visualizar puntos máximos, mínimos y promedios en la demanda.

El proceso de validar la calibración comienza con el análisis de datos de campo, básicamente presiones medidas en campo, el objetivo final de este proceso de comparación será reproducir mediante el modelo los valores aquí reportados buscando un grado de ajuste tal que permita el uso del modelo en aplicaciones de simulación y toma de decisiones futuras en cuanto a la operación, proyección y optimización del sistema (Ver gráfico 4. Presión recabada de micro sectores y Tabla 11. Consolidado de datos de presión registrados en campo)

Gráfico 4: Presión recabada de áreas delimitadas del sector II-B



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Consolidado de datos de presión registrados en Campo

HORA	Nº DE ÁREA DELIMITADA DEL SECTOR II-B	FECHA	NODOS (J)	PRESIÓN MEDIDO EN CAMPO	
8.00	08:45:00 a.m.	19 ARRIBA	05/06/2015	500	7.04

9.00	09:00:00 a.m.	19 ABAJO	05/06/2015	484	28.14
	09:13:00 a.m.	18 ARRIBA	09/06/2015	526	17.59
	09:25:00 a.m.	18 ABAJO	09/06/2015	580	56.28
	09:20:00 a.m.	20 ARRIBA	05/06/2015	14	19.70
	09:30:00 a.m.	21 ARRIBA	05/06/2015	17	22.51
	09:40:00 a.m.	15 ARRIBA	09/06/2015	697	57.69
	09:50:00 a.m.	15 ABAJO	09/06/2015	641	33.07
	09:30:00 a.m.	16 ARRIBA	09/06/2015	644	58.39
10.00	10:50:00 a.m.	8 ARRIBA	05/06/2015	265	45.73
	10:15:00 a.m.	22 ARRIBA	05/06/2015	188	40.81
	10:30:00 a.m.	23 ARRIBA	05/06/2015	200	35.18
	10:05:00 a.m.	21 ABAJO	05/06/2015	18	47.84
11.00	11:35:00 a.m.	4 ARRIBA	05/06/2015	238	51.36
	11:40:00 a.m.	7 ARRIBA	05/06/2015	233	56.28
	11:53:00 a.m.	7 ABAJO	05/06/2015	240	57.69
	11:15:00 a.m.	8 ABAJO	05/06/2015	255	49.25
	11:42:00 a.m.	22 ABAJO	05/06/2015	277	70.35
	11:00:00 a.m.	23 ABAJO	05/06/2015	219	49.25
12.00	12:10:00 p.m.	6 ABAJO	05/06/2015	322	77.39
	12:32:00 p.m.	3 ARRIBA	05/06/2015	334	56.28
14.00	02:38:00 p.m.	25 ABAJO	05/06/2015	58	36.58
	02:49:00 p.m.	5 ARRIBA	05/06/2015	396	56.28
	02:20:00 p.m.	24 ARRIBA	05/06/2015	90	14.07
15.00	03:25:00 p.m.	25 ARRIBA	04/06/2015	41	19.70
	03:35:00 p.m.	9 ARRIBA	04/06/2015	116	33.77
	03:50:00 p.m.	10 ARRIBA	04/06/2015	118	40.81
	03:28:00 p.m.	11 ARRIBA	09/06/2015	678	47.84
	03:45:00 p.m.	11 ABAJO	09/06/2015	744	42.21
	03:33:00 p.m.	14 ABAJO	09/06/2015	764	77.39
	03:43:00 p.m.	1 ARRIBA	05/06/2015	827	84.43
	03:55:00 p.m.	1 ABAJO	05/06/2015	391	109.05
	03:22:00 p.m.	2 ARRIBA	05/06/2015	362	84.43
	03:00:00 p.m.	5 ABAJO	05/06/2015	415	90.05
16.00	04:15:00 p.m.	3 ABAJO	05/06/2015	790	78.80
	04:44:00 p.m.	9 ABAJO	04/06/2015	155	70.35
	04:01:00 p.m.	10 ABAJO	04/06/2015	171	56.28
	04:00:00 p.m.	12 ARRIBA	09/06/2015	706	27.44
	04:15:00 p.m.	13 ARRIBA	09/06/2015	715	27.44
	04:33:00 p.m.	14 ARRIBA	05/06/2015	620	63.32
	04:58:00 p.m.	17 ARRIBA	05/06/2015	600	38.70
	04:45:00 p.m.	17 ABAJO	05/06/2015	608	59.80
	04:30:00 p.m.	24 ABAJO	04/06/2015	100	66.84
17.00	05:00:00 p.m.	6 ARRIBA	04/06/2015	228	59.80
	05:05:00 p.m.	20 ABAJO	05/06/2015	196	38.70
PROMEDIO					50.26
MÁXIMO					109.05
MÍNIMO					7.04
DIFERENCIA					102.01

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se evidencia el comportamiento de las presiones en los diferentes puntos recopilados y es posible observar valores máximos y mínimos de presión producidos en el sector II-B.

Complementariamente es posible determinar los valores puntuales de presión para cada punto, en donde se aprecia que para las horas de máximos consumos se presentan las presiones intermedias, aspecto que confirma el comportamiento típico del sector en función de la demanda asignada.

Adicionalmente es posible determinar el rango del plano piezométricos verificando puntos de menor presión y puntos de mayor presión en el sector II-B (Datos recopilados en el sector II-B). El Tabla 12 presenta los valores de presión reportados por el modelo durante el proceso de calibración, los cuales son aceptados como válidos mediante un proceso de comparación con los valores medidos en campo durante la recopilación. Al final es posible demostrar que los valores de campo y modelo presentan valores diferentes para cada punto de recopilación; lo que valida el desarrollo de la calibración por presentar un 84.78 % de 0 a 1m de diferencia en el desarrollo de la calibración del sector II-B, y en este sentido la confiabilidad en la representación de la realidad dada por el modelo. (Ver Tabla 13 - Consolidado de diferencia de presiones después de la calibración).

A continuación se presenta el cuadro consolidado en el que es posible observar de forma detallada los valores obtenidos para cada punto recabado, incluyendo valores máximos, mínimos y promedios

*Tabla 12: Consolidado de datos de presión reportados por el modelo.*

<b>CUADRO DEL MODELO CALIBRADO POR EL PROGRAMA WATERCAD V8i DARWIN CALIBRATOR</b>		
<b>N° DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B</b>	<b>NODO (J)</b>	<b>MODELO CALIBRADO PRESIÓN (M.C.A)</b>
ÁREA DELIMITADA 1	J-796	85.09
	J-375	109.86
ÁREA DELIMITADA 2	J-347	85.22
	---	---
ÁREA DELIMITADA 3	J-319	57.12
	J-760	79.13
ÁREA DELIMITADA 4	J-235	59.47
	---	---
ÁREA DELIMITADA 5	J-381	57.03
	J-399	90.55
ÁREA DELIMITADA 6	J-225	60.17
	J-293	58.11
	J-308	76.03
ÁREA DELIMITADA 7	J-231	51.94
	J-237	58.01
ÁREA DELIMITADA 8	J-262	36.43
	J-252	50.10

ÁREA DELIMITADA 9	J-113	34.65
	J-152	70.75
ÁREA DELIMITADA 10	J-166	40.82
	J-168	56.44
ÁREA DELIMITADA 11	J-657	47.33
	J-720	42.49
ÁREA DELIMITADA 12	J-685	27.15
	---	---
ÁREA DELIMITADA 13	J-702	27.62
	---	---
ÁREA DELIMITADA 14	J-600	60.13
	J-742	77.09
ÁREA DELIMITADA 15	J-617	52.41
	J-621	33.66
ÁREA DELIMITADA 16	J-625	58.88
	---	---
ÁREA DELIMITADA 17	J-581	38.03
	J-588	59.50
ÁREA DELIMITADA 18	J-508	17.53
	J-561	56.47
ÁREA DELIMITADA 19	J-482	7.10
	J-466	28.58
ÁREA DELIMITADA 20	J-11	19.88
	J-193	39.10
ÁREA DELIMITADA 21	J-14	20.76
	J-15	49.07
ÁREA DELIMITADA 22	J-185	40.83
	J-274	70.42
ÁREA DELIMITADA 23	J-197	35.58
	J-210	48.83
ÁREA DELIMITADA 24	J-78	14.25
	J-97	66.79
ÁREA DELIMITADA 25	J-38	20.37
	J-55	35.98
PROMEDIO		50.28
MÁXIMO		109.86
MÍNIMO		7.10
DIFERENCIA		102.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Consolidado de diferencia de presiones después de la calibración.

