

Trabajo Fin de Máster

DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE NARANJAL (ECUADOR).

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

SEBASTIAN MAURICIO GRANIZO

Tutor:

DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

Cotutor:

DR. JORGE GARCÍA-SERRA GARCÍA

MAYO, 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto
Título del TFM en español: DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE NARANJAL (ECUADOR)
Título del TFM en inglés: DESIGN OF THE NETWORK OF SUPPLY OF DRINKING WATER OF THE CITY OF NARANJAL (ECUADOR).
Título del TFM en Valenciano: DISSENY DE LA XARXA DE SUBMINISTRAMENT D'AIGUA POTABLE DE LA CIUTAT DE NARANJAL (ECUADOR)
Alumno: SEBASTIAN MAURICIO GRANIZO .
Tutor: DR. JAVIER SORIANO OLIVARES
Cotutor: DR. JORGE GARCÍA SERRA GARCÍA
Director experimental:
Fecha de Lectura: FEBRERO 2020

Resumen
En español
<p>LA CIUDAD DE NARANJAL ESTA UBICADA AL SUR-ESTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PROVINCIA DEL GUAYAS REPÚBLICA DEL ECUADOR , NARANJAL ES UNA TÍPICA CIUDAD COSTERA POSEE UN CLIMA CASI UNIFORME TODO EL AÑO CON TEMPERATURAS PROMEDIO DE LOS 26 GRADOS, LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DEL TERRENO DONDE ESTA SITUADA LA CIUDAD VAN DESDE LOS 0-5 GRADOS DE PENDIENTE, ESTA RODEADA DE TRES RÍOS, RIO BLANCO (DESDE DONDE ACTUALMENTE SE ABASTECE EL AGUA LA POBLACIÓN), RIO CHACAYACU Y RIO BUCAY (CAPTACIONES SUPERFICIALES), LA MAYOR PARTE DE LA POBLACIÓN SE DEDICA AL COMERCIO Y AGRICULTURA, EN EL AÑO 2010 SE REALIZÓ EL ULTIMO CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA EN EL CUAL EL INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS) DETERMINÓ QUE LA POBLACIÓN URBANA ES DE 28487 HABITANTES, LAS VIVIENDAS EXISTENTES DENTRO DE LA ZONA URBANA SON DE DOS A TRES PLANTAS Y CON UNA MEDIA DE OCUPANTES DE 4 PERSONAS.</p> <p>ACTUALMENTE LA CIUDAD DE NARANJAL CUENTA CON UN SISTEMA DE AGUA POTABLE , EL MISMO QUE FUE CONSTRUIDO EN LA DÉCADA DE LOS 70 DE MANERA</p>



ANTI TÉCNICA, ESTA COMPUESTO POR REDES RAMIFICADAS EN SU GRAN MAYORÍA Y REDES MALLADAS PRODUCTO DE AMPLIACIONES (SEGÚN PERSONAS ENCARGADAS QUE CONOCEN EL SISTEMA) YA QUE NO CUENTA CON UN CATASTRO DIGITALIZADO DE LA RED NI TAMPOCO PLANOS IMPRESOS, LAS TUBERÍAS ACTUALES ES UNA MEZCLA ENTRE ASBESTO CEMENTO QUE SON LAS MAS ANTIGUAS Y PVC LAS MAS RECIENTES, ESTO A CONLLEVADO QUE EL SISTEMA NO TENGA LA PRESIÓN ADECUADA, AUSENCIA DE CAUDAL EN VARIOS SECTORES DE LA CIUDAD, ROTURAS Y UN ALTO ÍNDICE DE FUGAS LO QUE DIFICULTA EL SERVICIO CONTINUO CON EL LIQUIDO VITAL YA QUE ACTUALMENTE LA POBLACIÓN TIENE UN SERVICIO ENTRE 12 Y 24 HORAS AL DÍA LO QUE CAUSA GRAN MALESTAR A LA POBLACIÓN.

EL PRESENTE TRABAJO DE FIN DE MASTER ESTA ENFOCADO EN REALIZAR EL DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD CUMPLIENDO LAS NORMAS DE DISEÑO QUE ESTABLECE EL CÓDIGO VIGENTE DEL PAÍS, ADEMÁS DOTAR DE UN MODELO HIDRÁULICO QUE FACILITE LA GESTIÓN DE LA RED DISEÑADA, ASÍ COMO IMPLEMENTAR UNA APLICACIÓN QUE PERMITA VISUALIZAR LA INFORMACIÓN DE LA RED DE AGUA EN LOS TELÉFONOS MÓVILES CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID.

SE DESARROLLARÁ UN ANÁLISIS DETALLADO DE LA POBLACIÓN A SERVIR, CON LOS DATOS ANTERIORES SE DETERMINARÁ EL CAUDAL NECESARIO EN EL HORIZONTE DE DISEÑO CON EL OBJETIVO DE SATISFACER LAS NECESIDADES DE LA POBLACIÓN, SE DETERMINARÁ LOS CAUDALES DE DISEÑO PARA CADA ELEMENTO DE LA RED SEGÚN LA NORMATIVA, SE COLOCARÁ LOS HIDRANTES CON SUS RESPECTIVOS CAUDALES PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO.

SE ELABORARÁ UN MODELO HIDRÁULICO EN EPANET CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED DISEÑADA QUE PERMITA GESTIONAR EL SISTEMA DE MEJOR MANERA, SE HOMOGENIZARÁ LAS PRESIONES CON LA COLOCACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN PARA MINIMIZAR LAS PERDIDAS POR FUGAS EN LA RED, SE CARGARÁ LA INFORMACIÓN DE LA RED EN UN MODELO EN ARCMAP, POSTERIORMENTE SE LLEVARÁ AL PROGRAMA QGIS VISUALIZAR LA INFORMACIÓN. SE ELABORARÁ UNA APLICACIÓN PARA TELÉFONOS MÓVILES CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID QUE PERMITA VISUALIZAR LA INFORMACIÓN DEL PROGRAMA QGIS EL CUAL CONTIENE DIÁMETROS EN LAS TUBERÍAS Y PRESIONES EN LOS NUDOS, ASÍ COMO LA UBICACIÓN DE LOS HIDRANTES.

En valenciano

LA CIUTAT DE TARONGERAR ESTA UBICADA AL SUD-EST DE LA CIUTAT DE CACAU PROVÍNCIA DELS LAMENTS REPÚBLICA De l'EQUADOR , TARONGERAR ÉS UNA TÍPICA CIUTAT COSTANERA POSSEÏX UN CLIMA QUASI UNIFORME TOT L'ANY AMB



TEMPERATURES MITJANA DELS 26 GRAUS, LES CARACTERÍSTIQUES TOPOGRÀFIQUES DEL TERRENY ON ESTA SITUADA LA CIUTAT VAN DES DELS 0-5 GRAUS DE PENDENT, ESTA RODEJADA DE TRES RIUS, VA RIURE BLANCO (DES D'ON ACTUALMENT S'ABASTIX L'AIGUA LA POBLACIÓ) , VA RIURE CHACAYACU I VA RIURE BUCAY (CAPTACIONS SUPERFICIALS) , LA MAJOR PART DE LA POBLACIÓ ES DEDICA AL COMERÇ I AGRICULTURA, L'ANY 2010 ES VA REALITZAR L'ULTIME CENS DE POBLACIÓ I VIVENDA EN EL QUAL L'INEC (INSTITUT NACIONAL D'ESTADÍSTIQUES I CENSOS) VA DETERMINAR QUE LA POBLACIÓ URBANA ÉS DE 28487 HABITANTS, LES VIVENDES EXISTENTS DINS DE LA ZONA URBANA SÓN DE DOS A TRES PLANTES I AMB UNA MITJANA D'Ocupants DE 4 PERSONES.

ACTUALMENT LA CIUTAT DE TARONGERAR COMPTA AMB UN SISTEMA D'AIGUA POTABLE , EL MATEIX QUE VA SER CONSTRUÏT EN LA DÈCADA DELS 70 DE MANERA ANTI TÈCNICA, ESTA COMPOST PER XARXES RAMIFICADES EN EL SEU GRAN MAJORIA I XARXES MALLADAS PRODUCTE D'AMPLIACIONS (SEGONS PERSONES ENCARREGADES QUE CONEIXEN EL SISTEMA) JA QUE NO COMPTA AMB UN CADASTRE DIGITALITZAT DE LA XARXA NI TAMPOC PLANS IMPRESOS, LES CANONADES ACTUALS ÉS UNA MESCLA ENTRE ASBEST CIMENT QUE SÓN LES MAS ANTIGUES I PVC LES MAS RECENTS, AÇÒ A COMPORTAT QUE EL SISTEMA NO TINGA LA PRESSIÓ ADEQUADA, ABSÈNCIA DE CABAL EN DIVERSOS SECTORS DE LA CIUTAT, RUPTURES I UN ALT ÍNDEX DE FUGUES EL QUE DIFICULTA EL SERVICI CONTINU AMB EL LIQUIDE VITAL JA QUE ACTUALMENT LA POBLACIÓ TÉ UN SERVICI ENTRE 12 I 24 HORES AL DIA EL QUE CAUSA GRAN MALESTAR A LA POBLACIÓ.

EL PRESENT TREBALL DE FI DE MÀSTER ESTA ENFOCAT A REALITZAR EL DISSENY DE LA XARXA DE SUBMINISTRAMENT D'AIGUA POTABLE DE LA CIUTAT COMPLINT LES NORMES DE DISSENY QUE ESTABLIX EL CODI VIGENT DEL PAÍS, A MÉS DOTAR D'UN MODEL HIDRÀULIC QUE FACILITE LA GESTIÓ DE LA XARXA DISSENYADA, AIXÍ COM IMPLEMENTAR UNA APLICACIÓ QUE PERMETA VISUALITZAR LA INFORMACIÓ DE LA XARXA D'AIGUA EN ELS TELÈFONS MÒBILS AMB SISTEMA OPERATIU ANDROID.

ES DESENROTLLARÀ UNA ANÀLISI DETALLAT DE LA POBLACIÓ A SERVIR, AMB LES DADES ANTERIORS ES DETERMINARÀ EL CABAL NECESSARI EN L'HORITZÓ DE DISSENY AMB L'OBJECTIU DE SATISFER LES NECESSITATS DE LA POBLACIÓ, ES DETERMINARÀ ELS CABALS DE DISSENY PER A CADA ELEMENT DE LA XARXA SEGONS LA NORMATIVA, ES COL·LOCARÀ ELS HIDRANTES AMB ELS SEUS RESPECTIUS CABALS PER A LA VERIFICACIÓ DEL DISSENY.

S'ELABORARÀ UN MODEL HIDRÀULIC EN EPANET AMB LES CARACTERÍSTIQUES DE LA XARXA DISSENYADA QUE PERMETA GESTIONAR EL SISTEMA DE MILLOR MANERA, S'HOMOGENIZARÀ LES PRESSIONS AMB LA COL·LOCACIÓ DE VÀLVULES REDUCTORES DE PRESSIÓ PER A MINIMITZAR LES PERDUDES PER FUGUES EN LA XARXA, ES CARREGARÀ LA INFORMACIÓ DE LA XARXA EN UN MODEL EN ARCMAP,



POSTERIORMENT ES PORTARA AL PROGRAMA QGIS VISUALITZAR LA INFORMACIÓ. S'ELABORARA UNA APLICACIÓ PER A TELÈFONS MÒBILS AMB SISTEMA OPERATIU ANDROID QUE PERMETA VISUALITZAR LA INFORMACIÓ DEL PROGRAMA QGIS EL QUAL CONTÉ DIÀMETRES EN LES CANONADES I PRESSIONS EN ELS NUCS AIXÍ COM LA UBICACIÓ DELS HIDRANTES.

En inglés

THE CITY OF NARANJAL IS LOCATED TO THE SOUTHEAST OF THE CITY OF GUAYAQUIL, GUAYAS PROVINCE, IN THE REPUBLIC OF ECUADOR. NARANJAL IS TYPICAL COASTAL CITY. IT HAS A SIMILAR CLIMATE ALMOST ALL YEAR LONG, WITH TEMPERATURES AVERAGING 26 DEGREES CENTIGRADE. THE TOPOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE LAND WHERE THE CITY IS SITUATED RANGE FROM 0-5 DEGREES IN SLOPE; IT IS SURROUNDED BY THREE RIVERS, WHITE RIVER (*RIO BLANCO*), WHICH CURRENTLY PROVIDES THE POPULATION'S WATER SUPPLY, CHACAYACU RIVER AND BUCAY RIVER, WHICH HAVE SUPERFICIAL CATCHMENTS. THE MAJORITY OF THE POPULATION WORKS IN COMMERCE AND AGRICULTURE. IN 2010, THE MOST RECENT POPULATION AND HOUSING CENSUS WAS CARRIED OUT, FROM WHICH THE NATIONAL INSTITUTE FOR STATISTICS AND CENSUS (INEC) DETERMINED THAT THE URBAN POPULATION IS 28,487 INHABITANTS, THE HOUSING EXISTING WITHIN THE URBAN ZONE ARE TWO OR THREE STORIES, AND WITH AN AVERAGE OF 4 PEOPLE PER DWELLING.

CURRENTLY, THE CITY OF NARANJAL HAS A POTABLE WATER SYSTEM WHICH WAS BUILT IN THE 1970S WITHOUT TECHNIQUE. IT IS COMPRISED MOSTLY OF RAMIFIED NETWORKS AND MESHED NETWORKS, A PRODUCT OF AMPLIFICATIONS (ACCORDING TO RESPONSIBLE PERSONS WHO ARE FAMILIAR WITH THE SYSTEM), SINCE THERE IS NO DIGITALIZED REGISTRY OF THE NETWORK, NOR PHYSICAL BLUEPRINTS. THE CURRENT PIPES ARE A MIX OF ASBESTOS CEMENT AND PVC, THE OLDEST AND NEWEST, RESPECTIVELY. THIS HAS LED TO THE SYSTEM NOT HAVING ADEQUATE PRESSURE, A LACK OF FLOW IN VARIOUS SECTORS OF THE CITY, RUPTURES, AND A HIGH RATE OF LEAKS WHICH MAKE CONTINUOUS WATER SERVICE DIFFICULT. CURRENTLY, THE POPULATION HAS SERVICE BETWEEN 12 AND 24 HOURS A DAY, WHICH CAUSES GREAT INCONVENIENCES TO THE POPULATION.

THE PRESENT MASTERS THESIS IS FOCUSED ON CREATING A DESIGN FOR THE CITY'S DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORK THAT MEETS THE DESIGN STANDARDS ESTABLISHED BY THE CURRENT CODES OF THE COUNTRY, AS WELL AS EQUIP IT WITH AN HYDRAULIC MODEL THAT IMPROVES THE OPERATION OF THE NETWORK'S DESIGN AND IMPLEMENT AN AMPLIFICATION THAT ALLOWS FOR THE VISUALIZATION OF



WATER NETWORK'S INFORMATION ON CELLPHONES WITH AN ANDROID OPERATING SYSTEM.

A DETAILED ANALYSIS OF THE POPULATION TO BE BENEFITED WILL BE CARRIED OUT AND, TOGETHER WITH PREVIOUS DATA, WILL BE USED TO DETERMINE THE WATER FLOW NECESSARY IN THE LAYOUT OF THE DESIGN WITH THE OBJECTIVE OF SATISFYING THE NEEDS OF THE POPULATION. THE DESIGN OF THE WATER FLOW WILL BE DETERMINED FOR EACH ELEMENT OF THE NETWORK ACCORDING TO REGULATIONS AND THE HYDRANTS WILL BE PLACED WITH THEIR RESPECTIVE FLOW ACCORDING TO THE DESIGN.

A HYDRAULIC MODEL WILL BE CREATED IN EPANET WITH THE CHARACTERISTICS OF THE NETWORK DESIGN WHICH WILL ALLOW FOR THE OPTIMAL MANAGEMENT OF THE SYSTEM. THE PRESSURE WILL BE HOMOGENIZED WITH THE PLACEMENT OF PRESSURE-REDUCING VALVES TO MINIMIZE THE LOSS FROM LEAKS IN THE NETWORK. THE DATA FROM THE NETWORK WILL BE UPLOADED IN AN ARCMAP MODEL, THEN TO THE QGIS PROGRAM TO SEE THE DATA. A SMARTPHONE APPLICATION WILL BE CREATED FOR ANDROID THAT WILL ALLOW FOR THE QGIS INFORMATION TO BE VIEWED, WHICH CONTAINS DIAMETERS OF THE PIPES AND PRESSURE IN THE JUNCTIONS, AS WELL AS THE LOCATION OF THE HYDRANTS.

Palabras clave español: DISEÑO; REDES; NARANJAL; QGIS; EPANET

Palabras clave valenciano: DISSENY; XARXA; NARANJAL; QGIS; EPANET

Palabras clave inglés: DESIGN; NETWORK; NARANJAL; QGIS; EPANET



AGRADECIMIENTOS

A la **Universitat Politècnica de Valencia** y a todo el cuerpo de docentes por los conocimientos impartidos en este proceso.

A mis padres, hermanos y mi novia por su apoyo incondicional durante todo el tiempo del Master.

A mi director del trabajo de Fin de Master Doctor: **Javier Soriano Olivares**, quien con su valiosos conocimientos y calidad humana me ha sabido guiar para concluir el presente trabajo.

Sebastián Mauricio Granizo



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 CIUDAD DE NARANJAL.....	1
1.3 DEPARTAMENTO DE AGUA POTABLE CANTÓN NARANJAL.....	2
1.4 ZONA DE ESTUDIO	2
2. DESCRIPCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EXISTENTE	4
2.1 ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE NARANJAL	5
2.2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO	6
2.3 CONDUCCIÓN Y TRANSPORTE.....	6
2.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN	6
2.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	7
3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE NARANJAL – ECUADOR	8
3.1 ETAPAS DEL DISEÑO DE LA RED DE AGUA POTABLE	8
3.1.1 INSTALACIÓN A DISEÑAR	9
3.1.1.1 TOPOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA	9
3.1.1.2 ELEMENTOS DE LA RED	10
3.1.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	11
3.1.3 DISEÑO DE RED	17
4. MODELO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA RED	26
4.1 ETAPAS DE LA CREACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO.....	26
4.1.1 MODELO HIDRÁULICO	26
4.2 ANÁLISIS, SIMULACIONES Y RESULTADOS.....	30
4.2.1 ESTUDIO DE PRESIONES	30
4.3 ESTUDIO DE VELOCIDADES.....	31
4.3.1 VELOCIDAD MÍNIMA	32
4.3.2 VELOCIDAD MÁXIMA	32
4.4 ESTUDIO DE CAUDALES	33



4.5	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS	34
5.	PROPUESTA PARA UNIFORMIZAR LAS PRESIONES EN LA RED	35
5.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON ALTAS PRESIONES	35
5.2	INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN	36
6.	CREACIÓN DE UN MODELO PARA VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA RED	37
6.1	ETAPAS DE LA CREACIÓN DE UN MODELO PARA VISUALIZAR INFORMACIÓN DE LA RED CON UNA APLICACIÓN MÓVIL	37
6.1.1	MODELO HIDRÁULICO DEFINITIVO EN EPANET	38
6.1.2	MODELO HIDRÁULICO EN ARCMAP	49
6.1.3	MODELO HIDRÁULICO EN QGIS	50
6.1.4	APLICACIÓN PARA VISUALIZAR INFORMACIÓN DE LA RED EN UN MÓVIL	51
6.1.4.1	BOTÓN PRESIÓN Y VELOCIDAD	55
6.1.4.2	BOTÓN HIDRANTES.....	57
6.1.4.3	BOTÓN TUBERÍAS	59
6.1.4.4	BOTÓN VÁLVULA	61
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
8.	BIBLIOGRAFÍA	65
9.	ANEXOS	66
9.1	CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO	66
9.2	MAPA DE RED DISEÑA DE LA CIUDAD DE NARANJAL.....	67
9.3	MANUAL DEL USUARIO DE HERRAMIENTAS AYUDAS_EPANET_HIDRAULICA_URBANA.....	68
9.4	MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL EN EPANET.....	69
9.5	MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL EN ARCMAP	70
9.6	MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL EN QGIS	72
9.7	APLICACIÓN MÓVIL PARA VISUALIZAR MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL.....	74
9.8	CATALOGO DE TUBERÍAS.....	79



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de la ciudad de Naranjal.....	3
Figura 2 Mapa de límites de la ciudad de Naranjal	4
Figura 3 Diagrama del sistema de abastecimiento de agua potable	5
Figura 4 Captación Superficial en el rio Blanco	6
Figura 5 Conducción de Hormigón y PVC	6
Figura 6 Planta de potabilización.....	7
Figura 7 Tanque de almacenamiento de hormigón	7
Figura 8 Etapas para el diseño de la red.....	8
Figura 9 Topografía de la ciudad.	9
Figura 10 Curva de modulación para 24 horas.....	16
Figura 11 Esquema de trazado de la red de agua en la ciudad Naranjal	17
Figura 12 Generar archivo .inp ejecutable en Epanet.....	18
Figura 13 Aplicación Ayudas_Epanet_Hidraulica_Urbana	19
Figura 14 Asignación de cotas a nudos de Epanet con Aplicación	20
Figura 15 Selección de capas y definir tolerancia en EpaCad.	20
Figura 16 Asignación de caudales a cada nudo con la aplicación	21
Figura 17 Trazado de polígonos de Thiessen con la aplicación.....	22
Figura 18 Distribución del caudal a cada nudo con la aplicación	22
Figura 19 Comprobación de la asignación de las demandas.....	23
Figura 20 Modelo Hidráulico con diámetros calculados	25
Figura 21 Etapas para la elaboración de un modelo hidráulico	26
Figura 22 Aplicación (Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana)	27
Figura 23 Verificación de Qm en nudos de consumo.....	28
Figura 24 Curva de Modulación Horaria Naranjal	28
Figura 25 Ubicación de hidrantes a 200 m	29
Figura 26 Presiones mínimas	30
Figura 27 Presiones máximas	31
Figura 28 Velocidad mínima	32
Figura 29 Velocidad máxima	33



Figura 30 Tuberías con mayor caudal.....	33
Figura 31 Variación del caudal en la 24 h	34
Figura 32 Pérdida Unitarias en la red	34
Figura 33 Identificación de presiones altas	35
Figura 34 Colocación de Válvula reductora de presión	36
Figura 35 Mapa de Presiones en la red nueva	36
Figura 36 Etapas para la elaboración de una aplicación para visualizar la red	37
Figura 37 Modelo Hidráulico en Epanet e ingreso de datos en ArcMap	38
Figura 38 Cálculo del coeficiente emisor en Excel	40
Figura 39 Flujograma del cálculo de los coeficientes emisores para el modelo	41
Figura 40 Evolución de caudales medios a lo largo del día	43
Figura 41 Volumen anual de agua.	44
Figura 42 Coste anual del volumen de agua en la red	45
Figura 43 Evolución de caudales medios en el día con VRP	48
Figura 44 Volumen anual inyectado a la red de la ciudad Naranjal	48
Figura 45 Costes de Volumen anual de agua potable	48
Figura 46 Modelo en ArcMap con datos en tuberías y nudos	49
Figura 47 Modelo con Hidrantes y tuberías en ArcMap	49
Figura 48 Modelo en Qgis para publicar en la Web	50
Figura 49 Modelo en Qgis con datos de tuberías.....	50
Figura 50 Aplicación móvil para visualizar la red de Naranjal	51
Figura 51 Botón Presiones y Velocidad de la red	55
Figura 52 Botón Hidrantes, ubicación en la red	57
Figura 53 Botón tuberías, diámetros nominales de la red	59
Figura 54 Botón Válvulas, ubicación en de la red.....	61



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diámetros comerciales de tubos PVC	10
Tabla 2 Datos de Censo Poblacional de Naranjal	11
Tabla 3 Datos de población futura	12
Tabla 4 Dotación sugerida según Norma Ecuatoriana	12
Tabla 5 Cálculo de Caudal medio.....	13
Tabla 6 Dotación por incendios según Norma Ecuatoriana	14
Tabla 7 Caudales de diseño para cada elemento según Norma Ecuatoriana	14
Tabla 8 Cálculo de caudales de diseño por año	15
Tabla 9 Parámetros para diseño de tuberías.....	23
Tabla 10 Ejemplo de diseño de la red de la ciudad de Naranjal	24
Tabla 11 Caudal medio para el año 2048	27
Tabla 12 Hidrantes en funcionamiento para probar el diseño	29
Tabla 13 Datos de caudales	40
Tabla 14 Coeficiente global de fugas.....	42
Tabla 15 Evolución de los caudales a lo largo de las 24 horas	42
Tabla 16 Volumen y coste de agua inyectada a la red	44
Tabla 17 Datos para balance hídrico técnico	45
Tabla 18 Rendimiento Volumétrico de la red de Naranjal	46
Tabla 19 valoración según rendimiento global.	46
Tabla 20 Evolución de los caudales con Válvula reductora de presión.....	46
Tabla 21 Balance hídrico con VRP	47
Tabla 22 Rendimiento Volumétricos con VRP	47



1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Diseño de la red de suministro de agua potable de la ciudad de Naranjal (Ecuador)”, tiene como objetivo diseñar una red de agua potable que cumpla con los estándares de calidad y funcionalidad para de esta manera brindar un servicio continuo y oportuno a la ciudad.

El proyecto se desarrollará en 2 etapas, primera etapa: recolección de información, topografía del sector, catastro de la población actual, dotaciones actuales, densidades poblacionales, esta primera parte corresponde a la información otorgada por el departamento de agua potable; segunda etapa: elaboración del diseño de la red de agua potable.

El proyecto está constituido por ocho capítulos: en el primero y segundo capítulo se describe los datos generales, objetivos y las características principales de la red a diseñar, en el tercero se presenta el diseño de la red, cálculos de caudales, tuberías, trazado de la red, colocación de hidrantes, así mismo en el cuarto capítulo se presenta la creación del modelo hidráulico y verificación del diseño de la red, estudio de velocidades, estudios de presiones, en el quinto capítulo se presenta la propuesta para homogeneizar presiones en toda la red de agua potable de la ciudad, el sexto capítulo se presenta la creación de un modelo en Qgis para por medio de una aplicación móvil verificar los elementos que conforman la red diseñada, en el cual se visualiza la información georreferenciada en teléfonos móviles con sistema Android, para ello se crea modelos hidráulicos en Epanet, en ArcMap y Qgis para publicar la información en la web y así visualizar ésta información, en el séptimo capítulo se describe las conclusiones, recomendaciones y finaliza en el octavo capítulo con bibliografía y anexos.

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos básicos perseguidos con el presente trabajo son:

- Diseñar la red de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Naranjal.
- Crear un modelo de la red que permita gestionar y operar mediante un software de dominio público como es EPANET.
- Identificar los puntos críticos de la red de abastecimiento de la ciudad mediante el modelo desarrollado.
- Dotar de una herramienta útil para estimar el funcionamiento horario de la red de abastecimiento del Cantón Naranjal.
- Dotar de una aplicación para teléfonos móviles para visualizar información de la red diseñada en un sistema georreferenciado.

1.2 CIUDAD DE NARANJAL

El cantón Naranjal está ubicado aproximadamente a 90 km de la ciudad de Guayaquil-Machala, es uno de los veintiocho cantones de la Provincia del Guayas, cuya cabecera

cantonal lleva el mismo nombre, el Cantón Naranjal cuenta con cinco parroquias, las mismas que son: Naranjal, Santa Rosa de Flandes, Jesús María, San Carlos y Taura.

La ciudad de Naranjal anteriormente era una parroquia del Cantón Guayas, el 7 de noviembre de 1960, Naranjal logró obtener su cantonización. El nombre del Cantón proviene según informan los habitantes de la zona, de los primeros grandes sembríos de naranja, los mismos que fueron desapareciendo por las enfermedades que atacaron a las plantaciones y sustituidos por sembríos de cacao y banano.

Las principales actividades económicas del Cantón son agricultura, acuicultura, ganadería, comercio y financieras dentro de la cabecera cantonal, entre las actividades más importantes tenemos la producción agrícola ya que se cuenta con grandes zonas de plantaciones de banano, arroz, tabaco, café y caña de azúcar.

1.3 DEPARTAMENTO DE AGUA POTABLE CANTÓN NARANJAL

La administración, operación y mantenimiento del sistema de agua potable está a cargo de la Municipalidad de Naranjal, a través del departamento de agua potable y alcantarillado, este departamento cuenta con un directo, una secretaria, seis inspectores, dos ingenieros químicos, nueve operadores del sistema existente, catorce obreros que conforman la cuadrilla y siete personas que se encargan de tomar las medidas de los contadores para posteriormente facturar.

En la actualidad, así como en la mayoría de las ciudades de Ecuador el ente encargado de administrar y operar el sistema de suministro de agua no cuenta con un departamento técnico, administrativo, y de operaciones, esto causa que no se brinde un servicio de calidad que garantice la continuidad del agua y su calidad para los usuarios actuales y futuros.

1.4 ZONA DE ESTUDIO

Ubicación Geografía

El Cantón Naranjal geográficamente se extiende de norte a sur, desde el río Culebras, que lo separa de los cantones El Triunfo y San Jacinto de Yaguachi, hasta el río Jagua que lo separa del Cantón Balao. Al este se limita con la línea de cumbre de la Cordillera de los Andes, que separa Azuay y Cañar; y por el Oeste Guayaquil y el Océano Pacífico.

Su territorio tiene una superficie aproximada de 2015 km² y su población de urbana según el censo de población y vivienda es de 28,487 habitantes, se encuentra a una altura de 30 m.s.n.m, además la temperatura media anual está ente 26°C de 28°C y precipitación promedio anual es de 1,188 mm.

