

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FC**  
Facultad de  
Construcciones

Departamento de Ingeniería  
Hidráulica

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título: Propuesta de esquema de abasto de agua potable a los municipios Placetas v Fomento.

Autor: Elianni Ruíz de la Cruz

Tutor: Lic. Mirely González García

Santa Clara, junio, 2019  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FC**  
Facultad de  
Construcciones

Academic Department of Hydraulic  
Engineering

## **DIPLOMA THESIS**

Title: Proposed scheme for the supply of drinking water to the municipalities Placetas and Fomento.

Author: Elianni Ruíz de la Cruz

Thesis Director: Lic. Mirely González García

Santa Clara, June, 2019  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

**Pensamiento:**

Solo hay un Dios, el conocimiento,  
Y un demonio, la ignorancia.

Sócrates

**Agradecimientos:**

A todos los que hicieron posible este trabajo, fruto de mucho estudio y dedicación, en especial:

A mi tutora **Mirely González García** quien compartió su escaso tiempo para facilitarme la realización de esta investigación.

A mi profesor de Abastecimiento de Agua Potable **Juan.D Quintana** quien me ofreció su ayuda incondicional.

A los profesores del **Departamento de Ingeniería Hidráulica** quienes me formaron como la profesional que soy hoy.

A toda **mi familia** en especial a mis padres por hacerme realidad este sueño.

A todos, muchas gracias.

## **Resumen**

En el presente trabajo se realizó un estudio para conducir agua potable hasta los poblados de Placetas y Fomento, pertenecientes a las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus respectivamente beneficiando a los asentamientos poblacionales y pueblos cercanos al trazado de las conductoras hacia cada uno de los destinos antes mencionados. La fuente de abasto de la cual se tomará el agua es la presa Santa Clara, donde se construirá una estación de bombeo la cual bombeará el agua hasta una planta de tratamiento ubicada en la loma de Báez. Luego se conducirá el agua utilizando la fuerza de gravedad hacia los depósitos correspondientes ubicados en cada poblado. Para alcanzar un correcto diseño del sistema es imprescindible la acertada búsqueda de los fundamentos teóricos esenciales del esquema hidráulico, determinar la población de cada poblado y su respectiva demanda de agua, diseñar adecuadamente cada elemento del esquema para posterior valoración económica. Para lograr una efectividad en el diseño se utilizó el software WaterGEMS el cual facilitó el proceso de cálculo, este diseño se llevó a cabo según las últimas regulaciones y normas vigentes en Cuba, relacionadas con el sector hidráulico. La finalidad de la investigación es conducir el agua hasta los tanques correspondientes a cada pueblo para posterior distribución.

## **Abstract**

In the present work, a study was conducted to bring drinking water to the towns of Placetas and Fomento, belonging to the provinces of Villa Clara and Sancti Spíritus respectively, benefiting the population settlements and villages near the route of the conductors to each of the destinations aforementioned. The supply source from which the water will be taken is the Santa Clara dam, where a pumping station will be built, which will pump the water to a treatment plant located on the Báez hill. The water will then be conducted using the force of gravity to the corresponding deposits located in each town. In order to achieve a correct design of the system, it is essential to search for the essential theoretical foundations of the hydraulic scheme, determine the population of each town and its respective water demand, design each element of the scheme for subsequent economic valuation. To achieve an effectiveness in the design, the WaterGEMS software was used, which facilitated the calculation process, this design was carried out according to the latest regulations and standards in force. The purpose of the investigation is to drive the water to the tanks corresponding to each town for later distribution.

## Índice

Pensamiento: .....	IV
Agradecimientos:.....	IV
Resumen .....	V
Introducción.....	9
Capítulo1. Revisión bibliográfica. ....	16
1.1 Distribución y usos del agua en Cuba.....	16
1.2 Elementos hidráulicos para el diseño de un esquema de abasto de agua potable.....	18
1.2.1 Características de los esquemas de abastecimiento de agua potable.....	19
1.2.2 Regulaciones técnicas cubanas para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable. ....	22
1.2.3 Softwares utilizados en el diseño de los esquemas de abasto de agua potable. ....	25
1.3 Características del municipio de Placetas. ....	27
1.3.1 Antecedentes del abastecimiento de agua en Placetas.....	30
1.4 Particularidades del poblado de Fomentos.....	30
1.4.1 Antecedentes del sistemas de abasto de agua potable en Fomentos. ....	33
Conclusión parcial .....	34
Capítulo 2: Materiales y Métodos. ....	35
2.1 Determinación de la población actual y futura. ....	35
2.2 Diseño de los elementos que componen el esquema de abasto.....	38
2.2.1 Características de la fuente de abasto.....	38
2.2.2 Propiedades de la Estación de Bombeo .....	40

2.2.3 Determinación de la capacidad, dimensiones, y ubicación de los tanques	43
2.2.4 Características de la planta potabilizadora.....	44
2.2.5 Aspectos a tener en cuenta para la proyección de la conductora. ....	46
Conclusión parcial: .....	58
Capitulo 3 Funcionalidad del sistema.....	59
3.1 Esquema hidráulico .....	59
3.2 Análisis en periodo extendido del sistema.....	62
3.2.1 Comportamiento de los tanques.....	62
3.2.2 Comportamiento de la Estación de Bombeo. ....	65
3.3 Análisis técnico - económico y ambiental del sistema. ....	66
Conclusiones y Recomendaciones .....	71
Referencias Bibliográficas .....	72
Bibliografía .....	74

## **Introducción**

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 agua a las poblaciones que día a día lo solicitan en mayor cantidad y de mejor calidad para sus necesidades, pues el agua es indispensable para la vida.

Un esquema de agua potable correctamente diseñado debe cumplir con las normativas vigentes y además contar con obras de captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución para que de manera eficiente se lleve el líquido hasta los distintos sectores en la que éste va a ser utilizado, esto conlleva a resultados positivos en la calidad de vida de las personas que tienen acceso a este servicio.

La insuficiencia en el abasto de agua es un fenómeno global que trae consigo importantes consecuencias en la seguridad interna de todos los países. El actual modelo neoliberal de globalización, ajeno a los más elementales principios éticos ha privado a más de dos mil millones de personas en el mundo de acceso a agua potable y se estima que serán más de cuatro mil millones de personas en 2025 tal y como dice el informe emitido por la Organización de Naciones Unidas (Televisa)

Si se mantienen las tendencias vigentes, sin dudas se afrontará una crisis del agua que se agravará por efecto del cambio climático, si no se adoptan adecuadas políticas que racionalicen el uso sostenible de este líquido.

En América Latina y el Caribe el agua dulce es una de las riquezas de esta región, contando con 26% de las reservas de agua a escala mundial, pues se destacan importantes ríos como el Amazonas en Brasil, Paraná en Argentina, Orinoco en Venezuela y Magdalena en Colombia, además de otros como el Río de la Plata en Argentina y el río de San Francisco en Brasil. (Nieto, 2011)

Sin embargo, América Latina y el Caribe se enfrentan también a la escasez de agua y por consiguiente al suministro de este líquido en los próximos años, especialmente en áreas rurales e indígenas, pues no todos los países tienen una cultura de aprovechamiento y conservación del agua adecuada.

Países como España han aportado su visión sobre el abasto de agua en Latinoamérica generando importantes cambios en el uso y distribución de este recurso, se han desarrollado programas como:

- El Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS): Instrumento de cooperación española que tiene como finalidad conceder ayudas, fundamentalmente no reembolsables y, en su caso, préstamos dirigidos a financiar los proyectos en los ámbitos del agua y saneamiento, bajo el régimen de cofinanciación con las autoridades nacionales de América Latina y el Caribe.
- La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Programa Iberoamericano de Formación Técnica Especializada (PIFTE)
- Programa para promover el desarrollo económico y social del barrio de *Martissant*, barrio de la periferia de Puerto Príncipe, capital de Haití, mejorando los servicios de agua potable y saneamiento.
- Foro entre la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo y la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) para mejorar la vinculación de las empresas con el desarrollo sostenible en México.

La mayoría de estos programas han terminado o se encuentran en ejecución. La cooperación española llevó agua potable a 1,5 millones de personas hasta 2017 según el Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS)((AECID), 2019); donando además millones de euros para continuar con las mejoras en los sistemas de acueducto, así como en la formación de profesionales en el ámbito.

Cuba ha sido uno de los países beneficiados con esta cooperación creándose en el año 1994 entre el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y Canaragua S.A., del grupo Agbarlas, la empresa Aguas de La Habana y a finales de ese mismo año como una Asociación Económica Internacional, sin personalidad jurídica propia, entre el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H) y el grupo empresarial español Aguas de Barcelona (AGBAR) se crea la empresa Aguas de Varadero; tienen como objetivo social la gestión de los servicios de acueducto, alcantarillado, saneamiento,

drenaje pluvial y otros servicios vinculados a esta actividad, así como el desarrollo y mejoramiento de la infraestructura y redes hidráulicas.

A pesar de la exitosas cooperación y colaboración, los recursos hídricos de Cuba son carentes, según la Política Nacional del Agua, y las precipitaciones son la única fuente de formación de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, por lo tanto, se hace necesario su uso eficiente debido a su vulnerabilidad. [La escasez se manifiesta por la baja eficiencia de los sistemas y malas prácticas en su uso y su carácter vulnerable se expresa en la degradación de su calidad por la aparición y permanencia de focos contaminantes siendo ésta una amenaza a la salud humana y ambiental]. (INRH, 2013)

El control y racionalización sobre este preciado líquido lo lleva el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), organismo que dirige, ejecuta y controla la política del Estado y el Gobierno. Tiene como visión fundamental gestionar el agua de forma integrada a escala de la sociedad, la economía y el medio ambiente, proporcionando desarrollo sostenible y seguridad a la nación.

