



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

MAGISTER DE INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN HIDRÁULICA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN, BOMBEO Y LÍNEA DE
IMPULSIÓN DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA DE
LA PARROQUIA LAUREL, CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL
GUAYAS**

AUTOR: JONATHAN RAÚL MERIZALDE MEDRANDA

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. JORGE ARROYO OROZCO, M.Sc.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE 2022

Declaratoria

Yo, Jonathan Raúl Merizalde Medranda, declaro que el presente proyecto de tesis que se detalla a continuación es de mi autoría; que no ha sido entregado para ningún grado o actividad laboral. Al final del documento se enlista las citas bibliográficas a las cuales hice referencia para su elaboración.

La Universidad de Guayaquil puede utilizar este proyecto como más estime conveniente en base los derechos que establece su reglamento, normativa y Ley de Propiedad Intelectual vigente.

Ing. Jonathan Raúl Merizalde Medranda

C.I. 0923402127

Agradecimiento

A Dios, por darme la vida, por su misericordia y porque nunca me abandona.

A mi esposa, Yomara Cueva, por ser mi motivación para nunca rendirme y estar conmigo en los momentos más difíciles.

A mis hijos; Raúl, Ma. Emilia, Isabella, Jonathan y Yomara por ser el motor que me impulsa cada día.

A mis profesores, que con su paciencia, disciplina y enseñanza me han dado las herramientas necesarias para seguirme desarrollando como profesional.

Finalmente, en especial A mi Tutor y profesor; Ing. Jorge Arroyo que me ha motivado a seguir creciendo en esta linda profesión de la ingeniería civil con honestidad, profesionalismo, ética y responsabilidad.

Dedicatoria

A Dios por otorgarme la vida y la oportunidad de alcanzar mis sueños, a mi esposa; Yomara Cueva, el amor de mi vida, que con su amor, paciencia, motivación y sacrificios me ha permitido alcanzar este objetivo tan anhelado.

A mis hijos; Raúl, Ma. Emilia, Isabella, Jonathan y Yomara que con su amor, sonrisas, travesuras, abrazos, caricias y tristezas me motivan cada día a ser el mejor para darles la educación, el tiempo y el ejemplo que se merecen.

A mis padres y mis hermanos que me han brindado su apoyo para desarrollarme en el ámbito profesional y personal.

A mi Tutor; el Ing. Jorge Arroyo, que con su enseñanza, motivación y ejemplo contribuyó de gran manera para poder culminar el proyecto con éxito.



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)
FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Título del trabajo de Titulación: **REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN, BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA DE LA PARROQUIA LAUREL, CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS**

Autor: Ing. Jonathan Raúl Merizalde Medranda

Tutor: Ing. Jorge José Arroyo Orozco M.Sc.

RESUMEN

La planta de agua de la parroquia rural El Laurel, fue diseñada para producir un caudal máximo de 34 L/s, actualmente puede producir un caudal promedio de 20 L/s debido a la deficiencia en el caudal de ingreso de agua cruda que proviene desde la captación que se encuentra a 591m de distancia, la captación se realiza en el Rio Pula y se impulsa hasta la planta potabilizadora a través de la tubería de impulsión existente. El objetivo de este trabajo es rediseñar el sistema de captación, estación de bombeo y línea de impulsión existente mediante cálculos y modelos hidráulicos que permitan asegurar el caudal de ingreso de agua cruda necesario a la planta potabilizadora garantizando la calidad, continuidad y ampliación de la cobertura del servicio de agua potable en la parroquia El Laurel. La metodología aplicada comprendió en la recopilación de información, análisis del sistema existente, cálculos y modelos hidráulicos (watergems, Flow master) y propuesta de rediseño para un periodo de 25 años. Con los resultados obtenidos se concluye que para garantizar un caudal de diseño a 25 años de 65.5L/s se debe cambiar toda la línea de impulsión a un diámetro de 200mm y construir un tanque de almacenamiento de 1000m³ lo cual permitiría dar una solución al problema existente. Adicional, se recomienda aumentar la capacidad de los módulos de tratamiento mediante un rediseño que permita abastecer la demanda actual y futura en la distribución.

Palabras claves: PLANTA - CAUDAL – IMPULSIÓN – BOMBEO - CAPTACIÓN



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)
FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Title of the Degree Project: REDESIGN OF THE RAW WATER CAPTURE, PUMPING AND IMPULSION LINE SYSTEM FOR THE POTABILIZATION PLANT OF LAUREL PARISH, CANTON OF DAULE, GUAYAS PROVINCE

Autor: Ing. Jonathan Raúl Merizalde Medranda

Tutor: Ing. Jorge José Arroyo Orozco M.Sc.

ABSTRACT

The water purification plant in the rural parish of El Laurel, was designed to produce a maximum flow of 34 L/s, currently it can produce an average flow of 20 L/s due to the deficiency in the inflow of raw water that comes from the catchment that is 591m away. The catchment is carried out in the Pula River and is driven to the water treatment plant through the existing drive pipeline. The objective of this work is to redesign the existing intake system, pumping station, and impulsion line by means of calculations and hydraulic models that allow ensuring the flow of raw water input, necessary to the water treatment plant, guaranteeing the quality, continuity, and expansion of the coverage of the drinking water service in the parish of El Laurel. The applied methodology included the collection of information, analysis of the existing system, calculations and hydraulic models (watergems, Flow master) and a redesign proposal for a period of 25 years. With the results obtained, it is concluded that to guarantee a 25-year design flow of 65.5L/s, the entire discharge line must be changed to a diameter of 200mm and a 1000m³ storage tank built, which would allow a solution to the problem existing. Additionally, it is recommended to increase the capacity of the treatment modules through a redesign that allows supplying the current and future demand in the distribution.

Keywords: PLANT - INLET FLOW – IMPULSION – PUMPING - CATCHMENT

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO:	Rediseño del sistema de captación, bombeo y línea de impulsión de agua cruda para planta potabilizadora de la Parroquia Laurel, Cantón Daule, provincia del Guayas		
AUTOR:	Ing. Jonathan Raúl Merizalde Medranda		
TUTOR:	Ing. Jorge José Arroyo Orozco M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas		
PROGRAMA DE MAESTRÍA:	Ingeniería Civil Mención Hidráulica		
GRADO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Noviembre 2022	No. DE PÁGINAS:	83
ÁREAS TEMÁTICAS	Hidrología e Hidráulica Soberanía, derechos y tecnologías en el ordenamiento territorial y ambiente de la construcción y en la Sublíneas de Gestión del Agua.		
PALABRAS CLAVES / KEYWORDS	PLANTA - CAUDAL – IMPULSIÓN – BOMBEO - CAPTACIÓN		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: La planta de agua de la parroquia rural El Laurel, fue diseñada para producir un caudal máximo de 34 L/s, actualmente puede producir un caudal promedio de 20 L/s debido a la deficiencia en el caudal de ingreso de agua cruda que proviene desde la captación que se encuentra a 591m de distancia, la captación se realiza en el Rio Pula y se impulsa hasta la planta potabilizadora a través de la tubería de impulsión existente. El objetivo de este trabajo es rediseñar el sistema de captación, estación de bombeo y línea de impulsión existente mediante cálculos y modelos hidráulicos que permitan asegurar el caudal de ingreso de agua cruda necesario a la planta potabilizadora garantizando la calidad, continuidad y ampliación de la cobertura del servicio de agua potable en la parroquia El Laurel. La metodología aplicada comprendió en la recopilación de información, análisis del sistema existente, cálculos y modelos hidráulicos (watergems, Flow master) y propuesta de rediseño para un periodo de 25 años. Con los resultados obtenidos se concluye que para garantizar un caudal de diseño a 25 años de 65.5L/s se debe cambiar toda la línea de impulsión a un diámetro de 200mm y construir un tanque de almacenamiento de 1000m³ lo cual permitiría dar una solución al problema existente. Adicional, se recomienda aumentar la capacidad de los módulos de tratamiento mediante un rediseño que permita abastecer la demanda actual y futura en la distribución.</p>			
ADJUNTO PDF:	SI	X	NO
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: 0990150081		Email: jonathanmerizalde@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas		
	Teléfono: (04) 228 3348		
	E-mail: fmatemáticas@ug.edu.ec		

REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACION BOMBEO Y LINEA DE IMPULSION DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA DE LA PARROQUIA LAUREL CANTON DAULE PROVINCIA DEL GUAYAS

por Jonathan Merizalde Medranda

Fecha de entrega: 29-oct-2022 05:35p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1938816157

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_-_ING._JONATHAN_MERIZALDE_-_HIDR_ULICA.pdf (6.24M)

Total de palabras: 29395

Total de caracteres: 144873



Firmado digitalmente por:
JORGE JOSE
ARROYO OROZCO

REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACION BOMBEO Y LINEA DE
IMPULSION DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA
DE LA PARROQUIA LAUREL CANTON DAULE PROVINCIA DEL
GUAYAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE



Guayaquil, 31 de octubre de 2022

Ing. Douglas Iturburu Salvador, MSc.
Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominada **"REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN, BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA DE LA PARROQUIA LAUREL, CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS"** del estudiante **JONATHAN RAUL MERIZALDE MEDRANDA**, de la maestría en **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN HIDRÁULICA** indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- ! El trabajo es el resultado de una investigación.
- ! El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- ! El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento (*opcional según la modalidad*)
- ! El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud (firmada), la versión aprobada del trabajo de titulación, el registro de tutorías y la rúbrica de evaluación del trabajo de titulación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, CERTIFICO, para los fines pertinentes, que el/os estudiante está apto para continuar con el proceso.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
JORGE JOSE
ARROYO OROZCO

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Jorge José Arroyo Orozco, MSc.

C.I. 0911953321



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS.

FACULTAD CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
PROGRAMA MAESTRÍA INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN HIDRÁULICA

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON
FINES NO ACADÉMICOS

Yo, Jonathan Raúl Merizalde Medranda, con C.I. No. 0919779934, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN, BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN DE AGUA CRUDA PARA PLANTA POTABILIZADORA DE LA PARROQUIA LAUREL, CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad con el Artículo 114 del CODIGO ORGANICO DE LA ECONOMIA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, autorizo la utilización de una licencia gratuita e intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Ing. Jonathan Raúl Merizalde Medranda

C.I. 0923402127

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema	7
1.3 Justificación del Problema.....	12
1.4 Objetivos.....	13
1.4.1 Objetivo General.	13
1.4.2 Objetivos Específicos.....	13

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Marco conceptual	14
2.1.1 El agua.....	14
2.1.2 Hidrología	16
2.1.3 Ciclo hidrológico.....	16
2.1.4 Precipitación.....	16
2.1.5 Infiltración.....	16
2.1.6 Flujo constante.	16
2.1.7 Escorrentía o escurrimiento superficial.....	17

2.1.8 Pluviómetro.....	17
2.1.9 Limnómetro.....	17
2.1.10 Cuenca hidrológica.....	17
2.1.11 Delimitación de una cuenca.	17
2.1.12 Superficie de la cuenca.....	17
2.1.13 Perímetro de la cuenca.	18
2.1.14 Curvas Características de la cuenca.	18
2.1.15 Pendiente de la cuenca.	18
2.1.16 Longitud río principal.	18
2.1.17 Pendiente del cauce.	18
2.1.18 Caudal de diseño.	19
2.1.19 Formación de ríos.....	20
2.1.20 Meandro.	20
2.1.21 Clasificación de las obras hidráulicas.	20
2.1.22 Tipos de obras hidráulicas.....	20
2.1.23 Obras de captación.	20
2.1.24 Sistemas para agua potable.	20
2.1.25 Fuentes de abastecimiento.....	21
2.1.26 Levantamiento Topográfico.	22
2.1.27 Selección tipo de fuente.	22
2.1.28 Calidad de agua de la fuente.	22

2.1.29 Dotación.....	22
2.1.30 Cantidad de agua.....	23
2.1.31 Población de diseño.....	23
2.1.32 Periodo de diseño.....	23
2.1.33 Vida útil.....	23
2.1.34 Dotación de diseño.....	24
2.1.35 Caudal medio agua potable.....	25
2.1.36 Caudal máximo de agua potable.....	26
2.1.37 Caudales de diseño.....	26
2.1.38 Estación de bombeo.....	27
2.1.39 Tanque de almacenamiento.....	27
2.2 Marco legal.....	27
2.3 Marco institucional.....	33

CAPÍTULO III

Metodología

3.1 Enfoque de la investigación.....	34
3.1.1 Fase I.-Recopilación de la Información.....	34
3.1.2 Fase II.- Análisis del sistema existente.....	34
3.1.3 Fase III.-Cálculos y modelo hidráulico.....	35
3.1.4 Fase IV.-Análisis técnico y propuesta de rediseño.....	35

CAPÍTULO IV

Desarrollo

4.1 Análisis hidrológico de la fuente captación.....	37
4.1.1 Generalidades sobre ríos.	37
4.1.2 Características generales del Rio Pula	37
4.1.3 Análisis de persistencia Rio Pula.	38
4.2 Análisis del sistema de bombeo e impulsión existente	47
4.2.1 antecedentes.	47
4.2.2 información base.	48
4.2.3 Población actual y futura.....	48
4.2.4 Dotación, caudales y coeficiente de variación de consumo.	50
4.2.5 Caudal de diseño y volumen de almacenamiento	51
4.2.6 Levantamiento topográfico.	53
4.2.7 Equipos de bombeo.....	55
4.2.8 Línea de impulsión actual.	59
4.2.9 Caudal de ingreso de agua cruda en la PTAP existente.....	60
4.2.10 Información disponible.	61
4.2.11 Elementos usados para la modelación en watergems.	62
4.2.12 Escenarios evaluados.	65
4.2.13 Volumen de almacenamiento.....	68
4.2.14 Evaluación del NPSH.....	68

4.3 Análisis e interpretación de resultados de situación actual	71
4.4 Propuesta de rediseño	73
4.4.1 Propuesta de diseño con periodo 10 años.	74
4.4.2 Propuesta con periodo de diseño 25 años.	78
4.4.3 Pertinencia de la propuesta o aporte de la investigación.....	82
4.4.4 Institución ejecutora.	83
4.4.5 Beneficiarios.	83
4.4.6 Ubicación.	83

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Recomendaciones

Anexos

Bibliografía

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa base parroquia Laurel.....	3
Ilustración 2: Distribución de habitantes por sexo en área de estudio	4
Ilustración 3: Zona de precipitación media anual parroquia Laurel.....	5
Ilustración 4: Mapa hidrográfico parroquia El Laurel	6
Ilustración 5: Proceso de potabilización de agua tipo convencional.....	7
Ilustración 6: Implantación de la planta potabilizadora Laurel.....	8
Ilustración 7: Foto con dron de la planta potabilizadora Laurel	9
Ilustración 8: Jerarquía de los cuerpos legales	28
Ilustración 9: Esquema metodológico	36
Ilustración 10: Esquema de ríos en zona de estudio	39
Ilustración 11: Curva duración de caudales del Pula en Laurel	42
Ilustración 12: Batimetría del Rio Pula en el punto de captación	43
Ilustración 13: Sección del Rio Pula	43
Ilustración 14: Ingreso de datos al Software FlowMaster.....	44
Ilustración 15: Tirante para caudal de $9.71\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 85%	45
Ilustración 16: Tirante para caudal de $7.84\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 90%	45
Ilustración 17: Tirante para caudal de $6.37\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 95%	46
Ilustración 18: Topografía área de estudio	54
Ilustración 19: Configuración existente de equipos de bombeo	56

Ilustración 20: Curva de rendimiento de bomba NK-65	57
Ilustración 21: Curva de rendimiento de bomba NK-80	58
Ilustración 22: Implantación de línea de impulsión existente	59
Ilustración 23: Medidor volumetrico de agua cruda que ingresa a la PTAP.....	61
Ilustración 24: Ingreso de la curva de bomba NK65 en el programa.....	64
Ilustración 25: Ingreso de la curva de bomba NK80 en el programa.....	64
Ilustración 26: Resultados obtenidos en tubería 90mm	67
Ilustración 27: Curva P-Q-NPSH de las bombas existentes	69
Ilustración 28: Propuesta de diseño periodo 10 años	75
Ilustración 29: Resultados obtenidos en la tubería 200mm periodo 10 años.....	77
Ilustración 30: Propuesta de diseño periodo 25 años	80
Ilustración 31: Resultados obtenidos periodo diseño 25 años	81
Ilustración 32: Comparación modelo vs diseño	81

Índice de Tablas

Tabla 1: Población por sexo, parroquia de estudio	4
Tabla 2: Proyección anual de población parroquia Laurel.....	5
Tabla 3: Coordenadas UTM planta de tratamiento Laurel.....	9
Tabla 4: Diámetros y longitud de la tubería de impulsión existente.....	10
Tabla 5: Especificaciones técnicas de las bombas instaladas en la captación	10
Tabla 6: Datos históricos de volumen y caudal planta potabilizadora.....	11
Tabla 7: Porcentajes de persistencia requeridos obras hidráulicas	19
Tabla 8: Tasas de crecimiento poblacional	23
Tabla 9: Vida útil elementos de un sistema de agua potable	24
Tabla 10: Dotación de agua por numero de habitantes	25
Tabla 11: Caudales de diseño para sistemas de agua potable	27
Tabla 12: Porcentaje de persistencia requerido para obras hidráulicas.....	38
Tabla 13: Datos históricos de caudal medio mensual estación Vinces en Vinces	40
Tabla 14: Caudal medio mensual Pula en Palizada, zona de estudio.....	41
Tabla 15: Caudales según persistencia Rio Pula.....	44
Tabla 16: Proyección poblacional parroquia El Laurel.....	49
Tabla 17: Dotaciones de agua potable para diseño	50
Tabla 18: Caudales medios y máximos para parroquia Laurel	51
Tabla 19: Caudales de diseño para sistemas de agua potable	52
Tabla 20: Caudal de diseño para el sistema de captación	52

Tabla 21: Volumen de almacenamiento de diseño	52
Tabla 22: Caudal de ingreso de agua cruda a la planta potabilizadora	60
Tabla 23: Elementos del software utilizados en la modelación del sistema	62
Tabla 24: Resultados obtenidos del modelo para los escenarios considerados.....	66
Tabla 25: Resultados obtenidos de la modelación propuesta a 10 años.....	76
Tabla 26: Resultados modelo rediseño a 25 años	79

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Antecedentes

Según la Organización de las Naciones Unidas y, en el marco del objetivo 6 de desarrollo sostenible “Agua limpia y saneamiento”, 3 de cada 10 personas no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera eficiente, además, solo 4 de cada 10 personas cuentan con instalaciones de saneamiento manejadas de forma segura. Si bien entre 2017 y 2018, 157 países informaron un porcentaje promedio de implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos del 48%, de acuerdo a cifras de 2015, 844 millones de personas todavía no cuentan con un nivel de servicio básico (ONU, 2018).

En este sentido, los océanos dan cuenta del 97.5% del agua en el planeta, mientras que el agua dulce es lo opuesto, ya que, representa sólo el 2.5% de toda el agua en el planeta. De dicho porcentaje, el 80% se encuentra en estado sólido, en las regiones polares y zonas glaciares de regiones montañosas, el 19% del agua dulce es agua subterránea, y solo el 1% es agua accesible en la superficie que comprende: los lagos, lagunas, reservas artificiales y los ríos, lo que significa un 0.01% de toda el agua sobre la tierra (Diop & Rekacewicz, 2003).

El territorio ecuatoriano es dichoso por tener cuencas y redes hidrográficas que abarcan prácticamente todo el territorio nacional, sin embargo, al ser un país en vías de desarrollo no cuenta con los medios para gestionar este recurso de forma eficiente, por esta razón, entre las principales causas de muertes de menores de 5 años, se deben a problemas de diarrea aguda que ocupan el segundo lugar de muertes en el país. Esto cobra fuerza si tenemos en cuenta que solo el 36.4% de la población rural del país tienen acceso a los indicadores de salud, agua, saneamiento e higiene (ASH). (INEC & unicef, 2018).

Según datos de Naciones Unidas sobre el agua y cambio climático indica que el uso global del agua se ha multiplicado y sigue creciendo a 1% al año, por lo que; si esta situación no cambia, el mundo podría enfrentarse a un déficit hídrico global del 40% en 2030 (2030 WRG, 2009) (UNESCO, 2020).

La captación de aguas superficiales de los diferentes cuerpos hídricos disponibles; lagos, ríos, riachuelos y embalses, son mecanismos que tienen como función captar el líquido e impulsarla de manera constante a un pueblo o ciudad. El sistema puede funcionar de dos formas; mediante bombeo cuando el recurso hídrico se ubica a una cota inferior de la población a servir o por gravedad, cuando la fuente seleccionada se ubica a una cota superior de la comunidad a abastecer (Barrios et al., 2009). Los diferentes tipos de captación dependen, en su mayoría, de las propiedades del cuerpo hídrico, del número de habitantes, del caudal necesario y de las características hidrológicas y geológicas de la zona (USAID, 2016).

Para los sistemas de captación en ríos o cuerpos hídricos superficiales, se debe ejecutar un estudio hidrológico del mismo para obtener los caudales que garanticen el máximo aprovechamiento del agua, así como un servicio continuo y de calidad a sus habitantes. Además, es importante determinar la cantidad, calidad y profundidad de la fuente de agua con el fin de determinar el mejor lugar para realizar la captación garantizando el nivel de agua mínimo necesario para que funcione de manera continua y una ubicación que sea segura estructuralmente para que alcance los años de vida útil considerado en los diseños (Pérez de la Cruz, 2011).

Un estudio realizado a la calidad del agua de las entradas y salidas de cuatro plantas de tratamiento de agua potable en Menofeya, Egipto determinó que se debe ejecutar la protección del recurso de agua cruda (o sin tratar) mediante aplicación de leyes junto con el aumento de

eficiencia en las plantas de purificación de aguas con el fin de garantizar agua potable segura y libre de agentes contaminantes (Azzam et al., 2022).

El cantón Daule pertenece a la provincia del Guayas en la República del Ecuador, enclavado en una zona agrícola, según censo del 2010 tenía más de 120.000 habitantes, que se alojan en su área urbana y rural, siendo la población urbana el doble de la rural. Tiene 4 parroquias rurales y una parroquia urbana satélite La Aurora (INEC, 2010)

La parroquia Laurel cuenta con una densidad de 2.75 habitantes por hectárea, antiguamente fue fundada con el nombre de Cañal, pero sus habitantes terminaron modificando su nombre a El Laurel por la gran cuantía de árboles del mismo nombre. En la figura 1 se muestra el mapa de la parroquia Laurel.

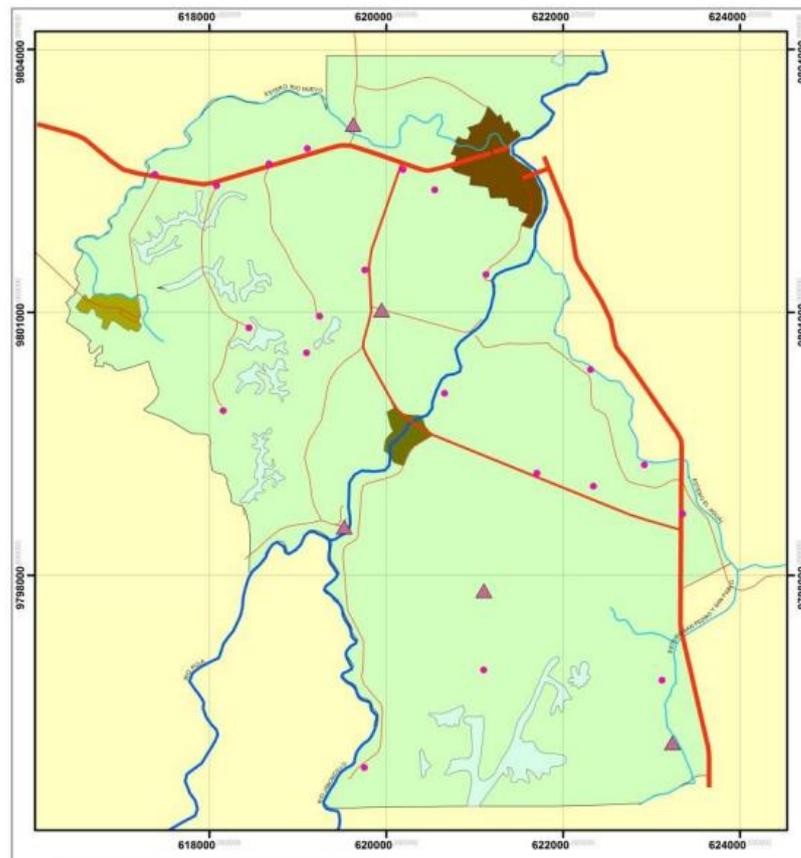


Ilustración 1: Mapa base parroquia Laurel
Fuente: (GAD parroquial El Laurel)

La importancia del aspecto demográfico de una población radica en que se brinda información que permite caracterizar un conglomerado humano y además direccionar esfuerzos por parte del sector público y privado que permitan un desarrollo sostenible en aspectos económicos y sociales.

La parroquia El Laurel según el censo INEC del año 2010 cuenta con una población de 9882 habitantes, de los cuales el 51.02% son hombres y el 48.98% mujeres (Ver tabla 1).

Tabla 1: Población por sexo, parroquia de estudio

Sexo	Población	%
Hombre	5093	51.02
Mujer	4789	48.98
Total	9882	100%

Fuente: (INEC, 2010)

En la Figura 2 se presenta datos sobre la composición etaria de los residentes del área de estudio, según el censo de 2010, esta categorización permite concluir que los habitantes de la parroquia laurel es mayoritariamente joven.

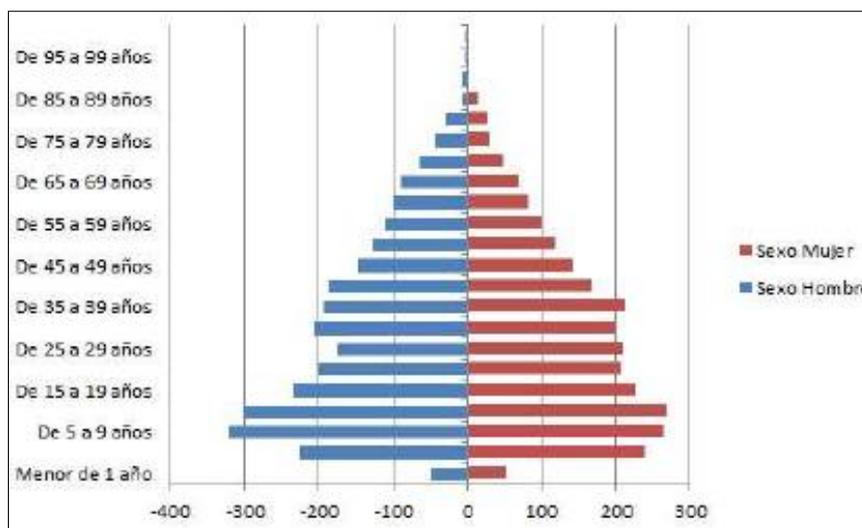


Ilustración 2: Distribución de habitantes por sexo en área de estudio

Fuente: (INEC, 2010)

La tasa de crecimiento intercensal para el periodo 2001 – 2010 fue del 1,5%. De mantenerse este ritmo de crecimiento la proyección anual de la población hasta el año 2025 sería como se indica en la tabla 2:

Tabla 2: Proyección anual de población parroquia Laurel

AÑO	POBLACIÓN	AÑO	POBLACIÓN
2010	9882	2018	11132
2011	10030	2019	11299
2012	10180	2020	11468
2013	10333	2021	11640
2014	10488	2022	11815
2015	10645	2023	11992
2016	10805	2024	12172
2017	10967	2025	12355

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Según la cartografía del Instituto Espacial Ecuatoriano, cobertura de zonas de precipitación, la parroquia está en 4 zonas de precipitación promedio (coinciden con cobertura de isoyetas de IEE) que comprenden rangos entre 800-900, 900-1000, 1000-1100, 1100-1200 mm, ver figura 3:

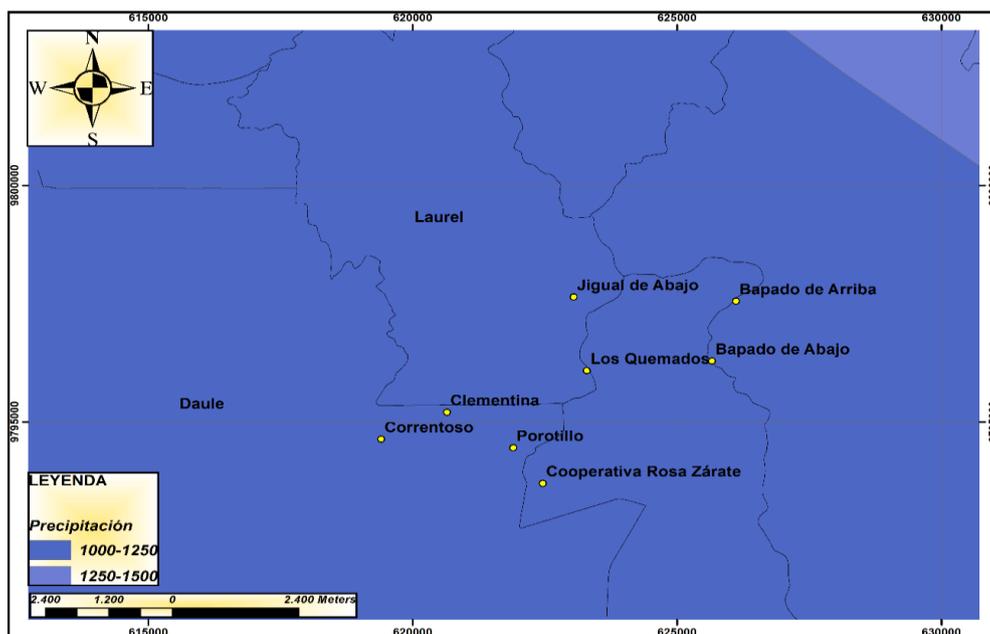


Ilustración 3: Zona de precipitación media anual parroquia Laurel

Fuente: Instituto espacial ecuatoriano

En el año 2016 el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Daule (GADIMCD), inauguró la planta potabilizadora en la Parroquia El Laurel, misma que hasta mayo de 2020 fue administrada por una Junta del Agua, quienes manejaron la planta de manera ineficiente y anti técnica, causando muchos problemas con la calidad del agua, el mantenimiento de los equipos, la distribución del agua, etc.

A partir del mes de marzo de 2020 el GADIMCD delega a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Daule (EMAPA EP DAULE) para que opere, administre, y mantenga la planta potabilizadora de Laurel.

1.2 Planteamiento del Problema

La Planta Potabilizadora de la parroquia Laurel es de tipo convencional, es decir; se desarrolla mediante captación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y distribución. (Ver figura 5).



Ilustración 5: Proceso de potabilización de agua tipo convencional
(Fuente: EcuRed)

La planta potabilizadora de Laurel fue diseñada para producir 34 litros por segundo (L/s). La captación se encuentra en el río Pula, cuya estructura e implantación de la línea de impulsión se muestran en las figuras 6 y 7 y sus coordenadas de ubicación en la tabla 3.