DIFERENCIA DE PRESIONES DATOS DE CAMPO CON MODELO CALIBRADO POR EL PROGRAMA WATERCAD V8i DARWIN CALIBRATOR		
N° DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B	NODO (J)	DIFERENCIA DE PRESIONES (M.C.A)
ÁREA DELIMITADA 1	J-796	-0.66
	J-375	-0.81
ÁREA DELIMITADA 2	J-347	-0.79
	---	---
ÁREA DELIMITADA 3	J-319	-0.84
	J-760	-0.33
ÁREA DELIMITADA 4	J-235	0.33
	---	---
ÁREA DELIMITADA 5	J-381	-0.75
	J-399	-0.50
ÁREA DELIMITADA 6	J-225	-0.37

	J-293	-0.42
	J-308	1.36
ÁREA DELIMITADA 7	J-231	4.34
	J-237	-0.32
ÁREA DELIMITADA 8	J-262	9.30
	J-252	-0.85
ÁREA DELIMITADA 9	J-113	-0.88
	J-152	-0.40
ÁREA DELIMITADA 10	J-166	-0.01
	J-168	-0.16
ÁREA DELIMITADA 11	J-657	0.51
	J-720	-0.28
ÁREA DELIMITADA 12	J-685	0.29
	---	---
ÁREA DELIMITADA 13	J-702	-0.18
	---	---
ÁREA DELIMITADA 14	J-600	3.19
	J-742	0.30
ÁREA DELIMITADA 15	J-617	5.28
	J-621	-0.59
ÁREA DELIMITADA 16	J-625	-0.49
	---	---
ÁREA DELIMITADA 17	J-581	0.67
	J-588	0.30
ÁREA DELIMITADA 18	J-508	0.06
	J-561	-0.19
ÁREA DELIMITADA 19	J-482	-0.06
	J-466	-0.44
ÁREA DELIMITADA 20	J-11	-0.18
	J-193	-0.40
ÁREA DELIMITADA 21	J-14	1.75
	J-15	-1.23
ÁREA DELIMITADA 22	J-185	-0.02
	J-274	-0.07
ÁREA DELIMITADA 23	J-197	-0.40
	J-210	0.42
ÁREA DELIMITADA 24	J-78	-0.18
	J-97	0.05
ÁREA DELIMITADA 25	J-38	-0.67
	J-55	0.60
PROMEDIO		0.33
MÁXIMO		9.30
MÍNIMO		-1.23
DIFERENCIA		8.07

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.8. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

Tabla 14: Valbulas de control de flujo del modelo calibrado a datos de campo

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Status (Initial)
----	-------	---------------	-----------------------	--------------------------------	------------	----------------------------	--------------------------	--------------	------------------

1825 FCV-1	2274.52	110	0.39	0	2311.39	2316.73	0	Closed
1834 FCV-2	2285.3	90	0.39	0	2332.1	2317.23	0	Closed
1837 FCV-3	2289.44	90	0.39	0	2332.25	2317.53	0	Closed
1843 FCV-4	2321.16	110	0.39	0	2338.93	2350.56	0	Closed
1846 FCV-5	2299.98	90	0.39	0	2332.25	2331.91	0	Closed
1849 FCV-6	2300	110	0.39	0	2338.91	2331.73	0	Closed
1852 FCV-7	2295.42	110	0.39	0	2342.23	2331.26	0	Closed
1858 FCV-8	2254.27	90	0.39	0	2289.42	2315.91	0	Closed
1864 FCV-9	2238.66	90	0.39	0	2289.41	2289.43	0	Closed
1867 FCV-10	2220.62	90	0.39	0	2289.4	2289.4	0	Closed
1870 FCV-11	2192.1	110	0.39	0	2232.57	2222.67	0	Closed
1873 FCV-12	2235.86	110	0.39	0	2309.95	2274.77	0	Closed
1876 FCV-13	2242.6	90	0.39	0	2316.3	2309.96	0	Closed
1879 FCV-14	2242.07	110	0.39	0	2309.96	2265	0	Closed
1895 FCV-15	2212.56	110	0.39	0	2303.92	2269.93	0	Closed
1898 FCV-16	2171.53	90	0.39	0	2256.87	2256.38	0	Closed
1972 FCV-17	2280.74	110	0.39	0	2331.21	2314.72	0	Closed
1975 FCV-18	2279.49	110	0.39	0	2314.6	2314.71	0	Closed
1978 FCV-19	2280.68	110	0.39	0	2314.62	2331.21	0	Closed
1981 FCV-20	2234.91	90	0.39	0	2295.05	2308.41	0	Closed
1984 FCV-21	2232.44	90	0.39	0	2295.05	2308.01	0	Closed
1987 FCV-22	2257.72	110	0.39	0	2306.73	2314.81	0	Closed
1996 FCV-23	2297.31	110	0.39	0	2338.03	2331.23	0	Closed
1999 FCV-24	2250.75	110	0.39	0	2309.97	2265.03	0	Closed
2002 FCV-25	2251.59	110	0.39	0	2316.35	2309.97	0	Closed
2021 FCV-26	2255.07	110	0.39	0	2315.91	2315.63	0	Closed
2024 FCV-27	2305.66	110	0.39	0	2350.56	2332.58	0	Closed
2027 FCV-28	2297.39	90	0.39	0	2335.36	2317.73	0	Closed
2111 FCV-29	2243.29	90	0.39	0	2289.42	2264.68	0	Closed
2126 FCV-30	2279.41	110	0.39	0	2331.81	2316.75	0	Closed
2201 FCV-31	2319.58	110	0.39	0	2342.23	2338.91	0	Closed
2204 FCV-32	2300.76	110	0.39	0	2342.23	2338.91	0	Closed
2207 FCV-33	2299.55	110	0.39	0	2342.23	2338.91	0	Closed
2233 FCV-34	2254.58	90	0.39	0	2316.31	2309.96	0	Closed
2317 FCV-35	2268.21	90	0.39	0	2317.72	2311.37	0	Closed
2394 FCV-36	2257.36	90	0.39	0	2314.85	2306.73	0	Closed
2399 FCV-37	2264.98	90	0.39	0	2314.89	2310.91	0	Closed
2402 FCV-38	2271.56	90	0.39	0	2314.89	2310.91	0	Closed
2409 FCV-39	2266.83	110	0.39	0	2314.89	2310.91	0	Closed

Tabla 15: Válvulas de control de flujo del modelo Propuesto

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Status (Initial)
----	-------	---------------	-----------------------	--------------------------------	------------	----------------------------	--------------------------	--------------	------------------

1825 FCV-1	2274.52	110	0.39	0	2294.58	2309.85	0	Closed
1834 FCV-2	2285.3	90	0.39	0	2324.19	2312.25	0	Closed
1837 FCV-3	2289.44	90	0.39	0	2324.23	2313.68	0	Closed
1843 FCV-4	2321.16	110	0.39	0	2346.39	2350.54	0	Closed
1846 FCV-5	2299.98	90	0.39	0	2324.23	2324.2	0	Closed
1849 FCV-6	2300	110	0.39	0	2346.37	2324.17	0	Closed
1852 FCV-7	2295.42	110	0.39	0	2349.29	2324.35	0	Closed
1858 FCV-8	2254.27	90	0.39	0	2270.51	2308.95	0	Closed
1864 FCV-9	2238.66	90	0.39	0	2270.51	2270.52	0	Closed
1867 FCV-10	2220.62	90	0.39	0	2270.5	2270.5	0	Closed
1870 FCV-11	2192.1	110	0.39	0	2232.56	2222.67	0	Closed
1873 FCV-12	2235.86	110	0.39	0	2271.88	2267.82	0	Closed
1876 FCV-13	2242.6	90	0.39	0	2309.35	2271.88	0	Closed
1879 FCV-14	2242.07	110	0.39	0	2271.88	2265	0	Closed
1895 FCV-15	2212.56	110	0.39	0	2257.65	2228.23	0	Closed
1898 FCV-16	2171.53	90	0.39	0	2203.83	2203.33	0	Closed
1972 FCV-17	2280.74	110	0.39	0	2331.46	2308.12	0	Closed
1975 FCV-18	2279.49	110	0.39	0	2308	2308.11	0	Closed
1978 FCV-19	2280.68	110	0.39	0	2308.02	2331.46	0	Closed
1981 FCV-20	2234.91	90	0.39	0	2261.93	2262.17	0	Closed
1984 FCV-21	2232.44	90	0.39	0	2261.93	2261.76	0	Closed
1987 FCV-22	2257.72	110	0.39	0	2282.71	2308.21	0	Closed
1996 FCV-23	2297.31	110	0.39	0	2342.52	2331.47	0	Closed
1999 FCV-24	2250.75	110	0.39	0	2271.9	2265.03	0	Closed
2002 FCV-25	2251.59	110	0.39	0	2309.4	2271.9	0	Closed
2021 FCV-26	2255.07	110	0.39	0	2308.95	2309.08	0	Closed
2024 FCV-27	2305.66	110	0.39	0	2350.54	2324.31	0	Closed
2027 FCV-28	2297.39	90	0.39	0	2335.34	2316.32	0	Closed
2111 FCV-29	2243.29	90	0.39	0	2270.52	2264.68	0	Closed
2126 FCV-30	2279.41	110	0.39	0	2324.13	2309.83	0	Closed
2201 FCV-31	2319.58	110	0.39	0	2349.3	2346.37	0	Closed
2204 FCV-32	2300.76	110	0.39	0	2349.3	2346.37	0	Closed
2207 FCV-33	2299.55	110	0.39	0	2349.29	2346.37	0	Closed
2233 FCV-34	2254.58	90	0.39	0	2309.36	2271.89	0	Closed
2317 FCV-35	2268.21	90	0.39	0	2316.31	2294.56	0	Closed
2399 FCV-36	2264.98	90	0.39	0	2308.31	2304.32	0	Closed
2402 FCV-37	2271.56	90	0.39	0	2308.31	2304.33	0	Closed
2409 FCV-38	2266.83	110	0.39	0	2308.31	2304.32	0	Closed
2422 FCV-39	2268.91	90	0.39	0	2309.79	2314.17	0	Closed
2425 FCV-40	2277.17	110	0.39	0	2309.79	2317.09	0	Closed