Los sistemas de acueducto operados por INRH abastecen de agua a:

- 2 416 asentamientos urbanos y rurales (8 240 000 habitantes).
- Se estima en 1 millón de personas las abastecidas por acueductos de otras entidades (900 de ellos del MINAG y AZCUBA).
- 1 000 000 de forma permanente por camiones cisternas y otras.
- 800 000 deben acarrearla desde 200-300 m de sus viviendas.
- La cobertura de agua se comporta de forma diferente según el sector de población; urbano y rural.
- Áreas urbanas sin acceso adecuado de agua las que hacen a 200 000 habitantes.
- Sector rural, afectando a 400 000 habitantes.
- 866 000 cubanos no disponen de un acceso adecuado al agua.
- Servicios urbanos por conexión domiciliaria (85.4 %).

- La desconcentración en lugares rurales hace muy frecuentes el abasto por carros cisternas.(INRH, 2013)

A lo largo de toda la isla de Cuba existen zonas donde el abasto de agua potable es insuficiente o no existe, en la región central del país los casos específicos de Placetas y Fomentos, pertenecientes a Villa Clara y Sancti Spíritus respectivamente, son un ejemplo de esto.

En el municipio de Placetas existe una población de 68 920 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado en 2012, su acueducto data del año 1959, nunca se ha realizado una rehabilitación íntegra de sus conductoras, en estos momentos el abasto de la ciudad se hace desde tres pozos, su capacidad está en dependencia del período de lluvia pues en la mayor parte del año ofrece un gasto de 62 l/s y durante la sequía el caudal disminuye a 30 l/s. La conductora es de hierro fundido (HoFo) de diámetro 400 mm y tiene 5 km de longitud. El tanque tiene una capacidad de 1892 m<sup>3</sup>, se diseñó como tanque compensador de carga.

El pueblo de Fomento tiene una población de 33 001 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado en 2012. Las redes del pueblo son muy antiguas con variedad de diámetros y material, el abasto es desde pozos y estos se deprimen constantemente y no dan el caudal requerido, teniendo que recurrir al abasto mediante carros cisternas en épocas de sequía.

Ha existido un atraso notable en cuanto al abasto de agua potable en dichos municipios ya que los sistemas actuales de entrega de agua potable presentan fallos, pero se desea mejorar este servicio y con ello la calidad de vida de los habitantes, pues es interés del Estado, a partir de su Poder Popular y de la Delegación de Recursos Hidráulicos, acarrear este preciado líquido a toda la población. Es por ello, que se realiza un análisis hidráulico con el fin de evaluar las posibilidades de llevar el agua por bombeo desde el embalse Santa Clara hasta un tanque apoyado en Báez y desde este, por gravedad, hasta Placetas y Fomento.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tiene como **Campo de acción** el diseño hidráulico de esquemas de abasto tomando como **Objeto de estudio** el abasto de agua a poblaciones.

**Problema de investigación:**

Los pueblos de Placetas y Fomento carecen de un adecuado sistema de abastecimiento de agua potable, la actual fuente de abasto no satisface la demanda de la población y la conductora no tiene un funcionamiento adecuado debido a las averías y salideros, lo que provoca que el agua no llegue a los depósitos con la presión requerida para posterior distribución.

**Hipótesis:**

Si se diseña un esquema de abasto de agua potable desde el embalse Santa Clara hasta Báez, Placetas y Fomento, cumpliendo con las regulaciones y normas vigentes, entonces se podrá eliminar el déficit de agua en estas poblaciones.

**Objetivo General:**

Elaborar un Esquema Hidráulico para solucionar la problemática actual que presentan los municipios de Placetas y Fomento y sus poblaciones aledañas relacionadas con el abasto de agua potable.

**Objetivos específicos:**

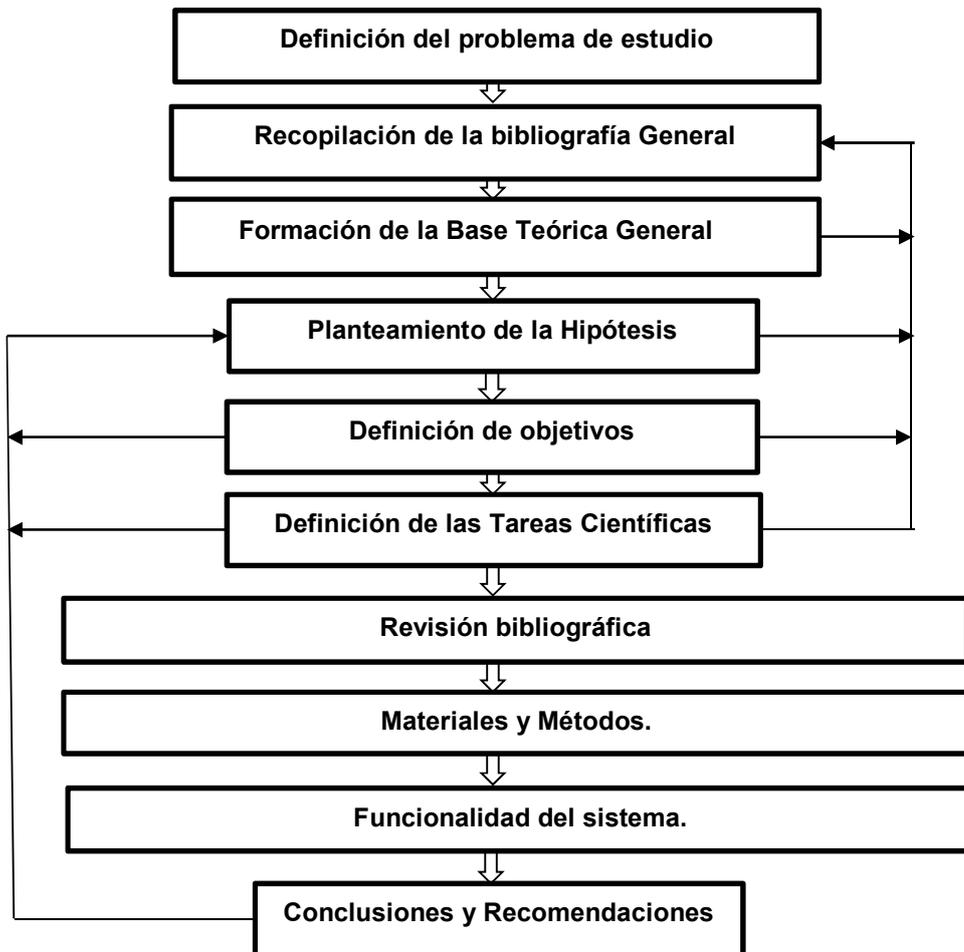
- Establecer los fundamentos teóricos del Esquema Hidráulico que abastecerá los pueblos de Placetas y Fomento.
- Ejecutar el cálculo hidráulico del sistema de acuerdo a la población en cada uno de los poblados.
- Definir la ubicación preliminar de la planta de tratamiento.
- Calcular el volumen de los tanques que se ubicarán en cada uno de los poblados y las características de las conductoras teniendo en cuenta que el material a utilizar será PEAD.
- Realizar un estudio en periodo extendido sobre el comportamiento real del sistema.

- Elaborar un análisis económico empleando el sistema presupuestario vigente.

### Tareas investigativas:

- Recopilación de la bibliografía General.
- Estudio de los fundamentos teóricos del Esquema hidráulico que abastecerá los pueblos de Placetas y Fomento.
- Redacción del capítulo 1: Revisión bibliográfica.
- Ejecución del capítulo 2: Materiales y Métodos.
- Elaboración del capítulo 3: Funcionalidad del sistema.
- Redacción de las conclusiones y recomendaciones.

### Métodos de investigación



### **Límite de la investigación**

Desde el punto de vista geográfico la investigación tiene su límite en los pueblos de Placetas y Fomento pertenecientes a las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus respectivamente.

Respecto al límite de proyecto solo se diseñará la conductora desde la fuente de abasto, en este caso la presa Santa Clara, hasta los tanques correspondientes a cada pueblo.

### **La presente investigación estará estructurada de la siguiente forma:**

Capítulo 1: Se abordará el tema de los precedentes del abasto de agua potable comenzando por la distribución, comportamiento y uso del agua en Cuba y en las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus dando suma importancia a los principales elementos teóricos para el diseño de un esquema de abastecimiento de agua potable, así como las características fundamentales de los municipios de Placetas y Fomento y sus respectivos antecedentes en el abasto de agua potable.

Capítulo 2: Se explicarán los materiales y métodos fundamentales para el diseño del esquema de abasto de agua potable, así como una caracterización cuantitativa de los elementos que conforman dicho esquema para una mejor proyección del mismo.

Capítulo 3: Se expondrán los resultados de los cálculos realizados, así como un análisis técnico – económico del sistema concluyendo con un análisis ambiental.

## **Capítulo 1. Revisión bibliográfica.**

Los estudios sobre el abastecimiento de agua a poblaciones y su distribución espacial y volumétrica sirven de base en la toma de decisiones para la proyección y diseño de sistemas de abasto, así como el uso racional de este recurso natural.

### **1.1 Distribución y usos del agua en Cuba.**

Reconociendo la dependencia directa de las disponibilidades de agua en Cuba con el comportamiento anual e hiperanual de las precipitaciones, aun teniendo en cuenta la importante infraestructura hidráulica creada y que continúa en desarrollo, que alcanza la cifra aproximada del 57% de los recursos hídricos aprovechables, subsisten problemas para garantizar su uso. Las causas principales son:

- Su carestía relativa en zonas vulnerables del país.
- La pérdida de su calidad original, en determinadas áreas, por efecto de la actividad antrópica.
- Las pérdidas en su conducción, por ineficiencias en los sistemas de distribución y por aplicación de tecnologías inadecuadas, fundamentalmente en el riego de los cultivos agrícolas. (García, 2012)
- Escaso o ineficiente mantenimiento lo que ha provocado un apreciable deterioro en las redes de distribución.

Con el fin de estimular y promover el uso eficiente del agua, se emite la Ley número 124 de las Aguas Terrestres, de 2017.

