

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA ÓPTIMA OPERACIÓN DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO LA PALMA (CUNDINAMARCA)**

**JUAN MANUEL PANTOJA PIPICANO CÓDIGO: 503504
JORGE ADOLFO GUERRON ROSERO CÓDIGO: 504786**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA ÓPTIMA OPERACIÓN DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO LA PALMA (CUNDINAMARCA)**

**JUAN MANUEL PANTOJA PIPICANO CÓDIGO: 503504
JORGE ADOLFO GUERRON ROSERO CÓDIGO: 504786**

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

**Director
Ing. Guillermo Hernández Torres, MSc**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. GUILLERMO HERNÁNDEZ TORRES
Director de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 22 de mayo de 2018.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios que nos ha guiado por el camino del bien y sabemos que con el a nuestro favor podremos superar cualquier obstáculo que se presente en nuestras vidas.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y en especial en el desarrollo del presente trabajo de grado. Sin ustedes ninguno de los logros alcanzados habrían sido posibles.

A nuestro director el Ing. Guillermo Hernández Torres por su confianza en nosotros, su orientación permanente y apoyo de la manera más favorable, brindando para nosotros consejos que hicieron más satisfactorio el desarrollo del presente trabajo de grado.

Finalmente agradecemos a la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA por brindarnos la formación académica necesaria para poder llevar a cabo este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. CAPITULO I. GENERALIDADES.....	13
1.1. ANTECEDENTES.....	13
1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. General.....	15
1.3.2. Especificos.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.5. DELIMITACIÓN.....	16
1.6. MARCO REFERENCIAL.....	18
1.6.1. Marco Teórico.....	18
1.6.2. Marco Conceptual.....	23
1.7. METODOLOGÍA.....	24
2. CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO.....	25
2.1. INFORMACIÓN GENERAL.....	25
2.1.1. Historia.....	26
2.1.2. Ecología.....	28
2.1.3. Economía.....	28
2.1.4. Aspectos Político-Administrativo.....	29
2.1.5. Mapas.....	31
2.2. ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN.....	35
2.2.1. Censos Dane.....	35
2.2.2. Proyección poblacional.....	36
2.2.3. Modelos.....	38
2.3. DOTACIÓN NETA MÁXIMA.....	46
2.3.1. Caudal de diseño.....	46
2.3.2. Dotación neta.....	46
2.3.3. Dotación bruta.....	47
2.3.4. Demanda.....	47
2.4. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL.....	49
2.5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	63
2.5.1. Análisis de Bombeo.....	63
2.5.2. Análisis de Facturación.....	64
3. CAPÍTULO III.MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO.....	65
3.1. CAPACIDAD DE LOS TANQUES.....	75
3.2. SISTEMA DE BOMBEO.....	82
4. CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....	85
4.1. INGRESOS DEL ACUEDUCTO.....	86
4.2. ANÁLISIS HORAS / COSTO BOMBEO.....	90
4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS POR BOMBEO.....	91
4.4. ANÁLISIS VIABILIDAD DEL ACUEDUCTO ALTERNO.....	96

5.	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES.....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	100
	ANEXOS	103

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa conceptual.	23
Ilustración 2. Escudo del Municipio la Palma	25
Ilustración 3. Mapa del sector urbano Municipio de la Palma.....	29
Ilustración 4. Localización del municipio en el mapa de Colombia	31
Ilustración 5. Localización del municipio en el Departamento	32
Ilustración 6. Mapa de balance hídrico.....	33
Ilustración 7. Mapa de las Cuencas	34
Ilustración 8. Gráfica de Censos Oficiales según DANE	37
Ilustración 9. Gráfica del Modelo Lineal	39
Ilustración 10. Gráfica Modelo Geométrico.	40
Ilustración 11. Gráfica Modelo Logarítmico.	41
Ilustración 12. Gráfica Modelo Wappus	42
Ilustración 13. Gráfica de proyecciones del DANE	44
Ilustración 14. Fotografías de la Bocatoma.	49
Ilustración 15. Fotografía de la tubería encofrada.	50
Ilustración 16. Fotografía de desarenador los Tiestos.....	50
Ilustración 17. Fotografías de la tubería de aducción.....	51
Ilustración 18. Fotografía de una válvula.	51
Ilustración 19. Fotografías de desarenador Puente de oro.....	52
Ilustración 20. Fotografías estación de bombeo Puente de oro.....	53
Ilustración 21. Fotografía Bomba, estación Puente de oro.....	54
Ilustración 22. Fotografía tablero de control bombeo, Puente de oro.	54
Ilustración 23. Fotografía sistema de conexión de las bombas en tipo flauta.	55
Ilustración 24. Fotografía tubería de la bomba sumergible.....	55
Ilustración 25. Fotografía de alcantarilla para lavado de tanque.	56
Ilustración 26. Fotografía tubería de salida Puente de oro.	56
Ilustración 27. Fotografía de tubería de acero que empalma con PVC	57
Ilustración 28. Fotografía muro de concreto que funciona como macho.	57
Ilustración 29. Fotografía de la tubería PVC 8 pulgadas.	58
Ilustración 30. Fotografía estación de bombeo Matadero.....	58
Ilustración 31. Fotografía bomba de estación Matadero.....	59
Ilustración 32. Fotografía tablero de control, bombeo Matadero.	59
Ilustración 33. Fotografías sistema de conexión, bombas en Puente de oro.....	60
Ilustración 34. Fotografía Tubería de Acero conducción, Matadero - El alto.	61
Ilustración 35. Fotografía PTAP, Matadero.	61
Ilustración 36. Fotografía PTAP Matadero, Canaleta Marshall.....	62
Ilustración 37. Fotografía PTAP Matadero, Tabiques.....	62
Ilustración 38. Fotografía de especificaciones Bomba Puente de Oro.	68
Ilustración 39. Fotografía de especificaciones bomba Matadero.....	69
Ilustración 40. Red principal del sistema en WaterCAD.	70
Ilustración 41. Reservorio y Bombeo Puente de oro.	71
Ilustración 42. Red principal del sistema, PTAP, Almacenamiento y Bombeo Matadero...72	
Ilustración 43. Bombeo Matadero e Inicio de conducción a Tanque Alto	73
Ilustración 44. Tanque almacenamiento el Alto.....	74
Ilustración 45. Variación horaria uso del agua	76

Ilustración 46. Gráfica de Volumen y nivel del Tanque vs Horas del día.	77
Ilustración 47. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.	78
Ilustración 48. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.	79
Ilustración 49. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.	80
Ilustración 50. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.	81
Ilustración 51. Curva de la Bomba Puente de Oro.	83
Ilustración 52. Curva de la Bomba Matadero.	84
Ilustración 53. Factura de servicios públicos del municipio	87
Ilustración 54. Módulo de Hogares La Palma.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos del municipio la Palma Cundinamarca.....	17
Tabla 2. Sector Urbano: Barrios de la Palma.....	30
Tabla 3. Sectores rurales municipio de la Palma.....	30
Tabla 4. Censo DANE 1985.....	35
Tabla 5. Censo DANE 1993.....	35
Tabla 6. Censo DANE 2005.....	36
Tabla 7. Proyección poblacional.....	36
Tabla 8. Resultados de las proyecciones.....	38
Tabla 9. Número de habitantes en Cabecera.....	43
Tabla 10. Datos de las proyecciones realizadas en el software (HAYA).....	45
Tabla 11. Promedio estimado de la Población.....	45
Tabla 12. Dotación neta máxima.....	46
Tabla 13. Datos del Reservorio en WaterCAD.....	65
Tabla 14. Datos De los Tanques en WaterCAD.....	65
Tabla 15. Datos de los Nodos en WaterCAD.....	66
Tabla 16. Datos de la Tubería en WaterCAD.....	67
Tabla 17. Datos de las Estaciones de Bombeo.....	68
Tabla 18. Datos de las Válvulas ventosa.....	69
Tabla 19. Variación horaria de Uso del Agua.....	75
Tabla 20. Datos de la Bomba Puente de Oro.....	82
Tabla 21. Datos de la Bomba Matadero.....	84
Tabla 22. Estructura tarifaria del servicio de acueducto.....	86
Tabla 23. Consumo de agua por vivienda en la cabecera municipal.....	89
Tabla 24. Análisis Horas / Costo Bombeo.....	90
Tabla 25. Optimización de costos por Bombeo.....	92
Tabla 26. Optimización de costos por Bombeo.....	93
Tabla 27. Optimización de costos por Bombeo.....	95

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta una propuesta de mejoramiento que se elaboró para la red de distribución principal de agua del municipio de La Palma Cundinamarca, el proceso de modelación no fue nada fácil ya que al introducir los datos de entrada hay que ser cuidadosos, el ingreso de cualquier dato erróneo afecta bruscamente el modelo, la simulación se desarrolló en el programa WaterCAD, es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego), que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos.

El documento presenta una descripción detallada de la situación actual de cada uno de los componentes que conforman el sistema de acueducto.

Para realizar la descripción del sistema actual, se trabajó de mano con un fontanero suministrado por la oficina de servicios públicos del acueducto realizando visitas a todo el sistema, iniciando en el punto de captación (Bocatoma los Tiestos), la línea de conducción, y la PTAP, así como también se hizo una recolección de información con el fin de conocer las condiciones actuales y reales de la empresa prestadora del servicio. Además, se realizó un análisis poblacional para conocer la estimación del caudal, e ingresar los datos en el software WaterCAD y con ello realizar la simulación del sistema de acueducto, se consultó bibliografía relevante que permitió conocer algunos contextos de la problemática y las posibles alternativas para poder mitigar esta misma.

INTRODUCCIÓN

Mediante el presente trabajo se busca realizar una propuesta de mejoramiento para la óptima operación del sistema de acueducto del municipio La Palma (Cundinamarca), teniendo en cuenta que el municipio cuenta con tres estaciones de bombeo en serie lo que hace que los costos del servicio eléctrico sean muy elevados. Igualmente, esto hace que el sistema de acueducto sea insostenible económicamente.

El trabajo se realizó en el municipio de “La Palma, municipio del Departamento de Cundinamarca, ubicado al noroeste de Bogotá, ciudad de la cual dista a tan sólo 150 kilómetros, por carretera; La Palma se encuentra a 1.462 metros sobre el nivel del mar, y tiene una temperatura media de 21 grados centígrados”¹. Según las proyecciones de poblaciones por área del DANE para el 2017 cuenta con una población total de 10,912 habitantes”². (**Anexo N° 1**).

Durante el desarrollo del proyecto se realizó una visita técnica donde se evaluó el estado de las obras hidráulicas existentes, se recolectó la información necesaria a entidades encargadas de los servicios públicos para así poder obtener la cantidad de usuarios que tiene el acueducto, se realizó una estimación de la población con censos registrados por el DANE basándose en criterios de modelos establecidos por la “Resolución 330 de junio del 2017 (modelo aritmético, geométrico, exponencial)”³.

Se generó un documento donde está plasmado un plan de mejoras y un manual de operación para el sistema de bombeo del Acueducto, resaltando que la operación del sistema de bombeo es el principal problema, se espera que con este plan de mejoramiento y optimización se logre obtener un buen resultado respecto a las condiciones actuales, para garantizar un mejor funcionamiento del sistema, garantizar un suministro de agua adecuado y mejorar los tiempos de abastecimiento, actualmente se abastece de agua cada 2 días para algunos sectores, causando molestias en los usuarios por el mal servicio.

¹Cundinamarca, Alcaldía Municipal de La Palma. 2017. Nuestro Municipio. Información general. [En línea] 26 de abril de 2017. [Citado el: 12 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3>>.

² DANE. Proyeccion de poblaciones. [En línea] [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] En línea. Disponible en <<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>>.

³ COLOMBIA. 2017. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. resolucin 330. [En línea] 08 de Junio de 2017. [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico. Disponible en <<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>>.

1. CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

En el municipio de La Palma Cundinamarca se realizó un análisis del estado de pérdidas y ganancias en los ingresos operacionales del municipio por la “prestación de servicios públicos pasaron de \$289.1 millones a \$344.7 millones en el año 2012 evidenciándose un incremento del 19.2% jalonado principalmente por el incremento de los ingresos percibidos por la prestación del servicio de acueducto, principalmente por la energía que generan las bombas sumergibles actuales que están reemplazando las antiguas bombas en las estaciones de bombeo utilizadas para impulsar el agua. Para los años 2011 y 2012 el costo por servicio de acueducto paso de \$156.1 millones a \$185.5 millones registrando un incremento del 18.8%. Para las mismas vigencias por servicio de alcantarillado con incrementos del 18.3%”⁴.

Conforme a la información financiera reportada por el municipio referente a los costos elevados de operación por el sistema de acueducto y por reparación y mantenimiento del mismo, se puede inferir que los costos en los que se está incurriendo para la prestación de los mismos, son demasiado altos respecto a los ingresos generados, situación que hace que la prestación de servicios sea insostenible.

El municipio cuenta con un sistema de acueducto alterno, el cual funciona por gravedad y sería muy rentable y ayudaría a mejorar el problema de sobrecostos de energía generados por el sistema de bombeo del acueducto actual, pero el acueducto se encuentra en abandono y los componentes que lo conforman están en mal estado, lo cual se recomienda rediseñar las estructuras y rehabilitar el sistema de acueducto.

EL municipio de La Palma Cundinamarca es el encargado y responsable de los servicios ya que el municipio no cuenta con una empresa de acueducto, “entonces es el mismo operador de la prestación de servicios públicos del acueducto, alcantarillado y aseo y cuenta con un tipo de operador OSP”⁵.

⁴ EMPRESAS PUBLICAS DE CUNDINAMARCA. Plan Departamental de Agua de Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <http://www.pdacundinamarca.com.co/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=205>.

⁵ EMPRESAS PUBLICAS DE CUNDINAMARCA. Plan Departamental de Agua de Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <http://www.pdacundinamarca.com.co/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=205>.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema general está encaminado en que el municipio de La Palma ubicado en el departamento de Cundinamarca, carece de un sistema de Acueducto insostenible económicamente, ya que los ingresos que obtiene el municipio son muy bajos para cubrir los costos que produce el sistema, y se evidencia que el suministro es inadecuado. Además, se conoce que los barrios de población reciben abastecimiento de agua cada 2 días, por el tema de sectorización, por lo que se ha tratado de reducir estos costos generados por el sistema de bombeo, que perjudica a la población ya que no cuenta con el servicio adecuado y teniendo en cuenta que es un elemento vital para todos los seres humanos para satisfacer sus necesidades.

Por comunicación directa de la oficina de servicios públicos, el municipio cuenta con un Acueducto alterno el cual tiene un funcionamiento por gravedad y el cual está sin uso debido a que hay componentes del sistema que presentan fallas lo cual requiere unas técnicas para viabilizar su uso. También hacer un manejo adecuado con las pérdidas que se puede controlar a través de macro medición, micro medición, manejo de válvulas, y sectorización para así saber dónde se están presentando las pérdidas.

La alternativa que se propone es realizar un diagnóstico de todo el sistema, realizar una evaluación del sistema actual, en una simulación en periodo extendido en software WaterCAD, para hacer un análisis y poder presentar una propuesta de mejoramiento. Otra alternativa que se propone es darle uso al acueducto alterno para abastecer al municipio con más agua y lograr reducir los costos de energía que generan los bombeos, ya que ambos acueductos trabajarían en conjunto para brindar un mejor servicio de agua a la población del municipio.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. General.

- Realizar una propuesta de optimización para la operación del Sistema de acueducto del municipio de la Palma Cundinamarca.

1.3.2. Específicos.

- Realizar un diagnóstico de cada uno de los componentes que conforman el sistema de acueducto.
- Evaluar el comportamiento de las obras actuales y el manejo operacional del sistema de acueducto.
- Presentar un plan de mejora técnico para el manejo adecuado del sistema de acueducto.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El proyecto que se realizó tiene una justificación basada en que los costos del servicio de energía son muy elevados, debido a que el sistema de acueducto cuenta con tres casetas de bombeo los cuales funcionan en serie, y a pérdidas de agua que pueden ser por conexiones ilegales y fugas del sistema no identificadas, ya que dichas pérdidas de agua logran que sea menos eficiente el caudal bombeado, por este motivo los tanques no obtienen el volumen de agua adecuado para ser almacenado y después de la mejor manera alimentar la población. Las bombas deben permanecer encendidas casi todo el tiempo para permanecer un volumen constante en los tanques y este es el principal problema de los incrementos del servicio de energía.

Se realizó una visita técnica al municipio de La Palma Cundinamarca y en especial a todo el sistema de acueducto, con el fin de hacer un diagnóstico general al sistema en donde se evaluó todos los componentes que conforman el sistema. Se realizó una propuesta de mejoramiento y optimización en los costos elevados de consumo de energía por parte del sistema en serie (Bombeo), lo cual es insostenible económicamente para el municipio.

Ver (**Anexo N° 2**), Facturas del servicio de energía prestado por la empresa Codensa, se puede evidenciar los costos elevados.

1.5. DELIMITACIÓN

Los límites que tiene el proyecto, en cuanto a espacio, tiempo, contenido y alcances para el desarrollo de este proyecto, es que siguiendo estas delimitaciones se pueda dar cumplimiento con los objetivos planteados.

- **Espacio.**

Se trabajó en las zonas de La Palma Cundinamarca, donde están ubicadas las estructuras del sistema de acueducto, se logra ingresar a estas zonas gracias al acompañamiento de un funcionario público suministrado por parte de los servicios públicos, La Palma Cundinamarca tiene una extensión total: 191 km², Extensión área urbana: 0.6626 Km² y rural: 190.01 Km².

- **Tiempo.**

La duración de la toma de datos y el reconocimiento de las estructuras de captación y bombeo del sistema de acueducto, se hizo en un recorrido de 1 día, en ese día se logró obtener la información necesaria del sistema de acueducto que está actualmente en funcionamiento.

- **Contenido.**

Se realizó una propuesta de mejoramiento para la óptima operación del sistema de acueducto de la Palma Cundinamarca, para disminuir en cuanto a costos de energía se trata debido al funcionamiento del sistema de bombeo, mediante la visita técnica y suministro de datos del acueducto, adquiridos mediante la empresa de servicios públicos de La Palma.

- **Alcance.**

Se llegó a la propuesta de mejoramiento para la óptima operación del sistema de acueducto de la Palma Cundinamarca, mejorando en la operación del sistema de bombeo y el almacenamiento en relación de la capacidad de los tanques, a su vez se generaron las respectivas recomendaciones para la operación del sistema y del mantenimiento necesario que debe hacerse con frecuencia en las estructuras que componen el sistema de acueducto.

- **Geografía.**

- **Descripción Física.**

La Palma, hoy municipio del Departamento de Cundinamarca, ubicado al noroeste de Bogotá, ciudad de la cual dista a tan sólo 150 kilómetros, por carretera; La Palma se encuentra a 1.462 metros sobre el nivel del mar, y tiene una temperatura media de 21°.

Está situada en una especie de plataforma en las faldas de la cordillera de la Osa o Lausana, en medio de dos colinas: la de la Cruz y San Javier, y su conjunto ofrece una vista panorámica muy amena y risueña. Es el centro de un extenso territorio que comprende los municipios de La Peña, El Peñón, Topaipí, Yacopí y Caparrapí.

- **Límites del municipio.**

El Municipio de La Palma Tiene una Extensión de 19.067,34 Hectáreas, distribuidas en 19.001,08 Has en la zona rural y 66.26 Has en la zona urbana, Los límites establecidos legalmente para el Municipio de La Palma son los siguientes:





NORTE: Municipio de Yacopí

SUR: Municipios de Útica y la Peña

ORIENTE: Municipios de Topaipí y el Peñón

OCCIDENTE: Municipio de Caparrapí.

Tabla 1. Datos del municipio la Palma Cundinamarca.

 <i>Extensión Total</i> 191 km ²	<i>Extensión área urbana</i> 0.6626 km ²	<i>Extensión área rural</i> 190.01 km ²
 <i>Altitud de la cabecera municipal</i> 1.462 msnm	 <i>Temperatura promedio</i> 21 °C	 <i>Población</i> 10.727 habitantes

Fuente: (Cundinamarca, 2017)

➤ **Vías de comunicación y acceso.**

Terrestres: La Palma Cundinamarca cuenta con una malla vial “de 204,9 kilómetros, estas carreteras están divididas de la siguiente manera:

Vías municipales: 130 kilómetros

Vías departamentales: 62.4 kilómetros

Vías nacionales. 12.5 kilómetros”⁶

Fluviales: “En el Municipio se encuentra en la vertiente Oriental del Río Magdalena, parte alta de la Gran Cuenca hoya hidrográfica del Río Negro. En la parte oriental la cuenca del río Murca, compartida con Topaipí y el Peñón. En el sector occidental, compartida con la Peña y Utica se encuentra la microcuenca del río Zumbe”⁷.

1.6. MARCO REFERENCIAL

1.6.1. Marco Teórico.

La necesidad de proporcionar agua para satisfacer “las necesidades físicas y domésticas básicas”⁸, por tal motivo estos “revisten gran importancia dentro de la comunidad. Determinan el nivel de desarrollo social y cultural de una comunidad. Está constituido por las obras de agua potable "acueductos", las cuales permiten llevar el agua potable a los usuarios, que una vez las utilizan de acuerdo a los diferentes fines como son industriales, comerciales, domésticos, entre otros, las desechan como aguas residuales, que son a su vez las aguas que recolecta el sistema de alcantarillado mediante redes de tuberías y sus diferentes aditamentos. Una vez las aguas residuales son captadas con el sistema son conducidas y entregadas al sistema de purificación o planta de tratamiento de aguas residuales en donde se realiza un proceso de descontaminación y así poder

⁶ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. Información general. [En línea] 26 de abril de 2017. [Citado el: 12 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3>>.

⁷ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. Información general. [En línea] 26 de abril de 2017. [Citado el: 12 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3>>.

⁸ Mays, Larry W. 1999. Water Distribution System Handbook. HYDRAULICS OF PRESSURIZED FLOW, Chapter. [En línea] 21 de Octubre de 1999. [Citado el: 17 de agosto de 2017.] Disponible en <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/water-distribution-system-handbook/p2000aed999702_1001>.

entregar esta agua nuevamente a las fuentes de agua superficiales”⁹.

En nuestro país, “la precaria administración de los sistemas de acueducto, en muchos de los municipios, no ha permitido hacer registros históricos de los consumos de agua; lo que dificulta los estudios posteriores en programas de optimización, proyección o ampliación de sistemas”¹⁰.

“El agua es la sustancia más abundante en la tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre”¹¹. Por tal motivo “con el paso del tiempo y debido al crecimiento poblacional ha sido necesario realizar obras cada día de mayor tamaño con la finalidad de abastecer de este preciado líquido a las poblaciones que día a día lo solicitan en mayor cantidad y de mejor calidad, para sus necesidades”¹².

Por lo cual cualquier población, por pequeña que sea, debería contar por lo mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado, si se espera de ella un desarrollo social y económico y, ante todo, la reducción de las altas tasas de mortalidad, en especial de la población infantil. Uno de los principales objetivos de los ingenieros para poder contrarrestar estas problemáticas donde no solo se hace diseño y ampliación de las grandes ciudades, sino la creación de la infraestructura necesaria en poblaciones pequeñas, con miras a lograr soluciones adecuadas y acordes con una limitada inversión de capital. Teniendo en cuenta que los diseños se regirán bajo normas orientándose a una solución básica de los servicios referidos¹³.

Dentro del marco de los sistemas (resolución 330, 2017) de Acueducto en Colombia se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS, donde la presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. La resolución tiene en cuenta principios

⁹ MURCIA DURAN, Luis Felipe. 2005. Curso de acueductos y alcantarillados con uso de multimedia para educación a distancia. [En línea] Junio de 2005. [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10194/2/MurciaDuranLuisFelipe2005.pdf>>.p.4.

¹⁰ CORCHO ROMERO, Fredy Hernan y DUQUE SERNA, José Ignacio. 2005. Acueductos teoría y diseño. [ed.] Lorenza Correa Restrepo. 3 ed. Medellín, Colombia : sello-Universidad de Medellín, 2005.p.1.

¹¹ CHOW, Ven Te. 2000. Applied Hidrology. [En línea] 2000. [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] Disponible en <<https://es.scribd.com/doc/157120498/Applied-Hydrology-Ven-Te-Chow>>.p 1-577.

¹² JIMENEZ TERAN, Jose Manuel. Manual de diseño para proyectos de hidraulica. [En línea] [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>>.p.5..

¹³ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: Introducción. 2 ed. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. p.19.

orientadores como planeación, diseño y ejecución de las obras y de las actividades de operación y mantenimiento, unos de estos son: garantizar la calidad de la prestación de los servicios, lograr la atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico, buscar la ampliación permanente de las coberturas de los servicios, garantizar la prestación continua e ininterrumpida de los servicios, garantizar la seguridad, durabilidad, funcionamiento adecuado, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia de la infraestructura requerida para la prestación de los servicios públicos de agua y saneamiento¹⁴.

Los sistemas principales se utilizan para poblaciones pequeñas pero estructuradas (municipios). Estos sistemas de abastecimiento se clasifican según sea el tipo de captación, por gravedad y conducción por gravedad, captación por gravedad y conducción forzada o captación por gravedad y conducción forzada por bombeo. La determinación de la cantidad de agua que debe suministrar el acueducto es la base del diseño ya que los diseños deberán satisfacer las necesidades de la población durante un periodo suficientemente grande, para poder cumplir esto hay que tener en cuenta como factores: población de diseño, periodo de diseño, área de diseño, hidrología de diseño, usos del agua, inversión del capital¹⁵.

Para hacer los “análisis de sistemas de conductos a presión, el análisis se realiza utilizando las ecuaciones de continuidad y de energía, tomando en consideración las pérdidas por fricción y locales”¹⁶.

El consumo total del agua que requiere la población es fundamental para poder establecer el caudal de diseño. El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa por lo general en litros por habitante y por día (L*Ha/Día). El consumo total de un municipio se puede dividir en el consumo neto y las pérdidas de agua en el sistema de acueducto.

Los factores determinantes para el consumo de agua son: la temperatura pues mayor temperatura mayor consumo de agua, el consumo será mayor en la medida en que las personas tengan la seguridad de una buena calidad de agua, las características sociales y económicas donde el consumo de agua también depende en buena parte del nivel de educación y de nivel de ingresos de la población, servicios de alcantarillado el hecho de disponer una red de alcantarillado incrementa notablemente el consumo de agua potable, presión

¹⁴ COLOMBIA. 2017. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. resolución 330. [En línea] 08 de Junio de 2017. [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico. Disponible en <<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>>.

¹⁵ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: Sistemas principales. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. p.28.

¹⁶ OTELO AVILA, Gilberto. 1974. Hidraulica General. Mexico: LIMUSA, 1974. P.323. Vol. 1.

en la red de distribución de agua si se tienen altas presiones en la red, habrá mayores desperdicios en el consumo doméstico al abrir las llaves de los lavamanos, regaderas y otros elementos. Igualmente, se puede presentar un mayor número de rupturas de tubos dentro del domicilio o en la misma red de distribución, aumentado así el volumen de agua perdida. Una administración eficiente debe controlar mejor el consumo de agua reduciendo las fugas y desperdicios, y vigilando las conexiones clandestinas. Cuando haya la necesidad de utilizar el bombeo en un sistema de acueducto, se debe tener en cuenta que esta alternativa resultara más costosa desde el punto de vista de operación y mantenimiento, en comparación con las alternativas posibles de conducción por gravedad. En caso de la captación de agua por bombeo, la estación debe colocarse aguas arriba de cualquier descarga de aguas residuales. Así mismo, hay que estudiar la disponibilidad de energía eléctrica o combustible y el acceso a las instalaciones¹⁷.