Tabla 16: Válvulas de uso general calibrado a datos de campo

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Pressure (From) (m H2O)	Pressure (To) (m H2O)	Pressure Loss (m H2O)	Status (Initial)	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Velocity (m/s)	
2193	GPV-1	2327.63	200	22.88	15.22	7.67	Active		10	18.12	2350.56	2342.88	7.68	0.58
2194	GPV-2	2327.85	160	22.67	22.67	0	Active		10	7.91	2350.56	2350.56	0	0.39
2197	GPV-3	2308.44	110	41.72	26.86	14.85	Active		10	0.42	2350.24	2335.36	14.88	0.04
2210	GPV-4	2325.57	110	17.03	13.37	3.66	Active		10	1.28	2342.63	2338.96	3.67	0.13
2214	GPV-5	2330.01	63	19.89	5.04	14.85	Active		10	0.42	2349.93	2335.05	14.88	0.13
2218	GPV-6	2302.32	110	30.2	17.4	12.8	Active		10	12.32	2332.58	2319.76	12.82	1.3
2229	GPV-7	2260.49	110	50.78	49.4	1.38	Active		10	1.57	2311.38	2309.99	1.38	0.17
2238	GPV-8	2252.58	90	63.58	22.17	41.41	Active		10	1.15	2316.3	2274.8	41.49	0.18
2242	GPV-9	2253.84	110	61.94	35.61	26.33	Active		10	2.74	2315.9	2289.52	26.38	0.29
2246	GPV-10	2215.79	110	48.7	16.79	31.91	Active		10	1.45	2264.59	2232.61	31.98	0.15
2250	GPV-11	2196.22	110	26.4	14.58	11.82	Active		10	1.21	2222.68	2210.83	11.85	0.13
2254	GPV-12	2304.92	110	28.58	27.8	0.79	Active		10	0.44	2333.56	2332.78	0.79	0.05
2258	GPV-13	2297.99	110	34.72	28.98	5.74	Active		10	1.2	2332.78	2327.03	5.75	0.13
2262	GPV-14	2312.91	110	26.79	18.33	8.46	Active		10	1.01	2339.75	2331.28	8.48	0.11
2265	GPV-15	2311.27	90	28.42	19.96	8.46	Active		10	0.66	2339.75	2331.28	8.47	0.1
2270	GPV-16	2311.69	63	26.96	11.71	15.26	Active		10	0.23	2338.71	2323.42	15.29	0.07
2274	GPV-17	2290.17	90	41.7	34.17	7.52	Active		10	0.2	2331.95	2324.41	7.54	0.03
2278	GPV-18	2226.76	110	79.95	56.15	23.8	Active		10	12.47	2306.87	2283.02	23.85	1.31
2282	GPV-19	2222.33	110	59.6	17.58	42.02	Active		10	0.63	2282.05	2239.95	42.1	0.07
2290	GPV-20	2235.39	110	73.05	55.01	18.04	Active		10	0.44	2308.6	2290.52	18.08	0.05
2307	GPV-21	2307.87	110	31.38	25.94	5.43	Active		10	9.12	2339.31	2333.86	5.45	0.96
2313	GPV-22	2273.91	110	43.69	37.45	6.23	Active		10	2.59	2317.69	2311.44	6.24	0.27
2320	GPV-23	2262.22	110	49.06	54.34	5.28	Active		10	-1.17	2311.38	2316.67	5.29	0.12
2328	GPV-24	2266.15	110	51.02	49.77	1.25	Active		10	0.3	2317.27	2316.02	1.25	0.03

2334 GPV-25	2243.56	90	72.26	21.08	0 Closed	10	0	2315.97	2264.68	0	0
2341 GPV-26	2311.54	110	28.23	27.17	1.07 Active	10	3.96	2339.83	2338.76	1.07	0.42
2345 GPV-27	2266.19	110	48.32	44.11	4.22 Active	10	0.6	2314.61	2310.39	4.23	0.06
2349 GPV-28	2271.35	110	43.12	39.44	3.69 Active	10	2.5	2314.56	2310.87	3.69	0.26
2353 GPV-29	2265.8	90	44.88	20.7	24.19 Active	10	0.68	2310.78	2286.54	24.23	0.11
2357 GPV-30	2257.18	110	53.44	50.74	2.71 Active	10	0.91	2310.73	2308.02	2.71	0.1
2363 GPV-31	2241.7	90	67.62	53.25	14.37 Active	10	0.74	2309.46	2295.06	14.39	0.12
2367 GPV-32	2223.51	90	83.55	80.24	3.31 Active	10	0.33	2307.23	2303.92	3.31	0.05
2368 GPV-33	2223.58	110	66.8	80.17	0 Closed	10	0	2290.52	2303.92	0	0
2371 GPV-34	2211.08	110	69.89	62.75	7.14 Active	10	10.28	2281.11	2273.96	7.15	1.08
2375 GPV-35	2184.05	110	85.34	72.93	12.41 Active	10	6.22	2269.56	2257.13	12.43	0.65
2379 GPV-36	2159.34	90	96.21	70.72	25.49 Active	10	1.86	2255.74	2230.2	25.54	0.29
2383 GPV-37	2145.81	90	109.6	82.2	27.41 Active	10	0.75	2255.64	2228.18	27.46	0.12
2397 GPV-38	2255.5	110	59.3	51.13	8.17 Active	10	0.66	2314.92	2306.74	8.19	0.07
2405 GPV-39	2270.03	90	44.77	40.82	3.95 Active	10	0.68	2314.89	2310.93	3.96	0.11