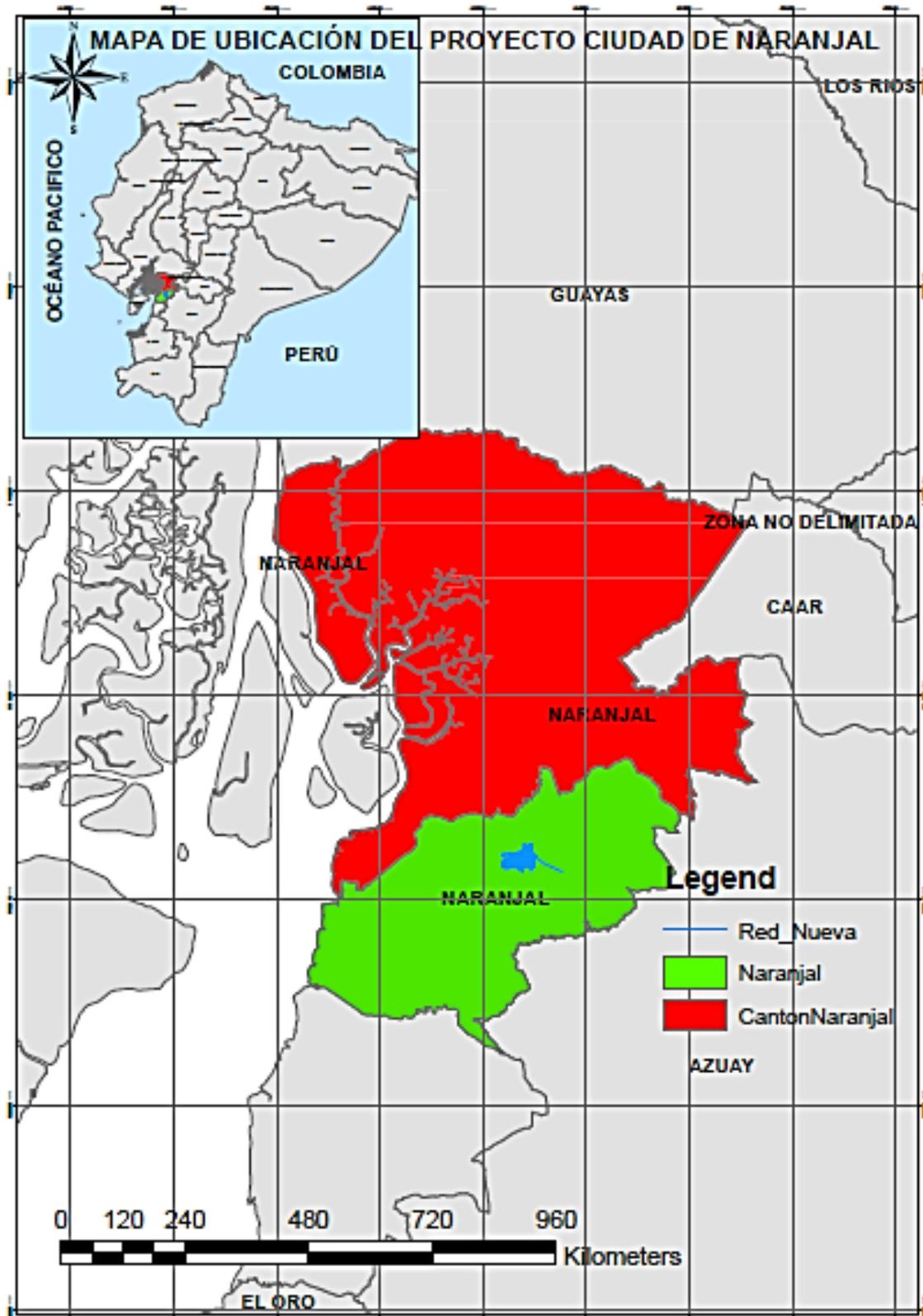


Figura 1 Ubicación Geográfica de la ciudad de Naranjal.

Delimitación del Cantón Naranjal

Norte: Cantones Durán, San Jacinto de Yaguachi y El Triunfo, **Sur:** El Cantón Balao, **Este:** Las provincias de Cañar y Azuay y al **Oeste:** Océano Pacífico.

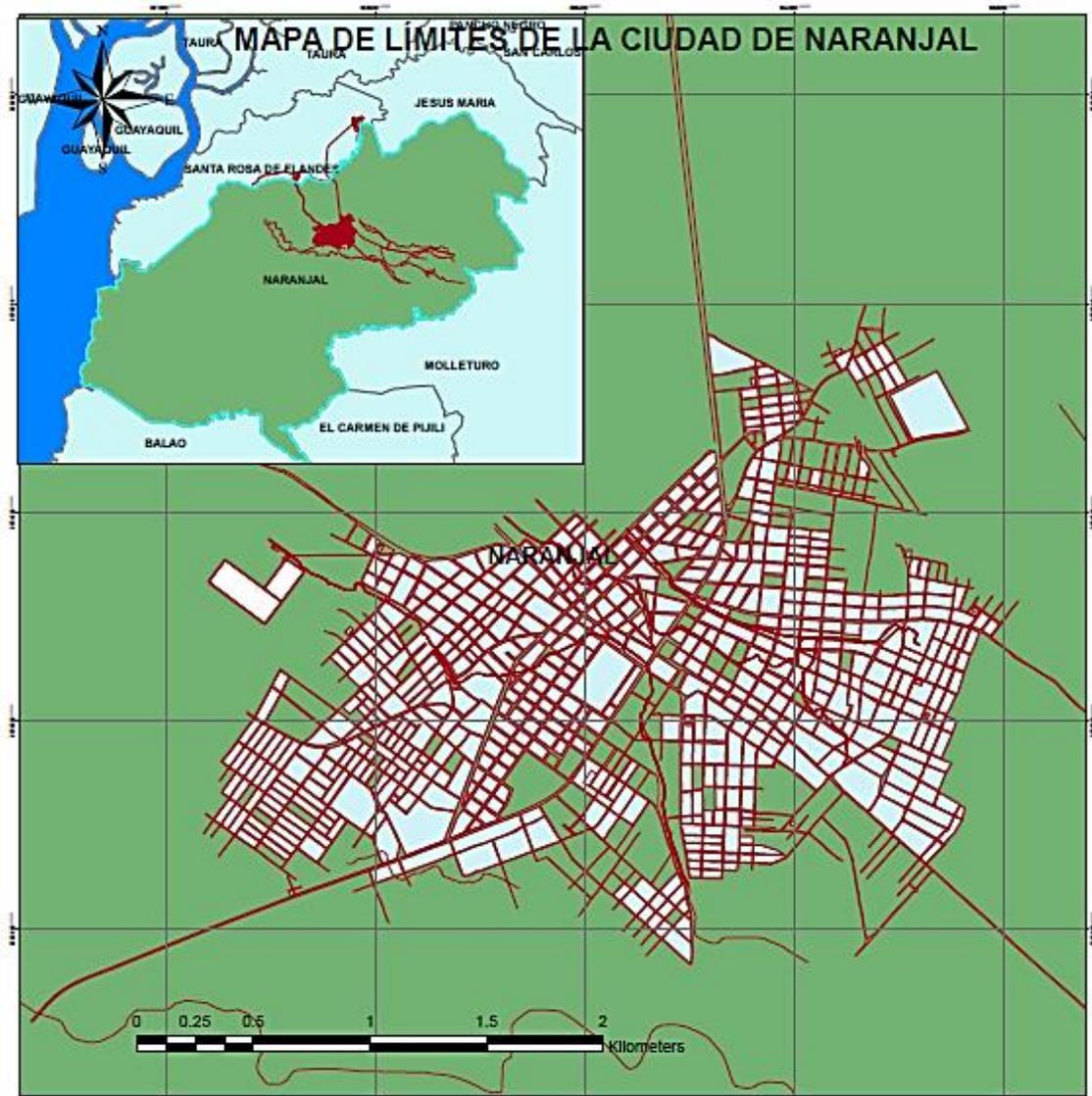


Figura 2 Mapa de límites de la ciudad de Naranjal

2. DESCRIPCIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EXISTENTE

La red de agua potable se ha construido en las vías públicas y de acuerdo al crecimiento poblacional, se han ramificado hacia las calles transversales según las necesidades del momento. La red de distribución, es un sistema ramificado y mallado, según personas encargadas que conocen el sistema debido a que no cuentan con un registro de catastro de la red existente, la distribución sale de una única Planta de tratamiento con dos reservas ubicadas en el mismo lugar de producción, que son utilizadas como tanques de almacenamiento y con una sola salida hacia toda la ciudad.

El volumen mensual suministrado es próximo a 200 m³. Uno de los principales problemas es la deficiencia del sistema de distribución a lo largo de la ciudad generado por las continuas fugas, en la actualidad el Departamento de Agua Potable no tiene las herramientas básicas para realizar la búsqueda de fugas, ya que solo se realiza reparación en las fugas visibles, y las fugas no visibles siguen incrementando el índice de pérdidas afectando a los habitantes de un servicio continuo del líquido vital, las tuberías actuales son una mezcla entre asbesto cemento y PVC esto perjudica a que el sistema no tenga una presión adecuada y ausencia de caudal en varias sectores de la ciudad, así como también la diversidad de diámetros dificulta las operaciones de mantenimiento debido a la cantidad de accesorios para cada reparación, por lo que existe inconvenientes en la dotación de repuestos, stock suficiente y capacitación del personal para cada caso.

2.1 ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE NARANJAL

La ciudad de Naranjal se abastece de agua por medio de un sistema a gravedad los mismos que es posible a la ubicación de las captaciones superficiales, las cuales se encuentra ubicadas en el Rio Blanco, de ahí es trasladado a la planta de tratamiento para posteriormente llevarlo al tanque de almacenamiento el cual alimenta a la red de la ciudad tal como se ve en la siguiente imagen.



Figura 3 Diagrama del sistema de abastecimiento de agua potable

2.2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO

En la actualidad el abastecimiento de agua a la ciudad de Naranjal se realiza por fuentes superficiales los mismos que se encuentran ubicados en el Rio Blanco, en la intersección con el Rio Bucay tal como se muestra a continuación.



Figura 4 Captación Superficial en el rio Blanco

2.3 CONDUCCIÓN Y TRANSPORTE

La línea de conducción del sistema funciona a gravedad, transportando desde las captaciones hasta el desarenador por un canal de hormigón de una longitud de 1000 m, desde el desarenador hasta las plantas de tratamiento, este tramo está constituido por tuberías de PVC de 400 mm de diámetro, con un recorrido total de 400 m.



Figura 5 Conducción de Hormigón y PVC

2.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN

La Planta de tratamiento, tiene un área aproximada de 5000 m², en cuyo interior se encuentran los elementos que la conforman la planta potabilizadora, como se describió anteriormente desde el desarenador llega el agua en una tubería de PVC de 400 mm de diámetro, la misma que para ingresar a la planta se acopla a una tubería de 350 mm de hierro fundido, también cuenta con cámara de válvulas y un cuarto de dosificación de químicos, tal como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Figura 6 Planta de potabilización

2.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Los tanques existentes son de hormigón armado, están contruidos próximos a la planta de tratamiento, la capacidad de almacenamiento aproximada de 2,200 m³, los tanques fueron contruidos hace 15 años atrás por lo que es necesario repotenciarlos y darles un mantenimiento preventivo tal como se ve en la figura.



Figura 7 Tanque de almacenamiento de hormigón

3. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE NARANJAL – ECUADOR

3.1 ETAPAS DEL DISEÑO DE LA RED DE AGUA POTABLE

A continuación, se muestran las etapas a seguir para el diseño de la red agua potable de la ciudad de Naranjal. Se parte del estableciendo el trazado de la red, considerando la topografía de la ciudad, seguido de establecer los elementos los cuales se van a diseñar, esto contempla establecer el material de las tuberías, colocación de los hidrantes, tipo de válvulas que se usara en la red, posteriormente se realizara un análisis de las demandas de la ciudad, para esto se atiende lo establecido en la Norma Ecuatoriana para el diseño de una red de agua potable en la zona urbana de más de mil habitantes (Secretaría del Agua), también se fija una curva de modulación horaria, finalmente se procederá al diseño de la red de agua para lo cual será necesario elaborar un modelo en Epanet, con todos sus elementos anteriormente indicados que contenga sus características como son, cotas en los nudos, tipo de material en las tuberías, cota en los embalses, demandas en los nudos esto permitirá el diseño de la red y su comprobación para los distintos escenarios que indica la Norma Ecuatoriana, manteniendo presiones mínimas, así como velocidades mínimas y máximas en todo el tramo diseñado.

Figura 8 Etapas para el diseño de la red



3.1.1 INSTALACIÓN A DISEÑAR

En el presente trabajo se diseña una red de abastecimiento de tipo mallada que permita el suministro de agua por varias rutas alternativas y así garantizar un suministro constante en caso de averías en la red.

3.1.1.1 Topología y topografía

El reporte de la topografía de la ciudad de Naranjal reporta que se tiene cotas desde 60 msnm hasta los 30 msnm, con pendientes que van de 0 a 5 grados las cuales predominan en la mayoría de la ciudad ya que representan alrededor del 48.61% de la superficie, estas pendientes corresponden a la denominación de superficie planas, también una parte de la ciudad tiene pendientes que van de 5 a 12 grados correspondiente a una superficie medianamente inclinado.

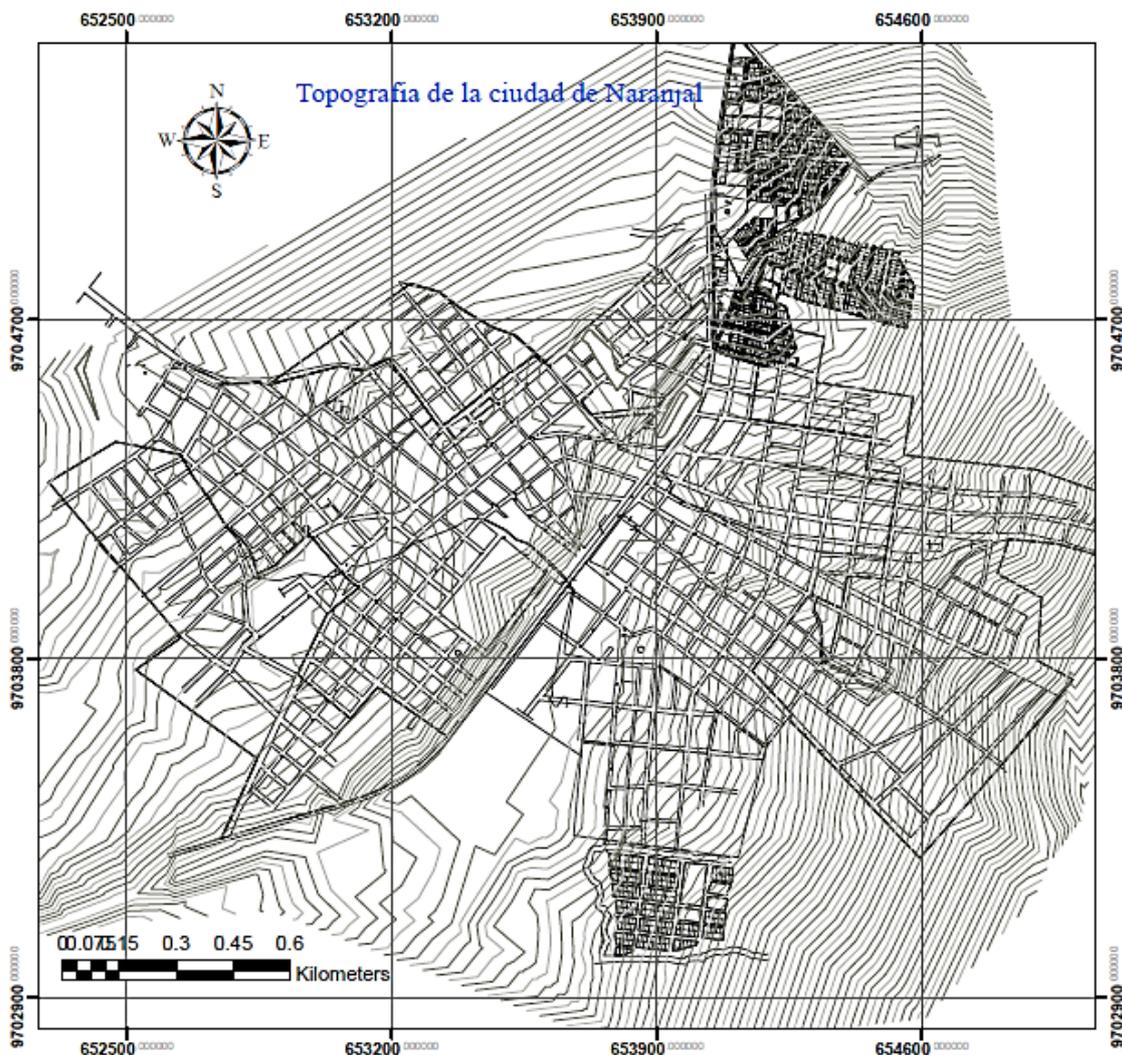


Figura 9 Topografía de la ciudad.

3.1.1.2 Elementos de la red

A continuación, se detalla las características de cada uno de los elementos que se utilizarán para el diseño de la red de abastecimiento de agua potable.

Tuberías

Para el presente proyecto se utilizara tuberías de material PVC, de una longitud de 6 m más campana con sellado elastomérico, una de las ventajas de este tipo de tuberías es, no transmite olor ni sabor al agua potable u otros de consumo humano, también por su baja conductividad eléctrica no se produce en el material corrosión galvánica y/o electrolítica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores conservando su sección hidráulica, este tipo de tuberías poseen los siguientes diámetros nominales así como su presión de trabajo.

Tabla 1 Diámetros comerciales de tubos PVC

Diámetro Nominal	Espesor de Pared	Diámetro Interior	Presión de Trabajo
mm	mm	mm	MPa
50	2.4	45	1.25
63	3.8	57	1.25
75	3.6	67.8	1.25
90	4.3	81.4	1.25
110	5.3	99.4	1.25
160	7.7	144.6	1.25
200	9.6	180.8	1.25
250	11.9	226.8	1.25
315	15	285	1.25
355	16.9	321.2	1.25
400	19.1	361.8	1.25
500	23.9	452.2	1.25
630	24.1	581.8	1.25

Hidrantes contra incendios

En el presente proyecto se instalan hidrantes en los sitios estratégicos los mismo que establece la norma de diseño. Los hidrantes son partes integrales de un sistema de distribución de agua de la ciudad, ya que son indispensables para:

- Conexión a un vehículo contraincendios de los bomberos.
- Lavado de la red ante posibles infiltraciones de sólidos en el agua.
- Desfogue para mediciones de caudal por sectorización.
- Limpieza de secciones de matrices con tapón al interior de calles cuchara.

3.1.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Para la estimación de la demanda es necesario estimar la población futura, para lo cual se utilizan los métodos de proyección de crecimiento (geométrica, aritmética y exponencial).

Periodo de diseño

Los sistemas de abastecimiento de agua potable para sus componentes, tuberías principales y secundarias de la red de material PVC la Norma Ecuatoriana establece un periodo de diseño que va de 20 a 30 años, por lo que para el presente proyecto se ha tenido en cuenta un periodo de diseño de 30 años.

Población futura

Para la estimación de la población al final de periodo de diseño se procede a calcular por el método geométrico, tomando en cuenta el censo poblacional del 2010, en el cual el Instituto de Estadísticas y Censo publicó las tasas de crecimiento poblacional para cada cantón como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2 Datos de Censo Poblacional de Naranjal

Datos de los censos poblacional		
Año	Población Urbano	Tasa de crecimiento anual %
2010	28,487	3.09

Método Geométrico

Este método asume que el crecimiento de la población es proporcional al tamaño de éste. Con la siguiente ecuación se calcula la población futura con el método geométrico.

$$Pd = Pa(1 + r)^t \quad (1)$$

Donde:

Pd= Población de diseño (hab)

Pa= Población actual (hab)

r= Tasa de crecimiento anual

t= Periodo de diseño (años)

Tabla 3 Datos de población futura

Población de diseño año 2048		
año actual=	2018	
año censo=	2010	
años transcurridos=	8	
t=	30	años
r=	0.0309	
Pa=	28,487	(hab)
Pd=	90,547	(hab)

La población de la ciudad de Naranjal que demandara el servicio de agua potable al final del periodo de diseño es de 90,547 habitantes, el cual fue calculado para el año 2048, con un crecimiento poblacional anual del 3.09 % y un periodo de diseño de 30 años.

Dotación

La Norma Ecuatoriana establece unas dotaciones recomendadas, según las condiciones climáticas del sitio, considerando las necesidades de los distintos servicios públicos, hábitos de consumo, estos valores son recomendados, pero en vista que no se cuenta con datos suficientes para tener un dato de dotación más realista se toman los valores de la siguiente tabla.

Tabla 4 Dotación sugerida según Norma Ecuatoriana

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
hasta 5 000	Frío	120 - 150
	Templado	130 - 160
	Cálido	170 - 200
5 000 a 50 000	Frío	180 - 200
	Templado	190 - 220
	Cálido	200 - 230
más de 50 000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Naranjal se encuentra en un clima cálido, y tiene una población al final del periodo de diseño de 90,547 habitantes, por lo que corresponde una dotación media futura >230 (l/hab/día), para el presente proyecto se considera 235 (l/hab/día).

Variaciones de consumo

El caudal medio anual diario en (l/s), es el caudal de agua que incluye pérdidas por fugas, consumido en promedio por una ciudad, según la Norma Ecuatoriana esto se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_m = (1 + f) * (P * D) / 86,400 \quad (2)$$

Donde

Q_m= caudal medio (l/s)

f= Factor de fugas

P= Población al final del periodo de diseño

D= Dotación futura (l/hab*día)

El factor de fugas a utilizar para el cálculo de los diferentes caudales de diseño, se tiene en cuenta el porcentaje indicado según la Norma Ecuatoriana la cual corresponde al 20 % según el nivel de servicio del presente proyecto.

Tabla 5 Cálculo de Caudal medio

Caudal medio		
f=	20	%
P=	90,547	hab
D=	235	(l/hab*día)
Q _m =	295.54	l/s

Considerando las limitaciones para determinar las variaciones de consumo máximo diario y horario la Norma Ecuatoriana establece las siguientes ecuaciones:

$$Q_{max.dia} = K_{max.dia} * Q_{med} \quad (3)$$

El coeficiente de variación del consumo máximo diario la Norma Ecuatoriana recomienda utilizar los siguientes valores.

$$K_{max. día} = 1.3 - 1.5$$

El coeficiente de variación del consumo máximo horario se recomienda utilizar un valor incluido en el siguiente rango:

$$K_{max. hor} = 2 - 2.3$$

Para el presente proyecto se utiliza un coeficiente de variación del consumo máximo diario de $K_{max.día}=1.4$ y un coeficiente de variación de consumo máximo horario de $K_{max.hor}=2$, por otra parte, las dotaciones de agua contra incendios, así como el número de incendios simultáneos se muestra en la siguiente tabla, en la cual está en función del número de habitantes.

Tabla 6 Dotación por incendios según Norma Ecuatoriana

NÚMERO DE HABITANTES (en miles)	NÚMERO DE INCENDIOS SIMULTÁNEOS	DOTACIÓN POR INCENDIO (l/s)
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

Caudales de diseño

Para el diseño de los diferentes elementos de un sistema de abastecimiento de agua potable, la Norma Ecuatoriana presenta los caudales que se usaran en la siguiente tabla:

Tabla 7 Caudales de diseño para cada elemento según Norma Ecuatoriana

ELEMENTO	CAUDAL
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo horario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

Tabla 8 Cálculo de caudales de diseño por año

SISTEMA DE AGUA POTABLE PARROQUIA NARANJAL						
DATOS GENERALES		DOTACIONES Y CONSUMOS				CAUDALES DE DISEÑO
AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN	Qm	QMD	QMH	RED
		(l/Hab/día)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2018	36,340	235.00	118.61	166.05	237.22	262.22
2019	37,462	235.00	122.27	171.18	244.55	269.55
2020	38,620	235.00	126.05	176.47	252.10	277.10
2021	39,813	235.00	129.95	181.92	259.89	284.89
2022	41,044	235.00	133.96	187.55	267.92	292.92
2023	42,312	235.00	138.10	193.34	276.20	301.20
2024	43,619	235.00	142.37	199.32	284.74	309.74
2025	44,967	235.00	146.77	205.47	293.54	318.54
2026	46,357	235.00	151.30	211.82	302.61	327.61
2027	47,789	235.00	155.98	218.37	311.96	336.96
2028	49,266	235.00	160.80	225.12	321.60	346.60
2029	50,788	235.00	165.77	232.07	331.53	356.53
2030	52,357	235.00	170.89	239.24	341.78	366.78
2031	53,975	235.00	176.17	246.64	352.34	377.34
2032	55,643	235.00	181.61	254.26	363.23	388.23
2033	57,362	235.00	187.22	262.11	374.45	399.45
2034	59,135	235.00	193.01	270.21	386.02	411.02
2035	60,962	235.00	198.97	278.56	397.95	422.95
2036	62,846	235.00	205.12	287.17	410.24	435.24
2037	64,788	235.00	211.46	296.04	422.92	447.92
2038	66,790	235.00	217.99	305.19	435.99	460.99
2039	68,854	235.00	224.73	314.62	449.46	474.46
2040	70,981	235.00	231.67	324.34	463.35	488.35
2041	73,174	235.00	238.83	334.37	477.67	502.67
2042	75,436	235.00	246.21	344.70	492.43	517.43
2043	77,766	235.00	253.82	355.35	507.64	532.64
2044	80,169	235.00	261.66	366.33	523.33	548.33
2045	82,647	235.00	269.75	377.65	539.50	564.50
2046	85,200	235.00	278.08	389.32	556.17	581.17
2047	87,833	235.00	286.68	401.35	573.36	598.36
2048	90,547	235.00	295.54	413.75	591.07	616.07
OBSERVACIONES :		NOMENCLATURA :				
		$Q_m = \text{CONSUMO MEDIO DIARIO} = (1 + f) * (P * D) / 86400$				
Población Actual	36,340	$Q_{MD} = \text{CONSUMO MAXIMO DIARIO} = K_{MD} * Q_m$				
Indice de crecimiento =	3.09%	$Q_{MH} = \text{CONSUMO MAXIMO HORARIO} = K_{MH} * Q_m$				
No. miembros familiares =	3.46					
		f = FACTOR DE FUGAS				20.0%

No. Usuarios actual	=	10506	P = POBLACION AL FINAL DEL PERIODO	90,547
			D = DOTACION FUTURA	235
			KMD = FACTOR MAYORACION MAX. DIARIO	1.4
			KMH = FACTOR MAYORACION MAX. HORARIO	2
			Caudal incendios (l/s)	25

El caudal de diseño para la red de suministro de agua potable para la ciudad de Naranjal es de 616.07 l/s, el mismo se utiliza para dimensionar cada uno de los ramales.

Curva de modulación horaria

Dado que se requiere diseñar una red para una ciudad, necesitamos simular la variación del consumo a lo largo del día, por lo que es necesario contar con una curva de modulación horaria. Para el desarrollo del trabajo, en vista que no se cuenta con datos de mencionada variación en el consumo, se procedió a consultar la curva de modulación de una ciudad que se encuentra cercana a la ciudad de Naranjal que poseen las mismas características climatológicas, así como las costumbres de sus habitantes son similares, la mencionada curva se muestra en el siguiente gráfico la misma pertenece a la ciudad de Milagro.

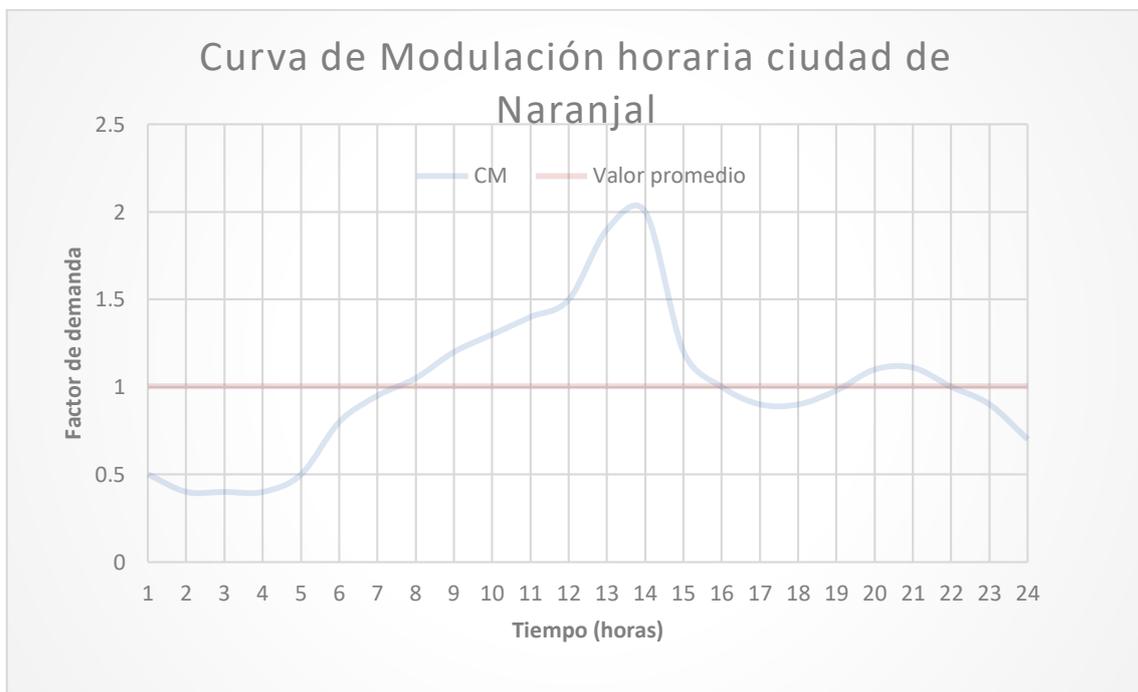


Figura 10 Curva de modulación para 24 horas

En la Figura 10, se puede observar que a las 14 horas se produce el mayor consumo, que representa la mayor actividad doméstica en la ciudad de Naranjal, de igual manera a las 2 am se produce el período de menor consumo de agua en la ciudad.

3.1.3 DISEÑO DE RED

Para el diseño de la red necesitamos un software que permita realizar el cálculo hidráulico, en el presente trabajo utilizaremos *Epanet 2.0*, así como también *AutoCAD* para el trazado de la red sobre la planimetría, una vez que se tenga el trazado de la red y con ayuda de *Epacad* se generara un archivo ejecutable en *Epanet*, posteriormente para la asignación de las características de los nudos como son cotas, demandas se utilizara *ArcMap*, con la aplicación (**Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**), finalmente se simula en *Epanet*.