Esta ley reconoce el acceso al agua potable y el saneamiento como derecho humano esencial, y el hecho de que las aguas terrestres son de dominio público. Establece el uso eficiente y seguro de la infraestructura hidráulica, la unidad de la planificación y gestión del agua en función del desarrollo económico y social, su uso racional y reutilización, la unión de su gestión con la ambiental y territorial, la prevención y reducción de su contaminación, y el fomento de la cultura de su uso racional, entre otras cuestiones.

Entre las novedades de la legislación, está también la de contener un glosario mayor que el vigente, el cual permite elevar los conocimientos acerca del agua y sus regulaciones. La Ley incorpora otros aspectos novedosos, como el de Servidumbre, que establece voluntariedades y obligaciones determinantes de las vías que garantizan el uso de las aguas terrestres.(CUBADEBATE, 2017)

De acuerdo con fuentes publicadas de Voluntad Hidráulica, los recursos hidráulicos potenciales del Archipiélago Cubano se evalúan en un total de 38.1 km<sup>2</sup>, de ellos: 6.4 subterráneos en 165 unidades hidrogeológicas y 31.7 superficiales en 398 cuencas hidrográficas. (Garcia, 2012)

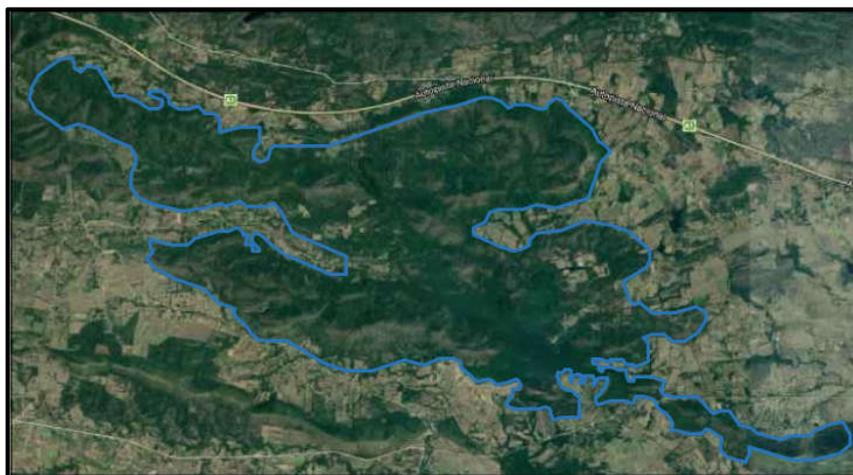
En las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus existe un total de 21 embalses con un acumulando de 2 275.605 hm<sup>3</sup>, de estos embalses 11 son para abastecimiento de agua a la población y 10 son para riego y pesca (ver tabla 1.1).

**Tabla 1.1 Embalses**

<b>Villa Clara</b>	<b>Capacidad (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Sancti Spíritus</b>	<b>Capacidad (hm<sup>3</sup>)</b>
Palma Sola	76	Zaza	1 020
La Quinta	30	Lebrije	102
Santa Clara	36	Felicidad	42
Palmarito	55	Tuinicú	57
Arroyo Grande II	20	Dognorah	32
Manicaragua	4.4	Higuanojo	24.40
Gramal	2	Siguaney	9.33
Hanabanilla-Jibacoa	278	Aridanes	3
Las Mercedes	3.6	Banao II	3.33
Agabama	4		
Minerva	118		
Alacranes	352		

El embalse Santa Clara (ver figura 1.1) perteneciente a la provincia de Villa Clara, ubicada en la cuenca Agabama y abastecida por los ríos Maguey, Rosquete y

Agabama; fue construida en enero de 1989 bajo un presupuesto de \$5 650 000 con el objetivo del riego a cultivos cercanos y abastecimiento a la población, se comienza a almacenar agua en mayo de 1991 y empieza la explotación en el año 1992. Tiene un volumen útil de 35.884 hm<sup>3</sup> y un volumen de entrega garantizada de 20.70 hm<sup>3</sup> de agua, ocupando un área de 5 km<sup>2</sup> aproximadamente. (Clara, 2005)



**Figura 1.1 Embalse Santa Clara**

Con dicho embalse se pretende abastecer de agua a las localidades de Placetas y Fomentos que en estos momentos se encuentran carentes de este indispensable líquido.

## **1.2 Elementos hidráulicos para el diseño de un esquema de abasto de agua potable.**

Para abastecer a una población se necesita de un esquema de abasto de agua potable diseñado sobre la base de un estudio de los elementos que para ello se requieren, teniendo en cuenta el conocimiento teórico de sus componentes y principales normas y software a emplear para su diseño, pues un correcto funcionamiento de los sistemas de abasto aumentaría considerablemente la calidad de vida de las personas ya que, como se sabe, los seres humanos están compuestos en un 70% de agua, por lo que este líquido es vital para el desarrollo humano.

### 1.2.1 Características de los esquemas de abastecimiento de agua potable.

Los esquemas de aprovechamiento hidráulico tienen como característica fundamental que no analizan generalmente un elemento aislado, sino un sistema de obras interrelacionadas, directa o indirectamente, por su incidencia en la solución de determinada demanda. Los mismos no pueden considerarse en un estado estacionario (caso del proyecto de una obra) sino en un estado variable, con movimiento dentro del período de análisis, producto de la variación de la demanda, y en base a ello, la creación de nuevas obras hidráulicas. (ALFONSO ENRIQUE SUÁREZ REYTOR, 2013)

Los esquemas de abasto se caracterizan por su complejidad pues se componen de elementos cuya construcción y mantenimiento requiere de grandes esfuerzos económicos, ambientales, físicos y sociales. Dichos componentes son:

**Fuente:** es el espacio natural desde el cual se derivan los caudales demandados por la población a ser abastecida. Deben ser básicamente permanentes y suficientes y con la calidad requerida, pueden ser superficiales y subterráneas, suministrando el agua por gravedad o por bombeo. (-, 2010)

**Captación:** Es la parte inicial del sistema de abastecimiento de agua. Consta de una estructura y/o dispositivos construidos en la fuente de abastecimiento.(-, 2010)

La captación de las aguas superficiales se hace a través de galerías en obras de toma y la captación de las aguas subterráneas a través de pozos profundos.

**Potabilización:** Es el proceso que se realiza con el equipo adecuado con el fin de purificar el agua y hacerla apta para el consumo humano, eliminando bacterias que afecten la salud de éstos. (-, 2010)

**Conducción:** Es el tramo de tubería, piezas especiales y estructuras que conducen el agua desde la captación hasta su almacenamiento.(-, 2010)

**Estación de bombeo:** Es el 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.(Durán, 2014)

**Almacenamiento:** Es un depósito (ver figura 1.2) que tiene como objeto almacenar y controlar el agua que se distribuye a la población, además de garantizar su disponibilidad continua con el mayor tiempo posible.(-, 2010)



**Figura 1.2 Tanque de Placetas**

**Distribución:** Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que se instalan para conducir el agua desde el depósito de almacenamiento hasta la toma domiciliaria. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial e industrial. (-, 2010)

**Conexiones domiciliarias:** Es un conjunto de tuberías y accesorios que permite el abastecimiento desde la red de distribución hacia el predio del usuario, así como la instalación de un medidor. (-, 2010)

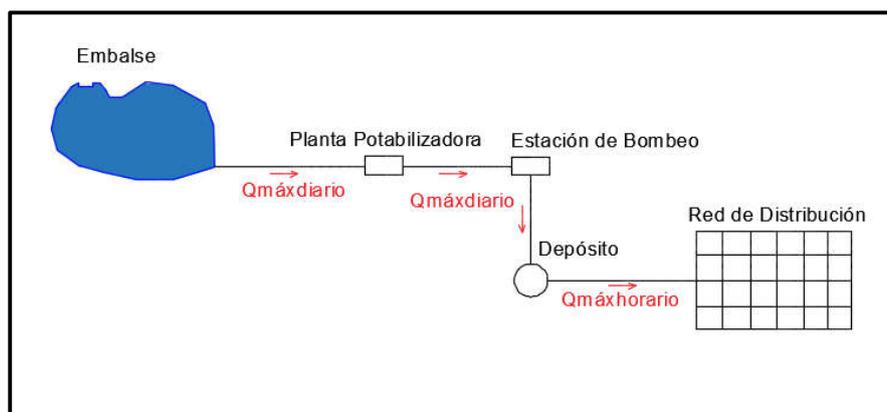
#### **Caudales de diseño en un acueducto.**

Los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua potable se diseñan tomando en cuenta las variaciones de consumo. Estas variaciones se expresan en función porcentual del consumo medio de la población, como: Caudal Medio Diario, Caudal Máximo Diario, Caudal Máximo horario, Caudal de Bombeo, Caudal de Incendio.

- **Caudal Promedio Diario:** Es el caudal correspondiente al promedio de los caudales diarios utilizados por una población determinada, dentro de una serie de valores medidos. En virtud de la insuficiencia de datos medidos, el caudal medio diario se obtiene de la relación de la dotación necesaria y el parámetro de la población de diseño calculada.
- **Caudal Máximo Diario:** Es el caudal máximo correspondiente al día de máximo consumo de una serie de datos medidos, en ausencia de datos este caudal se consigue mediante la aplicación de un coeficiente de variación diaria entre 1,20 (zonas húmedas) y 1,60 (zonas secas).
- **Caudal Máximo Horario:** Es el caudal correspondiente a la hora de máximo consumo en el día de máximo consumo y se obtiene a partir del caudal medio y de un coeficiente de variación horaria.
- **Caudal de Bombeo:** Es el caudal requerido por las instalaciones destinadas a impulsar el agua a los puntos elevados del sistema de abastecimiento y no es más que estimar el caudal equivalente al caudal medio para el número de horas de bombeo necesaria generalmente esta entre 16 y 24 horas.
- **Caudal de Incendio:** Es el caudal destinado a combatir las emergencias por causas de los incendios y para las zonas rurales este se estima entre cinco (5) y diez (10) litros por segundo. El incendio para las zonas urbanas está definido por las normas y depende del tipo de zona residencial.