Tabla 17: Válvulas de uso general Propuesto

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Pressure (From) (m H2O)	Pressure (To) (m H2O)	Pressure Loss (m H2O)	Status (Initial)	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Velocity (m/s)
2193	GPV-1	2327.63	200	22.86	22.86	0	Active	10	25.02	2350.54	2350.54	0	0.8
2194	GPV-2	2327.85	160	22.65	22.65	0	Active	10	7.91	2350.54	2350.54	0	0.39
2197	GPV-3	2308.44	110	41.69	26.84	14.85	Active	10	0.42	2350.22	2335.34	14.88	0.04
2210	GPV-4	2325.57	110	24.46	20.8	3.66	Active	10	1.28	2350.08	2346.41	3.67	0.13
2214	GPV-5	2330.01	63	19.86	19.86	0	Active	10	0.42	2349.91	2349.91	0	0.13
2218	GPV-6	2302.32	110	21.53	18.24	3.29	Active	10	20.11	2323.9	2320.6	3.3	2.12
2229	GPV-7	2260.49	110	34.02	34.02	0	Active	10	1.57	2294.58	2294.58	0	0.17
2238	GPV-8	2252.58	90	56.65	15.24	41.41	Active	10	1.15	2309.34	2267.85	41.49	0.18
2242	GPV-9	2253.84	110	54.99	16.74	38.25	Active	10	2.74	2308.94	2270.62	38.32	0.29
2246	GPV-10	2215.79	110	48.69	16.78	31.91	Active	10	1.45	2264.58	2232.6	31.98	0.15
2250	GPV-11	2196.22	110	26.4	14.58	11.82	Active	10	1.21	2222.68	2210.83	11.85	0.13
2254	GPV-12	2304.92	110	27.15	26.37	0.79	Active	10	0.44	2332.13	2331.34	0.79	0.05
2258	GPV-13	2297.99	110	31.72	25.98	5.74	Active	10	1.2	2329.78	2324.02	5.75	0.13
2262	GPV-14	2312.91	110	31.14	18.61	12.53	Active	10	1.29	2344.11	2331.55	12.56	0.14
2265	GPV-15	2311.27	90	32.77	20.17	12.6	Active	10	0.38	2344.11	2331.49	12.62	0.06
2270	GPV-16	2311.69	63	31.46	16.2	15.26	Active	10	0.23	2343.21	2327.92	15.29	0.07
2274	GPV-17	2290.17	90	36.63	26.58	10.05	Active	10	0.2	2326.88	2316.8	10.07	0.03
2278	GPV-18	2226.76	110	33.77	19.74	14.03	Active	10	12.47	2260.6	2246.54	14.06	1.31
2282	GPV-19	2222.33	110	23.17	2.37	20.8	Active	10	0.63	2245.55	2224.7	20.84	0.07
2290	GPV-20	2235.39	110	26.91	18.24	8.68	Active	10	0.44	2262.36	2253.67	8.69	0.05
2307	GPV-21	2307.87	11	34.87	25.08	9.79	Active	10	16.03	2342.81	2333	9.81	168.66
2313	GPV-22	2273.91	110	42.34	20.62	21.72	Active	10	0.15	2316.33	2294.58	21.76	0.02
2320	GPV-23	2262.22	110	32.31	47.31	15	Active	10	-3.61	2294.6	2309.63	15.03	0.38

2328 GPV-24	2266.15	110	46.81	40.08	6.73	Active	10	0.3	2313.06	2306.31	6.75	0.03
2334 GPV-25	2243.56	90	65.32	21.07	0	Closed	10	0	2309.01	2264.68	0	0
2341 GPV-26	2311.54	110	32.73	31.66	1.07	Active	10	3.96	2344.33	2343.27	1.07	0.42
2345 GPV-27	2266.19	110	41.74	34.9	6.83	Active	10	0.6	2308.01	2301.16	6.85	0.06
2349 GPV-28	2271.35	110	36.53	32.85	3.69	Active	10	2.5	2307.96	2304.27	3.69	0.26
2353 GPV-29	2265.8	90	38.29	14.1	24.19	Active	10	0.68	2304.17	2279.94	24.23	0.11
2357 GPV-30	2257.18	110	46.85	44.15	2.71	Active	10	0.91	2304.13	2301.42	2.71	0.1
2363 GPV-31	2241.7	90	21.5	20.2	1.3	Active	10	0.74	2263.24	2261.94	1.3	0.12
2367 GPV-32	2223.51	90	37.38	34.07	3.31	Active	10	0.33	2260.96	2257.65	3.31	0.05
2368 GPV-33	2223.58	110	30.03	34	0	Closed	10	0	2253.67	2257.65	0	0
2371 GPV-34	2211.08	110	33.44	21.23	12.21	Active	10	10.28	2244.59	2232.35	12.24	1.08
2379 GPV-35	2159.34	90	43.26	20.49	22.77	Active	10	1.86	2202.68	2179.86	22.82	0.29
2383 GPV-36	2145.81	90	56.65	18.29	38.36	Active	10	0.75	2202.57	2164.14	38.43	0.12
2397 GPV-37	2255.5	110	52.76	27.15	0	Closed	10	0	2308.37	2282.71	0	0
2405 GPV-38	2270.03	90	38.2	34.25	3.95	Active	10	0.68	2308.31	2304.35	3.96	0.11
2418 GPV-39	2263.94	90	44.22	18.73	25.49	Active	10	0.79	2308.25	2282.72	25.54	0.12

Tabla 18: Válvulas reductora de presión calibrado a los datos de campo

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (mm)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Status (Initial)	Pressure Loss (m H2O)	Hydraulic Grade (Initial) (m)	Pressure (From) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Pressure (To) (m H2O)	Pressure Setting (Calculated) (m H2O)	Status (Calculated)	X (m)	Y (m)
1701	PRV-1	2251.85	110	100	Inactive	0	2352.02	58	1.31	2309.97	2309.97	0	58	0	Inactive	729050.24	8491184
1702	PRV-2	2292.54	200	10	Active	0	2302.89	40.09	0	2332.71	2316.75	0	24.16	10	Closed	729187.99	8491561.19
1703	PRV-3	2304.53	200	28.5	Active	16.21	2333.07	44.72	36.51	2349.33	2333.09	16.24	28.51	28.51	Active	729279.87	8491658.3
1704	PRV-4	2243.47	110	51	Inactive	1.23	2294.55	67.36	14.81	2310.96	2309.72	1.24	66.12	0	Inactive	728369.98	8491446.76
1707	PRV-5	2211.67	160	11	Active	41.81	2222.68	52.81	2	2264.59	2222.69	41.89	11	11	Active	728515.6	8490977.94
20306	PRV-6	2252	200	13	Active	51.51	2265.02	64.51	6.9	2316.64	2265.03	51.61	13	13	Active	729046.83	8491188.24

Tabla 19: Válvulas reductora de presión propuesto

ID	Label	Elevation (m)	Diameter (mm)	Pressure Setting (m H2O)	Status (Initial)	Pressure Loss (m H2O)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure (From) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)	Pressure (To) (m H2O)	Pressure Setting (Calculated) (m H2O)	Status (Calculated)	X (m)	Y (m)
1701	PRV-1	2251.85	110	20	Active	22.62	2271.89	42.62	1.31	2294.56	2271.9	22.66	20.01	20.01	Active	729050.24	8491184
1702	PRV-2	2292.54	200	10	Active	0	2302.89	31.63	0	2324.23	2309.83	0	17.25	10	Closed	729187.99	8491561.19
1703	PRV-3	2304.53	200	20	Active	25.07	2324.56	45.08	29.6	2349.69	2324.57	25.12	20.01	20.01	Active	729279.87	8491658.3
1704	PRV-4	2243.47	110	20	Active	40.72	2263.5	60.73	14.81	2304.32	2263.51	40.8	20.01	20.01	Active	728369.98	8491446.76
1707	PRV-5	2211.67	160	11	Active	41.8	2222.68	52.8	2	2264.58	2222.69	41.88	11	11	Active	728515.6	8490977.94
2030	PRV-6	2252	200	13	Active	44.58	2265.02	57.58	6.9	2309.7	2265.03	44.67	13	13	Active	729046.83	8491188.24
2428	PRV-7	2184.05	110	20	Active	23.71	2204.08	43.72	6.22	2227.86	2204.1	23.76	20.01	20.01	Active	727985.09	8491016.66

## 2.4.9. Prueba de hipótesis

**Hipótesis investigación:** la herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejora el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B.

Tabla 20: Comparación de presiones actual y modelo recomendado

Tabla COMPARATIVO DE PRESIONES ACTUAL VS MODELO 3			
Nº DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B	TOMA DE PRESIONES EN CAMPO (M.C.A)	NODO (J)	MODELO 3 RECOMENDADO PRESIÓN (M.C.A)
ÁREA DELIMITADA 1	84.43	J-796	32.15
	109.05	J-375	45.95
ÁREA DELIMITADA 2	84.43	J-347	43.60
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 3	56.28	J-319	20.71
	78.80	J-760	63.91
ÁREA DELIMITADA 4	59.80	J-235	52.92
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 5	56.28	J-381	20.27
	90.05	J-399	44.38
ÁREA DELIMITADA 6	59.80	J-225	53.59
	57.69	J-293	25.06
	77.39	J-308	29.87
ÁREA DELIMITADA 7	56.28	J-231	19.86
	57.69	J-237	34.03
ÁREA DELIMITADA 8	45.73	J-262	29.86
	49.25	J-252	43.53
ÁREA DELIMITADA 9	33.77	J-113	28.07
	70.35	J-152	61.54
ÁREA DELIMITADA 10	40.81	J-166	34.23
	56.28	J-168	49.85
ÁREA DELIMITADA 11	47.84	J-657	47.32
	42.21	J-720	42.48
ÁREA DELIMITADA 12	27.44	J-685	27.15
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 13	27.44	J-702	27.62
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 14	63.32	J-600	53.18
	77.39	J-742	58.23
ÁREA DELIMITADA 15	57.69	J-617	45.48
	33.07	J-621	26.72
ÁREA DELIMITADA 16	58.39	J-625	20.88
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 17	38.70	J-581	31.27
	59.80	J-588	49.81
ÁREA DELIMITADA 18	17.59	J-508	18.26
	56.28	J-561	39.70
ÁREA DELIMITADA 19	7.04	J-482	21.92
	28.14	J-466	28.55
ÁREA DELIMITADA 20	19.70	J-11	26.93
	38.70	J-193	46.54
ÁREA DELIMITADA 21	22.51	J-14	27.45
	47.84	J-15	55.76