Las estaciones de bombeo “son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución”¹⁸. Las bombas en “sistemas de tuberías se clasifican en: bombas centrífugas (flujo radial), bombas de flujo axial y bombas de flujo mixto”¹⁹. Los requerimientos de agua potable en niveles mínimos de calidad y cantidad dan como resultado” un panorama de obras futuras caracterizadas por grandes dimensiones y costos. Estas dimensiones se relacionan tanto por los caudales a transportar como por la longitud de las conducciones. En un país como el nuestro, donde muchas de las áreas urbanas se encuentran asentadas en regiones de bajas pendientes, casi siempre que se debe conducir agua, se debe contar con el aporte de estaciones elevadoras que permitan su escurrimiento”²⁰.

Las redes de distribución son: “Red de Distribución de Agua Potable Abierta o Ramificada, este tipo de red de distribución se caracteriza por contar con una tubería Principal de distribución (la de mayor diámetro) desde la cual parten ramales que terminarán en puntos ciegos, es decir sin interconexiones con otras tuberías en la misma Red de Distribución de Agua Potable. Red de Distribución de Agua Potable Cerrada o Mallada, en este tipo de red, se logra la conformación de mallas o circuitos a través de la interconexión entre los ramales

¹⁷ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: Introducción. 2 ed. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. P.53-54-140.

¹⁸ ORG PANAMERICANA DE LA SALUD. Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. [En línea] [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/161esp-diseno-estbombeo.pdf>>.p.3.

¹⁹ SALDARRIAGA, Juan. Abril del 2007. Hidraulica de tubería. Bogota: Alfaomega, Abril del 2007. p.189-189.

²⁰ DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO . [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.k4health.org/sites/default/files/MARmanual.doc>>

de la Red de Distribución de Agua Potable”²¹. Se debe fijar “el porcentaje de pérdidas técnicas y por otro concepto (conexiones clandestinas, fugas agua no facturada) previstas en la red, en un todo con las políticas de uso racional de agua del Ministerio de Desarrollo. Las pérdidas máximas deben ser fijas de acuerdo establecido en la resolución 330”²².

Las tuberías instaladas en las redes de acueducto de las ciudades y municipios del país “están fabricadas en materiales diversos como asbesto-cemento, concreto-acero, hierro, acero, cobre y plástico”²³.

“Un sistema de distribución de agua actúa como un conducto para transportar de manera confiable cantidades adecuadas de agua potable a los consumidores. Para lograr esto, el sistema debe funcionar según lo previsto y mantener una barrera física entre el agua dentro de la red y el entorno externo”²⁴. Donde este sistema tenga unos buenos planes “para diseñar, analizar, operar, mantener y rehabilitar los sistemas de distribución de agua”²⁵

²¹ INGENIERIA CIVIL. Redes de distribución de agua potable. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>>.

²² MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para sistemas de acueducto. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/sistemasacueducto/Sistemas%20acueducto%202.pdf>>.

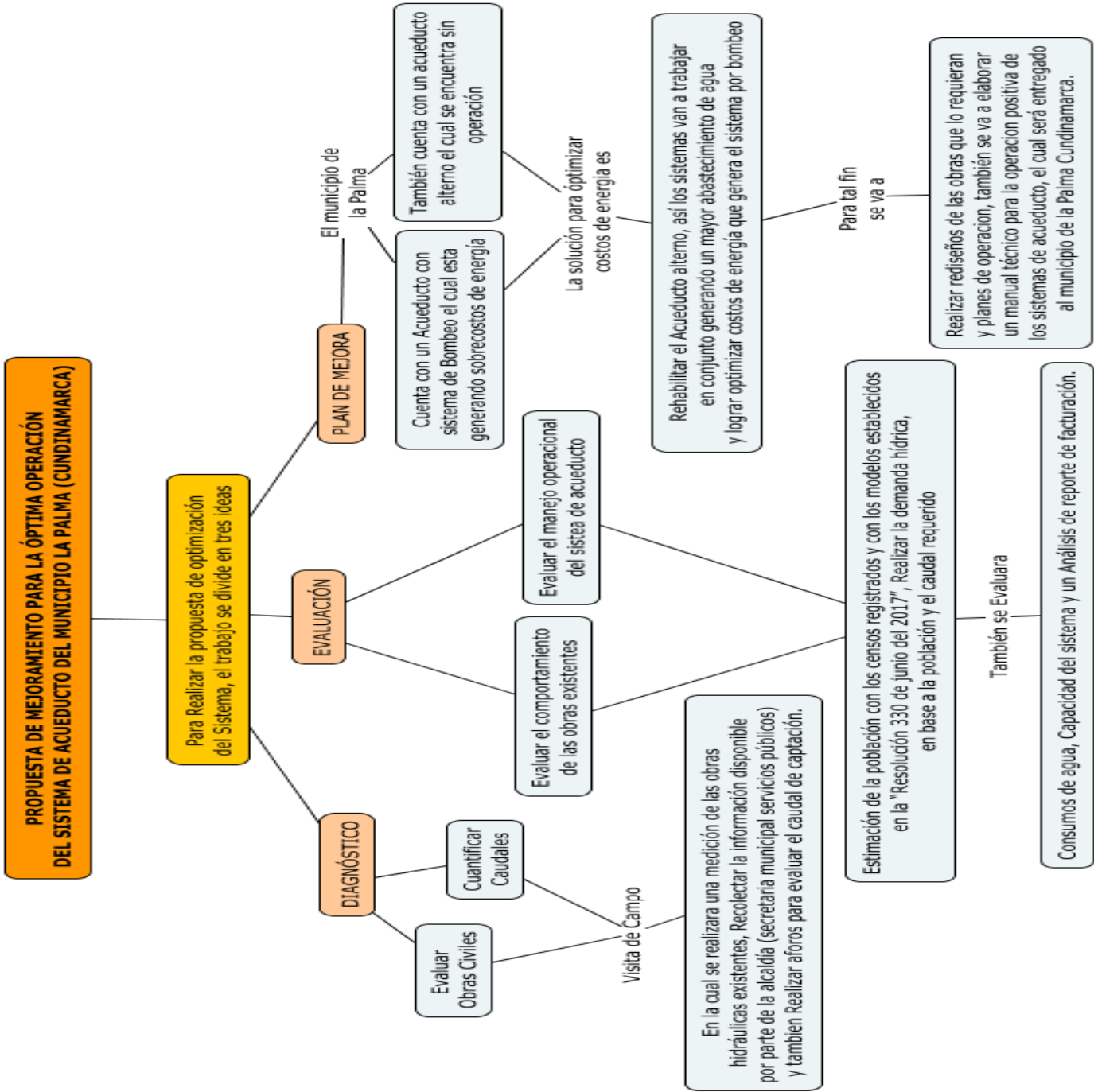
²³ MINAMBIENTE. La tubería de los acueductos y sus accesorios. Fontanería Municipal. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MD-0025/MD-0025_CAPITULO5.pdf>.p.4.

²⁴ ZIL, JE VAN. 2014. Introduction to operation and Maintenance of Water Distribution Systems. [En línea] 2014. [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] Disponible en <<http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT600-14.pdf>>.

²⁵ Marry, Larry W. Water Resources Engineering, 2 edition. [En línea] [Citado el: 17 de agosto de 2017.] Disponible en <<https://es.scribd.com/document/261466934/Water-Resources-Engineering>>.

1.6.2. Marco Conceptual.

Ilustración 1. Mapa conceptual.



Fuente: (Autores)

1.7. METODOLOGÍA

Para realizar el respectivo cumplimiento de los objetivos específicos, vamos a realizar lo siguiente:

A. Realizar una visita de campo.

- Realizar una medición de las obras hidráulicas existentes.
- Recolectar la información disponible por parte de la alcaldía (secretaría municipal servicios públicos).
- Establecer el número de usuarios que tiene el acueducto.

B. Realizar un Análisis poblacional.

- Realizar una estimación de la población con los censos registrados y con los modelos establecidos en la “Resolución 0330 de junio del 2017” (modelo aritmético, geométrico, exponencial).
- Realizar la demanda hídrica, en base a la población y el caudal requerido.
- Estimar los consumos de agua.
- Evaluar la capacidad del sistema.
- Análisis de reporte de facturación.

C. Realizar rediseños de las obras que lo requieran y planes de operación.

- Realizar un manual de operación.

2. CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO

2.1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del municipio: La Palma (Cundinamarca)

NIT: 899.999.369-1

Código DANE: 25394

Gentilicio: Palmero(a) Palmeros - Palmeras

Otros nombres que ha recibido el municipio:

- Paribari (Nombre Nativo).
- Monca.
- Villa de la Asunción de La Palma.

“La Palma es un municipio de Cundinamarca (Colombia), ubicado en la Provincia de Rionegro, se encuentra a 150km de Bogotá. Limita al norte con los municipios de Caparrapí y Yacopí, al oriente con Topaipí y El Peñón, al sur con La Peña y Utica, y al occidente nuevamente con Caparrapí”²⁶.

Escudo:

Ilustración 2. Escudo del Municipio la Palma



Fuente: (Cundinamarca, 2017)

“El Escudo se encuentra dividido en dos partes en forma vertical y a la derecha subdividida en dos partes iguales.

- En el campo izquierdo con fondo azul, una palma y el Alto de la cruz.
- En el campo superior derecho sobre fondo blanco, un escudo indígena cruzado en la parte trasera por dos armas, una española y la otra nativa, en memoria de los enfrentamientos de nuestros antepasados con los españoles. El lado inferior

²⁶ WIKIPEDIA. 2018. La Palma Cundinamarca. [En línea] 4 de Enero de 2018. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/La_Palma_%28Cundinamarca%29>.

- derecho y sobre fondo verde, el templo. A cada lado del escudo una bandera del municipio y en la parte superior, una mano con antorcha encendida.
- En la parte inferior una cinta roja con el lema “Tierra de Mucha Bondad”, palabras expresadas por los conquistadores al contemplar la exuberancia del paisaje”²⁷.

2.1.1. Historia.

“Los primitivos habitantes de esta región fueron los Tapaces, de Tapaz, vocablo que quiere decir "Piedra Ardiente", una etnia caribizada, proveniente de las migraciones de grupos de filiación Karib, desde del valle del río Magdalena y desde la Serranía del Perijá por la cuenca del Opón-Carare. Algunos autores afirman que eran parte de un sólo corpus cultural compartido con los Muzo del actual departamento de Boyacá, pero al parecer estaban políticamente diferenciados, o aislados de estos por barreras geográficas y por su forma de asentarse en el territorio, sin negar que mantuvieron con muzos, muisca y panche- todos vecinos- relaciones de intercambio y contiendas bélicas. Tanto así, que el nombre por el que fueron conocidos por los invasores españoles y aún por la literatura científica actual, es aquel con el que los denominaban los Panches del suroccidente del departamento, quienes les decían Colimas, palabra que en su lengua quiere decir "matador cruel". La población se fundó el 19 de noviembre de 1561 en el sitio que los naturales llamaban Paribarí por don Antonio de Toledo con el nombre de Villa de Nuestra Señora de La Palma, pero la población fue abandonada por los encomenderos, dada la hostilidad de los aborígenes, y la aparente renuencia del fundador para seguir regentando la empresa. La Real Audiencia condenó a Toledo a la reedificación de la Villa en el mismo sitio donde la había fundado. La cual se ordenó el 7 de septiembre de 1562. Su reconstrucción se inició el 13 de noviembre de 1562 con el nombre de La Ronda en el sitio de Am onca, fue fundada por el capitán don Diego Gutiérrez de Ovalle el 16 de junio de 1563, a 5 km del sitio anterior. En 1581 se le restituye el nombre de ciudad de La Palma. En la visita del comisionado Rodrigo Zapata el 16 de septiembre de 1629 destaca considerable disminución de los indios con relación al año 1617, por muerte de 1.583 hasta este año de 1629, cuando quedaban 4.696. La Palma pertenecía a la provincia de Mariquita. Los franciscanos fundaron en 1566 un convento, quienes trajeron la virgen de Aránzazu donde tuvo capilla, quedaba en el cementerio y debió derruirse en siglo pasado, a raíz de la supresión del convento. La ciudad y el partido fueron reconocidos al participar en su representación el bachiller José Ignacio de Vargas en el Colegio Constituyente que votó la primera Constitución de Cundinamarca el 30 de marzo de 1811 y en el Colegio Electoral que votó la de

²⁷ **Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017.** Nuestro Municipio. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>

17 de abril de 1812 por Santiago de Vargas y Clemente Calderón. Por decreto de 23 de marzo de 1822 el vicepresidente general Santander, re orgánico de los cantones de la provincia de Mariquita, el de la Palma se integró por las parroquias de Caparrapí, La Peña, El Peñón de Terama, Topaipí, Yacopí y Murca. Por ley de 25 de junio de 1824 que reformó la división territorial del país, se formó el departamento de Cundinamarca por las provincias de Bogotá, Antioquia, Neiva y Mariquita, formada por los cantones de Honda, Mariquita, Ibagué y La Palma. Por ley 14 de mayo de 1857 se anexó la banda oriental del Magdalena entre Chaguaní y límite con Vélez, a la Provincia de Bogotá; pero el Congreso el 6 de mayo de 1852 había subdividido la de Bogotá en cuatro provincias, una de ellas la de Zipaquirá, en la que se incluyó La Palma. Por ley C de 14 de noviembre de 1857 La Palma se agregó al departamento de Guaduas, y por ley C de 7 de julio de 1860 al de Honda. Por ley C de 22 de enero de 1873 se creó el departamento de La Palma, confirmado por decreto No. 53 de 16 de enero de 1886 del Distrito Federal de Cundinamarca, que le agregó el de Topaipí. Por decreto 248 de 31 de agosto de este año se suprimió el departamento y La Palma, como distrito, se anexó al departamento de Guaduas”²⁸.

- **Conflicto armado interno en Colombia.**

“En la década de 1950 la violencia bipartidista en Colombia, provocó el desplazamiento interno, la muerte y tortura de miles de personas, entre ellos un número significativo de palmeros, y en los años 1980 la población vivió la influencia del narcotráfico.

Posteriormente, la incursión de la guerrilla del Frente 22 de las FARC trajo consigo la lucha armada; sin embargo, a mediados de 2001, inició la etapa más cruenta del conflicto, ya que la disputa por el territorio entre el grupo guerrillero y paramilitares dejó miles de víctimas de asesinatos, masacres, secuestros y el desplazamiento forzado de muchos pobladores”²⁹.

²⁸ Cundinamarca, Alcaldía Municipal. 2017. Nuestro Municipio-Historia. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#historia>.

²⁹ WIKIPEDIA. 2018. La Palma Cundinamarca. [En línea] 4 de Enero de 2018. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/La_Palma_%28Cundinamarca%29>.

2.1.2. Ecología.

“La ecología del municipio está basada en grandes ecosistemas, entre los que se encuentran, Los Tiestos, La Chorrera y Hoya Fría. Estos ecosistemas se caracterizan por la gran diversidad de especies nativas que lo conforman, haciendo de ellos una fuente importante de nacimientos de agua que nutren las diferentes quebradas de nuestro municipio, entre las cuales se pueden mencionar, La Onda, Los Pozos, Escóbales, La Aguada, La Ciénaga, Los Peladeros, Paz, Agua Fría, Quijano, Hoya Fría, entre otras. Por otra parte, nuestra ecología está conformada por diversas especies nativas y otras que se han introducido al ecosistema y que la población ha adoptado y cultivado durante la historia.

La flora la representan grandes árboles, acompañados por una gran diversidad de especies nativas como Guamos, Robles, Mohos, Nogales, Cedros, Guadales, Nísperos, Anones, Ciruelos, Palmas, Laureles, Nacederos y otras especies que aportan una gran belleza a la ecología del municipio.

En cuanto a la fauna del municipio encontramos gran variedad de especies como, Ardillas, Conejos, Armadillos, Tejón o Mapache, Cusumbo o Coati, Fara o Chucha, Zorros, Serpientes, Borugas, Guaches, Comadreas entre otros”³⁰.

2.1.3. Economía.

“El Municipio de La Palma, se caracteriza por una economía basada en producción agropecuaria, cultivos de café, la caña panelera, cacao, cítricos, cultivos misceláneos (plátano, yuca, maíz). En los últimos años se ha incrementado la ganadería progresivamente, extensiva y como actividad alternativa en menor escala la piscicultura.

La avicultura en su mayoría es de autoconsumo. De igual modo, la caña panelera es un producto que, en su rentabilidad ha mejorado gracias al avance en la construcción de enramadas comunitarias en veredas como Hinche, La Hermosa, El Potero y Murca mediante convenio con la Secretaría de Agricultura, Acción Social y La Corporación Autónoma Regional CAR. El café en su mayoría se explota técnicamente, utilizando variedad mejorada como caturra, obteniendo rendimientos entre 7 a 10 cargas por hectárea”³¹.

³⁰ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

³¹ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

2.1.4. Aspectos Político-Administrativo.

El Municipio tiene una “extensión de 191 km² (190.1 zona rural y 0.6626 zona urbana) correspondiente a 19.067,34 Hectáreas, distribuidas en 19.001,08 en la zona rural y 66.26 en la zona urbana”³².

Ilustración 3. Mapa del sector urbano Municipio de la Palma



Fuente: (Cundinamarca, 2014)

³² Cundinamarca, Gobernación de. 2014. [En línea] Marzo de 2014. [Citado el: 5 de Marzo de 2018.] Disponible en <<http://www.epc.com.co/docs/estudios/LA%20PALMA%20VF.doc>>.

Tabla 2. Sector Urbano: Barrios de la Palma.

SECTOR URBANO: BARRIOS	
ZONA	NOMBRES
ZONA NORTE	El Alto, Tres Estrellas, La Chamita, El Pesebre, La Cabaña. Comprende desde la carrera 6 al Alto de la Cruz y de la entrada a Yacopí (Tres Estrellas-Chamita) a la calle 2.
ZONA SUR	La Bomba, parte sur del Boquerón, san Javier, Villa Coty, Danubio, La Puerta, Kennedy, Maria Auxiliadora. Va desde la carrera 1 a la carrera 3 diagonal 7 calle 7 y de la calle 2 a la carretera vía Pacho.
ZONA ORIENTE	Matadero Viejo, santa Bárbara, parte oriente de el Boquerón. Va desde calle 1 a la calle 2 y parte de la calle 1 alto de la Cruz
ZONA OCCIDENTE	Sector cementerio, la Quinta, Las Puentes, Matadero Nuevo. Va desde la carrera 6 a la carrera 3 y calle 6 al perímetro urbano occidente
ZONA CENTRO	Centro, Rhin, Galerías Va desde carrera 6 a la carrera 3 y de la calle 2 a la calle 6

Fuente: (Cundinamarca, 2014)

Tabla 3. Sectores rurales municipio de la Palma

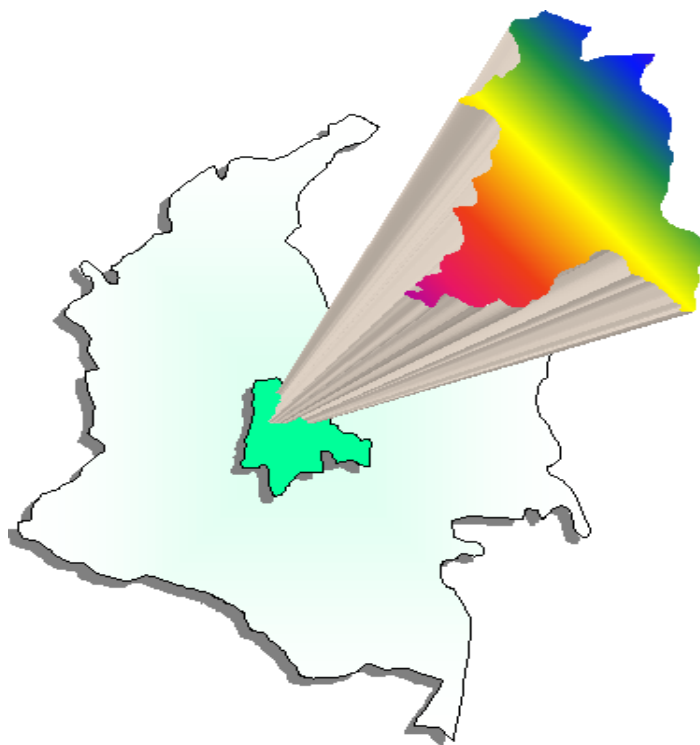
Sectores Rurales	Área (Has)	Vereda a la que Pertenece
Aguasal	55,6	Batán
Buena Vista	45,8	Minipí de Trianas
Cuibul	131,3	Minipí de Trianas
El Palmar	187	Izamá
El Rincón	175,1	La Enfadosa
El Rodeo	173,1	El Potrero
Itoco	119,4	Minipí de Trianas
La Ciénaga	141,3	Paz Paz
La Espadera	228,9	La Cañada
Portachuelo	53,7	Minipí de Quijano
Pur Pur	89,2	Hoya de Tudela
Puente de oro	513,2	Batán
Supanito	289,1	Castillo

Fuente: (Cundinamarca, 2014)

2.1.5. Mapas.

- **El municipio la Palma en Colombia:** El Municipio de La Palma se encuentra ubicado al” Nor – Oeste del Departamento de Cundinamarca y pertenece a la provincia del Río Negro. Se delimita así: Por el Norte con el Municipio de Yacopí. Por el sur con los Municipios de Utica y La Peña. Por el oriente con los Municipios de Topaipí y El Peñón y por el occidente con el Municipio de Caparrapí³³. Ver (**ilustración 4**).

Ilustración 4. Localización del municipio en el mapa de Colombia



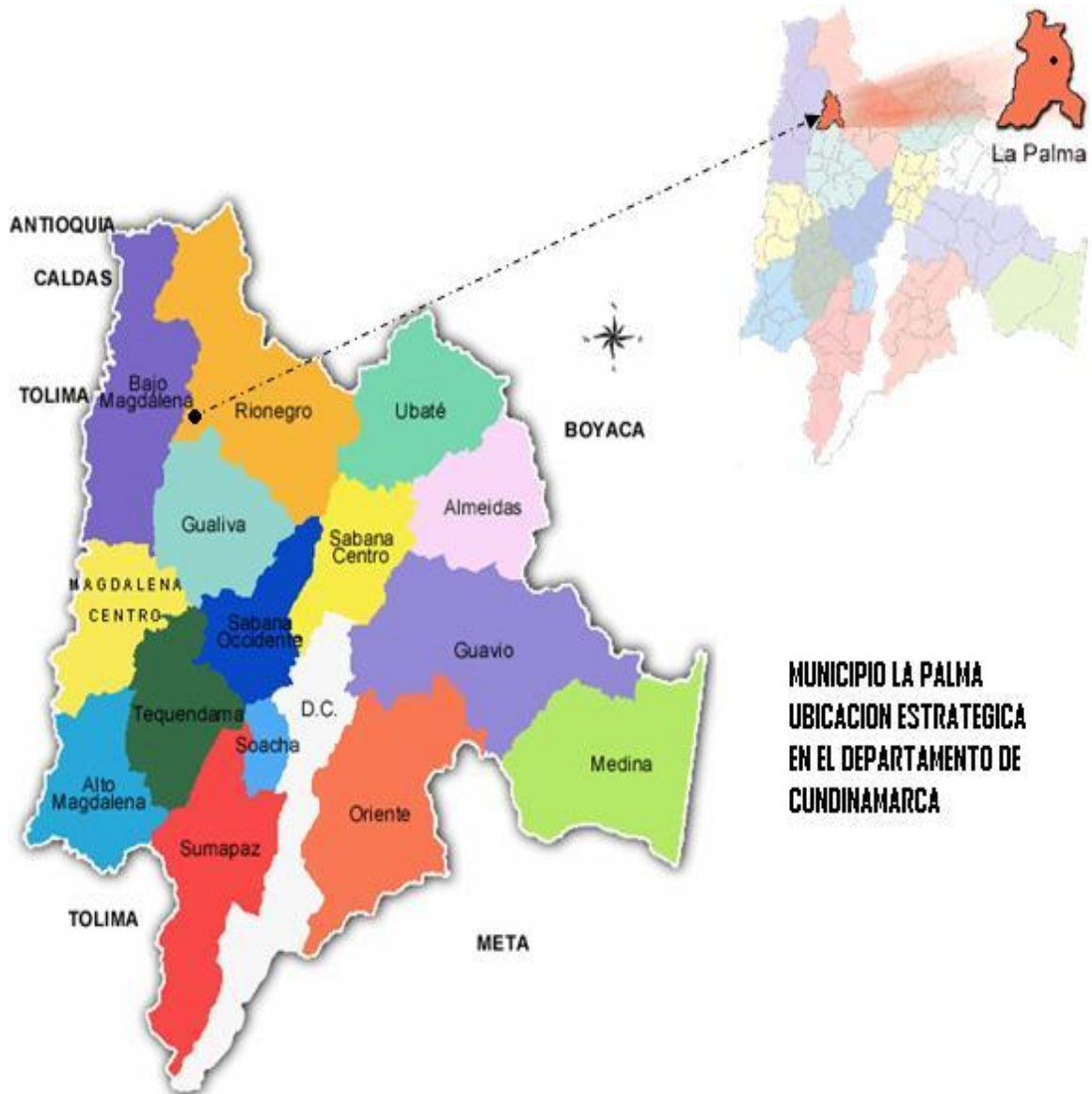
Fuente: (Cundinamarca, 2017)

- **La Palma en el Departamento de Cundinamarca:** “Cundinamarca, corazón de Colombia, referencia histórica, política y cultural de la nación. Su centro geográfico es la sabana de Bogotá, en ella clavada como estilete, palpita Santafé de Bogotá, Distrito Capital y a su alrededor una constelación de municipios de hondo linaje indígena. El nombre del actual Departamento de Cundinamarca parece ser una deformación de las palabras

³³ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio-mapas. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <<http://www.lapalma>

CUNDIRUMARCA, o más propiamente, CUNDINAMARCA, palabras que tienen su origen en la lengua Aymará, propia de los primitivos habitantes del Perú y Bolivia”³⁴. Ver (ilustración 5).