La aplicación antes mencionada fue desarrollada por **Kleber Cajamarca, 2018** la misma que permite optimizar el tiempo durante la elaboración de un trabajo de un modelo.

Previo a la utilización de la mencionada aplicación se debe crear las curvas de nivel del sitio donde se realizará el proyecto, además se realiza el trazado de las líneas y nudos que conforman la red de agua potable mediante la utilización de **Epacad** para luego exportar a **Epanet**, así también se necesita delimitar el perímetro del proyecto y generar las zonificaciones o polígonos del proyecto, todos estos archivos deben ser generados en formato .dxf (formatos de intercambios de archivo).

Trazado de red de agua potable

El trazado de la red se realiza en *AutoCAD* sobre la planimetría de la ciudad, respetando calles, veredas, y demás servicios básicos, también se dibujan las líneas de tuberías conformando mallas ya que así lo exige la Norma Ecuatoriana de la construcción como se muestra en la siguiente imagen.

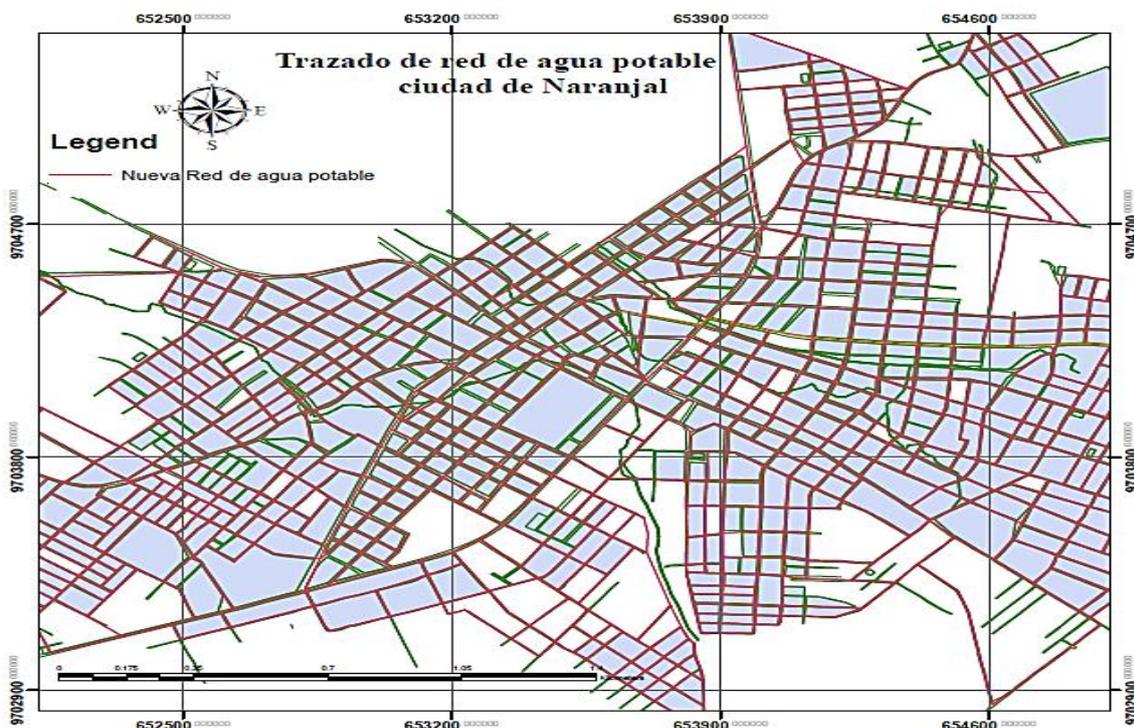


Figura 11 Esquema de trazado de la red de agua en la ciudad Naranjal

Una vez que se ha terminado de trazar la red en toda la ciudad, con ayuda de *Epacad* procedemos a generar el archivo *.inp* que es ejecutable en *Epanet*, para lo cual es necesario generar un nuevo archivo que solo contengan las redes de agua y este archivo debe estar en *.dxf* y así se obtiene el modelo en *Epanet* de la red a diseñar.

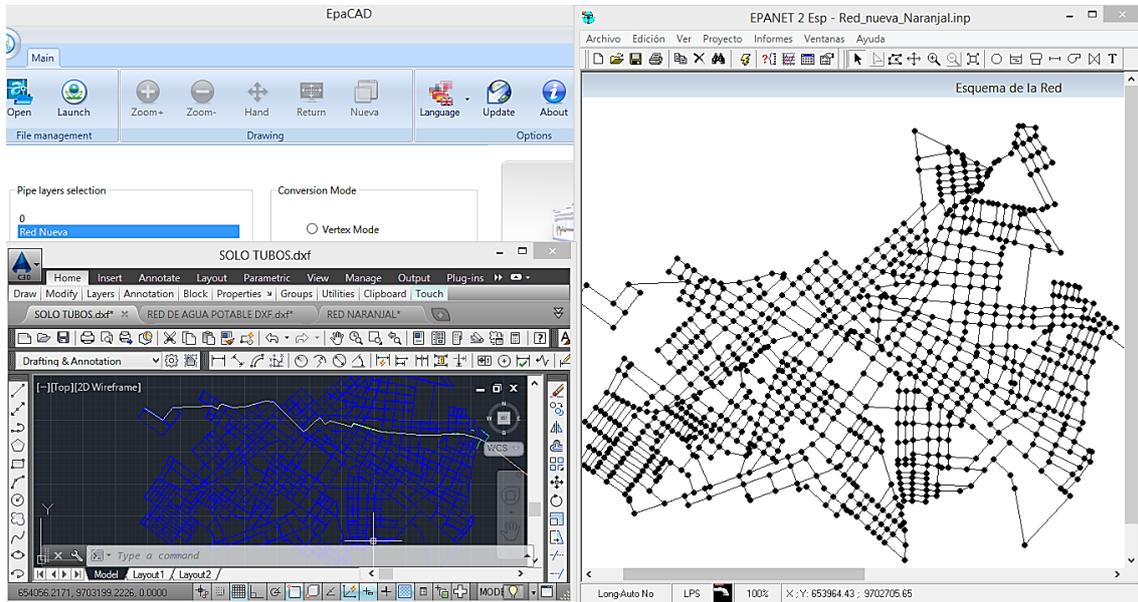


Figura 12 Generar archivo *.inp* ejecutable en *Epanet*

Asignación de valores en nudos, tuberías, embalses

Para la proyección de las cotas a los nudos se utilizara el programa *ArcMap 10.5* en donde con la aplicación (**Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**) se procede a realizar la interpolación de 2 capas, una en planimetría que corresponde a los nudos del proyecto en *Epanet*, y la otra capa de la superficie de la ciudad en 3D que se generara gracias a las curvas de nivel. Por otra parte, para la asignación de las demandas a los nudos de consumo la herramienta hace la distribución de acuerdo al área del polígono que corresponde a cada nudo, considerando la densidad poblacional de cada sector.

La herramienta **Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**, permite asignar los diferentes datos a los nudos de un modelo de *Epanet* tales como cota, demandas con densidad poblacional uniforme, demandas por sectores de diferente densidad poblacional, también ésta herramienta ayuda a ir construyendo en paralelo un modelo de la red de agua en un sistema *SIG* (Sistema de Información Geográfica) y un modelo Hidráulico en *Epanet*, así mismo nos permite incluir los resultados tanto del *ArcMap* en *Epanet* como del *Epanet* en *ArcMap*, para empezar a trabajar con esta herramienta se tiene que georreferenciar todo el proyecto, ya que de eso depende el modelo en un sistema *SIG*, también los requisitos mínimos para la utilización de esta herramienta tenemos en el botón información como se muestra en la siguiente figura.

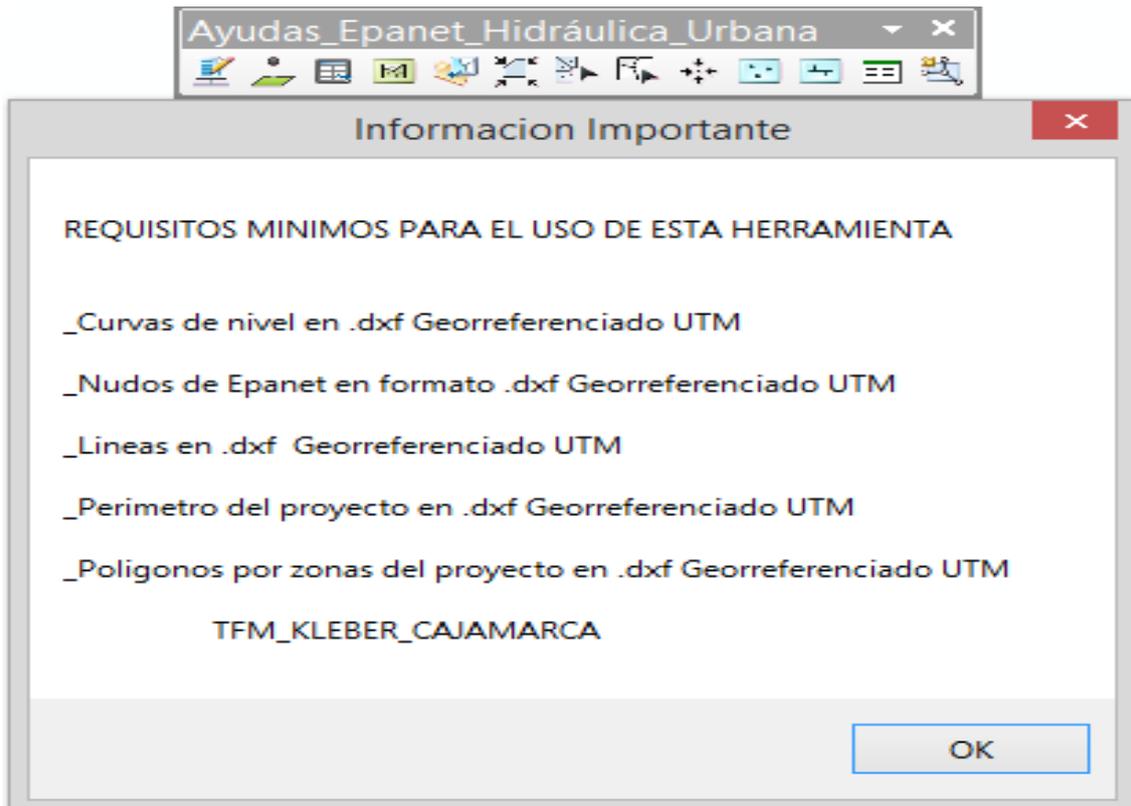


Figura 13 Aplicación Ayudas_Epanet_Hidraulica_Urbana

Cotas de nudos y embalses

Con ayuda de la topografía de la ciudad, cuyas curvas de nivel están en AutoCAD, se carga esta información en ArcMap, definiendo su proyección geográfica en una nueva hoja de trabajo, así como también es necesario asignar el sistema de proyección a todos los archivos .dxf que se generan en AutoCAD para poder trabajar en ArcMap, como la ciudad de Naranjal se encuentra ubicado al sur de Ecuador su proyección geográfica corresponde a **WGS_1984_UTM_Zone_17S**, una vez que se tenga toda la información necesaria para la utilización de la aplicación (**Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**), se procede a ejecutar este modelo tal como se muestra a continuación.

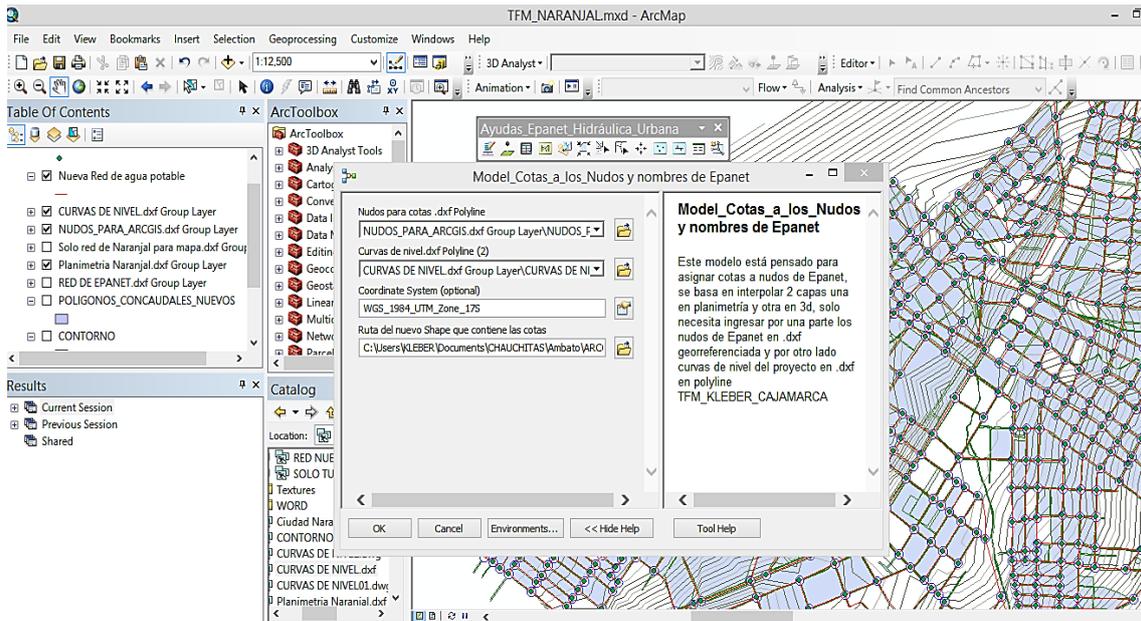


Figura 14 Asignación de cotas a nudos de Epanet con Aplicación

Una vez finalizado el proceso de interpolación, los nudos cuentan con sus respectivas cotas. Para la asignación al modelo de Epanet, se exporta la tabla de atributos de la capa que contiene los nudos con cotas. Cabe señalar que la herramienta utilizada asigna de manera automática una columna con la identificación de cada nudo la cual es la misma del Epanet, esto permite relacionar la información al momento de ingresar al Epanet tal como se muestra en la siguiente imagen.

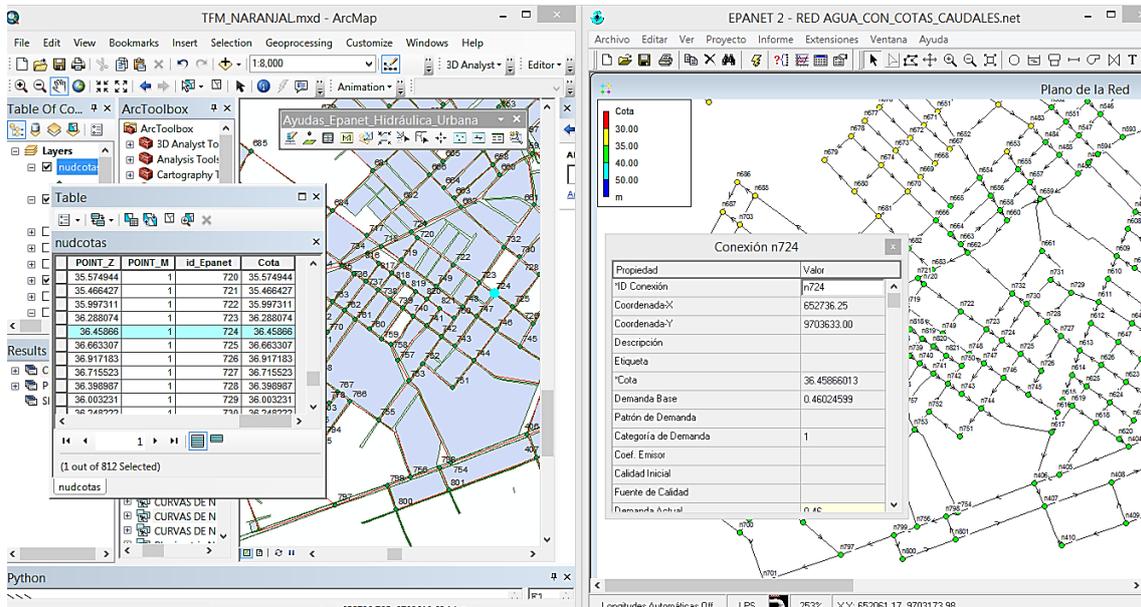


Figura 15 Selección de capas y definir tolerancia en EpaCad.

Asignación de demandas en nudos

Para este propósito se utiliza la herramienta (**Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**), ya que en una de sus funciones permite distribuir los caudales en todo el proyecto con densidad poblacional uniforme, esto se logra gracias a la utilización de los polígonos de Thiessen el cual permite asignar el % de caudal en función al área que cubre cada nudo de consumo, basta con ingresar el caudal que se desea distribuir en toda el área del proyecto, además la herramienta cuenta con una breve explicación tal como se muestra a continuación.

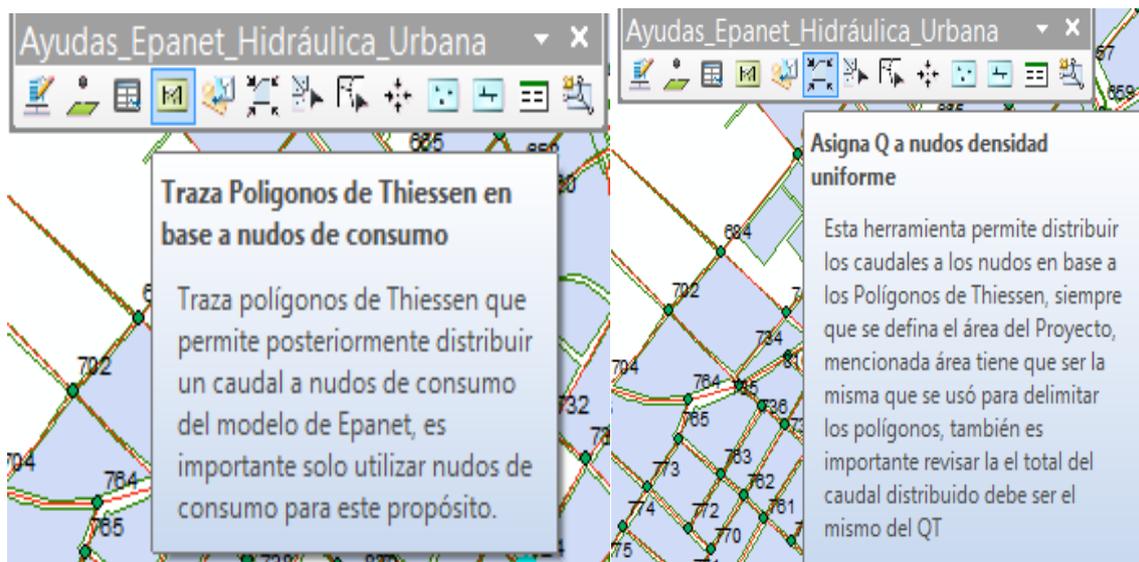


Figura 16 Asignación de caudales a cada nudo con la aplicación

Para el trazado de los polígonos se necesita exportar el modelo de la red de Epanet a AutoCAD, donde se selecciona solo los nudos de consumo los cuales servirán como base para trazar los polígonos de Thiessen. Uno de los requisitos es tener el contorno del área del proyecto, toda esta información debe estar georreferenciada y en formato .dxf para poder trabajar en ArcMap tal como se muestra en la siguiente imagen.

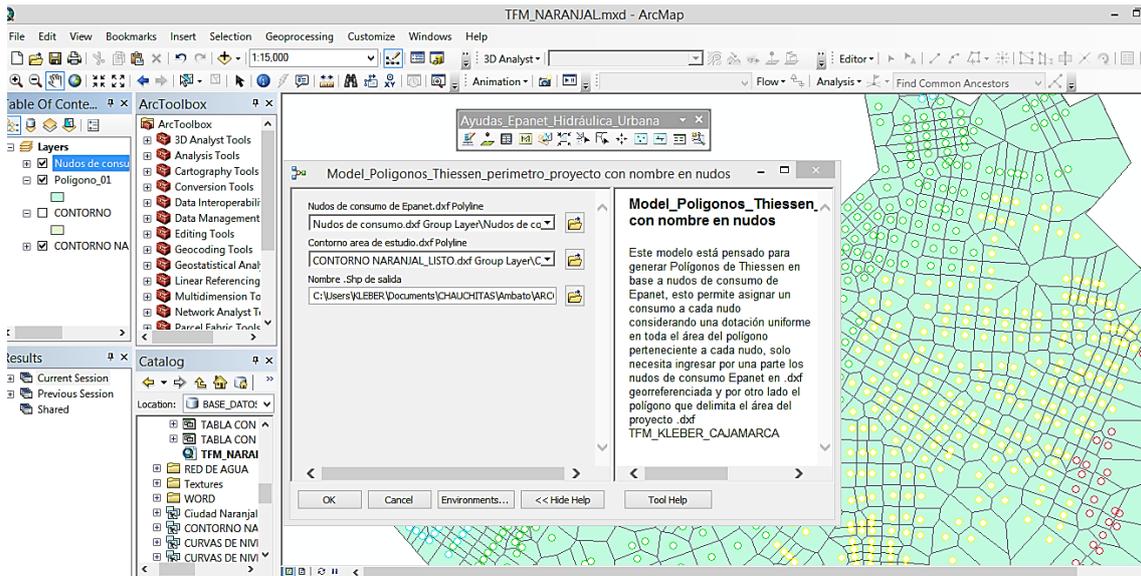


Figura 17 Trazado de polígonos de Thiessen con la aplicación

Asignación de la demanda base a cada nudo de consumo

Para ello se utiliza de nuevo la herramienta anterior, y se realiza una asignación de caudal con densidad uniforme, considerando cada uno de la información requerida; los polígonos de Thiessen recortados (los cuales se realizó en el paso anterior), demanda total en (l/s) esta información ya lo calculamos con anterioridad la misma que es de 616.07 l/s, también se necesita el contorno del proyecto. Con toda esta información se procede a ejecutar la herramienta como se visualiza a continuación.

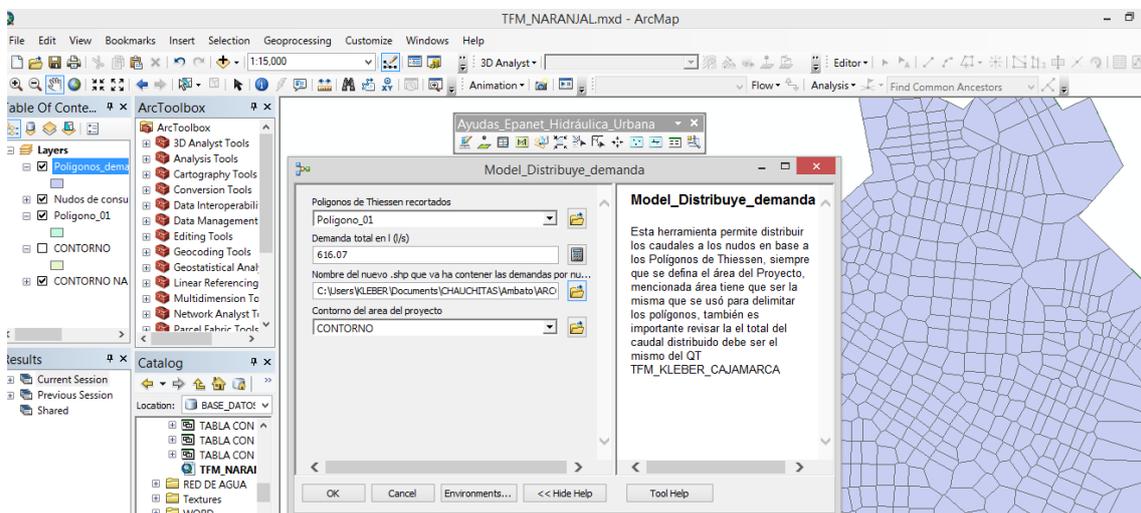


Figura 18 Distribución del caudal a cada nudo con la aplicación

Para la asignación al modelo de Epanet se exporta la tabla de atributos y desde el Excel se asigna las demandas correspondientes a cada nudo de consumo. Cabe señalar que la herramienta genera automáticamente la identificación de cada nudo a la cual pertenece cada caudal. Esta identificación es la misma de Epanet tal como se muestra a continuación.

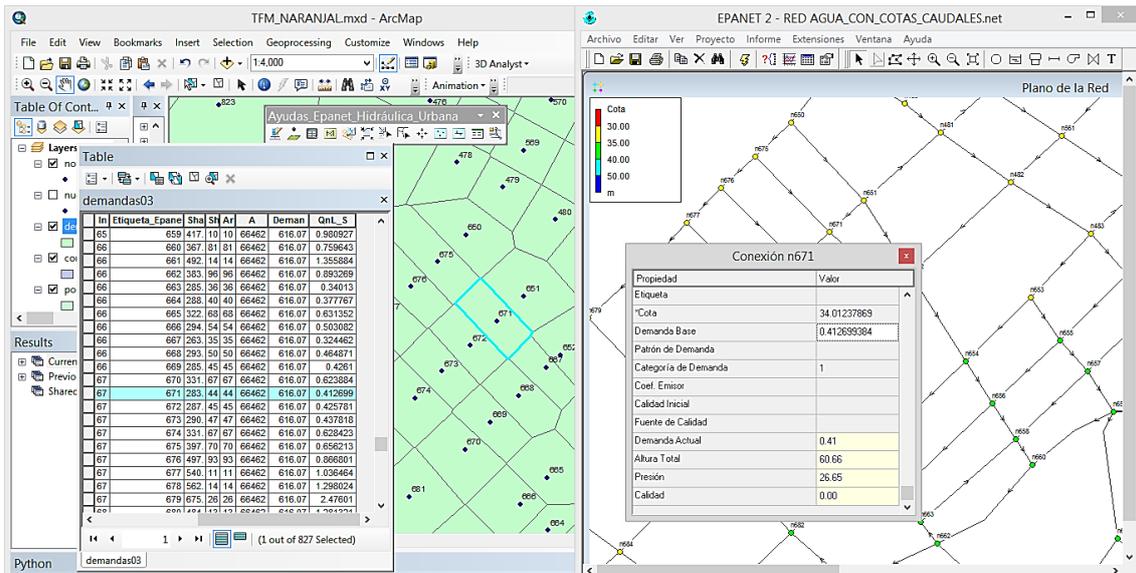


Figura 19 Comprobación de la asignación de las demandas

Diseño de tuberías de la red de Agua potable de la ciudad de Naranjal

Una vez que ya tenemos el modelo en Epanet, con ayuda de una hoja Excel se procede a dimensionar cada uno de las tuberías correspondientes a la red de la ciudad de Naranjal. Hay que mencionar que para este cálculo se ha utilizado el método de la pendiente crítica que consiste en encontrar el nudo más desfavorable (n 827) y para ese nudo se calcula la pendiente necesaria para garantizar una presión mínima de diseño.

$$J_{critica} = \frac{(H_{cabecera} - (H_{nudo\ crítico} + P_{mínima}))}{Longitud} \quad (4)$$

A continuación se muestra el ejemplo del cálculo de los diámetros de las tuberías considerando la presión mínima en el nudo más desfavorable, se han utilizado los diámetros internos de las tuberías PVC, con una rugosidad de 0.1 mm y una pendiente hidráulica de 9.8 mca/km tal como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 9 Parámetros para diseño de tuberías

PARÁMETROS DE DISEÑO		
H cabecera	113	m
H. nudo cr.	35	m
P mínima	10	m.c.a
Longitud	6,925.44	m
J crítica	0.0098	
V cinemática $\gamma =$	0.0000011	m ² /s

$\xi=$	0.1	mm
J diseño	9.8	m/km

Tabla 10 Ejemplo de diseño de la red de la ciudad de Naranjal

Línea	Long (m)	Qline (l/s)	Jdis (m/km)	f	D (mm)	Dsup (mm)	Dinf (mm)	D (mm)	V (m/s)	Re	f	Error f
p1	23.4	0.1	9.8	0.05	22.4	45	45	45	0.1	3086.6	0.046	0
p2	80.6	0.2	9.8	0.04	27.2	45	45	45	0.1	5401.6	0.04	0
p3	52.1	0.4	9.8	0.03	34.1	45	45	45	0.3	10288.8	0.034	0
p4	97.1	0.2	9.8	0.04	24.7	45	45	45	0.1	4115.5	0.043	0
p1439	119.1	4.3	9.8	0.02	82.4	99.4	81.4	81.4	0.8	61287.3	0.024	0
p1440	297.5	1.2	9.8	0.03	51.4	57	45	57	0.5	24774.4	0.029	0
p1441	114.9	2.3	9.8	0.03	64.6	67.8	57	67.8	0.6	38412.3	0.026	0
p1442	208.3	5.6	9.8	0.02	90.7	99.4	81.4	99.4	0.7	64744.9	0.023	0
p1443	91.6	2.3	9.8	0.03	64.9	67.8	57	67.8	0.6	38924.5	0.026	0
p1444	156.8	10.4	9.8	0.02	114.7	144.6	99.4	99.4	1.3	120523.4	0.022	0

Una vez finalizado el cálculo de los diámetros de las tuberías, se introducen los datos en el modelo de Epanet para realizar la simulación hidráulica la cual dio positivo en la verificación de la presión mínima en el nudo de consumo más crítico tal como se muestra a continuación.