Estos Caudales se utilizan de la manera siguiente:

- El Caudal Máximo Diario: Obra de Captación, Línea de conducción, Planta de tratamiento y el depósito de almacenamiento.
- Caudal de Bombeo: Sistema de Bombeo y Línea de Impulsión.
- La Red de Distribución: Se diseña para Caudal Máximo Horario.(2008)



**Figura 1.3 Esquema de los caudales en un acueducto**

### **1.2.2 Regulaciones técnicas cubanas para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable.**

Las normas son un conjunto de especificaciones, en algunos casos obligatorias, que contribuyen a una correcta función, uso, empleo o manejo de sistemas hidráulicos, mecánicos, sociales o ambientales para así obtener beneficios respecto a un óptimo funcionamiento. Cada país debe tener un sistema de normas efectivas y vigentes que se ajusten a los momentos actuales.

Las normas cubanas que se utilizaron para el diseño de la conductora para al abasto de agua potable a los municipios de Placetas y Fomento fueron las siguientes.

#### **Instructivo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)**

En esta norma se destina a exponer argumentadamente las instrucciones e indicaciones de trabajo necesarias para efectuar las actividades de diseño, construcción, colocación, manipulación, almacenamiento y distribución de las tuberías de PEAD que se utilicen en los conductos para trasvasar agua a presión.

Todas las indicaciones e instrucciones se refieren tanto a las tuberías de PEAD que se fabriquen en el país como a las de importación, y son de estricto cumplimiento para todas las entidades o especialistas relacionados con el tema sobre el abastecimiento de agua potable.(normalización, 2013a)

### **Norma Cubana 53 – 121 Acueducto. Especificaciones de Proyecto**

Se refiere a todos los tipos de captaciones de agua, accesorios, medidores, instalaciones, desinfección del agua, así como consideraciones generales para el trazado, los cruces y el diseño de obras hidráulicas relacionadas con el acueducto en general.(Normalización, 1984)

### **Norma Cubana 969 – 2013 Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación**

Esta Norma establece los requisitos para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación de las tuberías fabricadas con resina de polietileno que se utilicen en los conductos para trasvasar fluidos a presión.

Se aplicará en las tuberías y piezas de PE que se fabriquen en el país, así como a las de importación.

Se utilizará en todos los fluidos, recomendándose consultar el catálogo del fabricante sobre las características del fluido a conducir.(Normalización, 2013b)

### **Norma Cubana 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 4: Requisitos del proyecto de ingeniería básica o anteproyecto**

Esta Norma se establece los requisitos que debe cumplir el contenido de la documentación resultante de un Proyecto de Ingeniería Básica, refiriéndose específicamente a la documentación técnica imprescindible para la realización de la fase de: Ingeniería Básica de todas las inversiones de acueducto.

Esta etapa, aunque no constituye una fase técnicamente ejecutiva sirve de base para la planificación concreta de la obra u objetos de obras que se desean ejecutar, definiéndose estrategias sobre uso de áreas, sistemas constructivos y una aproximación mucho más exacta del presupuesto y de los materiales a emplear, permitiendo su comercialización.

En dependencia de la complejidad del sistema del abastecimiento, el proyecto podrá ejecutarse en su conjunto o por objetos de obra, según las distintas especialidades que lo conforman.(Normalización, 2013c)

**Norma Cubana 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 5: Requisitos del proyecto ingeniería de detalles o ejecutivo**

Esta Norma Cubana establece los requisitos que debe cumplir el contenido de la documentación de los proyectos de Ingeniería de Detalle, refiriéndose específicamente a la documentación técnica imprescindible para la realización de la fase de: Proyecto Ejecutivo de todas las inversiones de Acueducto.

En dependencia de la complejidad del sistema de abastecimiento de agua, el proyecto podrá ejecutarse en su conjunto o por objetos de obra, según las distintas especialidades que lo conforman.

El alcance de esta documentación cubre la información necesaria para los proyectos Técnico-Ejecutivos de las nuevas inversiones y los proyectos de rehabilitación de acueductos.(Normalización, 2013d)

**Norma Cubana 973 – 2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas**

Esta Norma Cubana establece los índices per cápita (dotación) de la demanda de agua potable en las poblaciones y los coeficientes de irregularidad diario y horario del consumo para el cálculo de los caudales a considerar en la selección de las fuentes de abastecimiento de agua, la capacidad de los conductos y la elaboración de planes de suministro de agua.(Normalización, 2013e)

**Norma Cubana 1021 – 2014 Higiene comunal —Fuentes de abastecimiento de agua — Calidad y protección sanitaria.**

Esta Norma establece los requisitos sanitarios de los sistemas de abastecimiento público de agua desde la captación del agua en la fuente de abasto hasta su almacenamiento y distribución y se aplica a todos aquellos sistemas que sean

administrados por cualquier entidad con fines de producción de agua potable, así como en los proyectos de nuevas obras, remodelaciones y ampliaciones.(Normalización, 2014)

### 1.2.3 Softwares utilizados en el diseño de los esquemas de abasto de agua potable.

Las redes de distribución de agua son sistemas complejos cuyo modo de funcionamiento escapa muchas veces del control de los operadores. El desarrollo impredecible de la red, condicionado por la planificación urbanística o la disponibilidad de recursos, unido al comportamiento altamente no lineal de sus componentes hidráulicos, obligan hoy en día a utilizar cada vez más a menudo los modelos de simulación para justificar las soluciones propuestas o para anticipar aquellos resultados que el razonamiento ya no intuye.

Además, se le añade la creciente preocupación por garantizar la calidad del agua cuando le llega al abonado y la seguridad del suministro ante cualquier eventualidad, la necesidad de recurrir a los modelos queda fuera de toda duda. Afortunadamente, se dispone hoy en día de herramientas de cálculo potentes y de libre difusión como *EPANET*, así como de programas comerciales con otras muchas funcionalidades añadidas como *WaterGEMS*.(Martínez, 2016)

**Tabla 1.2 Diferencias entre *WaterGEMS* y *EPANET*. (Bentley, 2013)**

Características	WaterGEMS	EPANET
Análisis en Estado Estático	x	x
Análisis en Periodo Extendido	x	x
Análisis de Calidad	x	x
Análisis Automatizado de Flujo de Incendio	x	NO
Análisis de Costos de Energía	x	LIMITADO
Análisis Crítico y de Segmentación (Critically Analysis)	x	NO

**Tabla 1.2 Diferencias entre *WaterGEMS* y *EPANET*. Continuación.**

<b>Características</b>	<b>WaterGEMS</b>	<b>EPANET</b>
Análisis de Vaciado Uni-Direccional (Flushing Analysis)	x	NO
Archivos de Fondo Escalado - Manejo DXF, SHP e Imágenes	x	NO
Manejo de Múltiples Escenarios y Alternativas en un único Archivo y Análisis Comparativo	x	NO
Posibilidad de Creación de Submodelos y acoplamiento de estos en Modelos Maestros.	x	NO
Controles Lógicos Simples	x	x
Controles Lógicos Compuestos	x	LIMITADO
Módulo para Esquelitización Inteligente de Modelos.	x	NO
Algoritmos Genéticos en Calibración y Diseño óptimo	x	NO
Navegador de la Red y Generación automática de consultas topológicas y de conectividad	x	NO
Bombas de Velocidad Variable	x	NO
Curvas de Energía del Sistema.	x	NO
Elemento Hidrante	x	NO

Teniendo en cuenta que el software *WaterGEMS* encierra todas las respectivas características se decide utilizarlo para apoyar los cálculos hidráulicos en esta investigación.

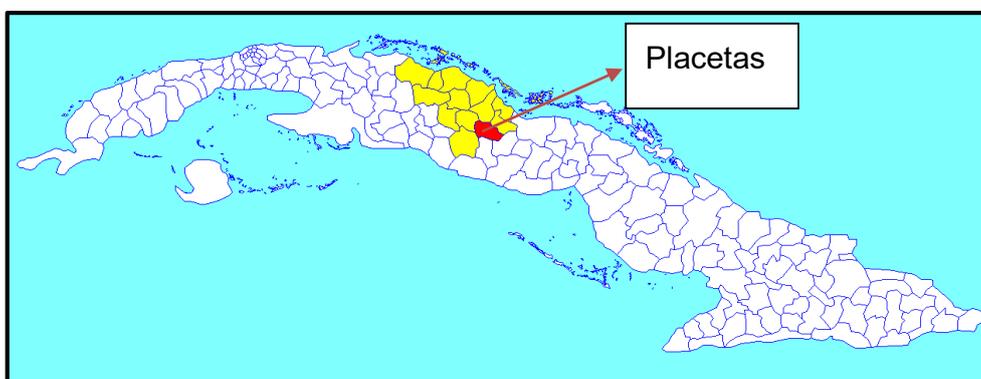
Otras características de *WaterGEMS*:

Proporciona una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el diseño de redes de distribución de agua. El software ayuda a mejorar su conocimiento de cómo se comporta la infraestructura como un sistema, cómo reacciona a las estrategias operativas y cómo debería crecer a medida que aumenta la población y las demandas.

Contiene simuladores de flujo de agua y calidad del agua y realiza un análisis de costo de energía. Optimiza operaciones para aumentar la eficiencia del sistema, modela de manera realista el funcionamiento de sistemas de agua. Se puede modelar la bomba con precisión, optimizar las estrategias de bombeo y planificar paradas y operaciones de rutina para minimizar las interrupciones.(González, 2018)

### 1.3 Características del municipio de Placetas.

Fundada en 1869, se encuentra ubicado en la región central de Cuba, al suroeste de la provincia de Villa Clara, limita al norte con Santa Clara y Camajuaní; al sur con la Provincia Sancti Spíritus; al este con Remedios; y al oeste con el municipio de Manicaragua.