Ilustración 5. Localización del municipio en el Departamento



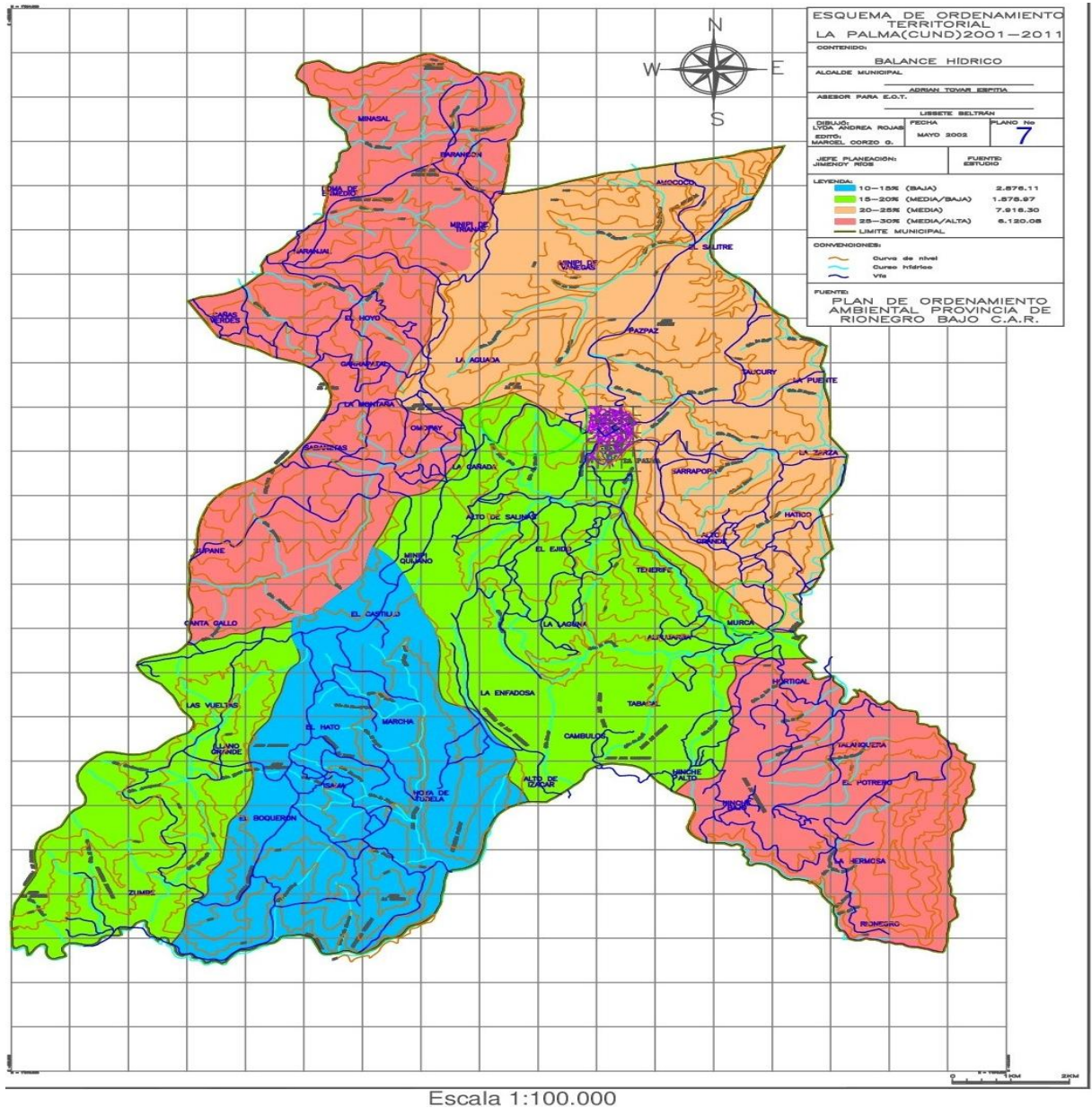
Fuente: (Cundinamarca, 2017)

³⁴ Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio-mapas. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <<http://www.lapalma>

2.1.5.1. Mapas Territoriales.

- **Mapa de balance hídrico.** En el siguiente mapa se puede observar con detalle el balance hídrico del municipio. Ver (ilustración 6).

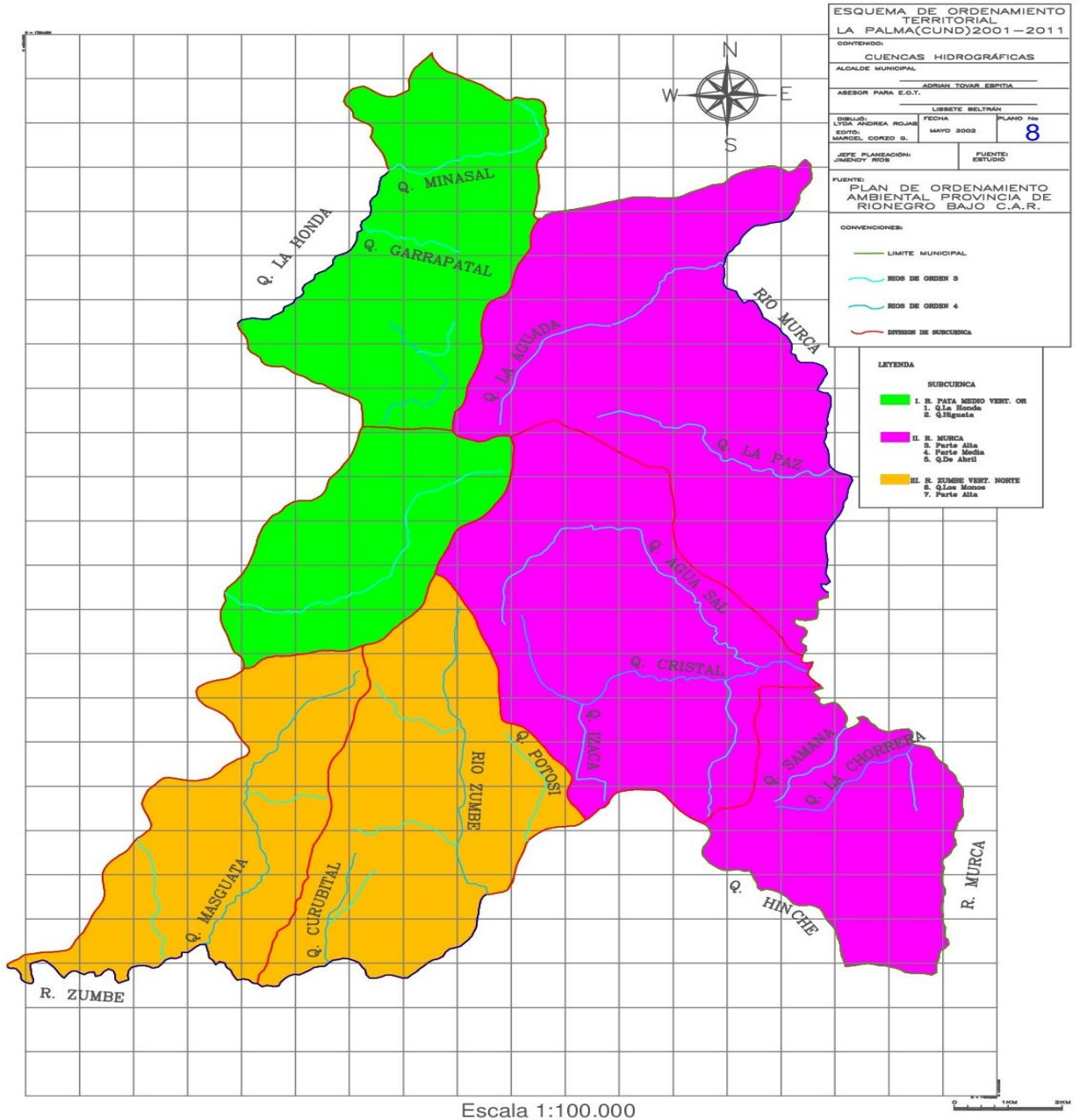
Ilustración 6. Mapa de balance hídrico



Fuente: (Cundinamarca, 2017)

- **Mapa de las cuencas.** En el siguiente mapa se evidencia con detalle las subcuencas de ríos de orden 3 y orden 4, que en su curso pasan por el departamento y en especial por el municipio de la Palma Cundinamarca. Ver (ilustración 7).

Ilustración 7. Mapa de las Cuencas



Fuente: (Cundinamarca, 2017)

2.2. ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN

2.2.1. Censos Dane.

- **CENSO 1985:** Cabecera 4.702 habitantes.

Tabla 4. Censo DANE 1985

		CABECERA	RESTO	TOTAL
25 001	AGUA DE DIOS	9,903	3,451	13,354
25 019	ALBAN	1,688	4,410	6,098
25 035	ANAPOIMA	1,900	6,184	8,084
25 386	LA MESA	6,341	11,377	17,718
25 394	LA PALMA	4,702	10,089	14,791
25 398	LA PEÑA	1,411	7,525	8,936

Fuente: (DANE)

- **CENSO 1993:** Cabecera 4.593 habitantes.

Tabla 5. Censo DANE 1993

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
DANE ESTADÍSTICA

INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

XVI CENSO NACIONAL DE POBLACION Y V DE VIVIENDA - 1993
 Población total censada, por área y sexo,
 según departamentos y municipios

Departamentos y municipios	Total			Cabecera		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Junin	9,900	4,851	5,049	616	300	316
La Calera	17,852	8,942	8,910	6,087	3,008	3,079
La Mesa	19,136	9,762	9,374	8,267	3,953	4,314
La Palma	14,596	7,650	6,946	4,593	2,174	2,419
La Peña	6,492	3,530	2,962	991	477	514

Fuente: (DANE)

- **CENSO 2005:** Cabecera 3.983

Tabla 6. Censo DANE 2005

COLOMBIA. Censo General 2005							
Resultados Población Conciliada (A Junio 30 de 2005)							
MUNICIPIOS							
Distribuido Mayo 22 de 2007							
Código Departamento	Nombre Departamento	Código Municipio	Nombre de municipio o corregimiento departamental	Categoría	Poblacion Conciliada		
					Población Total 30-Jun-2005	Población Cabecera 30-Jun-2005	Población Resto 30-Jun-2005
25	Cundinamarca	25386	La Mesa		27,165	14,192	12,973
25	Cundinamarca	25394	La Palma		9,918	3,983	5,935
25	Cundinamarca	25398	La Peña		6,989	1,001	5,988

Fuente: (DANE)

2.2.2. Proyección poblacional.

En la siguiente tabla se presentan los censos de la población del municipio La Palma Cundinamarca, en los años 1995, 1993 y 2005. La cual se evidencia un decrecimiento de la población a causa del conflicto armado que vivió la región. Ver (Tabla 7).

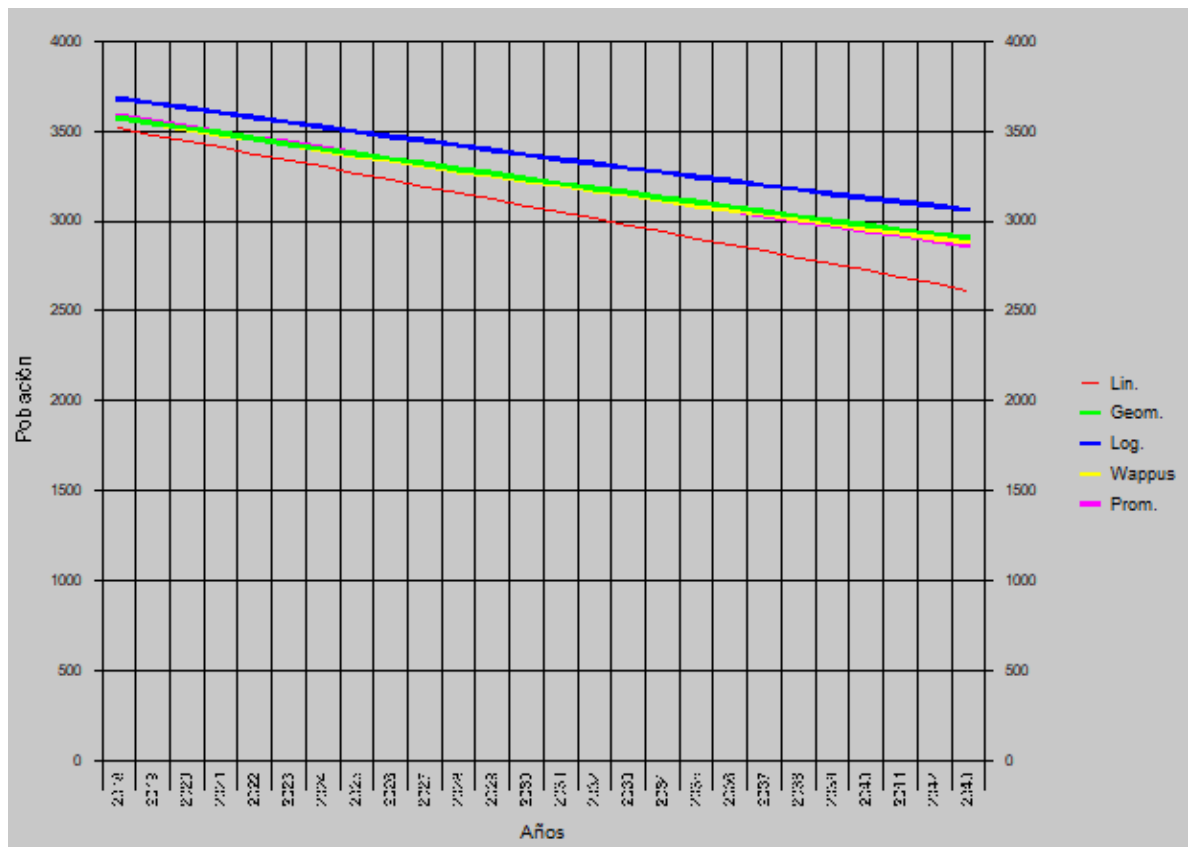
Tabla 7. Proyección poblacional

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES
1985	4.702
1993	4.593
2005	3.983

Fuente: (Autores)

La siguiente gráfica muestra los resultados de los censos oficiales según el Departamento administrativo nacional de estadística (DANE), las proyecciones a 25 años a partir del presente. Las gráficas fueron realizadas con la ayuda del recurso electrónico, software (Cd)-(HAYA) del libro de Ricardo Alfredo López Cualla, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. La gráfica muestra en el eje Y, la Población y en el eje X, los Años. Se observa el comportamiento para los modelos y regresiones. Ver (**ilustración 8**).

Ilustración 8. Gráfica de Censos Oficiales según DANE



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

En la siguiente (**Tabla 8**) se muestra con mayor detalle los resultados arrojados por el programa, de las proyecciones a 25 años a partir del presente (2018).

Tabla 8. Resultados de las proyecciones.

Proyección de Población

Año	Lineal	Geométrico	Logarítmico	Wappus	Reg. Lineal	Reg. Expon.	Reg. Logar.	Reg. Poten.	Promedio
2018	3,516	3,576	3,683	3,572					3,58
2019	3,480	3,546	3,656	3,542					3,55
2020	3,444	3,517	3,629	3,512					3,52
2021	3,408	3,488	3,602	3,482					3,49
2022	3,372	3,459	3,575	3,453					3,46
2023	3,336	3,430	3,549	3,424					3,43
2024	3,300	3,402	3,523	3,395					3,40
2025	3,264	3,374	3,497	3,366					3,37
2026	3,228	3,346	3,471	3,338					3,34
2027	3,192	3,318	3,445	3,309					3,31
2028	3,156	3,291	3,420	3,281					3,28
2029	3,120	3,264	3,395	3,253					3,25
2030	3,084	3,237	3,370	3,225					3,22
2031	3,048	3,210	3,345	3,198					3,20
2032	3,012	3,184	3,320	3,170					3,17
2033	2,976	3,157	3,296	3,143					3,14
2034	2,940	3,131	3,271	3,116					3,11
2035	2,905	3,105	3,247	3,089					3,08
2036	2,869	3,080	3,223	3,063					3,05
2037	2,833	3,054	3,200	3,036					3,03
2038	2,797	3,029	3,176	3,010					3,00
2039	2,761	3,004	3,153	2,984					2,97
2040	2,725	2,979	3,129	2,958					2,94
2041	2,689	2,954	3,106	2,932					2,92
2042	2,653	2,930	3,083	2,907					2,89
2043	2,617	2,906	3,061	2,881					2,86

Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

Los censos son la base de cualquier tipo de proyección de población, en este caso se cuenta con los censos del 1985, 1993 y 2005. Esta recopilación de datos se encuentra en el Departamento administrativo nacional de estadística (DANE).

Existen varias metodologías para la proyección de población, se hace una presentación de los modelos cuya aplicación es más generalizada; modelo lineal, modelo geométrico, modelo logaritmo y Wappus.

2.2.3. Modelos.

Se realizó una presentación gráfica para los modelos: lineal, geométrico, logaritmo y Wappus.

- **Modelo Lineal.**

Si el aumento de la población es constante e independientemente del tamaño de esta, el crecimiento es lineal.

Para calcular este modelo se hace mediante la ecuación (1).

$$Pf = Puc + Ka(Tci - Tuc) \quad (1)$$

Dónde:

Ka: pendiente de la recta, el cálculo se realiza con la ecuación (2).

$$Ka = \frac{(Puc - Pci)}{(Tuc - Tci)} \quad (2)$$

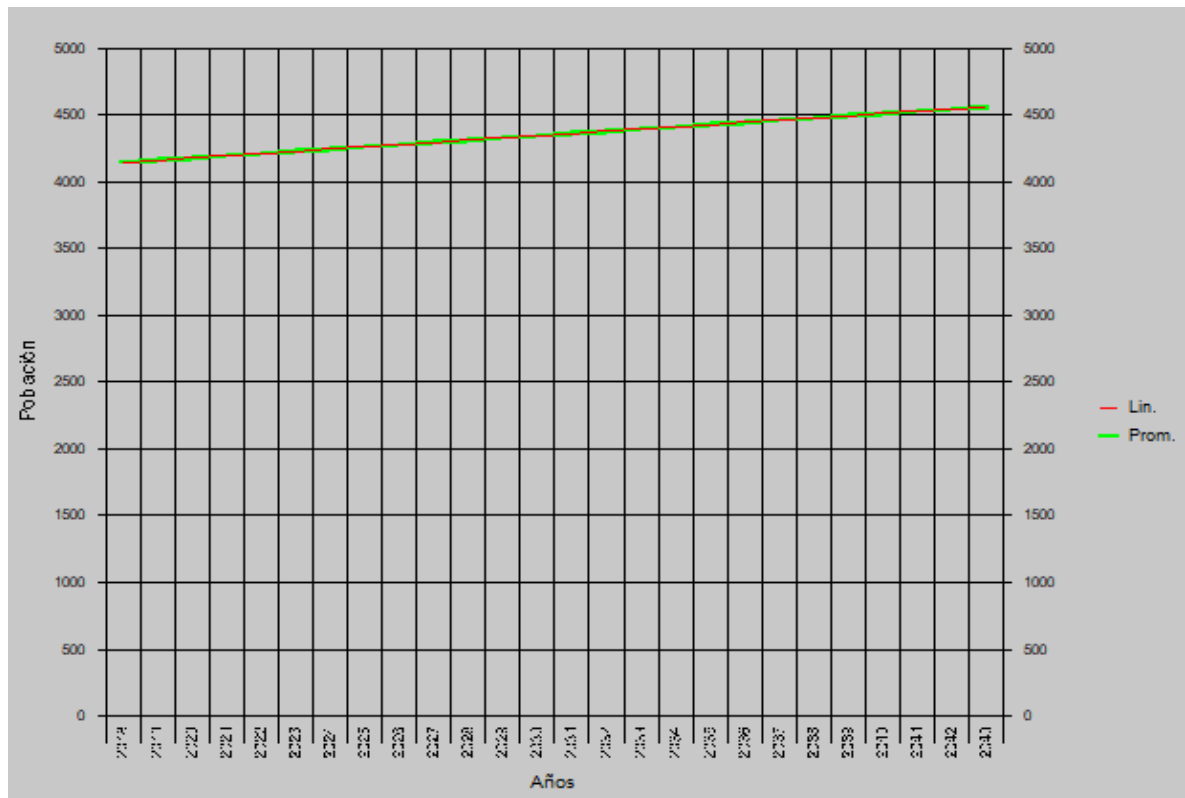
Puc: población último censo

Pci: población censo inicial

Tuc: año del último censo

Tci: año del censo inicial.

Ilustración 9. Gráfica del Modelo Lineal



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

- **Modelo Geométrico.**

Este método se utiliza en poblaciones que muestren una importante actividad económica, donde la población tenga un desarrollo sostenible y que esta tenga áreas de expansión las cuales puedan ser dotadas por servicios públicos sin ningún inconveniente, para calcular este método se hace mediante la ecuación (3).

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc} \quad (3)$$

Dónde:

Pf: población correspondiente al año para el que se desea saber su población futura.

Puc: población último censo

Pci: población censo inicial

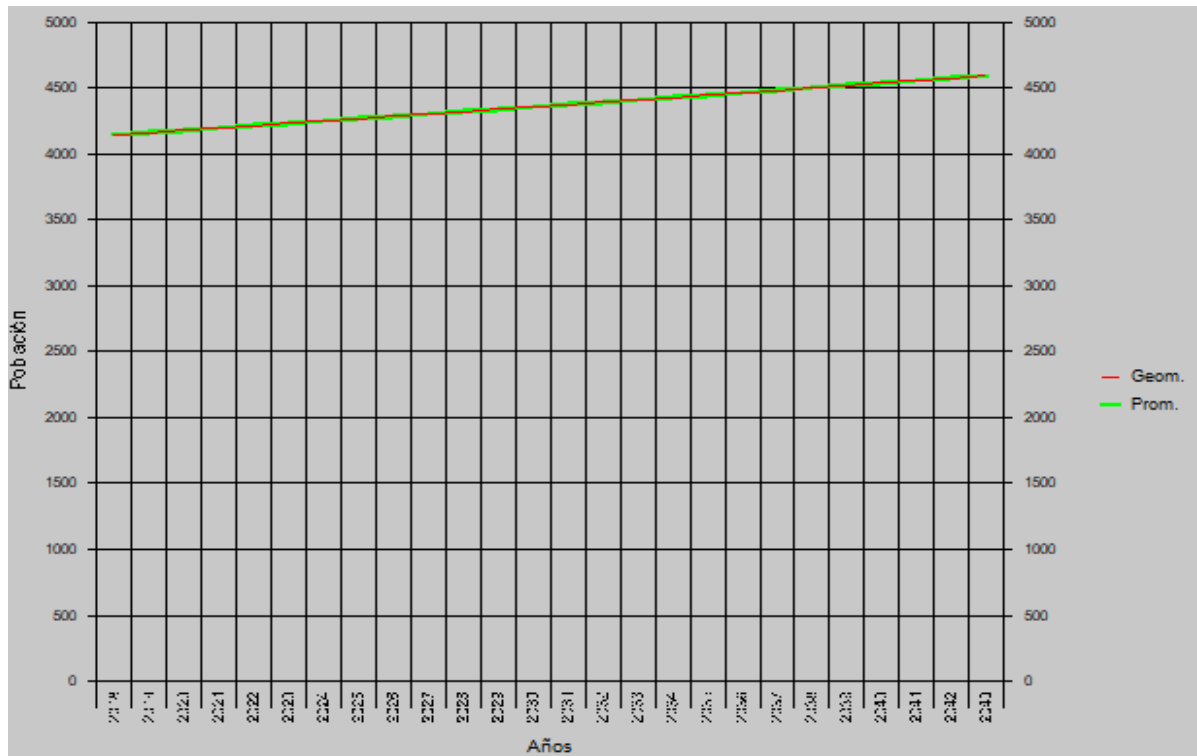
Tf: año al cual se quiere proyectar la información

Tuc: año correspondiente al último censo

r: es la tasa de crecimiento anual, se calcula mediante la ecuación (4).

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1 \quad (4)$$

Ilustración 10. Gráfica Modelo Geométrico.



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

- **Modelo Logarítmico.**

Si el crecimiento de la población es de tipo exponencial, la población se proyecta a partir de la siguiente ecuación (5).

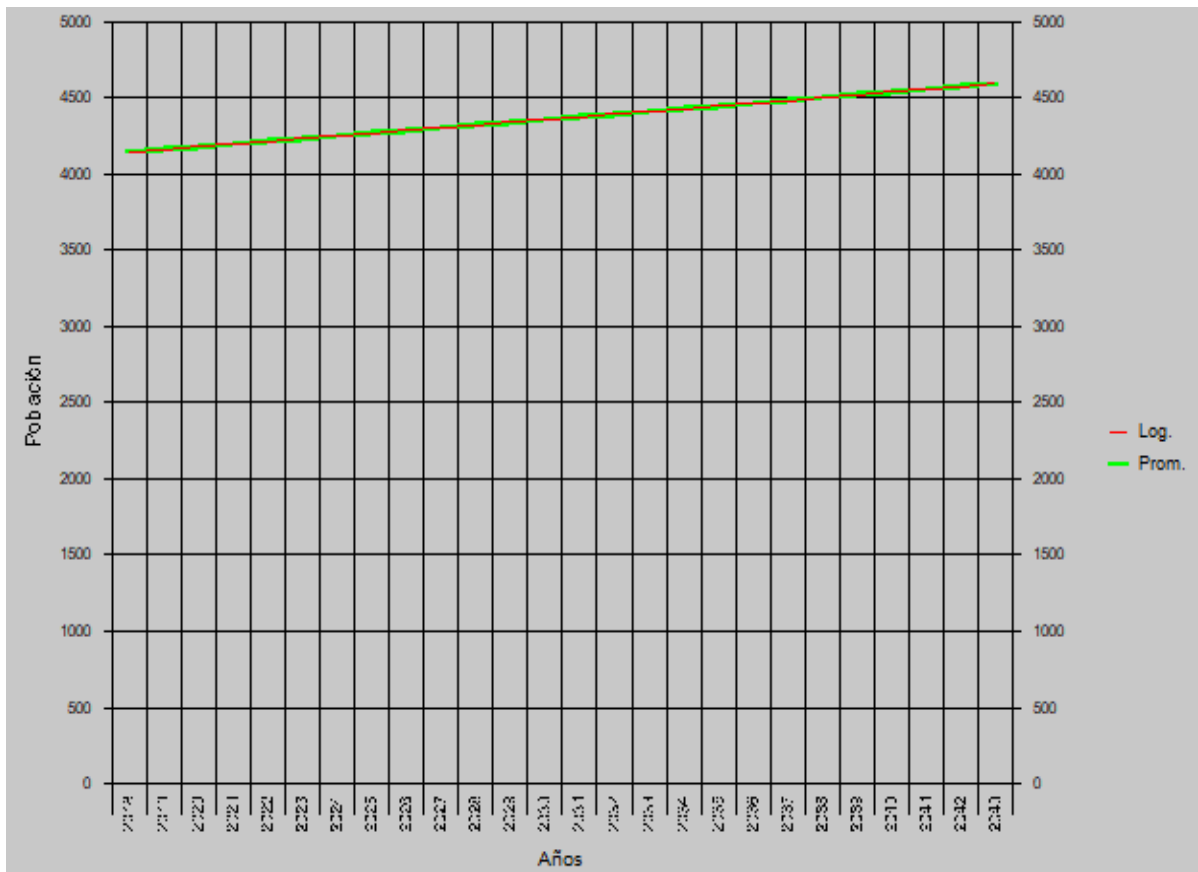
$$Pf = Pci * e^{Kg(Tf-Tci)} \quad (5)$$

Dónde:

$$Kg = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \quad (6)$$

Subíndice cp corresponde al censo posterior y el subíndice ca al censo anterior, para poder aplicar este método se necesita tener información de por lo menos 3 censos, ya que al evaluar un kg en la ecuación (6) promedio se necesita por lo menos dos valores de kg.

Ilustración 11. Gráfica Modelo Logarítmico.



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

- **Modelo Wappus.**

La proyección por el método Wappus se hace con la ecuación (7).