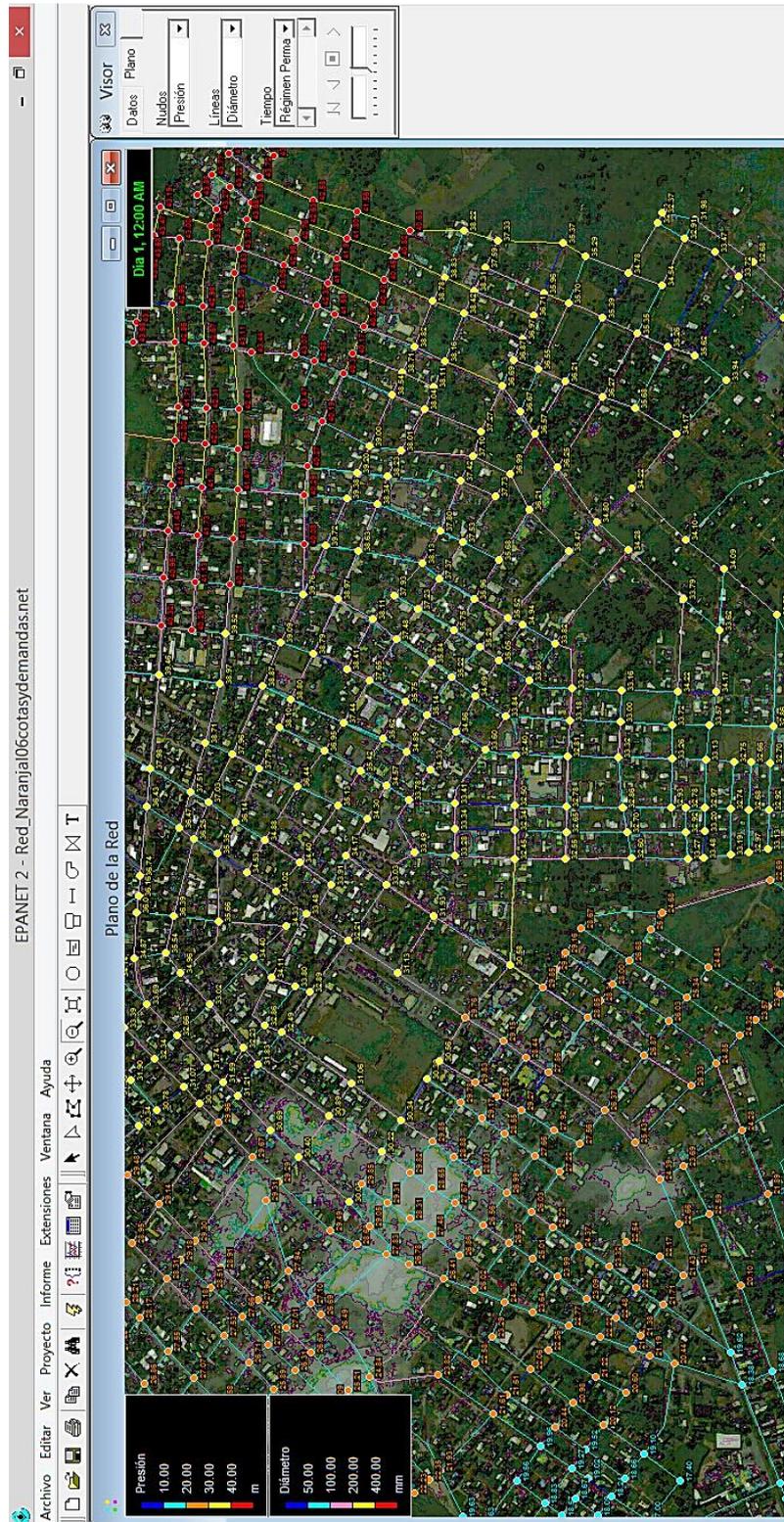


Figura 20 Modelo Hidráulico con diámetros calculados

4. MODELO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA RED

4.1 ETAPAS DE LA CREACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO

El modelo hidráulico permite simular de manera aproximada el funcionamiento de la red a lo largo de las 24 horas. También se verifica el diseño de las tuberías simulando el cierre de las tuberías, extrayendo el caudal de incendios que la Norma Ecuatoriana nos sugiere, así mismo nos permite verificar presiones y velocidades tanto mínimas como máximas. La creación de un modelo funcional nos permitirá gestionar el funcionamiento óptimo de la red de la ciudad, también estos datos permitirán generar un modelo en un sistema SIG para una mejor gestión del sistema, para la construcción de este modelo se debe seguir las siguientes etapas que se detallan en la siguiente figura.

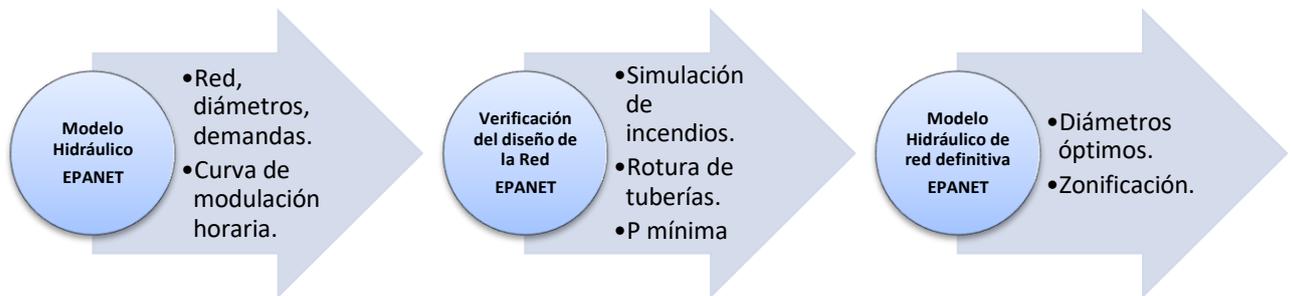


Figura 21 Etapas para la elaboración de un modelo hidráulico

4.1.1 MODELO HIDRÁULICO

Asignación de la demanda

Para la elaboración del modelo hidráulico de la red es necesario introducir el caudal medio que corresponde para el año 2048 que es el final del periodo de diseño, el cual corresponde a $Q_m=295.54$ l/s, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11 Caudal medio para el año 2048

SISTEMA DE AGUA POTABLE PARROQUIA NARANJAL							
DATOS GENERALES		DOTACIONES Y CONSUMOS				CAUDALES DE DISEÑO	
AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN	Qm	QMD	QMH	CONDUCC.	RED
		(l/hab/día)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2048	90,547	235.0	295.5	413.7	591.0	455.1	616.1

Una vez que se ha definido el caudal medio procedemos con la distribución a cada nudo de consumo, para ello utilizamos el programa ArcMap y la aplicación **(Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana)**, el cual nos facilita este proceso basta con introducir el caudal que queremos distribuir tal como se muestra a continuación.

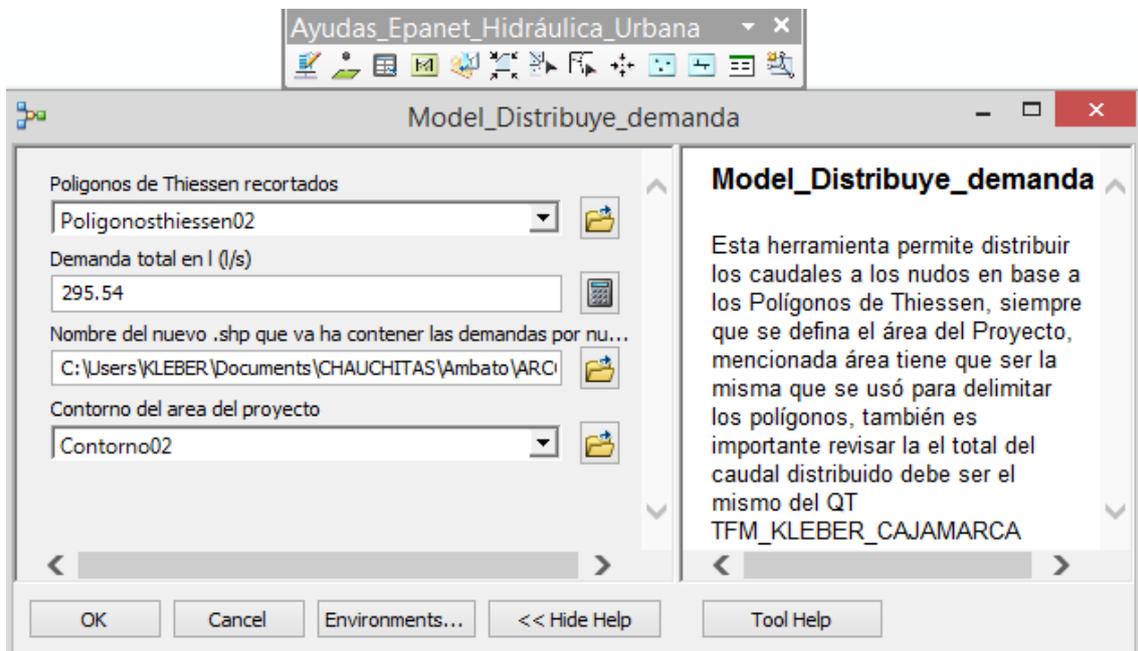


Figura 22 Aplicación **(Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana)**

Con ayuda de Excel se asigna el caudal a cada nudo de consumo en el programa Epanet, también es necesario verificar la demanda en cualquier nudo de consumo tanto en el programa ArcMap como en Epanet, tal como se muestra a continuación.

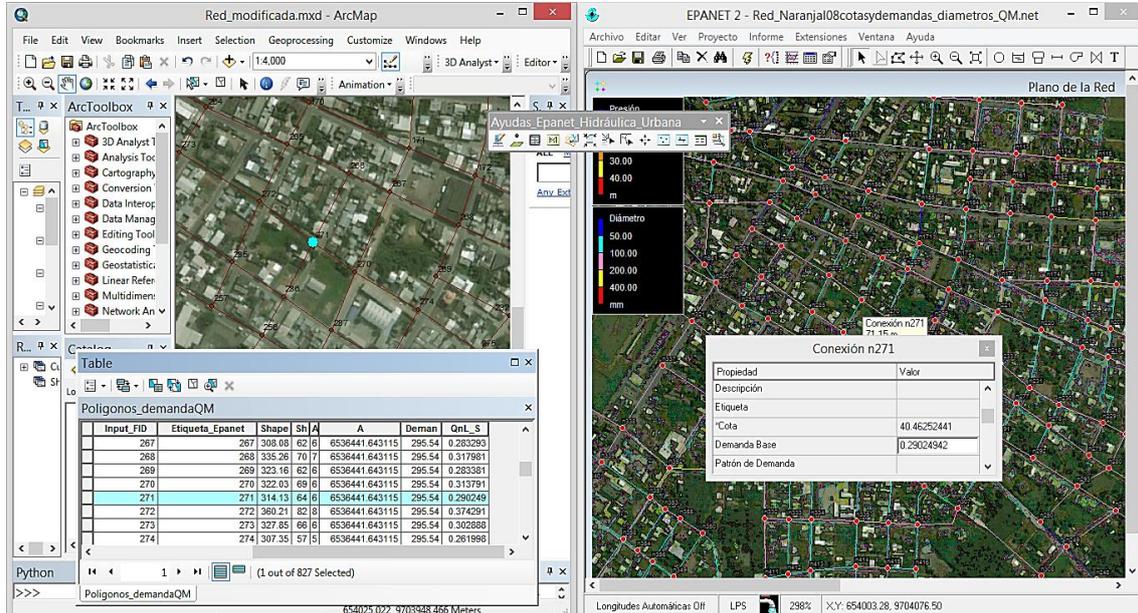


Figura 23 Verificación de Qm en nudos de consumo

Asignación de la curva de modulación horaria

Al modelo hidráulico en Epanet, se ingresa la curva de modulación horaria, la ciudad de Naranjal no cuenta con la curva de modulación horaria de consumo, teniendo en cuenta que éste es un trabajo académico se asume la curva de modulación horaria de una ciudad con características similares a la ciudad de Naranjal, la cual se muestra a continuación.

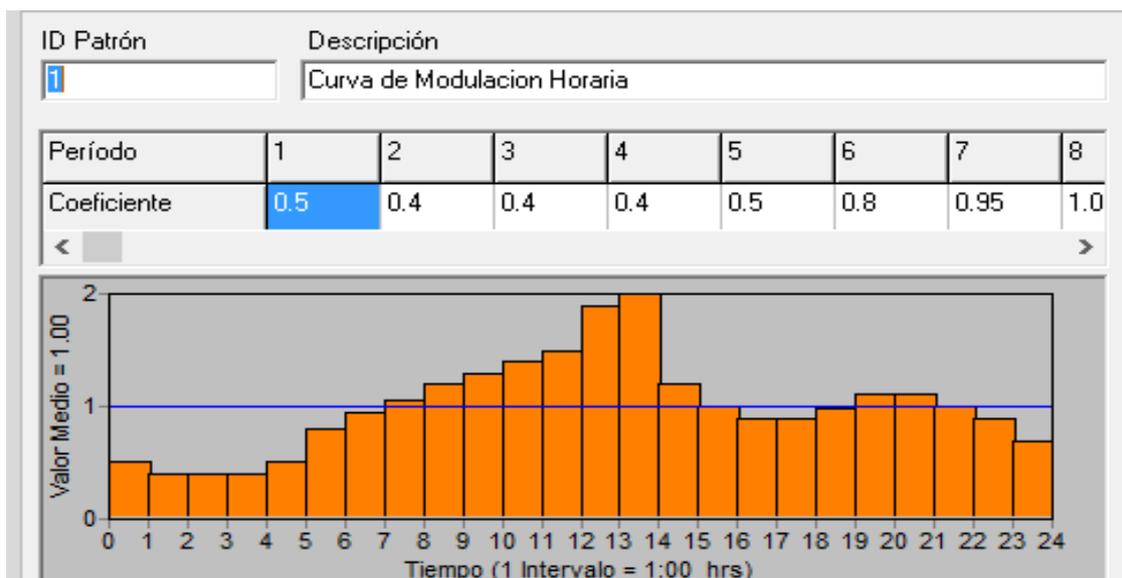


Figura 24 Curva de Modulación Horaria Naranjal

Asignación de Hidrantes en la red

Para la protección contra incendios la Norma Ecuatoriana recomienda colocar hidrantes espaciados entre 200 m y 300 m, por lo que es necesario distribuir a lo largo de la ciudad de Naranjal, esto permitirá identificar a los nudos que se asignara los caudales necesarios contra incendios en función de los hidrantes tal cual como menciona la norma en este caso es de 24 l/s, la distribución se lo realizo en el programa ArcMap tal como se visualiza a continuación.

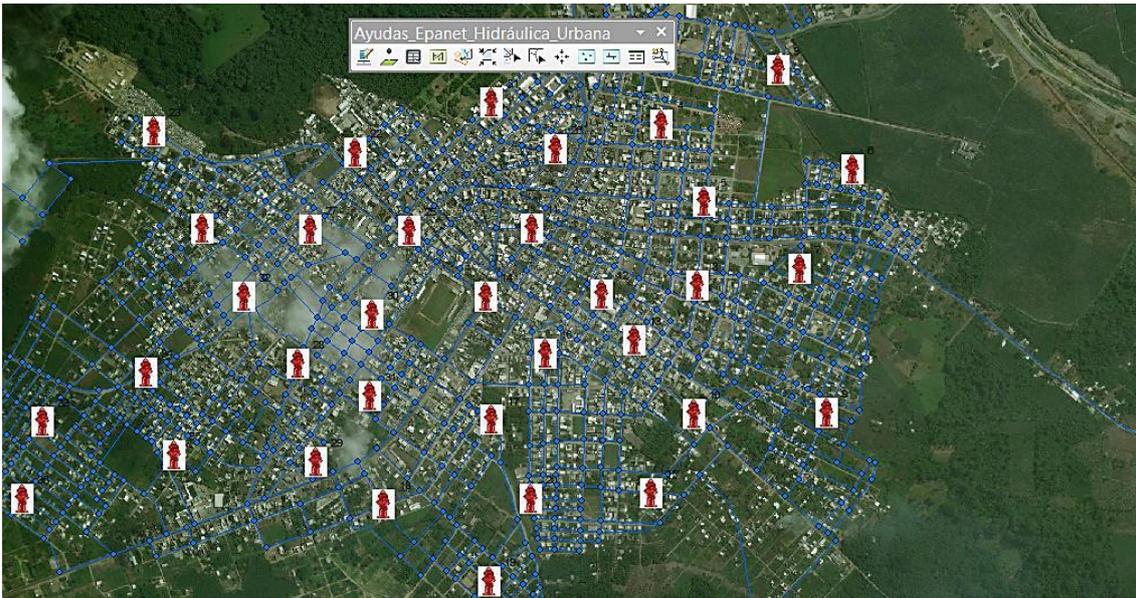


Figura 25 Ubicación de hidrantes a 200 m

Tabla 12 Hidrantes en funcionamiento para probar el diseño

POBLACIÓN FUTURA (Miles de hab.)	HIDRANTES EN USO SIMULTANEO (l/s)	HIPÓTESIS DE DISEÑO
10 a 20	Uno de 12	Uno en el centro
20 a 40	Uno de 24	
40 a 60	Dos de 24	Uno en el centro y otro periférico
60 a 120	Tres de 24	Dos en el centro y otro periférico
> 120	Cuatro de 24	Dos en el centro y dos periféricos

Aspectos a tener en cuenta para la verificación del diseño

Para la verificación del diseño de la red se tomará en cuenta las sugerencias de la norma Ecuatoriana la cual menciona que se debe considerar los siguientes aspectos.

- El caudal máximo horario (14 H 00).
- El cierre de tuberías, simulando reparación de las mismas.
- Caudales necesarios contra incendios (3 hidrantes en funcionamiento).

4.2 ANÁLISIS, SIMULACIONES Y RESULTADOS

El análisis de la red diseñada de la ciudad de Naranjal se lo realiza desde 2 escenarios que permitan visualizar el funcionamiento óptimo del sistema diseñado. A cada uno se asigna un patrón de consumo, también se asigna al escenario que corresponda y en el nudo que corresponda la demanda de incendios, esto permite visualizar y controlar el trabajo de la red.

4.2.1 ESTUDIO DE PRESIONES

Para el abastecimiento de la ciudad de Naranjal se cuenta con un tanque de distribución desde donde se alimenta éste se ubica en la parte más elevada y desde ahí se distribuye a la red, la ciudad tiene una topografía casi plana esto hace que casi las presiones son uniformes en todo el sistema.

Presiones mínimas

Como se puede observar en la Figura 26 las presiones mínimas se localizan en zonas con cotas altas, en la hora de mayor consumo la cual es a las 14 h, hora que coincide con la mayor actividad económica en la ciudad de Naranjal, reportándose presiones mínimas alrededor de 55 m.c.a. Las presiones bajas son causadas por cuellos de botella, por tuberías infradimensionadas, esto hace que no se garantice lo mínimo que establece la normativa.

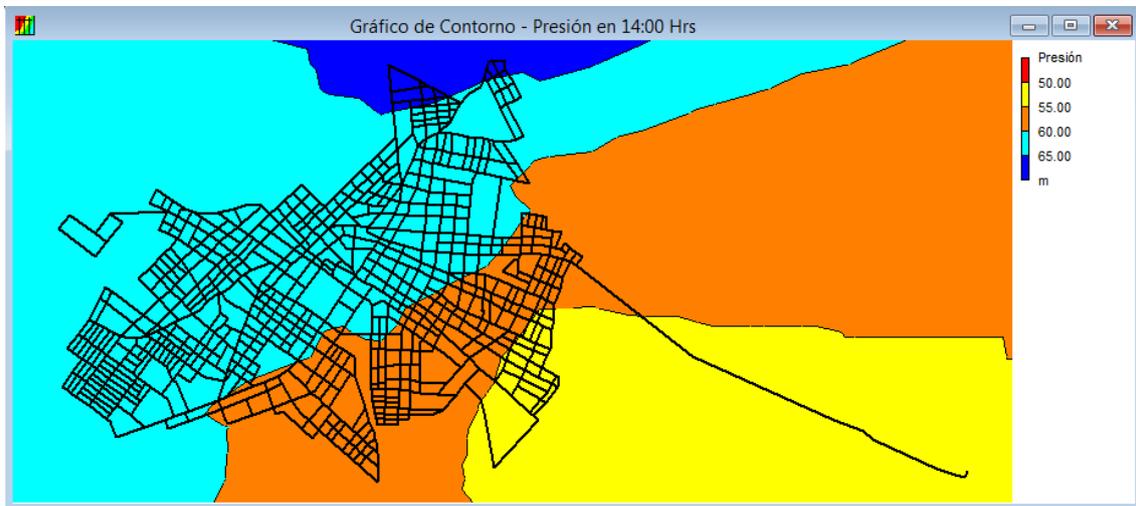


Figura 26 Presiones mínimas

Presiones máximas

Las presiones máximas se presentan en horas valle que en este caso es a la 2 am donde el consumo es mínimo, reportándose según el modelo de Epanet presiones superiores a 70 m.c.a tal como se muestra en Figura 27, las presiones elevadas causan que se incremente las fugas y esto genera pérdidas económicas a la empresa que opera el sistema, también una de las causa para tener presiones altas es cuando se tiene tuberías sobre dimensionadas.

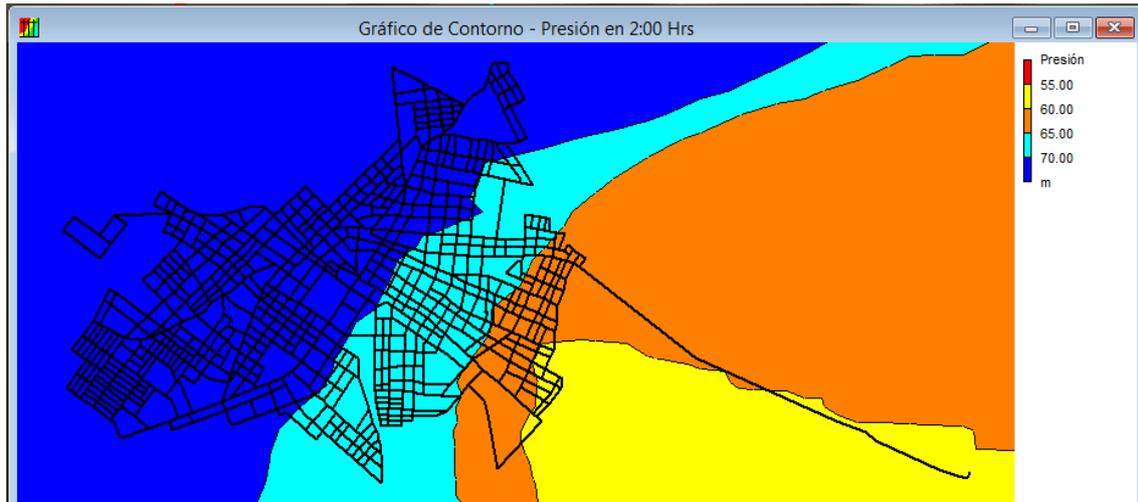


Figura 27 Presiones máximas a las 2 am

4.3 ESTUDIO DE VELOCIDADES

Las velocidades elevadas causan un aumento de las pérdidas de carga y con ello una reducción de las presiones en los puntos de consumo. Por el contrario, las velocidades mínimas ocasionan problemas de calidad de agua que se entrega al consumidor, es por ello que la norma Ecuatoriana a establecido límites de velocidades las cuales varían desde 0.1 a 4 m/s.

Por el contrario, las velocidades bajas están asociadas a problemas de calidad del agua, tales como deposiciones calcáreas, pérdida de cloro, aumento del tiempo de residencia del agua en la red, etc. Con todo ello, es conveniente que la velocidad del agua no se excesivamente baja.

4.3.1 VELOCIDAD MÍNIMA

La hora de menor consumo del sistema de agua potable de la ciudad de Naranjal es 2:00 am, es en esta hora donde se produce las velocidades mínimas en las tuberías. La aparición de estas velocidades se debe, por un lado, al sobredimensionamiento de las tuberías causando problemas de calidad de agua. Así mismo, esta velocidad también se debe a los procedimientos usuales de asignación de la demanda base en los nudos, considerándose que la demanda está distribuida por toda la red.

En la red analizada se presentan velocidades mínimas que van de 0.1 a 1 m/s en más del 98% de las tuberías instaladas en la ciudad tal como se observa a continuación.

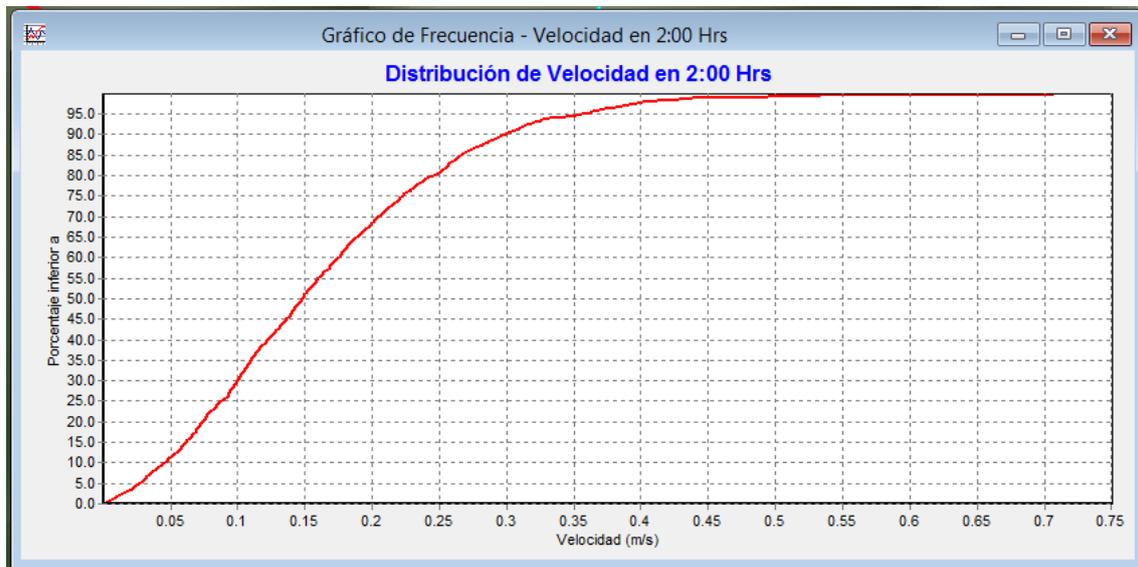


Figura 28 Velocidad mínima a las 2 am

4.3.2 VELOCIDAD MÁXIMA

A las 14 h se reporta el máximo consumo por lo que se genera velocidades máximas en las tuberías, así como en las tuberías subdimensionadas y en cuellos de botella donde es causado por poseer tuberías de diámetro mayor seguido de tubería de diámetro menor y posteriormente con otro tramo de diámetro mayor, esto causa desgaste en las paredes de las tuberías.

Estas velocidades máximas se presentan en tuberías que transportan mayor caudal, según el modelo hidráulico se reporta que el 95% de las tuberías reportan velocidades superiores a 1 m/s como se observa en la siguiente figura.

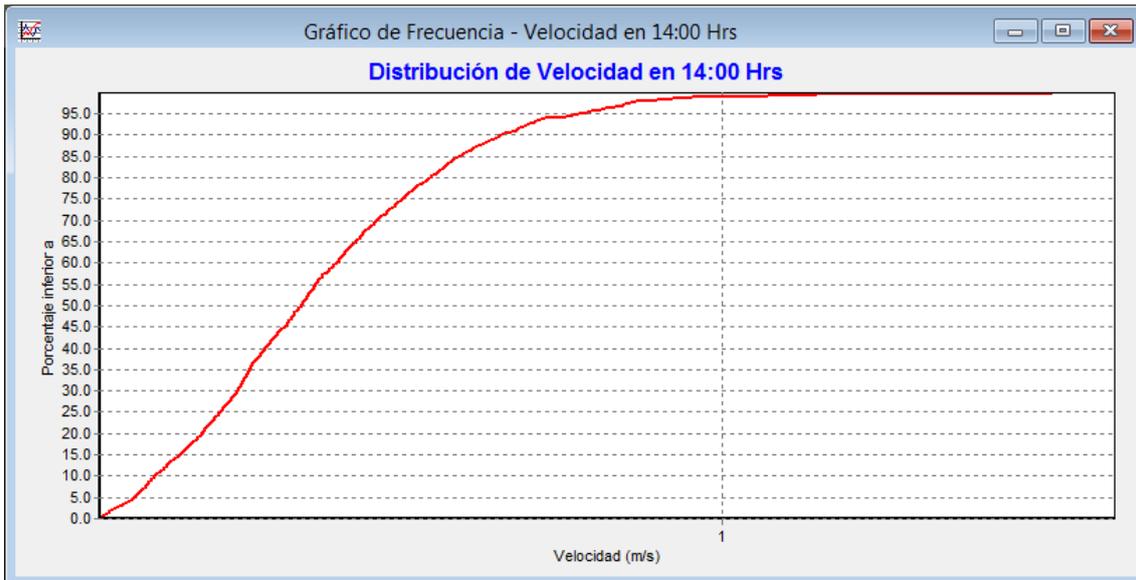


Figura 29 Velocidad máxima a las 14:00 horas

4.4 ESTUDIO DE CAUDALES

La importancia de identificar que tuberías son las que transportan el mayor porcentaje de caudal medio demandado en el sistema, esto nos permitirá visualizar las tuberías que están sobrecargadas durante el análisis en el modelo hidráulico en Epanet, los ramales más cargados son los principales los cuales poseen los diámetros internos más altos tal como se visualiza en la Figura 30.



Figura 30 Tuberías con mayor caudal

La línea p222 reporta una variación de caudal que obedece a la curva de modulación horaria a lo largo de las 24 h, también nos permite visualizar cual s la hora punta y la hora valle tal como se observa en la siguiente figura.

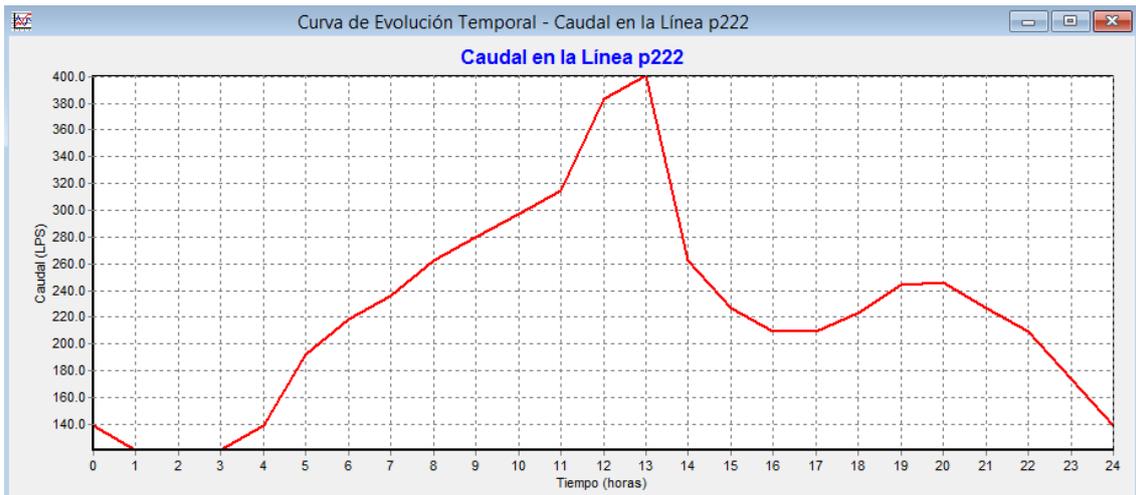


Figura 31 Variación del caudal en la 24 h

4.5 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Es un análisis importante ya que nos permitirá identificar que tubería está actuando como cuello de botella disipando energía, también nos permite identificar las redes que están infradimensionadas.