**Figura 1.4 Ubicación del municipio de Placetas**

Cuenta con una población de 68 920 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado en 2012. Tiene una extensión territorial de 656 047 km<sup>2</sup>, conocido como "La Villa de los Laureles". Encierra grandes historias en sus calles y sus construcciones, ubicado al pie de la carretera central, en ella nace el río Zaza convirtiéndola en un área de gran importancia hidrográfica.

#### **Topografía e Hidrología**

En el relieve predominan llanuras y alturas con un pequeño sector submontañoso al sureste perteneciente a la sierra alta de Agabama, la mayor altura sobre el nivel medio del mar es la Loma la Vigía con 266,5 metros.

Otros ejemplos de elevaciones son la loma de Ciego Montero la cual es poco elevada, ubicada al sureste próxima al curso superior del río Sagua la Chica, el Ciego Ransol, estribo occidental de la Sierra del Escambray, ubicado al este del pueblo de Guaracabulla y se eslabona con la anterior, constituyendo con aquella las últimas estribaciones de Cubanacán, las Nueces, cerro casi aislado ubicado al suroeste del pueblo de Guaracabulla, eslabonada por el oeste y sur con las lomas de Báez y de Zuazo; es una de las alturas más destacadas del grupo de Cubanacán.

La hidrografía constituida por una red de aguas superficiales que abarca más de 30 ríos y arroyos de corriente permanente perteneciente a las cuencas del río Sagua la Chica, río Zaza y el río Agabama. El promedio de precipitaciones anuales en el municipio es de 1260,6 mm. La línea divisoria de las aguas de Cuba atraviesa el territorio.

El aprovechamiento de las aguas superficiales se encuentra conformado por 16 micro presas y un embalse, Las Mercedes con 3.7 millones de m<sup>3</sup> de capacidad este embalse tiene una entrega anual de 1.2 millones de m<sup>3</sup>.

En cuanto a las aguas subterráneas los usuarios principalmente son la agricultura en los sistemas de riego de los diferentes cultivos agrícolas, la industria y la población.



**Figura 1.5 Loma de Báez**



**Figura 1.6 Río Jagueyes**

## **Demografía**

El panorama de la estructura de la población del territorio se refleja con claridad en la situación demográfica que desde hace algunos años arrastra la provincia, con mayor

agudización el municipio de Placetas. El envejecimiento es resultado de la transición demográfica que afecta a la mayoría de las naciones del mundo y de la cual Cuba no está exenta. Este fenómeno ocurre, sobre todo, a partir de una contracción de la fecundidad y ganancias en la esperanza de vida de sus habitantes a partir de una reducción de las probabilidades de muerte por lo que la tendencia es a que la población se concentre en la parte superior de su pirámide. En el caso de los nacimientos, se observa que hay decrecimientos en cuanto a la frecuencia con que aparecen estos y también un aplazamiento de la edad media de la fecundidad en las mujeres, o una fecundidad tardía. Sus efectos no son solo cuantitativos, sino que implican cuestionarse aspectos cualitativos que son evidencias del por qué las cifras descienden. Estas inferencias provienen de las condiciones económicas, de vivienda, creencias culturales, niveles educativos, políticas sociales entre otras en las que están insertas las poblaciones estudiadas.(González, 2015)

### **Economía**

Las actividades económicas fundamentales son la producción agropecuaria, específicamente los renglones de granos, ganado porcino y la producción lechera, aunque la siembra y producción cañeras mantiene rendimientos aceptables, pese a no contar ya con los centrales azucareros Benito Juárez, Hermanos Almejeira y Juan Pedro Carbó Serviá.

Otros renglones importantes son el tabaco, la minería, la manufactura de partes de aluminio, así como puertas, ventanas y utensilios de cocina y los procesamientos industriales de la leche a través de su empresa láctea.

Otras producciones del municipio están sustentadas en el tabaco torcido y otros servicios como lavandería, peluquería, barbería, fotografías, tintorerías, etc. Existe una fábrica de materiales de la construcción donde se producen mosaicos, bloques, rodapiés, ladrillos, tejas, tubos, y piezas de barro.

### **1.3.1 Antecedentes del abastecimiento de agua en Placetas.**

Placetas cuenta con un acueducto que tiene como fecha de construcción el año 1959, culminándose las redes en el año 1960 y nunca se han realizado ampliaciones o rehabilitaciones. En estos momentos el abasto de la ciudad se hace desde tres pozos ubicados a unos 5 km al noroeste de la ciudad en una zona denominada Vista Alegre, su capacidad está en dependencia del período de lluvia, pues en la mayor parte del año ofrece un gasto de 62 l/s y durante la sequía el caudal disminuye a 30 l/s, actualmente cada pozo tiene instalado una bomba sumergible de gasto nominal de 20 l/s, sin embargo, estudios pitométricos demuestran que las tres bombas solo aportan 37.5 l/s producto de la sequía prolongada de los años anteriores.

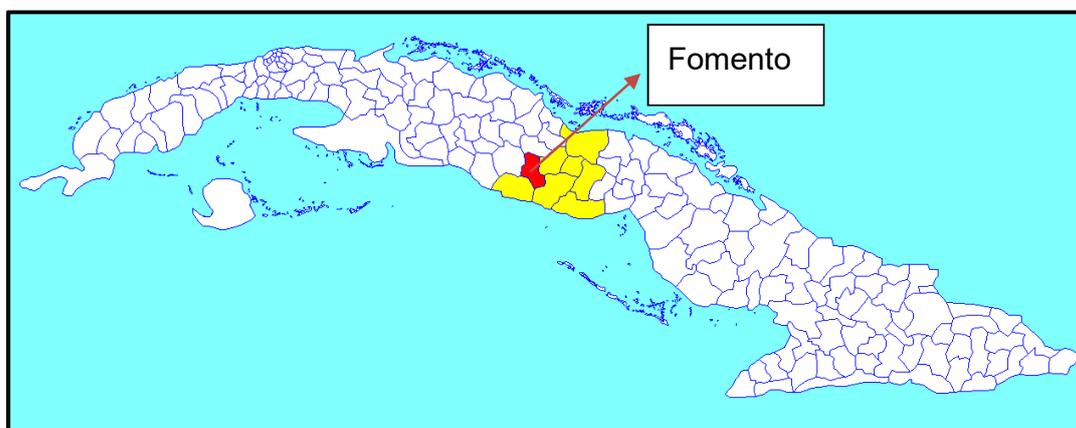
La conductora es de hierro fundido (HoFo) y de diámetro de 400 mm tiene 5 km de longitud. Cuando se realizó la ejecución de la conductora se le permitió a los campesinos y a algunos vecinos que se instalaran de ella, lo cual en estos momentos crea grandes problemas de salideros, ya que las acometidas son de bronce y hierro galvanizado las cuales no soporta la carga ni la presión con que se bombea para el tanque y estas en periodos cortos hay que sustituirlas.

El tanque tiene una capacidad de 1892 m<sup>3</sup>, se diseñó como tanque compensador de carga, pero actualmente funciona como almacenador, este tanque presenta problemas para su llenado ya que solamente cuenta con una tubería que hace la función de entrada y salida, solo se llena hasta la mitad de su capacidad lo que trae como consecuencia que el agua no llegue con carga y presión necesaria a las zonas altas del pueblo. Al ser poco el caudal de entrada al tanque se tomó la decisión de servir el agua a la población en días alternos o sea un día para la parte oeste y otro día para el este y así sucesivamente, garantizándose escasamente 2 horas de abasto para cada parte llegando muy escasa a las zonas altas del pueblo.

### **1.4 Particularidades del poblado de Fomentos.**

Municipio de menor tamaño perteneciente a la provincia de Sancti Spíritus. Las primeras noticias de ese poblado datan de fecha tan lejana como 1536, cuando se conocía como Jumento o San Sebastián del Asno. Tiene una superficie total de 474.3

km<sup>2</sup>. Se ubica en la porción Centro – Oeste de la provincia, a 57 kilómetros de la ciudad de Santa Clara, a 89 de Cienfuegos y a 349 de La Habana. Cuenta con una población de 33 001 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado en 2012.



**Figura 1.7 Ubicación del municipio de Fomentos**

### **Topografía e Hidrografía**

La topografía se caracteriza por elevaciones, sabanas, valles, y demás. Es regado su fértil suelo por los ríos Agabama, Mabujina, Cangrejo y varios arroyos. Se destaca la Loma de Degollada ubicada al sur de Güinía de Miranda. Enlaza por el norte y este con las lomas de Bendición y está separada de la Sierra de Bendición por el río Seibabo. La Sierra de Mabujina que pertenece al grupo del Guamuhaya, subgrupo de las Alturas de Trinidad. Hacia el norte y centro del municipio predomina las llanuras con alturas entre 50 – 150 metros, se destacan algunas alturas aisladas como la Loma del Ñame con 206 metros, Loma del Burro y Loma Alta. En las márgenes del río Agabama la llanura aluvial del mismo nombre. Al sur de Fomento, a solo 1 km del mismo, se levanta una serie de elevaciones conocidas por el nombre de Los Cerros de Fomento.

Se encuentran además sumideros, resolladeros, valles cársicos, furnias y cuevas, estas últimas son las más características de la región, de origen fluvial, vadosa y freática, encontrándose combinaciones entre ellas.

La hidrografía está constituida por el río Agabama que nace en la Sierra del Escambray, en una peña elevada que le dio su nombre de origen. Riega los municipios

de Santa Clara, Placetas, Fomento y Trinidad. A lo largo de su curso recibe numerosos afluentes, entre otros: el Ay, Caracusey, Guaracabulla, Juaya, Mabujina, Sipiabo, y el Seibabo. En su curso inferior toma el nombre de Manatí y así es conocido en la región de Trinidad. Al desembocar, forma un delta con figura de abanico en las ensenadas de Mario, Caballones y del Jobabo. Es el río más importante de los que riegan estas tierras. Mide unos 125 kilómetros.