ÁREA DELIMITADA 22	40.81	J-185	35.76
	70.35	J-274	62.82
ÁREA DELIMITADA 23	35.18	J-197	34.14
	49.25	J-210	45.83
ÁREA DELIMITADA 24	14.07	J-78	18.74
	66.84	J-97	67.04
ÁREA DELIMITADA 25	19.70	J-38	24.85
	36.58	J-55	40.45

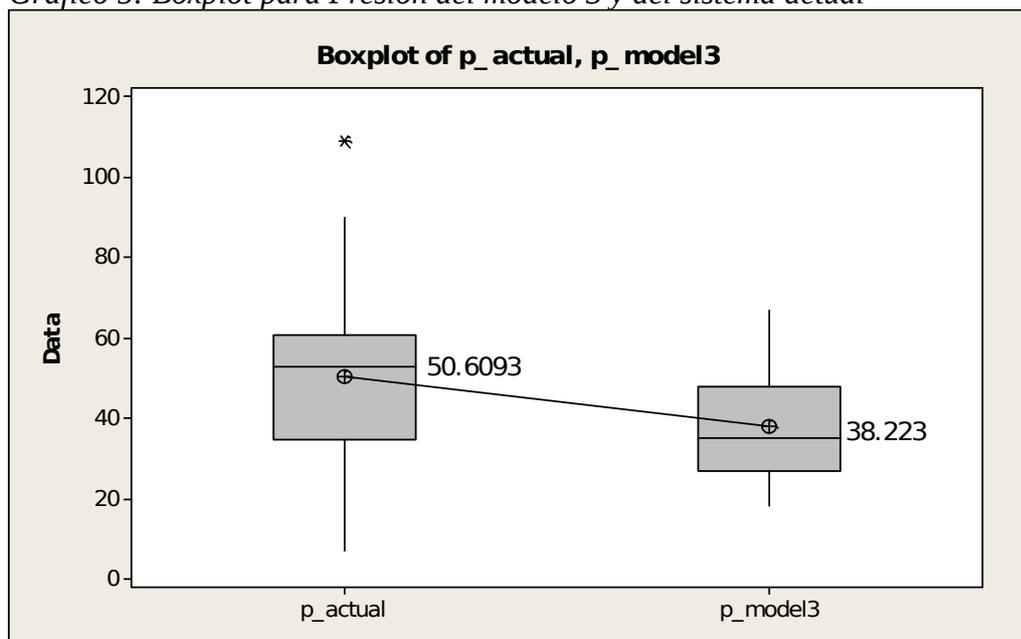
$H_0: \mu_{\text{modelo3}} = \mu_{\text{actual}}$  (el promedio de las presiones del modelo 3 son similares al promedio de presiones del actual sistema)

$H_1: \mu_{\text{modelo3}} < \mu_{\text{actual}}$  (el promedio de las presiones del modelo 3 es menor al promedio de presiones del actual sistema)

Prueba de media para presión actual y según modelo 3

Two-sample T for p_model3 vs p_actual				
	N	Mean	StDev	SE Mean
p_model3	46	38.2	13.7	2.0
p_actual	46	50.6	21.9	3.2
Difference = mu (p_model3) - mu (p_actual)				
Estimate for difference: -12.39				
95% upper bound for difference: -6.06				
T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -3.25 <b>P-Value = 0.001</b> DF = 90				

Gráfico 5: Boxplot para Presión del modelo 3 y del sistema actual



En la tabla se tiene que el p-value es 0.001 menor al nivel de significancia de 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de las presiones del modelo 3 es menor al promedio de presiones del actual sistema, lo que implica que la herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejora el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B.

**Hipótesis específica 1:** Para el sistema de distribución del servicio de agua potable el uso del manómetro permite la obtención de presión y el método de áreas contribuye en la asignación de demanda al modelo hidráulico del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

Tabla 21: Comparación de presiones actual y primer modelo

Tabla COMPARATIVO DE PRESIONES ACTUAL VS MODELO 1			
N° DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B	TOMA DE PRESIONES EN CAMPO (M.C.A)	NODO (J)	PRIMER MODELO PRESION (M.C.A)
ÁREA DELIMITADA 1	84.43	J-798	72.15
	109.05	J-375	124.31
ÁREA DELIMITADA 2	84.43	J-347	59.89
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 3	56.28	J-319	24.79
	78.80	J-762	88.80
ÁREA DELIMITADA 4	59.80	J-235	49.36
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 5	56.28	J-381	18.92
	90.05	J-399	39.06
ÁREA DELIMITADA 6	59.80	J-225	50.03
	57.69	J-293	16.35
	77.39	J-308	19.90
ÁREA DELIMITADA 7	56.28	J-231	41.79
	57.69	J-237	55.96
ÁREA DELIMITADA 8	45.73	J-262	26.29
	49.25	J-252	43.94
ÁREA DELIMITADA 9	33.77	J-113	24.51
	70.35	J-152	64.81
ÁREA DELIMITADA 10	40.81	J-166	34.36
	56.28	J-168	52.68
ÁREA DELIMITADA 11	47.84	J-657	44.32
	42.21	J-720	71.39
ÁREA DELIMITADA 12	27.44	J-685	26.15
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 13	27.44	J-702	38.44
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 14	63.32	J-600	50.12
	77.39	J-742	93.41
ÁREA DELIMITADA 15	57.69	J-617	42.38
	33.07	J-621	64.91
ÁREA DELIMITADA 16	58.39	J-625	54.93
	---	---	---

ÁREA DELIMITADA 17	38.70	J-581	21.67
	59.80	J-588	50.37
ÁREA DELIMITADA 18	17.59	J-508	11.62
	56.28	J-561	52.27
ÁREA DELIMITADA 19	7.04	J-482	21.92
	28.14	J-466	43.41
ÁREA DELIMITADA 20	19.70	J-11	26.29
	38.70	J-193	49.00
ÁREA DELIMITADA 21	22.51	J-14	26.18
	47.84	J-15	54.49
ÁREA DELIMITADA 22	40.81	J-185	30.32
	70.35	J-274	67.43
ÁREA DELIMITADA 23	35.18	J-197	36.65
	49.25	J-210	50.23
ÁREA DELIMITADA 24	14.07	J-78	30.03
	66.84	J-97	74.29
ÁREA DELIMITADA 25	19.70	J-38	20.88
	36.58	J-55	36.49

H<sub>0</sub>:  $\mu_{\text{modelo1}} = \mu_{\text{campo}}$  (el promedio de las presiones del modelo 1 son similares al promedio de presiones del actual sistema)

H<sub>1</sub>:  $\mu_{\text{modelo1}} \neq \mu_{\text{campo}}$  (el promedio de las presiones del modelo 1 son diferentes al promedio de presiones del actual sistema)

Prueba de medias para presiones del modelo1 y del sistema actual

### Two-Sample T-Test and CI: p\_model1, p\_actual

Two-sample T for p\_model1 vs p\_actual

	N	Mean	StDev	SE Mean
p_model1	46	45.6	22.5	3.3
p_actual	46	50.6	21.9	3.2

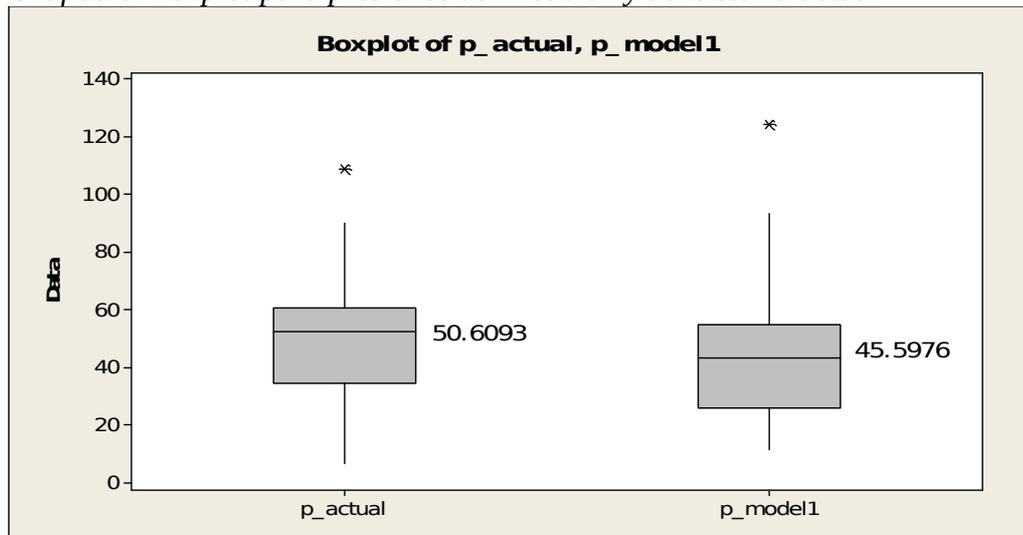
Difference =  $\mu$  (p\_model1) -  $\mu$  (p\_actual)