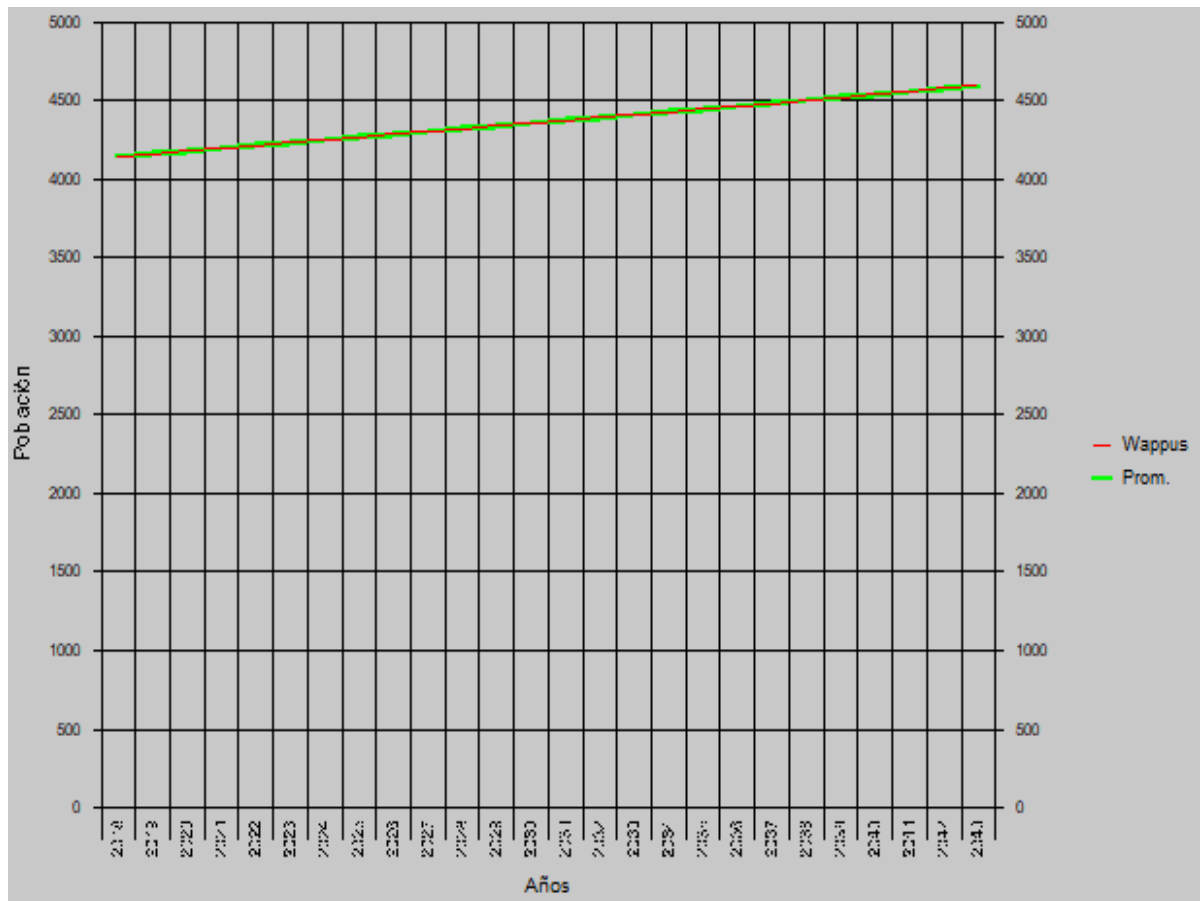
$$Pf = Pci \left\{ \frac{200 + i(Tf - Tci)}{200 - i(Tf - Tci)} \right\} \quad (7)$$

En donde la tasa de crecimiento se calcula con la ecuación (8).

$$i = \frac{200 * (puc - pci)}{(Tuc - Tci) * (Puc + Pci)} \quad (8)$$

El modelo de crecimiento es válido siempre y cuando el término $200 - i(Tf - Tci)$ tenga valor positivo.

Ilustración 12. Gráfica Modelo Wappus



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

En el trabajo realizado con los modelos, se analizó un decrecimiento en la población, se sabe que una población crece por nacimientos e inmigraciones y decrece por muertes y emigraciones, en este caso el decrecimiento de la población del municipio de La Palma Cundinamarca se ve tocado por todos los problemas sociales que tuvo el municipio en ese momento es por eso que los registros de la población muestran un descenso.

Actualmente, se sabe que por la dinámica del municipio su población ha ido en crecimiento, debido a esto se tomó las proyecciones del DANE desde el 2008 hasta el 2017 para generar las proyecciones futuras. Ver (**Tabla 9**).

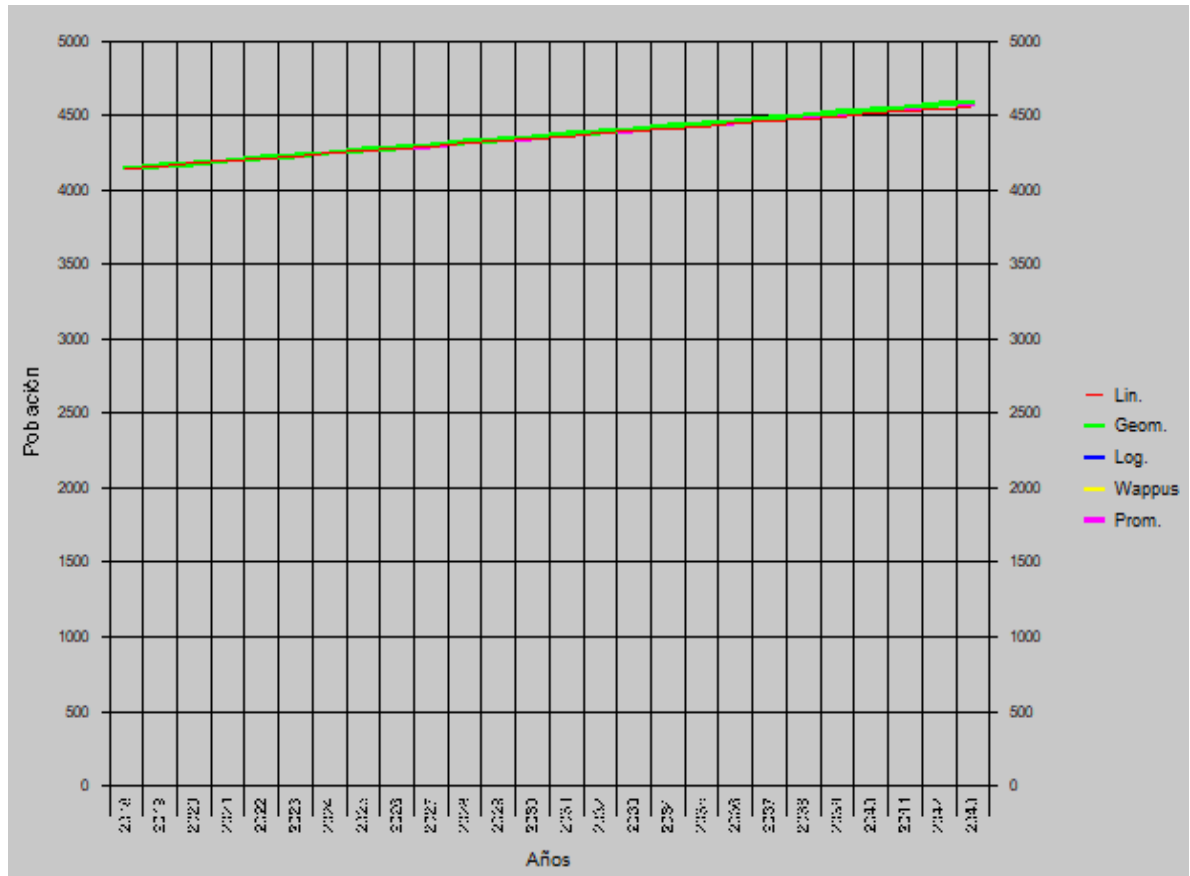
Tabla 9. Número de habitantes en Cabecera

AÑO	NÚMERO DE HABITANTES
2008	3979
2009	3984
2010	3994
2011	4009
2012	4020
2013	4032
2014	4055
2015	4072
2016	4104
2017	4129

Fuente: (DANE)

La siguiente (**ilustración 13**) muestra la gráfica arrojada por el programa software (Cd)-(HAYA), con las proyecciones del DANE, con los datos de la anterior (**Tabla 9**), se utilizaron los siguientes métodos: método lineal, método geométrico, método logaritmo y método Wappus.

Ilustración 13. Gráfica de proyecciones del DANE



Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

Se analizó que según las proyecciones del DANE, la población del municipio La Palma Cundinamarca, debido a crecimientos naturales de población o a inmigrantes que pertenecían al municipio y fueron desplazados por el conflicto armado interno por el cual paso el municipio.

Se tomaron estos resultados para estimar la población de diseño en el año 2043.

La siguiente tabla muestra los datos de las proyecciones realizadas a 25 años a partir del presente (2018). Ver (Tabla 10).

Tabla 10. Datos de las proyecciones realizadas en el software (HAYA)

Proyección de Población

Año	Lineal	Geométrico	Logarítmico	Wappus	Reg. Lineal	Reg. Expon.	Reg. Logar.	Reg. Poten.	Promedio
2018	4,146	4,146	4,146	4,146					4,14
2019	4,162	4,163	4,163	4,163					4,16
2020	4,179	4,180	4,180	4,180					4,18
2021	4,196	4,197	4,197	4,197					4,19
2022	4,212	4,215	4,215	4,215					4,21
2023	4,229	4,232	4,232	4,232					4,23
2024	4,246	4,250	4,250	4,250					4,24
2025	4,262	4,267	4,267	4,267					4,26
2026	4,279	4,285	4,285	4,285					4,28
2027	4,296	4,302	4,302	4,302					4,30
2028	4,312	4,320	4,320	4,320					4,31
2029	4,329	4,338	4,338	4,338					4,33
2030	4,346	4,356	4,356	4,356					4,35
2031	4,362	4,374	4,374	4,374					4,37
2032	4,379	4,392	4,392	4,392					4,38
2033	4,396	4,410	4,410	4,410					4,40
2034	4,412	4,428	4,428	4,428					4,42
2035	4,429	4,446	4,446	4,447					4,44
2036	4,446	4,464	4,464	4,465					4,46
2037	4,462	4,483	4,483	4,483					4,47
2038	4,479	4,501	4,501	4,502					4,49
2039	4,496	4,520	4,520	4,521					4,51
2040	4,512	4,539	4,539	4,539					4,53
2041	4,529	4,557	4,557	4,558					4,55
2042	4,546	4,576	4,576	4,577					4,56
2043	4,562	4,595	4,595	4,596					4,58

Fuente: (HAYA-(CD-ROM), 2003)

Se realizó un promedio de los cuatro métodos (lineal, geométrico, logarítmico y wappus), trabajados en el software para estimar la población de diseño en el año 2043. Ver (Tabla 11).

Tabla 11. Promedio estimado de la Población

Año	M. Lineal	M. Geométrico	M. Logarítmico	M. Wappus
2043	4562	4595	4595	4596
Promedio estimado de población				
4587 habitantes				

Fuente: (Autores)

2.3. DOTACIÓN NETA MÁXIMA

La dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. Ver (Tabla 12).

Tabla 12. Dotación neta máxima.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: (RESOLUCIÓN 330)

El municipio de La Palma Cundinamarca se encuentra situado a una altura media de 1462 m.s.n.m. Por lo tanto, según la Tabla 12, obtenida de la resolución 330 del 2017, la dotación neta máxima para este caso es de: $\left(\frac{130L}{Hab*día}\right)$

2.3.1. Caudal de diseño.

Población = **4587** habitantes para el **2043**, esta población se estimó haciendo un promedio entre los cuatro métodos empleados.

Según el “artículo 43 de la resolución 330 donde se trata lo relacionado a la dotación neta máxima, capítulo 1- aspectos generales”³⁵.

2.3.2. Dotación neta.

La dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar donde se encuentra la población del municipio La Palma Cundinamarca, la cual está entre la altura sobre el nivel del mar de 1000 - 2000 m.s.n.m. Estando el municipio a una altura de 1462 m.s.n.m, por tal motivo la dotación neta correspondiente según la resolución es de:

$$Dn = \frac{130L}{Hab * día} \quad (9)$$

³⁵ **COLOMBIA. 2017.** MINISTERIO DE VIVIENDA , CIUDAD Y TERRITORIO. *resolución 330*. [En línea] 08 de Junio de 2017. [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico. Disponible en <<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>>.

2.3.3. Dotación bruta.

Para todo componente que conforma un sistema de acueducto, al momento de hacer su diseño, se debe calcular la dotación bruta según la ecuación (10) establecida en la resolución 330.

$$Dbr = \frac{Dn}{(1 - \% \text{ pérdidas})} \quad (10)$$

% pérdida = “porcentaje en pérdidas técnicas máximas para diseño, el porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de perdidas, en todos los componentes del sistema como (aducciones, conducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable y no deberá superar el 25 %”³⁶.

Por lo anterior descrito se escoge un porcentaje de pérdidas del 25%, se realiza el cálculo en la ecuación (10).

$$Dbr = \frac{Dn}{(1 - \% \text{ pérdidas})} = \frac{173,333 L}{hab * día}$$

2.3.4. Demanda.

La demanda se calcula con la ecuación (11).

$$Demanda = Dbr * Población de diseño \quad (11)$$

$$Demanda = \left(\frac{173,333 L}{hab * día} \right) (4587 Hab)$$

$$Demanda = \frac{795080 L}{día}$$

$$Demanda = \frac{795.08 m^3}{día}$$

³⁶ COLOMBIA. 2017. MINISTERIO DE VIVIENDA , CIUDAD Y TERRITORIO. *resolución 330*. [En línea] 08 de Junio de 2017. [Citado el: 04 de Abril de 2018.] Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico. Disponible en <<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>>.

- **Caudal medio diario (Qmd).**

El caudal medio diario se calcula con la ecuación (12).

$$Qmd = \frac{\text{Demanda L/día}}{86400 \text{ s/día}} \quad (12)$$

$$Qmd = \frac{795080 \frac{L}{\text{día}}}{86400 \frac{s}{\text{día}}}$$

$$Qmd = 9,202 \frac{L}{s}$$

- **Caudal máximo diario (QMD).**

El caudal máximo diario se calcula con la ecuación (13).

$$QMD = Qmd * k1 \quad (13)$$

Para poblaciones menores o iguales de 12500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor k1 será superior a 1,3 ni el factor k2 a 1,6.

Para una población de 4587 habitantes se utiliza para k1 1,3 y para k2 1,6 como factor de mayorización según lo descrito en la resolución 330.

$$QMD = 9,202 \frac{L}{s} * 1,3$$

$$QMD = 11,96 \frac{L}{s}$$

- **Caudal máximo horario (QMH).**

Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2. En la ecuación (14).

$$QMH = QMD * k2 \quad (14)$$

$$QMH = 11,96 \frac{L}{s} * 1,6$$

$$QMH = 19,14 \frac{L}{s}$$

2.4. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL

Se realizó una visita técnica al sistema de acueducto el día 21 de marzo del presente año (**Anexo N° 11**), con el fin de conocer todas las estructuras que conforman el sistema y recolectar información importante suministrada por parte de servicios públicos del municipio de La Palma Cundinamarca y del funcionario público que fue acompañante y guía durante el recorrido, el cual conoce muy bien el sistema y su funcionamiento. Se realizó un registro fotográfico del cual se muestra a continuación.

	<p style="text-align: center;">BOCATOMA LOS TIESTOS</p> <p>La bocatoma de fondo los Tiestos se encuentra a una altura de 1225 m.s.n.m, esta bocatoma se encuentra en este punto de captación debido a que la antigua bocatoma en el punto donde hacia su sistema de captación se estaba viendo afectado por motivos naturales en este caso de lloraderos de sal provenientes de la montaña, por tal motivo debió ser rediseñada y trasladada de lugar.</p> <p>La bocatoma los Tiestos cuenta con una rejilla de captación de longitud 1,90 m y 0,25 m de ancho construida en concreto ciclópeo, con muros de encausamiento en concreto ciclópeo con un ancho de 0,30 m, también cuenta con una caja de recolección de la cual sale la tubería de rebose de PVC diámetro 10 pulgadas hacia la quebrada los tiestos y la tubería de aducción metálica de diámetro de 10 pulgadas conducida hasta el desarenador los tiestos.</p> <p>Las actividades de limpieza y mantenimiento deben realizarse con mayor frecuencia, la estructura presenta requerimiento de mejora de concreto e impermeabilización de sus paredes estructurales. Ver (Anexo N° 3).</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 14. Fotografías de la Bocatoma.</i></p>	



Ilustración 15. Fotografía de la tubería encofrada.

En esta fotografía se puede apreciar la tubería de aducción que transporta el agua desde la bocatoma hasta el desarenador con un encofrado en concreto ciclópeo, este encofrado de la tubería va hasta donde terminan los lloraderos de sal provenientes de la montaña, para evitar filtraciones de agua salada a la tubería.



Ilustración 16. Fotografía de desarenador los Tiestos.

Desde la bocatoma el tiesto llega la aducción en tubería metálica de 10 pulgadas hasta el desarenador, continuando hacia el vertedero de rebose saliendo de él la tubería de rebose de 10 pulgadas.

Este desarenador cuenta con pantalla deflectora, una compuerta deslizante con una tubería de lavado de 8 pulgadas de diámetro, donde el lavado sale hacia el drenaje de bombeo y quebrada los tiestos, también cuenta con su compartimiento de sedimentación y finalmente con su canal recolector donde continua la tubería de salida del desarenador con diámetro de 10 pulgadas correspondiente.





Ilustración 17. Fotografías de la tubería de aducción.

En las fotografías se puede observar la línea de la tubería que en tramos se encuentra en la superficie del suelo y no han realizado las respectivas excavaciones necesarias para enterrar la tubería llenarla y compactarla con material adecuado. Sin protección y está expuesta a daños por parte de deslizamientos de rocas y por parte de animales (equinos y bovinos), que transitan por dichos tramos.

Se recomienda proteger la tubería con rellenos y compactar, para evitar daños en la tubería y así brindar un mejor funcionamiento por parte del sistema.



Ilustración 18. Fotografía de una válvula.

La fotografía 18 muestra una válvula de purga ubicada en un punto bajo del trazado, por posibilidad de obstrucción de la sección del flujo por acumulaciones de sedimentos, facilitando así las respectivas labores de limpieza en la tubería de aducción que conduce a Puente de oro.



Ilustración 19. Fotografías de desarenador Punto de oro.



DESARENADOR PUENTE DE ORO

En esta fotografía se aprecia el desarenador puente de oro cuenta con su cámara de entrada, cámara de excesos donde la tubería de excesos va hasta el afluente cercano que es la quebrada salada, también con su respectiva válvula de lavado y su compartimiento de sedimentación, ya cumpliendo como desarenador, el agua sale hacia el cárcamo de succión, el cual se encuentra subterráneo en la caseta de bombeo. Ver **(Anexo N° 3)**.

El desarenador presenta degradación del concreto en la estructura, y alrededor de su perímetro no cuenta con cerramiento, se encuentra a la intemperie lo cual hace el fácil acceso de animales y personas ajenas a su operación y mantenimiento y podría causar graves problemas en el agua. Se evidencia falta de mantenimiento a la estructura por parte de los operarios sistema.



Ilustración 20. Fotografías estación de bombeo Puente de oro.



ESTACIÓN DE BOMBEO PUENTE DE ORO

En la caseta de bombeo de puente de oro hay un sistema montado con 3 bombas, de las cuales ninguna de estas está en funcionamiento, están conectadas en sistema de flauta las cuales se conectan de un solo tubo, cada una cuenta con su válvula check y la válvula reguladora de caudal (compuerta), como es una tubería de acero el sistema de acople de tubería con válvulas se hace mediante bridas de conexión. Ver (**Anexo N° 4**).

Por el motivo de que estas bombas no están en funcionamiento, actualmente el bombeo se hace por una bomba sumergible tipo lapicero la cual impulsa el agua a la planta de tratamiento el Matadero.



Ilustración 21. Fotografía Bomba, estación Puente de oro.

La fotografía 21 muestra un codo unido mediante brida de conexión, como también se puede observar una de las bombas situadas en la estación Puente de oro, se ve el mal estado en el que las bombas se encuentran y están sin funcionamiento, ya que están dañadas, cumplieron con su ciclo.



Ilustración 22. Fotografía tablero de control bombeo, Puente de oro.

En esta fotografía 22 se puede apreciar el tablero de control de la bomba que se encuentra en el cárcamo de succión en la estación Puente de oro.



Ilustración 23. Fotografía sistema de conexión de las bombas en tipo flauta.

En la fotografía 23 se puede apreciar el sistema en flauta como van conectadas las bombas y sus válvulas check y compuerta, las válvulas están cerradas ya que las bombas están en desuso, por motivo que se encuentran dañadas y fueron reemplazadas por una bomba sumergible tipo lapicero. Ver (**Anexo N° 4**).



Ilustración 24. Fotografía tubería de la bomba sumergible.

En la fotografía 24 se observa como está instalada la tubería que va conectada a la bomba sumergible tipo lapicero, la cual hace la captación del cárcamo se succión que se encuentra subterráneo en la caseta de bombeo puente de oro. Ver (**Anexo N° 4**).



Ilustración 25. Fotografía de alcantarilla para lavado de tanque.

Para el lavado o mantenimiento del tanque, se cuenta con un sistema de alcantarilla donde se encuentra una válvula de lavado, este es utilizado cuando el taque alcanza su capacidad y empieza a generar reboses de agua, los cuales pueden afectar el funcionamiento en la caseta de bombeo. El caudal de agua que sale por este sistema de desagüe es llevado a la quebrada los tientos, a través de una tubería de 10 pulgadas y con pendiente del 8 %. Ver (Anexo N° 4).



Ilustración 26. Fotografía tubería de salida Puente de oro.

En la fotografía 26 se observa la conexión de la tubería con sus respectivos accesorios de ampliación unida mediante bridas de conexión debido a los cambios de diámetros de 6 pulgadas a 8 pulgadas en tubería de acero, la tubería esta soportada mediante muros en concreto, esta tubería debe empalmar con una tubería de PVC en 8 pulgadas saliendo de la caseta de bombeo hacia la planta de tratamiento Matadero.





Ilustración 27. Fotografía de tubería de acero que empalma con PVC

En la fotografía 27 se observa la tubería de acero de 8 pulgadas la cual hace un empalme con una tubería de 8 pulgadas en PVC.



Ilustración 28. Fotografía muro de concreto que funciona como macho.

En la fotografía 28 se observar el muro de concreto que funciona como un macho, donde se puede notar a simple vista el cambio de tubería de acero a PVC, el cual su función es controlar las cargas o fuerzas dinámicas que se generan cuando se apaga el sistema de bombeo debido a que la diferencia de altura entre el bombeo de puente de oro y matadero es significativa, al ser apagado el sistema de bombeo el agua que queda en la tubería se devuelve por gravedad generando golpe de ariete, actualmente hay válvulas de alivio modernas para control de golpe de ariete, lo cual hace a este muro de concreto algo muy rudimentario y podría ser reemplazado para un mejor funcionamiento del sistema.



Ilustración 29. Fotografía de la tubería PVC 8 pulgadas.

En la fotografía 29 se observa cómo sale la tubería de PVC de 8 pulgadas que va hasta la planta de tratamiento de aguas el Matadero, donde en la misma zona se encuentra el segundo bombeo. Este tramo de tubería tiene 1320 metros de longitud, el tramo cuenta con dos válvulas de ventosa.

En este tramo de 1320 metros de tubería, la irregularidad en su parte geológica del terreno dificulta su control, operación y mantenimiento; se cree que existen conexiones ilegales de agua cruda no autorizada de la red, sin embargo, la oficina de servicios públicos no desarrolla jornadas de búsqueda y suspensión de estas conexiones ilegales. No existe macro medición en este componente. Ver (**Anexo N° 5**).



Ilustración 30. Fotografía estación de bombeo Matadero.

CASETA DE BOMBEO MATADERO

La caseta de bombeo de matadero cuenta también con unas bombas sin uso, están conectadas en sistema de flauta las cuales se conectan de un solo tubo, cuenta con válvulas check y la válvula reguladora de caudal (compuerta), como es una tubería de acero el sistema de acople de tubería con válvulas se hace mediante bridas de conexión.

Se observa que ha sido retirada una bomba la cual intentan darle soluciones a sus daños.



Ilustración 31. Fotografía bomba de estación Matadero.

Por el motivo de que las bombas no están en funcionamiento ahora el bombeo se hace mediante una bomba sumergible tipo lapicero, estas son fabricadas en acero inoxidable, resistentes a la corrosión y la abrasión y como el bombeo en el municipio la palma se hace continuamente las 24 horas del día se ha atado por las bombas sumergibles debido a que están diseñadas para operar de forma continua sin que ello comprometa la duración de alguno de sus componentes.

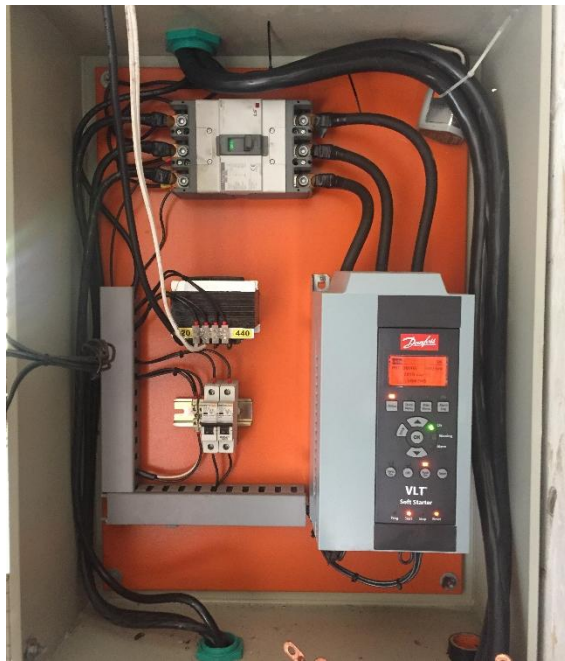


Ilustración 32. Fotografía tablero de control, bombeo Matadero.

En la fotografía 32 se muestra el tablero de control de la bomba sumergible que está en la caseta de bombeo Matadero.



En la fotografía 33 se muestra el sistema de bombeo como están conectadas las bombas en tipo flauta, mediante bridas y válvulas de conexión.

A partir de este bombeo la tubería tiene una ampliación de 8 a 10 pulgadas en Acero, para transportar un volumen mayor de agua hacia el tanque Alto.

Ilustración 33. Fotografías sistema de conexión, bombas en Puente de oro.





Ilustración 34. Fotografía Tubería de Acero conducción, Matadero - El alto.

En esta fotografía se muestra como sale la tubería robusta en Acero de 10 pulgadas desde la caseta de bombeo Matadero, transportando el agua ya potable para consumo humano hacia el tanque principal de almacenamiento el alto, para luego ser distribuida al casco urbano.



Ilustración 35. Fotografía PTAP, Matadero.