Río Mabujina, es afluente del río Agabama. Nace en las lomas de Los Negros, atraviesa el barrio de Güinia de Miranda, faldea la Sierra del Yabunal, pasa junto el poblado de su nombre y desagua en el Agabama después de un curso aproximado de unos 30 kilómetros.

Río Seibabo, es afluente del río Agabama o Manatí. Nace en la falda de Yabanal, discurre por entre las lomas y riega los barrios de Güinia de Miranda, en el municipio de Fomento, y Río del Ay, en el municipio de Trinidad.



Figura 1.8 Piedra Gorda



Figura 1.9 Río Agabama

## Demografía

Tabla 1.3 Indicadores demográficos del municipio de Fomento

Indicadores demográficos	UM	Total
Tasa bruta de natalidad	0/00 hab	8.6
Tasa bruta de mortalidad	0/00 hab	10.7
Tasa crecimiento natural	0/00 hab	-0.14
Tasa crecimiento total	0/00 hab	-0.92
Saldo migratorio total	U	-168

**Tabla 1.3 Indicadores demográficos del municipio de Fomento. Continuación.**

<b>Indicadores demográficos</b>	<b>UM</b>	<b>Total</b>
Tasa saldo migratorio total	0/00 hab	-5.16
Tasa mortalidad infantil	0/00 n.v	3.6
Esperanza de vida (2011-2013)	Años	79.10
Relación de masculinidad	0/0 mujeres	1 025
Densidad de población	hab/km2	68.8
Grado de urbanización	%	72.54

### **Economía**

La principal actividad de la región era la industria azucarera principalmente azúcar refino, el cultivo de caña de azúcar, el cultivo del tabaco, el café y la ganadería, pero con las modificaciones en esta industria se hizo necesario expandirse hacia otras industrias como es explotación de una mina de mármol de muy buena acogida en la industria nacional.

Y como una muestra de que Fomento no abandona a ninguno de sus hijos, en la comunidad de Cuarto Congreso, Escambray adentro, funciona una mini hidroeléctrica que ilumina a unas 12 familias asentadas en dichos parajes.

#### **1.4.1 Antecedentes del sistemas de abasto de agua potable en Fomentos.**

Fomento posee redes de distribución de agua muy antiguas que data de la década de los años 80 con variedad de materiales y diámetros en sus conductoras.

Posee una fuente de agua superficial llamada Agua Fría, la cual en tiempos normales tributa 40 l/s a la cabecera municipal, la bomba instalada extrae aproximadamente 20 l/s y agota rápidamente el pequeño embalse debido a obstrucciones en los manantiales que tributan a dicha fuente.

Existen pozos también para el suministro de agua, la mayoría de ellos se deprimen en época de sequía y no aportan el caudal requerido para el abasto a la población fomentense. De estos pozos se destaca la fuente subterránea conocida como La

Manaca, de ella se sacan diariamente 200 m<sup>3</sup> de agua por carros cisternas pues el equipo de bombeo en ocasiones es deficiente.

La variante del abasto de agua por carros cisternas es otra opción para afrontar la carencia de un sistema de abasto de agua potable en el municipio.

En la actualidad solo el 57% de la población se abastece por carros cisternas el resto lo hace por pozos particulares o de la escasa agua que llega mediante el acueducto.

Numerosos proyectos se han realizado en años anteriores analizando la variante de cómo llevar agua hasta Fomento desde el embalse Santa Clara, ubicando siempre una potabilizadora en la loma de Báez y de esta manera abastecer la cabecera municipal y sus poblados aledaños.

### **Conclusión parcial**

Se realizó una amplia revisión bibliográfica concluyendo con resultados positivos en cuanto a la distribución y utilización de los recursos hídricos en Cuba, en especial en los pueblos de Placetas y Fomento, así como los principales elementos para el diseño de la solución de abasto de agua potable en estas comunidades.

## **Capítulo 2: Materiales y Métodos.**

El presente estudio corresponde a la investigación realizada en la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (IPH) de Villa Clara con el fin de realizar un esquema de abasto de agua potable desde el embalse Santa Clara hasta los respectivos tanques y así favorecer a los poblados de Placetas, Fomento, Báez, Guaracabulla, Punta de Diamante, Lotería, Cooperativa 9 de abril, Caguazal, Chucho Rúa y Agabama. Para ello se contó con el apoyo de los especialistas de dicha empresa y con todo el material e información contenido en las bases de datos de la entidad.

### **2.1 Determinación de la población actual y futura.**

Las poblaciones son el grupo de personas que viven en un área o espacio geográfico determinado y de su crecimiento depende el desarrollo social, económico y ambiental del entorno donde se desenvuelven.

Para el diseño del sistema de abasto se realizó un análisis de las poblaciones de cada una de las localidades para la determinación de las poblaciones futuras y de esta forma propiciar la funcionabilidad de estas instalaciones por 40 años.

Debido a que la tasa de crecimiento poblacional determinada en el censo del 2012 es negativa se asumieron, para los cálculos, las poblaciones actuales de cada una de las localidades según una edición del 2017 emitida por la Oficina Nacional de Estadística Informativa (ONEI) del censo anteriormente mencionado, garantizando así estar del lado de la seguridad al hallar el gasto necesario para cada lugar que se desea abastecer.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las poblaciones de las localidades objetos de estudio, con los datos de dotación y coeficientes de irregularidad horaria y diaria correspondientes. Para la obtención de los datos que se muestran en la tabla 2.2, utilizamos la Norma Cubana 973 – 2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.

Tabla 2.1. Dotación.

Poblado	Población	Población en miles de habitantes	Dotación Total	Coeficiente irregularidad	
				K1	K2
Báez	5 257	2,0 - 10,0	210	1.6	1.8
Guaracabulla	1 591	Menos de 2,0	155	1.65	1.9
Placetas	39 615	25,0 - 50,0	265	1.5	1.63
Punta Diamante	155	Menos de 2,0	155	1.65	1.9
Lotería	188	Menos de 2,	155	1.65	1.9
Cooperativa	129	Menos de 2,0	155	1.65	1.9
Caguazal	193	Menos de 2,0	155	1.65	1.9
Chucho Rúa	50	Menos de 2,0	155	1.65	1.9
Agabama	2 404	2,0 - 10,0	210	1.6	1.8
Fomento	19 347	10,0-25,0	240	1.55	1.69

#### Determinación de la demanda de agua potable en los poblados.

Para el cálculo de la demanda de agua y el caudal medio diario (ver tabla 2.2) que se necesita extraer de la fuente se utilizó la norma NC 973 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas. (Normalización, 2013e)

**Consumo promedio:** Cociente del consumo total anual entre 365 días y se estima como demanda media por el producto de la población servida por la dotación. Está dado por la expresión siguiente:

$$Q_{pd} = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400} \text{ (expresado L/s)} \quad (2.1)$$

**Consumo máximo diario:** Consumo que se produce en el día de mayor consumo del año. Se denota en la presente norma como  $Q_{m\acute{a}x.d}$  y se expresa en términos de caudal en litros por segundos (L/s) con la expresión:

$$Q_{m\acute{a}x.d} = K1 \times Q_{pd} \text{ (expresado L/s)} \quad (2.2)$$

**Consumo máximo horario:** Consumo máximo que se presenta en la hora de mayor consumo dentro del día de máxima demanda. Para la presente norma se denota por  $Q_{\text{máx.h}}$  y se expresa en L/s con la expresión siguiente:

$$Q_{\text{máx.h}} = K2 \times Q_{\text{máx.d}} \text{ (expresado L/s)} \quad (2.3)$$

**Coefficiente de irregularidad diaria:** Relación entre el consumo máximo diario ( $Q_{\text{máx.d}}$ ) y el consumo medio ( $Q_{\text{medio}}$ ), representándose por el término  $K1$  tal que:

$$K1 = Q_{\text{máx.d}} / Q_{\text{medio}} \quad (2.4)$$

**Coefficiente de irregularidad horaria:** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio del día de máxima demanda de agua, señalándose por  $K2$  y representada por la expresión:

$$K2 = Q_{\text{máx.h}} / Q_{\text{máx.d}} \quad (2.5)$$

**Coefficiente del gasto máximo horario:** Relación entre el consumo máximo horario y el consumo medio anual, señalándose por  $K_h$  tal que:

$$K_h = Q_{\text{máx.h}} / Q_{\text{medio}} = K1 \times K2 \quad (2.6)$$

Aplicando las ecuaciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 2.2. Demanda por poblados.**

Poblado	Qpd (l/s)	Qmáx.d (l/s)	Qmáx.h (l/s)
Báez	12.78	20.44	36.80
Guaracabulla	2.85	4.71	8.95
Poblado Placetas	121.50	182.26	297.08
Punta Diamante	0.28	0.46	0.87
Lotería	0.34	0.56	1.06
Cooperativa	0.23	0.38	0.73
Caguazal	0.35	0.57	1.09
Chucho Rúa	0.09	0.15	0.28
Agabama	5.84	9.35	16.83
Poblado Fomento	53.74	83.30	140.78
<b>∑ Total</b>	<b>198.00</b>	<b>302.17</b>	<b>504.45</b>

## 2.2 Diseño de los elementos que componen el esquema de abasto.

Componentes del sistema de abasto:

- Embalse
- Estación de bombeo
- Tanques para la distribución de agua
- Planta potabilizadora.
- Tuberías de PEAD

### 2.2.1 Características de la fuente de abasto

El embalse Santa Clara, ubicado en el río Agabama, además de abastecer las dos estaciones de alevinaje, una en construcción y otra por construir, pertenecientes a los municipios de Placetas y Manicaragua respectivamente, entregará agua para el abasto de los pueblos de Placetas, Fomento, Báez, Guaracabulla, Punta de Diamante, Lotería, Cooperativa 9 de abril, Caguazal, Chucho Rúa y Agabama.