Las pérdidas en el sistema de agua de la ciudad de Naranjal analizado en el programa Epanet, nos indica que las perdidas unitarias se registran entre 0.5 m/km hasta 12 m/km, así también existe unos ramales que reportan pérdidas unitaria alrededor de 20 m/km tal como se visualiza en la siguiente imagen.



Figura 32 Pérdida Unitarias en la red

5. PROPUESTA PARA UNIFORMIZAR LAS PRESIONES EN LA RED

Gestión de la presión

En el modelo hidráulico de la red de la ciudad de Naranjal en Epanet, se observa que en algunos sectores posee presiones elevadas que superan los 60 m.c.a, esto provocara el incremento del agua incontrolada fugada, es por esta razón necesaria la gestión de las presiones, esto se logra con la colocación de válvulas reductoras de presión, para lograr esto se procede de la siguiente manera.

- Identificación de las zonas con altas presiones.
- Sectorizar los nudos con altas presiones, para ello se utilizó el modo de tubería cerrada en el modelo de Epanet.
- Colocación de válvulas reductoras de presión.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON ALTAS PRESIONES

La ciudad de Naranjal está situada en una zona llana por lo que la diferencia de cotas no es tan pronunciada, así como la variación de la presión por lo que se puede evidenciar que las presiones varían de 60 a 70 m.c.a tan cómo se visualiza en la siguiente figura.

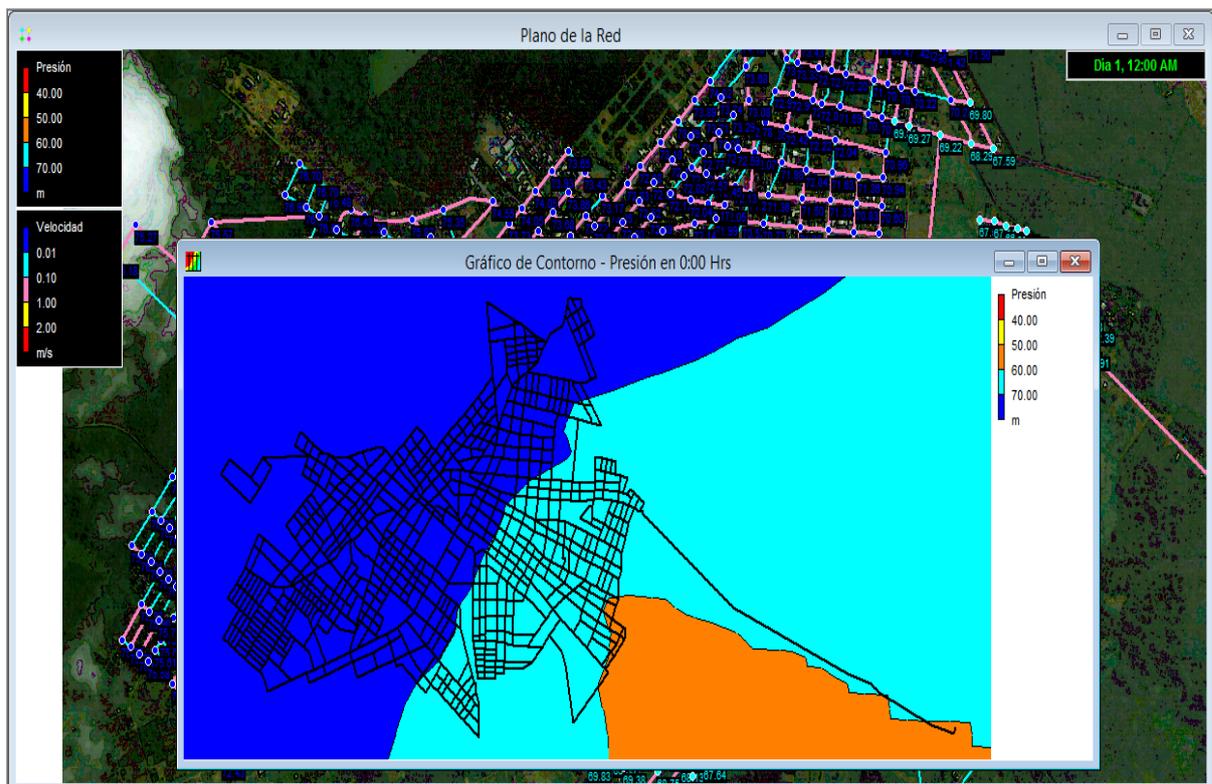


Figura 33 Identificación de presiones altas

5.2 INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

Para la colocación de la válvula reductora de presión se ha tenido en cuenta la uniformidad de las cotas por lo que se instaló a la entrada de la red de agua a la ciudad, esto permitirá uniformizar la presión a lo largo de todo el día independientemente la variación de consumo tal como se visualiza en la siguiente imagen.

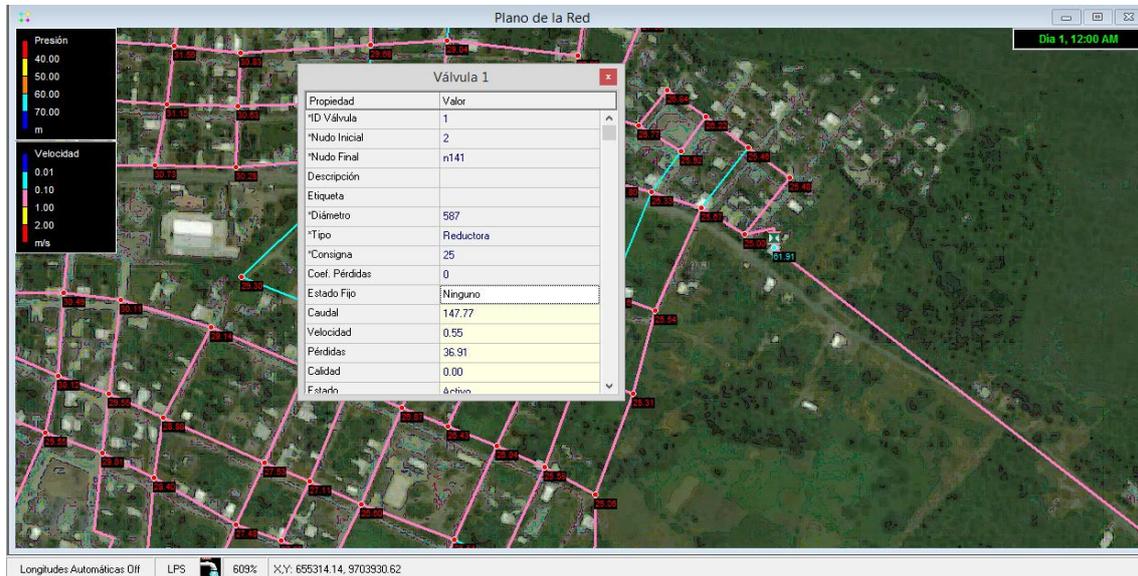


Figura 34 Colocación de Válvula reductora de presión

Reporte de presiones

Una vez colocado la válvula reductora el sistema reporta variaciones leves de presiones en todas las zonas a lo largo de las 24 horas, esto es posible ya que la válvula es automática y regula de acuerdo al consumo horario por parte de la ciudad, otro de los aspectos importantes que nos permite mejorar es las perdidas por fugas, ya que estas están relacionadas directamente con la presión en cada nudo.

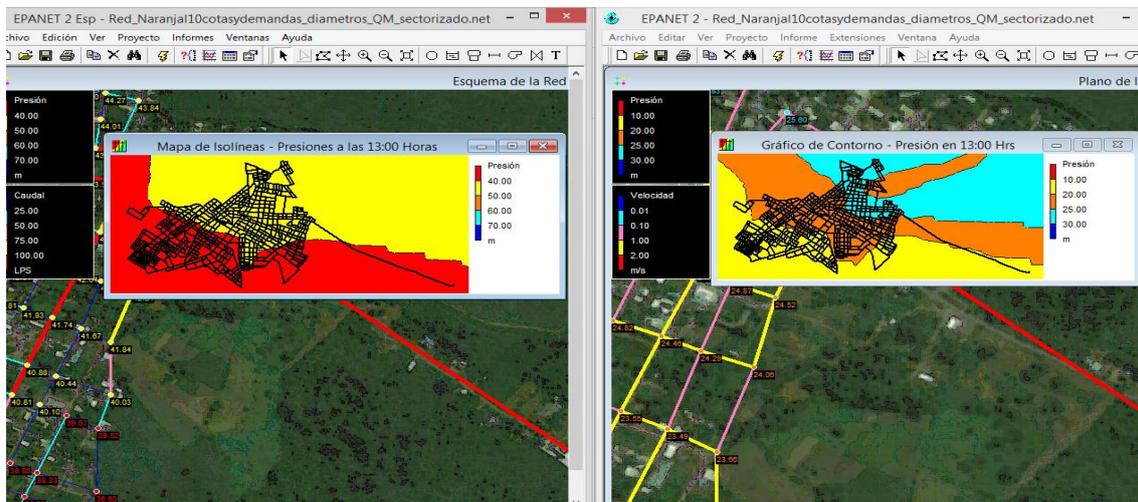


Figura 35 Mapa de Presiones en la red nueva

6. CREACIÓN DE UN MODELO PARA VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA RED

6.1 ETAPAS DE LA CREACIÓN DE UN MODELO PARA VISUALIZAR INFORMACIÓN DE LA RED CON UNA APLICACIÓN MÓVIL

En la actualidad es importante contar con información de la red de agua potable, tanto la ubicación de sus elementos como sus características físicas e hidráulicas, esta información permitirá gestionar de mejor manera el sistema tanto en trabajos de mantenimiento como en ejecución de una acción como por ejemplo cierre de válvulas; para lograr esto en el presente trabajo se utilizó el modelo Hidráulico de Epanet, posteriormente se llevó este modelo al ArcMap donde con la aplicación **(Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana)**, es posible incluir en la tabla de atributos información tanto de velocidades como presiones, este modelo esta georreferenciado, a continuación con el programa Qgis se puede publicar esta información en una nueva de datos, como complemento a este proceso de publicar los datos de la red se creó una aplicación para el sistema Android que permita visualizar la red publicadas en la nube, para esto se sigue el siguiente esquema.

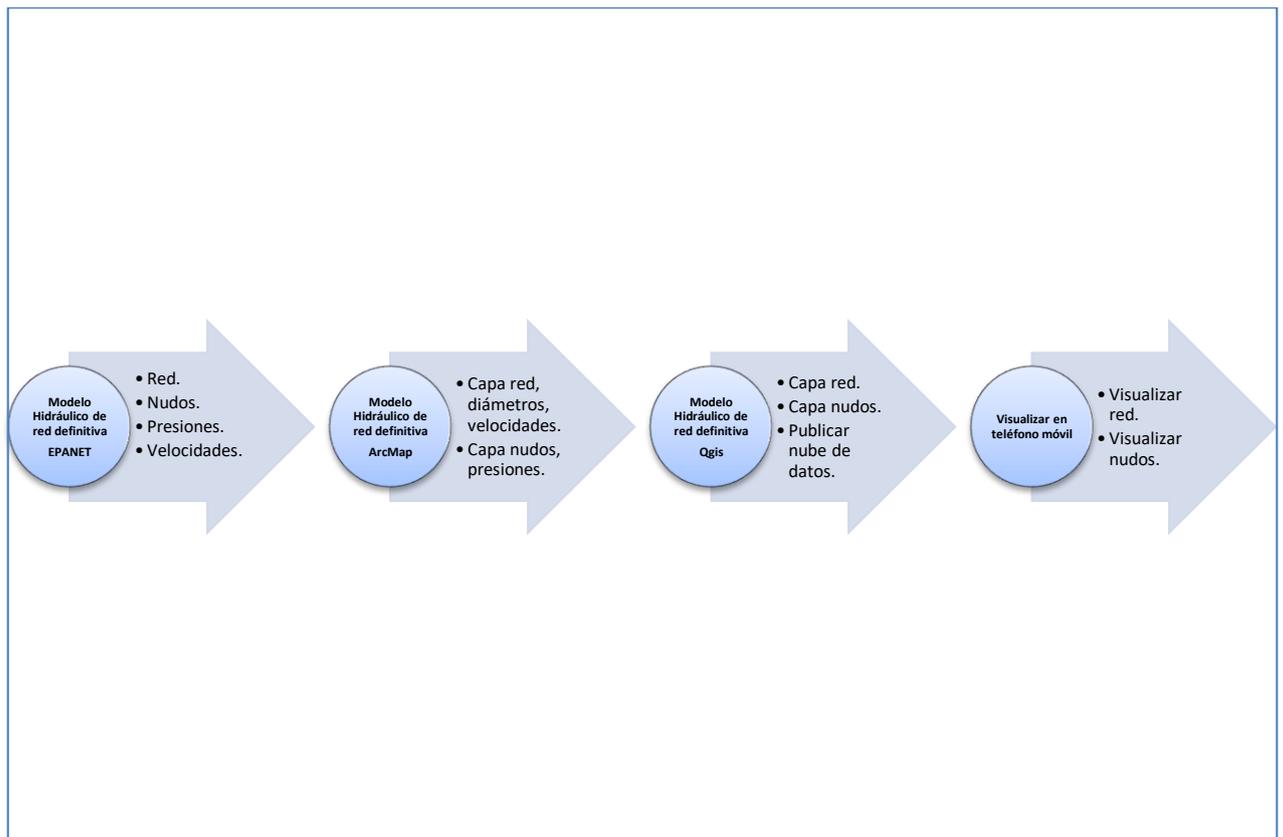


Figura 36 Etapas para la elaboración de una aplicación para visualizar la red

6.1.1 MODELO HIDRÁULICO DEFINITIVO EN EPANET

El modelo hidráulico final en Epanet que se utilizara se desarrolló anteriormente donde consta todos los elementos como son válvulas reductoras de presión, curva de modulación horaria, este modelo nos permite tener información de presiones, velocidades, material de la tubería, y más características que nos permitirá subir al modelo en ArcMap, también es importante completar el modelo hidráulico representando las fugas como caudales dependientes de la presión, toda ésta información con los resultados de las respectivas simulaciones deben ser subidas al ArcMap en cada tabla de atributos de los respectivos elementos para ello es necesario utilizar la aplicación (**Ayudas_Epanet_Hidráulica_Urbana**) (Cajamarca Quishpe) donde se puede implementar datos desde Excel a la tabla de atributos tal como se visualiza en la siguiente figura.

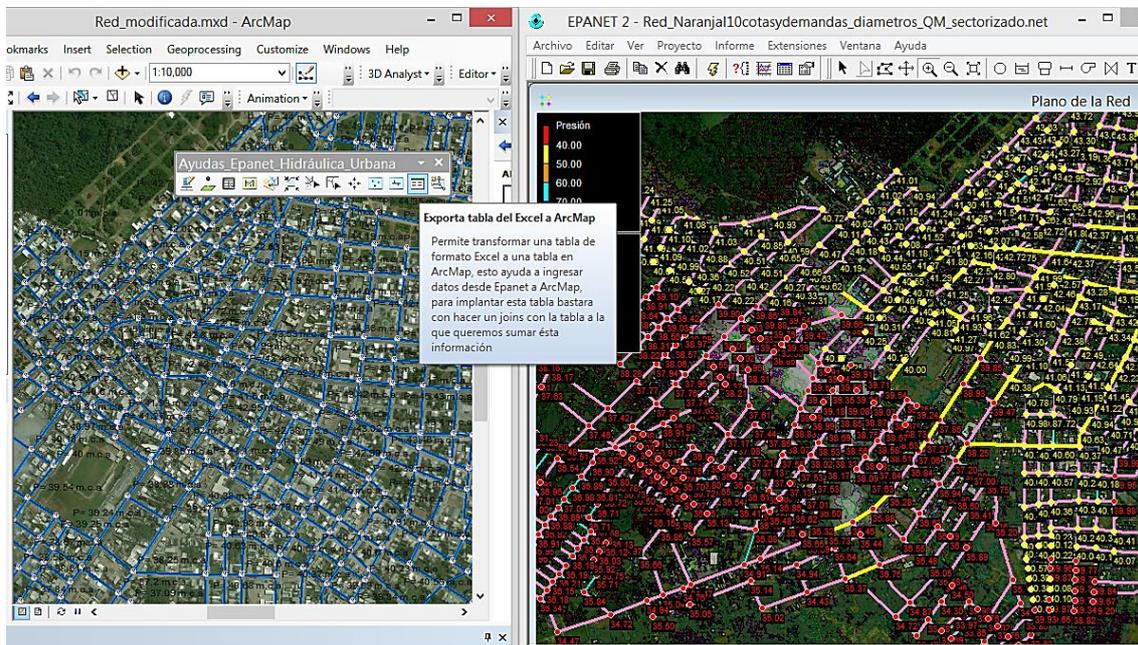


Figura 37 Modelo Hidráulico en Epanet e ingreso de datos en ArcMap

Fugas dependientes de la presión

El presente proyecto pretende crear un modelo aproximado que simule el comportamiento de la red diseñada y así la entidad que opere el sistema pueda tomar decisiones en la gestión.

La representación de las fugas en el modelo se realizará empleando los emisores en el programa Epanet. “Los emisores son dispositivos asociados a los nudos de caudal que permiten simular el flujo de salida a través de una tobera u orificio descargando a la atmósfera” (Lewis A, 2017). En la ecuación (5) se representa, “El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nudo” (Lewis A, 2017).

$$q = C * p^Y \quad (5)$$

Donde:

q = caudal,

p= presión,

C= coeficiente de descarga,

γ = exponente de la presión.

En el proyecto se determinó el caudal fugado por lo que se utilizará la ecuación (6), en donde Q_{if} es el caudal fugado, K_f es el coeficiente emisor en el nudo que depende del tamaño del orificio, P es la presión en el nudo y α es el exponente emisor.

$$Q_{if} = K_f * \sqrt{P} = K_f * P^\alpha \quad (6)$$

Para tratar las fugas, se propone el uso del coeficiente emisor global en el modelo, para representar las fugas y ajustarlo a cada nudo mediante un valor de longitud ponderada de las tuberías (Almandoz, Javier y otros , 2005) .

$$Q_F = K_f \sum_{i=1}^{N_j} L_i^- (P_i)^n \quad (7)$$

$$L_i^- = \frac{L_i}{2 * L_T} \quad (8)$$

Donde:

Q_F = Caudal fugado.

K_f = coeficiente global de fugas.

L_i^- = factor de ponderación longitudinal nudo i.

P_i = es la presión en el nudo i.

n= exponente emisor, (para el proyecto se considera un valor de **1**)

N_j = nuero total de nudos en el modelo.

L_i = es el 50% de las tuberías conectadas a cada nudo.

L_T = longitud total de tuberías en el modelo.

Para el cálculo del coeficiente global de fugas se utiliza la ecuación (9).

$$K_{global} = \frac{Q_{fugado}}{\sqrt{P}} \quad (9)$$

Una vez calculada el coeficiente global de fugas se procede a calcular el coeficiente de los emisores de cada nudo, para lo cual se usos la ecuación (10).

$$C\epsilon = L_i^- * K_{global} \quad (10)$$

Información inicial

En la fase de diseño se tomó el 20% de fugas por lo que para representar las fugas se toma un caudal de 61.57 l/s tal como se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 13 Datos de caudales

Datos de la red existente		
Q inyectado (a)	307.85	l/s
Q consumido, autorizado y facturado (b)	246.28	l/s
Q consumido, autorizado y no facturado (c)	0.00	l/s
Q de fugas (d)= a-(b+c)	61.57	l/s
% Fugas (f)= d/a*100	20.00	%
% Rendimiento de la red (g)= b/a *100	80.00	%

Asignación de caudal fugado por medio de emisores

Para representar el caudal medio fugado en el modelo hidráulico se lo hace por medio del Epanet, en donde con la ayuda de las ecuación (7), (8) y (9) se determina el coeficiente global de fugas y con el Excel se lo asigna a cada nudo del modelo como se visualiza a continuación.

sin espacios	Coefficiente	NUDOS INICIAL	NUDO FINAL	L^	coeficiente
n1	0.0007724	77.24	0	38.62	0.00033719
n2	0.0019733	80.62	116.71	98.665	0.00086145
n3	0.0013267	52.05	80.62	66.335	0.00057917
n4	0.0019575	97.11	98.64	97.875	0.00085455
n5	0.0025221	105.9	146.31	126.105	0.00110103
n6	0.0015572	49.82	105.9	77.86	0.0006798
n7	0.0020791	100.9	107.01	103.955	0.00090763
n8	0.0029714	148.19	148.95	148.57	0.00129717
n9	0.0028696	139.92	147.04	143.48	0.00125273
n10	0.0017827	63.81	114.46	89.135	0.00077824
n11	0.0025543	145.89	109.54	127.715	0.00111508
n12	0.0029392	146.56	147.36	146.96	0.00128311

α=	1.0000
Qfugado=	61.5700 l/s
Pred media	65.3500 m.c.a
Kf=	1.5790

$$Q_f = K_f \sum_{i=1}^{N_f} \bar{L}_i (P_i)^\alpha$$

$$L_i = \frac{L_i}{L_T}$$

Figura 38 Cálculo del coeficiente emisor en Excel

Una vez que se tiene el modelo hidráulico con los coeficientes emisores ingresados, se determina que el caudal inyectado registrado por el modelo difiere con lo calculado anteriormente, para lo cual es necesario seguir el flujograma para recalculer el coeficiente emisor tal como se detalla a continuación.

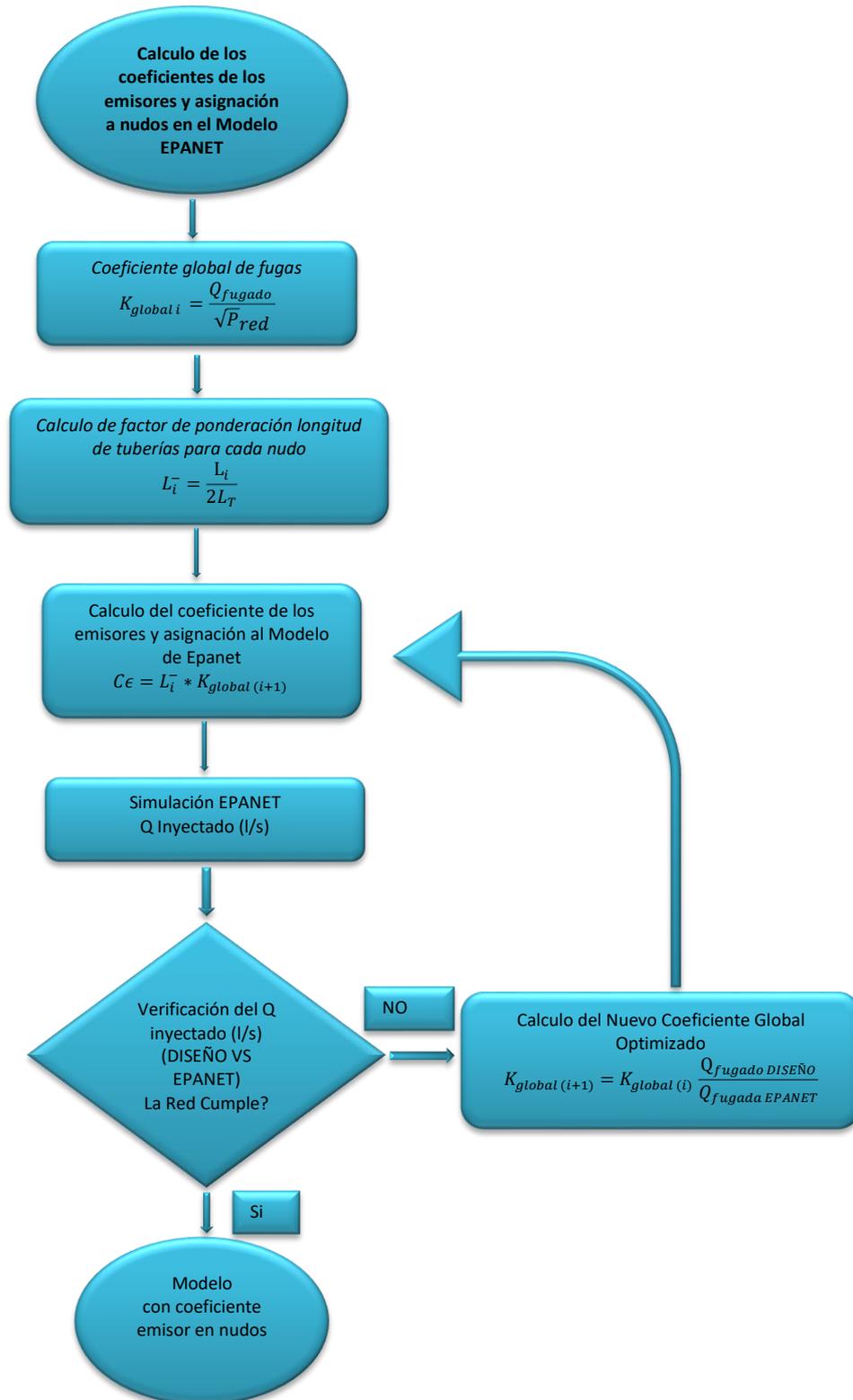


Figura 39 Flujoograma del cálculo de los coeficientes emisores para el modelo

Una vez realizado la simulación a cada hora del día y las respectivas interacciones se obtuvo el caudal inyectado en Epanet similar al caudal inyectado reportado para el diseño que contemplaba el 20% de fugas tal como se muestra a continuación.

Tabla 14 Coeficiente global de fugas

Q inyectado DISEÑO	Q inyectado EPANET	K coeficiente global de fugas	% Error
307.85	268.25	1.58	0.129
307.85	270.11	1.81	0.123
307.85	272.14	2.07	0.116
307.85	283.56	3.50	0.079
307.85	299.27	5.50	0.028
307.85	299.36	6.60	0.028
307.85	301.19	6.79	0.022
307.85	306.45	7.47	0.005
307.85	307.85	7.65	0.000

El coeficiente global de fugas que representa el caudal medio fugado que corresponde al 20% de fugas para la red de la ciudad de Naranjal es de 7.65 valor que representa un error de 0.0001 %, de acuerdo a los valores indicados en la tabla Tabla 14, de esta manera tenemos un modelo hidráulico que por una lado representa el caudal medio consumido y por otro lado el caudal medio fugado que para el diseño del presente proyecto se tomó del 20%.

Análisis, simulación y resultados de red sin Válvula reductora de presión

Una vez que se cuenta con el modelo hidráulico en el cual es posible modelar las fugas es importante visualizar la evolución de los distintos caudales a lo largo del día, también es necesario contabilizar los volúmenes de consumo y costes de producción a agua en la red diseñada.