La planta de tratamiento de matadero donde llega el agua captada desde la quebrada los tiestos y bombeada desde la estación de bombeo de puente de oro no cuenta con un funcionamiento adecuado por parte de estructuras y manteniendo de la planta.



Ilustración 36. Fotografía PTAP Matadero, Canaleta Marshall.

En esta fotografía se observa la canaleta parshall que se encuentra en malas condiciones por parte de mantenimiento y en su estructura presenta daños los cuales no han sido reparados para un mejor funcionamiento de la Planta de tratamiento de aguas en Matadero, por la cual ingresa el agua que llega desde Puesto de Oro para ser su respectivo tratamiento y luego ser impulsada hasta el tanque de almacenamiento principal el alto, para luego alimentar al casco urbano.



Ilustración 37. Fotografía PTAP Matadero, Tabiques.

En esta fotografía se muestra los tabiques de la planta de tratamiento por donde el agua hace el recorrido para hacer su tratamiento y ser apta para el consumo humano.

2.5. ANÁLISIS DE COSTOS

2.5.1. Análisis de Bombeo.

La población de La Palma Cundinamarca no cuenta con las mejores condiciones de un suministro de agua adecuado para su alimentación, seguridad y bienestar. El agua es una necesidad universal y es el principal factor limitante para la existencia de la vida humana; a través de la captación (Bocatoma de fondo) (**Anexo N° 3**), situada aguas arriba en la quebrada los Tiestos, mediante los componentes del sistema de acueducto, el cual conduce el agua hasta la caseta de bombeo Puente de Oro al cárcamo de succión, situada a 1221 m.s.n.m. (**Anexo N° 4**), para luego ser impulsada, hasta la Planta de tratamiento de aguas el Matadero (**Anexo N° 6**), continuando con su recorrido el agua, ingresa al cárcamo de succión de la estación de bombeo Matadero situada a 1364 m.s.n.m. (**Anexo N° 7**), se impulsa el agua por una tubería robusta de 10 pulgadas en Acero hasta el Tanque el Alto situado a 1500 m.s.n.m. (**Anexo N° 8**), es el tanque principal y suministra la mayor parte de agua para el casco urbano y cuenta con una estación de bombeo, tiene un montaje de una bomba que impulsa el agua por una tubería en Galvanizado de 3 pulgadas (**Anexo N° 9**), hacia el tanque de almacenamiento las Cruces situado a 1581 m.s.n.m. (**Anexo N° 10**), el tanque las Cruces debido a la precaria condición de inestabilidad geotécnica y a que no se requiere para alimentar el casco urbano, se mantiene en desuso.

Las casetas de bombeo tienen un montaje de tres bombas las cuales están conectadas a la tubería en sistema de flauta, actualmente las bombas se encuentran dañadas, debido a que cumplieron el ciclo de vida útil, las bombas realizaban una excelente operación y generaban bajos costos de energía ya que su funcionamiento era muy eficiente para abastecer los tanques en menores tiempos de llenado. Para brindar el servicio de agua se reemplazaron las bombas por unas bombas sumergibles tipo lapicero, impulsando un caudal de 21 L/s, este caudal es menor al caudal que se impulsaba con las antiguas bombas, lo cual hace que los tiempos de bombeo para abastecer los tanques deben ser extensos, aproximadamente las 24 horas del día ya que las bombas no son lo suficientemente eficientes. Debido al aumento de los tiempos de operación de las bombas, se vieron reflejados los sobrecostos en millones de pesos en las facturas por la energía, dicho servicio es brindado por la empresa Codensa, costos de energía que son insostenibles para el municipio.

2.5.2. Análisis de Facturación.

El problema que presenta el municipio La Palma Cundinamarca en su acueducto municipal es que el municipio cuenta con tres estaciones de bombeo y en las estaciones funcionaban con 3 bombas en serie las cuales funcionaron hasta finales del 2016, estas 3 bombas funcionaban solo durante 8 horas al día pero por motivos de años de uso cumplieron su vida útil, lo cual a partir de esa fecha optaron por un sistema de bombeo mediante unas bombas sumergibles, debido a este cambio de bombas, los costos del servicio eléctrico son muy elevados. Igualmente, esto hace que el sistema de acueducto sea insostenible económicamente.

Según las facturas de servicios públicos prestados por codensa se logra ver las cifras significativas por costos de bombeo.

Para el periodo de 15 marzo a 17 de abril del 2017 el total a pagar es de \$27.781.440 millones (**Anexo N° 2**), se evidencia el precio a pagar por el sistema de bombeo el cual es muy elevado, para el siguiente periodo de facturación entre 17 de abril al 16 de mayo de 2017 se ve un aumento de \$541.230 pasando a costar \$28.322.670 millones, para el último dato de facturación comprendido entre 16 de mayo hasta el 15 de junio del 2017 ya este con respecto al primer periodo de facturación el aumento es de \$1.024.980 millones, pasando a costar \$28.806.420 millones.

3. CAPÍTULO III. MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO

Para realizar la respectiva modelación del sistema de acueducto del municipio La Palma Cundinamarca, se utilizó Bentley WaterCAD, es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego), que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos. WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.)

La Modelación se la realizo en dos tramos los cuales son: Reservorio y caseta de bombeo Puente de Oro hasta PTAP y tanque Matadero. Segundo tramo de caseta de bombeo Matadero hasta tanque de almacenamiento el Alto.

A continuación, se muestra las tablas de datos que arrojo el software WaterCAD, en la simulación en periodo extendido de la Red principal del sistema de acueducto.

Tabla 13. Datos del Reservorio en WaterCAD.

RESERVORIO	ELEVACIÓN (m)
R-1	1,221.20

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (**Tabla 14**) se muestra los datos de elevación representativos al tanque Matadero y el tanque Alto, el cual alimenta al municipio.

Tabla 14. Datos De los Tanques en WaterCAD

TANQUE	ELEVACIÓN BASE (m)	ELEVACIÓN MÍNIMA (m)	ELEVACIÓN INICIAL (m)	ELEVACIÓN MÁXIMA (m)
T-1 MATADERO	1,362.50	1,363.00	1,363.75	1,364.70
T-2 ALTO	1,500.30	1,501.30	1,502.45	1,503.60

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

A continuación, en la (**Tabla 15**) se muestra los datos de los nodos arrojados por el software WaterCAD, que van de el reservorio y caseta de bombeo Puente de oro hasta PTAP y tanque de succión Matadero.

Tabla 15. Datos de los Nodos en WaterCAD

ETIQUETA DEL NODO	ELEVACIÓN (m)	PRESIÓN (mH ₂ O)
N-1	1,222.69	143
N-2	1,229.93	135
N-3	1,240.08	125
N-4	1,248.45	117
N-5	1,254.03	111
N-6	1,259.10	106
N-7	1,269.02	96
N-8	1,274.73	90
N-9	1,276.30	88
N-10	1,280.75	84
N-11	1,282.54	82
N-12	1,284.22	80
N-13	1,286.97	77
N-14	1,287.71	76
N-15	1,294.28	70
N-16	1,309.40	55
N-17	1,316.54	47
N-18	1,312.83	51
N-19	1,308.07	56
N-20	1,306.41	57
N-21	1,305.56	58
N-22	1,312.53	51
N-23	1,318.59	45
N-24	1,327.52	36
N-25	1,336.98	26
N-26	1,348.85	14
N-27	1,364.56	-2
N-28	1,371.31	131
N-29	1,375.25	127
N-30	1,378.27	124
N-31	1,381.62	121
N-32	1,384.36	118
N-33	1,390.50	112
N-34	1,396.34	106
N-35	1,404.88	98
N-36	1,409.91	93
N-37	1,425.88	77
N-38	1,448.54	54
N-39	1,462.92	40
N-40	1,473.99	28
N-41	1,477.84	25
N-42	1,531.39	-29
N-43	1,462.00	13

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la anterior (**Tabla 15**) se observa que para el Nodo – 27 le corresponde una presión de -2 mH₂O y para el Nodo – 28 aumenta a 131 mH₂O, esto se debe a que en ese punto se encuentra la Bomba de la caseta Matadero.

A continuación, se muestra la tabla de los datos arrojados por el software WaterCAD, de las tuberías. Ver (**Tabla 16**).

Tabla 16. Datos de la Tubería en WaterCAD

ETIQUETA DE TUBERIA	INICIO DEL NODO	FINAL DEL NODO	DIAMETRO (in)	MATERIAL	HAZEN - WILLIAMS	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	LONGITUD (m)
P-1	Reservorio	Bomba Puente de Oro	4	Steel	140	22.07	2.72	2
P-2	Bomba Puente de Oro	N-1	8	Steel	140	22.07	0.68	4
P-3	N-1	N-2	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-4	N-2	N-3	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-5	N-3	N-4	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-6	N-4	N-5	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-7	N-5	N-6	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-8	N-6	N-7	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-9	N-7	N-8	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-10	N-8	N-9	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-11	N-9	N-10	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-12	N-10	N-11	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-13	N-11	N-12	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-14	N-12	N-13	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-15	N-13	N-14	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-16	N-14	N-15	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-17	N-15	N-16	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-18	N-16	N-17	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-19	N-17	N-18	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-20	N-18	N-19	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-21	N-19	N-20	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-22	N-20	N-21	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-23	N-21	N-22	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-24	N-22	N-23	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-25	N-23	N-24	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-26	N-24	N-25	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-27	N-25	N-26	8	PVC	150	22.07	0.68	50
P-28	N-26	V. Ventosa	8	PVC	150	22.07	0.68	36
P-29	V. Ventosa	N-27	8	PVC	150	22.07	0.68	14
P-30	N-27	Tan. Matadero	8	PVC	150	22.07	0.68	18
P-31	Tan. Matadero	Bomba Matadero	6	Steel	140	21.72	1.19	2
P-32	Bomba Matadero	N-28	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-33	N-28	N-29	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-34	N-29	N-30	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-35	N-30	N-31	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-36	N-31	N-32	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-37	N-32	N-33	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-38	N-33	N-34	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-39	N-34	N-35	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-40	N-35	V. Ventosa	10	Steel	140	21.72	0.43	13
P-41	V. Ventosa	N-36	10	Steel	140	21.72	0.43	37
P-42	N-36	N-37	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-43	N-37	N-38	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-44	N-38	N-39	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-45	N-39	N-40	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-46	N-40	Vv-3	10	Steel	140	21.72	0.43	6
P-47	Vv-3	N-41	10	Steel	140	21.72	0.43	44
P-48	N-41	N-42	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-49	N-42	Tan. Alto	10	Steel	140	21.72	0.43	50
P-50	Tan. Alto	N-43	1	PVC	150	1.91	3.78	50

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

Actualmente para impulsar el agua se está utilizando bombas sumergibles tipo lapicero, en las dos estaciones de bombeo: caseta de bombeo Puente de Oro y caseta de bombeo Matadero.

Para la modelación del sistema de acueducto, el estado de las bombas inicia con la bomba de la estación Puente de Oro encendida y permanece encendida impulsando agua las 24 horas del día, y la bomba de la estación Matadero inicia apagada ya que esta tiene un encendido automático respecto al nivel del tanque Alto. Ver (Tabla 17).

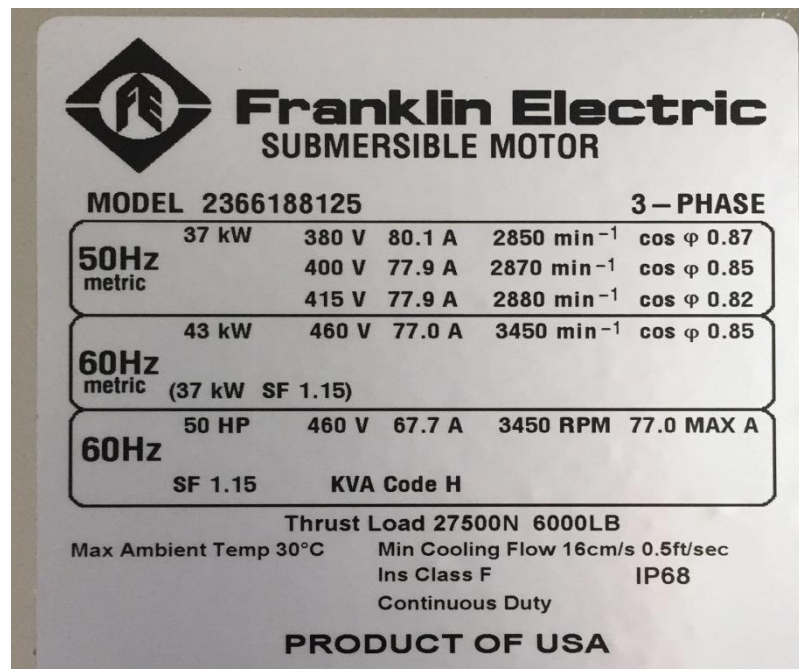
Tabla 17. Datos de las Estaciones de Bombeo

CASETA DE BOMBEO	ELEVACIÓN (m)	ESTADO INICIAL	CAUDAL TOTAL (L/s)	CABEZA DE LA BOMBA (m)
B. Puente de Oro	1,221.70	Encendida	22.07	144.6
B. Matadero	1,365.20	Apagada	21.72	139.99

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

A continuación, se muestra una fotografía de las especificaciones de la bomba sumergible de la caseta de bombeo puente de oro.

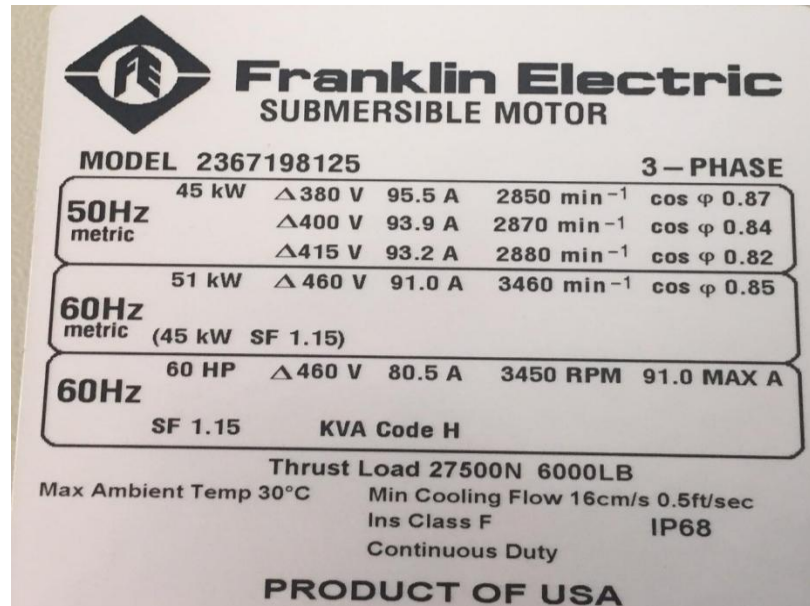
Ilustración 38. Fotografía de especificaciones Bomba Puente de Oro.



Fuente: (Autores)

A continuación, se muestra una fotografía de las especificaciones de la bomba sumergible de la caseta de bombeo Matadero.

Ilustración 39. Fotografía de especificaciones bomba Matadero.



Fuente: (Autores)

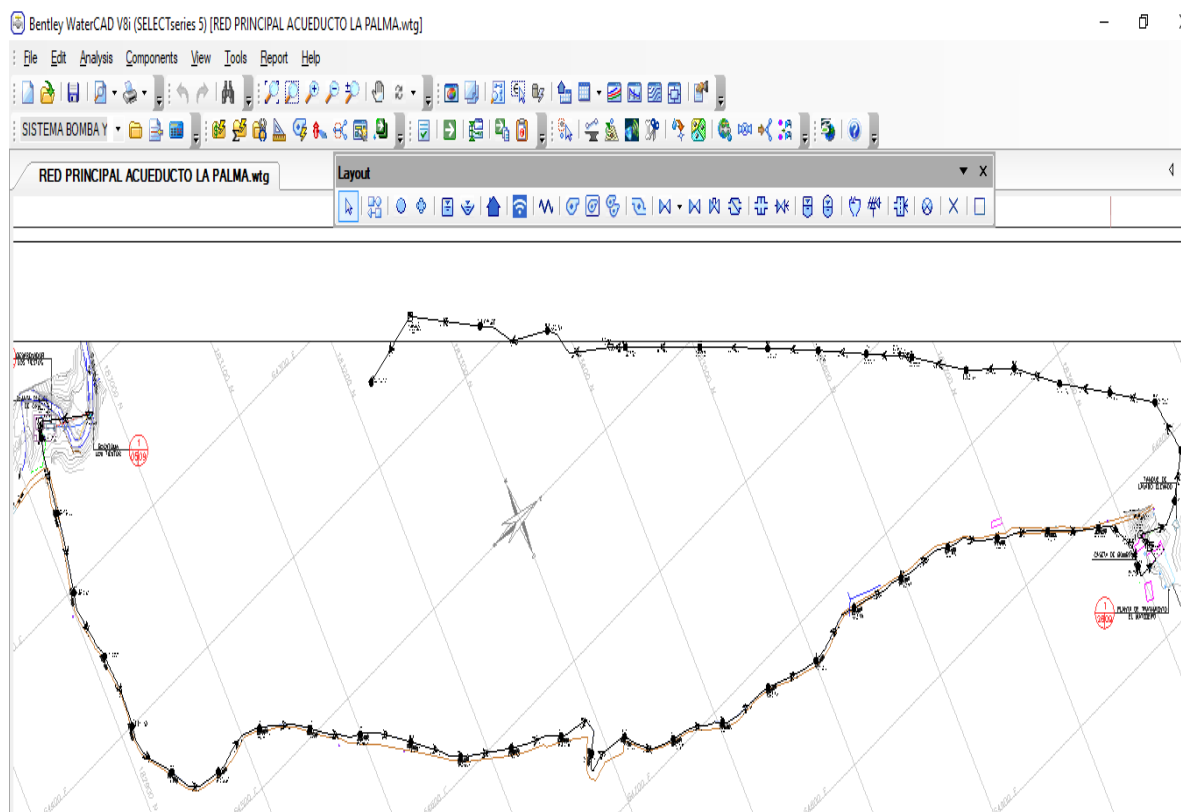
El sistema de la Red principal del acueducto cuenta con 3 Válvulas ventosa, las cuales su función básica es realizar el control de la presencia de aire en las partes altas de la tubería, generadas principalmente por causas propias del fluido. Estas válvulas son de efecto automático. Ver (Tabla 18).

Tabla 18. Datos de las Válvulas ventosa

VÁLVULAS	ELEVACIÓN (m)	FUNCIÓN DE LA VÁLVULA	DIÁMETRO (orificio de salida de aire) (in)
Ventosa	1,363.86	Cierre lento	3
Ventosa	1,406.51	Cierre lento	2
Ventosa	1,474.39	Cierre lento	2

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

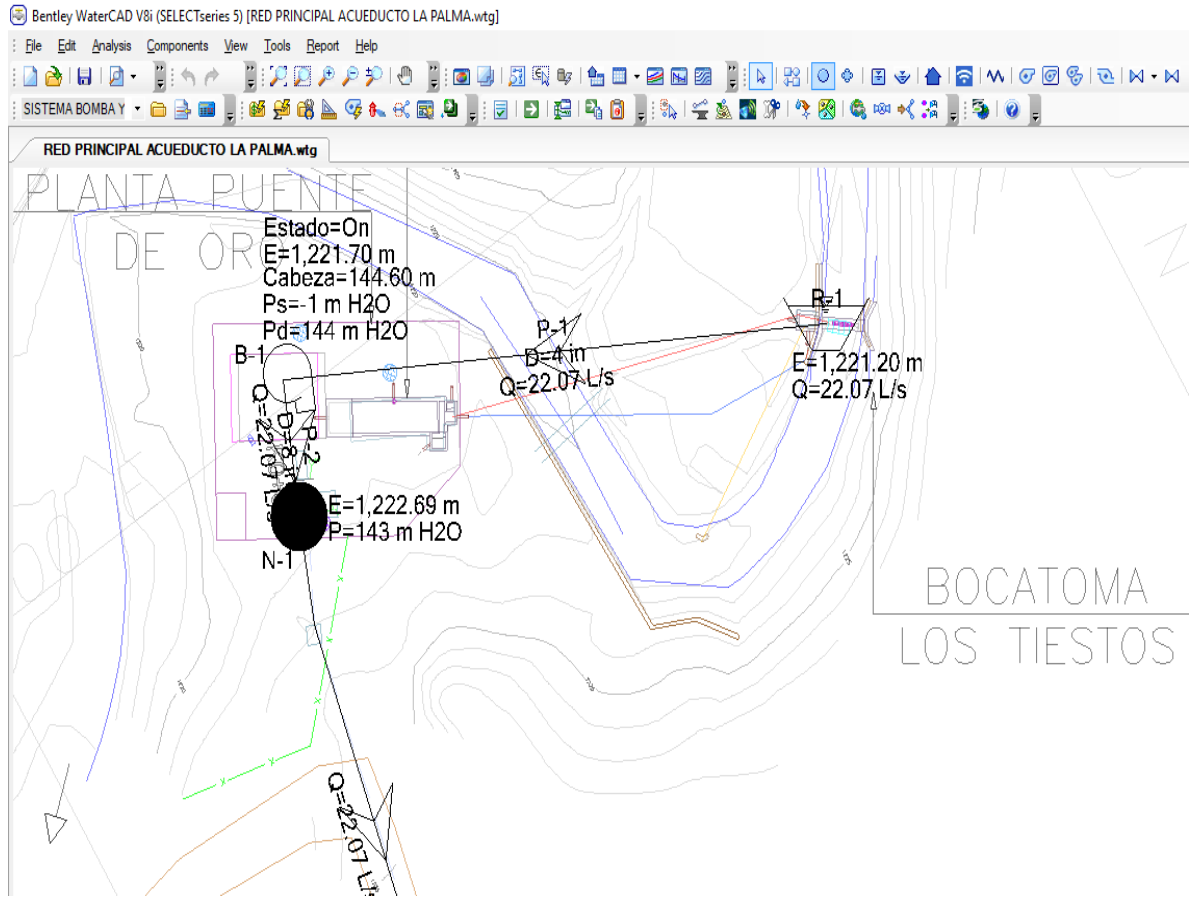
Ilustración 40. Red principal del sistema en WaterCAD.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la **(ilustración 40)** se muestra el montaje de la red principal en el software de análisis WaterCAD, la cual inicia con el reservorio (Captación de agua), pasa al cárcamo de succión en la caseta de bombeo Puente de oro para luego ser impulsada el agua por una bomba sumergible hasta la el tanque de Matadero donde se realiza una nueva impulsión hasta el tanque el Alto, donde actualmente termina la Red principal del sistema, ya que en este tanque se produce un nuevo bombeo impulsando el agua hacia el tanque las cruces, el cual debido a la precaria condición de inestabilidad geotécnica y a que no se requiere para alimentar el casco urbano, se mantiene en desuso y la bomba también se encuentran dañadas.

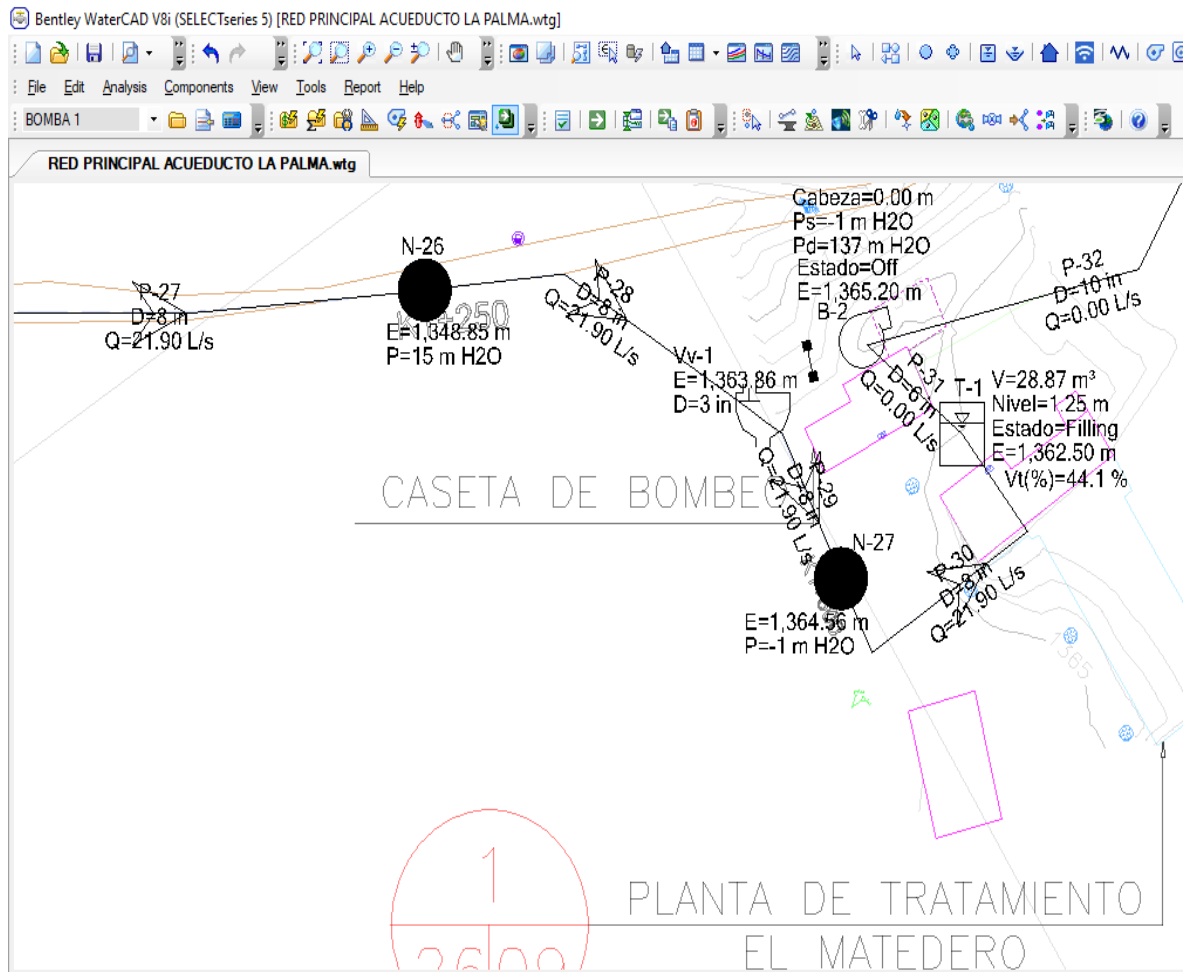
Ilustración 41. Reservorio y Bombeo Puente de oro.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la **(ilustración 41)** se muestra una parte del sistema de acueducto con el inicio de la Red principal, el Reservorio con una elevación de 1221,20 m.s.n.m., el caudal de captación es de 22,07 L/s, su aducción en una tubería de 4 pulgadas en PVC, la caseta de bombeo Puente de oro con una elevación de 1221,70 m.s.n.m. el estado de la bomba encendida, y sus presiones de succión y descarga, los nodos con su respectiva elevación y presión. A partir de las conexiones de la bomba, la tubería tiene una ampliación a 8 pulgadas en PVC.