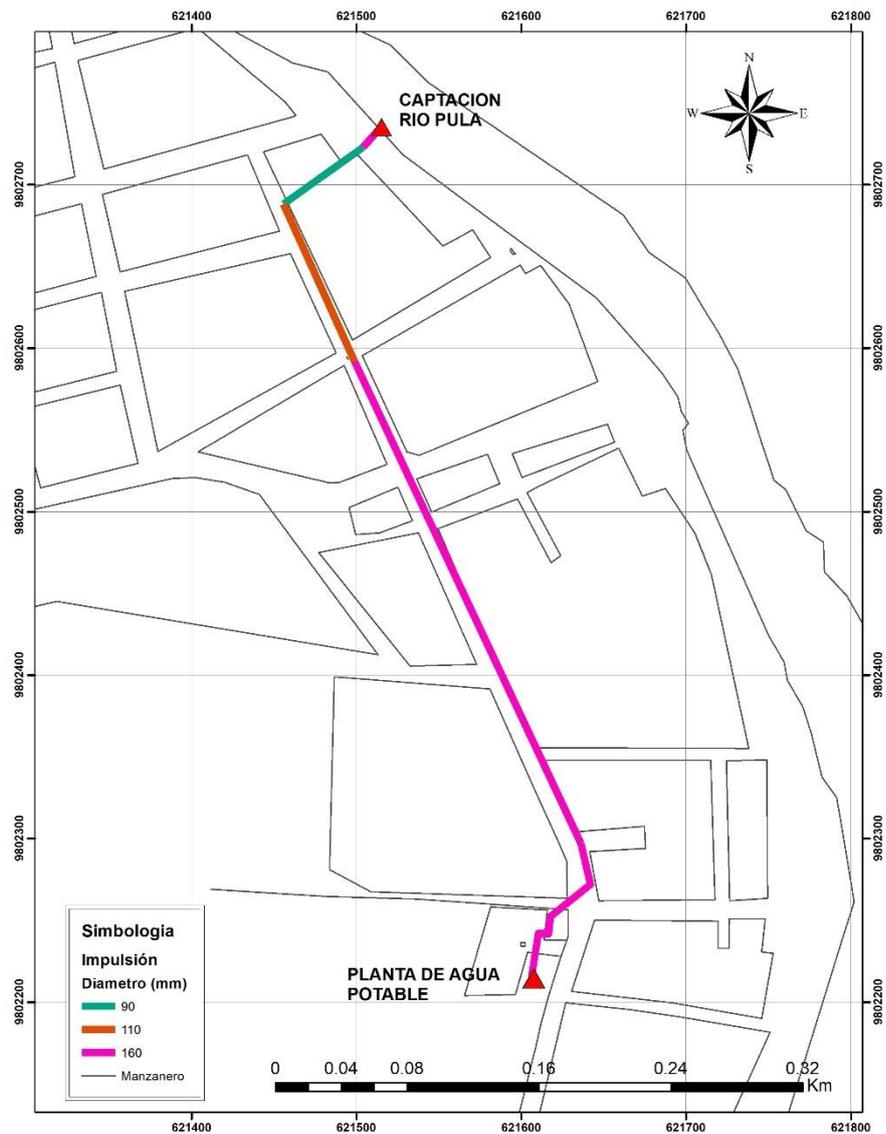


Ilustración 6: Implantación de la planta potabilizadora Laurel
Elaborador por: Jonathan Merizalde Medranda.



Ilustración 7: Foto con dron de la planta potabilizadora Laurel
Fuente: EMAPA EP DAULE, 2020.

Tabla 3: Coordenadas UTM planta de tratamiento Laurel

PUNTO EMAPA LAUREL	
Coordenadas UTM:	Elevación (m):
Zona: 17 S	15.714
Norte (m): 9802229.920	
Este(m): 6215870264	
Datum Horizontal: WGS 84	Datum Vertical: Nivel Medio del Mar

Fuente: EMAPA EP DAULE, 2020

La línea de impulsión existente que tiene 629.3 m de longitud, va variando en diámetros a lo largo de su recorrido; distribuidos como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4: Diámetros y longitud de la tubería de impulsión existente

Material / Diámetro	Longitud (m)
Hierro fundido (Captación)	38.0
6"	38.0
PVC (Impulsión)	591.3
90mm	59.3
110mm	105.5
160mm	426.5
Total	629.3

Elaborado por: Jonathan Merizalde.

La estación de bombeo del sistema de captación de la planta potabilizadora de la parroquia El Laurel cuenta con 3 bombas eléctricas, instaladas en mayo de 2020 por EMAPA EP DAULE; 2 que operan como equipo de trabajo principal y 1 bomba para uso emergente o mantenimiento. Las 3 bombas comparten una misma tubería de succión de 6" de diámetro y su configuración es en paralelo. A continuación, se detalla las bombas existentes (Ver tabla 5):

Tabla 5: Especificaciones técnicas de las bombas instaladas en la captación

	Grundfos NK80 (2U)	Grundfos NK65 (1U)
Caudal nominal	145 m ³ /h (40.3 L/s)	93.6m ³ /h (26 L/s)
Cabeza de presión	32mca	31.8 mca
Diám. real de Impulsor	251mm	270mm
Velocidad	1760 rpm	1765 rpm
Potencia	18.5 kW	15 kW
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Peso bruto	416 kg	444 kg

Fuente: EMAPA EP Daule, 2020

En el ingreso de la planta de tratamiento se encuentra instalado un medidor volumétrico, que afora la cantidad de agua cruda que llega y es tratada en la planta, por lo cual; se solicitó la información registrada por dicho medidor a la empresa gestora del agua en la parroquia El Laurel (EMAPA EP DAULE). Los datos obtenidos se muestran en la tabla 6:

Tabla 6: Datos históricos de volumen y caudal planta potabilizadora

Periodo	Captación [m³]	Distribución [m³]	Gasto Interno [m³]	Caudal agua cruda ingreso a la PTAP [L/s]
abr-20	41180	39834	1346	15.89
may-20	44536	43280	1256	17.18
jun-20	48727	44806	3921	18.80
jul-20	47369	43347	4022	18.28
ago-20	54093	47976	6117	20.87
sep-20	46760	45345	1415	18.04
oct-20	49440	47983	1457	19.07
nov-20	48360	43574	4786	18.66
dic-20	52730	45320	7410	20.34
ene-21	53950	43461	10489	20.81
feb-21	47370	40611	6759	18.28
mar-21	60660	45409	15251	23.40
abr-21	58214	44120	14094	22.46
may-21	59437	45464	13973	22.93
jun-21	56000	42994	13006	21.60
jul-21	60220	46445	13775	23.23
ago-21	60900	46608	14292	23.50
sep-21	58400	44639	13761	22.53
oct-21	60500	46344	14156	23.34
nov-21	58700	44892	13808	22.65
dic-21	60530	46170	14360	23.35
ene-22	58700	45800	12900	22.65
feb-22	53760	41888	11872	20.74
mar-22	61712	48136	13576	23.81

Fuente: (EMAPA EP DAULE, 2022)

De la tabla 6 se puede observar que en las condiciones actuales el caudal promedio de agua cruda que se impulsa desde la captación hasta la planta potabilizadora es de 20.93 L/s.

Es decir que, la planta está trabajando al 61.56% de su capacidad máxima, provocando pérdidas de caudal y presión en horas pico debido a que la demanda es igual o mayor que el caudal producido (EMAPA EP DAULE, 2020) por lo que en el presente trabajo de tesis se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las causas de la deficiencia en el caudal de ingreso de agua cruda en la planta potabilizadora de la parroquia Laurel?

1.3 Justificación del Problema

La Constitución del Ecuador del 2008 es la primera en reconocer explícitamente al agua como un derecho humano fundamental, manifestando la importancia del recurso, lo cual concuerda con la realidad geográfica del país, así como la significativa presencia de agua, sobresaliendo por su hidrología y grandes cauces a lo largo y ancho del país. En el art. 3, numeral primero, se establece: “...*Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes...*” y posteriormente se desarrolla en el artículo 12, refiriéndose a los Derechos del Buen Vivir: “...*El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable...*”.

El agua es considerado de uso público, imprescriptible, inalienable y esencial para la vida constituyéndose en un patrimonio nacional (CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008). Para el año 2015, la ONU aprueba la agenda 2030 sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en el periodo 2015-2030, del cual el objetivo número 6 plantea: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. (ONU, 2016).

Debido a la problemática que existe en el deficiente caudal enviado desde la captación a la planta de tratamiento Laurel, es de suma importancia realizar el estudio para el rediseño del sistema de captación, bombeo y línea de impulsión que permitan alcanzar al menos el caudal de diseño inicial de la planta potabilizadora, para la cual fue construida, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la parroquia Laurel, cantón Daule.

Esta deficiencia impide dotar del servicio de agua potable a más recintos y sectores de la parroquia rural Laurel, además de causar problemas de caudal y presión a los usuarios actuales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Rediseñar el sistema de captación, bombeo y línea de impulsión de agua cruda para la planta potabilizadora de la parroquia Laurel, cantón Daule, que alcance el caudal de captación requerido, considerando aspectos técnicos y criterios de sostenibilidad.

1.4.2 Objetivos Específicos.

Analizar el comportamiento hidrológico de la fuente de captación (Rio Pula) para el aseguramiento del nivel mínimo de captación mediante datos históricos.

Examinar el sistema de captación y estación de bombeo planteando alternativas de solución al problema existente mediante cálculos y modelos hidráulicos.

Rediseñar el sistema de captación y línea de impulsión para el mejoramiento del caudal de ingreso a la planta potabilizadora siguiendo lo establecido en la Norma CO 10.07 – 601, Estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 El agua

El agua constituye un bien público, representa un elemento fundamental en la carta de los derechos humanos y es el área de actuación de las agendas gubernamentales a fin de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible ya que es un recurso utilizado para la preparación de alimentos y aseo personal. Asu vez, la calidad del agua es un factor determinante de las condiciones de vida y trabajo de una región (Molina & Pardo, 2015).

El agua es de vital importancia para la vida y para el desarrollo de las sociedades, sin embargo, es un recurso finito que se debe cuidar y aprovechar de la manera más técnica y eficiente posible ya que según datos comprobados, los océanos representan el 97.5% del agua en el planeta, lo contrario ocurre con lo denominado agua dulce y representa sólo el 2.5% de toda el agua en el planeta. De dicho porcentaje, el 80% se encuentra en estado sólido, en las regiones polares y zonas glaciales de regiones montañosas, el 19% del agua dulce es agua subterránea, y solo el 1% es agua accesible en la superficie que comprende: los lagos, lagunas, reservas artificiales y los ríos, lo que significa un 0.01% de toda el agua sobre la tierra. (Diop & Rekacewicz, 2003).

Según la Organización de las Naciones Unidas y, en el marco del objetivo 6 de desarrollo sustentable “Agua limpia y saneamiento”, 3 de cada 10 personas no poseen el servicio de agua potabilizada gestionados de manera segura, además, 6 de cada 10 personas no cuentan con instalaciones de saneamiento manejadas de forma segura. Si bien entre 2107 – 2018, 157 países informaron un porcentaje promedio de implementación de la gestión integrada de las fuentes

de agua en 48%, de acuerdo a cifras de 2015, 844 millones de personas todavía no cuentan con un nivel de servicio básico (ONU, 2018).

Los principales problemas que presentan los países con respecto al acceso al agua son: falta de fuentes de abastecimiento, falta de sistemas eficientes de administración del agua y necesidades no atendidas hacia las comunidades (UNDP 2006). Por lo que el manejo de las fuentes hídricas es uno de los principales desafíos del siglo XXI, importante para el crecimiento de los países, que conlleva al desarrollo de todas las actividades tanto en las áreas urbanas y rurales.

La captación de agua de superficie de los diferentes cuerpos hídricos disponibles; lagos, ríos, riachuelos y embalses, son mecanismos que tienen como función captar el líquido e impulsarla de manera constante a un pueblo o ciudad. El sistema puede funcionar de dos formas; mediante bombeo cuando el recurso hídrico se ubica a una cota inferior de la población a servir o por gravedad, cuando la fuente seleccionada se ubica a una cota superior de la comunidad a abastecer, (Barrios et al., 2009). Los diferentes tipos de captación dependen, en su mayoría, de las propiedades del cuerpo hídrico, del número de habitantes, del caudal necesario, de las características hidrológicas y geológicas de la zona (USAID, 2016).

El estudio del consumo de agua no solo permite conocer la cantidad de agua consumida en una población, también posibilita futuros proyectos de diseño y rediseño de redes de distribución de agua apta para consumo humano, en la parroquia San Francisco de la ciudad de Ambato se determinó un consumo per cápita de 256.48L/hab/día en la cual predomina el tipo de residencia tipo B caracterizado por tener estructuras de hormigón armado (Mayacela et al., 2021).

La tubería de impulsión en un sistema de abastecimiento de agua tratada, sirve para llevar el agua a través de un bombeo desde un punto de captación hasta la planta potabilizadora o reservorio.

Según las Obras del Estado de Uruguay (OSE) existen 4 tipos de potabilizar el agua: Unidad básica de potabilización, tratamiento convencional, tratamiento por desferrificación y tratamiento por ósmosis inversa.

2.1.2 Hidrología

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos (Villón, 2004).

2.1.3 Ciclo hidrológico

Se entiende por los cambios que el agua experimenta de forma natural, tanto en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc) como en su estado (sólido, líquido, gaseoso) (Villón, 2004).

2.1.4 Precipitación.

Son las gotas que luego del proceso de condensación caen en un área de la tierra, la gran mayoría de precipitación ocurre en forma de lluvia, pero también puede presentarse como granizo, nieve, otros (Han, 2010).

2.1.5 Infiltración.

Es cuando el agua ingresa en la superficie del terreno natural hacia el subsuelo (Han, 2010).

2.1.6 Flujo constante.

Las características del flujo (velocidad, tasa de flujo, profundidad) no cambian a través del tiempo (Han, 2010).

2.1.7 Escorrentía o escurrimiento superficial.

Es cuando el agua se transporta en los ríos, o cuando por efectos de la gravedad el agua de lluvia que no se infiltra en el suelo saturado, se empieza aglutinar y se mueve (Han, 2010).

2.1.8 Pluviómetro.

Permite la altura de lluvia en milímetros mediante un recipiente en forma de cilindro y la tapa en forma de embudo que se comunica con una probeta (Villón, 2004).

2.1.9 Limnómetro.

Conjunto de reglas graduadas en centímetros que sirven para medir las diferencias del cotas del espejo de agua según se registren las crecidas de ríos o lagos (Villón, 2004).

2.1.10 Cuenca hidrológica.

Superficie o área de suelo por el cual las aguas de lluvia, convergen para conformar un solo recorrido de agua (Villón, 2004).

2.1.11 Delimitación de una cuenca.

La cuenca puede ser delimitada sobre un plano a curvas de nivel siguiendo una línea divisoria imaginaria (parteaguas), que distribuye el escurrimiento originado por la lluvia hacia el punto de salida de la cuenca (Villón, 2004).

2.1.12 Superficie de la cuenca.

Es de forma irregular y se la puede obtener después de la delimitación de la cuenca proyectando dicha área en un plano horizontal. Se representa con la letra “A”. (Villón, 2004).

2.1.13 Perímetro de la cuenca.

Es de forma irregular y se la puede obtener después de la delimitación de la cuenca proyectando el contorno de la forma de la cuenca en un plano horizontal. Se representa con la letra “P”. (Villón, 2004).

2.1.14 Curvas Características de la cuenca.

La Curva hipsométrica representa la relación entre la superficie de la cuenca y la altura que resulta sobre esa altitud (Villón, 2004).

2.1.15 Pendiente de la cuenca.

Tiene relación principalmente con la esorrentía, la humedad del terreno, la infiltración y la aportación del agua que encuentra de forma subterránea al agua superficial. Es una característica importante de la cuenca que controla el tiempo de concentración y escurrimiento de la lluvia en canales y relación con la magnitud de las crecidas (Villón, 2004).

2.1.16 Longitud río principal.

Es el río que tiene la mayor longitud en una cuenca y sobre el cual escurren los demás afluentes de la misma. (Villón, 2004).

2.1.17 Pendiente del cauce.

“El cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos de un tramo de un cauce de un río entre la longitud horizontal de dicho tramo se conoce como pendiente” (Villón, 2004).

Para este caso se utilizará el método de pendiente uniforme:

$$S = \frac{H}{L} \quad (1)$$

Donde

S = pendiente del cauce

H = desnivel existente entre extremos del cauce (km)

L = Longitud del cauce (km)

2.1.18 Caudal de diseño.

Este es de gran importancia para el estudio de obras hidrosanitarias, las cuales deben poder captar el total del caudal de diseño y permitir el paso de crecientes sin sufrir afectaciones a la estructura (Krochin, 1986).

Las obras de captación o toma deben ser diseñadas con un caudal que garantice un porcentaje de tiempo y estos porcentajes van cambiando de acuerdo al uso que se le vaya a dar al agua (Krochin, 1986).

Según Krochin, los porcentajes de persistencia recomendados varían de acuerdo al tipo de obras que se vaya a ejecutar (Ver tabla 7).

Tabla 7: Porcentajes de persistencia requeridos obras hidráulicas

Tipo de Obra	% Persistencia
Agua Potable	90 – 97%
Plantas eléctricas	75 – 95%
Riego	70 – 90%

Fuente: krochin, 1986.

De acuerdo a los limites anteriores, para nuestro proyecto al tratarse de una estructura de captación para una planta potabilizadora de agua, se verificará que en la fuente de captación se garantice entre el 90 a 97% de persistencia.

2.1.19 Formación de ríos.

“Los ríos se forman de aguas superficiales provenientes de las lluvias y de la fusión del hielo de las montañas y de la afluencia de las aguas subterráneas” (Krochin, 1986).

2.1.20 Meandro.

Las curvas más acentuadas de un río se denominan meandros (Krochin, 1986).

2.1.21 Clasificación de las obras hidráulicas.

De acuerdo a su propósito, las obras hidráulicas se pueden clasificar para: riego de cultivos, abastecimiento de agua para consumo doméstico e industrial, producción de energía eléctrica y navegación (Krochin, 1986).

2.1.22 Tipos de obras hidráulicas.

De acuerdo a su función, las obras hidráulicas pueden ser: Obras de captación, obras de conducción, obras de protección y obras de regulación (Krochin, 1986).

2.1.23 Obras de captación.

Son diseñadas para captar el agua por gravedad, presas o por bombeo (Krochin, 1986).

2.1.24 Sistemas para agua potable.

Este sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución. (INEN 1108).

a) Agua potabilizada

Es la que luego de haber sido tratada en sus propiedades químicas, microbiológicas y físicas cumple con los parámetros requeridos para consumo humano (INEN 1108).

b) Agua cruda

Es el agua que no presenta ningún cambio o tratamiento en sus propiedades químicas ni físicas y que se puede encontrar en el medio ambiente (INEN 1108).

2.1.25 Fuentes de abastecimiento.

Es el principal elemento para la modelación de un proyecto de agua potable por tanto es imprescindible escoger ubicación, cantidad, rendimientos mínimos, tipo, análisis físico-químicos y calidad. De acuerdo al relieve del terreno (topografía), para el tiempo de diseño se necesitará contar con el caudal diario máximo. A continuación, las principales fuentes de abastecimiento: aguas de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas.

a) Aguas de lluvia

Este sistema se emplea en zonas alejadas donde no es posible adquirir aguas de superficies o manantiales y se tiene que tener en cuenta que este tipo de fuentes se realizaran en lugares donde el régimen de la lluvia sea constante para que pueda abastecer a la población que lo requiera.

b) Aguas superficiales

Están integradas por diversas fuentes de la naturaleza, como son los ríos, las quebradas, las acequias, etc. Estas fuentes no son recomendadas para el consumo de la población, ya que están sometidas a contaminaciones fácilmente debido a las descargas residuales, turbiedad del agua, provenientes de zonas que se encuentran ubicadas aguas arriba.

c) Aguas subterráneas

Estas fuentes de agua mayormente se concentran en la costa de nuestro país especialmente en lugares secos, ya que es la única fuente de abastecimiento para nuestras poblaciones, lo que su extracción resulta cada vez más costosa, y su obtención se realiza por medio de pozos profundos y por los manantiales que afloran libremente a la superficie.

2.1.26 Levantamiento Topográfico.

Es la base principal de todo proyecto u obra, el levantamiento topográfico se realiza para conocer el relieve de terreno (Topografía), y de acuerdo a ese trabajo de campo determinamos, las cotas topográficas, las alturas, se realizará el levantamiento para conocer la ubicación de la fuente, línea de impulsión, caseta de bombeo y de la planta potabilizadora, etc. Elemento primordial para todo diseño, de un proyecto, ya que sin este estudio no se podrá dar ningún paso para la elaboración de expedientes técnicos. En nuestro caso se realizará el levantamiento del sector de estudio (captación Rio Pula) con una estación total y se tendrá en cuenta la información disponible de la entidad.

2.1.27 Selección tipo de fuente.

Para esto se deben tomar en cuenta criterios técnicos, sociales, económicos y culturales con el fin de que el proyecto sea sostenible y viable.

2.1.28 Calidad de agua de la fuente.

El agua naturalmente contiene impurezas, que pueden ser físico, química o bacteriológica y varían de acuerdo a la fuente. Por tanto, previo a escoger una fuente se deben realizar los análisis necesarios (microbiológico, PH, turbidez, salubridad, etc) con el fin de determinar si es apta para ser tratada o utilizada para los diferentes proyectos.

2.1.29 Dotación.

Es la cantidad de agua que necesita cada habitante (l/hab/día), para abastecer sus necesidades diarias. Para determinar la dotación es importante tener el padrón de beneficiarios (censo), para encontrar la demanda necesaria del agua, y ver que la fuente de agua abastezca a la población. Para nuestro proyecto se consideró 200 l/hab/día.

2.1.30 Cantidad de agua.

Para tener datos reales, es necesario que los aforos se realicen en tiempo de estiaje y también en los meses de lluvia, para determinar caudales máximos y mínimos, además hay que tener en cuenta que el valor del caudal mínimo debe ser mayor que el caudal máximo diario (Qmd), con el objetivo de abastecer a la población que lo requiera.

2.1.31 Población de diseño.

Se deberá estimar la población actual y futura en base a un recuento poblacional y a proyecciones de crecimiento respectivamente. Dentro de los métodos a utilizar se encuentra la proyección aritmética, geométrica, incrementos diferenciales, etc (INEN, 1997).

En caso de no tener datos se empelará los siguientes valores de crecimiento

Tabla 8: Tasas de crecimiento poblacional

REGIÓN GEOGRÁFICA	r (%)
Sierra	1,0
Costa, oriente y Galápagos	1,5

Fuente: CPE INEN 5 parte 9.2, 1997

2.1.32 Periodo de diseño.

Tiempo durante el cual la obra cumple su función de forma eficiente sin necesidad de realizar mejoras ni ampliaciones (INEN, 1997).

2.1.33 Vida útil.

Es el tiempo, luego del cual la obra o equipo debe ser reemplazado (INEN, 1997).

La tabla 9 muestra las recomendaciones de vida útil para los diferentes elementos del sistema de agua potable, de donde se escogerá un tiempo de vida útil que sea compatible con

todos los elementos a diseñarse que en este caso puede ser: obras de captación, conducciones de PVC, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y tuberías de distribución de PVC.

Tabla 9: Vida útil elementos de un sistema de agua potable

Componente	Vida útil (años)
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25
Otros materiales	Variable de acuerdo a especificaciones del fabricante

Fuente: SSA, 1992

2.1.34 Dotación de diseño.

La dotación es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos. La normativa del MAAE establece los siguientes rangos de dotaciones a considerar en función del tamaño de la población y el clima (Ver tabla 10).

Tabla 10: Dotación de agua por numero de habitantes

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Fuente: Ministerio de ambiente y agua MAAE

La población actual y futura proyectada para El Laurel está entre los 5000 y 50000 habitantes. El clima es cálido, por ser una parroquia de la costa ecuatoriana, por lo tanto, la dotación a elegir debe estar en el rango entre 200 y 230 L/hab*día. Estas dotaciones ya consideran fugas. Se adoptará una dotación de 200 L/hab*día para el análisis, evaluación y rediseño del sistema de captación / impulsión.

2.1.35 Caudal medio agua potable.

El caudal medio es aquel consumido en promedio por la población, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{med} = \frac{Dot * Pob}{86400}$$

2.1.36 Caudal máximo de agua potable.

Los caudales máximos diarios y máximos horarios se obtienen usando coeficientes de variación de consumo, y corresponden el máximo consumo diario y horario esperado respectivamente.

$$Q_{MH}=K_{max.hor}*Q_{medio}$$

$$Q_{MD}=K_{max.dia}*Q_{medio}$$

Los coeficientes de variación de consumo se establecen con base en estudios de sistemas existentes, sin embargo, la normativa del MAAE recomienda utilizar los siguientes valores:

K_{max.dia} un valor entre 1.3 y 1.5

K_{max.hor} un valor entre 2.0 y 2.3

Para el análisis se adoptan los valores de 1.5 y 2.3 para los coeficientes de variación de consumo máximo diario y máximo horario respectivamente, de manera conservadora con el objetivo de evaluar una condición crítica.

2.1.37 Caudales de diseño.

Para el diseño, evaluación y diagnóstico de las diferentes partes de un sistema de abastecimiento de agua potable, de acuerdo con el MAAE, se usará los caudales que constan en la tabla 11:

Tabla 11: Caudales de diseño para sistemas de agua potable

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 %

Fuente: Subsecretaría de saneamiento ambiental

2.1.38 Estación de bombeo.

Estructura hidráulica que incluye equipos electromecánicos encargados de elevar el agua a una cota superior (INEN, 1997).

2.1.39 Tanque de almacenamiento.

Estructura cerrada que sirve para almacenar agua con capacidad para suplir las necesidades horarias de consumo (INEN, 1997).

2.2 Marco legal

El marco legal aplicable para la gestión integral de recursos hídricos se describe de acuerdo con la jerarquía normativa determinada en el artículo 425 de la Constitución de la República del Ecuador. En la figura 8 se presenta la jerarquía de los cuerpos legales:



Ilustración 8: Jerarquía de los cuerpos legales
Fuente: Constitución de la república del Ecuador, 2008

La Constitución de la República del Ecuador fue publicada mediante registro oficial No. 449, el 20 de octubre del 2008. Este cuerpo legal fue modificado el 21 de diciembre del 2015. A continuación, se detallan los artículos más relevantes respecto al manejo del recurso hídrico para la planificación y ordenamiento territorial: el art. 244 respecto a la conformación de provincias con continuidad territorial; el art. 262 en donde se establece entre las competencias de los gobiernos regionales autónomos el planificar el desarrollo regional y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de forma articulada con los planes de mayor jerarquía territorial y el gestionar el ordenamiento de cuencas hidrográficas, así como dar lugar a la creación de consejos de cuenca; en el art. 263 se especifican las competencias exclusivas de los gobiernos provinciales entre las cuales se encuentra: "...1. Planificar el desarrollo provincial y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, cantonal y parroquial; ...3. Ejecutar, en coordinación con el gobierno regional, obras en cuencas y micro cuencas; 4. La gestión ambiental provincial; 5. Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego..."; y el art. 411 enfocado en el deber del estado de: "...garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo

hidrológico...”, controlar las actividades que pongan en riesgo la calidad y cantidad de agua, así como el equilibrio de ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua...

El Ecuador es una nación firmante de varios convenios internacionales, de acuerdo al desarrollo del presente proyecto se considera pertinente mencionar dos acuerdos internacionales: 1. Declaración de Río de Janeiro (1992).- En donde se dice que: “...conscientes del valor intrínseco de la diversidad biológica y de los valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos de la diversidad biológica y sus componentes para la evolución y para el mantenimiento de los sistemas necesarios para la vida de la biosfera...” y 2. Convenio de Johannesburgo (2002). – Este convenio se establece para el desarrollo sustentable, y compromete al Ecuador a construir una sociedad mundial humanitaria, equitativa y generosa, consciente de la necesidad de respetar la dignidad de todos los seres humanos (Ministerio del Ambiente, 2018).

Este cuerpo legal se emitió mediante registro oficial suplemento No. 303 del 19 de octubre del 2010, fue modificado por última vez el 20 de marzo de 2017. A continuación, se presentan los artículos requerido para el presente estudio: el art. 132 en donde se contempla las acciones que a realizarse por el gobierno autónomo descentralizado regional y se especifica que la gestión del ordenamiento de cuencas hidrográficas comprende la ejecución de la planificación hídrica con participación de la ciudadanía, principalmente de las juntas de agua potable, que se realizan con la coordinación de la autoridad única del agua, gestionar el ordenamiento de cuencas hidrográficas mediante articulación efectiva de las metas de ordenamiento territorial con un enfoque de manejo sustentable e integral de los recursos hídricos, El municipio regional propiciará la creación y guiará, una vez constituidos, los comités de cuencas hidrográficas, en los cuales garantizará la participación de las autoridades de los diferentes niveles de gobierno y de sociedades comunitarias relacionadas con la administración y manejo de los recursos hídricos, entre otros, sin embargo se especifica que el gobierno central estará en la capacidad

de ejecutar proyectos hídricos multipropósito de importancia estratégica considerando los criterios de los municipios. En este cuerpo legal también se especifica que se garantizará el retorno de beneficios fijados técnicamente por el uso y aprovechamiento recursos hídricos de las circunscripciones territoriales correspondientes con el propósito de conservar y recuperar la cuenca hidrográfica. Además, se prohíbe la adopción de un sistema de administración que proponga algún tipo de privatización del agua y promueve las alianzas público-comunitarias para la cogestión de cuencas hidrográficas. En el art. 136 de este cuerpo legal se establecen los lineamientos para ejercer las competencias asignadas en cuanto a gestión ambiental, así como también se establece que a través de la coordinación entre los consejos de cuencas hidrográficas y gobiernos autónomos descentralizados regionales se determinen tasa relacionadas a la adquisición de recursos para la conservación de cuencas hidrográficas y la gestión ambiental, en el art. 137 se definen las responsabilidades de prestación de servicios públicos de agua potable, de forma que se cumplan las regulaciones y políticas nacionales...

El Código Orgánico del ambiente fue publicado mediante registro oficial suplemento No. 983 del 12 de abril del 2017. En este cuerpo legal se publican varios artículos respecto a la gestión del recurso hídrico, mismos que se detallan a continuación: En el art. 5 se realiza una reiteración acerca del derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado..., En el art. 30 se detallan los objetivos del Estado respecto a los recursos, entre los que se menciona el mantenimiento de los recursos, la regulación e incentivos para la intervención de la población, proponer un enfoque integral y sistemático para la gestión de recursos hídricos y la conservación de cuencas hidrográficas en coordinación con la Autoridad Única del Agua, así como también contemplan opiniones de viabilidad en la ejecución de planes de ordenamiento y desarrollo en todos los niveles de gobierno, entre otros. Además, en el artículo 38 se determinan varios objetivos respecto al Sistema Nacional de Áreas Protegidas,

con el fin de conservar dichas áreas y conservar los ciclos hidrológicos en cuencas hidrográficas y cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, entre otros.

Este cuerpo legal fue publicado mediante registro oficial suplemento No. 305 de 06 de agosto de 2014, cuenta con un reglamento para la aplicación o implementación de esta ley. Entre los artículos más relevantes hacia la preparación del presente proyecto, dentro de este cuerpo legal, se pueden mencionar los siguientes: el art. 8 se define la gestión integrada de los recursos hídricos y los elementos que se analizan en esta gestión; en el art. 10 se determina el poder hidrológico público del agua en sus diferentes estados y lugares tanto en los cuales se encuentra este recurso dentro del territorio nacional, es decir, tanto superficial como subterránea; en el art. 15.- se determina las líneas de acción del Sistema nacional estratégico del agua así como sus responsabilidades y las entidades a cargo de la misma; en el art. 18 se especifican las competencias y atribuciones que tiene la Autoridad Única del Agua; en el art. 25 se establecen los lineamientos para nombrar al Consejo de Cuenca Hidrográfica, así como, las entidades que serán parte de este organismo de tipo asesor; en el art. 27 se establecen los lineamientos para la organizaciones de usuarios de una cuenca. Respecto a la planificación del recurso hídrico, así como los contenidos de los planes hídricos, elaboración y aprobación de estos se definen los lineamientos en los artículos 28, 29 y 30 de este cuerpo legal. En cuanto a la gestión pública o comunitaria del agua, ámbito y modalidades de administración del agua se establecen los artículos 31 y 32 de esta ley. Además, para realizar la gestión integrada del recurso hídrico, se definen los principios y deberes estatales en los artículos 34-36 del cuerpo legal en análisis. En lo que respecta a la definición de las juntas administradoras del agua y de riego respectivamente se establecen sus deberes y atribuciones en los artículos 43-47.

Respecto a la conservación del agua en el artículo 64 de este cuerpo legal, se establecen los parámetros a los que la naturaleza tiene derecho: "...a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados,

glaciares, páramos, humedales y manglares; b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad; c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico; d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y, e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos...”. En los siguientes artículos se establecen los lineamientos principales para realizar consultas a los usuarios del recurso hídrico en una cuenca, así como también se determinan sus obligaciones, por otro lado, se define el orden de prioridad en cuanto al uso del recurso, usufructo y gestión comunitaria del agua, limitaciones y responsabilidades, además, la redistribución y reasignación del agua y los criterios para establecer las tarifas de agua. Estos lineamientos se pueden observar en los artículos 68, 73, 75, 77, 94, 130 y 135.

En la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108. Agua Potable Establece los parámetros mínimos que se deben verificar para que el agua que se distribuye a través de tuberías y tanqueros se considere apta para consumo humano.

En la norma CO 10,07 – 602, Secretaría del Agua, norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural Proporciona las bases y criterios necesarios para el diseño de redes de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en poblaciones rurales.

La norma antes descrita podrá ser empleado en poblaciones mayores a 1000 habitantes, siempre y cuando se cumplan las condiciones sociales, económicas y geo-políticas que lo denominen como zona rural.