**Tabla 2.3. Datos generales del embalse Santa Clara.**

Datos generales	
Objetivo	Riego y abasto a población
Cuenca	Agabama
Río	Agabama
Tipo de presa	Mixta
Coordenadas de cierre	Norte: 265.91    Este: 620.14
Acceso	Carretera Mataguá a Báez, entrada a la izquierda a 1km después de Minas Bajas.

**Tabla 2.4. Datos de las investigaciones para la construcción de la presa.**

Hidrológicos y fisiográficos	
Área de la Cuenca	80.0 km <sup>2</sup>
Longitud del río principal	25.8 km

**Tabla 2.4. Datos de las investigaciones para la construcción de la presa. Continuación.**

<b>Hidrológicos y fisiográficos</b>	
Pendiente del río	7.30 %
Pendiente de la cuenca:	178.0 %
Pendiente de las laderas	157%
Altura media de la cuenca:	200 m
Densidad de drenaje	1.50 km/km <sup>2</sup>
Corrientes que capta	Agabama, Maguey y Rosquete
Lluvia Media en la cuenca	1 450mm
Evaporación anual	1 520mm

**Datos geológicos del cierre de la presa.**

La zona está formada por rocoso vulcanógeno, terrígenos sedimentarios de la edad del cretácico superior y depósitos del cretácico.

Litológicamente las rocas del cretácico superior están presentadas por tobas, areniscas, aeulolitas, margas y porfiritas diabásicas.

**Tabla 2.5. Parámetros del embalse.**

	<b>Cota (m)</b>	<b>Volumen (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Área del embalse (Km<sup>2</sup>)</b>
N.A.M	157.70	44.80	4.480
N.A.N.	155.24	35.66	4.022
N.M.	130.00	0.162	0.121

Otros parámetros del embalse Santa Clara.

- Tipo de regulación: Hiperanual
- Volumen útil: 35.884 hm<sup>3</sup>
- Volumen de entrega garantizada: 20.70 hm<sup>3</sup>

En la tabla siguiente se muestra el balance de agua del embalse Santa Clara teniendo en cuenta los consumos destinados para la acuicultura y el abasto.

**Tabla 2.6. Balance de agua de la presa Santa Clara.**

Uso del Agua	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Capacidad de entrega para abasto (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen del embalse (hm <sup>3</sup> /año)
Abasto	6.24	17.05	28.20
Alevinaje Placetas	2.5		
Alevinaje Manicaragua	2.5		
Total de demanda	14.53		

Como se muestra en la tabla anterior, se puede entregar con los fines mencionados quedando 2,5 hm<sup>3</sup> de la capacidad de entrega del embalse, satisfaciendo de esta forma las demandas requeridas por cada uso que se le dará al agua embalsada

### 2.2.2 Propiedades de la Estación de Bombeo

La selección del equipo de bombeo es un proceso de carácter fundamentalmente técnico-económico. Desde el punto de vista técnico pueden existir varias alternativas que resuelvan satisfactoriamente el problema planteado, las que deberán compararse desde el punto de vista económico para llegar a la selección más adecuada.

Partiendo del caudal y la carga de diseño, y el tipo de bomba a utilizar (horizontal o vertical) el proceso de selección puede dividirse en los siguientes pasos:

- Definición del número de etapas de las bombas.
- Definición de la sumergencia mínima o de la succión necesaria.
- Determinación de la máxima velocidad específica posible.
- Determinación de la velocidad de rotación para distintas variantes de números de equipos.
- Revisión de las alternativas recomendables, asignación de la eficiencia y cálculo de la potencia.

- Determinación del costo de las bombas.
- Comparación económica de las alternativas.
- Estudios de operación sobre las alternativas más ventajosas. (Pérez)

En la concepción del esquema se colocará una estación de bombeo la cual se ubicará a la derecha de la obra de toma de la presa Santa Clara. La estación contará con 3 bombas horizontales de 155 l/s cada una, 2 de servicio y 1 de reserva con vista a garantizar el abasto en caso de averías y entregará un gasto máximo diario de 310 l/s el cual supe la demanda de agua en los puntos requeridos.

### Cálculo de la carga de bombeo

**Tabla 2.7. Datos para el cálculo de la carga de bombeo**

Parámetros	Valor
Cota en la entrada de la toma de agua	258 m
Cota en la Estación de bombeo	135 m
Pérdidas en la conductora ( $hf_{\text{conductora}}$ )	4.92 m
Pérdidas en la Estación de bombeo( $hf_{\text{EB}}$ )	2 m
Pérdidas en los accesorios ( $hf_{\text{locales}}$ )	0.49 m
Caudal (Q)	310 l/s
Diámetro (d)	738.4 mm
Longitud (L)	7 550 m
Coeficiente de rugosidad para tuberías de Polietileno de Alta Densidad (C)	130 adm
Constante K	279 064.58 adm

Para el cálculo de las pérdidas en la conductora se utilizó la ecuación 4.

$$hf = \left( \frac{K \times Q}{C \times d^{2.63}} \right)^{1.85} \times L \quad (2.7)$$

Las pérdidas locales representan el 10% de las pérdidas en la conductora y las perdidas en la Estación de bombeo son de 2 m según la consulta y valoración con

especialistas en bombas de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (IPH) de Villa Clara.

La carga de elevación ( $H_e$ ) se calculó como:

$$H_e = \text{Nivel de agua en la descarga} - \text{Nivel de agua en la toma} \quad (2.8)$$

$$H_e = 258 - 135$$

$$H_e = 123 \text{ m}$$

La carga de la estación de bombeo se calculó de la siguiente forma:

$$H_{EB} = H_e + hf_{\text{conductor}} + hf_{EB} + hf_{\text{locales}} \quad (2.9)$$

$$H_{EB} = 130 \text{ m}$$

### Cálculo de la potencia del equipo de bombeo y del motor

$$P_b = \frac{\rho \times g \times Q_b \times H_b}{E_b} \quad (2.10)$$

Donde:

$g$  = gravedad  $\text{m/s}^2$

$P_b$  = Potencia de la bomba (kW).

$Q_b$  = Caudal de bombeo (l/s).

$H$  = Carga total (m).

$E_b$  = Eficiencia de la bomba

$E_m$  = Eficiencia del motor

$$P = \frac{\left( \frac{1000 \times 9.81 \times 155 \times 130}{0.83} \right)}{1000} = 238.1 \text{ kW}$$

$$P_m = \frac{\rho \times g \times Q_b \times H_b}{E_b \times E_m} \times 1.05 \quad (2.11)$$

$$P_m = \frac{(1.05 \times 238.1)}{0.95} = 263.1 \text{ kW}$$

Como estarán en funcionamiento 2 bombas y 2 motores la potencia total será:

- Potencia consumida 526.3 kWh
- Potencia instalada 540 kWh

Consumo total de equipo de bombeo es de 4.15 GWh al año.

### **2.2.3 Determinación de la capacidad, dimensiones, y ubicación de los tanques**

La solución más frecuente en la mayoría de los abastecimientos en zonas rurales o urbanas es alimentar la red por gravedad desde un depósito situado a una cota suficientemente alta, por encima de las alturas de las viviendas, de modo que la presión en la acometida resulte suficiente en horas de demanda pico.

En el cálculo realizado para obtener los volúmenes de los tanques se consideró suministrar desde un mismo depósito varios asentamientos donde, en cada uno de estos asentamientos se deben construir tanques en lugares estratégicos que garanticen el abasto a la población.

El lugar para la ubicación de los tanques se basa en los siguientes aspectos:

- Área de mayor altura en relación con la zona a abastecer.
- Posibilidad de utilización de áreas complementarias o cercanas que faciliten los trabajos de construcción.
- Adecuada capacidad soportante del suelo.
- Facilidad de drenaje.
- Cercanía de la distribución de agua al centro de gravedad del sistema.

La demanda para esos depósitos es la correspondiente al caudal máximo diario, afectada por los coeficientes del patrón de comportamiento, cuyo máximo valor se corresponde con el coeficiente de irregularidad horaria, que hace que el caudal de salida sea el caudal máximo horario. Los nodos que consumen directamente desde un depósito consumen según el patrón de consumo, pero los depósitos que reciben el agua de otro depósito intermedio, consumen de este un valor constante igual al caudal máximo diario, razón por la cual los depósitos intermedios no requieren un gran volumen.

A partir de lo anterior y de la población asumida para realizar este proyecto se determinó cuáles serían los volúmenes de los tanques de cada poblado o asentamiento en dependencia de sus demandas específicas, para esto se utilizó el método del Diagrama de Masa.

El método del Diagrama de Masa consiste en seguir un patrón teórico de comportamiento del consumo para un bombeo dado y determinar la mayor diferencia entre el volumen suministrado acumulado y el consumido acumulado en las horas en que el suministro es mayor y la mayor diferencia entre el consumo acumulado y el suministro en las horas en que el consumo es mayor.

**Tabla 2.8. Volumen de los tanques.**

Tanques	Pobladados	Volumen (m <sup>3</sup> )
Tanque Placetas	Placetas	3000
Tanque Báez	Báez, Guaracabulla, Punta Diamante, Lotería, Cooperativa, Caguazal, Chucho Rúa, Agabama.	2232
Tanque Fomento	Fomento	1420

**Tabla 2.9. Dimensiones reales de los tanques.**

Tanque	Dimensiones (m)	Volumen real a almacenar(m <sup>3</sup> )	Cota
Tanque Báez	24 × 24 × 4.2	2419.2	185
Tanque Placetas	30 × 24 × 4.2	3024	214.40
Tanque Fomento	24 × 18 × 4.2	1814	140

#### **2.2.4 Características de la planta potabilizadora.**

Las aguas superficiales por sus características físicas, químicas y biológicas presentan altos índices de contaminación por lo que se hace necesario un sistema de tratamiento que remueva toda esta contaminación y haga el agua apta para el consumo humano.