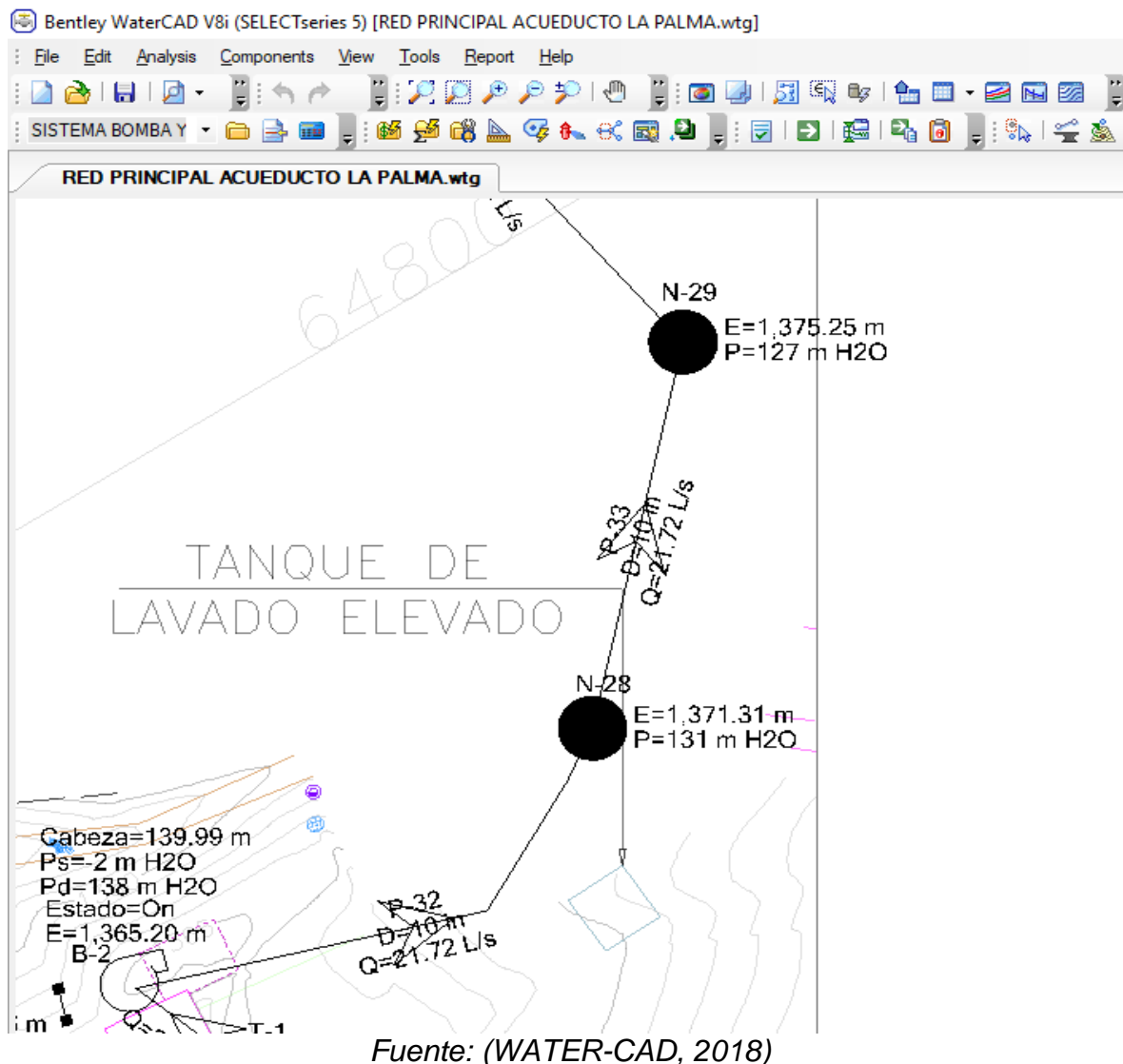
Ilustración 42. Red principal del sistema, PTAP, Almacenamiento y Bombeo Matadero.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

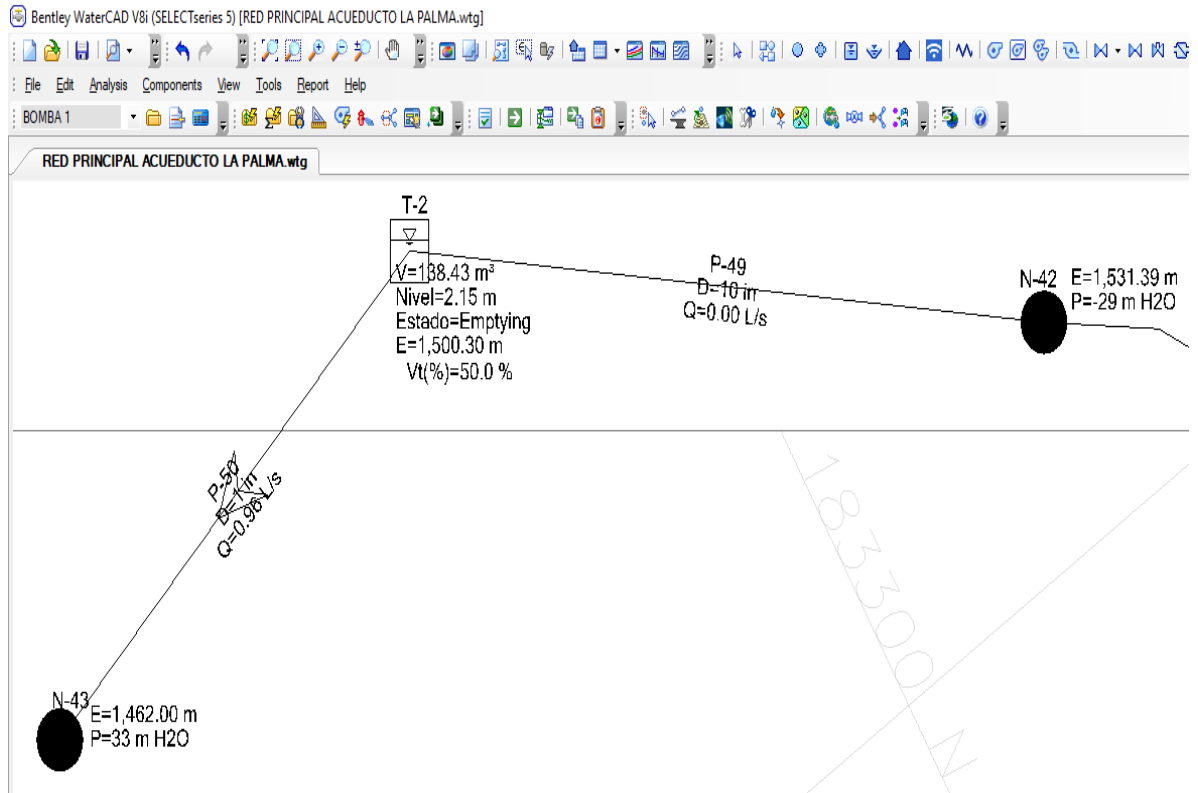
En la (ilustración 42) se muestra la conducción de la tubería de 8 pulgadas en PVC, con sus respectivos nodos, se puede apreciar una Válvula ventosa con una elevación de 1363,86 m.s.n.m. y el orificio de salida de aire en 3 pulgadas de diámetro, son los dispositivos básicos para realizar el control de la presencia de aire en las tuberías. Esta conducción llega a la PTAP y luego pasa al tanque Matadero con una elevación de 1362,50 m.s.n.m. Donde se hace la segunda impulsión ya del agua tratada para el consumo humano, hacia el tanque Alto de donde es distribuida al municipio.

Ilustración 43. Bombeo Matadero e Inicio de conducción a Tanque Alto



En la (ilustración 43) se muestra el sistema de bombeo de Matadero con una elevación de 1365,20 m.s.n.m. Y sus respectivas presiones de succión y descarga. El inicio de la conducción se realiza mediante una robusta tubería de 10 pulgadas en Acero, con un caudal de 21,72 L/s, hacia el tanque Alto el cual alimenta de agua al municipio.

Ilustración 44. Tanque almacenamiento el Alto.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (ilustración 44) se muestra el final de la Red principal del sistema, en el tanque de almacenamiento y distribución el Alto con una elevación de 1500,30 m.s.n.m. Este tanque es el de mayor capacidad de almacenamiento $276,86 \text{ m}^3$ y del cual se suministra el agua al casco urbano. El nodo 43 representa la población la cual tiene una elevación de 1462 m.s.n.m.

3.1. CAPACIDAD DE LOS TANQUES.

Para realizar la evaluación de la capacidad de los tanques se desarrolló la VARIACIÓN HORARIA DE USO DEL AGUA, que son variaciones de consumo de agua por parte de la población, que se da al sistema durante el día (24h), estas variaciones hacen que las condiciones de operación en el sistema cambien. Ver (Tabla 19).

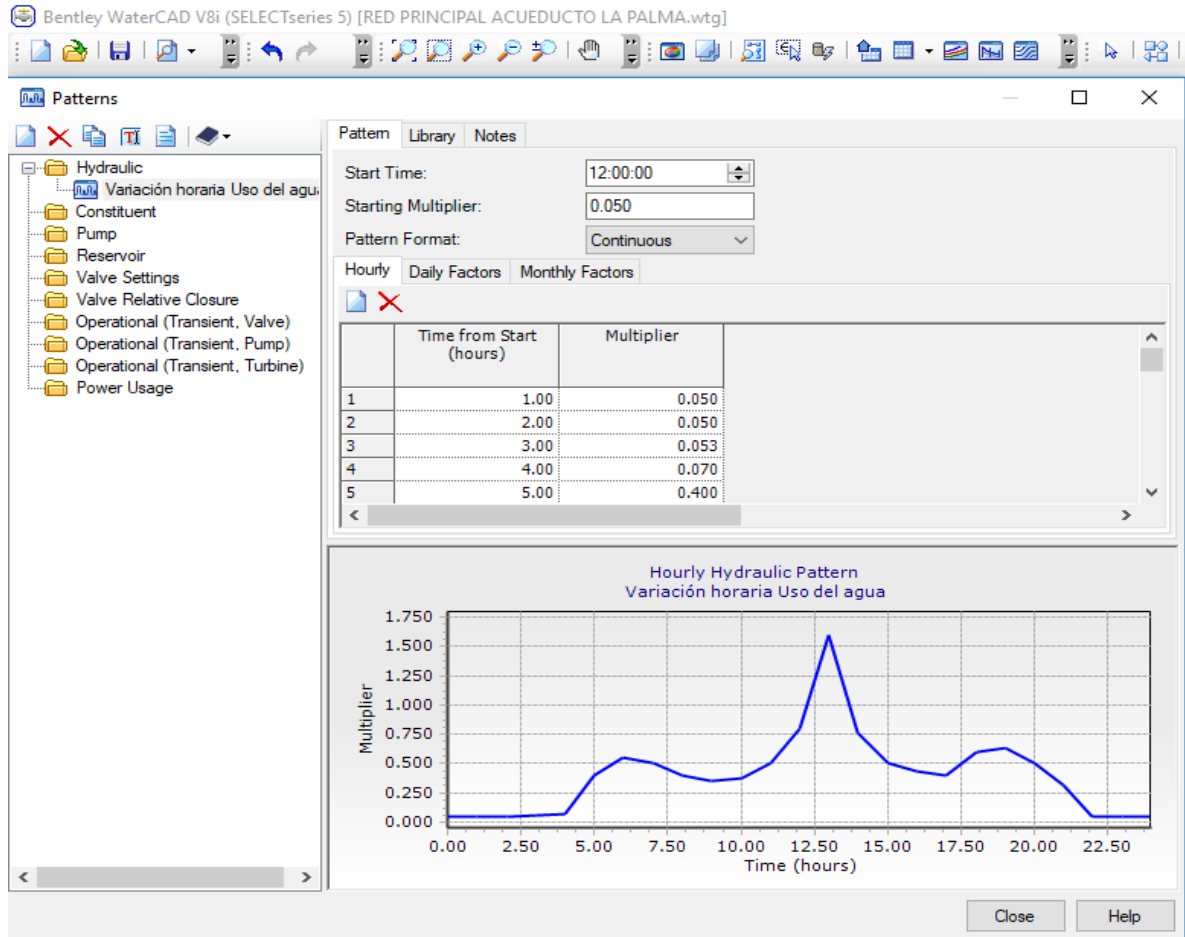
Tabla 19. Variación horaria de Uso del Agua

HORA	FACTOR (Uso de Agua)
01:00:00 a.m.	0.050
02:00:00 a.m.	0.050
03:00:00 a.m.	0.053
04:00:00 a.m.	0.070
05:00:00 a.m.	0.400
06:00:00 a.m.	0.550
07:00:00 a.m.	0.500
08:00:00 a.m.	0.400
09:00:00 a.m.	0.350
10:00:00 a.m.	0.370
11:00:00 a.m.	0.500
12:00:00 p.m.	0.800
01:00:00 p.m.	1.600
02:00:00 p.m.	0.760
03:00:00 p.m.	0.500
04:00:00 p.m.	0.430
05:00:00 p.m.	0.400
06:00:00 p.m.	0.600
07:00:00 p.m.	0.640
08:00:00 p.m.	0.500
09:00:00 p.m.	0.320
10:00:00 p.m.	0.050
11:00:00 p.m.	0.050
12:00:00 a.m.	0.050

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

A continuación, se muestra la gráfica de Variación horaria de uso del Agua realizada en WaterCAD (**ilustración 45**), con los respectivos datos de la anterior (**Tabla 19**).

Ilustración 45. Variación horaria uso del agua

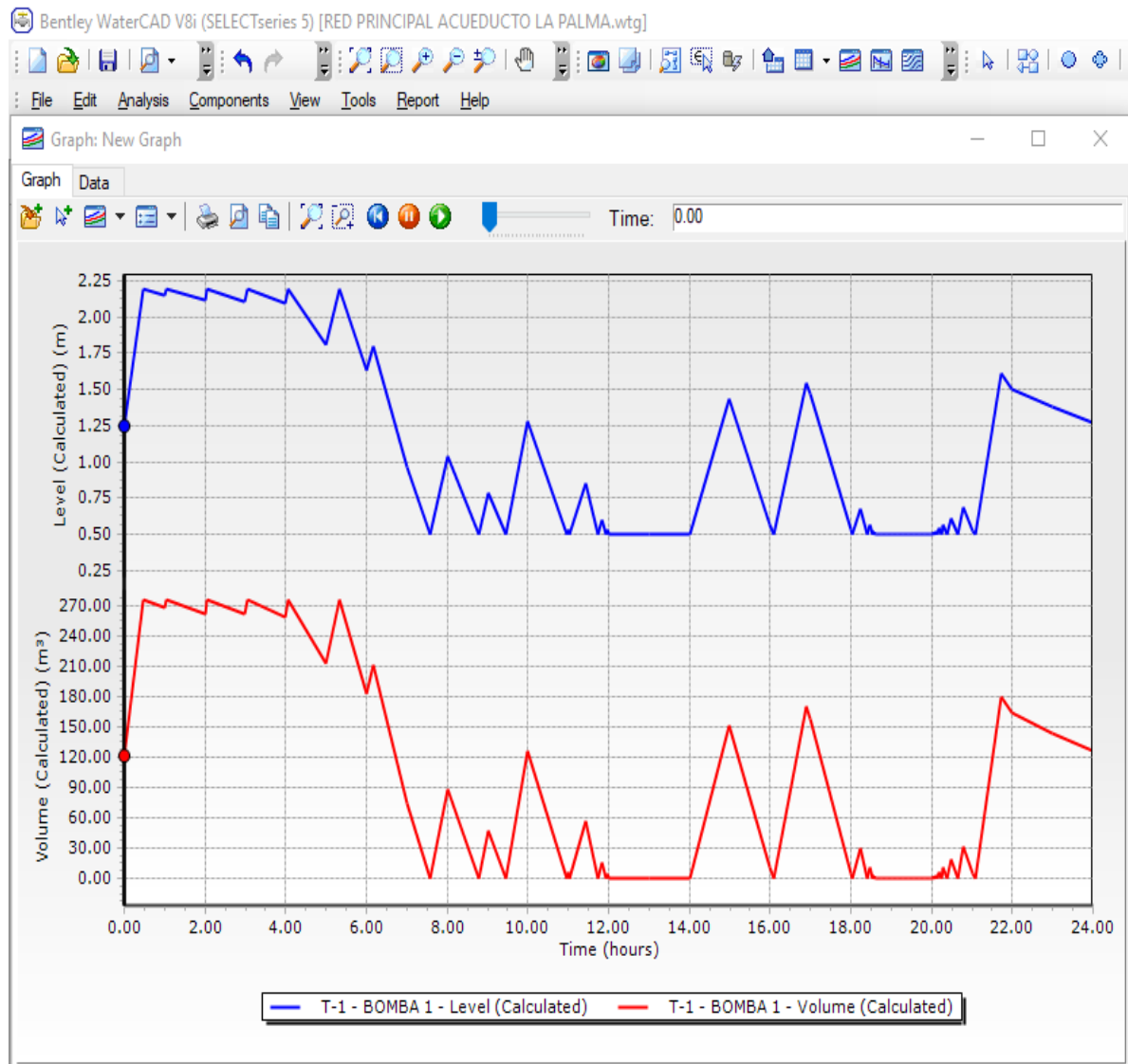


Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la imagen anterior se puede ver la gráfica del comportamiento de la variación de consumo del agua en dichas horas del día, inicia con un factor de consumo de 0.050 a la 01:00:00 a.m. se mantiene constante hasta las 05:00:00 a.m. donde ya el consumo es mayor con un factor de 0.40, por parte de las personas que a esa hora de la mañana ya inician el día, y necesitan del agua para realizar sus necesidades y aseo personal, para realizar a gusto su vida laboral, estudiantil etc. Aproximadamente hasta las 08:00:00 a.m. el consumo se reduce y el tanque inicia a llenarse ya que perdió un volumen considerable de agua, la bomba de Matadero tiene un control de encendido para el llenado respecto al nivel inicial del tanque el cual es de 1 metro respecto a 3 metros de altura del tanque, al medio día 12:00:00 p.m. el nivel del tanque ya alcanzo un buen nivel se evidencia que aumenta el nivel de consumo y llega al máximo factor que es 1,6 causando el vaciado hasta el nivel mínimo del tanque de almacenamiento, dejando a la población sin el servicio de agua por 2 horas o más, causando molestias en las personas por el mal servicio. Ver (ilustración 46).

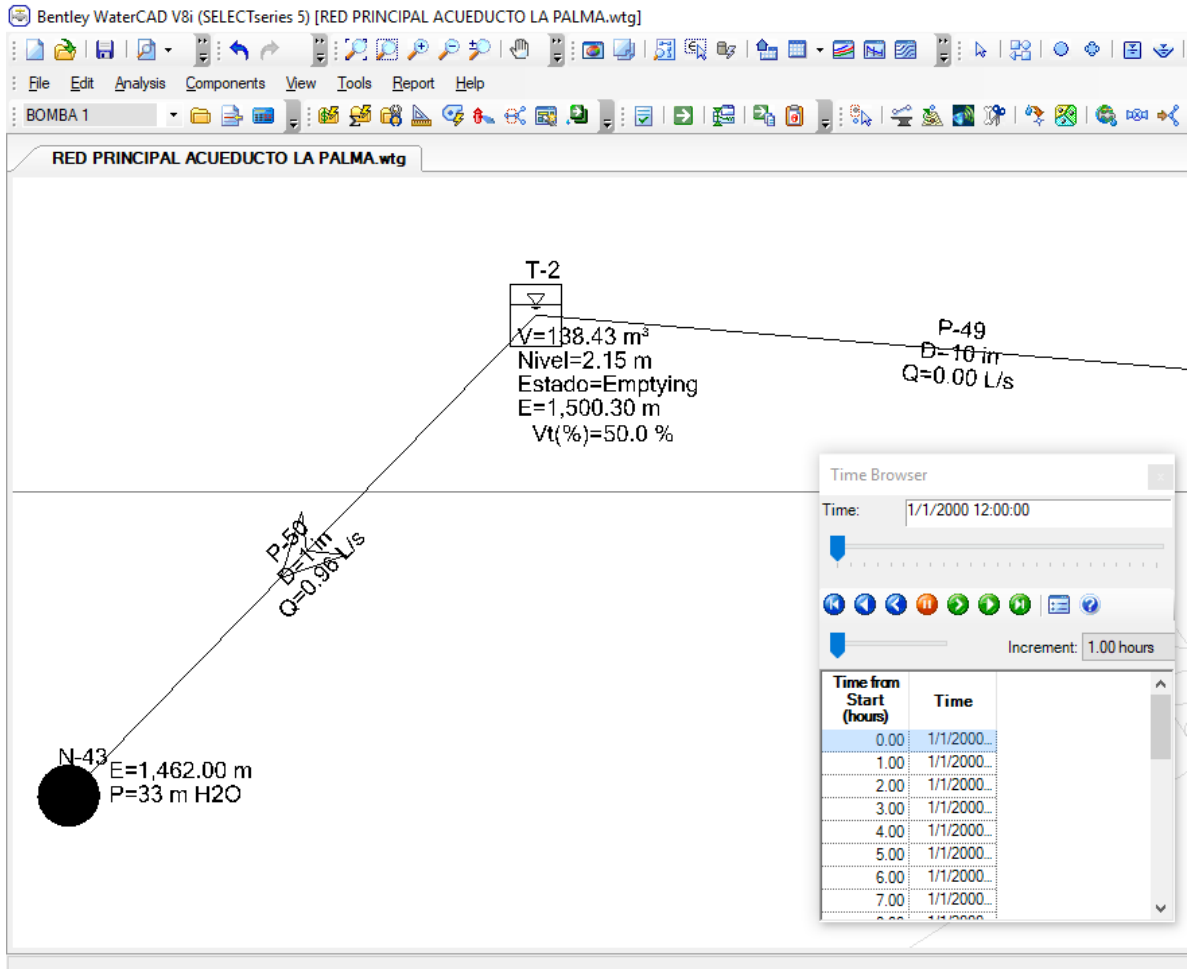
En la (ilustración 46) se observa el resultado gráfico arrojado por el programa WaterCAD, del comportamiento del tanque el Alto de su nivel y Volumen respecto a las horas del día, la línea de tendencia de color azul representa el nivel en metros del tanque, y la línea de tendencia de color rojo representa el Volumen en metros cúbicos.

Ilustración 46. Gráfica de Volumen y nivel del Tanque vs Horas del día.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

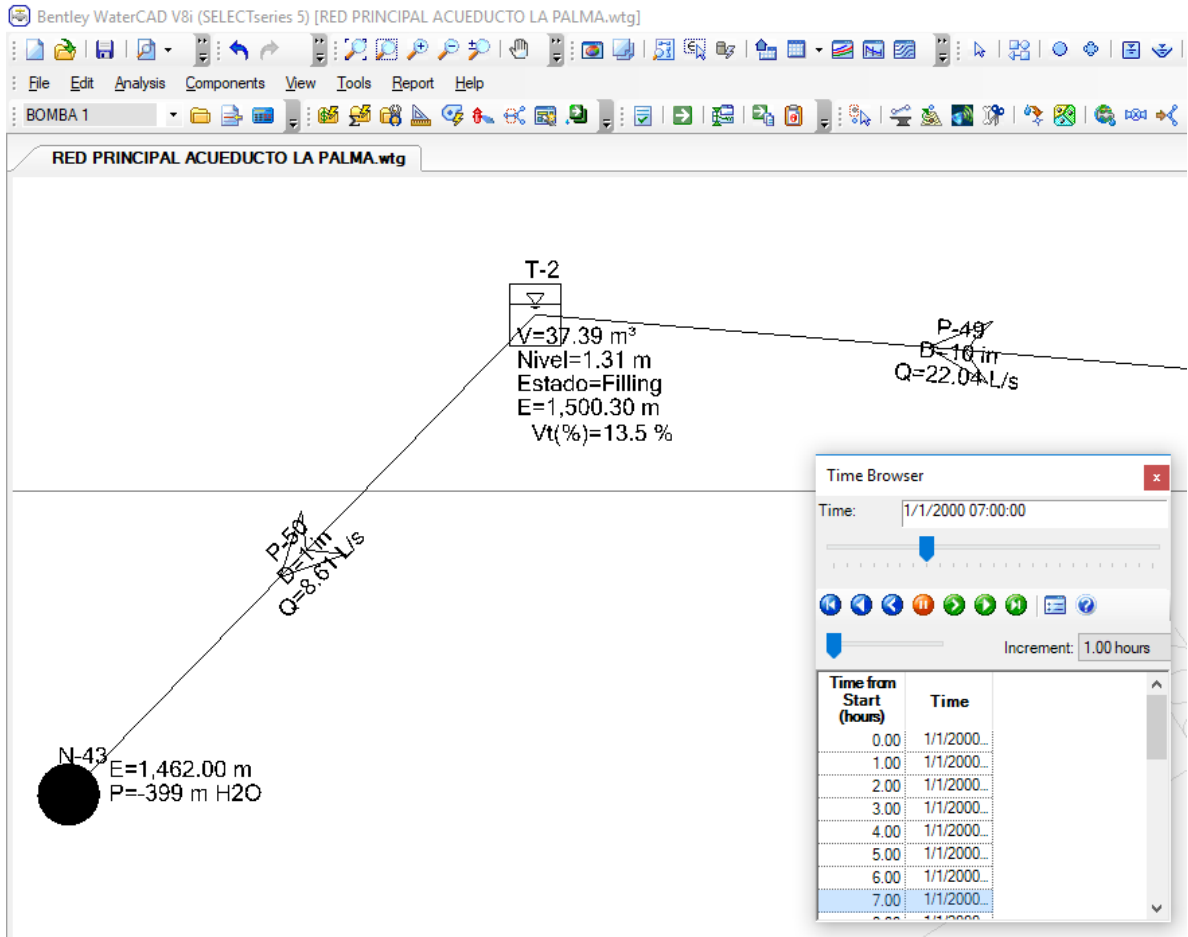
Ilustración 47. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (ilustración 47) se observa el comportamiento del tanque respecto a las 12:00:00 a.m., el tanque está en un 50 % que equivale a 138,43 metros cúbicos de agua y un nivel de 2,15 metros, respecto a 3,1 metros que es el nivel máximo del tanque. Respecto a esa hora el consumo de agua por parte del municipio es muy bajo y el caudal demandado es de 0,96 L/s. El cual va dirigido hacia el nodo 43 como se ve en la imagen, cuyo nodo representa el casco urbano. Y se observa que la tubería que alimenta el tanque no tiene caudal ya que la bomba que impulsa el agua al tanque se encuentra apagada.