2.3 Marco Institucional

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Daule, EMAPA-DAULE, fue creada mediante Ordenanza publicada en el registro Oficial número 573 del 10 de mayo del 2002, reformada mediante ordenanza publicada en el registro oficial número 197 del 24 de octubre del 2003 con el objeto de planificar, diseñar, construir, operar, controlar, mantener y administrar los sistemas de agua potable y alcantarillado en el cantón Daule;

Mediante Registro Oficial de 26 de agosto del 2009 edición especial N°4 se expidió; la Ordenanza que regula la prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado en el cantón Daule; que establece la estructura tarifaria y fija las tasas por tales servicios.

Según el artículo 2 de la ordenanza que regula la prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado en el cantón Daule; que establece la estructura tarifaria y fija las tasas por tales servicios, indica que: “...*La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Daule EMAPA-DAULE, es la entidad que tiene competencia exclusiva para operar, administrar, mantener, gestionar y extender los servicios de provisión y distribución de agua potable, y la prestación de los servicios de alcantarillado, en todas las circunscripciones del cantón Daule, con excepción de la jurisdicción de la parroquia urbana satélite La Aurora...*”

CAPÍTULO III

Metodología

3.1 Enfoque de la Investigación

La metodología que se aplicará al presente estudio comprende de 4 fases de investigación que se detallan a continuación (Ver figura 9):

3.1.1 Fase I Recopilación de la Información.

Esta fase consiste en la búsqueda de información como diseño existente, tesis de maestrías, doctorados, topografía, batimetría, datos hidrológicos, fichas técnicas de equipos, valores de producción existentes

3.1.2 Fase II Análisis del Sistema Existente.

Esta fase incluye la validación de los documentos y datos recibidos en la Fase I mediante tecnología y monitoreos que permitan identificación del problema y selección de alternativas.

Una vez analizados los datos obtenidos, como parte del primer objetivo se realizará el análisis de persistencia en el Rio Pula con el fin de determinar si satisface con el nivel mínimo de agua necesario para captar el caudal de diseño de agua cruda.

Para realizar el análisis hidráulico del sistema (objetivo 2), se utilizará el software WaterGems, que es una poderosa herramienta que permite diagnosticar y diseñar sistemas de agua potable, y en general, sistemas con fluidos a presión. Para ingresar en el programa las variables estructurales, mecánicas, topográficas y de configuración de los sistemas de captación / impulsión del agua cruda hasta la planta de tratamiento de agua potable, se realizaron levantamientos y relevamientos de información en campo. Dicha información se ingresa en WaterGems, y permite realizar el modelamiento hidráulico del sistema.

3.1.3 Fase III Cálculos y Modelo Hidráulico.

Una vez que hayamos definido lo detallado en la fase II, procederemos a realizar todos los cálculos y modelos hidráulicos que permitan determinar las condiciones actuales y la mejor alternativa de solución empleando herramientas y/o programas como Watergems y flowmaster con el fin de cumplir con el objetivo general del presente proyecto.

Con base a los datos históricos obtenidos de los caudales medios mensuales en el Rio Pula y la batimetría se obtendrá mediante la herramienta flowmaster el nivel mínimo presente en la fuente con el fin de garantizar el porcentaje de persistencia requerido para obras de captación.

Para que los resultados obtenidos en WaterGems sean confiables, se deberá trabajar en la calibración del modelo. La calibración es el proceso más importante dentro del análisis hidráulico del funcionamiento de un sistema existente, y consiste en contrastar la información obtenida del modelo con la medida y observada en campo. Se debe seleccionar uno o varios parámetros para realizar la comparación entre los valores obtenidos en el modelo y los medidos en campo, mientras más se parezcan estos valores, mejor calibrado está el modelo, y por lo tanto es más preciso para predecir que efecto tendrá la aplicación de una actuación en el sistema. Para efectos de este análisis se tomará como variable para la calibración del modelo el caudal de agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento, registrado de manera indirecta por un medidor volumétrico. Se espera lograr un error relativo entre lo registrado por el equipo de medición de la planta y el modelo de WaterGems del 10% o menor.

3.1.4 Fase IV Análisis Técnico y Propuesta de Rediseño.

Abarca la correlación de los resultados e interpretaciones obtenidas en la Fase III para realizar la recomendación técnica del rediseño más óptimo que garantice la solución definitiva a nuestro problema de estudio, incluye conclusiones y recomendaciones.

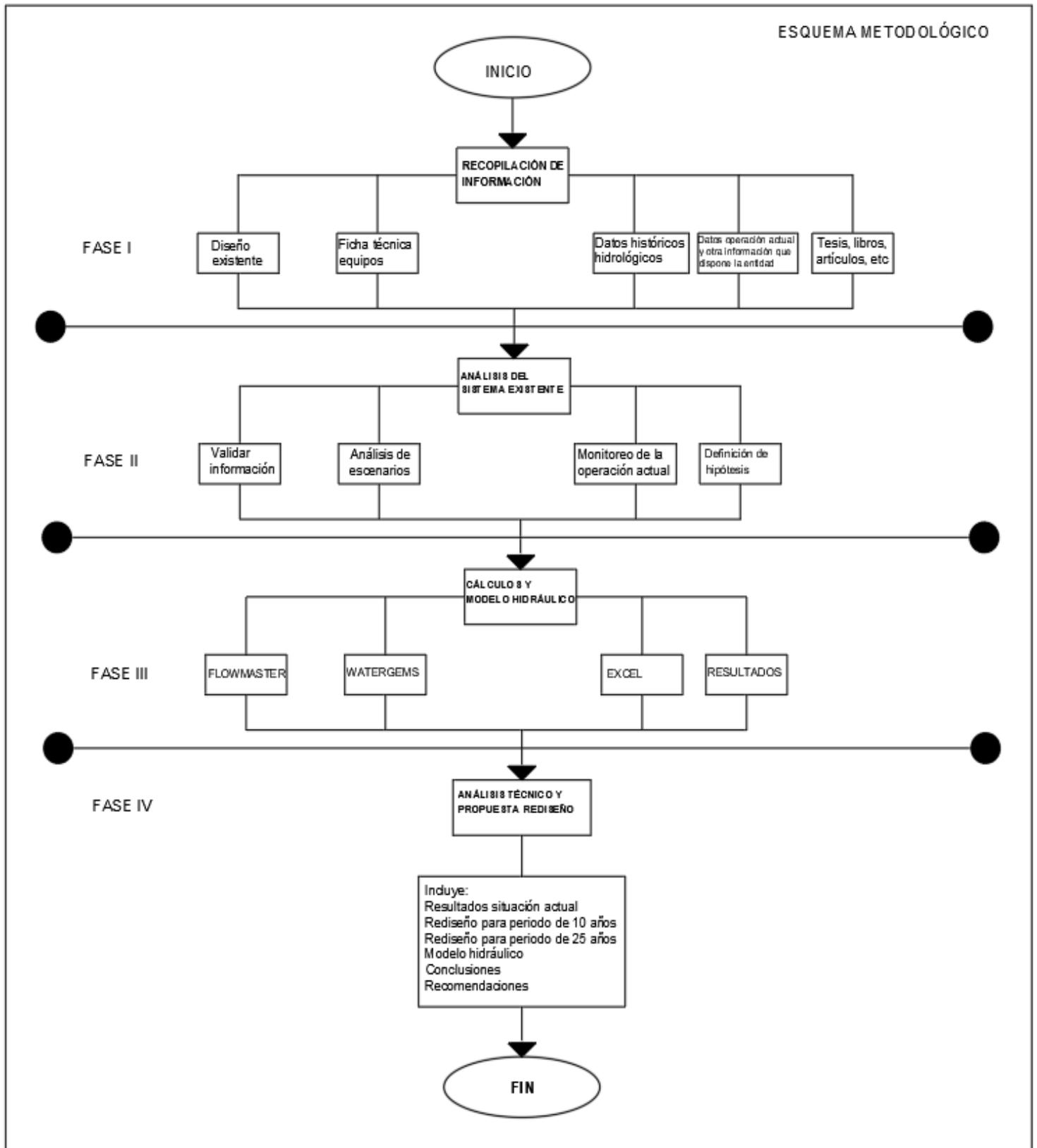


Ilustración 9: Esquema metodológico
Elaborado por: Jonathan Merizalde

CAPÍTULO IV

Desarrollo

4.1 Análisis Hidrológico de la Fuente Captación

4.1.1 Generalidades sobre Ríos.

Los ríos representan el resultado de la concentración de los escurrimientos superficiales en cauces que generalmente son formados por la misma acción del agua (Krochin, 1986).

Los ríos se forman de aguas superficiales provenientes de las lluvias y de la fusión del hielo de las montañas y de la afluencia de las aguas subterráneas (Krochin, 1986).

Cuando el caudal del río es más regular y la cantidad de agua a captarse es solo una fracción del caudal de estiaje. Entonces la captación puede hacerse directamente por medio de una toma sin azud o de un colector situado en el fondo del río. En muchos casos para la captación se utiliza el bombeo (Krochin, 1986).

Dentro de los inconvenientes más importantes que se pueden presentar en un río son la erosión y la sedimentación.

4.1.2 Características Generales del Río Pula

El río Pula nace del río Mastrantal, el cual es una ramificación del río Vinces, aguas abajo recibe aportación del río Macul. El río Pula posee una longitud total de 51.52km y un ancho promedio de 50m.

El río Pula tiene influencia en los siguientes cantones: Santa Lucía, Daule, Salitre, Palestina. El río Pula inicia en las coordenadas (626391; 9818248) y termina en las coordenadas (613138; 9782652).

4.1.3 Análisis de Persistencia Rio Pula.

El caudal es de gran importancia para el diseño de obras hidráulicas, las cuales deben poder captar el total del caudal de diseño y permitir el paso de crecientes sin sufrir afectaciones a la estructura (Krochin, 1986).

Las obras de captación o toma deben ser diseñadas con un caudal que garantice un porcentaje de tiempo y estos porcentajes van cambiando de acuerdo al uso que se le vaya a dar al agua (Krochin, 1986).

Según Krochin, los porcentajes recomendados varían de acuerdo se muestra en la tabla 12:

Tabla 12: Porcentaje de persistencia requerido para obras hidráulicas

TIPO DE OBRA	PORCENTAJE DE PERSISTENCIA REQUERIDO
Agua potable	90 - 97%
Plantas eléctricas	75 - 95%
Riego	70 - 90%

Fuente: (Krochin, 1986)

De acuerdo a los límites anteriores, para nuestro proyecto al tratarse de un sistema de captación para una planta potabilizadora de agua, se verificará que en la fuente de captación se garantice entre el 90 a 97% de persistencia.

Para poder realizar el análisis de persistencia se requiere establecer el caudal medio mensual presente en la fuente de captación, para lo cual; a partir de la estación Vines en Vines y las estaciones que se encuentran hacia aguas abajo se ha podido establecer las relaciones de descarga, a partir de lo siguiente (Ver figura 10):

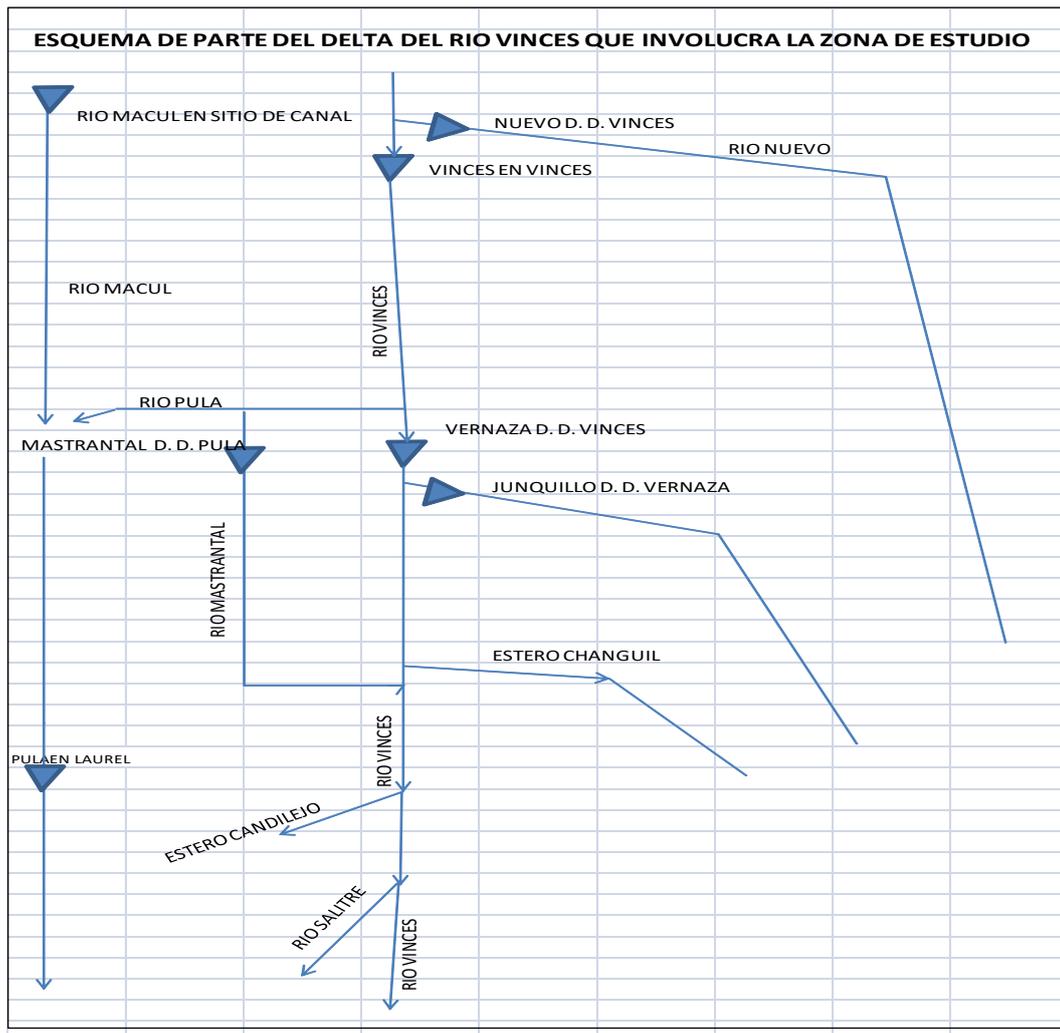


Ilustración 10: Esquema de ríos en zona de estudio
Fuente: Senagua, 2010

En 2010 la SENAGUA realizó el estudio hidrológico de los Ríos Daule y Vines (proyecto Dauvin) mediante el cual se pudo establecer las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Palizada}} &= 0.3923 Q_{\text{Vinces}}^{0.9208} \\
 Q_{\text{Mastrantal}} &= 0.913 Q_{\text{Vinces}}^{0.837} \\
 Q_{\text{Vernaza}} &= 0.0595 Q_{\text{Vinces}}^{1.2706} \\
 Q_{\text{Junquillo}} &= 0.0201 Q_{\text{Vernaza}}^{1.4205} \\
 Q_{\text{Nuevo}} &= 9 \cdot 10^{-9} (Q_{\text{Vinces}} - 0)^{3.4437} \text{ para } Q_{\text{Vinces}} \text{ mayores a } 300 \text{ m}^3/\text{seg}
 \end{aligned}$$

De esta manera, en función de los caudales registrados en la estación hidrométrica Vines en Vines, es posible encontrar las respectivas descargas en las diferentes derivaciones

existentes aguas abajo. Para confirmar lo antes mencionado, se consideró a partir de los datos históricos de caudales medios mensuales de la estación Vinces en Vinces, los caudales medios mensuales para el Rio Pula (Ver tablas 13 y 14).

Tabla 13: Datos históricos de caudal medio mensual estación Vinces en Vinces

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m ³ /s)													
ESTACIÓN VINCES EN VINCES													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	243.43	420.73	455.22	539.24	201.71	108.74	72.26	48.37	47.50	49.12	56.34	59.80	191.87
1965	196.65	368.96	518.71	694.15	548.33	241.86	134.81	67.64	51.20	72.51	61.23	68.19	252.02
1966	384.36	619.58	586.15	349.33	244.99	189.64	76.63	53.08	36.10	59.50	34.66	49.75	223.65
1967	282.86	585.51	468.39	193.53	192.20	129.88	61.61	36.26	23.42	21.47	14.60	24.25	169.50
1968	97.87	287.50	277.12	200.43	110.74	59.53	35.49	19.74	18.12	18.48	22.96	19.88	97.32
1969	151.75	177.58	382.18	566.13	310.93	252.25	123.29	53.31	35.18	22.79	20.53	59.21	179.59
1970	227.53	369.15	344.49	493.98	410.85	162.65	79.83	45.35	29.97	23.75	20.24	34.28	186.84
1971	156.50	468.56	686.06	519.36	169.61	100.70	64.83	41.94	41.01	39.32	31.26	56.52	197.97
1972	241.10	506.25	675.95	574.13	352.88	422.03	240.02	110.46	79.34	88.85	62.12	222.58	297.98
1973	468.32	739.93	553.54	740.42	414.76	236.56	151.17	77.17	67.54	62.61	45.57	56.03	301.14
1974	125.29	389.78	486.98	265.67	328.33	130.94	69.08	41.86	30.79	34.91	31.24	110.85	170.48
1975	441.45	767.91	724.93	601.20	299.11	194.23	104.39	60.72	46.62	39.10	32.80	47.96	280.04
1976	349.20	782.95	746.46	772.10	400.65	230.77	131.04	68.98	46.99	34.16	33.11	106.89	308.61
1977	240.79	338.89	531.94	464.95	237.84	151.12	78.67	47.79	35.08	30.15	21.28	43.29	185.15
1978	204.29	410.32	377.87	555.46	343.09	125.33	63.62	40.01	28.90	23.67	20.26	24.51	184.78
1979	141.11	307.22	584.48	418.72	198.79	155.84	84.35	48.67	42.26	42.43	26.14	26.54	173.05
1980	97.44	464.31	289.24	560.25	315.74	186.61	76.61	47.27	30.46	26.56	24.91	23.24	178.55
1981	69.58	472.90	493.97	419.50	175.54	69.16	49.40	33.04	31.23	22.15	22.34	28.95	157.31
1982	260.48	463.03	323.48	377.89	268.19	108.82	56.11	36.49	24.54	103.11	458.03	745.26	268.79
1983	829.82	760.78	673.08	674.25	582.13	457.95	367.38	258.82	290.31	164.55	120.07	246.91	452.17
1984	232.16	547.74	611.21	485.47	324.75	154.00	97.22	62.84	51.05	49.75	47.26	105.74	230.77
1985	297.97	286.72	456.28	236.23	194.92	133.37	69.61	43.17	33.84	27.65	20.86	55.27	154.66
1986	431.59	488.73	411.89	530.19	262.60	99.78	57.67	38.80	29.51	27.48	40.95	46.77	205.50
1987	394.99	570.28	551.76	632.54	501.56	180.03	88.26	76.63	50.23	53.08	44.81	43.85	265.67
1988	292.95	547.49	399.44	335.29	388.97	146.92	86.20	51.41	40.37	36.25	43.40	53.18	201.82
1989	290.26	753.32	749.50	533.68	340.61	141.02	97.96	59.11	43.56	56.39	47.04	54.75	263.93
1990	117.87	464.37	323.87	403.08	241.58	130.37	73.81	43.93	29.34	25.15	20.31	22.85	158.04
1991	91.13	603.06	568.25	423.78	290.80	128.13	68.33	43.54	28.51	23.70	20.04	77.27	197.21
1992	266.42	712.75	788.48	740.11	632.00	366.94	131.09	71.54	48.38	39.32	31.82	34.92	321.98
1993	216.66	677.80	699.23	617.93	384.88	166.59	87.33	50.53	38.91	36.88	34.20	59.60	255.88
1994	149.30	620.45	472.41	500.11	397.26	157.61	76.42	43.29	27.60	25.87	20.96	119.83	217.59
1995	409.16	466.37	334.43	507.73	221.72	166.99	97.92	63.42	37.35	30.21	35.83	30.82	200.16
1996	192.16	443.01	621.42	428.64	208.95	98.99	55.87	35.02	24.41	18.21	15.08	14.69	179.70
1997	151.72	426.09	566.52	521.24	426.94	348.86	264.38	216.80	361.66	389.99	663.18	790.03	427.28
1998	697.36	702.71	760.35	723.45	569.12	436.82	229.43	135.37	81.03	56.66	41.67	29.23	371.93
1999	104.99	530.35	581.10	562.11	447.78	138.04	89.73	47.21	40.37	41.53	35.70	117.56	228.04
2000	217.37	422.11	Sd										
2001	Sd												
2002	Sd	18.18	21.21	20.51	109.17								
2003	369.90	453.86	448.90	423.18	303.25	145.77	81.17	37.73	16.84	19.30	10.09	14.04	193.67
2004	155.17	256.82	295.60	496.87	335.16	179.11	Sd	Sd	Sd	Sd	15.78	22.56	Sd
2005	106.65	202.51	Sd	32.48	12.07	21.92	Sd						
2006	155.60	496.43	685.66	344.21	118.01	16.33	13.33	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Sd Sin Datos

(Fuente: INAMHI)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, a partir de los caudales medios mensuales de la estación Vinces se pueden establecer los caudales medios mensuales del Rio Pula (Ver tabla 15), usando la ecuación de Pula en Palizada:

$$Q(Pula)_{Palizada} = 0.3923 Q_{Vinc}^{0.9208}$$

Tabla 14: Caudal medio mensual Pula en Palizada, zona de estudio

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m ³ /s)													
PULA EN PALIZADA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	61.80	102.28	109.98	128.54	51.98	29.43	20.20	13.96	13.73	14.16	16.06	16.97	48.26
1965	50.78	90.63	124.03	162.19	130.54	61.43	35.86	19.01	14.71	20.26	17.34	19.15	62.16
1966	94.11	146.08	138.80	86.18	62.17	49.11	21.32	15.20	10.66	16.89	10.27	14.32	55.43
1967	70.96	138.66	112.91	50.03	49.72	34.66	17.44	10.70	7.16	6.61	4.63	7.39	42.57
1968	26.71	72.03	69.63	51.67	29.92	16.90	10.49	6.11	5.65	5.75	7.03	6.15	25.67
1969	39.99	46.22	93.62	134.43	77.42	63.86	33.03	15.26	10.41	6.98	6.34	16.81	45.37
1970	58.07	90.68	85.08	118.57	100.07	42.63	22.14	13.15	8.98	7.25	6.26	10.16	46.92
1971	41.15	112.94	160.45	124.17	44.31	27.42	18.28	12.24	11.99	11.53	9.34	16.11	49.16
1972	61.26	121.28	158.27	136.18	86.99	102.57	61.00	29.85	22.01	24.43	17.57	56.91	73.19
1973	112.89	172.02	131.68	172.12	100.95	60.19	39.85	21.46	18.98	17.70	13.21	15.98	73.09
1974	33.53	95.33	117.02	66.98	81.40	34.92	19.38	12.22	9.21	10.34	9.33	29.95	43.30
1975	106.91	178.00	168.80	142.08	74.71	50.20	28.34	17.21	13.49	11.47	9.76	13.85	67.90
1976	86.16	181.20	173.41	178.89	97.78	58.83	34.94	19.35	13.59	10.13	9.84	28.96	74.42
1977	61.18	83.81	126.94	112.14	60.49	39.84	21.84	13.80	10.38	9.03	6.55	12.60	46.55
1978	52.59	99.95	92.65	132.10	84.77	33.54	17.96	11.72	8.69	7.23	6.26	7.46	46.24
1979	37.41	76.57	138.44	101.83	51.28	40.99	23.29	14.04	12.32	12.37	7.92	8.03	43.71
1980	26.60	112.00	72.43	133.15	78.52	48.38	21.31	13.66	9.12	8.04	7.58	7.11	44.82
1981	19.51	113.91	118.57	102.01	45.73	19.40	14.23	9.83	9.33	6.80	6.85	8.70	39.57
1982	65.78	111.71	80.29	92.65	67.57	29.45	16.00	10.77	7.47	28.02	110.60	173.16	66.12
1983	191.17	176.47	157.65	157.91	137.93	110.59	90.28	65.39	72.68	43.09	32.24	62.61	108.17
1984	59.16	130.41	144.26	116.69	80.58	40.54	26.54	17.76	14.67	14.32	13.66	28.68	57.27
1985	74.45	71.85	110.21	60.12	50.36	35.51	19.51	12.57	10.04	8.34	6.43	15.78	39.60
1986	104.71	117.41	100.30	126.55	66.27	27.19	16.41	11.39	8.85	8.29	11.97	13.53	51.07
1987	96.51	135.34	131.29	148.89	120.25	46.81	24.28	21.32	14.45	15.20	13.01	12.75	65.01
1988	73.29	130.35	97.51	82.99	95.15	38.82	23.76	14.76	11.82	10.70	12.63	15.23	50.58
1989	72.67	174.88	174.06	127.32	84.20	37.38	26.73	16.79	12.67	16.07	13.60	15.64	64.34
1990	31.69	112.01	80.38	98.32	61.37	34.78	20.60	12.77	8.81	7.64	6.28	7.00	40.14
1991	25.01	142.49	134.90	102.96	72.79	34.22	19.18	12.67	8.58	7.24	6.20	21.48	48.98
1992	67.16	166.19	182.38	172.05	148.77	90.18	34.95	20.01	13.96	11.53	9.49	10.34	77.25
1993	55.51	158.67	163.28	145.72	94.23	43.58	24.05	14.53	11.42	10.87	10.14	16.91	62.41
1994	39.40	146.27	113.80	119.93	97.02	41.41	21.27	12.60	8.33	7.84	6.46	32.18	53.87
1995	99.69	112.46	82.79	121.61	56.71	43.68	26.72	17.91	11.00	9.05	10.59	9.22	50.12
1996	49.71	107.26	146.48	104.05	53.69	26.99	15.94	10.37	7.44	5.68	4.77	4.66	44.75
1997	39.99	103.48	134.52	124.59	103.67	86.08	66.68	55.55	88.98	95.38	155.52	182.71	103.10
1998	162.88	164.03	176.38	168.49	135.09	105.88	58.52	36.00	22.44	16.14	12.17	8.78	88.90
1999	28.49	126.59	137.70	133.55	108.32	36.66	24.65	13.65	11.82	12.13	10.55	31.62	56.31
2000	55.68	102.59	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
2001	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
2002	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	5.67	6.53	6.33	29.53	
2003	90.85	109.68	108.57	102.83	75.66	38.54	22.48	11.10	5.28	5.99	3.30	4.47	48.23
2004	40.82	64.92	73.90	119.21	82.96	46.59	Sd	Sd	Sd	Sd	4.98	6.91	Sd
2005	28.90	52.17	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	9.67	3.89	6.73	Sd
2006	40.93	119.11	160.36	85.02	31.73	5.13	4.26	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Sd Sin Datos

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Con estos datos procederemos a determinar la persistencia para nuestro proyecto, para ello se colocan los valores de mayor a menor y se calcula la probabilidad empírica en porcentaje para cada uno de los datos de la serie, y se gráfica en un eje de coordenadas los valores de la probabilidad empírica vs los caudales registrados como se muestra en la figura 11:

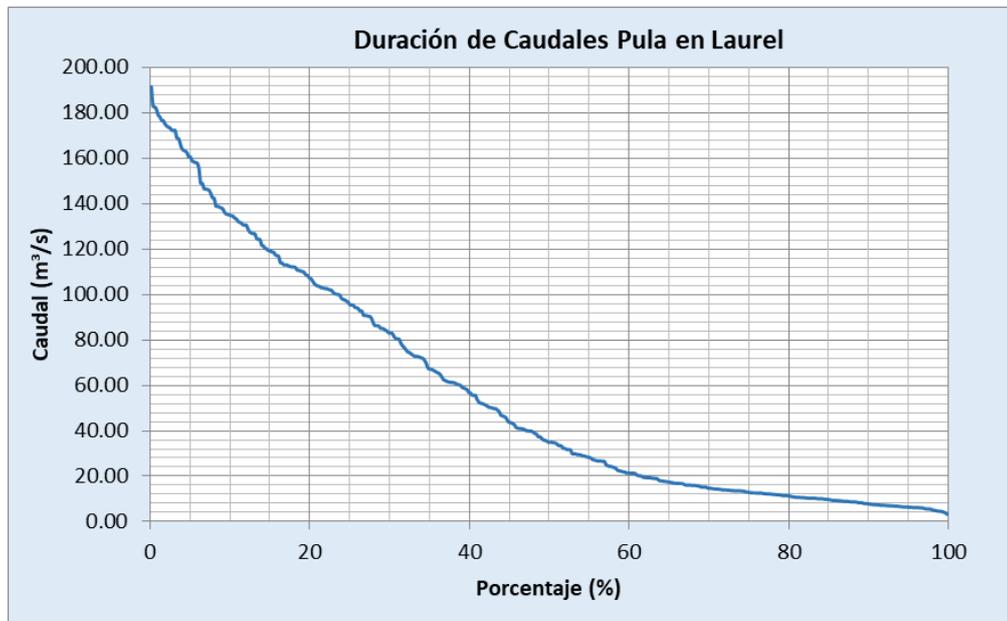


Ilustración 11: Curva duración de caudales del Pula en Laurel
Elaborador por: Jonathan Merizalde

Para determinar el nivel de agua se usa el método de sección pendiente, la pendiente del río pula equivale a 0.0002 m/m y la sección del río Pula en el sitio de la captación la que se muestra a continuación, la misma fue obtenida mediante una topografía que se realizó en el sitio (Ver figuras 12 y 13):



Ilustración 12: Batimetría del Río Pula en el punto de captación
Elaborado por: Jonathan Merizalde

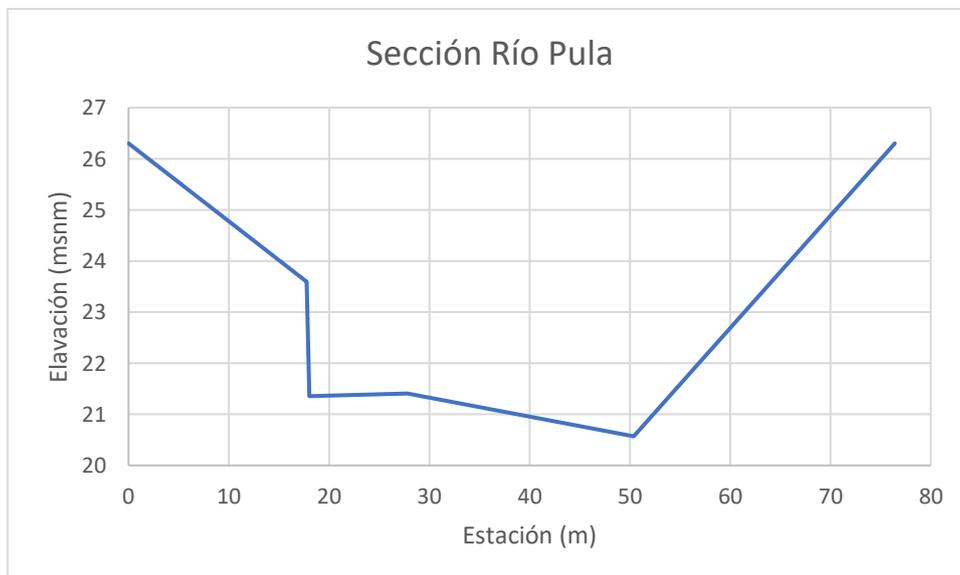


Ilustración 13: Sección del Río Pula
Elaborado por: Jonathan Merizalde

En la tabla 15 se muestran los caudales obtenidos para diferentes persistencias a partir de la curva duración:

Tabla 15: Caudales según persistencia Rio Pula

% de Pers	Q (m ³ /s)
70	14.34
75	12.89
80	11.39
85	9.71
90	7.84
95	6.37
97	5.75

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Usando el del 85 % se obtiene el siguiente nivel de agua, utilizando el software Flow master, el cual es una calculadora hidráulica desarrollada por Bentley (Ver figuras 14 y 15).