Tabla 15 Evolución de los caudales a lo largo de las 24 horas

Hora	C= Q Inyectado (l/s)	Patrón (CM)	A= Q facturado (l/s)	D= Q consumido = A (l/s)	Q fugada =C-D (l/s)
1	162.81	0.40	98.51	98.51	64.30
2	162.81	0.40	98.51	98.51	64.30
3	162.81	0.40	98.51	98.51	64.30
4	187.04	0.50	123.14	123.14	63.90
5	259.44	0.80	197.02	197.02	62.42
6	295.46	0.95	233.97	233.97	61.49

7	319.41	1.05	258.59	258.59	60.82
8	355.22	1.20	295.54	295.54	59.68
9	379.03	1.30	320.16	320.16	58.87
10	402.77	1.40	344.79	344.79	57.98
11	426.45	1.50	369.42	369.42	57.03
12	520.47	1.90	467.93	467.93	52.54
13	543.78	2.00	492.56	492.56	51.22
14	355.22	1.20	295.54	295.54	59.68
15	307.44	1.00	246.28	246.28	61.16
16	283.47	0.90	221.65	221.65	61.82
17	283.47	0.90	221.65	221.65	61.82
18	302.65	0.98	241.35	241.35	61.30
19	331.36	1.10	270.91	270.91	60.45
20	333.75	1.11	273.37	273.37	60.38
21	307.44	1.00	246.28	246.28	61.16
22	283.47	0.90	221.65	221.65	61.82
23	235.36	0.70	172.40	172.40	62.96
24	187.04	0.50	123.14	123.14	63.90

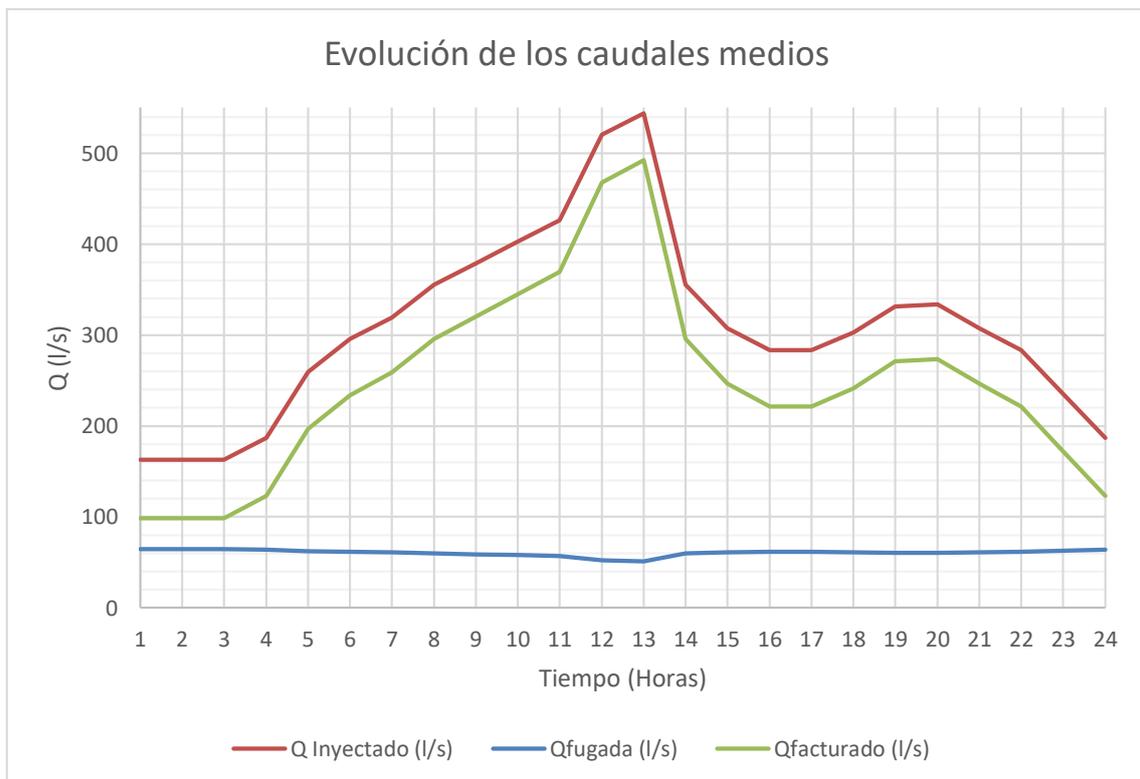


Figura 40 Evolución de caudales medios a lo largo del día

Evaluación de los costes del agua

Para determinar el coste del volumen de agua inyectada, consumida y fugada se ha considerado un precio del agua de 0.41 \$/m³ (este precio está en dólares). Estos datos han sido tomados de la empresa de agua de Quito, como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16 Volumen y coste de agua inyectada a la red

Volumen Inyectado		Coste del Volumen Inyectado	
Diario (m3/día)	26,597.4	\$/día=	10,847.15
Mensual (m3/mes)	797,922.4	\$/mes=	325,414.56
Anual (m3/año)	9,575,068.3	\$/año=	3,904,974.76
Volumen facturado		Coste del Volumen facturado	
V m3/día=	21,358.4	\$/día=	8,710.53
V m3/mes=	640,751.6	\$/mes=	261,316.03
V m3/año=	7,689,019.2	\$/año=	3,135,792.35
Volumen Fugado		Coste del Volumen Fugado	
V m3/día=	5,239.0	\$/día=	2,136.62
V m3/mes=	157,170.8	\$/mes=	64,098.53
V m3/año=	1,886,049.1	\$/año=	769,182.41

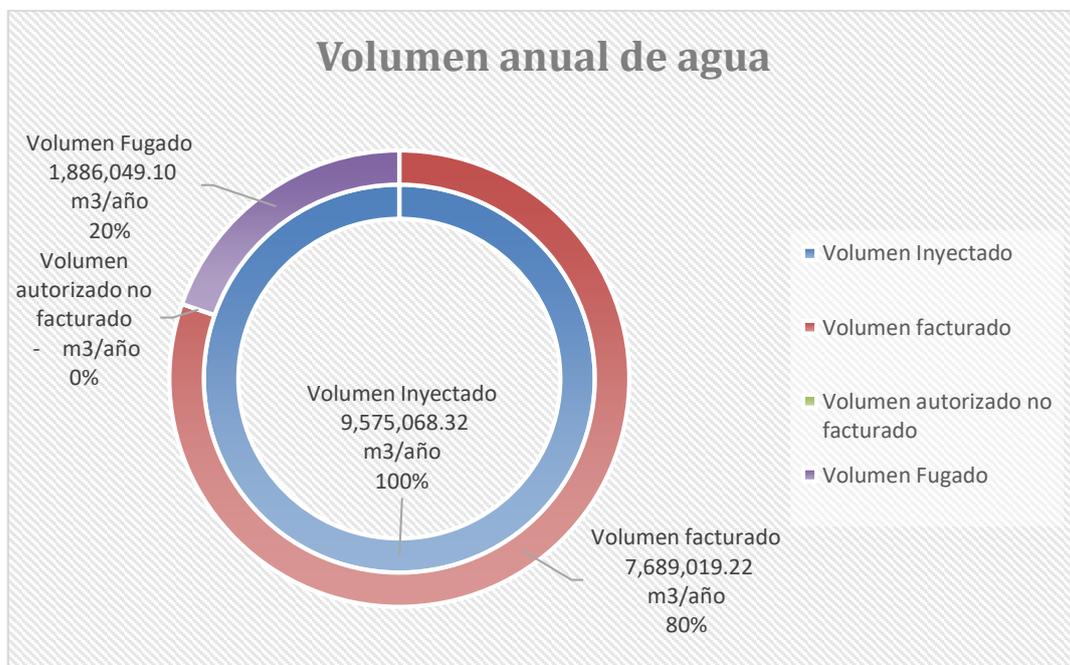


Figura 41 Volumen anual de agua.

El volumen anual fugado es de 1,886,049.10 m³/año que corresponde al 20%, así mismo se tiene un volumen a agua consumida de 7,689,019.12 m³/año que corresponde al 80%, estos datos fueron tomados para el diseño los mismos que se incluyó en el modelo

hidráulico donde se representa el caudal fugado como un caudal dependiente de la presión.

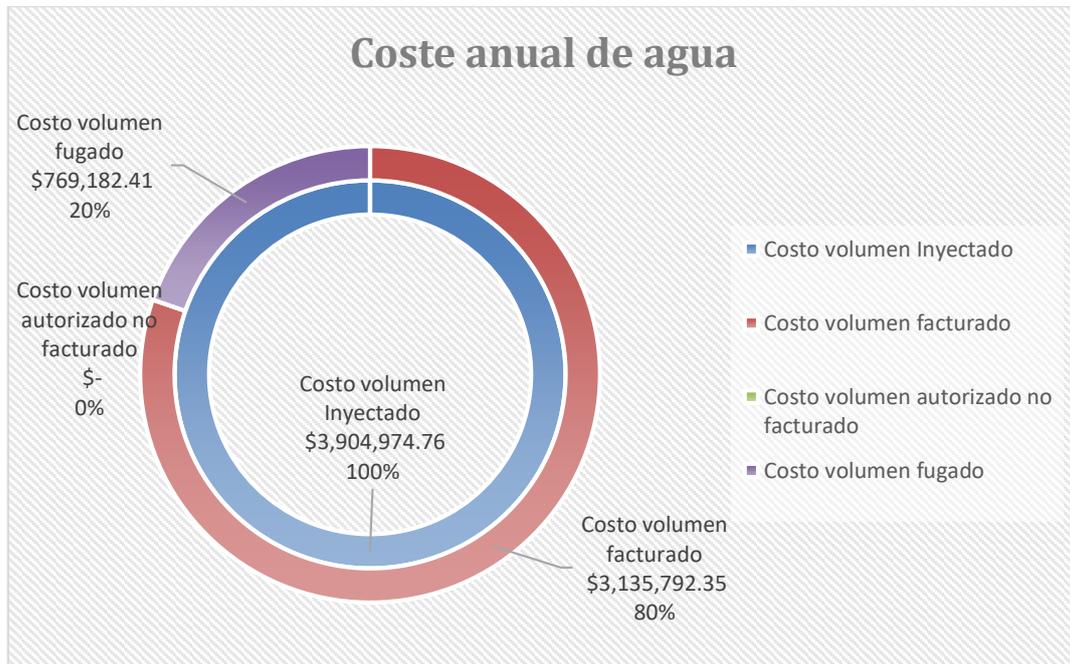


Figura 42 Coste anual del volumen de agua en la red

El volumen anual fugado representa el 20% del total inyectado tal como se consideró para el diseño así como su coste en el año, por otro lado el volumen consumido anual corresponde al restante 80% así como su coste como se muestra en la Figura 42.

Balance Hídrico Técnico de la red

El balance hídrico técnico de la red diseñada tiene como propósito conocer los distintos rendimientos volumétricos, así como también la valoración de acuerdo a mencionados rendimientos, esto permitirá saber en dónde podemos mejorar.

Tabla 17 Datos para balance hídrico técnico

Datos de la Red de la Ciudad de Naranjal para balance Hídrico Técnico		
V (Volumen inyectado)	9,575,068.3	m ³ /año
Vi (Volumen incontrolado)	1,886,049.1	m ³ /año
Vr (Volumen Registrado)	7,689,019.2	m ³ /año
Vic (Volumen incontrolado consumido)	0.0	m ³ /año
Vif (Volumen incontrolado fugado)	1,886,049.1	m ³ /año

Tabla 18 Rendimiento Volumétrico de la red de Naranjal

Rendimientos Volumétricos	
Rendimiento global del sistema $n_g=V_r/V$	80%
Rendimiento de la red $n_r=V_s/V$	80%
Rendimiento de la medición $n_m=V_r/V_s$	100%

Tabla 19 valoración según rendimiento global.

Rendimiento Volumétrico. Valoración	
Rango	calificación
$n_g \geq 0.90$	Excelente
$0.80 \leq n_g < 0.90$	Buena
$0.70 \leq n_g < 0.80$	Regular
$0.60 \leq n_g < 0.70$	Malo
$0.50 \leq n_g < 0.6$	Inaceptable
$0.5 < n_g$	Inadmisible

El rendimiento global de la red diseñada de agua potable de la ciudad de Naranjal de acuerdo al balance hídrico técnico es de 80% ver (Tabla 18), mismo que se encuentra en la calificación buena de acuerdo a la valoración (ver Tabla 19).

Análisis, simulación y resultados de red con Válvula reductora de presión

Una vez que se tienen instalado la válvula reductora de presión, y con el modelo que incluye los emisores que representa las fugas se procede a obtener los resultados de las simulaciones de la variación de los caudales.

Tabla 20 Evolución de los caudales con Válvula reductora de presión

Sistema con mejoras					
Hora	Q Inyectado con VRP	Patrón	Q facturado	Q consumido con VRP	Q fuga con VRP
1	139.85	0.40	98.51	98.51	41.34
2	139.85	0.40	98.51	98.51	41.34
3	139.85	0.40	98.51	98.51	41.34
4	164.26	0.50	123.14	123.14	41.12
5	237.29	0.80	197.02	197.02	40.27
6	273.7	0.95	233.97	233.97	39.73
7	297.93	1.05	258.59	258.59	39.34
8	334.21	1.20	295.54	295.54	38.67

9	358.36	1.30	320.16	320.16	38.20
10	382.46	1.40	344.79	344.79	37.67
11	406.52	1.50	369.42	369.42	37.10
12	502.35	1.90	467.93	467.93	34.42
13	526.18	2.00	492.56	492.56	33.62
14	334.27	1.20	295.54	295.54	38.73
15	285.82	1.00	246.28	246.28	39.54
16	261.58	0.90	221.65	221.65	39.93
17	261.58	0.90	221.65	221.65	39.93
18	280.98	0.98	241.35	241.35	39.63
19	310.04	1.10	270.91	270.91	39.13
20	312.45	1.11	273.37	273.37	39.08
21	285.82	1.00	246.28	246.28	39.54
22	261.58	0.90	221.65	221.65	39.93
23	212.98	0.70	172.40	172.40	40.58
24	164.26	0.50	123.14	123.14	41.12

Tabla 21 Balance hídrico con VRP

Datos para balance hídrico técnico			
Tipo de caudal	red sin VRP	red con VRP	Unidad
V(Caudal inyectado)	9,575,068.3	8,908,924.3	m3/año
Vi (Caudal incontrolado)	1,886,049.1	1,219,905.1	m3/año
Vr (Caudal Registrado)	7,689,019.2	7,689,019.2	m3/año
Vic (Caudal incontrolado consumido)	0.0	0.0	m3/año
Vif (Caudal incontrolado fugado)	1,886,049.1	1,219,905.1	m3/año

Tabla 22 Rendimiento Volumétricos con VRP

Rendimientos Volumétricos		
Tipo de rendimiento	red sin VRP	red con VRP
Rendimiento global del sistema $n_g=V_r/V$	80%	86%
Rendimiento de la red $n_r=V_s/V$	80%	86%
Rendimiento de la medición $n_m=V_r/V_s$	100%	100%

Según los resultados al colocar la válvula reductora de presión y uniformizar las presiones a lo largo del día se tienen una disminución del caudal medio fugado, esto a su vez es reflejado en la disminución del volumen inyectado que es aproximadamente

un 7 % menos que en el caso de no tener la válvula reductora, también mejora el rendimiento global del sistema pasando de un 80% al 86%, así como el rendimiento de la red obteniendo un incremento igual al 6%.

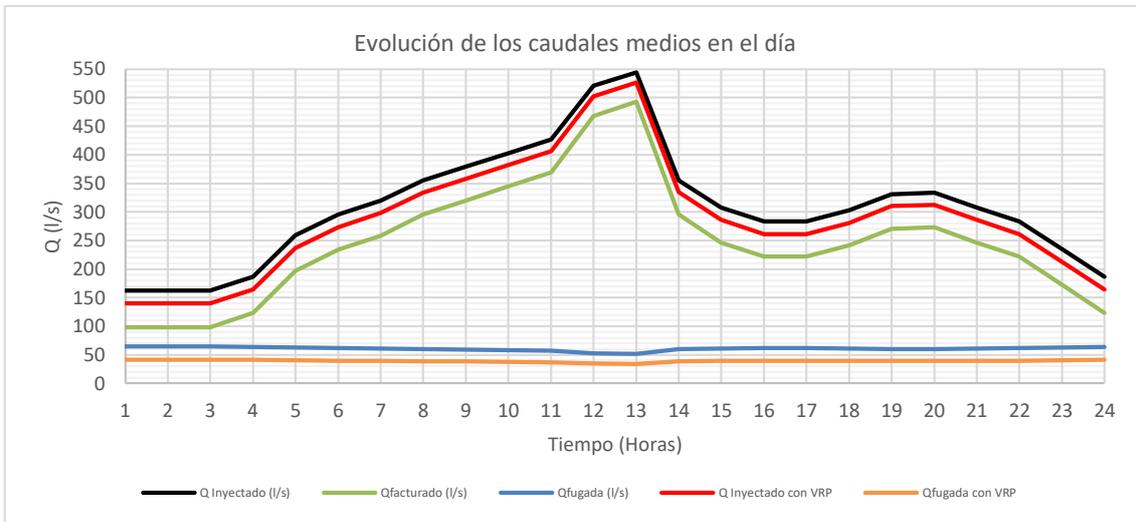


Figura 43 Evolución de caudales medios en el día con VRP

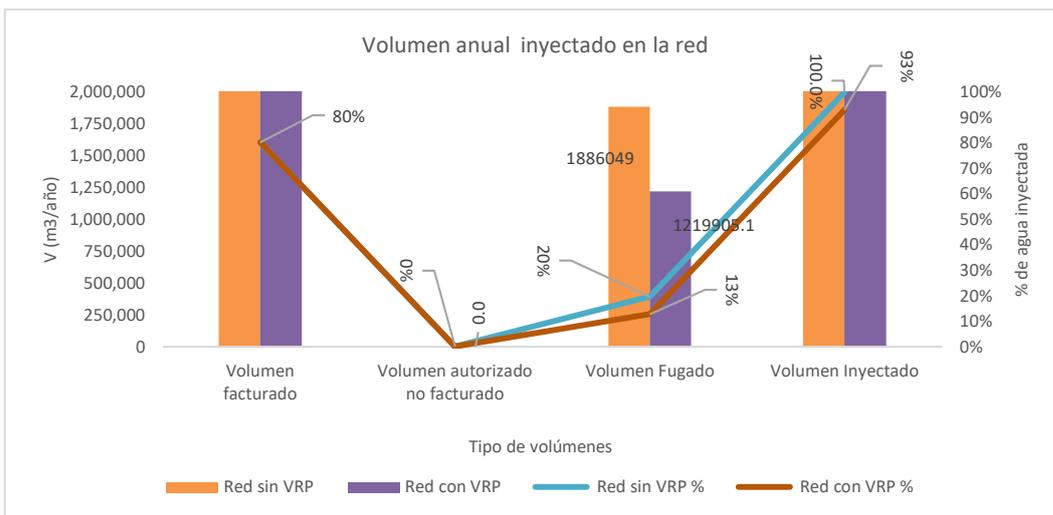


Figura 44 Volumen anual inyectado a la red de la ciudad Naranjal

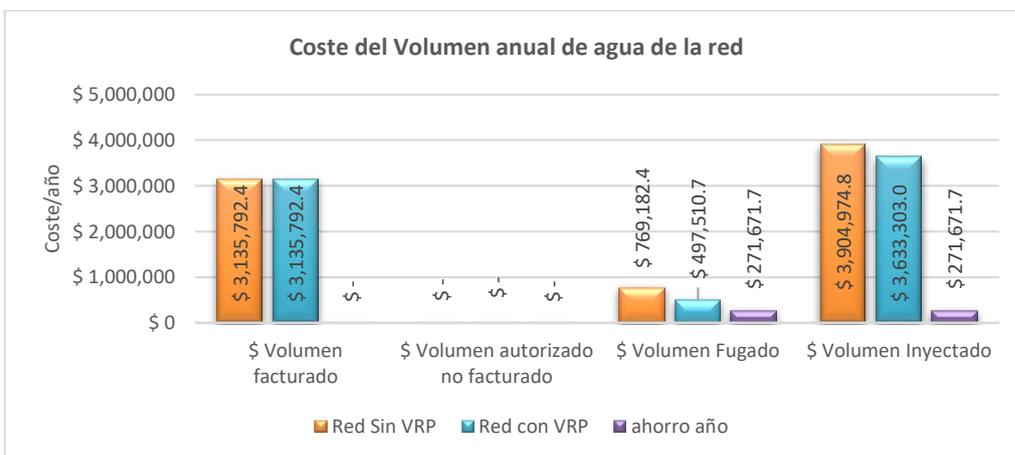


Figura 45 Costes de Volumen anual de agua potable

Según el modelo hidráulico con la colocación de la válvula reductora de presión se tendrá un ahorro de 217,671.7 dólares americanos al año según se observa en la gráfica anterior.

6.1.2 MODELO HIDRÁULICO EN ARCMAP

La red del sistema de agua potable de la ciudad de Naranjal se encuentra ya georreferenciada ya que anteriormente se asignó la proyección geográfica de la zona de estudio, en ésta fase lo que corresponde es asignar toda la información del Epanet al ArcMap, esto permitirá publicar una red con toda la información necesaria tanto la identificación de los nudos como de las tuberías, de la misma manera se colocara la ubicación de los Hidrantes, también la de las válvulas reductoras de presión así como de los tanques de alimentación del sistema tal como se visualiza a continuación.



Figura 46 Modelo en ArcMap con datos en tuberías y nudos



Figura 47 Modelo con Hidrantes y tuberías en ArcMap

6.1.3 MODELO HIDRÁULICO EN QGIS

Una vez que se tiene cargado toda la información hidráulica en el ArcMap de todos los elementos, se procede a guardar el proyecto para después abrir los archivos .shp en el programa Qgis, este programa nos permite publicar las capas .shp en la web para ello se crea un nuevo proyecto en el cual se incluye todas las capas que se quiere publicar tal como se visualiza a continuación.

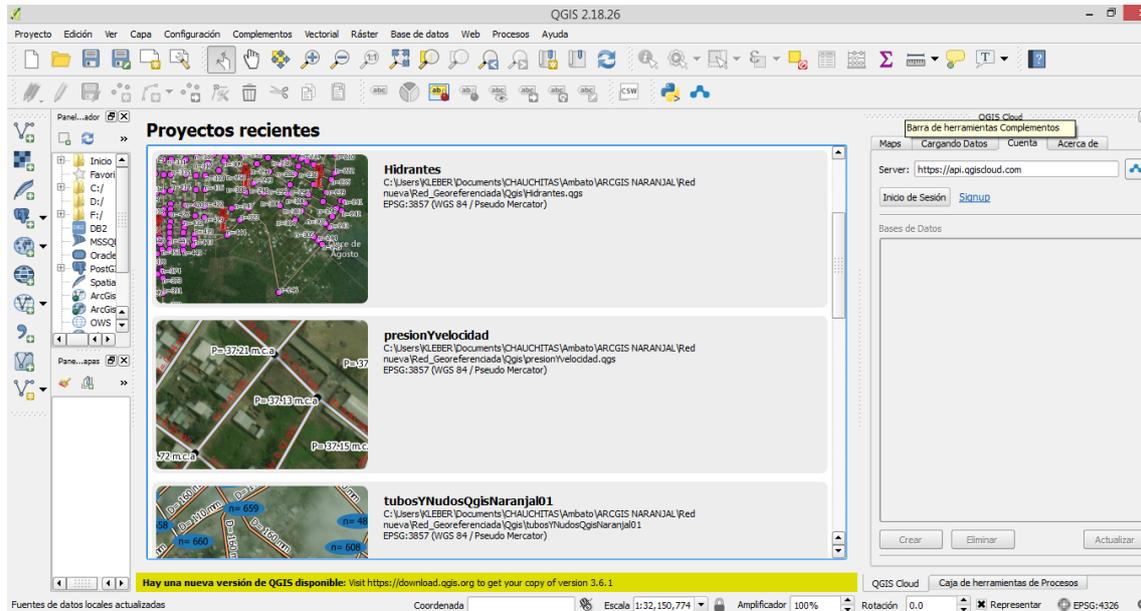


Figura 48 Modelo en Qgis para publicar en la Web

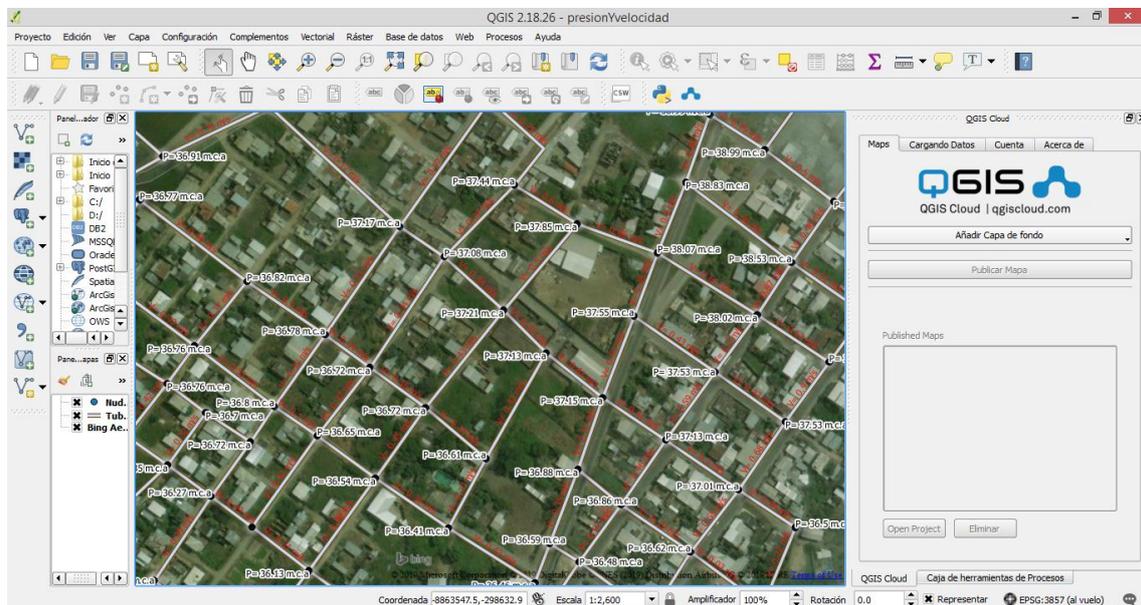


Figura 49 Modelo en Qgis con datos de tuberías

6.1.4 APLICACIÓN PARA VISUALIZAR INFORMACIÓN DE LA RED EN UN MÓVIL

Para permitir visualizar la información de la red de una manera más eficiente y fácil para todos los gestores de la empresa de agua se procedió a realizar un aplicativo móvil para el sistema operativo Android que lo posee la mayoría de teléfonos móviles, esta aplicación consta de 4 botones, el primero permitirá visualizar las presiones y velocidades de las tuberías, el segundo permitirá conocer la ubicación de los hidrantes en la ciudad de Naranjal, el tercero permite conocer los diámetros nominales de cada una de las tuberías y el último nos permite conocer la ubicación de las válvulas y tanques de alimentación.

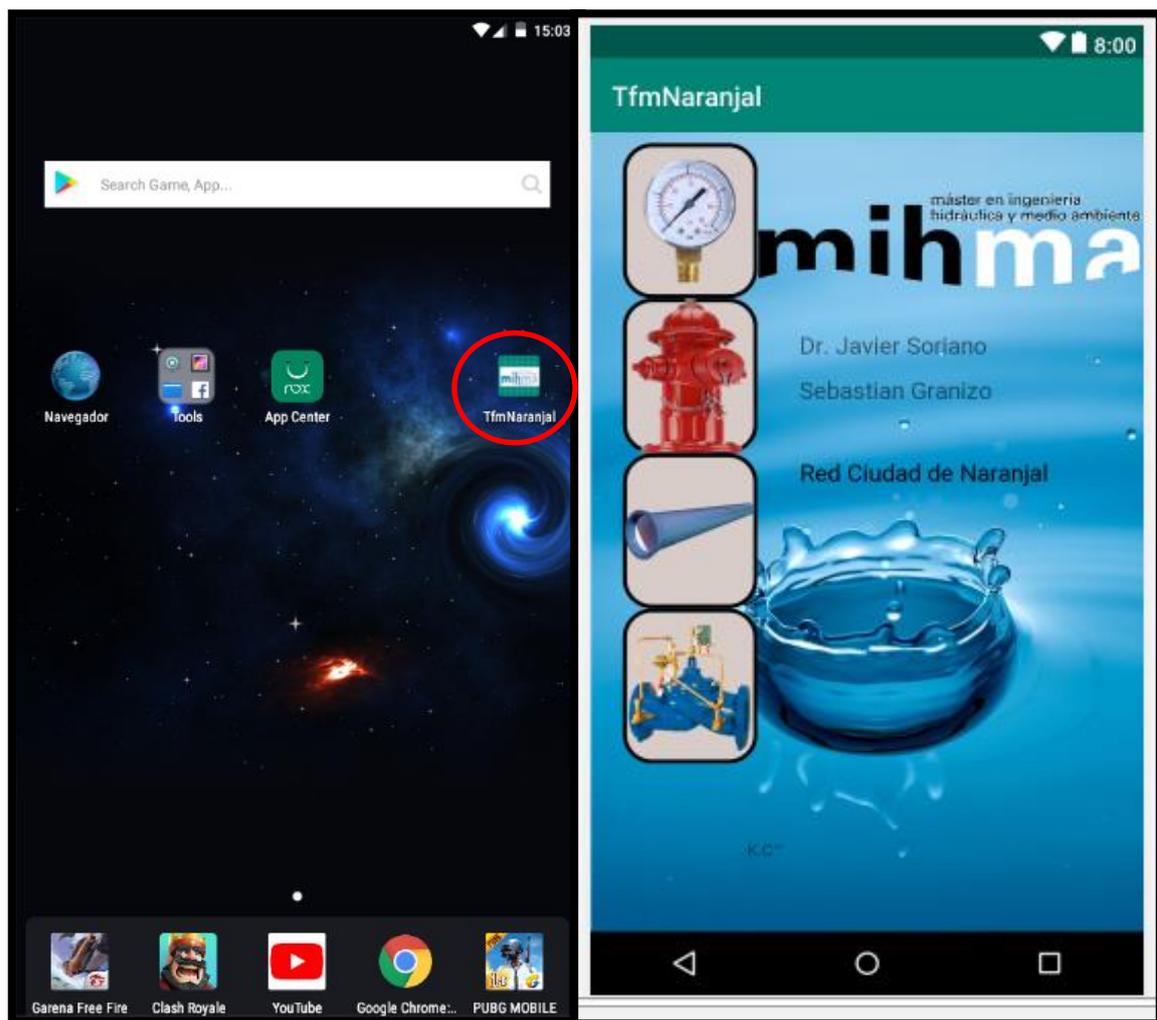


Figura 50 Aplicación móvil para visualizar la red de Naranjal

Para realizar la aplicación se usó Android Studio, la programación se detalla a continuación.

```
<android.support.constraint.ConstraintLayout
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
tools:context=".MainActivity">

<ImageView
    android:id="@+id/imageView"
    android:layout_width="411dp"
    android:layout_height="731dp"
    android:layout_marginStart="8dp"
    android:layout_marginLeft="8dp"
    android:layout_marginEnd="8dp"
    android:layout_marginRight="8dp"
    android:scaleType="centerCrop"
    app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="@+id/linearLayout"
    app:layout_constraintVertical_bias="0.484"
    app:srcCompat="@drawable/fondos" />

<ImageView
    android:id="@+id/imageView2"
    android:layout_width="0dp"
    android:layout_height="175dp"
    android:layout_marginStart="100dp"
    android:layout_marginLeft="100dp"
    app:layout_constraintBottom_toTopOf="@+id/imageView"
    app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
    app:layout_constraintStart_toEndOf="@+id/linearLayout"
    app:layout_constraintStart_toStartOf="@+id/linearLayout"
    app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
    app:layout_constraintVertical_bias="0.0"
    app:srcCompat="@drawable/master05" />

<TextView
    android:id="@+id/textView"
    android:layout_width="175dp"
    android:layout_height="26dp"
    android:layout_marginStart="350dp"
    android:layout_marginLeft="350dp"
    android:layout_marginTop="140dp"
    android:layout_marginEnd="24dp"
    android:layout_marginRight="24dp"
    android:text="Dr. Javier Soriano"
    android:textSize="18sp"
    app:layout_constraintEnd_toStartOf="@+id/imageView2"
```

```
app:layout_constraintHorizontal_bias="0.458"  
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"  
app:layout_constraintTop_toTopOf="@+id/linearLayout" />
```

<TextView

```
android:id="@+id/textView2"  
android:layout_width="154dp"  
android:layout_height="26dp"  
android:layout_marginStart="24dp"  
android:layout_marginLeft="24dp"  
android:layout_marginTop="8dp"  
android:layout_marginEnd="24dp"  
android:layout_marginRight="24dp"  
android:text="Sebastian Granizo"  
android:textSize="18sp"  
app:layout_constraintEnd_toEndOf="@+id/linearLayout"  
app:layout_constraintHorizontal_bias="0.7"  
app:layout_constraintStart_toStartOf="@+id/linearLayout"  
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/textView" />
```

<TextView

```
android:id="@+id/textView3"  
android:layout_width="198dp"  
android:layout_height="28dp"  
android:layout_marginTop="36dp"  
android:layout_marginEnd="250dp"  
android:layout_marginRight="250dp"  
android:text="Red Ciudad de Naranjal"  
android:textColor="@android:color/background_dark"  
android:textSize="18sp"  
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"  
app:layout_constraintHorizontal_bias="0.538"  
app:layout_constraintStart_toEndOf="@+id/linearLayout"  
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/textView2" />
```

<TextView

```
android:id="@+id/textView4"  
android:layout_width="196dp"  
android:layout_height="24dp"  
android:layout_marginStart="116dp"  
android:layout_marginLeft="116dp"  
android:layout_marginTop="260dp"  
android:text="K.C™"  
android:textColorLink="@color/colorAccent"  
android:textSize="12sp"  
app:layout_constraintStart_toStartOf="@+id/imageView"  
app:layout_constraintTop_toBottomOf="@+id/textView3" />
```

<LinearLayout

```
android:id="@+id/linearLayout"  
android:layout_width="match_parent"  
android:layout_height="match_parent"  
android:layout_marginStart="24dp"
```

```
android:layout_marginLeft="24dp"
android:layout_marginTop="8dp"
android:layout_marginEnd="32dp"
android:layout_marginRight="32dp"
android:layout_marginBottom="32dp"
android:orientation="vertical"
app:layout_constraintBottom_toBottomOf="parent"
app:layout_constraintEnd_toEndOf="parent"
app:layout_constraintHorizontal_bias="1.0"
app:layout_constraintStart_toStartOf="parent"
app:layout_constraintTop_toTopOf="parent"
app:layout_constraintVertical_bias="1.0">
```

```
<ImageButton
    android:id="@+id/imageButton"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="117dp"
    android:background="@drawable/botonredondo"
    android:scaleType="fitCenter"
    app:srcCompat="@drawable/boton1" />
```

```
<ImageButton
    android:id="@+id/imageButton2"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="117dp"
    android:background="@drawable/botonredondo"
    android:scaleType="fitCenter"
    app:srcCompat="@drawable/boton2" />
```

```
<ImageButton
    android:id="@+id/imageButton3"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="117dp"
    android:background="@drawable/botonredondo"
    android:scaleType="fitCenter"
    app:srcCompat="@drawable/boton3" />
```

```
<ImageButton
    android:id="@+id/imageButton4"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="117dp"
    android:background="@drawable/botonredondo"
    android:scaleType="fitCenter"
    app:srcCompat="@drawable/boton4" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</android.support.constraint.ConstraintLayout>
```

6.1.4.1 Botón Presión y velocidad

Para visualizar las presiones en todos los nudos y las velocidades en las tuberías de la red de agua de la ciudad de Naranjal basta con presionar el primer botón, el cual nos lleva a una nueva ventana donde se puede observar los valores de presión y velocidad, adicional a ello dentro de mencionada ventana de la aplicación se puede navegar, para visualizar todo la ciudad así como observar los datos de una tubería en específico, también es necesario aclarar que los mencionados datos fueron obtenidos del modelo hidráulico tal como se muestra a continuación.