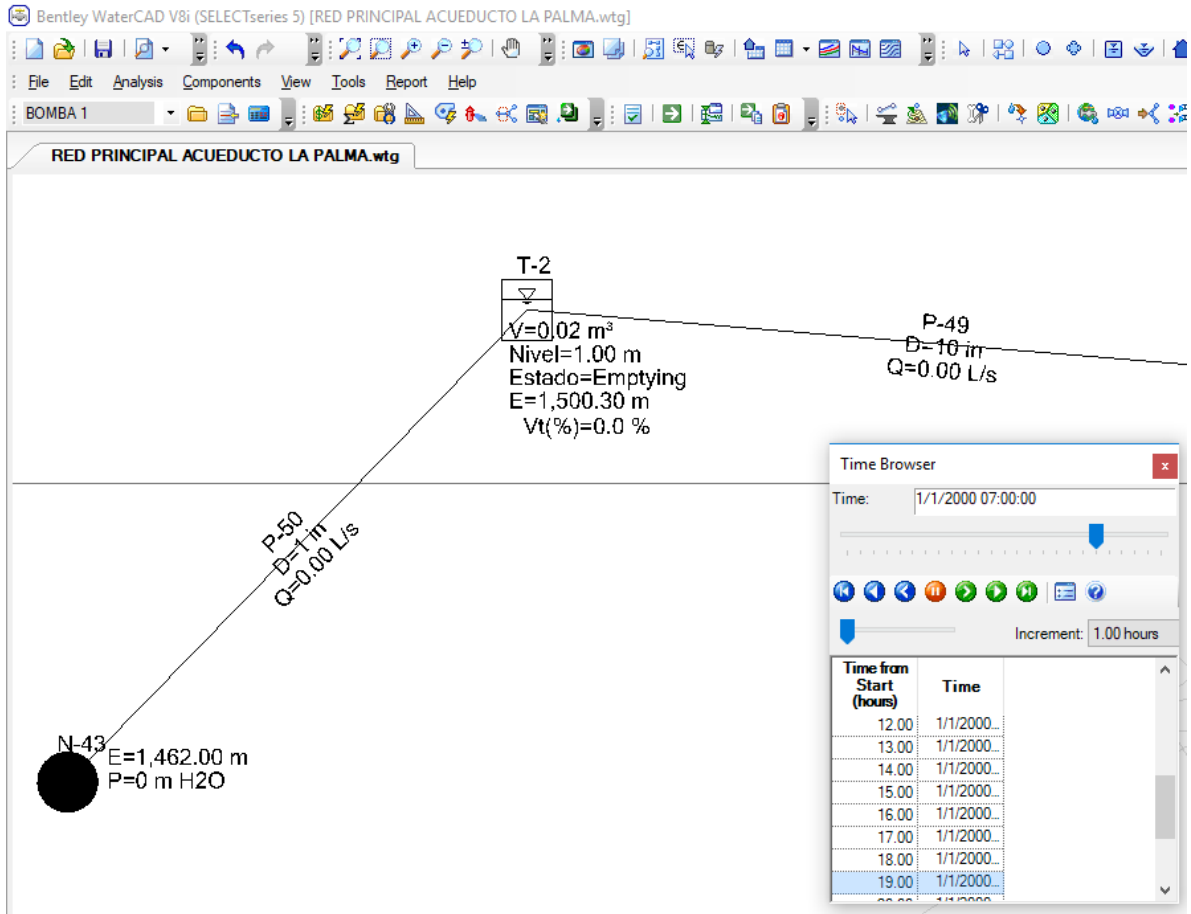
Ilustración 48. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (ilustración 48) se observa el comportamiento del tanque respecto a las 07:00:00 a.m. Donde el nivel del tanque es mínimo y la bomba se enciende automáticamente para abastecer el tanque Alto e impulsa agua con un caudal de 22,04 L/s, y se observa el estado del tanque que se está llenando y al mismo tiempo alimentando al nodo 43 el cual representa al casco urbano con un caudal pequeño de 8,61 L/s.

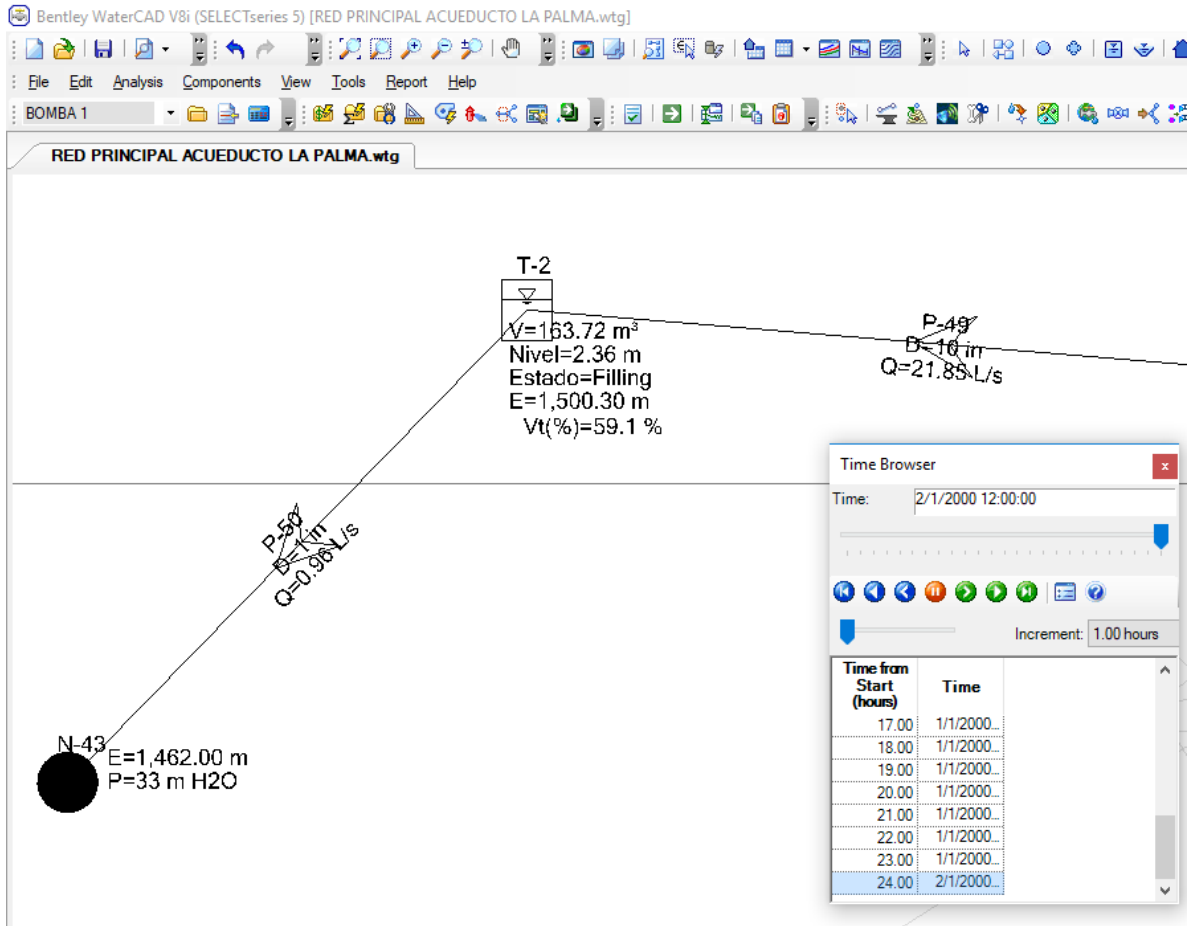
Ilustración 49. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (ilustración 49) se observa el comportamiento del tanque respecto a las 07:00:00 p.m. donde se ve en la imagen que el tanque queda totalmente vacío y el casco urbano queda sin el servicio de agua y son las causas de las molestias en los usuarios por el mal servicio.

Ilustración 50. Comportamiento del Nivel, Volumen Y Estado del Tanque Alto.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

En la (ilustración 50) se observa el comportamiento del tanque Alto a las 12:00:00 a.m. El volumen de agua aumenta a 163,72 metros cúbicos, debido a que la bomba de Puente de Oro estuvo durante aproximadamente 4 horas impulsando agua para almacenar y al mismo tiempo alimentar al municipio. Cabe resaltar que el tanque no termina de almacenar el volumen máximo de agua, el cual es 277 metros cúbicos.

3.2. SISTEMA DE BOMBEO.

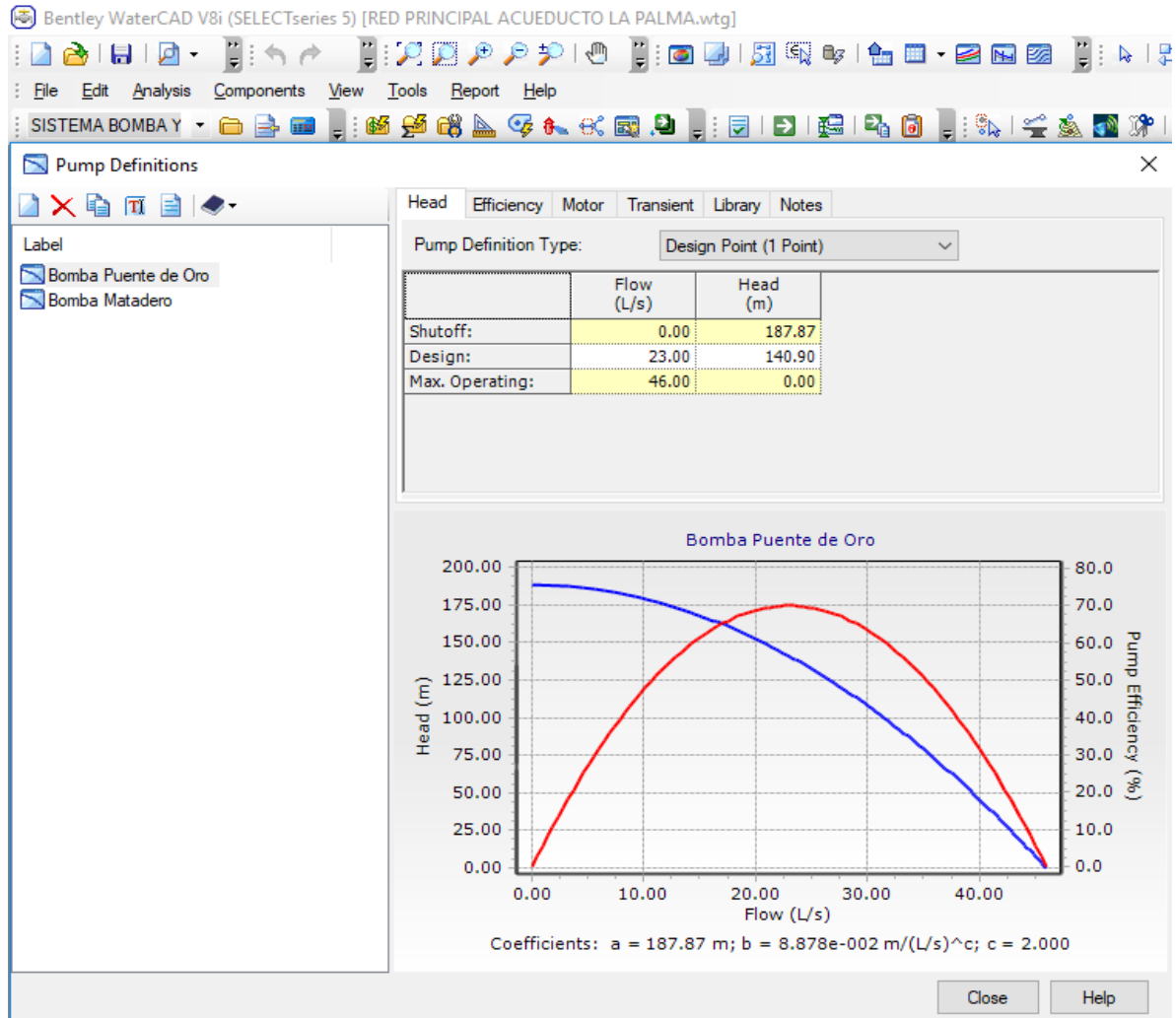
Actualmente para brindar el servicio de agua por parte de la oficina de Servicios públicos del municipio La Palma Cundinamarca, donde está situada la captación de agua (Bocatoma) a 1221,60 m.s.n.m. En comparación a la zona donde se encuentra situado la PTAP y cárcamo de succión Matadero a 1362,50 m.s.n.m. Hay una gran diferencia de alturas, la cual, para impulsar el agua, se inicia el primer bombeo, con una bomba sumergible tipo lapicero de 50HP, en la (**Tabla 20**) se muestran las especificaciones y en la (**ilustración 51**) se muestra la curva de la bomba Puente de oro, la cual impulsa el agua con un caudal de 23 L/s.

Tabla 20. Datos de la Bomba Puente de Oro.

BOMBA SUMERGIBLE PUENTE DE ORO	
TIPO DE EFICIENCIA: BEP	
EFICIENCIA DE MOTOR:	83%
EFICIENCIA BEP:	65%
CAUDAL (L/s) BEP:	23

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

Ilustración 51. Curva de la Bomba Puesto de Oro.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

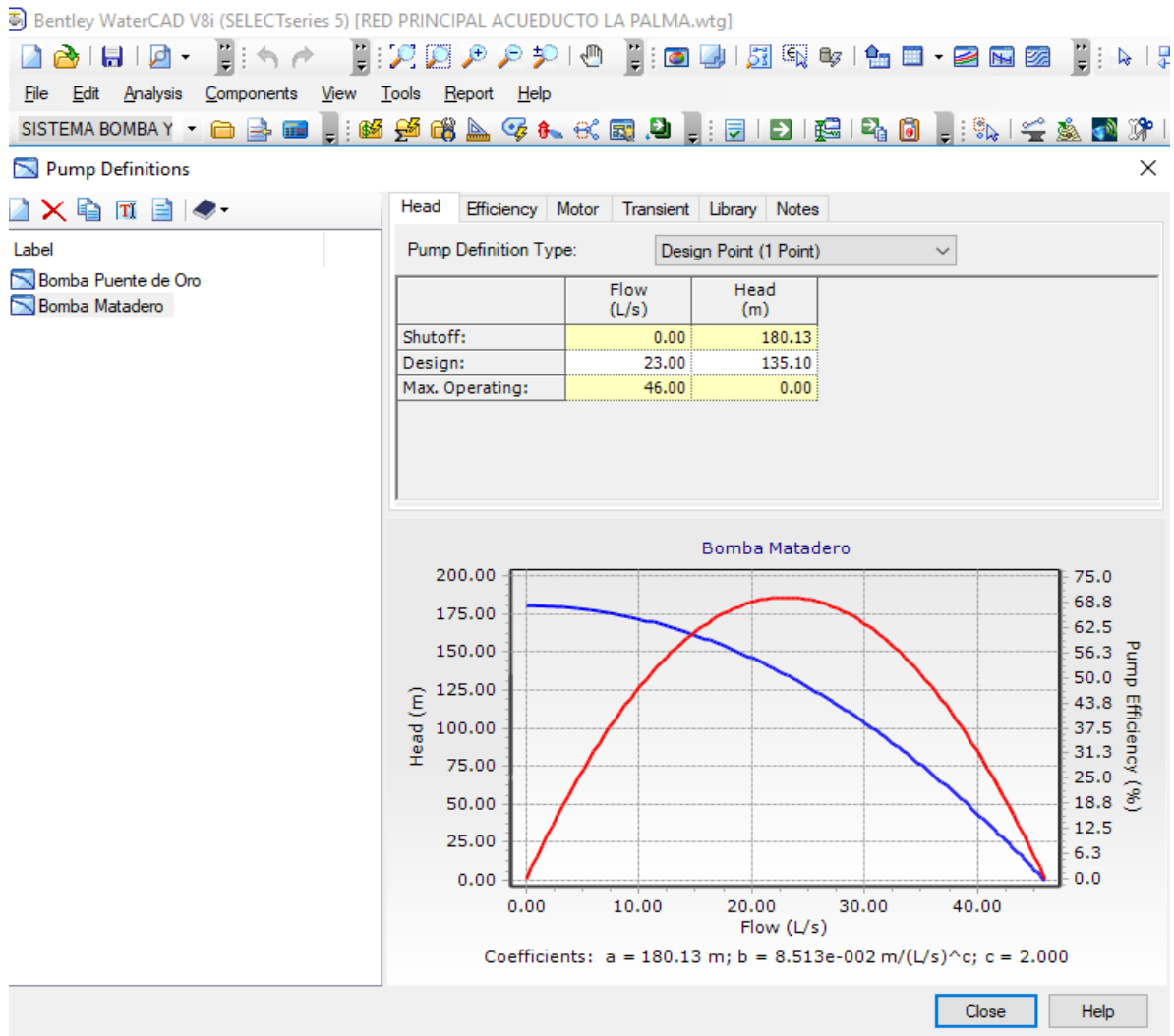
Continuando el recorrido, el sistema se impulsa el agua desde la caseta de bombeo Matadero situado a 1362,50 m.s.n.m. Se utiliza una bomba sumergible tipo lapicero de 60HP, en la (Tabla 21) se muestran las especificaciones y en la (ilustración 52) se muestra la curva de la bomba Matadero, la cual impulsa el agua con un caudal de 23 L/s, para alimentar el tanque alto situado a 1500,30 m.s.n.m. el cual suministra el agua por gravedad al municipio situado a 1462 m.s.n.m.

Tabla 21. Datos de la Bomba Matadero.

BOMBA SUMERGIBLE MATADERO	
TIPO DE EFICIENCIA: BEP	
EFICIENCIA DE MOTOR:	85%
EFICIENCIA BEP:	70%
CAUDAL (L/s) BEP:	23

Fuente: (WATER-CAD, 2018)

Ilustración 52. Curva de la Bomba Matadero.



Fuente: (WATER-CAD, 2018)

4. CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Se analizó la operación del sistema de bombeo por medio de la simulación en periodo extendido en el programa WaterCAD, y se evidencia el mal funcionamiento por parte de los operarios encargados de las casetas de bombeo, lo cual hace que el almacenamiento en los tanques no sea el adecuado para alimentar de agua al municipio en las horas del día, ya que las bombas no son lo suficientemente eficientes para el llenado de los tanques. A las 12:00 a.m. el tanque Alto alcanza un llenado del 59% es decir 163 metros cúbicos, de 277 metros cúbicos, la máxima capacidad, y a partir de las 2:00 a.m. empieza a reducir el volumen por el consumo de la población, a las 7:00 a.m. la bomba de Matadero se enciende automáticamente por que el nivel del tanque Alto ya es mínimo, el cual causa un problema en el caudal de salida del tanque a la población el cual reduce e inclusive a algunos sectores del municipio no llega el agua lo cual causa molestias en los usuarios. Las bombas continúan en operación en las horas del día para llenar los tanques y al mismo tiempo el tanque Alto alimentar de agua a la población, esto se hace para tratar de no dejar sin agua a la población, es decir, a medida que la bomba trata de llenar el tanque con 22 L/s, el tanque envía un caudal de 19 L/s a la población, retardando el llenado del tanque, ya que no hay mucha diferencia en el caudal que llega al tanque como el que sale. En las horas de la noche el tanque termina vacío, a las 9:00 p.m. Inician el bombeo permanente para el llenado y almacenamiento de agua en los tanques para el día siguiente.

Teniendo en cuenta los volúmenes de almacenamiento y el mal uso de la misma, se recomienda que en la operación del sistema de bombeo funcione de 9:00 p.m. a 3:00 a.m. ya que el llenado a nivel máximo del tanque Alto tarda aproximadamente 6 horas, se debe mantener cerrado la salida del tanque hacia el suministro a la población, ya que en ese transcurso de tiempo las personas se encuentran durmiendo y por lo tanto el consumo será muy mínimo, para así almacenar agua a nivel máximo y suministrarla durante el día, a partir de las 4:00 a.m. que es la hora adecuada, hasta las 7:00 a.m. que el tanque llega a su nivel mínimo. En ese ciclo de abastecimiento a la población, se puede apagar el sistema de las bombas ya que en ciclos innecesarios se aprovecharía para ahorrar costos por operación. Principalmente la bomba de Puente de Oro, la cual permanece encendida las 24 horas por que tiene que tener abastecida la PTAP para realizar el proceso de potabilización del agua y esta bomba es la que causa más incremento de energía por lo que permanece encendida todo el tiempo. Y la bomba de Matadero se enciende automáticamente con el nivel inicial del tanque el Alto, ambas se apagarían por ciclos innecesarios ya que el nivel del tanque permite el suministro de agua sin que se esté bombeando, así logrando la reducción de los costos por parte de la energía causada por la operación de los bombeos.

4.1. INGRESOS DEL ACUEDUCTO.

Con base a la información suministrada por parte de la oficina de servicios públicos de La Palma, se realizó un análisis del costo facturado por metro cubico a los usuarios para estimar los ingresos adquiridos por las tarifas que cobran por producir el agua al municipio.

Las tarifas aplicadas para el cobro de los servicios públicos de acueducto en el municipio, con base en los datos suministrados por la asesora de la oficina de servicios públicos, tiene un consumo expresado en \$/m3.

A continuación, se muestra las tarifas aplicadas:

Tabla 22. Estructura tarifaria del servicio de acueducto

SERVICIO DE ACUEDUCTO			
USO	ESTRATO	CARGO FIJO	VALOR M3
Residencial	1	\$ 1,759	\$ 146
Residencial	2	\$ 3,518	\$ 292
Residencial	3	\$ 4,984	\$ 414
Residencial	4	\$ 5,864	\$ 487
Residencial	5	\$ 8,796	\$ 731
Residencial	6	\$ 9,382	\$ 799
No Residencial	COMERCIAL	\$ 8,796	\$ 731
No Residencial	INDUSTRIAL	\$ 7,623	\$ 633
No Residencial	OFICIAL	\$ 5,864	\$ 487

Fuente: (Cundinamarca, 2014)

A continuación, se muestra una factura del cobro a los usuarios del acueducto, suministradas por parte de servicios públicos, donde se puede evidenciar el consumo y la tarifa cobrada por el servicio. Cabe resaltar que en la factura se ve reflejado el costo por los servicios de alcantarillado aseo y otros cobros, que en este caso no son de interés.

Ilustración 53. Factura de servicios públicos del municipio



UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS NUIR / NIT 800094776-1
 NUIR / NIT 800094776-1
 DIRECCIÓN: CALLE 10 NO 4-38. TEL. 8546002

Factura No.
12912



ORDEN Y PROGRESO

Fecha de Emisión		Fecha de Vencimiento		Fecha de Suspensión por Mora		VALOR A PAGAR	
15 - enero - 2014		31 - enero - 2014		31 - enero - 2014		65,600	
Código Ruta	01023800	Código Interno	1003475	Periodo Facturado	Noviembre-Diciembre/2013		
Nombre	BRAUSIN LUIS ANTONIO			Valor Último Pago	28200		
Dirección	TRANSY 6 # 8 55		Uso	RESIDENCIAL	Fecha Último Pago		
Barrio/Vereda	TRANSY 6 # 8 55		Estrato	MEDIO-BAJO	Periodos de Atrazo		
				1			
Lect. Anterior	Lectura Actual	Consumo	Promedio	Últimos Consumos			
9,999	10,034	35	15	15	18	15	11
				9	14		
Fecha Lectura	No. Medidor	Problemas de Aforo					
15/01/2014							
Rango	Consumo	Tarifa (\$/m3)	Valor	OTROS COBROS			
0 - 40	35	487.00	17,045	AJUSTE DEUDA ANTERIOR 47			
40 - 80	0	487.00	0	28,247			
Mayor a 80	0	487.00	0				
CARGO FIDC			5,864				
SUBSIDIO (-)			3,436				
CONTRIBUCIÓN (+)			0				
TOTAL ACUEDUCTO			19,472	TOTAL OTROS COBROS			
				28,247			
Rango	Consumo	Tarifa (\$/m3)	Valor	DATOS FINANCIACIONES DE DEUDA			
0 - 40	35	148.61	5,201				
40 - 80	0	148.61	0				
Mayor a 80	0	148.61	0				
CARGO FIDC			1,352				
SUBSIDIO (-)			983				
CONTRIBUCIÓN (+)			0				
TOTAL ALCANTARILLADO			5,570				
CONCEPTO	VALOR		DETALLE FACTURA				
Barrido y Limpieza	1,758		ACUEDUCTO	19,472			
Tratamiento y Disposición Final	3,560		ALCANTARILLADO	5,570			
Recolección y Transporte	3,649		ASEO	12,311			
Comercio y manejo del Recaudo	2,824		OTROS COBROS	28,247			
Tramo Excedente	2,693						
Aseo Deshabilitado	0						
SUBSIDIO (-)	2,173		VALOR TOTAL A PAGAR		65,600		
CONTRIBUCIÓN (+)	0						
TOTAL ASEO			12,311				
Historicos de Aseo			Firma Gerente		OBSERVACIONES		
					TODOS TENEMOS DERECHOS Y DEBERES CON NUESTROS SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS.		

Fuente: (Cundinamarca, 2014)

En la anterior (ilustración 53) se muestra la factura por los servicios prestados al municipio, para el proyecto es importante el valor del costo de consumo de agua expresado en \$/m3. Para este caso la factura corresponde al señor Brausin Luis Antonio, el servicio es de uso residencial de estrato medio bajo, el consumo de 35 metros cúbicos y la tarifa cobrada es de \$487,00 como se indica también en la

estructura tarifaria en la anterior (**Tabla 22**), da igual a un valor de \$17.045, sumándole un cargo fijo de \$5.864 y de acuerdo al estrado tiene un subsidio del menos 20% de acuerdo a los factores de subsidios y contribuciones del municipio. Se toma el cargo fijo y se le resta el subsidio que es igual a \$3.436 y el resultado \$2.428 se le suma al valor \$17.045 como resultado el valor total por servicio de acueducto que equivale a \$19.473 como se puede ver en la factura de la anterior (**ilustración 53**).

Se sabe que, al analizar las proyecciones de la población realizadas por el DANE, para el 2018 hay 4166 habitantes en la cabecera municipal. Según la información suministrada por la oficina de servicios públicos el sistema de acueducto no cuenta con el sistema de macro medición y la información por parte de ellos es que actualmente cuentan con una cobertura de micro medición aproximadamente del 83.27 %, pues únicamente se encuentran instalados 1125 micro medidores, el 16.73 % restante es decir de 226 de los usuarios no cuentan con micro medición porque no se encuentran instalados para el control del manejo de agua.

Se realizó la estimación de los ingresos adquiridos por la prestación del servicio de agua y se hace de la siguiente manera, se asume que todos los usuarios consumen la misma cantidad de agua. Para este caso el consumo es de 35 metros cúbicos y el valor a pagar es \$19.473.

$$\text{Ingreso bimestral} = \$19.473 * 1125 \text{ micromedidores} = \$21.907.125$$

El anterior cálculo se realizó teniendo en cuenta el valor de un usuario multiplicado por el número de micro medidores instalados. Cabe resaltar que la facturación para estos ingresos se realiza bimestral.

$$\text{Ingreso mensual} = \frac{\$21.907.125}{2 \text{ meses}} = \$10.953.562,5$$

Si comparamos el ingreso mensual por el servicio de agua de \$10.953.562,5 con el valor a pagar de una factura por energía del Bombeo de \$28.322.670 se evidencia un déficit de \$17.369.107,5.

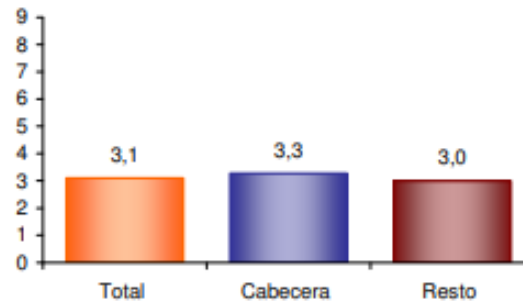
Los ingresos adquiridos por el servicio de acueducto son muy bajos para cubrir los gastos mensuales que está generando el sistema de bombeo. Dicho balance financiero entre lo que están facturando por el servicio de agua y lo que están pagando por el servicio de energía, es la causa principal del problema que tiene quebrada a la empresa, al fin y al cabo, las empresas se sostienen financieramente por las tarifas cobradas.