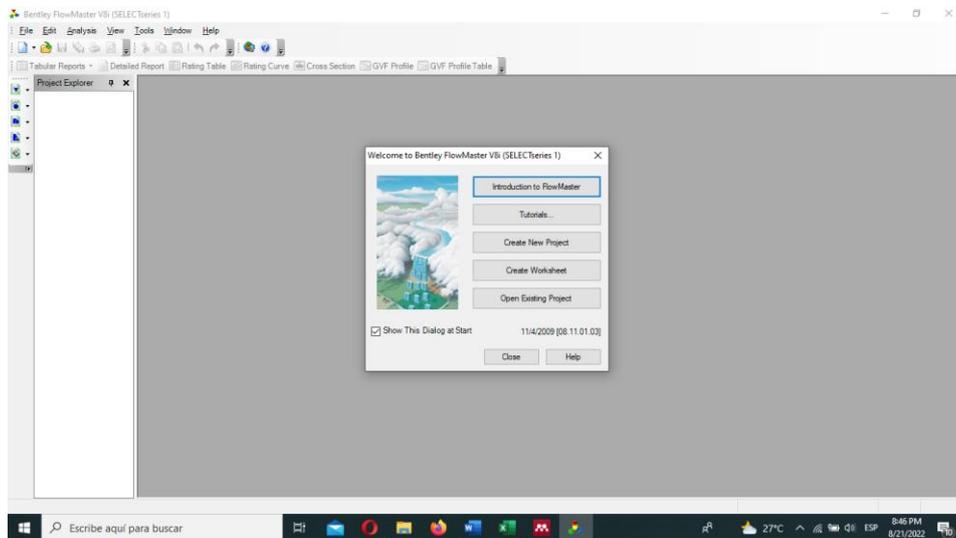


Ilustración 14: Ingreso de datos al Software FlowMaster
Elaborado por: Jonathan Merizalde

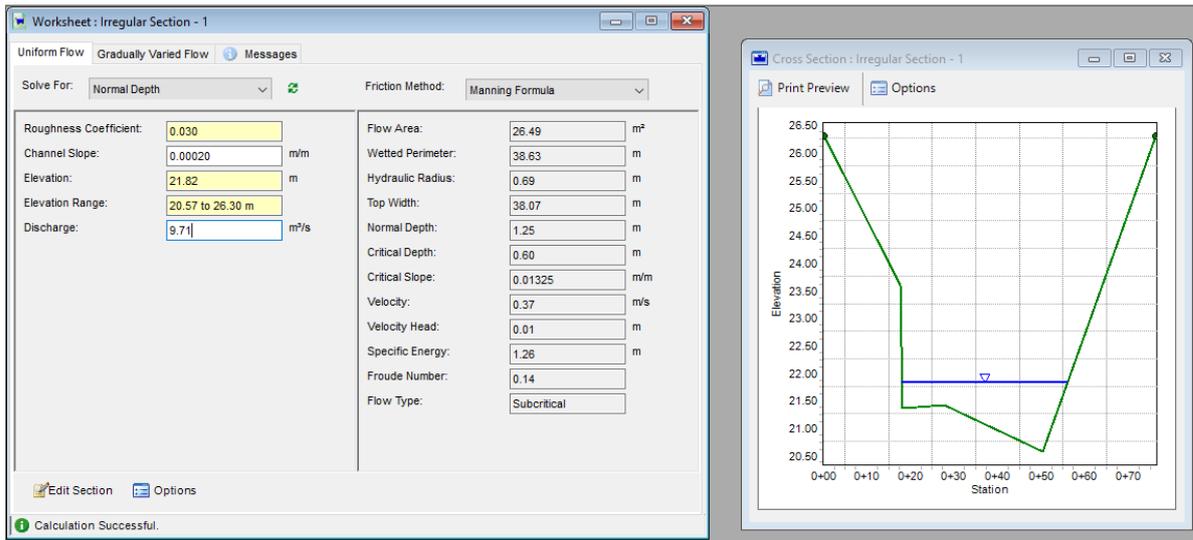


Ilustración 15: Tirante para caudal de $9.71\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 85%
Elaborador por: Jonathan Merizalde

De la figura 15 se puede concluir que para un caudal de $9.71\text{m}^3/\text{s}$ se tiene un tirante de agua de 1.25 m para una persistencia de 85%.

Usando el caudal de $7.84\text{m}^3/\text{s}$ requerido para una persistencia del 90 % se obtiene el siguiente nivel de agua, utilizando el software Flow master, el cual es una calculadora hidráulica desarrollada por Bentley (Ver figura 16).

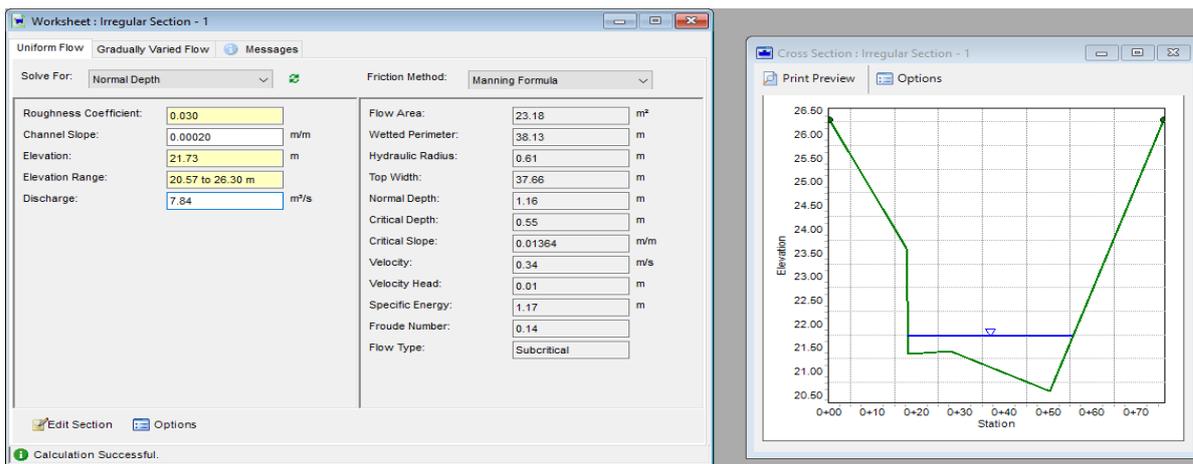


Ilustración 16: Tirante para caudal de $7.84\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 90%
Elaborador por: Jonathan Merizalde

De la figura 16 se puede concluir que para un caudal de $7.84\text{m}^3/\text{s}$ se tiene un tirante de agua de 1.16 m para una persistencia de 90%.

Finalmente, para un caudal de $6.37\text{m}^3/\text{s}$ y una persistencia de 95% se obtiene los siguientes resultados, ver figura 17:

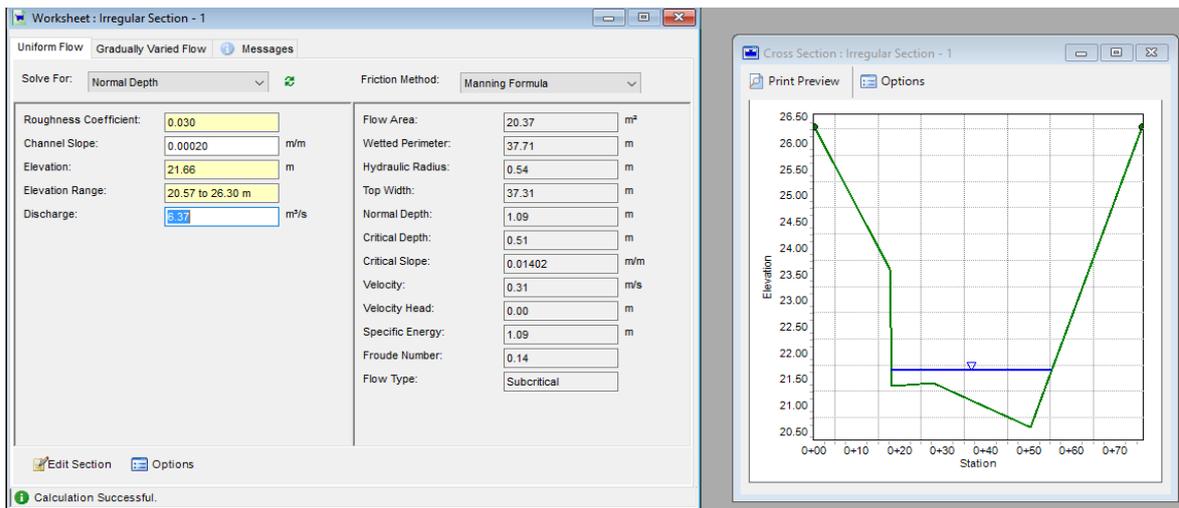


Ilustración 17: Tirante para caudal de $6.37\text{m}^3/\text{s}$ y persistencia del 95%
Elaborador por: Jonathan Merizalde

De la figura 17 se puede concluir que para un caudal de $6.37\text{m}^3/\text{s}$ se tiene un tirante de agua de 1.09 m para una persistencia de 95%.

Según (Krochin, 1986, p. 356) para proyectos de agua potable se usa un porcentaje de persistencia que oscila entre un 90 y 97%.

En base a los datos históricos de la estación Pula en Laurel, información de los habitantes del lugar respecto a los niveles mínimos del Río en época de estiaje, batimetría y resultados obtenidos en el software flowmaster se puede concluir que:

- a) El Río Pula tiene un caudal medio mensual de $6.37\text{ m}^3/\text{s}$ para una persistencia al 95%, muy superior al caudal requerido por la planta potabilizadora de $0.034\text{ m}^3/\text{s}$ (34 L/s), garantizando que siempre habrá disponibilidad de agua.
- b) El tirante de agua en época de estiaje supera el 1.09m requerido para una persistencia del 95% en sistemas de agua potable, permitiendo captar durante todo el año el agua cruda necesaria para su posterior potabilización.

4.2 Análisis del Sistema de Bombeo e Impulsión Existente

4.2.1 Antecedentes.

El presente estudio corresponde a una evaluación y diagnóstico del sistema de captación e impulsión hacia la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia El Laurel, ubicada en el cantón Daule, provincia del Guayas.

El análisis objeto de estudio permitirá identificar fortalezas y debilidades de los sistemas de captación e impulsión del sistema de agua potable de la parroquia, que abastece a la cabecera parroquia El Laurel, el centro poblado Yurima, los recintos El Salto, San Vicente, Judipa, Las Playas y Los Quemados, y 23 caseríos. A partir de los problemas que se identifiquen, se propondrán alternativas para solucionarlos, justificados técnicamente a partir de un análisis hidráulico.

Para realizar el análisis hidráulico del sistema, se utilizará el software WaterGems, que es una poderosa herramienta que permite diagnosticar y diseñar sistemas de agua potable, y en general, sistemas con fluidos a presión. Para ingresar en el programa las variables estructurales, mecánicas, topográficas y de configuración de los sistemas de captación / impulsión del agua cruda hasta la planta de tratamiento de agua potable, se realizaron levantamientos y relevamientos de información en campo. Dicha información se ingresa en WaterGems, y permite realizar el modelamiento hidráulico del sistema.

Para que los resultados obtenidos en WaterGems sean confiables, se deberá trabajar en la calibración del modelo. La calibración es el proceso más importante dentro del análisis hidráulico del funcionamiento de un sistema existente, y consiste en contrastar la información obtenida del modelo con la medida y observada en campo. Se debe seleccionar uno o varios parámetros para realizar la comparación entre los valores obtenidos en el modelo y los medidos

en campo, mientras más se parezcan estos valores, mejor calibrado está el modelo, y por lo tanto es más preciso para predecir que efecto tendrá la aplicación de una actuación en el sistema. Para efectos de este análisis se tomará como variable para la calibración del modelo el caudal de agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento, registrado de manera indirecta por un medidor volumétrico. Se espera lograr un error relativo entre lo registrado por el equipo de medición de la planta y el modelo de WaterGems del 10% o menor.

4.2.2 Información Base.

Dentro del análisis y evaluación del funcionamiento del sistema existente, se toma en cuenta la normativa vigente establecida por el Ministerio de Ambiente y Agua MAAE, antes conocido como SENAGUA, las “Normas para estudio y diseños de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”, ya que la parroquia El Laurel tiene una población total proyectada para el año 2022 superior a 1000. Esta normativa también establece las consideraciones de diseño de un sistema de agua potable, para determinar proyecciones poblaciones, dotaciones de agua, caudales de captación, impulsión, tratamiento, y distribución; además de volúmenes de almacenamiento.

También se realizaron levantamientos topográficos, relevamientos de los equipos de bombeo, levantamiento de la línea de impulsión existente, y aforo volumétrico de la cantidad de agua cruda que ingresa a la planta mediante un medidor instalado en el sitio.

4.2.3 Población Actual y Futura.

La población actual de la parroquia El Laurel se determina con base en el último censo realizado en el año 2010 en Ecuador. Según información del INEC, para el año 2010 la población de la parroquia El Laurel era de 9882 habitantes.

La normativa establece que: “...para el cálculo de la población futura se harán las proyecciones de crecimiento utilizando métodos conocidos (proyección aritmética, geométrica, incrementos diferenciales, comparativo, etc.) que permitan establecer comparaciones que orienten el criterio del proyectista (INEN, 1997). En este sentido, y para poblaciones como la de El Laurel, se ha demostrado que las proyecciones geométricas son las que más se ajustan a la realidad del crecimiento poblacional del sector. Para objeto de la proyección poblacional se establece una tasa de crecimiento constante de 1.5 a lo largo de los 25 años de periodo de diseño del sistema.

Bajo esta consideración, la población actual para el año 2022 es de 11815 habitantes. Realizando la proyección poblacional, considerando la tasa de crecimiento anual de 1.5, con proyección geométrica y considerando como periodo de diseño 25 años, se obtiene los datos de la tabla 16:

Tabla 16: Proyección poblacional parroquia El Laurel

Período	Año	Población
0	2022	11815
5	2027	12728
10	2032	13712
15	2037	14772
20	2042	15914
25	2047	17144

Elaborador por: Jonathan Merizalde

Las poblaciones para tener en cuenta para análisis de funcionamiento de bombas, y dimensionamiento de infraestructura de impulsión y tratamiento son para los periodos de 10 años y 25 años de vida útil respectivamente, lo cual se detallará más adelante.

4.2.4 Dotación Caudales y Coeficiente de Variación de Consumo.

La dotación es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos. La normativa del MAAE establece los siguientes rangos de dotaciones a considerar en función del tamaño de la población y el clima (Ver tabla 17):

Tabla 17: Dotaciones de agua potable para diseño

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Fuente: Ministerio de ambiente y agua

La población actual y futura proyectada para El Laurel está entre los 5000 y 50000 habitantes. El clima es cálido, por ser una parroquia de la costa ecuatoriana, por lo tanto, la dotación a elegir debe estar en el rango entre 200 y 230 L/hab*día. Estas dotaciones ya consideran fugas. Se adoptará una dotación de 200 L/hab*día para el análisis, evaluación y rediseño del sistema de captación / impulsión.

Los caudales que se deben considerar para determinar los requerimientos de diseño serán el caudal medio (Qmed), el caudal máximo diario (QMD) y el caudal máximo horario (QMH).

Los caudales máximos diarios y máximos horarios se obtienen usando coeficientes de variación de consumo, y corresponden el máximo consumo diario y horario esperado respectivamente. Los coeficientes de variación de consumo se establecen con base en estudios de sistemas existentes, sin embargo, la normativa del MAAE recomienda utilizar los siguientes valores:

Kmax.día un valor entre 1.3 y 1.5

Kmax.hor un valor entre 2.0 y 2.3

Para el análisis se adoptan los valores de 1.5 y 2.3 para los coeficientes de variación de consumo máximo diario y máximo horario respectivamente, de manera conservadora con el objetivo de evaluar una condición crítica. Los valores obtenidos, para diferentes periodos dentro de la vida útil del sistema de agua potable, son los siguientes (Ver tabla 18):

Tabla 18: Caudales medios y máximos para parroquia Laurel

Período	Año	Población	Qmed (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
0	2022	11815	27.3	41.0	62.9
5	2027	12728	29.5	44.2	67.8
10	2032	13712	31.7	47.6	73.0
15	2037	14772	34.2	51.3	78.6
20	2042	15914	36.8	55.3	84.7
25	2047	17144	39.7	59.5	91.3

Elaborador por: Jonathan Merizalde

4.2.5 Caudal de Diseño y Volumen de Almacenamiento

Para la obtención del caudal de diseño y volumen de almacenamiento requerido se utiliza lo establecido en la tabla 19:

Tabla 19: Caudales de diseño para sistemas de agua potable

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 %

Fuente: Ministerio de ambiente y agua

Finalmente, el volumen de almacenamiento (V_{total}) corresponde a la suma de los volúmenes obtenidos para regulación (V_{reg}), contra incendios (V_{inc}) y de emergencia (V_{emerg}). Para el caso de estudio, los requerimientos de diseño de caudal y volúmenes son los mostrados en las tablas 20 y 21:

Tabla 20: Caudal de diseño para el sistema de captación

Período	Año	Población	Qcapt (L/s)	Qimp (L/s)	Qtrat (L/s)	Qcond (L/s)	Qdist (L/s)
0	2022	11815	49.2	45.1	45.1	45.1	62.9
5	2027	12728	53.0	48.6	48.6	48.6	67.8
10	2032	13712	57.1	52.4	52.4	52.4	73.0
15	2037	14772	61.6	56.4	56.4	56.4	78.6
20	2042	15914	66.3	60.8	60.8	60.8	84.7
25	2047	17144	71.4	65.5	65.5	65.5	91.3

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Donde Q_{capt} = Caudal de captación, Q_{imp} = caudal de impulsión, Q_{trat} = caudal de tratamiento, Q_{cond} = caudal de conducción y Q_{dist} = Caudal de distribución.

Tabla 21: Volumen de almacenamiento de diseño

Período	Año	Población	Vreg (m ³)	Vinc (m ³)	Vemerg (m ³)	Vtot (m ³)
0	2022	11815	591	172	148	910
5	2027	12728	636	178	159	974
10	2032	13712	686	185	171	1042
15	2037	14772	739	192	185	1115
20	2042	15914	796	199	199	1194
25	2047	17144	857	207	214	1279

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Se resaltan los periodos de vida útil del sistema de 10 años y 25 años porque son relevantes para el análisis de las bombas (vida útil 10 años) y para el dimensionamiento de las partes del sistema tales como captación, impulsión, tratamiento y almacenamiento (vida útil de 25 años).

4.2.6 Levantamiento Topográfico.

Se realizó el levantamiento topográfico de la línea de impulsión, desde la captación sobre el río Pula hasta la descarga en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Para realizar el levantamiento se utilizó equipos GNSS, puntos de control en el terreno, y vuelos con dron (Ver figura 18).

A lo largo de la línea de impulsión, la topografía es regular y casi plana, oscilando en cotas entre 9.40 msnm y 10.12 msnm, excepto la cota de descarga en la planta de tratamiento que se ubica en un punto alto de la parroquia. A partir del levantamiento realizado, se obtuvieron los siguientes datos relevantes para el análisis del funcionamiento de las bombas y de la línea de impulsión:

- a) Cota de nivel de agua en la succión: 5.20m
- b) Cota de eje de bombas en la estación: 9.64m
- c) Cota de ingreso en la planta de tratamiento: 13.70m

El desnivel topográfico existente en el nivel más bajo del río (cota de nivel de succión) y la descarga o ingreso de agua cruda en la planta de tratamiento es de 8.50 m. Este dato es relevante, pues permite evaluar el funcionamiento del sistema bombas / línea de impulsión.

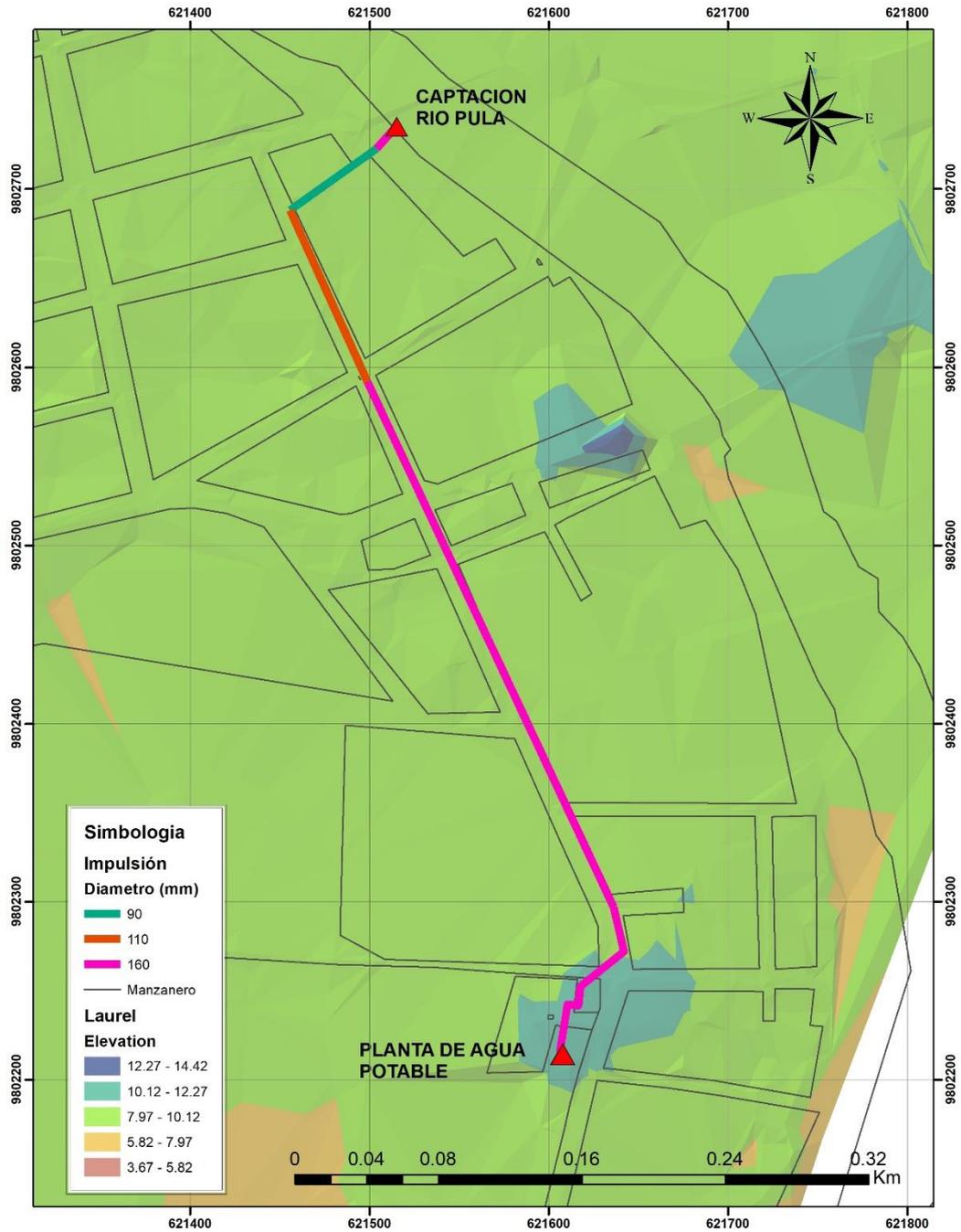


Ilustración 18: Topografía área de estudio
 Elaborador por: Jonathan Merizalde

4.2.7 Equipos de Bombeo.

La estación de bombeo del sistema de captación de agua cruda de la planta potabilizadora de la parroquia El Laurel cuenta con 3 bombas eléctricas, 2 que operan como equipo de trabajo principal y 1 bomba para uso emergente o mantenimiento. Las 3 bombas comparten una misma tubería de succión de 6" de diámetro y con una configuración en paralelo. A continuación, se detalla las bombas existentes:

BAC – 1: Bomba marca Grundfos, centrífuga normalizada con motor, modelo NK 80-250/270, con un punto de rendimiento de diseño de caudal 27.78 L/s y TDH de 32m.

BAC – 2: Bomba marca Grundfos, centrífuga normalizada con motor, modelo NK 80-250/270, con un punto de rendimiento de diseño de caudal 27.78 L/s y TDH de 32m.

BAC – 3: Bomba marca Grundfos, centrífuga normalizada con motor, modelo NK 65-250/270, con un punto de rendimiento de diseño de caudal 26 L/s y TDH 31.80m.

Las bombas para operación normal son las BAC-1 y BAC-2, mientras que la bomba para emergencia es la BAC-3. En la figura 19 se muestra la configuración utilizada para operación de las bombas. Como se puede apreciar, las 3 bombas comparten una misma succión de 6" de diámetro, de material hierro fundido. Cada bomba cuenta con su válvula de mariposa en la succión para ponerla en funcionamiento según convenga. Las bombas se conectan en paralelo, por lo que sus caudales se suman cuando se unen en la única línea de impulsión existente.



Ilustración 19: Configuración existente de equipos de bombeo
Elaborado por: Jonathan Merizalde

Las curvas de rendimiento, eficiencia, y NPSH de los equipos de bombeo instalados, se muestran a continuación (Ver figuras 20 y 21):

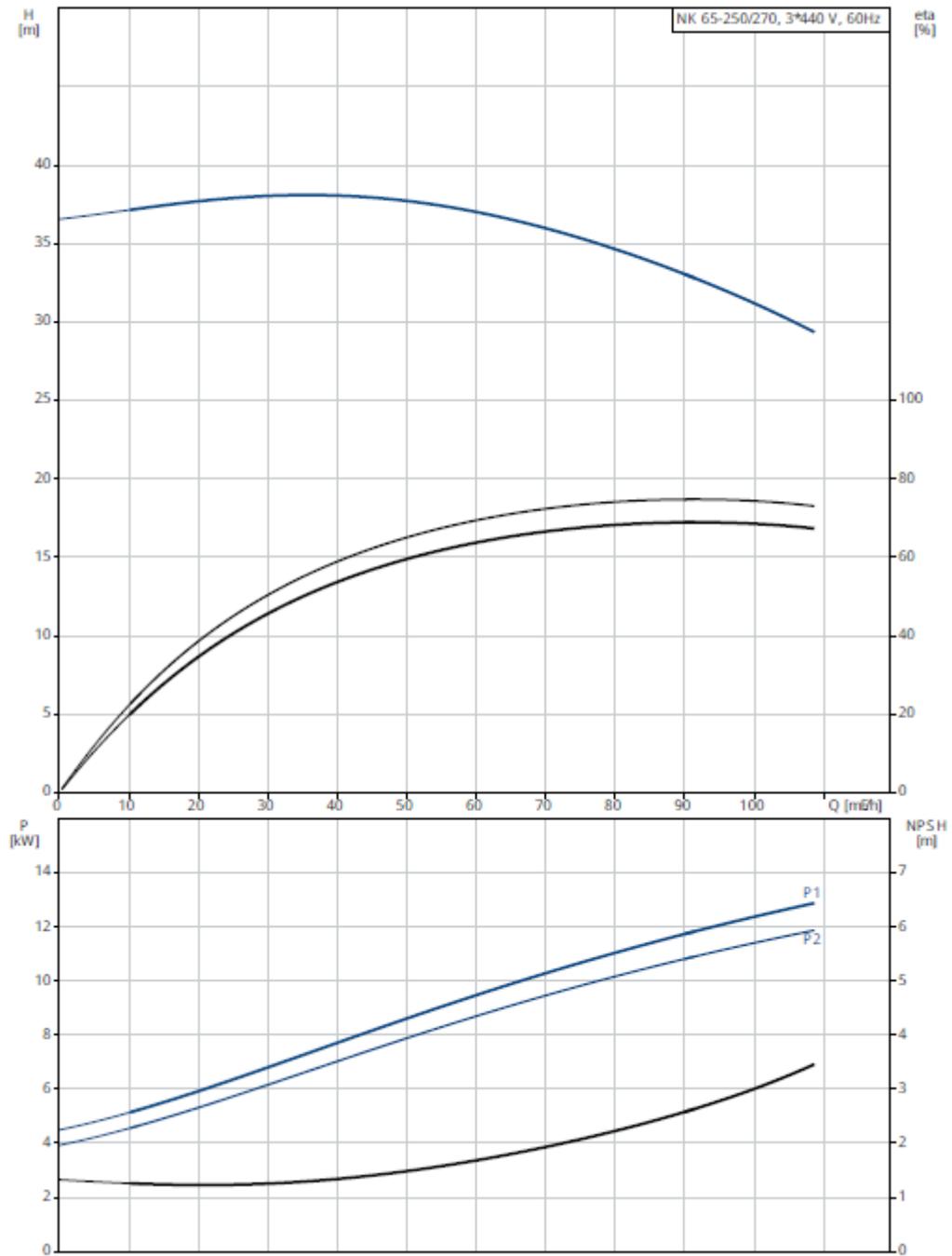


Ilustración 20: Curva de rendimiento de bomba NK-65
 Fuente: Acero comercial,2020

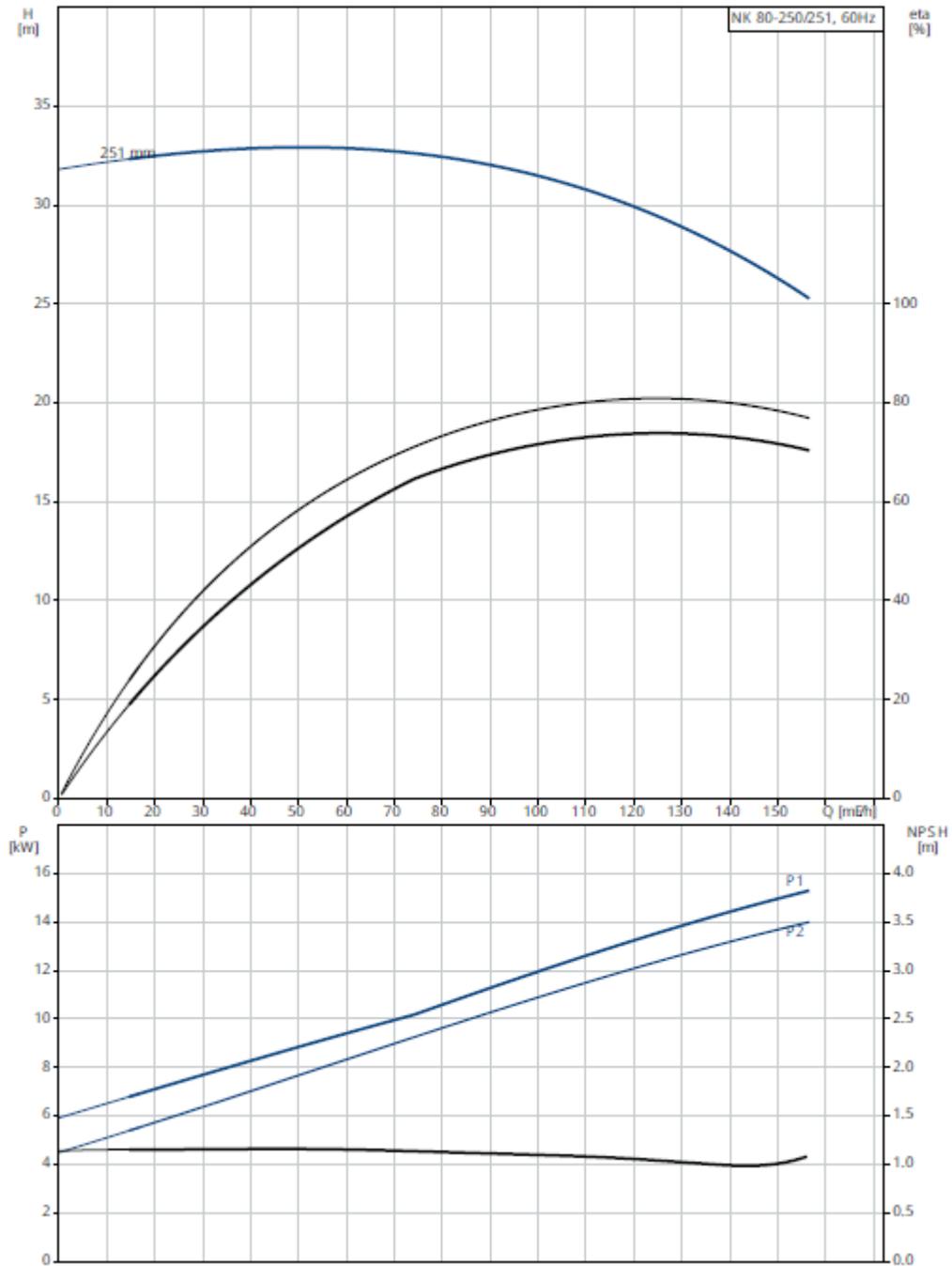


Ilustración 21: Curva de rendimiento de bomba NK-80
Fuente: Acero comercial,2020

Esta información es muy importante, y se ingresará en el modelo hidráulico para realizar la evaluación y diagnóstico del funcionamiento del sistema captación / impulsión existente.