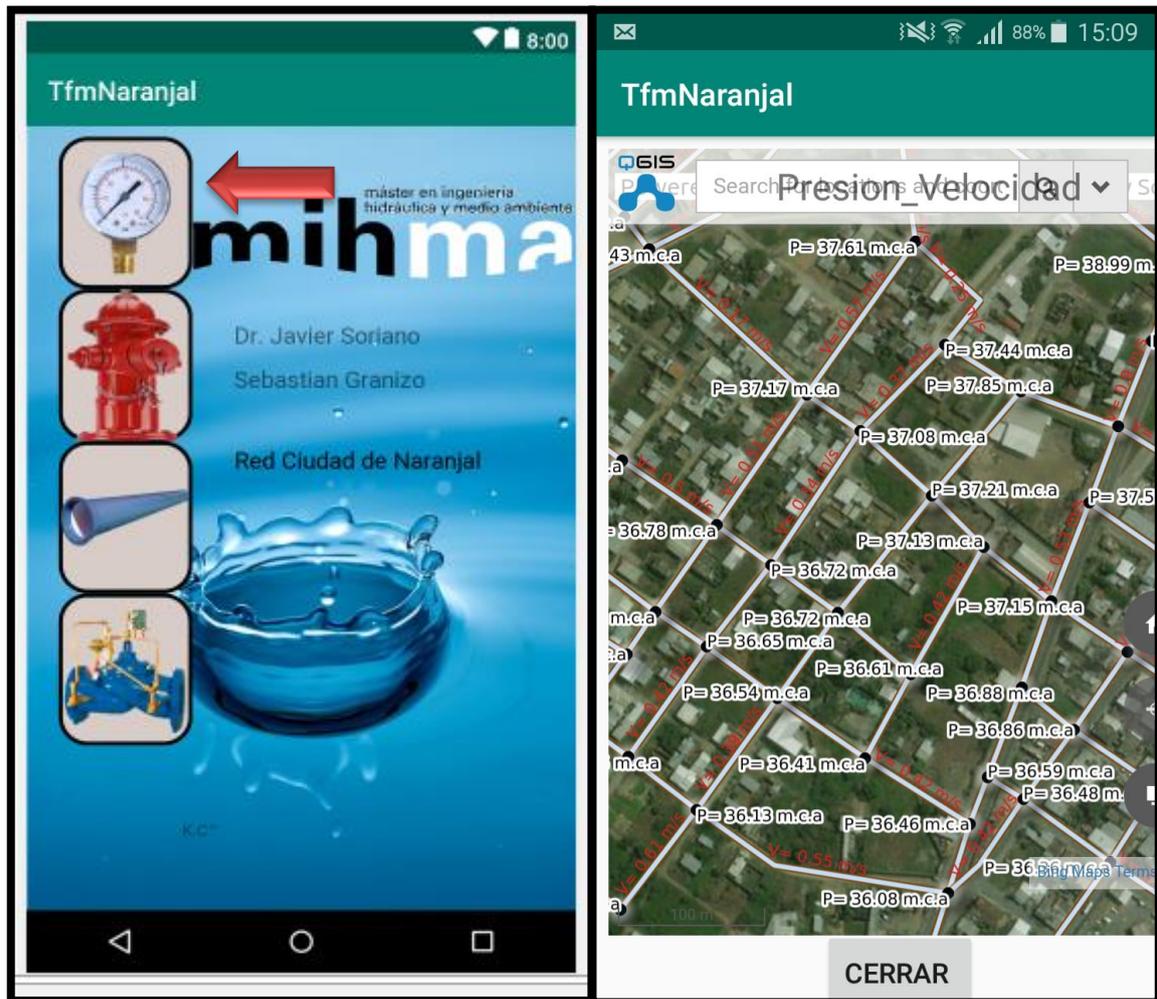


Figura 51 Botón Presiones y Velocidad de la red

Para realizar la aplicación se usó Android Studio, la programación se detalla a continuación.

```
package com.example.tfmnaranjal;

import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.webkit.WebView;
import android.webkit.WebViewClient;

public class web extends AppCompatActivity {

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_web);
        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView);
        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());

myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/presionYvelocidad/")
;

        //metodo que permite navegar dentro del webvi
        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient(){
            public boolean shouldOverrideUrlLoading (WebView
myWebView, String url){
                return false;
            }
        });

    }

    public void Cerrar(View view){
        finish();
    }

}
```

6.1.4.2 Botón hidrantes

En un sistema de agua uno de los elementos importantes son los hidrantes los mismos que suministrarán de agua en caso de requerirlos, es por eso necesario conocer su ubicación a lo largo de la ciudad y así tener un control de estos elementos tanto para su mantenimiento como para su uso, en la presente aplicación basta con presionar el segundo botón hidrantes el mismo no llevara a otra ventana para poder visualizar estos elementos en toda la ciudad, a si también es importante mencionar que podemos navegar en toda la ciudad, para salir de esta ventana tenemos un botón en la parte inferior la cual nos permite regresar a la pantalla principal como se puede ver a continuación.

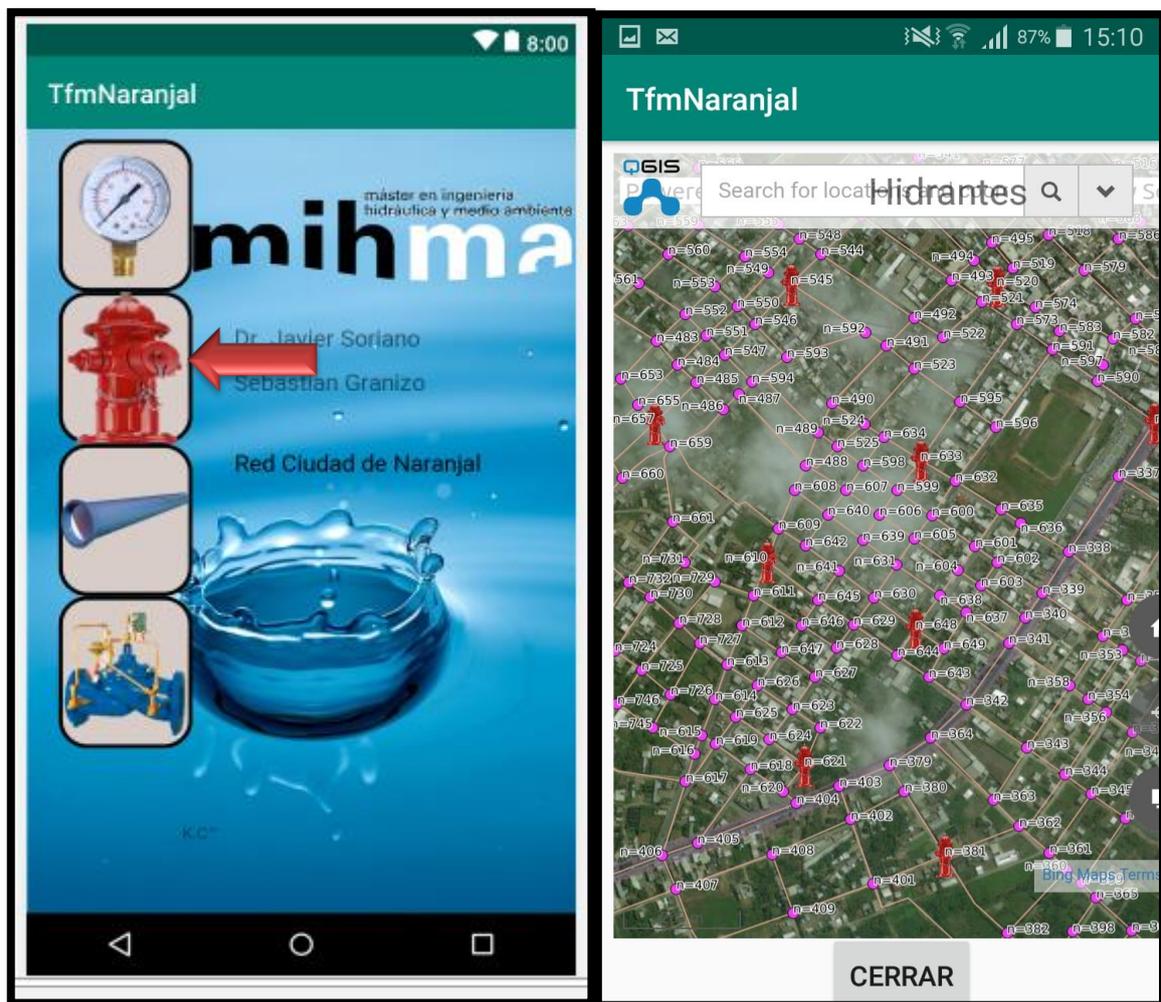


Figura 52 Botón Hidrantes, ubicación en la red

Para realizar la aplicación se usó Android Studio, la programación se detalla a continuación.

```
package com.example.tfmnaranjal;

import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.webkit.WebView;
import android.webkit.WebViewClient;

public class web1 extends AppCompatActivity {

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_web1);
        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView2);
        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());

myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/Hidrantes/");
        //metodo que permite navegar dentro del webvi
        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient(){
            public boolean shouldOverrideUrlLoading (WebView
myWebView, String url){
                return false;
            }
        });

    }

    public void Cerrar(View view){
        finish();
    }

}
}
```

6.1.4.3 Botón tuberías

Al momento de un reporte de rotura a la empresa de agua o a su vez al momento de cambiar la tubería es necesario conocer sus características tales como diámetro interior, diámetro nominal, material, año de colocación y por ultimo ubicación exacta en la vía, esto permitirá realizar los trabajos en menor tiempo posible, también evitara romper la calzada en puntos erróneos, es por eso que la aplicación nos presenta esta opción basta con hacer clic en el botón tuberías y tendremos la ubicación exacta de las tuberías en las calles de la ciudad de Naranjal a adicional a ello también podemos navegar en toda la ventana tan como se observa a continuación.

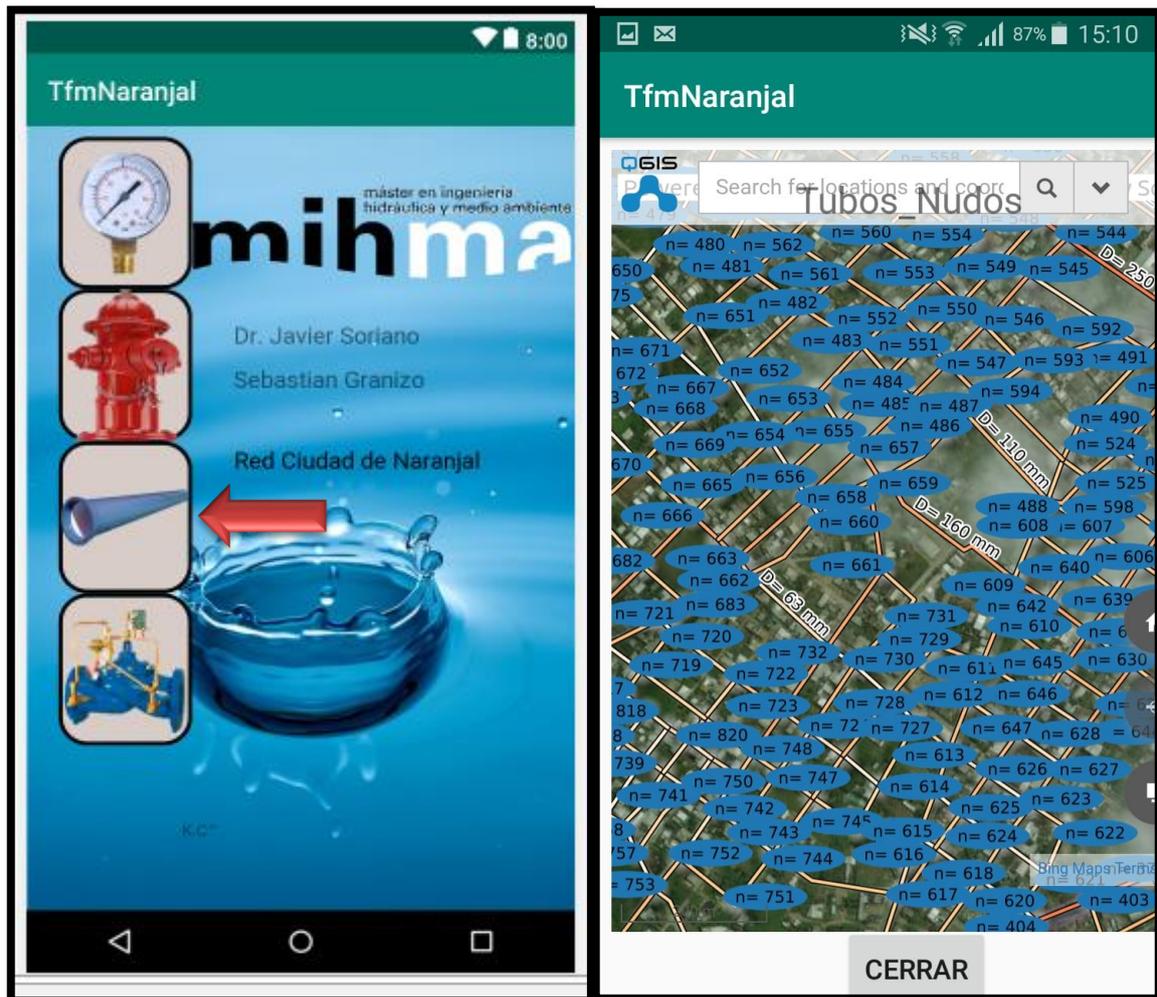


Figura 53 Botón tuberías, diámetros nominales de la red

Para realizar la aplicación se usó Android Studio, la programación se detalla a continuación.

```
package com.example.tfmnaranjal;

import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.webkit.WebView;
import android.webkit.WebViewClient;

public class web2 extends AppCompatActivity {

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_web2);
        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView3);
        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());

myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/tubosYNudosQgisNaranjal01/");
        //metodo que permite navegar dentro del webvi
        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient(){
            public boolean shouldOverrideUrlLoading (WebView
myWebView, String url){
                return false;
            }
        });

    }

    public void Cerrar(View view){
        finish();
    }

}
}
```

6.1.4.4 Botón Válvula

Uno de los elementos fundamentales para el funcionamiento de un sistema de agua potable es la colocación de válvulas, pero al momento de una rotura de tubería o alguna emergencia tenemos que maniobrar estos elementos, pero al no saber la ubicación no se puede actuar de forma inmediata causando pérdida de agua, es por esto que en la aplicación para el teléfono móvil se implementó un botón que permita visualizar la ubicación exacta de las válvulas y sus características, para permitir a los técnicos actuar de manera rápida y eficiente para lo cual basta con ingresar pulsando el botón válvula el mismo que nos lleva a una nueva ventana donde podemos navegar y visualizar la ubicación de las válvulas en toda la ciudad, para salir de esta ventana basta con presionar el botón cerrar y nos lleva a la página principal como se visualiza a continuación.

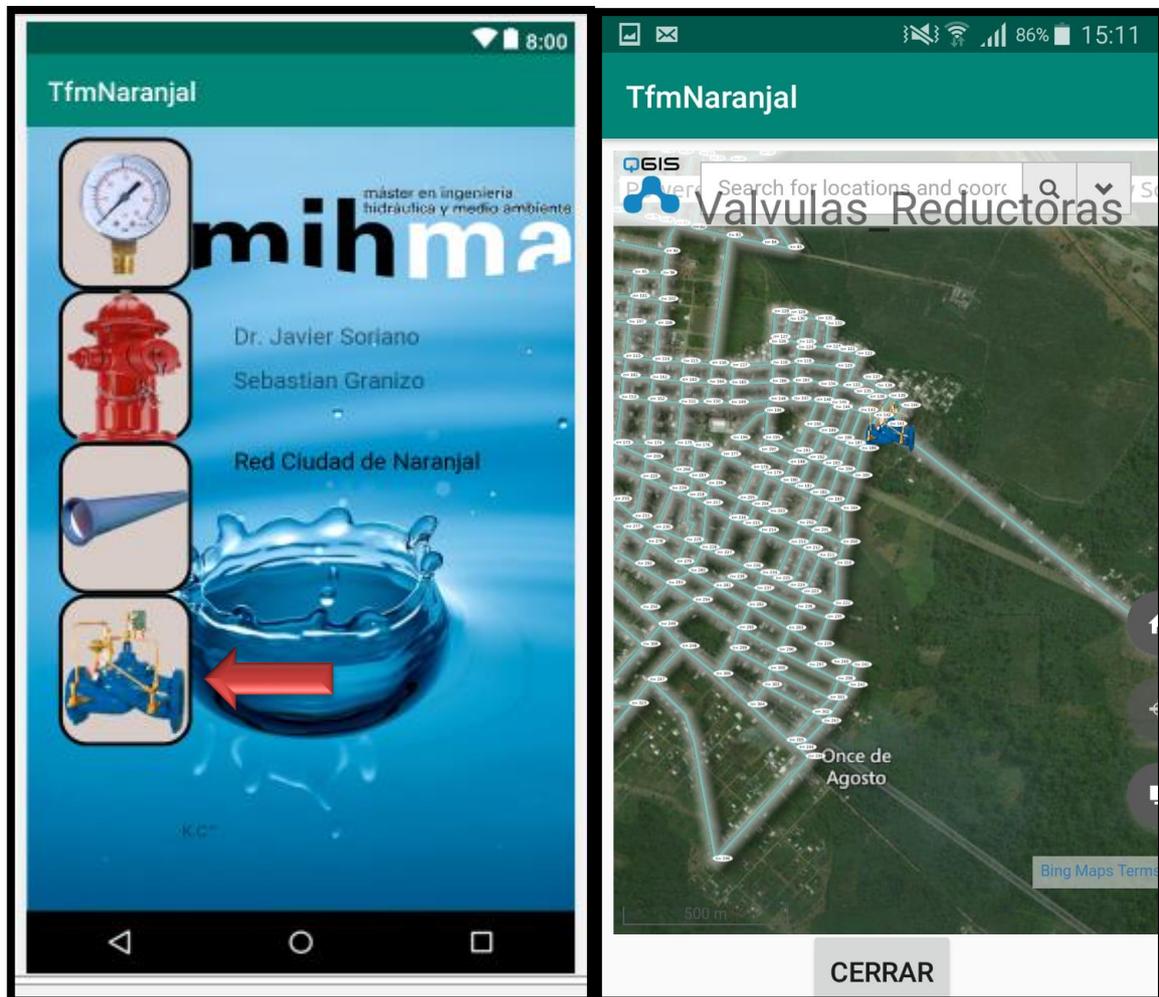


Figura 54 Botón Válvulas, ubicación en de la red

Para realizar la aplicación se usó Android Studio, la programación se detalla a continuación.

```
package com.example.tfmnaranjal;

import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.webkit.WebView;
import android.webkit.WebViewClient;

public class web3 extends AppCompatActivity {

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_web3);
        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView4);
        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());

myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/valvulasytanques/");
        //metodo que permite navegar dentro del webvi
        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient(){
            public boolean shouldOverrideUrlLoading (WebView
myWebView, String url){
                return false;
            }
        });

    }

    public void Cerrar(View view){
        finish();
    }

}
}
```

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, y una vez finalizado el presente trabajo se recoge las siguientes conclusiones como las más representativas.

Se diseña la red de agua de la ciudad de Naranjal luego de un exhaustivo estudio demográfico y de demanda, se planificó el diseño con tubería de PVC ya que presenta ventajas formidables frente a tuberías de otro material entre estas virtudes podemos mencionar las siguientes: precio, resistencia a la corrosión, tiempos de instalación reducidos, juntas elastómeras que ayudan a prevenir las fugas, resistente a la introducción de raíz arbórea y sobre todo larga vida útil.

Se desarrolla un modelo hidráulico en Epanet que permite verificar el diseño de la red de agua de la ciudad de Naranjal, el mismo que permitirá verificar su funcionamiento durante las 24 horas del día, dicho modelo ayudara al personal técnico del departamento de agua potable a tomar decisiones sobre posibles cambios o ampliaciones a futuro ya que se podrá verificar el funcionamiento de la red en conjunto cosa que actualmente dicho departamento no cuenta.

Mediante la colocación de hidrantes en los puntos más desfavorables de la red se somete a prueba de diseño de la red obteniendo como resultados que todas las tuberías reaccionan bien a lo largo de toda la prueba y de esta manera no ocasionar problemas de presión en la red cuando se presentan incendios y de esta manera proporcionar el servicio normal con la presión adecuada en el caso de producirse un flagelo, la red de Naranjal se prueba para que tres hidrantes funcionen a la vez y de esta manera garanticen presiones no menores a los 10 m.c.a como establece la norma ecuatoriana.

Para uniformizar las presiones en la Ciudad de Naranjal se procede a la colocación de una válvula reductora de presión de 300 mm en un punto estratégico de la tubería de conducción el cual permitió reducir la presión y las pérdidas por fugas a lo largo de todo el día.

Mediante la colocación de la válvula reductora de presión se reduce las fugas de un 20% a un 17 % esto también tiene relación en el coste anual del agua inyectada lo que significa un ahorro de recursos económicos para el Municipio.

Se desarrolla un modelo hidráulico de la red en Epanet, ArcMap y Qgis para visualizar en la web la red de la ciudad de Naranjal y así mejorar la gestión del funcionamiento en el futuro facilitando el mantenimiento y control, el departamento de agua potable puede visualizar la red suministro de agua potable en la orto foto como fondo de pantalla permitiendo la ubicación de cualquier elemento de la red de manera inmediata.



Se desarrolla un aplicativo para teléfonos móviles con sistema operativo Android para visualizar elementos de la red de agua de la ciudad de Naranjal, esto permite tener mejor conocimiento de la red a las personas que operen el sistema así como cuando exista roturas de tuberías se facilitara su ubicación por medio de esta aplicación ya que todo el modelo está en un sistema georreferenciado global, además con la implementación de este sistema será la primera ciudad del ecuador con contar con una aplicación móvil de visualización de los elementos del sistema de agua potable y a futuro abrirá las puertas de la innovación y digitalización con sistemas Scada.

Se presenta el código de programación de cada una de los botones de la aplicación para que así los técnicos, estudiantes o proyectistas relacionados con la planificación, diseño o gestión de abastecimientos conozcan las ventajas de innovar, dejando a libertad de cualquier persona de mejorar o incorporar nuevas herramientas a la aplicación desarrollada en este Trabajo de Fin de Master.

8. BIBLIOGRAFÍA

Lista de Referencias

Cabrera, E, y otros. 1996. *INGENIERIA HIDRAULICA Aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua.* Valencia (España) : Imprenta Sichert, 1996.

Comite Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. 2011. *Norma Ecuatoriana de la Construcción.* Quito : s.n., 2011.

Iglesias Rey, Pedro L y Martínez Solano, Javier. 2012. *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE.* VALENCIA : Gráficas Calasparra, S. Coop., 2012.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo . 2010. www.ecuadorencifras.gob.ec. [En línea] 20 de Junio de 2010. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.

LEAKAGE ASSESSMENT THROUGH WATER NETWORK. **Almandoz, Javier, y otros. 2005.** 2005, Researchgate, págs. 1-40.

Lewis A, Rossman. 2017. *Epanet 2 Manual del Usuario.* Valencia : s.n., 2017.

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA. 2011. *NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA.* Quito : s.n., 2011.

PLASTIGAMA. 2018. plastigama.com. [En línea] 07 de 11 de 2018. <http://plastigama.com/producto/presion-union-z/>.

Potable, Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua. 2009. *Norma de Diseño de Sistema de Agua Potable para la EMAAP-Q.* QUITO : V&M Graficas, 2009.

Secretaría del Agua. 2015. *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES.* Quito : s.n., 2015.

Una aproximación a la problemática de las pérdidas de agua en redes urbanas. **Cabrera Marcet, Enrique. 2005.** 2005, Instituto Tecnológico del Agua (ITA), págs. 1-38.

Cajamarca Quishpe, Kleber Geovanni. 2018. *Elaboración del Modelo Matemático de la Red de Distribución de Agua de la Ciudad de Pujili (Ecuador) y propuesta de mejora.* Valencia : UPV, 2018.