Estimate for difference: -5.01

95% CI for difference: (-14.21, 4.19)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.08 P-Value = 0.282 DF = 90

Gráfico 6: Boxplot para presiones del modelo1 y del sistema actual



De la tabla se observa que el “p-value” es 0.282 mayor al nivel de significancia de 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de las presiones del modelo 1 son similares al promedio de presiones del actual sistema; lo que implica el sistema de distribución del servicio de agua potable el uso del manómetro permite la obtención de presión y el método de áreas contribuye en la asignación de demanda al modelo hidráulico del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

**Hipótesis específica 2:** El ajuste y calibración permitirá comparar los resultados obtenidos en el modelo hidráulico con medidas de campo del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

Tabla 22: Comparación de presiones actual y modelo calibrado mediante el programa WaterCad.

Tabla COMPARATIVO DE PRESIONES ACTUAL VS MODELO 2 DEL PROGRAMA WATECAD V8i DARWIN CALIBRATOR			
Nº DE ÁREAS DELIMITADAS DEL SECTOR II-B	TOMA DE PRESIONES EN CAMPO (M.C.A)	NODO (J)	MODELO 2 CALIBRADO PRESION (M.C.A)
ÁREA DELIMITADA 1	84.43	J-796	85.09
	109.05	J-375	109.86
ÁREA DELIMITADA 2	84.43	J-347	85.22
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 3	56.28	J-319	57.12
	78.80	J-760	79.13
ÁREA DELIMITADA 4	59.80	J-235	59.47
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 5	56.28	J-381	57.03
	90.05	J-399	90.55

ÁREA DELIMITADA 6	59.80	J-225	60.17
	57.69	J-293	58.11
	77.39	J-308	76.03
ÁREA DELIMITADA 7	56.28	J-231	51.94
	57.69	J-237	58.01
ÁREA DELIMITADA 8	45.73	J-262	36.43
	49.25	J-252	50.10
ÁREA DELIMITADA 9	33.77	J-113	34.65
	70.35	J-152	70.75
ÁREA DELIMITADA 10	40.81	J-166	40.82
	56.28	J-168	56.44
ÁREA DELIMITADA 11	47.84	J-657	47.33
	42.21	J-720	42.49
ÁREA DELIMITADA 12	27.44	J-685	27.15
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 13	27.44	J-702	27.62
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 14	63.32	J-600	60.13
	77.39	J-742	77.09
ÁREA DELIMITADA 15	57.69	J-617	52.41
	33.07	J-621	33.66
ÁREA DELIMITADA 16	58.39	J-625	58.88
	---	---	---
ÁREA DELIMITADA 17	38.70	J-581	38.03
	59.80	J-588	59.50
ÁREA DELIMITADA 18	17.59	J-508	17.53
	56.28	J-561	56.47
ÁREA DELIMITADA 19	7.04	J-482	7.10
	28.14	J-466	28.58
ÁREA DELIMITADA 20	19.70	J-11	19.88
	38.70	J-193	39.10
ÁREA DELIMITADA 21	22.51	J-14	20.76
	47.84	J-15	49.07
ÁREA DELIMITADA 22	40.81	J-185	40.83
	70.35	J-274	70.42
ÁREA DELIMITADA 23	35.18	J-197	35.58
	49.25	J-210	48.83
ÁREA DELIMITADA 24	14.07	J-78	14.25
	66.84	J-97	66.79
ÁREA DELIMITADA 25	19.70	J-38	20.37
	36.58	J-55	35.98

H0:  $\mu_{\text{modelo2}} = \mu_{\text{actual}}$  (el promedio de presión del modelo 2 es similar al promedio de presión del sistema actual)

H1:  $\mu_{\text{modelo2}} \neq \mu_{\text{actual}}$  (el promedio de presión del modelo 2 no es similar al promedio de presión del sistema actual)

## Prueba de medias para presiones del modelo 2 y del sistema actual

Two-sample T for p\_model2 vs p\_actual

	N	Mean	StDev	SE Mean
p_model2	46	50.3	22.0	3.2
p_actual	46	50.6	21.9	3.2

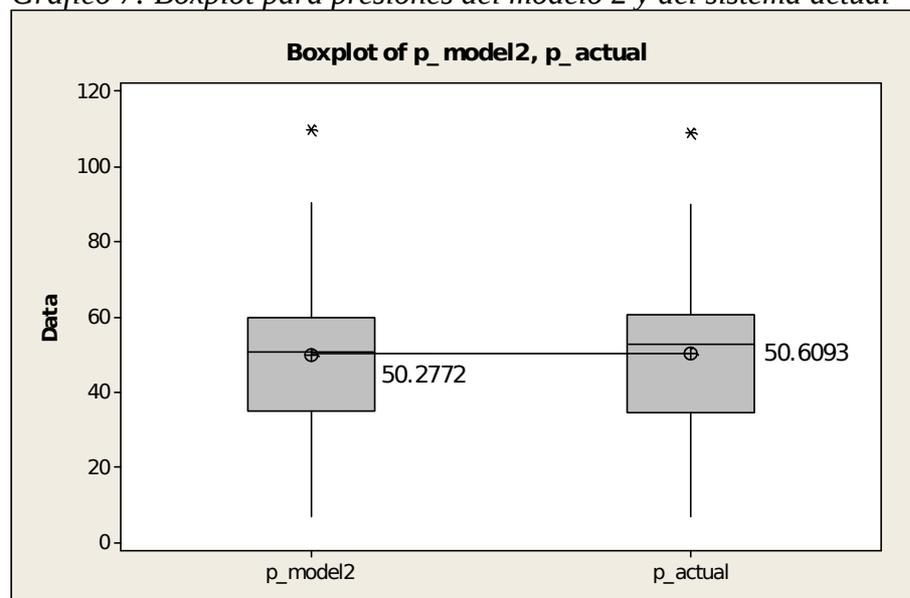
Difference =  $\mu$  (p\_model2) -  $\mu$  (p\_actual)

Estimate for difference: -0.33

95% CI for difference: (-9.42, 8.75)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.07 **P-Value = 0.942** DF = 90

Gráfico 7: Boxplot para presiones del modelo 2 y del sistema actual



De la tabla se observa que el “p-value” es 0.942 mayor al nivel de significancia de 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto se puede afirmar con un nivel de confianza del 95% que el promedio de presión del modelo 2 es similar al promedio de presión del sistema actual; lo cual implica que el ajuste y calibración permitirá comparar los resultados obtenidos en el modelo hidráulico con medidas de campo del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.

## **CAPITULO V:**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. DISCUSIÓN**

La herramienta de ayuda para el modelado hidráulico del sector II-B del sistema de distribución de agua potable propuesto en este trabajo de investigación es un archivo digital escrito en el programa WaterCAD V8i que se adjunta a la tesis para el uso de quienes corresponda.

El modelo 2 correspondiente al modelo calibrado, es un modelo cuyos datos obtenidos se asemeja a los datos recolectados de campo lo que permite la posibilidad de detectar incluso redes conectadas por otros sectores que no están registradas en la base de datos vigente de EMUSAP Abancay.

El modelo 3 es el modelo propuesto en este trabajo de investigación por lo que se ha hecho un análisis estadístico para determinar si las presiones de dicho modelo y el modelo 2 son estadísticamente iguales y según los resultados estadísticos podemos afirmar que el promedio de las presiones del modelo 3 es menor al promedio de presiones del actual sistema, lo que implica que la herramienta de ayuda para la modelación hidráulica mejora el sistema de distribución del servicio de agua potable del sector II-B. Para lograrlo se ha variado presiones cerrando válvulas e incrementado en puntos específicos según muestra las tablas 14, 15, 16,17 18 y 19.