4.2.8 Línea de Impulsión Actual.

La línea de impulsión existente cuenta con varios diámetros y materiales, mismo que fueron levantados para efectos de esta evaluación. Se cuenta con diámetros de 6" de material hierro fundido en la succión y en un tramo corte en la descarga, mientras que la impulsión es de PVC de 90mm, 110mm y 160mm de diámetro. La figura 22 muestra la implantación georreferenciada, resultado del levantamiento realizado.

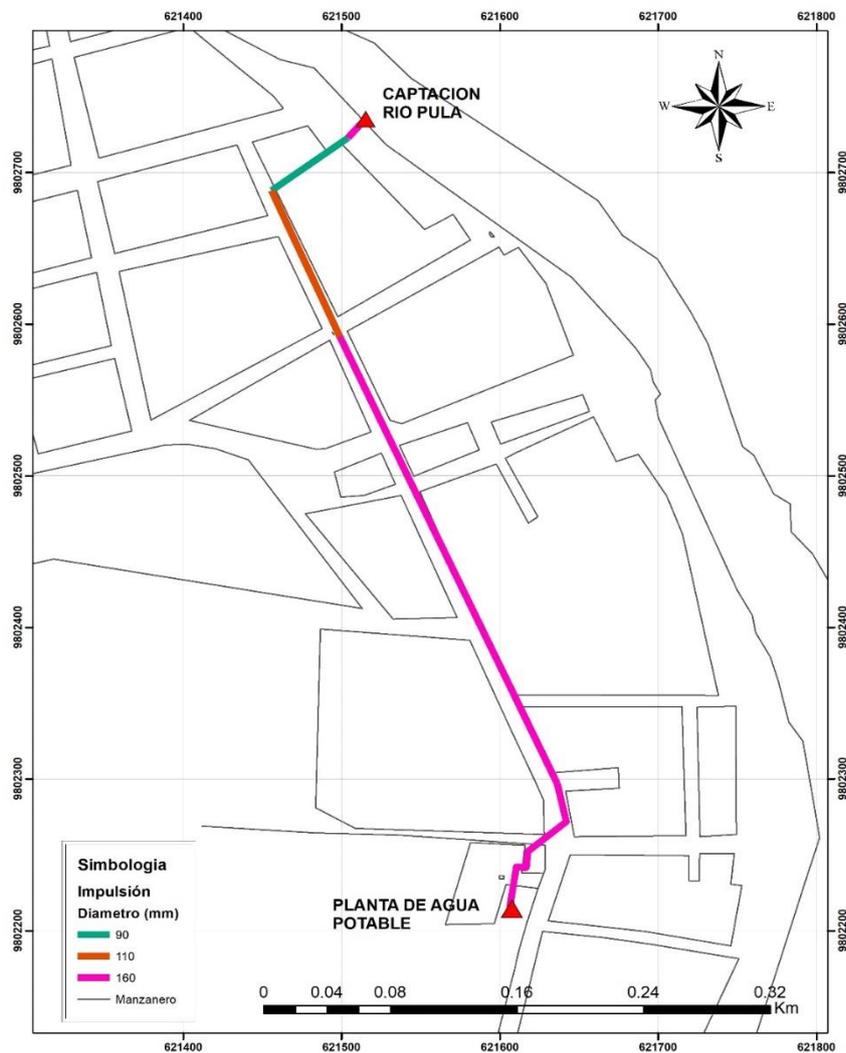


Ilustración 22: Implantación de línea de impulsión existente
Elaborado por Jonathan Merizalde

4.2.9 Caudal de Ingreso de Agua Cruda en la PTAP Existente.

En el ingreso de la planta de tratamiento se encuentra instalado un medidor volumétrico, que afora la cantidad de agua cruda que llega y es tratada en la planta (Ver figura 23). Se solicitó la información registrada a la empresa gestora del agua en la parroquia El Laurel y se obtuvo los resultados de la tabla 22.

Tabla 22: Caudal de ingreso de agua cruda a la planta potabilizadora

Periodo	Captación [m ³]	Distribución [m ³]	Gasto Interno [m ³]	Caudal agua cruda ingreso a la PTAP [L/s]
abr-20	41180	39834	1346	15.89
may-20	44536	43280	1256	17.18
jun-20	48727	44806	3921	18.80
jul-20	47369	43347	4022	18.28
ago-20	54093	47976	6117	20.87
sep-20	46760	45345	1415	18.04
oct-20	49440	47983	1457	19.07
nov-20	48360	43574	4786	18.66
dic-20	52730	45320	7410	20.34
ene-21	53950	43461	10489	20.81
feb-21	47370	40611	6759	18.28
mar-21	60660	45409	15251	23.40
abr-21	58214	44120	14094	22.46
may-21	59437	45464	13973	22.93
jun-21	56000	42994	13006	21.60
jul-21	60220	46445	13775	23.23
ago-21	60900	46608	14292	23.50
sep-21	58400	44639	13761	22.53
oct-21	60500	46344	14156	23.34
nov-21	58700	44892	13808	22.65
dic-21	60530	46170	14360	23.35
ene-22	58700	45800	12900	22.65
feb-22	53760	41888	11872	20.74
mar-22	61712	48136	13576	23.81

Fuente: EMAPA EP DAULE, 2022



Ilustración 23: Medidor volumetrico de agua cruda que ingresa a la PTAP
Fuente: EMAPA EP DAULE, 2022

Estos caudales registrados por el medidor son importantes porque nos permitirán calibrar el modelo hidráulico desarrollado. Una vez el modelo esté calibrado, con un bajo porcentaje de error relativo, servirá para identificar problemas en el sistema, y para la propuesta de mejoras.

4.2.10 Información Disponible.

Tomando en consideración el año 0, el caudal que debe ser impulsado a la planta de tratamiento para la población actual, es de 45.1 L/s (Ver tabla 21). De acuerdo con la información reportada por la empresa gestora del agua de la parroquia El Laurel, el caudal que llega a la planta es de 20 a 23.5 L/s, lo que claramente indica que existe un déficit importante, es decir, solo llega el 52% del caudal de agua cruda requerido en el diseño.

Disponemos de la siguiente información levantada en campo:

- a) Levantamiento topográfico de la línea de impulsión.
- b) Levantamiento de la línea de impulsión.
- c) Relevamiento de los equipos de bombeo, incluyendo la altura de succión de las bombas.
- d) Caudales de ingreso a la planta de tratamiento de agua potable.

Esta información sirve para la modelación hidráulica, y se busca representar en el software de modelación WaterGems lo que está ocurriendo en la realidad. A continuación, se muestra a detalle los pasos seguidos para elaborar el modelo hidráulico en WaterGems.

4.2.11 Elementos Usados para la Modelación en Watergems.

La tabla 23 muestra los elementos utilizados en WaterGems para elaboración del modelo hidráulico

Tabla 23: Elementos del software utilizados en la modelación del sistema

Icono	Nombre	Descripción
	Reservorio	Se ubica en la pestaña Layout. Este elemento se utiliza en el modelo para representar a la fuente de captación, el río Pula, y el punto de descarga, la planta de tratamiento.
	Bomba (pump)	Se ubica en la pestaña Layout. Este elemento se utiliza para modelar las bombas existentes. Se debe definir en la bomba su curva de rendimiento.
	Tubería (Pipe)	Se ubica en la pestaña Layout. Este elemento se utiliza para modelar las tuberías dentro del programa. Se debe definir el diámetro y el material de la tubería previo a la modelación.
	Nodo (Junction)	Se ubica en la pestaña Layout. Este elemento sirve de enlace para conectar las tuberías ingresadas en el programa. A estos elementos se les asigna las cotas de terreno para considerar los desniveles que se dan en las tuberías.
	TRex	Se ubica en la pestaña Tools. Esta es una función que permite, de manera rápida, asignar a todos los elementos del modelo (reservorios, bombas, nodos, etc.) las cotas de una superficie.

Icono	Nombre	Descripción
	Definición de bombas (pump definition)	Se ubica en la pestaña Components. En este apartado se define las curvas de las bombas utilizadas en el modelo.
	Escenarios	Se ubica en la pestaña Home. Este botón permite evaluar varios escenarios en el mismo modelo. Por ejemplo, para el caso específico de estudio, el escenario 1 es ver el funcionamiento del sistema con una sola bomba encendida, y el escenario 2 el funcionamiento con dos bombas trabajando.
	Modelar (compute)	Se ubica en la pestaña Home. Este botón hace la corrida del modelo, en el escenario que se haya definido. Una vez realizada la corrida del modelo, se pueden analizar los resultados obtenidos.

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Con las herramientas antes definidas, se procedió a construir el modelo hidráulico, con información georreferenciada al sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 17S. Con la herramienta TRex se asignó a todos los elementos del modelo las cotas de terreno. A partir del levantamiento topográfico realizado, se generó una superficie TIN en Civil 3D, que luego fue exportada en un archivo LandXML que es admitido por la función TRex en WaterGems.

Mediante la función “pump definition” se procedió a ingresar la información de las curvas de las bombas existentes. Las figuras 24 y 25 muestran capturas del ingreso de estas curvas en el software. Las bombas existentes son marca Grundfos, 2 modelo NK 80 y 1 modelo NK 65.

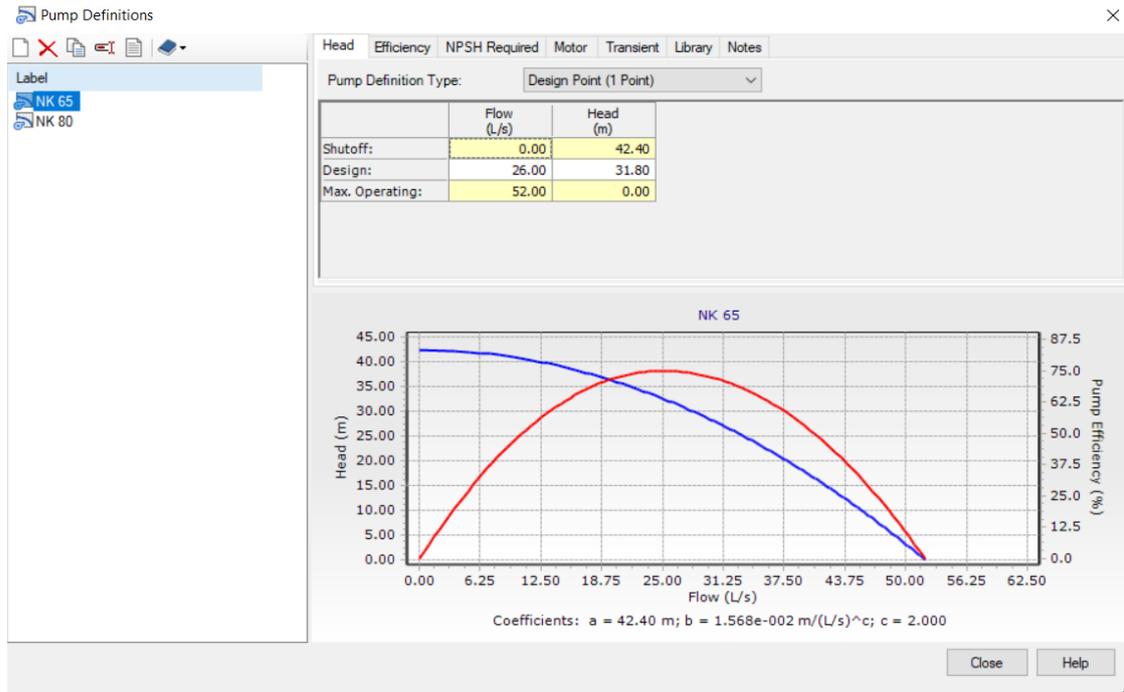


Ilustración 24: Ingreso de la curva de bomba NK65 en el programa
Elaborado por: Jonathan Merizalde

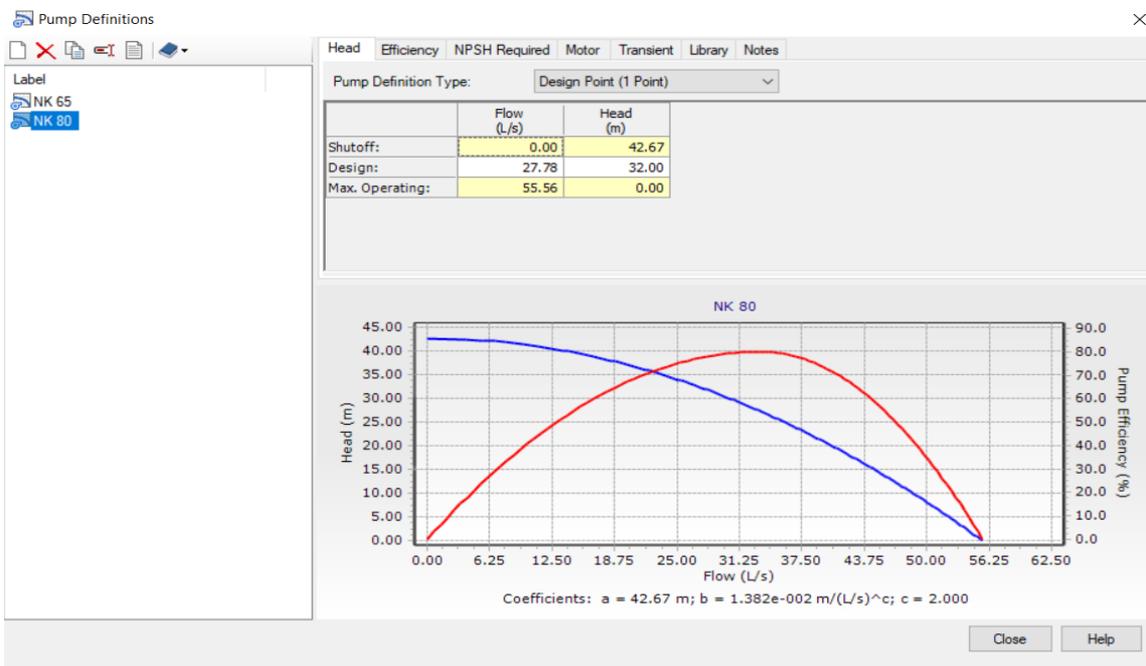


Ilustración 25: Ingreso de la curva de bomba NK80 en el programa
Elaborado por: Jonathan Merizalde

Una vez ingresada esta información se procede a realizar la corrida en el modelo. Con la operación normal, es decir, trabajando las 2 bombas NK 80, se obtiene un caudal de 26.26 L/s, versus el caudal de 23.81 L/s que es el máximo registrado por el medidor en el ingreso de la planta de tratamiento. Se tiene un error relativo de 10.3% entre lo registrado en el modelo, y lo medido en la realidad, lo que es un buen porcentaje de calibración. Se trabajará a partir de este modelo calibrado, para evaluar escenarios actuales, y proponer mejoras.

4.2.12 Escenarios Evaluados.

En base al sistema existente se evaluaron los siguientes escenarios:

4.2.12.1 Escenario 1.

Evaluación del caudal que ingresa a la planta de tratamiento considerando la operación de una bomba NK 80, y las otras dos bombas apagadas.

4.2.12.2 Escenario 2.

Evaluación del caudal que ingresa a la planta de tratamiento considerando la operación normal de la estación de bombeo, es decir, con las 2 bombas NK 80 trabajando.

4.2.12.3 Escenario 3.

Evaluación del caudal que ingresa a la planta de tratamiento considerando que se enciende 1 bomba NK 80 y 1 bomba NK 65, mientras que la otra bomba NK 80 descansa.

4.2.12.4 Escenario 4.

Las 3 bombas se encienden y envían agua cruda a la planta de tratamiento. Este escenario se evalúa con el objetivo de determinar cuál es el máximo caudal que es capaz de enviar la estación de bombeo, bajo la configuración y diámetros que actualmente tiene la línea de impulsión.

La tabla 24 muestra los resultados obtenidos del WaterGems para cada escenario

Tabla 24: Resultados obtenidos del modelo para los escenarios considerados

Escenario / Diámetro interno (mm)	Longitud total (m)	Caudal promedio conducido (L/s)	Velocidad promedio (m/s)	Pérdida de carga total (m)
Escenario 1	591.3	23.34	2.04	26.28
84.2	59.3	23.34	4.19	12.56
103.2	105.5	23.34	2.79	8.29
150.0	426.5	23.34	1.32	5.43
Escenario 2	591.3	25.77	2.25	31.56
84.2	59.3	25.77	4.63	15.09
103.2	105.5	25.77	3.08	9.95
150.0	426.5	25.77	1.46	6.52
Escenario 3	591.3	25.69	2.25	31.38
84.2	59.3	25.69	4.61	15.00
103.2	105.5	25.69	3.07	9.90
150.0	426.5	25.69	1.45	6.48
Escenario 4	591.3	26.28	2.30	32.72
84.2	59.3	26.28	4.72	15.65
103.2	105.5	26.28	3.14	10.32
150.0	426.5	26.28	1.49	6.75

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Los diámetros que se consideran para el análisis hidráulico son los diámetros internos de las tuberías de PVC de 90mm, 110mm y 160mm, para la presión nominal de 0.80 MPa que es lo existente.

En todos los escenarios evaluados, en el tramo de 90mm que se ubica a la salida de la estación de bombeo representa una velocidad de flujo muy alta, con la consecuente pérdida de carga por fricción excesiva (Ver figura 26). En todos los casos analizados, la velocidad del flujo es superior a 4 m/s, cuando lo recomendado es que la velocidad oscile entre 2.0 y 2.5 m/s para no generar pérdidas por fricción excesivas. A pesar de ser un tramo corto, de menos de 60m, el que está instalado con diámetro de 90mm, genera una pérdida de carga superior a 15m cuando trabajan 2 bombas cualesquiera.

En el tramo de tubería de 110mm, que tiene una longitud de 105.5m, se presenta una situación similar, pero en menor escala. La velocidad del flujo alcanza valores cercanos a 3.0 m/s, con pérdidas de carga por fricción que cercanas a 10m.

Trabajando con 2 bombas, bajo la configuración y diámetros actuales de la línea de impulsión, el caudal que se puede entregar a la planta de tratamiento es inferior a 26 L/s, siendo el requerimiento de diseño de la planta de tratamiento para el año 0 (2022) un caudal de 45.1 L/s. Aun trabajando con las 3 bombas simultáneamente, el caudal máximo resultante es de 26.28 L/s. Claramente se tiene un déficit de agua, incluso para el año 0, en cuanto a caudal de impulsión y tratamiento. Se puede notar claramente que el problema se atribuye a una reducida capacidad hidráulica de la línea de impulsión, que trabajando con 2 bombas, genera pérdidas por fricción superiores a 31m, en apenas 591m que tiene la línea de impulsión.



Ilustración 26: Resultados obtenidos en tubería 90mm
Elaborado por: Jonathan Merizalde

4.2.13 Volumen de Almacenamiento.

De acuerdo con lo indicado por las normas de diseño del MAAE, para el año 0 el sistema debe tener una capacidad de almacenamiento de 910 m³ (ver tabla 22), considerando los volúmenes de regulación, contra incendios y de emergencia. De acuerdo con el levantamiento realizado en este estudio, la capacidad de almacenamiento actual es de un tanque de 300 m³. Existe un déficit de almacenamiento, pues solo se cuenta con un volumen del 31% del requerido para el año 0. Para el horizonte de diseño del sistema, de 25 años de vida útil, el volumen requerido proyectado ascenderá a 1279 m³. Se requiere incrementar capacidad de almacenamiento del sistema, ya que este déficit afectará el buen funcionamiento de este en horas pico, cuando se registran caudales punta en la distribución.

4.2.14 Evaluación del NPSH.

La verificación del NPSH de la bomba es importante para diagnosticar problemas relacionados con la cavitación. Llamada Altura de aspiración positiva o NPSH (siglas en inglés Net Positive Suction Head) (Martín et al., 2011).

La NPSH es un factor crucial en el diseño de un circuito de bombeo, que ayuda a conocer si el equipo está expuesto a la cavitación. Cuando la presión de vapor de un fluido es mayor que la presión en algún punto del sistema se generará la cavitación. Este problema causa impedimento al fluido para su libre circulación provocando afectaciones en los equipos del circuito (Martín et al., 2011).

A continuación, se muestra paso a paso como calcular el NPSH de la bomba NK 80, utilizando la curva P-Q-NPSH de la bomba (Ver figura 27):

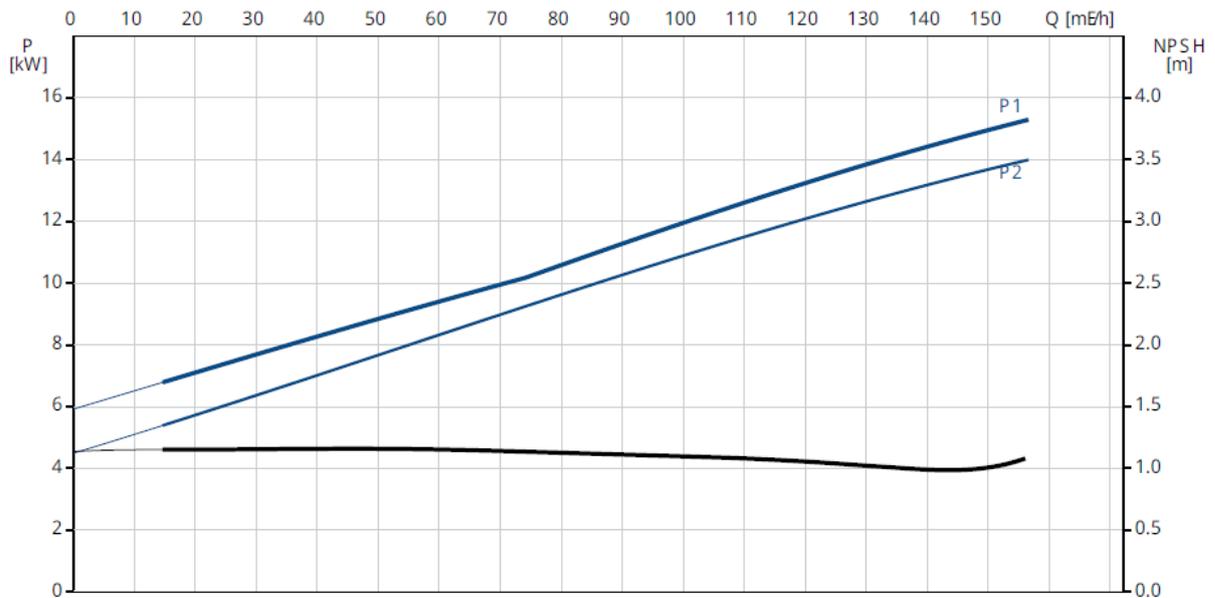


Ilustración 27: Curva P-Q-NPSH de las bombas existentes
Fuente: Acero comercial, 2020

El caudal estimado de la bomba NK 80 es de 27.78 L/s, o 100 m³/h, por lo que el NPSH requerido por el equipo de bombeo es 1.1 m. Para que no existan problemas de cavitación en los equipos de bombeo, se debe cumplir que:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$$

Donde el NPSH_{disp} se calcula como sigue:

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$$

$$H_{succión} + P_{fluido} - P_{vapor} - H_{fsucción} - FS \geq NPSH_{req}$$

Donde:

$H_{succión}$	Altura de succión de la bomba
P_{fluido}	Es la presión a la que está sometida el fluido en el reservorio de bombeo (para este caso específico corresponde a la presión atmosférica por tratarse de captación direct en el río)
P_{vapor}	Es la presión de vapor del líquido bombeado
$H_{fsucción}$	Es la pérdida de carga en la succión
FS	Es un factor de seguridad

A partir de esto se calcula el NPSH disponible en el sistema:

$$H_{\text{succión}}^1 + P_{\text{fluido}} - P_{\text{vapor}}^2 - H_{\text{fsucción}}^3 - FS^4 \geq \text{NPSH}_{\text{req}}$$
$$-4.44 \text{ m} + 10.30 \text{ m} - 0.24 \text{ m} - 0.70 \text{ m} - 0.50 \text{ m} \geq 1.10 \text{ m}$$
$$4.42 \text{ m} \geq 1.10 \text{ m (ok)}$$

Como se aprecia, se cumple la condición $\text{NPSH}_{\text{disp}} \geq \text{NPSH}_{\text{req}}$ por lo tanto la bomba instalada cumple los requerimientos de diseño. Con la configuración actual, no hay riesgo de cavitación.

¹ Altura de succión de la bomba. Diferencia entre el nivel mínimo de agua y el eje de la bomba

² Presión de vapor del fluido. Se tomó la presión de vapor del agua a 20°C por tratarse de agua de río

³ Pérdida de carga en la succión de la bomba. Para la bomba seleccionada no existen elementos en la succión

⁴ Factor de seguridad adoptado en el cálculo de NPSH disponible

4.3 Análisis e Interpretación de Resultados de Situación Actual

En función de los escenarios evaluados y los cálculos realizados para el sistema actual de la estación de bombeo y línea de impulsión se determina lo siguiente:

Las bombas instaladas para la impulsión de las aguas desde la captación sobre el Río Pula, hasta la planta de tratamiento de agua potable, han sido elegidas correctamente. Si se suma la capacidad instalada de 2 bombas, se obtiene un caudal de 55.6 L/s, que cubre sin problemas el requerimiento proyectado a los 10 años de vida útil del sistema, de 52.4 L/s. Esto además indica que, de manera correcta, las bombas han sido seleccionadas para un periodo de vida útil de 10 años.

Existe una importante caída de presión, provocada por la existencia de diámetros con insuficiente capacidad hidráulica para conducir los caudales que son capaces de entregar las bombas. Esto hace que las bombas desplacen su punto de operación y no trabajen de manera eficiente. La pérdida de carga en la tubería de impulsión, trabajando con 2 bombas, da valores superiores a 31m. Las pérdidas de carga se concentran en los diámetros de 90mm y 110mm.

En los tramos de tubería de 90mm y 110mm, para las condiciones de trabajo actual (caudal de 26 L/s), se generan velocidades de flujo muy altas. Solo en los tramos con diámetro de 160mm el conducto está bien dimensionado. Para incrementar el caudal bombeado a la planta de potabilizadora y mejorar los puntos de trabajo de las bombas instaladas, se requiere incrementar los diámetros en la línea de impulsión.

Existe un tramo a la salida de la estación, de 90mm de diámetro, que pasa por debajo de predios privados. Se debe redefinir el trazado en este sector, de manera que la línea de impulsión pase por la calle pública, y evitar posibles problemas por daños que se den en este tramo que actualmente pasa por una zona privada.

Con la configuración actual de la succión y descarga de las bombas, no existe riesgo de cavitación. Se realizó la evaluación respectiva, y se determinó que el NPSH disponible es mayor al requerido, por lo que la cavitación no es un causal del bajo caudal que ingresa a la planta.

Se concluye, de forma categórica, que el problema de déficit de agua impulsada hacia la planta de tratamiento se debe a diámetros deficientes en la tubería de impulsión. Incrementar la capacidad hidráulica de los conductos, sobre todo los tramos de 90mm y 110mm, permitirá incrementar de forma importante el caudal que ingresa a la planta.

Existe un déficit de capacidad de almacenamiento del sistema. Solo se cuenta con un 31% del volumen requerido de acuerdo con lo que indican las normas de diseño del MAAE. Se debe corregir incrementando capacidad de almacenamiento.

4.4 Propuesta de Rediseño

La propuesta consiste en rediseñar el sistema de captación y línea de impulsión de agua cruda de la planta potabilizadora de la parroquia Laurel.

En este apartado se evaluarán 2 propuestas que corresponden a lo siguiente:

- Propuesta para periodo de diseño o vida útil de 10 años.
- Propuesta para periodo de diseño de 25 años.

La propuesta para el diseño de proyecto con periodo de 10 años sirve para determinar las modificaciones que se deberán ejecutar en la línea de impulsión para que las bombas funcionen apropiadamente (en un punto eficiente) durante su periodo de vida útil de 10 años. Es decir, en esta propuesta se establecen los cambios que se deberán hacer para que el sistema logre entregar como caudal de tratamiento 52.4 L/s. Siempre es importante analizar el proyecto a 10 años ya que permite disminuir la inversión inicial en el sistema y evaluar si la proyección de crecimiento poblacional en el año 0 fue correcta. A partir de este análisis se puede plantear incrementar módulos de tratamiento y almacenamiento para cubrir las necesidades del sistema con el periodo de diseño de 25 años.

La propuesta del proyecto o diseño para un periodo de 25 años permite definir cuáles serían los cambios o incrementos que se debe realizar a lo diseñado con un periodo de 10 años, para cumplir con las necesidades del horizonte de diseño. Infraestructura de captación, impulsión, y distribución normalmente se diseña considerando el periodo de 25 años, mientras que la infraestructura de bombeo, almacenamiento y tratamiento se suele dimensionar para 10 años, con incrementos modulares para cubrir las necesidades a 25 años, previa evaluación cuando sea requerido.

4.4.1 Propuesta de Diseño con Periodo 10 Años.

Como ya se determinó, 2 bombas NK 80 trabajando en paralelo, con el diámetro apropiado en la tubería de impulsión, es capaz de impulsar hasta la planta de tratamiento un caudal de 55.6 L/s, lo que cubre sin problemas el requerimiento de diseño para los 10 años de 52.4 L/s. Es necesario cambiar el diámetro de la tubería de impulsión, desde la estación del cuarto de bombas hasta determinado punto, para lograr que las bombas efectivamente entreguen este caudal.

Con la ayuda del programa WaterGems, se procede a incrementar los diámetros en ciertos diámetros en el modelo calibrado de la situación actual. Los cambios realizados en el programa son los siguientes:

- Modificación del trazado de la tubería de impulsión, para eliminar el tramo en donde este pasa por un predio privado. Con esta modificación, la línea de impulsión pasa siempre por calle pública.
- Desde la salida del cuarto o caseta de bombeo, cambio del tramo de 90mm existente por un tramo nuevo de tubería de 200mm de PVC con unión elastomérica.
- Siguiendo el sentido del flujo, cambio del tramo existente con tubería de 110mm por tubería nueva de 200mm de PVC con unión elastomérica.
- Siguiendo el sentido del flujo, cambio de tramo existente de 110.3m de longitud con tubería de 160mm por tubería nueva de 200mm PVC con unión elastomérica. Como referencia, el cambio llega hasta la altura de la Fundación Hermano Miguel.
- De aquí en adelante, se mantiene el diámetro existente con tubería de 160mm de PVC hasta el ingreso a la planta potabilizadora (Ver figura 28).

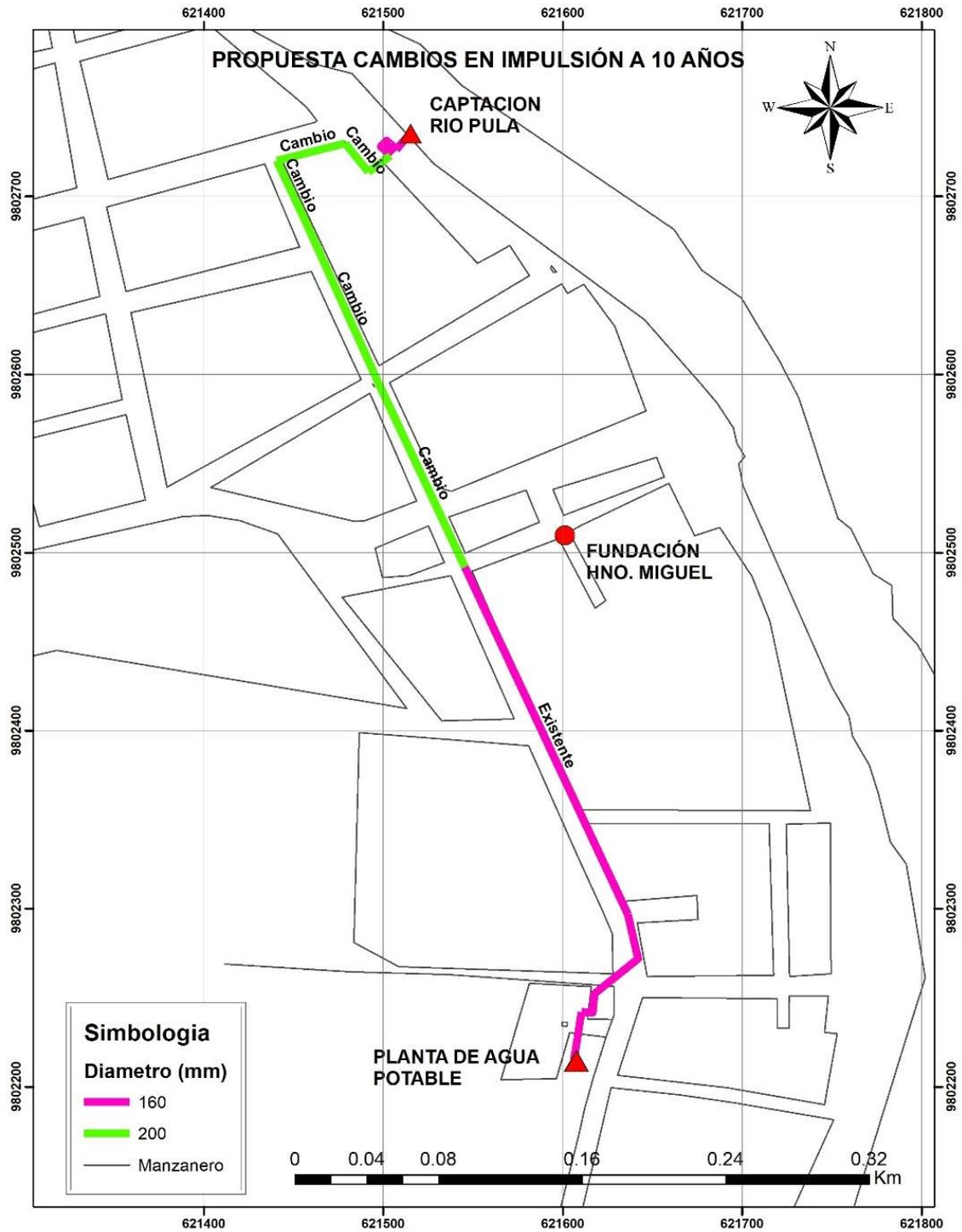


Ilustración 28: Propuesta de diseño periodo 10 años
Elaborado por: Jonathan Merizalde

Con los cambios mostrados en la figura 28, se procede a modelar dos escenarios para evaluar los resultados obtenidos. Los escenarios evaluados son los siguientes:

Escenario 1:

Cambios propuestos en tubería de impulsión con las 2 bombas NK 80 trabajando. Esta sería la operación normal en el cuarto de bombas.