Teniendo en cuenta el informe del DANE donde en cada vivienda aproximadamente en la cabecera municipal hay 3,3 personas. Ver (**ilustración 54**).

Ilustración 54. Módulo de Hogares La Palma

2. Módulo de Hogares

Promedio de personas por hogar



El Promedio de personas por hogar en LA PALMA es de 3,1.

Fuente: (DANE)

Tabla 23. Consumo de agua por vivienda en la cabecera municipal

CONSUMO BIMESTRAL (Litros)	CONSUMO MENSUAL (Litros)	CONSUMO AL DIA (Litros)	CONSUMO AL DIA 3,3 PERSONAS (Litros)
35000	17500	583.33	176.77

Fuente: (Autores)

Según la anterior (**Tabla 23**) el consumo en cada vivienda es de 176.77 L/persona*día, dicho consumo está por encima de la dotación neta según la resolución 330, se plantea hacer campañas de concientización a las personas para reducir el consumo de agua. La oficina de servicios públicos debe implementar un régimen de tarifas para el consumo de agua. Establecer un consumo de 13 metros cúbicos por mes en cada vivienda si excede el consumo se vería reflejada en la factura una multa en costo por cada metro cubico adicional. En este caso en la factura cobrada a estos usuarios es de 17.5 metros cúbicos al mes, tiene un adicional de 4,5 metros cúbicos, a este usuario se le cobraría el doble de la tarifa por metro cubico adicional que para este caso es de \$487 el metro cubico. De esta forma se ayudaría a mejorar el consumo para las viviendas ya que al cobrar un excedente por consumo adicional las personas se concientizan y trataran de consumir menos agua, y los que no se acojan a esta medida y consuman más se les va a facturar lo acordado y por consecuencia se recibirían mayores ingresos por el consumo, para cubrir los egresos de la energía generada por el bombeo.

4.2. ANÁLISIS HORAS / COSTO BOMBEO.

Se realizó un análisis de las horas bombeadas y el costo por la misma durante el día y se explica con la ayuda de la siguiente (Tabla 24).

Tabla 24. Análisis Horas / Costo Bombeo.

PERIODO (Año 2017)	COSTO MENSUAL (millones de pesos)	COSTO DIARIO = Cm/ 30 días	COSTO POR HORA DE BOMBEO	Bombeo por hora 82,8 m ³	COSTO POR m ³
Marzo 17 - Abril 17	27.781.440	926.048,00	38.585,33	82,8	466,00
Abril 17 - Mayo 16	28.322.670	944.089,00	39.337,04	82,8	475,08
Mayo 16 - Junio 17	28.806.420	960.214,00	40.008,92	82,8	483,20

Fuente: (Autores)

Las fórmulas utilizadas en la anterior (Tabla 24) para determinar el costo por unidad de metro cúbico son las siguientes:

Costo mensual: obtenido mediante los recibos de energía suministrada.

Costo diario: costo mensual dividido por 30 días es = $\left(\frac{\text{Costo mensual}}{30 \text{ días}}\right)$

Costo por hora de bombeo: costo diario dividido las 24 horas correspondientes a un día es = $\left(\frac{\text{Costo diario}}{24 \text{ horas}}\right)$

Bombeo por hora: $\frac{23 \text{ L}}{\text{s}}$ convertidos a metros cúbicos por horas

Costo por metro cúbico: se calculó dividiendo el costo de hora de bombeo por la cantidad de agua bombeada en una hora = $\left(\frac{\text{Costo hora}}{\text{Bombeo por hora}}\right)$.

4.3. OPTIMIZACIÓN DE COSTOS POR BOMBEO.

Se analizaron los costos de servicio de energía prestados por la empresa de Codensa como se puede evidenciar en las facturas (**Anexo N° 2**) y en la anterior (**Tabla 24**) generados por el sistema de bombeo que actualmente funciona las 24 horas del día y 720 horas al mes. Se analizó la simulación de la operación del sistema realizada en el software WaterCAD y la solución para optimizar los costos será de la siguiente manera: Las bombas se pueden apagar en ciclos innecesarios, a la 1:00 a.m. el tanque de almacenamiento Alto llega al nivel máximo y la bomba de la caseta de Matadero se apaga, para así ahorrar 6 horas de operación, y el tanque de Matadero el cual abastece al tanque Alto continua el llenado, a las 3:00 a.m. el tanque de Matadero llega al nivel máximo, y se puede apagar la bomba de la caseta de Puente de Oro, para así ahorrar 4 horas de operación. Se inicia el suministro a la población a las 4:00 a.m., y a las 7:00 a.m. el tanque Alto llega al nivel mínimo debido al consumo de la población y las bombas se encienden para operar durante el día, ya que se debe impulsar agua para el tanque Alto y al mismo tiempo este tanque alimentar a la población, a las 7:00 p.m. ambos tanques terminan vacíos, se apaga la bomba de la caseta de Matadero, durante 2 horas hasta las 9:00 p.m. que es el tiempo de llenado a nivel máximo del tanque de Matadero, para luego iniciar el bombeo permanente hasta la 1:00 a.m., ahorrando en total 8 horas al día de operación de la bomba de la caseta de Matadero, es decir la operación de la bomba sería de 16 horas al día y al mes 480 horas reduciendo 240 horas de operación al mes en ciclos innecesarios, y la bomba de Puente de Oro operaría 20 horas al día y 600 horas al mes, ahorrando 120 horas de operación al mes.

A continuación, se muestra en tablas los cálculos realizados para los periodos facturados por el costo de energía que genera el bombeo del sistema, respecto a la tarifa de la empresa Codensa, el consumo de las bombas en kW/h y las horas de operación al mes.

- **Periodo Marzo 17 - Abril 17.**

Para el periodo de Marzo hasta Abril se facturó un valor de \$27.781.440 millones, la bomba de la caseta Puente de Oro tiene un consumo de 37 kW/h y operaría 20 horas al día y 600 horas al mes, la bomba de la caseta Matadero tiene un consumo de 45 kW/h y operaría 16 horas al día y 480 horas al mes. La tarifa de la empresa Codensa para el mes de Marzo tiene un costo de \$453,72 kW/h, generando un costo de energía por ambas bombas de \$19.872.936 millones, evidenciando la reducción del costo total en \$7.908.504 millones para este periodo. Ver (**Tabla 25**).

Tabla 25. Optimización de costos por Bombeo.

PERIODO MARZO HASTA ABRIL						
TARIFA DE CODENSA \$ / kWh	BOMBAS				CONSUMO B. PUENTE DE ORO (kW/h)	CONSUMO B. MATADERO (kW/h)
	Caseta Puente de Oro (50HP)		Caseta Matadero (60HP)			
453,72	CONSUMO kW	HORAS	CONSUMO kW	HORAS		
	37	20	45	16	740	720
		600		480	22200	21600
COSTO DE CONSUMO kW EN UN MES					\$10.072.584	\$9.800.352
TOTAL COSTO POR BOMBEO EN EL MES POR LAS BOMBAS					\$19.872.936	

Fuente: (Autores)

El cálculo del costo total de consumo en kW/mes de las bombas en la anterior (**Tabla 25**), se realizó de la siguiente manera:

Primer paso: Se multiplica el consumo de la bomba por horas operadas al mes.

$$\text{Bomba Puente de Oro} = 37 \text{ kW} * 600 \text{ horas} = 22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

$$\text{Bomba Matadero} = 45 \text{ kW} * 480 \text{ horas} = 21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

Segundo paso: Se multiplica por la tarifa de Codensa \$453,72.

$$\text{Consumo bomba Puente de Oro} = \left(22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$453,72 = \$10.072.584$$

$$\text{Consumo bomba Matadero} = \left(21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$453,72 = \$9.800.352$$

Tercer paso: Se suma los costos de las bombas.

$$\text{Total costo por bombeo al mes} = \$10.072.584 + \$9.800.352$$

$$\text{Total costo por bombeo al mes} = \$19.872.936$$

Cuarto paso: Se resta el valor facturado por energía menos el total costo de bombeo al mes.

$$\text{Valor ahorrado al mes} = \$27.781.440 - \$19.872.936$$

$$\text{Valor ahorrado al mes} = \$7.908.504$$

- **Periodo Abril 17 - Mayo 16.**

Para el periodo de Abril hasta Mayo se facturó un valor de \$28.322.670 millones, la bomba de la caseta Puente de Oro tiene un consumo de 37 kW/h y operaría 20 horas al día y 600 horas al mes, la bomba de la caseta Matadero tiene un consumo de 45 kW/h y operaría 16 horas al día y 480 horas al mes. La tarifa de la empresa Codensa para el mes de Abril tiene un costo de \$445,044 kW/h, generando un costo de energía por ambas bombas de \$19.492.927,2 millones, evidenciando la reducción del costo total en \$8.829.742,8 millones para este periodo. Ver (Tabla 26).

Tabla 26. Optimización de costos por Bombeo.

PERIODO ABRIL HASTA MAYO						
TARIFA POR CODENSA \$ / kWh	BOMBAS				CONSUMO B. PUENTE DE ORO (kW/h)	CONSUMO B. MATADERO (kW/h)
	Caseta Puente de Oro (50HP)		Caseta Matadero (60HP)			
445,044	CONSUMO kW	HORAS	CONSUMO kW	HORAS		
	37	20	45	16	740	720
		600		480	22200	21600
	COSTO DE CONSUMO kW EN UN MES				\$9.879.976,8	\$9.612.950,4
	TOTAL COSTO POR BOMBEO EN EL MES POR LAS BOMBAS				\$19.492.927,2	

Fuente: (Autores)

El cálculo del costo total de consumo en kW/mes de las bombas en la anterior (Tabla 26), se realizó de la siguiente manera:

Primer paso: Se multiplica el consumo de la bomba por horas operadas al mes.

$$\text{Bomba Puente de Oro} = 37 \text{ kW} * 600 \text{ horas} = 22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

$$\text{Bomba Matadero} = 45 \text{ kW} * 480 \text{ horas} = 21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

Segundo paso: Se multiplica por la tarifa de Codensa \$445,044.

$$\text{Consumo bomba Puente de Oro} = \left(22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$445,044 = \$9.879.976,8$$

$$\text{Consumo bomba Matadero} = \left(21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$445,044 = \$9.612.950,4$$

Tercer paso: Se suma los costos de las bombas.

$$\text{Total costo por bombeo al mes} = \$9.879.976,8 + \$9.612.950,4$$

$$\text{Total costo por bombeo al mes} = \mathbf{\$19.492.927,2}$$

Cuarto paso: Se resta el valor facturado por energía menos el total costo de bombeo al mes.

$$\text{Valor ahorrado al mes} = \$28.322.670 - \$19.492.927,2$$

$$\text{Valor ahorrado al mes} = \mathbf{\$8.829.742,8}$$

- **Periodo Mayo 16 - Junio 17.**

Para el periodo de Mayo hasta Junio se facturó un valor de \$28.806.420 millones, la bomba de la caseta Puente de Oro tiene un consumo de 37 kW/h y operaría 20 horas al día y 600 horas al mes, la bomba de la caseta Matadero tiene un consumo de 45 kW/h y operaría 16 horas al día y 480 horas al mes. La tarifa de la empresa Codensa para el mes de Mayo tiene un costo de \$450,498 kW/h, generando un costo de energía por ambas bombas de \$19.731.812,4 millones, evidenciando la reducción del costo total en \$9.074.607,6 millones para este periodo. Ver (**Tabla 27**).

Tabla 27. Optimización de costos por Bombeo.

PERIODO MAYO HASTA JUNIO						
TARIFA POR CODENSA \$ / kWh	BOMBAS				CONSUMO B. PUENTE DE ORO (kW/h)	CONSUMO B. MATADERO (kW/h)
	Caseta Puente de Oro (50HP)		Caseta Matadero (60HP)			
450,498	CONSUMO kW	HORAS	CONSUMO kW	HORAS		
	37	20	45	16	740	720
		600		480	22200	21600
	COSTO DE CONSUMO kW EN UN MES					\$10.001.055,6
TOTAL COSTO POR BOMBEO EN EL MES POR LAS BOMBAS					\$19.731.812,4	

Fuente: (Autores)

El cálculo del costo total de consumo en kW/mes de las bombas en la anterior (Tabla 27), se realizó de la siguiente manera:

Primer paso: Se multiplica el consumo de la bomba por horas operadas al mes.

$$\text{Bomba Puente de Oro} = 37 \text{ kW} * 600 \text{ horas} = 22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

$$\text{Bomba Matadero} = 45 \text{ kW} * 480 \text{ horas} = 21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}}$$

Segundo paso: Se multiplica por la tarifa de Codensa \$450,498.

$$\text{Consumo bomba Puente de Oro} = \left(22200 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$450,498 = \$10.001.055,6$$

$$\text{Consumo bomba Matadero} = \left(21600 \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \right) * \$450,498 = \$9.730.756,8$$

Tercer paso: Se suma los costos de las bombas.

$$\text{Total costo por bombeo al mes} = \$10.001.055,6 + \$9.730.756,8$$

Total costo por bombeo al mes = \$19.731.812,4

Cuarto paso: Se resta el valor facturado por energía menos el total costo de bombeo al mes.

Valor ahorrado al mes = \$28.806.420 – \$19.731.812,4

Valor ahorrado al mes = \$9.074.607,6

4.4. ANÁLISIS VIABILIDAD DEL ACUEDUCTO ALTERNO.

El municipio de La Palma Cundinamarca cuenta con un sistema de acueducto alterno. Debido al manejo y fácil funcionabilidad de este acueducto, al momento del planteamiento del problema del proyecto la alternativa que se quería proponer era darle uso para abastecer al municipio con más agua y lograr reducir los costos de energía que generan los sistemas de bombeo, ya que al contar con dos acueductos, pueden trabajar en conjunto para brindar un mejor servicio a la población del municipio, pero de acuerdo a la información suministrada por el fontanero suministrado por la oficina de servicios públicos para el recorrido de la visita técnica realizada el 21 de Marzo del presente año, tanto al acueducto alterno y al acueducto actual, se logra saber que la construcción del acueducto alterno ha quedado en completo abandono por falta de recursos para concluir su construcción, y algunas condiciones actuales de las estructuras que componen el sistema de acueducto, quedaron incompletas. Con lo anterior, el principal factor para poder haber hecho uso de este acueducto alterno, es por lo económico que sería su funcionamiento, y se podrían minimizar los costos por parte de energía que son muy elevados y se requiere por tal motivo dar un alto a la situación que contribuye a perjudicar notablemente los presupuestos del municipio de La Palma Cundinamarca.

5. CONCLUSIONES

La elaboración del proyecto permitió identificar la problemática que se presenta en el municipio de La Palma Cundinamarca, como lo es, los costos elevados del servicio de energía debido al sistema de bombeo del acueducto, a parte de estas causantes, se captó el panorama de las personas del municipio directamente afectadas y lo difícil de su condición.

De acuerdo a los cálculos realizados para un promedio de la población, se pudo determinar que la población estimada para un periodo de 25 años (2043) es de 4587 habitantes en el casco urbano, teniendo en cuenta que este indicador puede tener variaciones debido a que es una suposición de la población futura. Por eso, al transcurso de los años es necesario realizar un ajuste para saber su respectivo caudal de diseño y por lo tanto saber la cantidad de agua demandada por los usuarios.

Se realizó las proyecciones de la población para así poder determinar la demanda de agua del municipio de La Palma Cundinamarca, los resultados de los caudales para el año 2043 son: $Q_{md}=9,202$ L/s, $Q_{MD}=11,96$ L/s y $Q_{MH}=19,14$ L/s.

Se generó una modelación hidráulica de la red principal del sistema de acueducto del municipio La Palma Cundinamarca, con el fin de analizar la operación del sistema de bombeo, capacidad y almacenamiento de los tanques, la modelación se desarrolló en el programa WaterCAD. Se espera que con la propuesta de mejoramiento se pueda ayudar a brindar una mejor operación del sistema y a la toma de decisiones por parte de la empresa de servicios públicos del municipio.

Se realizó un análisis a la información suministrada por la empresa de servicios públicos del municipio La Palma Cundinamarca, de los diseños del sistema de acueducto, los cuales fueron de mucha importancia a la hora de la simulación en el programa WaterCAD.

En el proceso de la simulación en periodo extendido realizada en el programa WaterCAD, se le ingreso datos de Variación horaria del uso del agua en las 24 horas del día con un factor de consumo, que vendría hacer el porcentaje de agua que se consume a dicha hora en relación al caudal máximo diario y se evidencia que el caudal impulsado para satisfacer el llenado de los tanques, y alimentar al municipio con el respectivo caudal de diseño requerido por los usuarios, este es inadecuado, las causas probablemente son porque hay fugas o conexiones ilegales.

Se analizó que en los diseños del sistema de Acueducto del municipio La Palma

Cundinamarca, tiene un sistema de bombeo en serie, en las dos primeras casetas de bombeo, las bombas cumplieron su ciclo de vida útil, y están dañadas, fueron reemplazadas por bombas sumergibles las cuales son las causantes del aumento exagerado del servicio de energía, el tercer bombeo se encuentra en iguales condiciones y el tanque al cual impulsa el agua actualmente se encuentra en desuso. Se plantea realizar un montaje de dos bombas pequeñas, y que juntas sean de igual mayor capacidad y eficientes que la sumergible, para realizar un mejor funcionamiento operacional y reducir costos en el servicio de energía.

Se realizó una visita técnica al municipio La Palma Cundinamarca, y especialmente al sistema de Acueducto, la oficina de servicios públicos del municipio suministro personal calificado para el acompañamiento de la visita al sistema, el recorrido inicio desde el punto de captación (Bocatoma), aguas arriba de la quebrada los Tiestos, y finalizó en el tanque de almacenamiento el Alto, en el recorrido se evidenció un grave deterioro en las estructuras y falta de mantenimiento a las mismas, lo cual causa un pésimo funcionamiento del sistema.

Se analizó que la capacidad de los dos tanques de almacenamiento de agua, es ineficiente para alimentar al municipio, y que el tanque de almacenamiento las Cruces, debido a la precaria condición de inestabilidad geotécnica se mantiene en desuso. Esto aumenta el nivel del problema ya que mientras no diseñen el nuevo tanque las Cruces, las personas se verán más afectadas por el mal servicio del agua, lo cual este problema ya se viene presentando hace varios años.

De acuerdo a la propuesta de mejoramiento en los ciclos de encendido y apagado de las bombas se optimizan los costos de dinero entre 7 y 9 millones de pesos al mes.

Los resultados del proyecto serán socializados al municipio, el municipio tiene un déficit financiero y necesitan soluciones técnicas para mejorar el vacío económico que tienen, y la propuesta de mejoramiento tiene un gran avance en poder optimizar los costos de energía.

Con este proyecto se desea ayudar a mejorar la operación, función del sistema de bombeo y almacenamiento en los tanques, para brindar una mejor distribución del agua y recomendar a la oficina de servicios públicos que presten mayor importancia de darle un mantenimiento rudimentario a todas las estructuras del sistema para así acueducto de un mejor funcionamiento.

RECOMENDACIONES

Hacer el respectivo mantenimiento y limpieza a todos los componentes que conforman la estructura del sistema de captación.

Se recomienda que los desarenadores que están siendo operados manualmente por la persona de prestación de servicios públicos, verifique mensualmente la eficiencia del proceso de remoción y disposición de los sedimentos retenidos por el desarenador.

Se recomienda hacer un monitoreo más seguido a la red para poder disminuir las fugas en las tuberías y conexiones ilegales.

Hacer el respectivo mantenimiento de los equipos de bombeo como; inspección general, limpieza, lubricación, verificación del estado de los accesorios y de las instalaciones eléctricas.

Se recomienda tener siempre una bomba de reserva, con las mismas características hidráulicas ya instaladas, ya que, por un daño en una de ellas, la población perdería el suministro de agua por varios días.

Darle una pronta solución al tanque de almacenamiento las Cruces el cual se encuentra en desuso por motivos de inestabilidad geotécnica donde está situado. El desuso de este tanque tiene que ver en los actuales problemas.

Se recomienda a la oficina de servicios públicos que, para desarrollar una buena facturación del consumo por los usuarios, tome medidas pertinentes en la instalación del 100 % en la cobertura de micro medidores como herramienta de control de manejo del recurso hídrico.

Se recomienda a Servicios públicos del municipio encargado del acueducto, que hay la posibilidad de adquirir bombas más pequeñas que juntas impulsen el mismo caudal pero que generen menores costos de energía.

Se recomienda a la oficina de servicios públicos que le dé una pronta solución al acueducto alterno para ponerlo en funcionamiento, porque por bombeo seguirán los problemas del déficit en la cartera del municipio, ya que con la propuesta se optimizan entre 7 y 9 millones de pesos, igual no alcanza a cubrir los costos generados por el bombeo, ya que los ingresos a nivel mensual por el servicio son muy bajos y no se están teniendo en cuenta los demás gastos de mantenimiento, operarios, los químicos para la PTAP. El acueducto requiere más ingresos para tratar de cubrir todos los gastos.

BIBLIOGRAFÍA

CHOW, Ven Te. 2000. Applied Hidrology. [En línea] 2000. [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] Disponible en <<https://es.scribd.com/doc/157120498/Applied-Hydrology-Ven-Te-Chow>>.p 1-577.

COLOMBIA. 2017. MINISTERIO DE VIVIENDA , CIUDAD Y TERRITORIO. *resolución 330*. [En línea] 08 de Junio de 2017. [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico. Disponible en <<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>>.

CORCHO ROMERO, Fredy Hernan y DUQUE SERNA, José Ignacio. 2005. *Acueductos teoria y diseño*. [ed.] Lorenza Correa Restrepo. 3 ed. Medellin, colombia : sello-Universidad de Medellin, 2005.

Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. *Información general*. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 12 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3>>.

Cundinamarca, Alcaldía Municipal. 2017. Nuestro Municipio-Historia. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#historia>.

Cundinamarca, Gobernación. 2014. [En línea] Marzo de 2014. [Citado el: 5 de Marzo de 2018.] Disponible en <<http://www.epc.com.co/docs/estudios/LA%20PALMA%20VF.doc>>.

Cundinamarca, Alcaldía Municipal de la Palma. 2017. Nuestro Municipio. [En línea] 26 de Abril de 2017. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible em <http://www.lapalma-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>.

DANE. Boletín Censo General 2005 La Palma Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 13 de Septiembre de 2010.] https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25394T7T000.PDF.

—. Proyeccion de poblaciones. [En línea] [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.] En linea. Disponible en <<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>>.

DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO . [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.k4health.org/sites/default/files/MARmanual.doc>>.

DOMICILIARIOS, SUPER INTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS. 2013. Informe ejecutivo de gestión la Palma Cundinamarca. [En línea] 2013. [Citado el: 08 de Septiembre de 2017.] Disponible en <[file:///E:/\(\(2013\)+MUNICIPIO+DE+LA+PALMA+CUNDINAMARCA+ESP.pdf](file:///E:/((2013)+MUNICIPIO+DE+LA+PALMA+CUNDINAMARCA+ESP.pdf)>.p.5-7.

EMPRESAS PUBLICAS DE CUNDINAMARCA. Plan Departamental de Agua de Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <http://www.pdacundinamarca.com.co/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=205>.

HAYA-(CD-ROM). 2003. Bogota D.C : s.n., 2003.

INGENIERIA CIVIL. Redes de distribucion de agua potable. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>>.

JIMENEZ TERAN, Jose Manuel. Manual de diseño para proyectos de hidraulica. [En línea] [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>>.p.209..

LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. 2003. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: Introduccion.* 2 ed. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. pág. 541.

Marry, Larry W. Water Resources Engineering, 2 edition. [En línea] [Citado el: 17 de agosto de 2017.] Disponible en <<https://es.scribd.com/document/261466934/Water-Resources-Engineering>>.

Mays, Larry W. 1999. Water Distribution System Handboo.HYDRAULICS OF PRESSURIZED FLOW, Chapter. [En línea] 21 de Octubre de 1999. [Citado el: 17 de agosto de 2017.] Disponible en <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/water-distribution-system-handbook/p2000aed999702_1001>.

MINAMBIENTE. La tubería de los acueductos y sus accesorios. *Fontaneria Municipal.* [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MD-0025/MD-0025_CAPITULO5.pdf>.p.26.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para sistemas de acueducto. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/sistemasacueducto/Sistemas%20acueducto%202.pdf>>.

MURCIA DURAN, Luis Felipe. 2005. Curso de acueductos y alcantarillados con uso de multimedia para educación a distancia. [En línea] Junio de 2005. [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10194/2/MurciaDuranLuisFelipe2005.pdf>>.p.239.

ORG PANAMERICANA DE LA SALUD. Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. [En línea] [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] Disponible en <<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/161esp-diseno-estbombeo.pdf>>.p.39..

SALDARRIAGA, Juan. Abril del 2007. *Hidraulica de tuberia*. Bogota : Alfaomega, Abril del 2007. pág. 670.

SOTELO AVILA, Gilberto. 1974. *Hidraulica General*. Mexico : LIMUSA, 1974. pág. 559. Vol. 1.

TORRES ABELLO, Andrés Eduardo. Septiembre de 2004. *Apuntes de clase sobre hidrologia urbana*. 1 ed. Bogota : Pontificia Universidad Javeriana, Septiembre de 2004. pág. 373.

WATER-CAD. 2018. 2018.

WIKIPEDIA. 2018. La Palma Cundinamarca. [En línea] 4 de Enero de 2018. [Citado el: 4 de Marzo de 2018.] Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/La_Palma_%28Cundinamarca%29>.

—. **2017.** Mapa del municipio de la palma cundinamarca. [En línea] 17 de Junio de 2017. [Citado el: 13 de Septiembre de 2017.] Disponible en <[https://es.wikipedia.org/wiki/La_Palma_\(Cundinamarca\)#/media/File:Colombia_-_Cundinamarca_-_La_Palma.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/La_Palma_(Cundinamarca)#/media/File:Colombia_-_Cundinamarca_-_La_Palma.svg)>.

ZIL, JE VAN. 2014. Introduction to operation and Maintenance of Water Distribution Systems. [En línea] 2014. [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] Disponible en <<http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT600-14.pdf>>.

ANEXOS

- Anexo N° 1. PROYECCIONES DANE
- Anexo N° 2. FACTURAS DE ENERGIA CODENSA
- Anexo N° 3. BOCATOMA Y DESARENADOR LOS TIESTOS
- Anexo N° 4. EST. BOMBEO PUENTE DE ORO
- Anexo N° 5. ADUCCION PUENTE DE ORO – MATADERO
- Anexo N° 6. PTAP MATADERO
- Anexo N° 7. ESTACION DE BOMBEO MATADERO
- Anexo N° 8. ESTACION DE BOMBEO TANQUE EL ALTO
- Anexo N° 9. CONDUCCION TANQUE ALTO A TANQUE LAS CRUCES
- Anexo N° 10. TANQUE LAS CRUCES
- Anexo N° 11. VISITA TÉCNICA

NOTA: Los Anexos se encuentran por fuera del documento, en una carpeta organizados y enumerados como se presentan en la anterior lista, porque Microsoft Word no permite agregar los formatos de origen en que se encuentran los Anexos.