9. ANEXOS

9.1 CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO

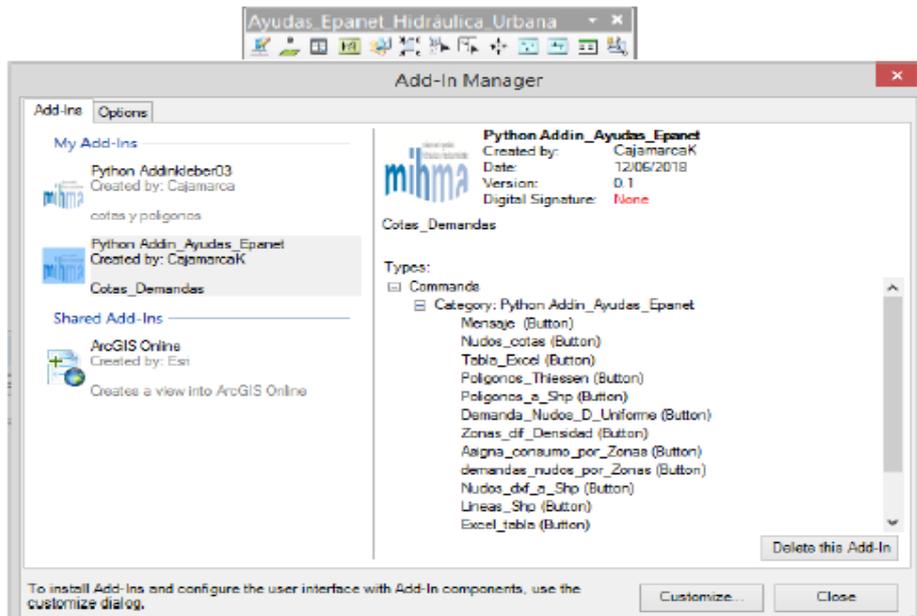
SISTEMA DE AGUA POTABLE PARROQUIA NARANJAL							
DATOS GENERALES		DOTACIONES Y CONSUMOS				CAUDALES DE DISEÑO	
AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN	Qm	QMD	QMH	Conducción.	RED
		(l/Hab/día)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2018	36,340	235.00	118.61	166.05	237.22	182.66	262.22
2019	37,462	235.00	122.27	171.18	244.55	188.30	269.55
2020	38,620	235.00	126.05	176.47	252.10	194.12	277.10
2021	39,813	235.00	129.95	181.92	259.89	200.12	284.89
2022	41,044	235.00	133.96	187.55	267.92	206.30	292.92
2023	42,312	235.00	138.10	193.34	276.20	212.68	301.20
2024	43,619	235.00	142.37	199.32	284.74	219.25	309.74
2025	44,967	235.00	146.77	205.47	293.54	226.02	318.54
2026	46,357	235.00	151.30	211.82	302.61	233.01	327.61
2027	47,789	235.00	155.98	218.37	311.96	240.21	336.96
2028	49,266	235.00	160.80	225.12	321.60	247.63	346.60
2029	50,788	235.00	165.77	232.07	331.53	255.28	356.53
2030	52,357	235.00	170.89	239.24	341.78	263.17	366.78
2031	53,975	235.00	176.17	246.64	352.34	271.30	377.34
2032	55,643	235.00	181.61	254.26	363.23	279.68	388.23
2033	57,362	235.00	187.22	262.11	374.45	288.33	399.45
2034	59,135	235.00	193.01	270.21	386.02	297.23	411.02
2035	60,962	235.00	198.97	278.56	397.95	306.42	422.95
2036	62,846	235.00	205.12	287.17	410.24	315.89	435.24
2037	64,788	235.00	211.46	296.04	422.92	325.65	447.92
2038	66,790	235.00	217.99	305.19	435.99	335.71	460.99
2039	68,854	235.00	224.73	314.62	449.46	346.08	474.46
2040	70,981	235.00	231.67	324.34	463.35	356.78	488.35
2041	73,174	235.00	238.83	334.37	477.67	367.80	502.67
2042	75,436	235.00	246.21	344.70	492.43	379.17	517.43
2043	77,766	235.00	253.82	355.35	507.64	390.88	532.64
2044	80,169	235.00	261.66	366.33	523.33	402.96	548.33
2045	82,647	235.00	269.75	377.65	539.50	415.41	564.50
2046	85,200	235.00	278.08	389.32	556.17	428.25	581.17
2047	87,833	235.00	286.68	401.35	573.36	441.48	598.36
2048	90,547	235.00	295.54	413.75	591.07	455.13	616.07
OBSERVACIONES :			NOMENCLATURA :				
			$Q_m = \text{CONSUMO MEDIO DIARIO} = (1 + f) * (P * D) / 86400$				
Población Actual	=	36,340	$Q_{MD} = \text{CONSUMO MÁXIMO DIARIO} = K_{MD} * Q_m$				
Indice de crecimiento	=	3.09%	$Q_{MH} = \text{CONSUMO MÁXIMO HORARIO} = K_{MH} * Q_m$				
No. miembros familiares	=	3.46					
			f = FACTOR DE FUGAS				20.0%
No. Usuarios actual	=	10506	P = POBLACIÓN AL FINAL DEL PERIODO				90,547
			D = DOTACIÓN FUTURA				235
			K_{MD} = FACTOR MAYORACION MAX. DIARIO				1.4
			K_{MH} = FACTOR MAYORACION MAX. HORARIO				2
			Caudal incendios				25

9.2 MAPA DE RED DISEÑA DE LA CIUDAD DE NARANJAL



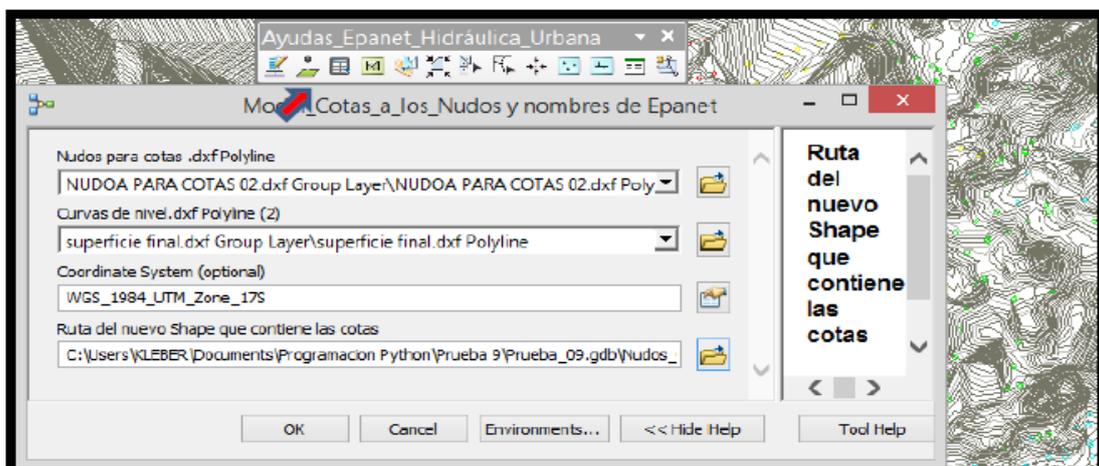
9.3 MANUAL DEL USUARIO DE HERRAMIENTAS
AYUDAS_EPANET_HIDRAULICA_URBANA

MANUAL DEL USUARIO DE LA HERRAMIENTA AYUDAS_EPANET_HIDRÁULICA_URBANA



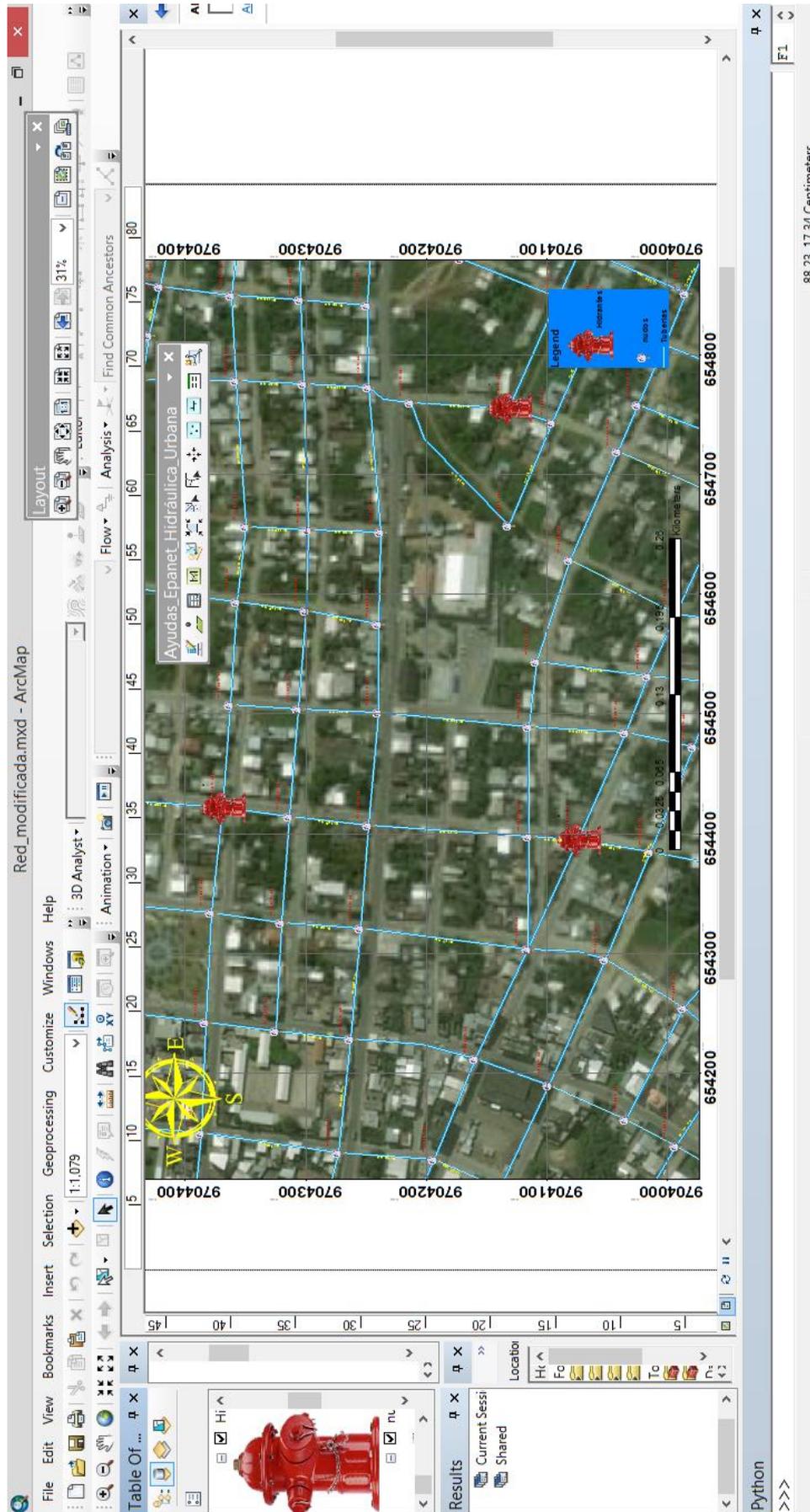
2.1 ASIGANACION DE COTAS A LOS NUDOS

A continuación tenemos el icono que nos permite obtener cotas en los nudos de Epanet, para lo cual hacemos clic y se abre un cuadro de diálogo que nos solicita la información necesaria para este cometido, también es importante mencionar que toda la información ingresada debe ser en formato .dxf de la versión de autocad del 2010, caso contrario se generara problemas.

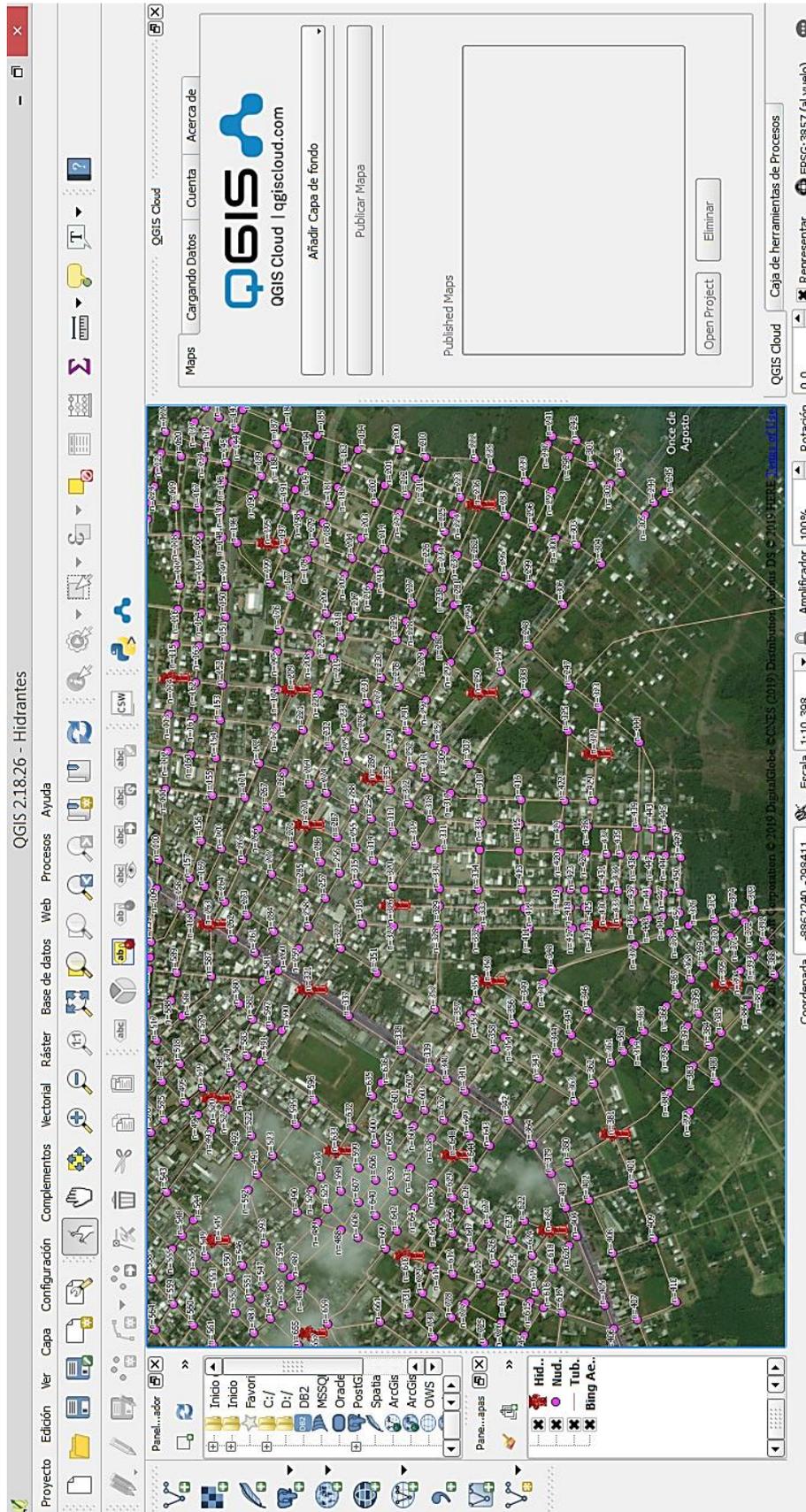


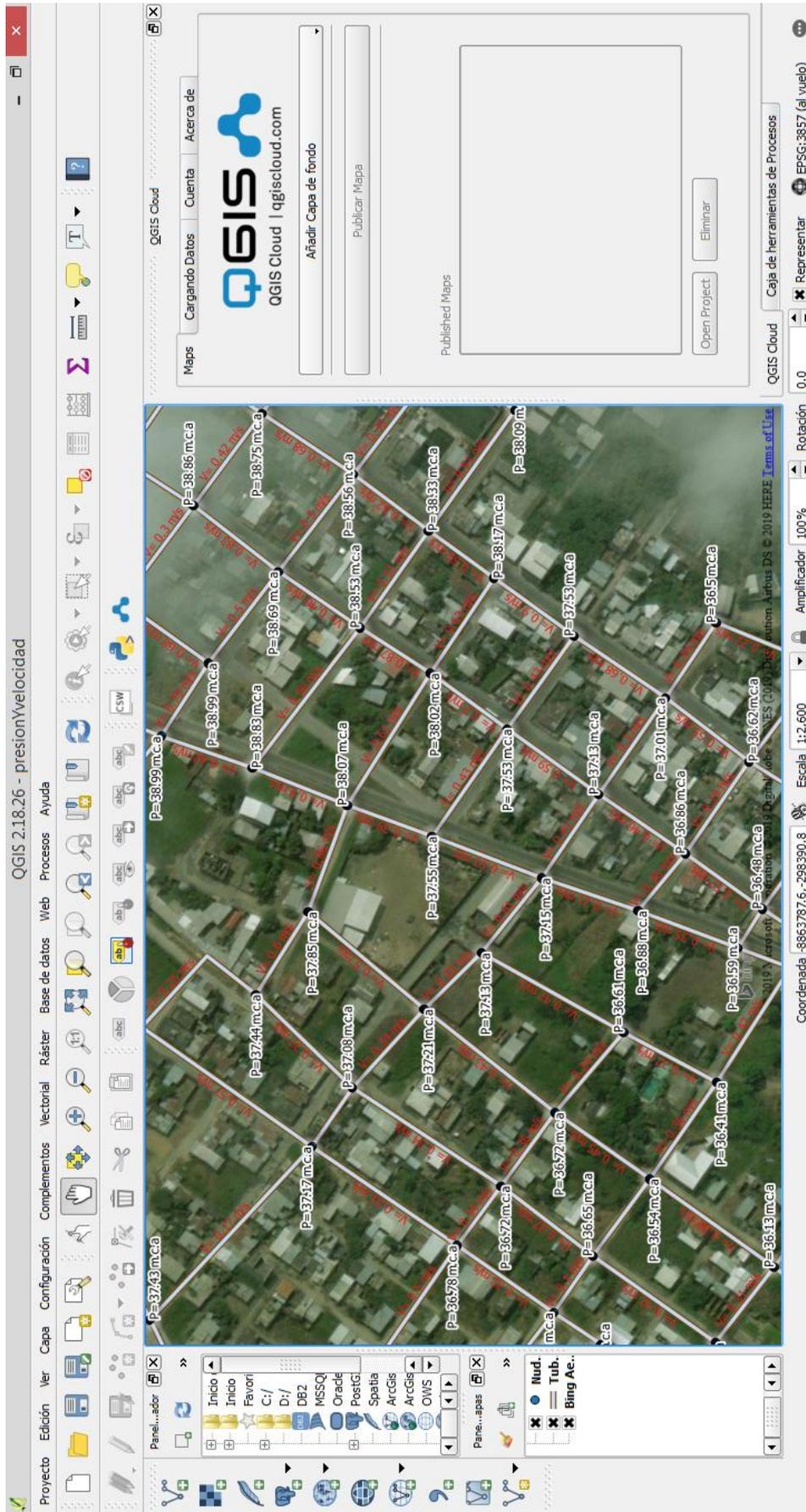
9.4 MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL EN EPANET



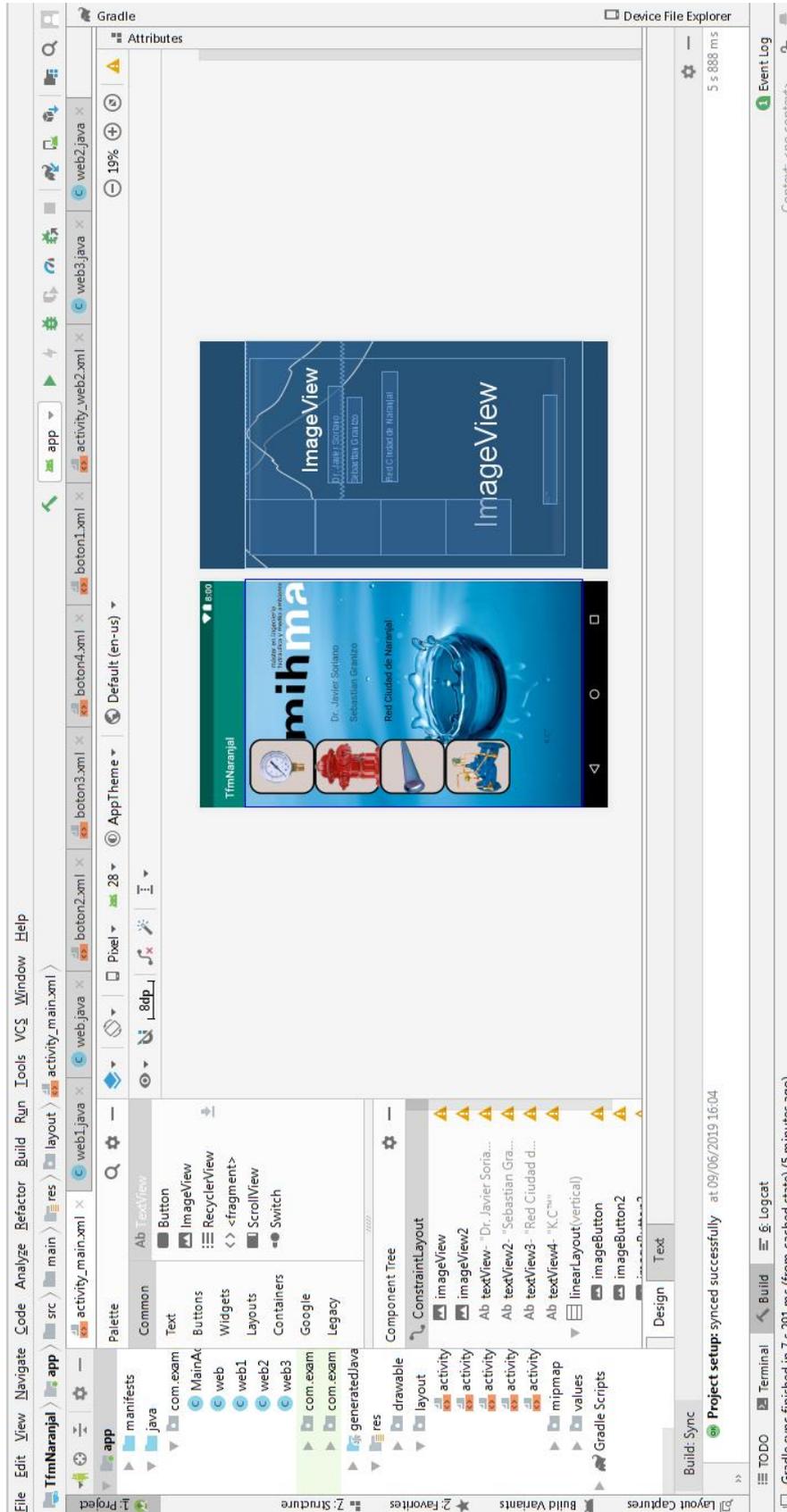


9.6 MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL EN QGIS





9.7 APLICACIÓN MÓVIL PARA VISUALIZAR MODELO HIDRÁULICO DE LA RED DE NARANJAL



```
1 package com.example.tfmmaranjal;
2
3 import ...
4
5 public class MainActivity extends AppCompatActivity {
6
7     @Override
8     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
9         super.onCreate(savedInstanceState);
10        setContentView(R.layout.activity_web);
11        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webview);
12        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
13        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
14        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());
15        myWebView.loadUrl("https://ggiscloud.com/Kleber87/presionIVelocidad/");
16        //Metodo que permite navegar dentro del webView
17        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient() {
18            @Override
19            public boolean shouldOverrideUrlLoading(WebView view, int url) {
20                return false;
21            }
22        });
23    }
24
25    public void Cerrar(View view) { finish(); }
26
27 }
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
```

Build: Sync
Project setup: synced successfully at 09/06/2019 16:04
Gradle sync finished in 7 s 291 ms (from cached state) (8 minutes ago)

```
1 package com.example.tfmmaranjal;
2
3 import ...
4
5 public class web1 extends AppCompatActivity {
6
7     @Override
8     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
9         super.onCreate(savedInstanceState);
10        setContentView(R.layout.activity_web1);
11        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView2);
12        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
13        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
14        myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/Hidrantes/");
15        //metodo que permite navegar dentro del webView
16        myWebView.setWebClient(new WebClient());
17        return false;
18    }
19
20    public void Cerrar(View view){
21        finish();
22    }
23
24 }
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
```

```
1 package com.example.tfmanaranjal;
2
3 import ...
4
5 public class web2 extends AppCompatActivity {
6
7     @Override
8     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
9         super.onCreate(savedInstanceState);
10        setContentView(R.layout.activity_web2);
11        myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView3);
12        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
13        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
14        myWebView.loadUrl("https://qgiscloud.com/Kleber87/tubosYtubosOgrisNaranjal01/");
15        //metodo que permite navegar dentro del webView
16        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());
17        myWebView.setWebViewClient(shouldOverrideUrlLoading(myWebView, url) -> {
18            return false;
19        });
20    }
21
22    public void Cerrar(View view) {
23        finish();
24    }
25
26 }
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39 }
```

```
1 package com.example.tfmmaranjal;
2
3 import ...
4
5 public class web3 extends AppCompatActivity {
6
7     @Override
8     protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
9         super.onCreate(savedInstanceState);
10        setContentView(R.layout.activity_web3);
11        WebView myWebView = (WebView) findViewById(R.id.webView4);
12        myWebView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true);
13        myWebView.getSettings().setBuiltInZoomControls(true);
14        //myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient());
15        myWebView.loadUrl("https://gigisclooud.com/Kleber87/valvulasytanques/");
16        //Método que permite navegar dentro del webView
17        myWebView.setWebViewClient(new WebViewClient() {
18            public boolean shouldOverrideUrlLoading (WebView myWebView, String url){
19                return false;
20            }
21        });
22
23
24
25
26
27
28
29 public void Cerrar(View view){
30     finish();
31 }
32
33
34
35
36
37
```

9.8 CATALOGO DE TUBERÍAS

VENTAJAS

Longitud de fabricación 6m más la campana con sellado elastomérico.
Amplia gama de diámetros y presiones.
No transmite olor ni sabor al agua potable u otros fluidos de consumo humano.
Por su baja conductividad eléctrica no se produce en el material corrosión galvánica y/o electroiónica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección hidráulica.
Por la inercia química del compuesto de PVC y sus aditivos resisten al ataque de aguas y suelos agresivos.
Su bajo coeficiente de fricción con respecto a otros materiales asegura una mayor capacidad de conducción.
Resisten asentamientos diferenciales y permiten deflexiones.
No favorecen la adherencia de algas, hongos, moluscos, etc.

Su bajo peso facilita el transporte, manipuleo e instalación, con juntas flexibles que le permiten absorber dilataciones, asentamientos diferenciales y deflexiones.
Puede ser utilizada para conducciones presurizadas de agua potable, agua cruda (riego), aguas servidad o aguas lluvias.
Compatible con tubería de presión E/C y Bix.

INSTALACIÓN TUBERÍA U/Z



1 Quite las rebabas con walpe humedecido y alise la espiga si es necesario (lijando).
Limpie perfectamente y seque. El bisel de la espiga debe ser a 15° con el eje del tubo y la longitud de entrada debe estar marcada claramente.



2 Limpie bien la unión y el anillo de caucho, en especial el canal de la unión.
Coloque el anillo como se muestra en la figura y asegúrese que quede bien alojado en el canal. El anillo debe estar seco al momento de ser colocado.
RECOMENDACIÓN: El anillo de caucho debe estar sumergido en agua 24 horas antes de ser utilizado.



3 Lubrique por parejo la mitad de la longitud marcada de la espiga del tubo a instalar. Mueva este de tal forma que su espiga penetre en la campana del tubo ya instalado, utilice lubricación vegetal o animal, en ningún caso lubricación mineral.



4 Asegúrese de que las tuberías estén perfectamente alineadas en ambos planos. IMPORTANTE: Evite introducir la espiga en ángulo.



5 Empuje la espiga hasta la marca de entrada. Esto debe hacerse con un movimiento rápido siendo de gran ayuda el impulso que se logre entre la boca de entrada y el anillo de



6 Para tuberías de 250 mm a 400 mm es preferible usar una acopladora mecánica de tubos. (Consultar el manual de instalación para tuberías plásticas de PVC y Polietileno

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Diámetro Nominal	CÓD.	Serie	Espesor de Pared	Diámetro Interior	Presión de Trabajo		
					MPa	kgf/cm ²	Lb/plg ²
50.00	925856	16.0	1.6	46.8	0.80	8.16	116.00
	925857	12.5	2.0	46.0	1.00	10.20	145.00
	925858	10.0	2.4	45.0	1.25	12.75	181.25
63.00	925859	16.0	2.0	59.0	0.80	8.16	116.00
	925860	12.5	2.5	58.0	1.00	10.20	145.00
	926177	10.0	3.0	57.0	1.25	12.75	181.25
	926178	8.0	3.8	55.4	1.60	16.32	232.00
75.00	926179	20.0	1.9	71.2	0.63	6.43	91.35
	926180	16.0	2.3	70.4	0.80	8.16	116.00
	926181	12.5	2.9	69.2	1.00	10.20	145.00
	926182	10.0	3.6	67.8	1.25	12.75	181.25
90.00	926183	25.0	1.8	86.4	0.50*	5.10	72.50
	926184	20.0	2.2	85.6	0.63	6.43	91.35
	926485	16.0	2.8	84.4	0.80	8.16	116.00
	926186	12.5	3.5	83.0	1.00	10.20	145.00
	926187	10.0	4.3	81.4	1.25	12.75	181.25
110.00	926117	25.0	2.2	105.6	0.50*	5.10	72.50
	926118	20.0	2.7	104.6	0.63	6.43	91.35
	926119	16.0	3.4	103.2	0.80	8.16	116.00
	926120	12.5	4.2	101.6	1.00	10.20	145.00
	926121	10.0	5.3	99.4	1.25	12.75	181.25
160.00	926124	25.0	3.2	153.6	0.50*	5.10	72.50
	926125	20.0	4.0	152.0	0.63	6.43	91.35
	926126	16.0	4.9	150.2	0.80	8.16	116.00
	926127	12.5	6.2	147.6	1.00	10.20	145.00
	926128	10.0	7.7	144.6	1.25	12.75	181.25
200.00	926130	25.0	3.9	192.2	0.50*	5.10	72.50
	926131	20.0	4.9	190.2	0.63	6.43	91.35
	926132	16.0	6.2	187.6	0.80	8.16	116.00
	926133	12.5	7.7	184.6	1.00	10.20	145.00
	926134	10.0	9.6	180.8	1.25	12.75	181.25
250.00	926140	25.0	4.9	241.2	0.50*	5.10	72.50
	926141	20.0	6.2	237.6	0.63	6.43	91.35
	926142	16.0	7.7	234.6	0.80	8.16	116.00
	926143	12.5	9.6	230.8	1.00	10.20	145.00
	926144	10.0	11.9	226.8	1.25	12.75	181.25
315.00	926146	25.0	6.3	302.4	0.50*	5.10	72.50
	926147	20.0	7.7	299.6	0.63	6.43	91.36
	926148	16.0	9.7	295.6	0.80	8.16	116.00
	926149	12.5	12.1	290.8	1.00	10.20	145.00
	926150	10.0	15.0	285.0	1.25	12.75	181.25
355.00	926152	25.0	7.0	341.0	0.50*	5.10	72.50
	926153	20.0	8.7	337.6	0.63	6.43	91.35
	926154	16.0	10.9	333.2	0.80	8.16	116.00
	926155	12.5	13.6	327.8	1.00	10.20	145.00
	926156	10.0	16.9	321.2	1.25	12.75	181.25
400.00	926158	25.0	7.9	384.2	0.50*	5.10	72.50
	926159	20.0	9.8	380.4	0.63	6.43	91.35
	926160	16.0	12.3	375.4	0.80	8.16	116.00
	926161	12.5	15.3	369.4	1.00	10.20	145.00
	926162	10.0	19.1	361.8	1.25	12.75	181.25
500.00	926166	20.0	12.3	475.4	0.63	6.43	91.35
	926167	16.0	15.3	469.4	0.80	8.16	116.00
	926168	12.5	19.1	461.8	1.00	10.20	145.00
	926169	10.0	23.9	452.2	1.25	12.75	181.25
630.00	926172	20.0	15.4	599.2	0.63	6.43	91.35
	926170	16.0	19.3	591.4	0.80	8.16	116.00
	926171	12.5	24.1	581.8	1.00	10.20	145.00
	926174	10.0	30.0	570.0	1.25	12.75	181.25

*Tubería de baja presión. Producto para riego de fabricación bajo pedido.
Tubería de 355mm (1.25MPa), 500mm y 630mm comercialización bajo