Escenario 2:

Cambios propuestos en tubería de impulsión con 1 bomba NK 80 y 1 bombas NK 65. Esta sería la operación emergente o de mantenimiento de una de las bombas principales.

La tabla 25 muestra los resultados obtenidos de la modelación de estos escenarios en WaterGems:

Tabla 25: Resultados obtenidos de la modelación propuesta a 10 años

Escenario / Diámetro interno (mm)	Longitud total (m)	Caudal promedio conducido (L/s)	Velocidad promedio (m/s)	Pérdida de carga total (m)
Escenario 1	642.6	52.61	2.33	23.41
150.0	316.1	52.61	2.98	18.09
187.6	326.5	52.61	1.90	5.32
Escenario 2	642.6	52.23	2.32	23.11
150.0	316.1	52.23	2.96	17.86
187.6	326.5	52.23	1.89	5.25

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Los diámetros que se muestran en la tabla anterior corresponden a los diámetros internos de las tuberías de 160mm y 200mm de PVC con unión elastomérica, de 0.80 MPa de presión nominal. Como se puede apreciar, en ambos escenarios el caudal que serán capaces de suministrar dos bombas a la planta de tratamiento es superior a 52.2 L/s. El caudal requerido para el tratamiento a 10 años es de 52.4 L/s, por lo que el cambio de diámetro propuesto permite cumplir esta necesidad (Ver figura 29).

En total será necesario instalar 326.5m de tubería existente de 90mm, 110mm y 160mm por tubería nueva de 200mm. Con este cambio se obtienen velocidades de flujo coherentes, y pérdidas de carga más controladas. Es importante hacer hincapié que en esta propuesta se trata de realizar el cambio de diámetro en los tramos requeridos para cubrir el caudal de diseño de la planta de tratamiento a los 10 años de vida útil, que se corresponde además con la vida útil esperada en los equipos de bombeo.



Ilustración 29: Resultados obtenidos en la tubería 200mm periodo 10 años
Elaborado por: Jonathan Merizalde

En cuanto al almacenamiento, la capacidad existente es de 300 m³, versus lo requerido a los 10 años de vida del sistema que es de 1042 m³. Será necesario incrementar el volumen de almacenamiento mediante la construcción de un nuevo tanque de 800 m³.

En cuanto a la eficiencia de las bombas, en operación normal (trabajando las 2 bombas NK 80), el caudal de trabajo es muy cercano al caudal de diseño. Analizando la curva de eficiencia de la bomba, se puede notar el caudal de máxima eficiencia de la bomba NK 80 es de 120 m³/h (33.3 L/s), con una eficiencia del 80%. Para el caudal de trabajo que se obtiene en operación normal, es decir 2 bombas NK 80 trabajando, las bombas entregan un caudal de 26.3 L/s, por lo que la eficiencia baja a 75%, que igual es excelente. Dado que las bombas ya están instaladas (inversión realizada), y que para el punto de trabajo logrado con los cambios en la tubería de impulsión propuestos se logra una buena eficiencia, aunque no es la más alta posible, se concluye que las bombas han sido seleccionadas correctamente.

Para el funcionamiento emergente, utilizando una bomba NK 65, el caudal logrado es el que permite la máxima eficiencia, por lo que esta bomba es perfecta para tiempo de diseño de 10 años (eficiencia lograda del 75%, de acuerdo con información de la hoja técnica del proveedor acero comercial).

4.4.2 Propuesta con Periodo de Diseño 25 Años.

Para el desarrollo de esta propuesta, se analiza los caudales requeridos en la línea de impulsión e ingreso a la planta para la proyección poblacional de 25 años. De acuerdo con lo determinado en la sección 4.2.5, el caudal de tratamiento requerido a 25 años es de 65.5 L/s.

Como se analizó en el apartado 5.1, las bombas existentes son las adecuadas para el tiempo de diseño 10 años, que coincide con el periodo de vida útil del sistema. Es posible que estas bombas también puedan suplir el requerimiento de agua cruda en la planta para el periodo de 25 años, se realizará este análisis, pensando principalmente en la eficiencia.

El enfoque será rediseñar la línea de impulsión existente con un diámetro adecuado para conducir los 65.5 L/s requeridos, asumiendo que las bombas existentes se mantendrán en funcionamiento aun en este periodo. Este es un escenario poco probable, pues la vida útil de las bombas es de alrededor de 10 años aproximadamente, sin embargo, se lo considera dentro del análisis ya que el caudal de operación óptimo es de 33.3 L/s.

De la modelación en WaterGems, se concluye que se deberá cambiar la totalidad de la tubería de impulsión, desde la descarga de las bombas hasta el ingreso a la planta de tratamiento, por un diámetro de 200mm de PVC con unión elastomérica, y presión nominal de 0.80 MPa. Se han modelado 2 escenarios:

Escenario 1: Dos bombas NK 80 trabajando, operación normal.

Escenario 2: Una bomba NK 80 y otra NK 65 trabajando, operación emergente.

La tabla 26 muestra los resultados obtenidos de la modelación:

Tabla 26: Resultados modelo rediseño a 25 años

Escenario / Diámetro interno (mm)	Longitud total (m)	Caudal promedio conducido (L/s)	Velocidad promedio (m/s)	Pérdida de carga total (m)
Escenario 1	642.6	65.94	2.39	17.33
187.6	642.6	65.94	2.39	17.33
Escenario 2	642.6	65.28	2.36	17.03
187.6	642.6	65.28	2.36	17.03

Elaborado por: Jonathan Merizalde

Los caudales entregados por las bombas, bajo los escenarios 1 y 2 planteados, son de 65.94 L/s y 65.28 L/s respectivamente, versus el requerimiento de diseño de 65.5 L/s. Esto indica que, con las bombas existentes actualmente, si es posible impulsar el caudal de diseño requerido en el tratamiento para el periodo de 25 años cambiando de forma obligatoria toda la línea de impulsión a un diámetro unificado de 200mm.

Con el cambio de diámetro de la tubería de impulsión, las condiciones de caudal conducido, velocidad y caída de presión se ubican dentro de valores coherentes y admisibles para el dimensionamiento de acuerdo con la normativa del MAAE vigente.

Las figuras 30, 31 y 32 muestran un esquema de la propuesta de rediseño a 25 años, además de los resultados obtenidos en el WaterGems para los 2 escenarios analizados.

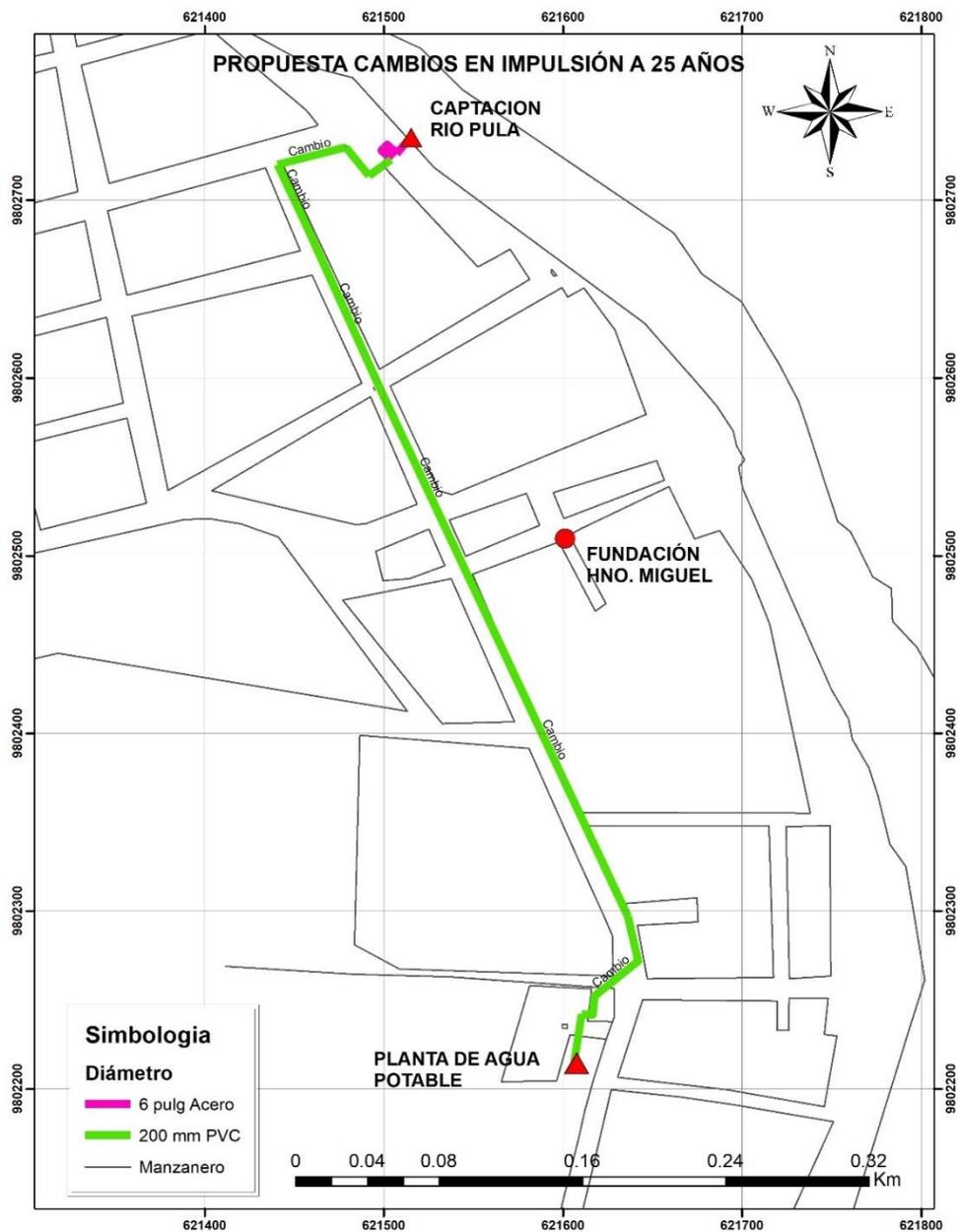


Ilustración 30: Propuesta de diseño periodo 25 años
Elaborado por: Jonathan Merizalde

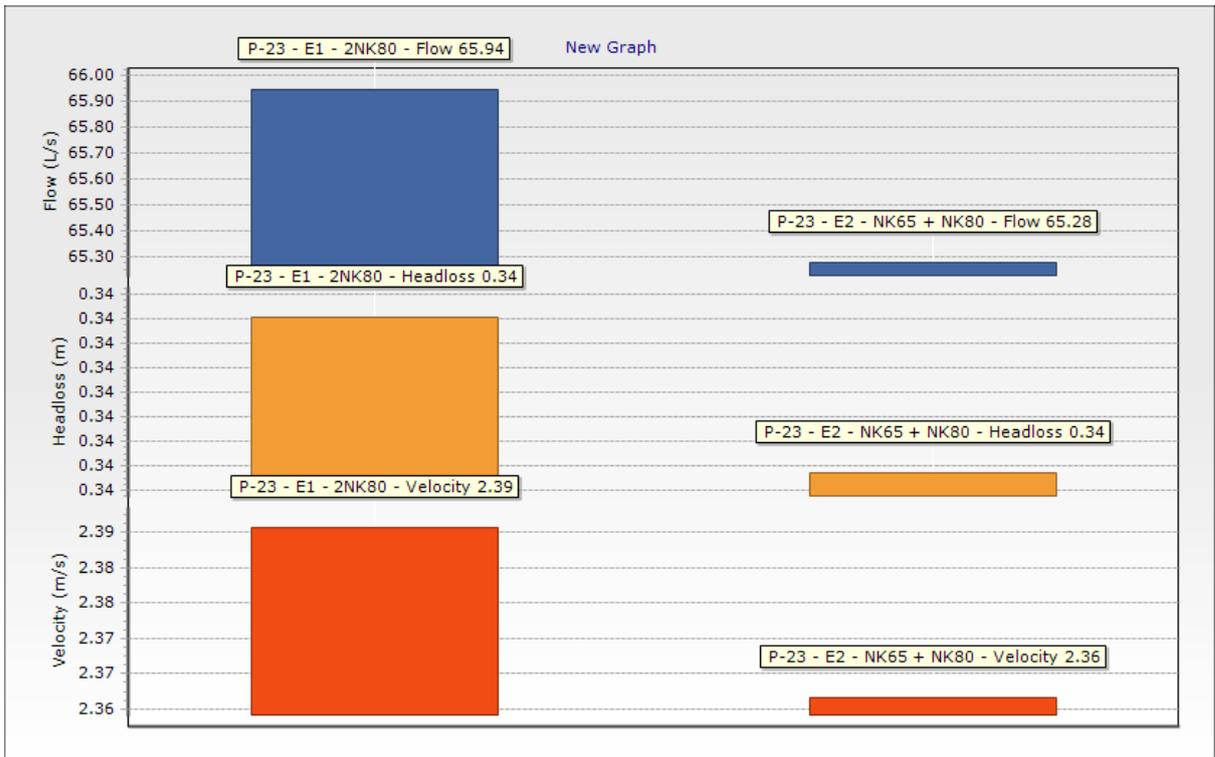


Ilustración 31: Resultados obtenidos periodo diseño 25 años

Elaborado por: Jonathan Merizalde

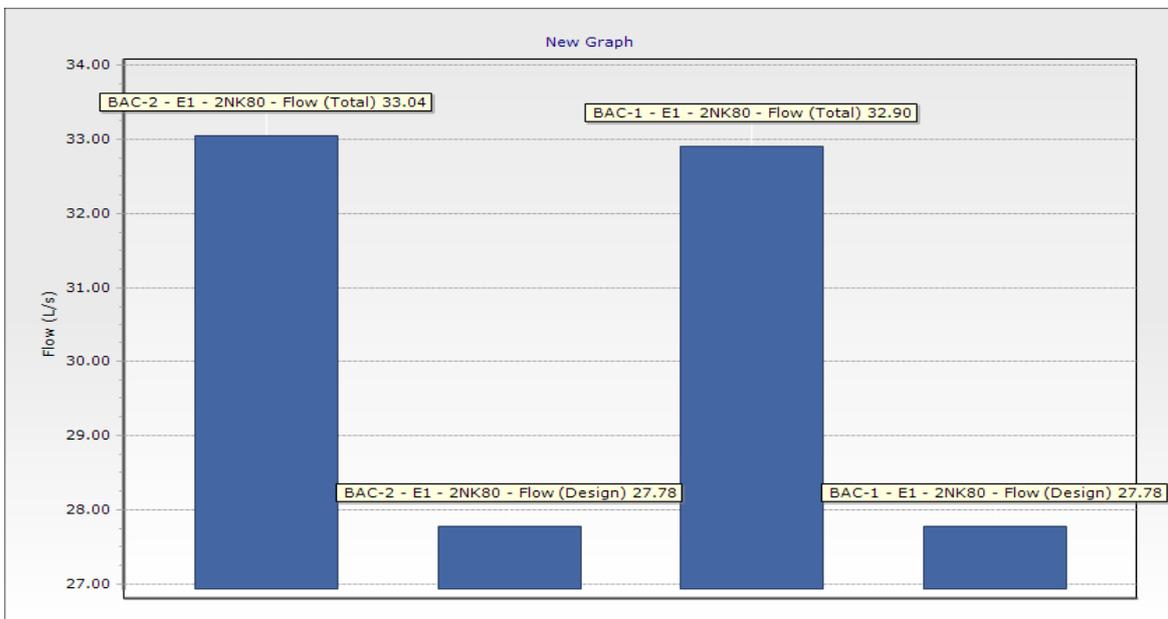


Ilustración 32: Comparación modelo vs diseño

Elaborado por: Jonathan Merizalde

La figura 32 muestra la diferencia entre el caudal de diseño de las bombas NK 80, y el caudal de operación de las bombas para el escenario 1, que es el escenario de operación normal de la estación de bombeo. En término de eficiencia, de acuerdo con la hoja técnica de las bombas NK 80, el caudal de operación óptimo es de 33.3 L/s, que permite lograr una eficiencia de trabajo del 80%. Los caudales que entregan las bombas NK80 con los cambios planteados en esta propuesta hace que las bombas trabajen con caudales cercanos a su punto óptimo de trabajo, lo que es excelente. Esto quiere decir que, para el horizonte del proyecto, las bombas NK 80 son la mejor alternativa. Una vez las bombas existentes cumplan su vida útil esperada de 10 años, se recomienda que se adquieran 3 bombas NK 80.

En cuanto a volúmenes de almacenamiento, el periodo de diseño de 25 años requiere 1280 m³. El almacenamiento actual es de 300 m³, y para el periodo de 10 años de vida útil se plantea ampliar el volumen con otro tanque de 800 m³, totalizando 1100 m³. Para el periodo de 25 años, previa evaluación del crecimiento poblacional de la parroquia se deberá incrementar 200 m³ adicionales, teniendo un volumen de almacenamiento total de 1300 m³, cumpliendo el requerimiento de diseño.

4.4.3 Pertinencia de la Propuesta o Aporte de la Investigación.

El proyecto es totalmente viable por lo que además de garantizar que la planta potabilizadora de la parroquia Laurel alcance el caudal de diseño actual y futuro, aporta directamente a cumplir con el objetivo número 6 para el desarrollo sostenible, mismo que busca su ordenación sostenible, saneamiento para todos y garantizar la disponibilidad de agua.

Adicional, teniendo en cuenta que el actual trabajo de tesis se basa en el rediseño de una planta potabilizadora y que los objetivos de desarrollo sostenible tienen 5 focos; personas,

planeta, prosperidad, paz y alianzas se puede relacionar que mi proyecto de titulación contribuye a los siguientes objetivos de manera indirecta:

Objetivo 2: Poner fin al Hambre. - Con el rediseño de la planta potabilizadora o proyectos de riego para sectores rurales se busca mejorar la calidad del servicio de agua potable existente, así como la expansión a nuevos usuarios permitiendo que puedan cocinar sus alimentos de manera más saludable, alcanzar una agricultura sostenible y mejorar la nutrición.

Objetivo 3: Salud y bienestar. – Sabiendo que la higiene y la asepsia es la base fundamental para combatir infecciones o enfermedades, al rediseñar la planta potabilizadora se lograría que más habitantes de la parroquia Laurel cuenten con el agua potable de manera continua permitiendo mejorar su calidad de vida y evitando enfermedades por infecciones o bacterias.

4.4.4 Institución Ejecutora.

En caso de que el proyecto sea considerado para su ejecución, esto deberá ser realizado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Daule o el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Daule.

4.4.5 Beneficiarios.

Con el proyecto, se beneficiarían todos los habitantes de la parroquia Laurel y que de acuerdo a la proyección a 25 años se estiman en 17.144 personas.

4.4.6 Ubicación.

En el presente proyecto se ubica en la parroquia El Laurel, cantón Daule, provincia del Guayas, coordenadas; Norte: 9802229.920 y Este: 6215870264 Zona 17S WGS 84

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Luego de examinar el comportamiento hidrológico de la fuente de captación (Rio Pula) mediante datos históricos se pudo determinar que todo el año se tiene garantizado el nivel de agua suficiente para abastecer a la planta potabilizadora del agua cruda para su posterior tratamiento y distribución a los usuarios de la parroquia El Laurel.

Sistema de bombeo e impulsión, bajo la configuración actual, es capaz de enviar un caudal de 25.77 L/s hacia la planta de tratamiento, mientras que el requerimiento de diseño de acuerdo con la normativa vigente del MAAE es de 45.1 L/s para el año 0 (2022), es decir, solo se está impulsando y tratando el 57% del caudal requerido.

El déficit de agua impulsada hacia la planta de tratamiento se debe de forma exclusiva a una deficiente capacidad hidráulica de la tubería de impulsión, sobre todo en los tramos de 90mm y 110mm ubicados en los primeros metros de su recorrido desde la estación de bombeo.

Para la situación actual, trabajando en operación normal con 2 bombas NK 80, el caudal que entrega cada una es de apenas 12.8 L/s. Revisando la hoja técnica de las bombas, la eficiencia lograda para este caudal es del 52%, siendo la máxima eficiencia del 80%. Se está muy lejos de caudal óptimo de funcionamiento de 33.3 L/s. Las bombas están trabajando en condiciones deficientes, lo que tiene una incidencia directa en la vida útil.

Se realizó un análisis del NPSH disponible versus el requerido por los equipos de bombeo. No se detectaron problemas, se cumple la condición de que el NPSH disponible en la instalación es mayor al requerido, por lo que no existe riesgo de cavitación.

Para el año 0, el requerimiento de volumen de almacenamiento es de 910 m^3 , pero se dispone solo de un tanque de 300 m^3 . Existe también un déficit importante (del 67%) de capacidad de almacenamiento del sistema, lo que generará problemas de vaciado del tanque antes de las demandas máximas horarias.

Se realizó un análisis para un tiempo de diseño de 10 años, con el objetivo de reducir la inversión inicial para corregir las fallencias que tiene el sistema. Para suplir la demanda de caudal de tratamiento para el periodo de 10 años (52.4 L/s), se debe cambiar la totalidad de los tramos de 90mm y 110mm , y 110.3m de tubería de 160mm , con tubería de 200mm . De esta manera se logra impulsar un caudal de 52.61 L/s hacia la planta de tratamiento, cumpliendo la solicitud de diseño. Con los cambios propuestos para el periodo de 10 años, la eficiencia de las bombas incrementa del 52% actual, al 75% (siendo la máxima eficiencia del 80%), lo que es excelente. Se deberá incrementar la capacidad de almacenamiento en 800 m^3 , para totalizar 1100 m^3 y cumplir con el requerimiento de volumen de almacenamiento.

Para el periodo de 25 años, el caudal de diseño para tratamiento es de 65.5 L/s . Para poder conducir este caudal, se debe colocar toda la tubería de impulsión en diámetro de 200mm , desde la descarga de las bombas hasta el ingreso a la planta de tratamiento. Bajo estas modificaciones, el caudal que entregarán las bombas es cercano a 33 L/s , que se adapta perfectamente al caudal de mejor eficiencia de las bombas modelo NK 80, llegando a una eficiencia del 80%. Las bombas instaladas son perfectas para el tiempo de diseño de 25 años, por lo que cuando se cumpla la vida útil de las existentes (se espera 10 años), se deben reemplazar por otras nuevas del mismo modelo o que tenga similares características. En cuanto a volumen de

almacenamiento, se deberá incrementar en 200 m³ respecto a los 1100 m³ recomendados para el tiempo de proyecto de 10 años, para tener un total de 1300 m³ y cumplir con el requerimiento del horizonte de diseño de 25 años.

Recomendaciones

Se debe realizar limpiezas periódicas en la fuente de captación con el propósito de prevenir taponamiento en la válvula check o ingreso de sedimentos principalmente en época de estiaje.

Se recomienda realizar un rediseño a los módulos de tratamiento de la planta potabilizadora con el fin de aumentar sus dimensiones o construir nuevos ya que debido a la proyección poblacional no se podría abastecer la demanda futura.

Se debe realizar el mantenimiento preventivo de las bombas con el fin de garantizar su funcionamiento y vida útil.

Existe un tramo de la tubería de impulsión que actualmente pasa por debajo de predios privados. Se sugiere corregir el trazado de manera que, en todo su recorrido, la tubería de impulsión pase por calle o terrenos públicos, y de fácil acceso en caso de que se requiera realizar una reparación.

Se recomienda realizar las modificaciones en la tubería de impulsión y almacenamiento para cumplir con los requerimientos de diseño de los primeros 10 años de vida útil. De esta manera, se logra que el costo de inversión no sea tan alto, logrando una mejora sustancial en el caudal que ingresa a la planta potabilizadora y en el volumen de almacenamiento disponible.

Se sugiere que, una vez pasen los primeros 10 años de vida útil, se proceda a realizar un nuevo censo poblacional que permita definir con precisión cuáles serán los requerimientos de diseño para los 15 años siguientes del sistema. De esta manera se decide si se ratifica o cambia las inversiones propuestas en este informe para el periodo de 25 años.

Para los cambios de tubería de impulsión propuestos, se recomienda evaluar la metodología elegida para su ejecución, pudiendo hacerse métodos tradicionales con zanja abierta, o tecnología sin zanja como el “pipe bursting”. El elegir una metodología u otra va a depender del grado de afectación que se quiera tener en la economía y movimiento normal de la parroquia, al pasar la tubería de impulsión por una calle principal. Si se quiere que las afectaciones a las actividades normales de la población sean mínimas, la mejor alternativa es el pipe bursting. Si se decide por esta alternativa, la tubería nueva será de PEAD, lo que no afecta los resultados objeto de los análisis realizados en este informe, pues el coeficiente de rugosidad del material de Hazen-Williams para el PVC y el PEAD es el mismo.

Anexos

Anexo 1 Datos históricos de los caudales medios mensuales estación Pula Laurel

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m ³ /s)													
PULA EN PALIZADA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	61,80	102,28	109,98	128,54	51,98	29,43	20,20	13,96	13,73	14,16	16,06	16,97	48,26
1965	50,78	90,63	124,03	162,19	130,54	61,43	35,86	19,01	14,71	20,26	17,34	19,15	62,16
1966	94,11	146,08	138,80	86,18	62,17	49,11	21,32	15,20	10,66	16,89	10,27	14,32	55,43
1967	70,96	138,66	112,91	50,03	49,72	34,66	17,44	10,70	7,16	6,61	4,63	7,39	42,57
1968	26,71	72,03	69,63	51,67	29,92	16,90	10,49	6,11	5,65	5,75	7,03	6,15	25,67
1969	39,99	46,22	93,62	134,43	77,42	63,86	33,03	15,26	10,41	6,98	6,34	16,81	45,37
1970	58,07	90,68	85,08	118,57	100,07	42,63	22,14	13,15	8,98	7,25	6,26	10,16	46,92
1971	41,15	112,94	160,45	124,17	44,31	27,42	18,28	12,24	11,99	11,53	9,34	16,11	49,16
1972	61,26	121,28	158,27	136,18	86,99	102,57	61,00	29,85	22,01	24,43	17,57	56,91	73,19
1973	112,89	172,02	131,68	172,12	100,95	60,19	39,85	21,46	18,98	17,70	13,21	15,98	73,09
1974	33,53	95,33	117,02	66,98	81,40	34,92	19,38	12,22	9,21	10,34	9,33	29,95	43,30
1975	106,91	178,00	168,80	142,08	74,71	50,20	28,34	17,21	13,49	11,47	9,76	13,85	67,90
1976	86,16	181,20	173,41	178,89	97,78	58,83	34,94	19,35	13,59	10,13	9,84	28,96	74,42
1977	61,18	83,81	126,94	112,14	60,49	39,84	21,84	13,80	10,38	9,03	6,55	12,60	46,55
1978	52,59	99,95	92,65	132,10	84,77	33,54	17,96	11,72	8,69	7,23	6,26	7,46	46,24
1979	37,41	76,57	138,44	101,83	51,28	40,99	23,29	14,04	12,32	12,37	7,92	8,03	43,71
1980	26,60	112,00	72,43	133,15	78,52	48,38	21,31	13,66	9,12	8,04	7,58	7,11	44,82
1981	19,51	113,91	118,57	102,01	45,73	19,40	14,23	9,83	9,33	6,80	6,85	8,70	39,57
1982	65,78	111,71	80,29	92,65	67,57	29,45	16,00	10,77	7,47	28,02	110,60	173,16	66,12
1983	191,17	176,47	157,65	157,91	137,93	110,59	90,28	65,39	72,68	43,09	32,24	62,61	108,17
1984	59,16	130,41	144,26	116,69	80,58	40,54	26,54	17,76	14,67	14,32	13,66	28,68	57,27
1985	74,45	71,85	110,21	60,12	50,36	35,51	19,51	12,57	10,04	8,34	6,43	15,78	39,60
1986	104,71	117,41	100,30	126,55	66,27	27,19	16,41	11,39	8,85	8,29	11,97	13,53	51,07
1987	96,51	135,34	131,29	148,89	120,25	46,81	24,28	21,32	14,45	15,20	13,01	12,75	65,01
1988	73,29	130,35	97,51	82,99	95,15	38,82	23,76	14,76	11,82	10,70	12,63	15,23	50,58
1989	72,67	174,88	174,06	127,32	84,20	37,38	26,73	16,79	12,67	16,07	13,60	15,64	64,34
1990	31,69	112,01	80,38	98,32	61,37	34,78	20,60	12,77	8,81	7,64	6,28	7,00	40,14
1991	25,01	142,49	134,90	102,96	72,79	34,22	19,18	12,67	8,58	7,24	6,20	21,48	48,98
1992	67,16	166,19	182,38	172,05	148,77	90,18	34,95	20,01	13,96	11,53	9,49	10,34	77,25
1993	55,51	158,67	163,28	145,72	94,23	43,58	24,05	14,53	11,42	10,87	10,14	16,91	62,41
1994	39,40	146,27	113,80	119,93	97,02	41,41	21,27	12,60	8,33	7,84	6,46	32,18	53,87
1995	99,69	112,46	82,79	121,61	56,71	43,68	26,72	17,91	11,00	9,05	10,59	9,22	50,12
1996	49,71	107,26	146,48	104,05	53,69	26,99	15,94	10,37	7,44	5,68	4,77	4,66	44,75
1997	39,99	103,48	134,52	124,59	103,67	86,08	66,68	55,55	88,98	95,38	155,52	182,71	103,10
1998	162,88	164,03	176,38	168,49	135,09	105,88	58,52	36,00	22,44	16,14	12,17	8,78	88,90
1999	28,49	126,59	137,70	133,55	108,32	36,66	24,65	13,65	11,82	12,13	10,55	31,62	56,31
2000	55,68	102,59	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
2001	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd
2002	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	5,67	6,53	6,33	29,53	
2003	90,85	109,68	108,57	102,83	75,66	38,54	22,48	11,10	5,28	5,99	3,30	4,47	48,23
2004	40,82	64,92	73,90	119,21	82,96	46,59	Sd	Sd	Sd	Sd	4,98	6,91	Sd
2005	28,90	52,17	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	9,67	3,89	6,73	Sd
2006	40,93	119,11	160,36	85,02	31,73	5,13	4,26	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd

Sd Sin Datos

CAUDALES MEDIOS													
ESTACION PULA EN LAUREL													H401
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1971								21,89	26,82	21,73	18,54	24,16	
1972	61,81	167,51	248,28	251,72	141,88	162,23	93,86	42,35	36,95	37,24	32,78		
1973						71,37	57,64	36,96	30,90	30,38	22,31	29,21	
1974	52,99	114,54	174,64	93,46	131,87	59,00	35,09	25,20	21,56	25,18	20,16	35,11	65,7
1975	130,65	268,17	297,38	187,13	83,55	69,77	46,06	28,38	24,21	21,49	20,23	24,55	100,1
1976	105,58	251,04	266,53	272,10	223,69	112,13	59,22	28,65	19,16	11,54	12,39	37,60	116,6
1977	79,40	142,97	229,12	197,51	112,96	63,11	36,44	22,16	16,10	14,91	10,45	18,68	78,7
1978	71,23	153,79	151,08	244,77	127,78	55,36	30,87	20,26	14,39	11,80	10,14	15,26	75,6
1979	47,98	110,77	203,03	163,10	69,92	53,21	31,66	18,05	15,08	15,56	11,01	9,54	62,4
1980	38,19	154,42	120,41	219,89	138,69	72,19	32,65	21,98	16,05	14,47	14,15	15,09	71,5
1981	28,89	184,40		176,03	76,47	31,80	23,49	17,38	16,75	12,88	13,64	16,02	
1982	83,00	181,56	118,06	128,80	100,02	47,03	25,04	18,23	13,27	35,82	156,17	224,27	94,3
1983	276,92	280,50									39,66	65,70	
1984	85,86					53,51	36,31	22,92	17,85	18,10	15,63	36,18	
1985	82,95	79,72	161,49	49,84	58,51	35,08	16,55	8,84	4,99	3,02	1,50	19,35	43,5
1986	142,09	209,98		169,73	188,97		15,04	8,00	4,65	3,42	8,01	10,09	
1987	132,28	230,64	229,51	236,69	227,34								
1988		39,43	29,78						14,64	12,66	15,28	17,86	
1989	86,42	261,99	254,47	215,09	125,35	45,16	32,20	19,41	12,84	16,74	14,38	15,83	91,7
1990	45,98	171,21	139,39	166,09	110,75	54,42	35,83	24,88	19,11	17,36	15,42	16,51	68,1
1991	41,23	216,71	277,75	162,28	120,43	52,05	32,46	23,87	17,95	15,93	14,38	32,97	84,0
1992	82,18	245,45	324,25	320,82	303,68	182,48	54,87	33,21	23,51	18,96	16,21	16,60	135,2
1993			307,96	314,30	172,31	90,99							
1994													
1995	219,41	249,12	197,48	253,72	75,25	68,25	44,74	32,36	20,96	18,19	21,06	18,94	101,6
1996	44,45	238,71	309,90	204,13	90,78	41,42	26,53	19,54	15,44	14,37	15,30	19,31	86,7
1997	30,64	233,46	213,97						259,40	282,75	317,18	362,31	
1998	350,97	361,19	362,00	361,15	358,15								
PROM.													