La herramienta de modelación hidráulica utilizada en este trabajo de investigación permitió realizar la revisión de velocidades del sistema identificando que las redes del sector II-B manejan valores en el rango de 0.00 a 3.06 m/seg; sin embargo esta condición no implica restricciones graves al funcionamiento del sistema; por el contrario favorece el desarrollo de planos piezométricos ajustados a las necesidades de presión en los puntos altos y bajos del sector II-B.

## **5.2. CONCLUSIONES**

- La herramienta de ayuda para la modelación hidráulica del sector II-B del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Abancay – Apurímac, permite conocer el estado de abastecimiento de agua potable del sector mencionado, así como comportamiento del sistema de distribución de la ciudad de Abancay, lo que facilita realizar la toma de decisiones a cualquier eventualidad del aspecto operacional.
- La información de redes de agua potable del sector II-B, mediante el programa de WaterCad, facilitó la elaboración de la topología del sistema de redes de agua potable, el cual permitió simular y conocer ampliamente la correcta funcionalidad de redes de agua potable del sector II-B, de la ciudad de Abancay en el año 2015.
- El modelo calibrado se convierte en una herramienta de planificación del sistema, permitiendo el estudio de disponibilidades de servicio ajustadas a la realidad operativa del sistema y a la ampliación del mismo con el aumento de la demanda y las políticas del plan de ordenamiento territorial. Y finalmente se plantea un modelo ajustado y optimizado que permite la distribución de agua potable en el sector II-B de manera adecuada según las normas vigentes.

## **5.3. RECOMENDACIONES**

- Es necesario la réplica de la metodología empleada en la tesis, pero considerando las carencias que se obtuvo en el desarrollo del proyecto ya que será de utilidad para la empresa E.P.S. EMUSAP ABANCAY S.A.C. para llevar a cabo el análisis e investigación de los demás sectores hidráulicos de la ciudad.
- Se recomienda la utilización de válvulas de control de flujo para aislar en casos de mantenimiento de la red. Y que no actúen como sostenedoras de presión.

- Se recomienda la colocación de una válvula reductora de presión en la Av. La cultura para el control de presión del área delimitada N° 2 y N° 1 del sector II-B de la ciudad de Abancay.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bentley Systems de México. 2014. 300p. Modelación Y Diseño De Sistemas De Distribución Usando WaterCad/Gems V8i.
- EPS. Emusap Abancay S.A.C., 2013. 154p. Plan Maestro Optimizado Segundo Quinquenio.
- Gerardo Toxky López, 2012. 178p. La sectorización en la optimización hidráulica de redes de distribución de agua potable, México d. f., Tesis (Maestro en Ingeniería civil). Instituto Politécnico Nacional. Maestro en Ingeniería civil.
- Gutiérrez Araujo, J.C. 2003. Modelización matemática de la calidad del agua en la red de distribución de la ciudad de Alicante. Desarrollo de herramientas para la calibración del modelo hidráulico. Tesina de Master en Gestión Eficiente del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
- López Jiménez P. Amparo, Gonzalo López Patiño, F. Javier Martínez Solano, Rafael Pérez García. El Modelo de la Red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: La Importancia de La calibración del mismo. 10p.
- López, P.A. 2001. Metodología para la calibración de modelos matemáticos de dispersión de contaminantes incluyendo regímenes no permanentes. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- López, P.A.; Martínez, F.J.; Díaz, J.L.; Pérez, R. 2002. "Necesidad de un sistema de gestión de la información en los abastecimientos de agua". Proceedings de II Seminario Hispano-Brasileño sobre Planificación, Proyecto y Operación de Redes de Abastecimiento de Agua. Valencia.
- López, P.A.; Iglesias, P.; Díaz, J.L.; Martínez, F.J. 2004. Panorámica sobre el proceso de calibración de las redes de distribución de agua. Proceedings de III Seminario Hispano-Brasileño sobre Planificación, Proyecto y Operación de Redes de Abastecimiento de Agua. Valencia.

- Mac Berthouex, P. y Brown, L. 1994. Statistics for Environmental Engineers. Lewis Publishers. U.S.A.
- Martínez Solano, F.J. 2002. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión técnica de las redes de agua potable. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Saldarriaga, Juan Guillermo y SISA, 16°: oct. 29-31 2004: Armenia- 2004. p. 178. Agosto. *XVI seminario de hidráulica e hidrología*,
- Presentación corporativa BENTLEY SYSTEMS, Curso WaterCad. 2008. 169p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. 2014. Perú. Habilitaciones Urbanas - Obras de saneamiento.
- Walski, T.; Thase, D.; Savic, D. 2001. "Modelación de redes de distribución de agua". Haestad Methods.
- Yuri Marco Sánchez Merlo, 2013. 188p. Diplomado En Ingeniería Sanitaria. Modelamiento Computarizado de Sistemas de Distribución de Agua con aplicación de WaterCAD V8i. Colegio de ingenieros del Perú consejo departamental de Ica.
- Jiménez, P. A. L., Patiño, G. L., Solano, F. J. M., & García, R. P. EL MODELO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN Y TOMA DE DECISIONES: LA IMPORTANCIA DE LA CALIBRACIÓN DEL MISMO.
- Rodríguez Bello, C. A. (2013). Modelación hidráulica del sector 2 del sistema de distribución de la ciudad de Tunja-Boyacá como estrategia operativa.
- Cruz Mendez, E. (2008). LA SECTORIZACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. (Tesis de pregrado). UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO-MEXICO.
- Abott, M.B.; Havnø, K. y Lingberg, S, The fourth generation of numerical modelling in hydraulics. IAHE. En: Journal of HydraulicResearch. Vol. 29, N° 5(1991):p. 125.

López Jiménez, p. Amparo, *departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente*. Madrid: Universidad Politécnica de Valencia, 2004.p.78.

Saldarriaga, Juan Guillermo y SISA, Augusto. *XVI seminario de hidráulica e hidrología*, 16º: oct. 29-31 2004: Armenia- 2004. p. 178

Juan Carlos Gutiérrez Araujo - 19 de mayo 2011 - *Historia de los métodos de análisis y modelos computacionales para análisis de redes de distribución a presión*. 14 de junio 2016, de Bentley Communities Sitio web:

[http://communities.bentley.com/other/old\\_site\\_member\\_blogs/bentley\\_employees/b/juan\\_gutierrez\\_blog/archive/2011/05/19/historia-de-los-metodos-de-analisis-y-modelos-computacionales-para-an-193-lisis-de-redes-de-distribuci-211-n-a-presi-211-n](http://communities.bentley.com/other/old_site_member_blogs/bentley_employees/b/juan_gutierrez_blog/archive/2011/05/19/historia-de-los-metodos-de-analisis-y-modelos-computacionales-para-an-193-lisis-de-redes-de-distribuci-211-n-a-presi-211-n)

## ANEXOS

### A. Panel Fotográfico del sector II-B

**Figura N° 1.** Toma de presión en el área delimitada N°1 parte alta con la Av Simón Bolívar y Jr. La Alegría.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 2.** Toma de presión en el área delimitada N°2 parte alta con la Av. Aviación y Av. la Cultura



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3.** Toma de presión en el área delimitada N°3 parte alta con el Pje. Saturno y Av. Jorge Chávez



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 4.** Toma de presión en el área delimitada N°3 parte baja con la Asoc. Costa Verde.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 5.** Toma de presión en el área delimitada N°4 parte alta con la Av. Martinelli y Av. Circunvalación.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 6.** Toma de presión en el área delimitada N°5 parte alta con el Pje. Las Flores.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 7.** Toma de presión en el área delimitada N°5 parte baja con el Pje. José María Arguedas y la Av. Aviación.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 8.** Toma de presión en el área delimitada N°6 parte alta con la Av. Martinelli y la Av. Circunvalación.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 9.** Toma de presión en el área delimitada N°6 parte baja con la Asoc. Quinta Isabel Pje. S/n 179.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 10.** Toma de presión en el área delimitada N°7 parte alta con la Av. Martinelli y el Pje. S/n 192.