CAUDALES MÁXIMOS REGISTRADOS													
ESTACION PULA EN LAUREL													H4
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1971									36,50	27,80	21,70	39,40	
1972	169,50	202,70	263,50	260,80	206,20	262,80	147,50	56,30	40,85	39,19	37,96	38,80	263,5
1973						78,36	75,60	42,31	34,70	33,30	25,80	37,30	
1974	73,90	193,00	196,90	137,70	180,20	71,60	42,70	31,10	23,90	28,20	24,90	80,50	196,9
1975	236,50	291,90	303,20	294,70	112,30	75,60	60,70	33,10	27,40	23,50	23,60	48,45	303,2
1976	193,60	721,50	274,10	276,80	262,80	165,30	75,60	39,40	22,50	15,74	13,55	68,64	721,5
1977	145,00	225,90	288,50	286,40	229,00	78,60	48,00	26,40	23,00	19,30	12,50	25,80	288,5
1978	90,95	193,60	246,60	282,90	156,50	79,80	37,50	24,10	16,10	15,20	12,50	25,80	282,9
1979	83,80	154,50	260,20	183,00	130,20	58,90	45,90	22,60	19,53	19,50	17,00	15,10	260,2
1980	67,40	192,10	158,40	250,80	190,40	112,80	43,80	25,30	18,30	17,10	17,90	23,70	250,8
1981	47,90	243,50	247,00	218,60	144,90	41,35	26,80	19,96	18,10	14,10	16,90	29,10	247,0
1982	143,30	219,10	150,80	171,20	136,40	100,80	130,70	21,00	15,00	77,80	224,60	256,10	256,1
1983	282,07	285,60									42,60	85,30	
1984	155,90					60,30	47,10	27,00	18,60	19,30	27,57	73,25	
1985	99,70	128,80	204,50			43,51	22,80	11,40	6,80	4,30	2,40	50,20	
1986	249,30	234,90		208,00	196,10		19,60	10,50	6,60	7,30	10,26	44,60	249,3
1987	225,50	238,70	242,50	252,20	236,30								252,2
1988		191,20	205,80						15,97	14,39	21,17	25,87	
1989	207,20	272,50	26,30	227,40	208,10	59,20	43,10	26,20	14,70	32,2	19,60	37,50	272,5
1990	66,90	234,60	220,60	243,30	209,70	66,10	41,90	29,40	20,90	18,60	17,90	32,40	243,3
1991	63,56	297,70	295,10	162,60	163,10	80,60	38,90	27,20	20,00	17,00	14,70	51,40	297,7
1992	166,30	297,00	344,00	331,40	317,00	277,80	71,80	38,95	27,50	21,30	18,04	29,30	344,0
1993			330,00	325,20	272,80	99,40							
1994													
1995	234,05	282,90	212,90	283,50		86,10	52,40	39,10	25,20	21,75	25,21	25,20	283,5
1996	90,40	283,50	343,30	274,10	177,90	55,90	30,90	22,50	16,70	14,95	15,70	27,20	343,3
1997	34,20	258,10	252,70						272,80	291,80	378,20	370,80	
1998	359,10	366,40	366,40	364,90	363,50								
1999													
2000													
2001													
2002													
2003													
2004													
2005													
	151,6	261,3	247,0	251,8	204,9	97,7	55,2	28,7	32,2	34,5	43,4	64,2	

Fuente: INAMHI; Prefectura del Guayas

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : MARZO			
1992					
Dia	Lectura Limnometrica	Caudal	Lectura Limnometrica	Caudal	Caudal diario
1	4,16	293,14	4,15	291,85	292,49
2	4,15	291,85	4,15	291,85	291,85
3	4,15	291,85	4,15	291,85	291,85
4	4,15	291,85	4,17	294,44	293,14
5	4,25	304,93	4,30	311,60	308,27
6	4,32	314,29	4,34	316,99	315,64
7	4,36	319,70	4,37	321,07	320,39
8	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
9	4,43	329,31	4,43	329,31	329,31
10	4,44	330,69	4,44	330,69	330,69
11	4,45	332,08	4,45	332,08	332,08
12	4,47	334,87	4,47	334,87	334,87
13	4,46	333,47	4,46	333,47	333,47
14	4,51	340,48	4,54	344,72	342,60
15	4,54	344,72	4,53	343,31	344,02
16	4,53	343,31	4,53	343,31	343,31
17	4,50	339,07	4,50	339,07	339,07
18	4,48	336,27	4,46	333,47	334,87
19	4,46	333,47	4,46	333,47	333,47
20	4,45	332,08	4,43	329,31	330,70
21	4,43	329,31	4,43	329,31	329,31
22	4,42	327,93	4,42	327,93	327,93
23	4,41	326,55	4,41	326,55	326,55
24	4,40	325,17	4,41	326,55	325,86
25	4,41	326,55	4,41	326,55	326,55
26	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
27	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
28	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
29	4,39	323,80	4,39	323,80	323,80
30	4,39	323,80	4,39	323,80	323,80
31	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					324,25
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES :			
1992		ABRIL			
Dia	Lectura Limnometrica	Caudal	Lectura Limnometrica	Caudal	Caudal diario
1	4,39	323,80	4,41	326,55	325,17
2	4,45	332,08	4,44	330,69	331,39
3	4,44	330,69	4,44	330,69	330,69
4	4,43	329,31	4,43	329,31	329,31
5	4,41	326,55	4,40	325,17	325,86
6	4,40	325,17	4,40	325,17	325,17
7	4,38	322,43	4,38	322,43	322,43
8	4,37	321,07	4,37	321,07	321,07
9	4,35	318,35	4,35	318,35	318,35
10	4,37	321,07	4,37	321,07	321,07
11	4,38	322,43	4,38	322,43	322,43
12	4,38	322,43	4,38	322,43	322,43
13	4,37	321,07	4,36	319,70	320,39
14	4,36	319,70	4,36	319,70	319,70
15	4,37	321,07	4,37	321,07	321,07
16	4,38	322,43	4,39	323,80	323,12
17	4,39	323,80	4,40	325,17	324,49
18	4,39	323,80	4,39	323,80	323,80
19	4,38	322,43	4,37	321,07	321,75
20	4,37	321,07	4,37	321,07	321,07
21	4,36	319,70	4,30	311,60	315,65
22	4,35	318,35	4,35	318,35	318,35
23	4,35	318,35	4,35	318,35	318,35
24	4,34	316,99	4,34	316,99	316,99
25	4,34	316,99	4,34	316,99	316,99
26	4,34	316,99	4,33	315,64	316,31
27	4,33	315,64	4,33	315,64	315,64
28	4,33	315,64	4,31	312,94	314,29
29	4,30	311,60	4,29	310,26	310,93
30	4,29	310,26	4,29	310,26	310,26
31					
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					320,82
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO		MES :			
:		1992	MAYO		
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	4,30	311,60	4,30	311,60	311,60
2	4,31	312,94	4,31	312,94	312,94
3	4,33	315,64	4,33	315,64	315,64
4	4,32	314,29	4,32	314,29	314,29
5	4,30	311,60	4,30	311,60	311,60
6	4,28	308,92	4,28	308,92	308,92
7	4,28	308,92	4,27	307,59	308,26
8	4,27	307,59	4,26	306,26	306,93
9	4,26	306,26	4,23	302,29	304,28
10	4,22	300,97	4,22	300,97	300,97
11	4,22	300,97	4,21	299,66	300,32
12	4,21	299,66	4,20	298,35	299,01
13	4,22	300,97	4,22	300,97	300,97
14	4,23	302,29	4,23	302,29	302,29
15	4,24	303,61	4,26	306,26	304,94
16	4,28	308,92	4,28	308,92	308,92
17	4,30	311,60	4,31	312,94	312,27
18	4,33	315,64	4,35	318,35	316,99
19	4,34	316,99	4,34	316,99	316,99
20	4,32	314,29	4,32	314,29	314,29
21	4,31	312,94	4,30	311,60	312,27
22	4,28	308,92	4,28	308,92	308,92
23	4,27	307,59	4,25	304,93	306,26
24	4,24	303,61	4,23	302,29	302,95
25	4,23	302,29	4,23	302,29	302,29
26	4,17	294,44	4,14	290,56	292,50
27	4,13	289,27	4,12	287,98	288,62
28	4,10	285,42	4,08	282,88	284,15
29	4,08	282,88	4,08	282,88	282,88
30	4,07	281,61	4,06	280,34	280,97
31	4,06	280,34	4,05	279,08	279,71
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					303,68
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES :			
1992		JUNIO			
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	4,04	277,82	4,04	277,82	277,82
2	4,03	276,56	4,02	275,31	275,94
3	3,98	270,33	3,96	267,86	269,10
4	3,93	264,18	3,91	261,74	262,96
5	3,87	256,90	3,85	254,50	255,70
6	3,82	250,93	3,80	248,56	249,74
7	3,80	248,56	3,80	248,56	248,56
8	3,78	246,20	3,78	246,20	246,20
9	3,76	243,86	3,75	242,69	243,28
10	3,75	242,69	3,75	242,69	242,69
11	3,74	241,53	3,76	243,86	242,69
12	3,73	240,37	3,70	236,90	238,64
13	3,65	231,19	3,62	227,81	229,50
14	3,58	223,33	3,51	215,62	219,48
15	3,48	212,36	3,46	210,21	211,28
16	3,38	201,70	3,28	191,35	196,53
17	3,19	182,30	3,14	177,37	179,83
18	3,05	168,70	3,00	163,99	166,34
19	2,91	155,69	2,85	150,29	152,99
20	2,80	145,88	2,70	137,27	141,57
21	2,55	124,90	2,49	120,14	122,52
22	2,40	113,19	2,34	108,68	110,94
23	2,28	104,28	2,24	101,40	102,84
24	2,20	98,57	2,18	97,17	97,87
25	2,09	91,01	2,05	88,34	89,68
26	2,00	85,08	2,00	85,08	85,08
27	1,96	82,51	1,94	81,24	81,88
28	1,92	79,99	1,91	79,36	79,68
29	1,90	78,74	1,88	77,51	78,13
30	1,85	75,68	1,83	74,47	75,08
31					
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					182,48
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES :			
	1992	JULIO			
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	1,79	72,10	1,78	71,51	71,80
2	1,76	70,34	1,75	69,76	70,05
3	1,73	68,61	1,72	68,04	68,32
4	1,69	66,34	1,66	64,66	65,50
5	1,65	64,11	1,64	63,56	63,83
6	1,62	62,46	1,63	63,01	62,74
7	1,65	64,11	1,70	66,90	65,50
8	1,70	66,90	1,68	65,77	66,34
9	1,65	64,11	1,62	62,46	63,29
10	1,58	60,31	1,55	58,72	59,52
11	1,53	57,68	1,50	56,13	56,90
12	1,46	54,10	1,45	53,60	53,85
13	1,44	53,10	1,44	53,10	53,10
14	1,43	52,61	1,43	52,61	52,61
15	1,42	52,11	1,42	52,11	52,11
16	1,42	52,11	1,42	52,11	52,11
17	1,42	52,11	1,42	52,11	52,11
18	1,41	51,62	1,41	51,62	51,62
19	1,41	51,62	1,41	51,62	51,62
20	1,41	51,62	1,41	51,62	51,62
21	1,41	51,62	1,40	51,14	51,38
22	1,38	50,17	1,38	50,17	50,17
23	1,38	50,17	1,37	49,69	49,93
24	1,36	49,21	1,36	49,21	49,21
25	1,34	48,27	1,34	48,27	48,27
26	1,34	48,27	1,33	47,80	48,03
27	1,31	46,87	1,30	46,41	46,64
28	1,28	45,49	1,28	45,49	45,49
29	1,26	44,59	1,25	44,14	44,36
30	1,22	42,81	1,20	41,93	42,37
31	1,17	40,64	1,16	40,21	40,43
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					54,87
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : AGOSTO			
1992					
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	1,14	39,37	1,12	38,53	38,95
2	1,10	37,71	1,10	37,71	37,71
3	1,09	37,30	1,09	37,30	37,30
4	1,08	36,90	1,07	36,49	36,69
5	1,07	36,49	1,07	36,49	36,49
6	1,06	36,09	1,06	36,09	36,09
7	1,05	35,69	1,05	35,69	35,69
8	1,04	35,30	1,04	35,30	35,30
9	1,04	35,30	1,03	34,90	35,10
10	1,03	34,90	1,03	34,90	34,90
11	1,03	34,90	1,03	34,90	34,90
12	1,02	34,51	1,02	34,51	34,51
13	1,02	34,51	1,01	34,12	34,32
14	1,01	34,12	1,01	34,12	34,12
15	1,00	33,74	1,00	33,74	33,74
16	1,00	33,74	1,00	33,74	33,74
17	0,99	33,35	0,99	33,35	33,35
18	0,98	32,97	0,98	32,97	32,97
19	0,98	32,97	0,98	32,97	32,97
20	0,97	32,59	0,97	32,59	32,59
21	0,97	32,59	0,96	32,22	32,41
22	0,95	31,84	0,95	31,84	31,84
23	0,94	31,47	0,93	31,10	31,29
24	0,93	31,10	0,93	31,10	31,10
25	0,92	30,74	0,91	30,37	30,56
26	0,90	30,01	0,88	29,30	29,65
27	0,86	28,59	0,86	28,59	28,59
28	0,86	28,59	0,85	28,24	28,42
29	0,85	28,24	0,85	28,24	28,24
30	0,85	28,24	0,84	27,89	28,07
31	0,84	27,89	0,84	27,89	27,89
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					33,21
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : SEPTIEMBRE			
1992					
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	0,83	27,55	0,83	27,55	27,55
2	0,82	27,21	0,82	27,21	27,21
3	0,82	27,21	0,81	26,87	27,04
4	0,81	26,87	0,80	26,53	26,70
5	0,80	26,53	0,80	26,53	26,53
6	0,78	25,86	0,78	25,86	25,86
7	0,77	25,53	0,76	25,20	25,37
8	0,75	24,88	0,75	24,88	24,88
9	0,74	24,56	0,73	24,23	24,40
10	0,73	24,23	0,73	24,23	24,23
11	0,72	23,92	0,72	23,92	23,92
12	0,71	23,60	0,71	23,60	23,60
13	0,71	23,60	0,70	23,29	23,44
14	0,69	22,98	0,69	22,98	22,98
15	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
16	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
17	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
18	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
19	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
20	0,67	22,36	0,67	22,36	22,36
21	0,67	22,36	0,66	22,06	22,21
22	0,66	22,06	0,66	22,06	22,06
23	0,66	22,06	0,66	22,06	22,06
24	0,65	21,75	0,65	21,75	21,75
25	0,65	21,75	0,65	21,75	21,75
26	0,65	21,75	0,64	21,45	21,60
27	0,64	21,45	0,64	21,45	21,45
28	0,63	21,16	0,63	21,16	21,16
29	0,63	21,16	0,63	21,16	21,16
30	0,61	20,57	0,61	20,57	20,57
31					
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					23,51
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : OCTUBRE			
1992					
Día	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	0,60	20,28	0,60	20,28	20,28
2	0,60	20,28	0,59	19,99	20,14
3	0,59	19,99	0,59	19,99	19,99
4	0,58	19,71	0,58	19,71	19,71
5	0,58	19,71	0,57	19,42	19,56
6	0,57	19,42	0,57	19,42	19,42
7	0,57	19,42	0,57	19,42	19,42
8	0,56	19,14	0,56	19,14	19,14
9	0,55	18,86	0,55	18,86	18,86
10	0,56	19,14	0,56	19,14	19,14
11	0,56	19,14	0,56	19,14	19,14
12	0,56	19,14	0,56	19,14	19,14
13	0,56	19,14	0,57	19,42	19,28
14	0,60	20,28	0,60	20,28	20,28
15	0,64	21,45	0,63	21,16	21,31
16	0,61	20,57	0,60	20,28	20,42
17	0,59	19,99	0,59	19,99	19,99
18	0,58	19,71	0,57	19,42	19,56
19	0,57	19,42	0,56	19,14	19,28
20	0,54	18,59	0,52	18,04	18,31
21	0,50	17,50	0,49	17,24	17,37
22	0,48	16,98	0,48	16,98	16,98
23	0,48	16,98	0,48	16,98	16,98
24	0,50	17,50	0,50	17,50	17,50
25	0,50	17,50	0,50	17,50	17,50
26	0,51	17,77	0,51	17,77	17,77
27	0,52	18,04	0,52	18,04	18,04
28	0,53	18,31	0,54	18,59	18,45
29	0,54	18,59	0,54	18,59	18,59
30	0,52	18,04	0,52	18,04	18,04
31	0,52	18,04	0,52	18,04	18,04
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					18,96
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : NOVIEMBRE			
1992					
Día	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	0,52	18,04	0,51	17,77	17,91
2	0,51	17,77	0,51	17,77	17,77
3	0,52	18,04	0,52	18,04	18,04
4	0,52	18,04	0,51	17,77	17,91
5	0,51	17,77	0,50	17,50	17,64
6	0,50	17,50	0,50	17,50	17,50
7	0,50	17,50	0,51	17,77	17,64
8	0,51	17,77	0,50	17,50	17,64
9	0,51	17,77	0,51	17,77	17,77
10	0,50	17,50	0,49	17,24	17,37
11	0,49	17,24	0,48	16,98	17,11
12	0,47	16,71	0,47	16,71	16,71
13	0,48	16,98	0,48	16,98	16,98
14	0,48	16,98	0,46	16,46	16,72
15	0,46	16,46	0,45	16,20	16,33
16	0,45	16,20	0,44	15,95	16,07
17	0,43	15,70	0,43	15,70	15,70
18	0,41	15,20	0,41	15,20	15,20
19	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
20	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
21	0,39	14,71	0,39	14,71	14,71
22	0,39	14,71	0,40	14,95	14,83
23	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
24	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
25	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
26	0,39	14,71	0,39	14,71	14,71
27	0,39	14,71	0,39	14,71	14,71
28	0,39	14,71	0,39	14,71	14,71
29	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
30	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
31					
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					16,21
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

PULA EN LAUREL					
AÑO :		MES : DICIEMBRE			
1992					
Dia	Lectura Limnimetrica	Caudal	Lectura Limnimetrica	Caudal	Caudal diario
1	0,40	14,95	0,40	14,95	14,95
2	0,39	14,71	0,39	14,71	14,71
3	0,38	14,47	0,38	14,47	14,47
4	0,38	14,47	0,37	14,23	14,35
5	0,35	13,76	0,34	13,53	13,65
6	0,33	13,30	0,33	13,30	13,30
7	0,32	13,08	0,32	13,08	13,08
8	0,31	12,85	0,30	12,63	12,74
9	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
10	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
11	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
12	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
13	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
14	0,30	12,63	0,30	12,63	12,63
15	0,30	12,63	0,29	12,41	12,52
16	0,28	12,19	0,28	12,19	12,19
17	0,28	12,19	0,29	12,41	12,30
18	0,31	12,85	0,31	12,85	12,85
19	0,35	13,76	0,37	14,23	14,00
20	0,41	15,20	0,43	15,70	15,45
21	0,45	16,20	0,45	16,20	16,20
22	0,46	16,46	0,46	16,46	16,46
23	0,48	16,98	0,52	18,04	17,51
24	0,58	19,71	0,64	21,45	20,58
25	0,75	24,88	0,80	26,53	25,70
26	0,87	28,94	0,89	29,65	29,30
27	0,85	28,24	0,83	27,55	27,90
28	0,80	26,53	0,76	25,20	25,87
29	0,72	23,92	0,69	22,98	23,45
30	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
31	0,68	22,67	0,68	22,67	22,67
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL					16,60
MAX		DIA		HORA	
MIN		DIA		HORA	

Fuente: INAMHI

APENDICES

11. DATOS HIDROLOGICOS NECESARIOS

Para proyectar una obra hidráulica es necesario conocer los caudales del río que se quiere aprovechar.

Con este propósito se instalan estaciones de aforo o fluviométricas. Los aforos se realizan por medición directa de velocidades en distintas secciones del río, utilizando molinetes, flotadores, colorantes u otros métodos. Como no es factible realizar estas mediciones en forma continua, lo que se hace es medir los niveles de agua en la sección de aforo y establecer una relación funcional entre los caudales y los calados. Esta relación se representa por medio de una curva que se llama curva de caudales. En esta forma es posible colocar un limnómetro o un limnógrafo que registre permanentemente los niveles de agua y convertirlos directamente a caudales.

La curva que representa la variación del caudal con el tiempo se llama hidrógrafo o hidrograma. La superficie que queda por debajo del hidrógrafo representa el volumen total escurrido por el río durante el período considerado, que generalmente es de un año. Dividiendo este volumen para el número de segundos que hay en el período se obtiene el caudal medio anual, estacional, mensual o diario del río.

11.1. CAUDALES DE DISEÑO

El caudal de un río es variable en el tiempo, lo que tiene gran importancia para el diseño. Una obra debe ser proyectada en tal forma que pueda captar todo el caudal de diseño, pero no más que éste, y, al mismo tiempo debe permitir el paso de las crecientes sin sufrir daños.

Si la obra se proyecta para un caudal mayor que el que se intenta o se puede captar, estará sobredimensionada, lo que significa desperdicio de dinero. Por otro lado, si no tiene capacidad suficiente para las crecientes, puede destruirse, a veces con catastróficas consecuencias.

Por esto es fundamental determinar con la mayor precisión posible

el mínimo caudal utilizable y el máximo caudal de creciente que puede producirse.

Por lo general no es económico hacer el diseño para el mínimo caudal de estiaje, pues es posible que éste haya sido registrado en un año excepcionalmente seco o se produzca sólo unos pocos días al año. Todos los demás caudales serían mayores y se estarían desaprovechando grandes cantidades de agua.

Es posible disminuir la magnitud de la variación del caudal por medio de reservorios, y mientras más grande es la capacidad de éstos, mayor es la regulación de caudales que se consigue. Sin embargo, los reservorios o presas de embalse son generalmente obras sumamente costosas y muchas veces no se justifican económicamente.

Por esto, todas las obras de toma deben ser proyectadas para algún caudal que esté garantizando un cierto porcentaje de tiempo. Por ejemplo, un caudal garantizado en un 90 % del tiempo significa que se le puede aprovechar este porcentaje del tiempo y que solamente 37 días al año los caudales serán menores.

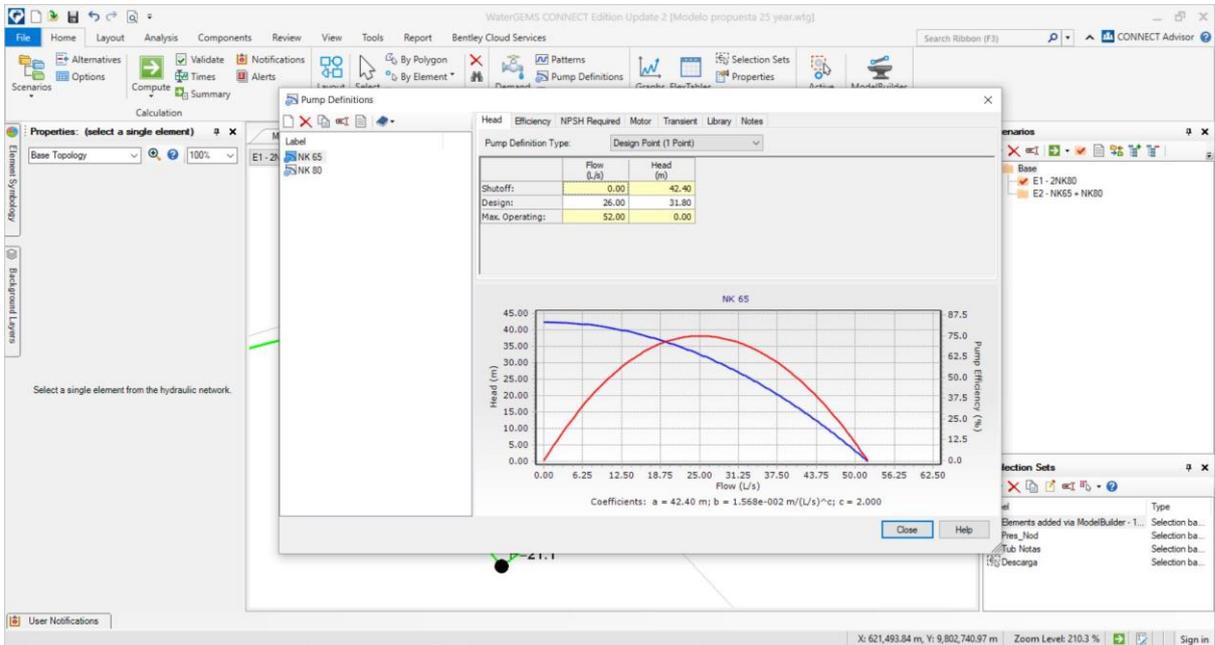
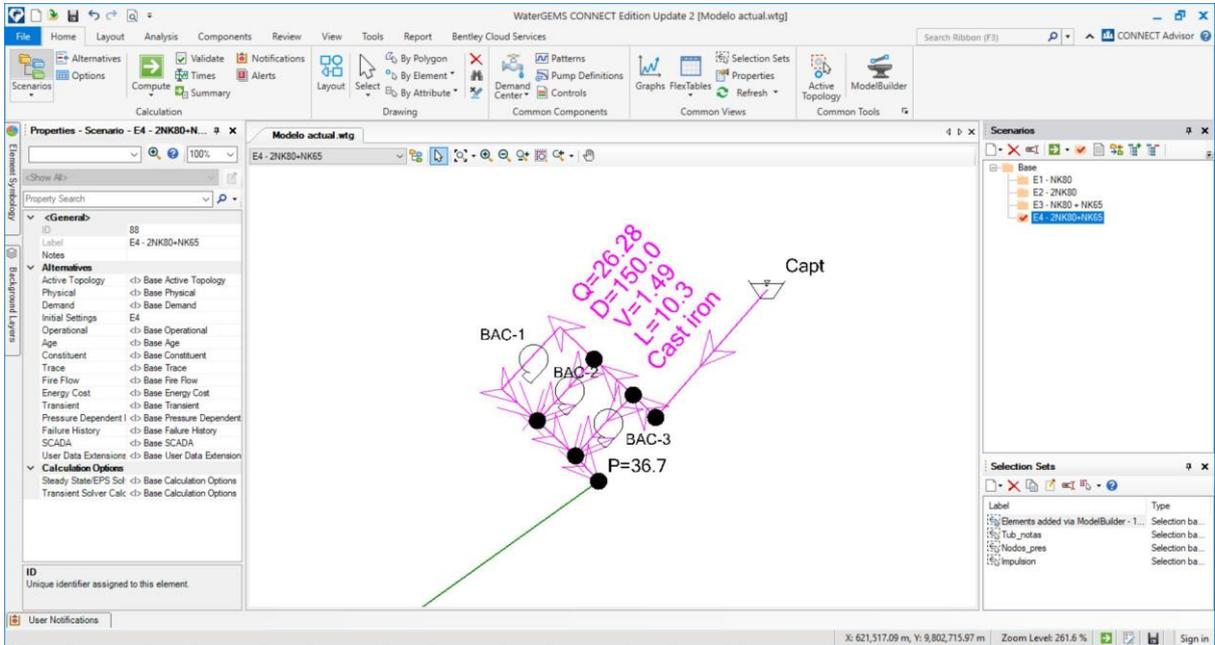
Los porcentajes varían según el uso que se le dé al agua. En el caso de la producción de la energía eléctrica, si ésta falla, hay que reemplazarla con unidades termoeléctricas, pues una suspensión puede ser muy grave para hospitales, industrias y otras organizaciones. En el caso del riego, la disminución del agua implica o la reducción de la dotación o de las superficies de cultivo, y cualquiera de las dos significa pérdidas en las cosechas. Sin embargo, debido al agua retenida en el suelo, los cultivos resisten mejor que la industria la disminución en los caudales de agua.

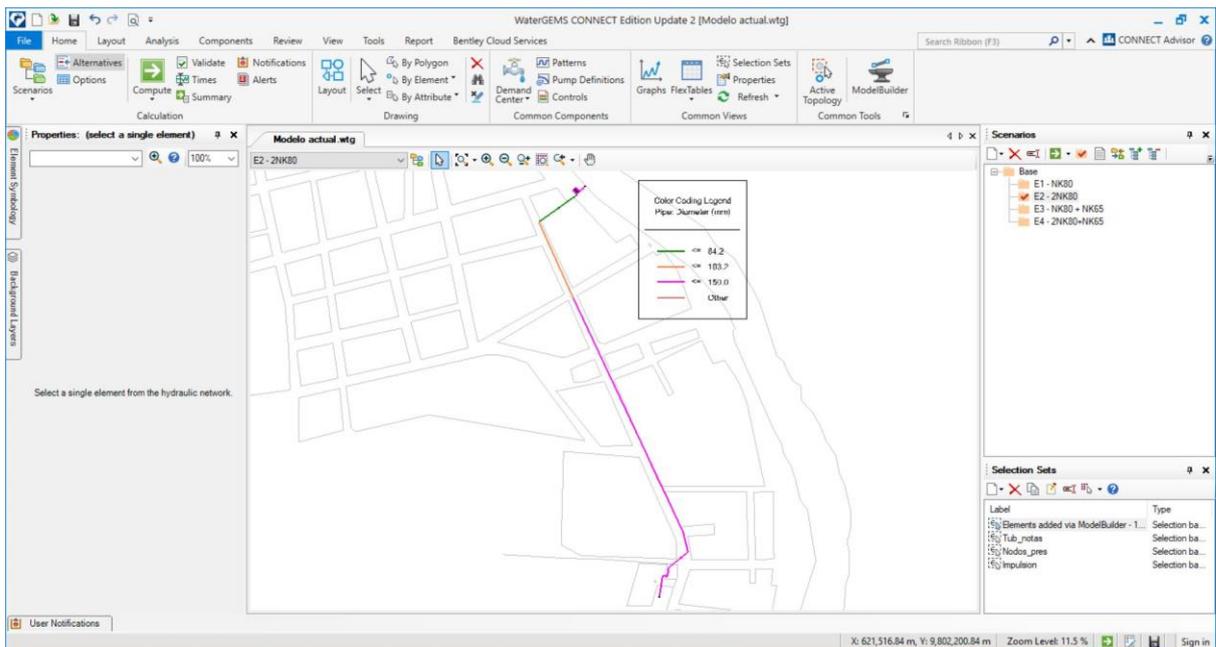
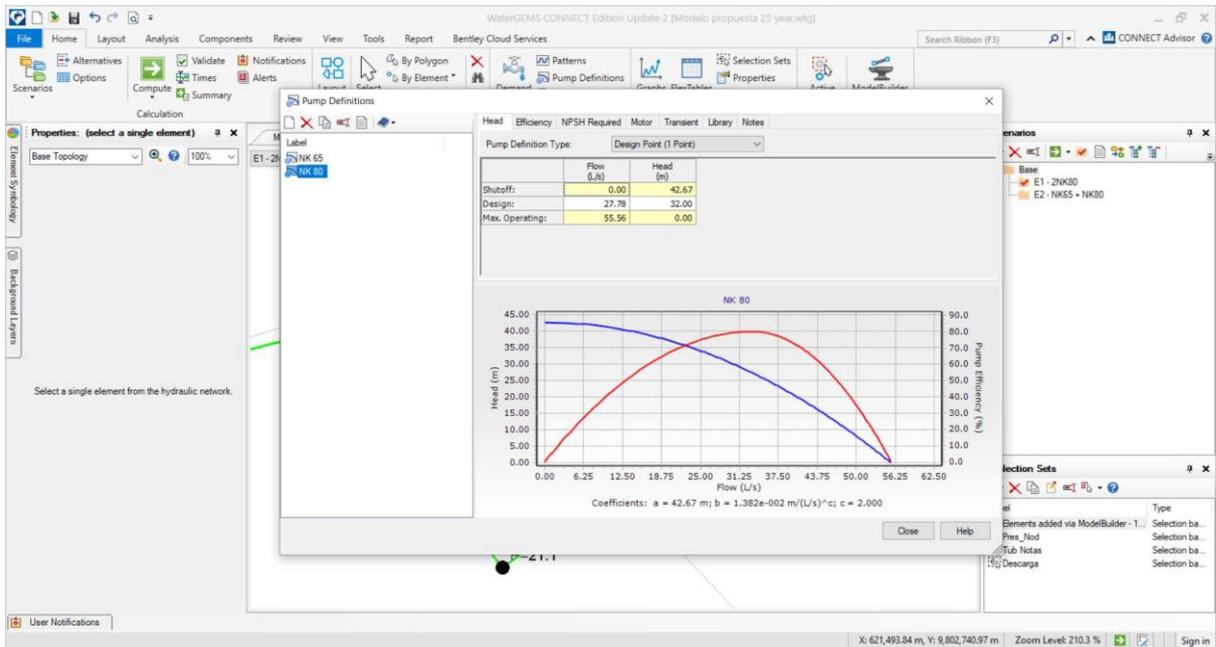
Los porcentajes recomendados que se obtienen de una curva de duración varían entre los siguientes límites:

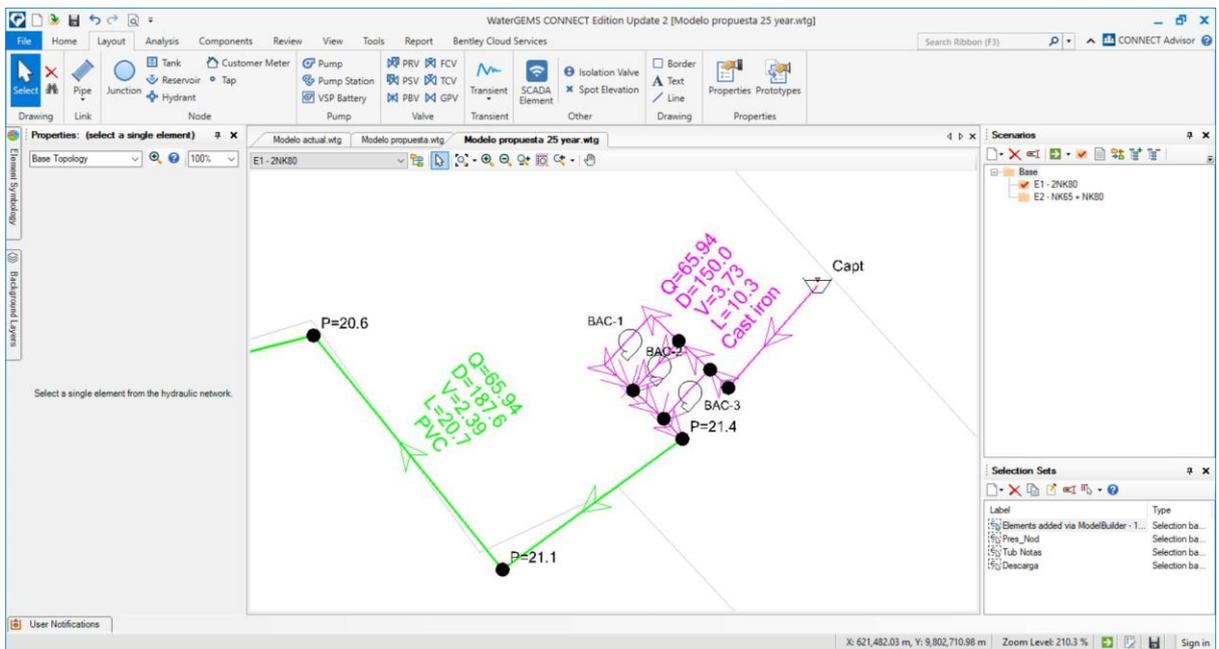
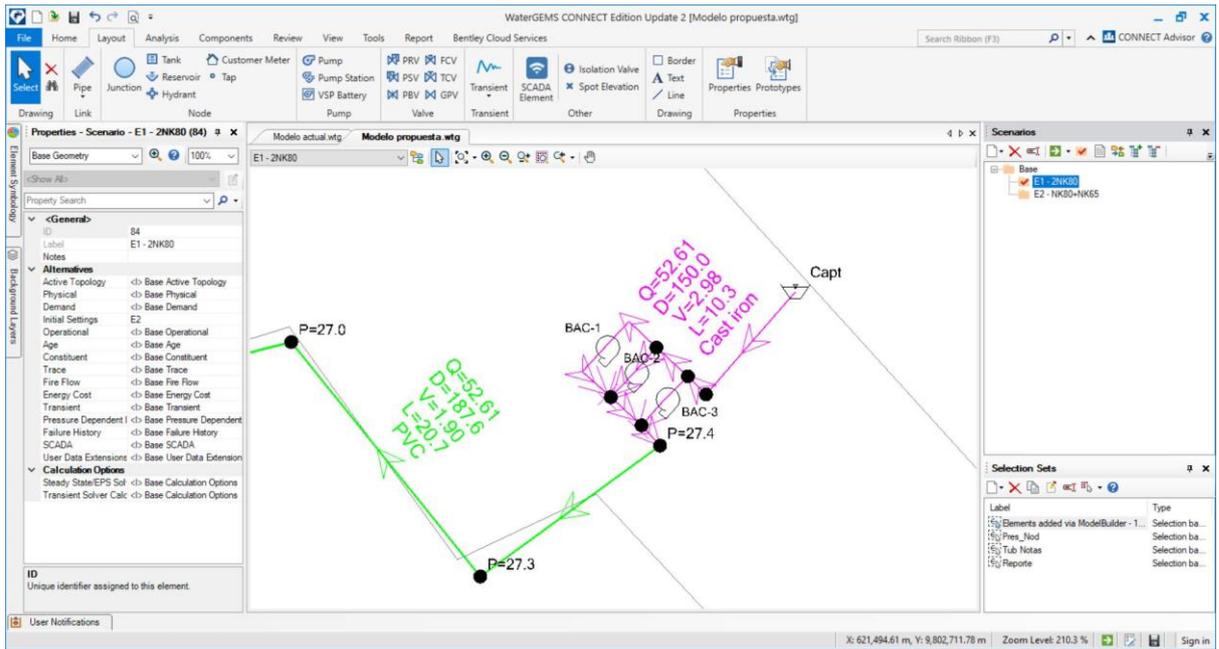
Agua potable	90 – 97 %
Plantas eléctricas	75 – 95 %
Riego	70 – 90 %

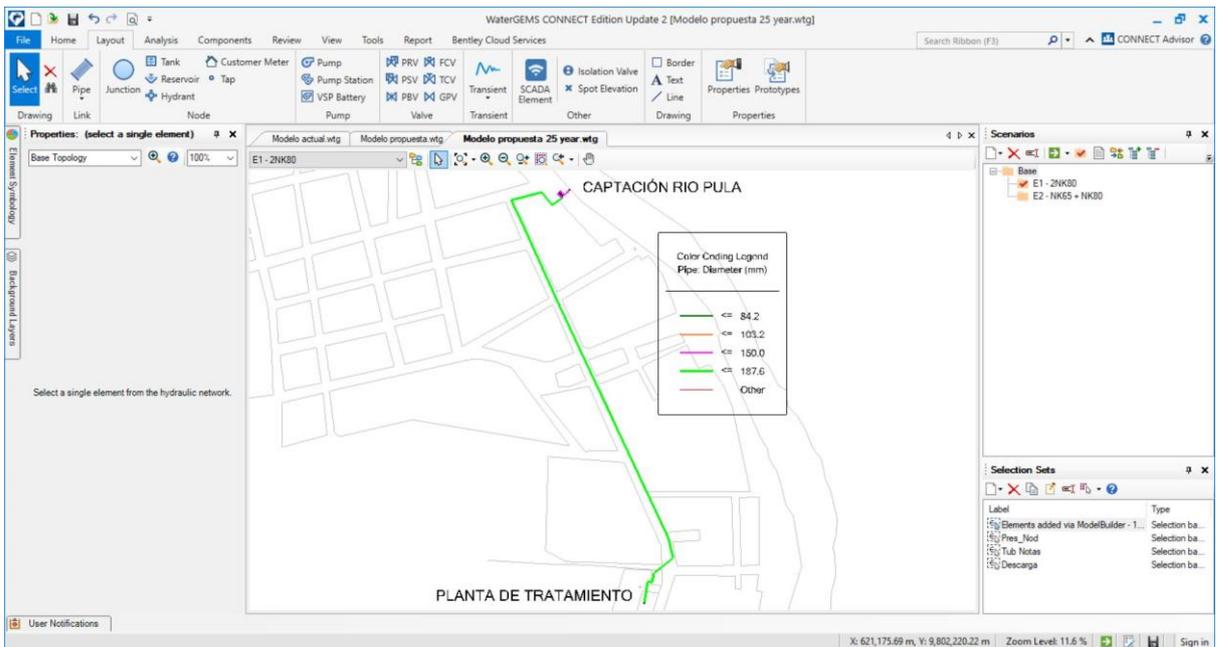
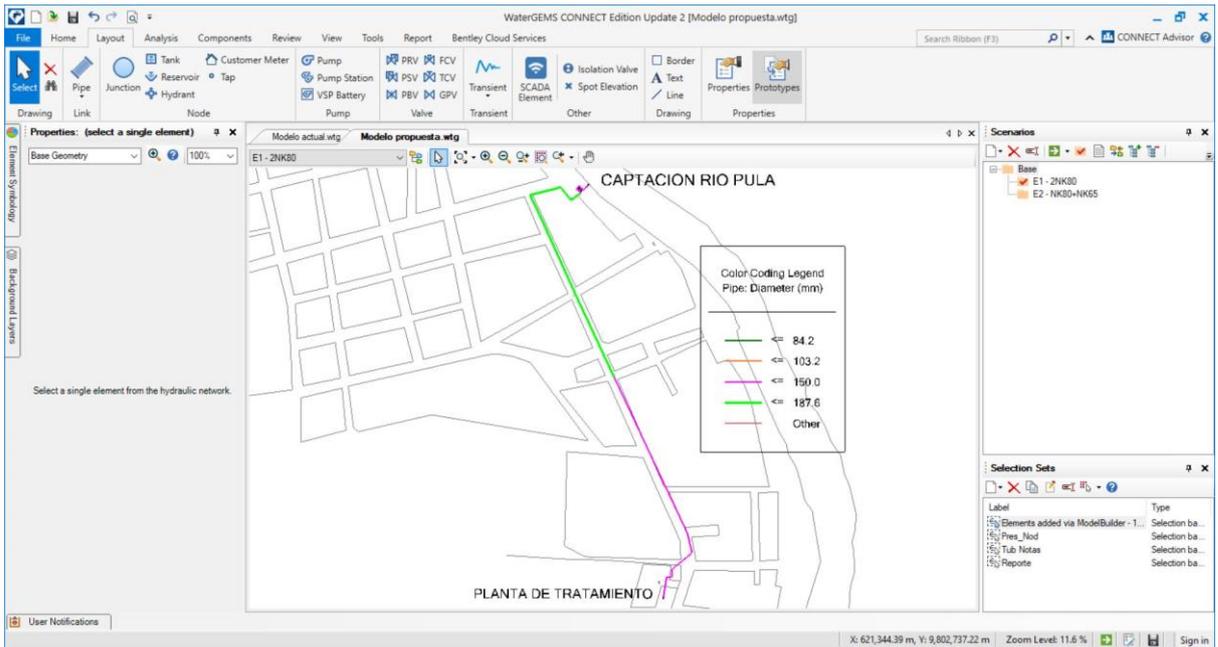
Fuente: (Sviatoslav krochin, 1986)

Anexo 3 Modelación del sistema existente y propuesta de rediseño en WaterGems con los diferentes escenarios



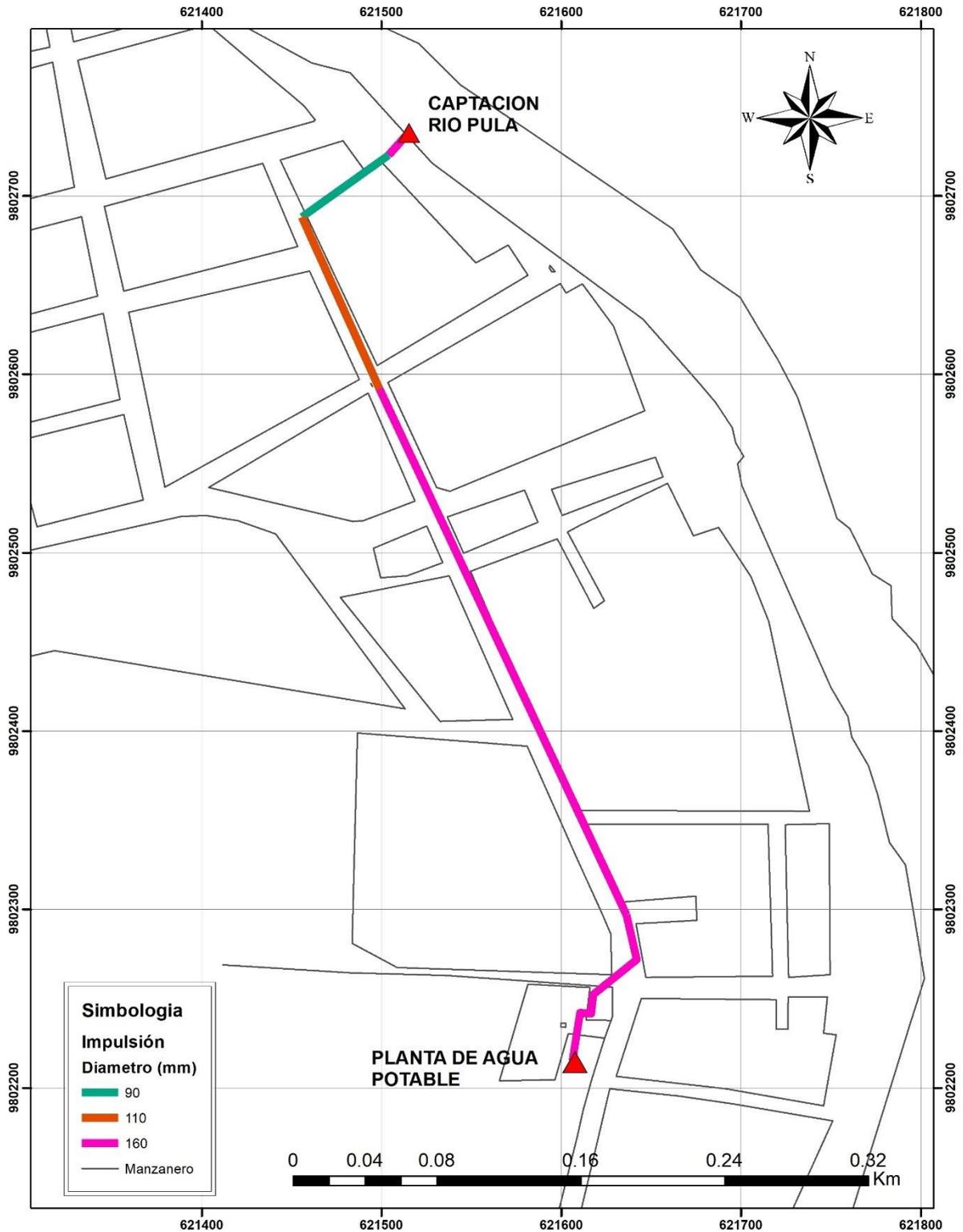


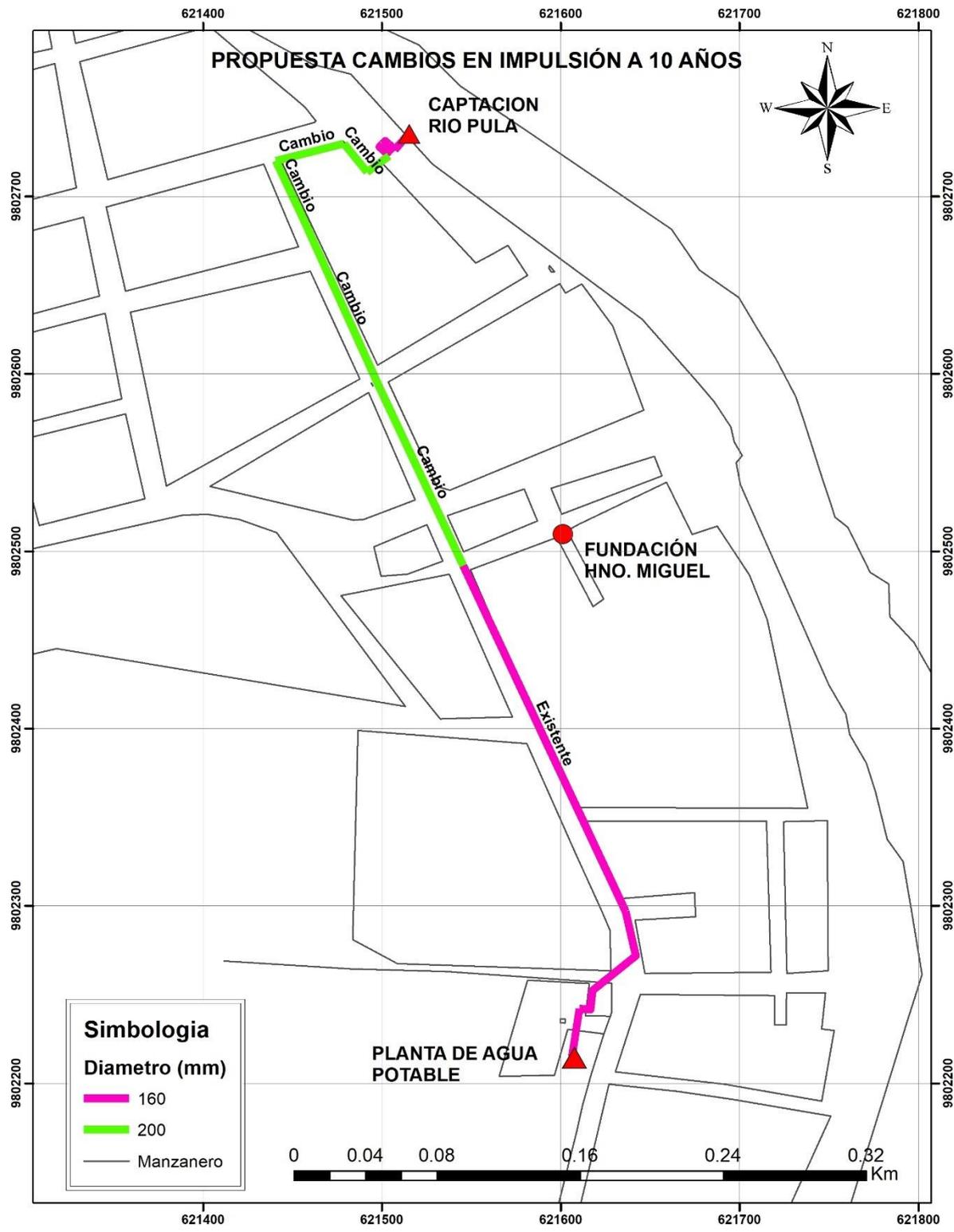


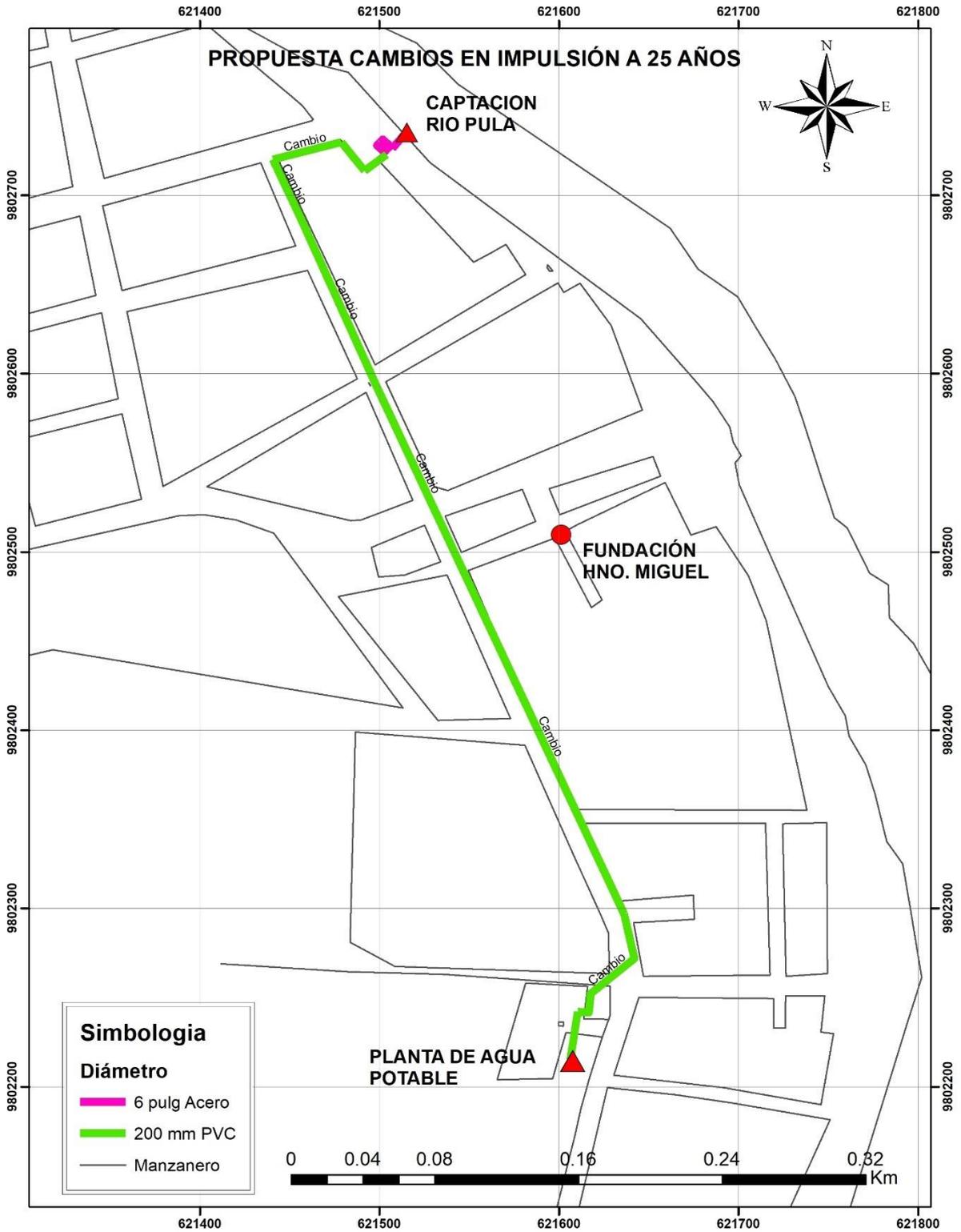


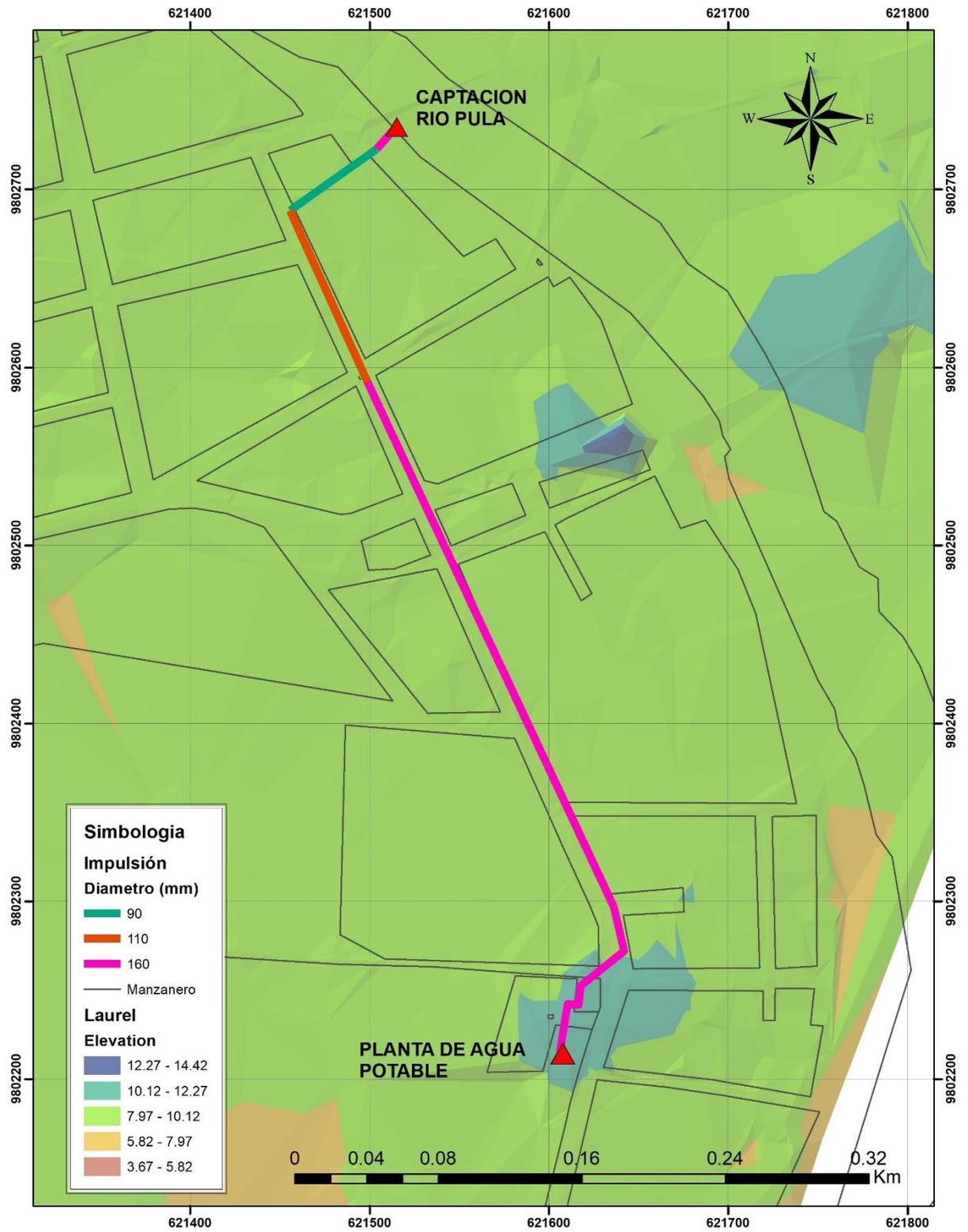
Elaborado por: Jonathan Merizalde

Anexo 4 Mapas de implantación de resultados obtenidos para situación actual, propuesta de diseño a 10 años y propuesta de diseño a 25 años.









Elaborado por: Jonathan Merizalde

Anexo 5 registro fotográfico de actividades realizadas en campo







Bibliografía

- Azzam, M. I., Korayem, A. S., Othman, S. A., & Mohammed, F. A. (2022). Assessment of some drinking water plants efficiency at El-Menofeya Governorate, Egypt. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100705>
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Pub. L. No. Artículo 12 (2008). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Han, D. (2010). *CONCISE HYDROLOGY*. <http://users.auth.gr/vmarios/ERASMUS/concise-hydrology.pdf>
- INEN. (1997). *CÓDIGO DE PRACTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5 Parte_9-2.pdf
- Krochin, S. (1986). *Diseño hidráulico* (tercera).
- Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). Impulsión de fluidos. In *Mecánica de Fluidos* (p. 64). <http://creativecommons.org/licenses/by-ncnd/%0A3.0/>
- Mayacela, M., Moya, D., Morales, F., & Maldonado, L. (2021). Analysis of the daily consumption of potable water in the urban area of the Ambato city in the Province of Tungurahua-Ecuador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 958(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/958/1/012008>
- Molina, R. T., & Pardo, D. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano*.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6BnSCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Las+fuentes+de+abastecimiento+de+agua&ots=w-h4LaiPEg&sig=YGRLeWlkn_nLVfTu-GvA2XyZtCs#v=onepage&q=Las+fuentes+de+abastecimiento+de+agua&f=false

ONU. (2018). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018*.

<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-es.pdf>

Sviatoslav krochin. (1986). *Diseño hidráulico* (TERCERA ED).

UNESCO. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*.

https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco_informe_mundial_de_las_naciones_unidas_sobre_el_desarrollo_de_los_recursos_hidricos_2020_agua_y_cambio_climatico_datos_y_cifras_2020.pdf

Villón, M. (2004). *HIDROLOGÍA*.

Azzam, M.I.; Korayem, A.S.; Othman, S.A.; Mohammed, F.A. Assessment of some drinking water plants efficiency at El-Menofeya Governorate, Egypt. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 2022.

Marsono, B D; Nirwisaya, P M, Evaluation of community-based water supply system in Krebung, Sidoarjo. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021.

Suquet, J.; Godo-Pla, Ll.; Valentí, M.; Ferràndez, L.; Verdaguer, M.; Poch, M.; Martín, M.J. Monclús, H., Assessing the effect of catchment characteristics to enhanced coagulation in drinking water treatment: RSM models and sensitivity analysis. *Science of The Total Environment*, 2021.

Tansel, Berrin; Zhang, kaixuan. Effects of saltwater intrusion and sea level rise on aging and corrosion rates of iron pipes in water distribution and wastewater collection systems in coastal areas. *Journal of Environmental Management*, 2022.

Li, LingyuSend mail to Li L. Pump selection of ultra-low head and large flow tubular pumping station. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2022.

Mayacela, M; Moya, D; Morales, F; Maldonado, L. Analysis of the daily consumption of potable water in the urban area of the Ambato city in the Province of Tungurahua-Ecuador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021.

García-Ávila, Fernando; Zhindón-Arévalo, César; Valdiviezo-Gonzales, Lorgio; Cadme-Galabay, Manuel; Gutiérrez-Ortega, Horacio. A comparative study of water quality using two quality indices and a risk index in a drinking water distribution network. *Environmental Technology Reviews*, 2022.

Molinero, Jon; Cipriani-Avila, Isabel; Barrado, Miren. Heavy metal concentrations in rivers and drinking water of Esmeraldas (Ecuador) under an intermittent water supply service. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021.

Merchan, Bethy; Ullauri, Paula; Amaya, Fernando; Dender, Lenin; Carrión, Paul. Design of a sewage and wastewater treatment system for pollution mitigation in el rosario, El Empalme, Ecuador, 2021.

Cipriani-Avila, Isabel; Molinero, Jon; Jara-Negrete, Eliza; Barrado, Miren; Arcos, César; Mafla, Santiago; Custode, Fernando; Vilaña, Gissela; Carpintero, Natalia; Ochoa-Herrera, Valeria. Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of Water and Health*, 2020.