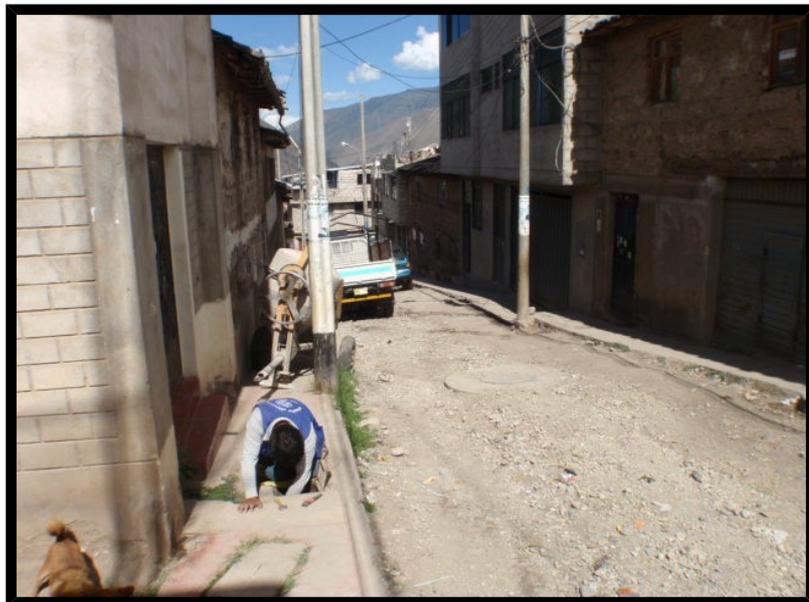
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 11.** Toma de presión en el área delimitada N°7 parte baja con la Asoc. Justo juez de Illanya Pje. S/n 187.



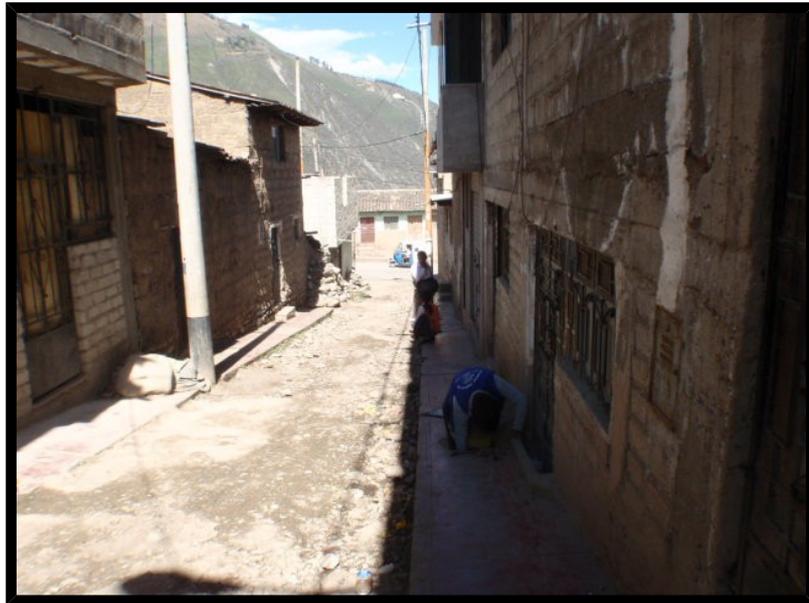
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 12.** Toma de presión en el área delimitada N°8 parte alta con la Av. Martinelli y el Pje. San Gabriel.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 13.** Toma de presión en el área delimitada N°8 parte baja con el Pje. Los Jazmines y la Av. Martinelli.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 14.** Toma de presión en el área delimitada N°9 parte alta con la Av. Brilla el sol y la Av. Panamericana.



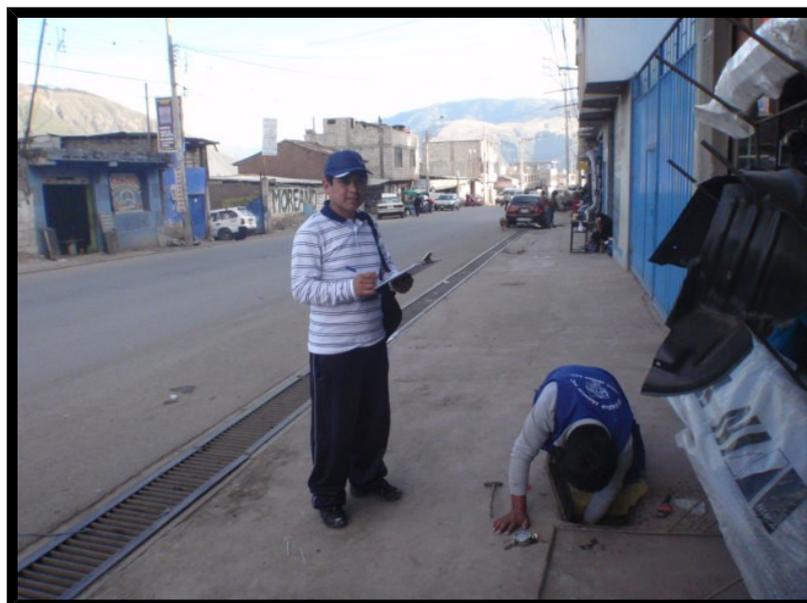
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 15.** Toma de presión en el área delimitada N°9 parte baja con la Asoc Mons. Isidro Salas y la Calle S/N 173.



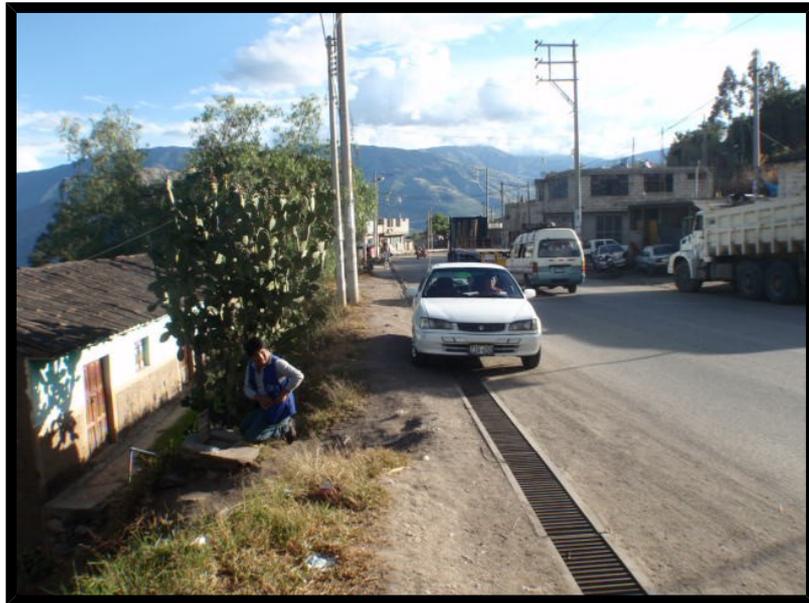
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 16.** Toma de presión en el área delimitada N°10 parte alta con la Av. Panamericana y la Av. Brilla el sol.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 17.** Toma de presión en el área delimitada N°10 parte baja con Av. Panamericana (curva).



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 18.** Toma de presión en el área delimitada N°11 parte alta con la Calle 7 ensayos y la Av. Ayacucho.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 19.** Toma de presión en el área delimitada N°11 parte baja con la Calle s/n 122 y la Calle s/n 118.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 20.** Toma de presión en el área delimitada N°12 parte alta con la Calle Primavera (123) y la Av. Ayacucho. Parte baja no se pudo.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 21.** Toma de presión en el área delimitada N°13 parte alta con la Calle 18 de enero y la Calle S/N 125. Parte baja no se pudo.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 22.** Toma de presión en el área delimitada N°14 parte alta con la Av. Circunvalación y el Pasaje 01 (109).



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 23.** Toma de presión en el área delimitada N°24 parte alta con la Av. Panamericana y Jr. Benigno la torre.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 24.** Toma de presión en el área delimitada N°24 parte baja con el Jr. Agustín Gamarra y la Av. Brilla el Sol.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 25.** Toma de presión en el área delimitada N°25 parte alta con la Av. Vista Alegre y la Qda. San Luis.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 26.** Toma de presión en el área delimitada N°25 parte baja con la Carretera Molino Pata y el Pasaje S/N 270.



Fuente: Elaboración propia

**B. Presupuesto**

- **Presupuesto de actualización de catastro técnico de agua potable  
EPS EMUSAP ABANCAY S.A.C.**

- **Presupuesto de la tesis.**

## C. Planos

- **Plano de Ubicación del sector II- B**

- **Plano de lotes del catastro de usuarios de la E.P.S. Emusap Abancay del sector II- B**

- **Plano de red de distribución de agua potable de la E.P.S. Emusap Abancay del sector II-B**

- **Plano Topográfico del sector II-B**

- **Plano de áreas delimitadas del sector II-B**