Luego de analizada la calidad de agua del embalse Santa Clara, la cantidad de agua a tratar, el uso al que está dirigido el agua y teniendo en cuenta los límites establecidos en la NC 1021-2014 Higiene comunal — fuentes de abastecimiento de agua — calidad y protección sanitaria. Se decidió utilizar para el tratamiento de agua del embalse una

planta potabilizadora convencional. El tratamiento de agua convencional está compuesto por:

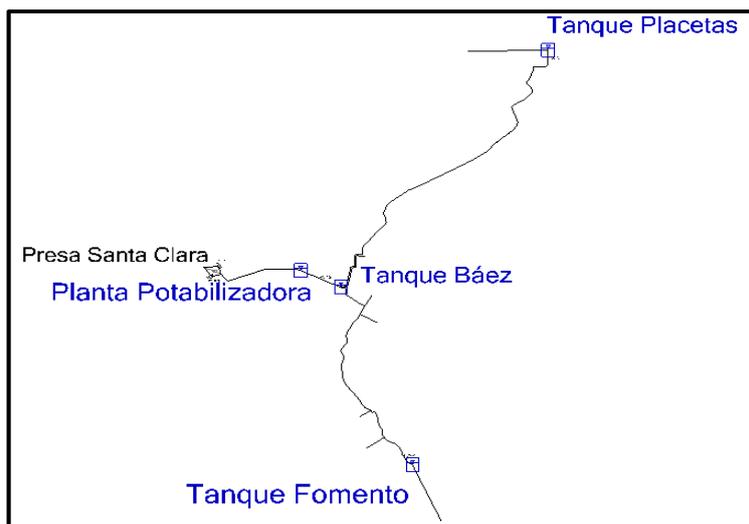
- Sedimentación primaria: El utilizar o no la sedimentación primaria depende del contenido de sólidos suspendidos sedimentables o no sedimentables y responde a una decisión que resulte económica.
- Coagulación – floculación: La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales (generalmente negativas (-) causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. La coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.
- Sedimentación: En un sistema polidisperso formado por un medio dispersante (Durán) y una fase dispersa (partículas), la sedimentación es la operación unitaria mediante la cual se obtiene la clarificación del medio dispersante y la densificación de la fase dispersa, debido a la acción de la gravedad.
- Filtración: consiste en la remoción de partículas suspendidas, coloidales y microorganismos presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso.
- Desinfección: es la adición de una sustancia desinfectante para eliminar microorganismos que hayan quedado luego de todos los procesos anteriores. En Cuba se utiliza el cloro gas como desinfectante aplicándolo en dosis adecuadas para que el agua se pueda denominar potable.

En Cuba se aplica una precloración antes de comenzar todo el proceso para mejorar el color y evitar el crecimiento de algas y así evitar ruidos por obstrucciones en la planta potabilizadora.

La planta potabilizadora de esta investigación quedará ubicada en la cota 256 m en la zona del abra de la loma de Báez para que después el agua tratada sea conducida por gravedad hasta los tanques para posterior distribución. Su área está dada por la

cantidad de objetos contando con 1000 m<sup>2</sup> para la investigación, aplicando las tecnologías convencionales para el tratamiento del agua.

Para la instalación de la planta potabilizadora se excavará una terraza en la zona de ubicación la cual se precisará en etapas posteriores, así como los caminos de acceso y emplazamiento de los equipos para la construcción y montaje.



**Figura 2.1. Ubicación de los tanques y la Planta Potabilizadora**

### **2.2.5 Aspectos a tener en cuenta para la proyección de la conductora.**

#### **Trazado de la conductora**

Elementos a tener en cuenta para el trazado de las conductoras.

- Se situará de modo que facilite la construcción, localización, operación, mantenimiento y vigilancia durante todo el tiempo.
- No atravesar construcciones existentes (casas, fabricas, vertederos de basura, cementerios, etc.)
- Existencia de obras que faciliten el cruce en las vías.
- Evitar que se crucen perpendicularmente líneas eléctricas de alto voltaje en la zona donde se va a realizar el trazado.

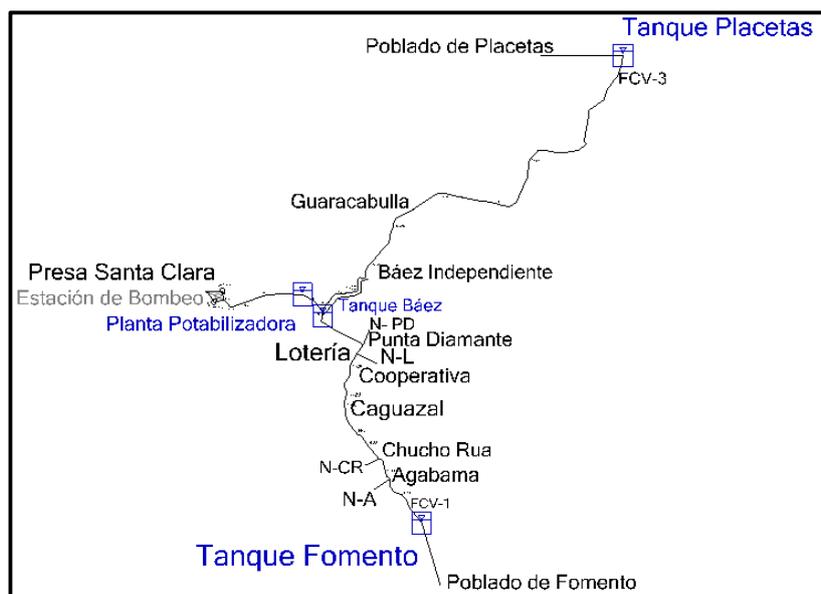
- No violar ninguna norma o regulación específica del trazado pues atenta contra la seguridad de la obra y su vida útil.
- La longitud total será la menor posible evitando los cambios continuos en la alineación horizontal.
- Se evitarán terrenos demasiado accidentados.
- La letrinas y basureros que se encuentren en el trazado serán trasladados antes del comienzo de la construcción de acuerdo con las orientaciones sanitarias vigentes.

En el trazado de la conductora desde el embalse Santa Clara hasta los tanques de Báez; Placetas y Fomento se tuvieron en cuenta los siguientes datos preliminares.

**Tabla 2.10. Datos preliminares.**

Lugar	Cota media de terreno (m)	Población (hab)
Presa	135	
Tanque Loma	250	
Báez	170	5 257
Guaracabulla	180	1 591
Placetas	215	39 615
Punta Diamante	166	155
Lotería	160	188
Cooperativa	145	129
Caguazal	140	193
Chucho Rúa	106	50
Agabama	110	2 404
Fomento	115	19 347
Cisterna de aguas claras	256	

Con el apoyo del trazado preliminar realizado en software AutoCAD; se elaboró en el software WaterGEMS el trazado correspondiente con cada elemento del sistema para efectuar luego los cálculos (ver figura 2.2).



**Figura 2.2. Esquema del trazado de la conductora**

### Diseño de las conductoras.

Utilizando los gastos que se entregarán a cada lugar que se desea abastecer, se procede a la determinación de los diámetros de las conductoras hacia cada punto de entrega, considerando que la presión en cada nodo sea la necesaria y que todos los conductos son de PEAD con un coeficiente de rugosidad de 130 de acuerdo con la NC 969: 2013: Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación.

Para obtener los diámetros idóneos de los conductos se utilizaron las siguientes fórmulas:

A partir de la ecuación de continuidad.

$$Q = V \times A \quad (2.12)$$

Donde:

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

$$A: \text{Área de la tubería } A = \frac{(\pi \times d^2)}{4}$$

V: Velocidad de circulación del fluido en m/s

D: Diámetro de la tubería en m

Conociendo los caudales y la velocidad de circulación mínima de 1 m/s, se despeja y obtenemos el diámetro del conducto para cada tramo.

$$D = \left( \frac{4 \times Q}{\pi \times V} \right)^{0.5} \quad (2.13)$$

Estos diámetros varían de acuerdo a la presión nominal de cada nodo y por tanto para la correcta selección de los mismo se utilizó la siguiente tabla.

**Tabla 2.11. Diámetro interior y peso en kilogramo por metro.**

	SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 33	
PE 40	PN 10		PN 8		PN 6		PN 5		PN 4		-		-		-	
PE 63	PN 16		PN 12.5		PN 10		PN 8		PN 6		PN 5		PN 4		-	
PE 80	PN 20		PN 16		PN 12.5		PN 10		PN 8		PN 6		PN 5		PN 4	
PE 100	PN25		PN20		PN 16		PN 12.5		PN 10		PN 8		PN 6		PN 5	
φ Nominal	Peso Kg./m	Φ <sub>int</sub> mm														
16	0,101	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	0,13	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	0,17	20,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	0,28	26,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	0,292	35,2	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	0,453	44,0	-	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	0,719	55,4	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01	66,0	0,818	67,8	0,675	69,2	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	1,446	79,2	1,172	81,4	0,965	83,0	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	2,152	96,8	1,760	99,4	1,447	101,4	-	-
160	-	-	-	-	-	-	-	-	4,498	141	3,694	144,6	3,022	147,6	-	-
200	-	-	-	-	-	-	-	-	7,021	176,2	5,751	180,8	4,667	184,6	-	-
250	-	-	-	-	-	-	-	-	10,98	220,2	8,894	226,2	7,334	230,6	-	-
315	-	-	-	-	-	-	-	-	17,36	277,6	14,11	285,0	11,63	290,6	-	-
355	-	-	-	-	-	-	-	-	22,10	312,8	17,91	321,2	14,68	327,6	-	-
400	-	-	-	-	-	-	34,39	340,6	28,03	352,4	22,84	361,8	18,61	369,2	15,13	375,2
450	-	-	-	-	-	-	43,52	383,2	35,38	396,6	28,89	407,0	23,64	415,2	19,16	422,0
500	-	-	-	-	-	-	53,72	425,8	43,72	440,6	35,64	452,2	29,13	461,4	23,60	469,0
560	-	-	-	-	-	-	67,27	477,0	54,77	493,6	44,61	506,6	36,48	516,8	29,66	525,2
630	-	-	-	-	-	-	85,12	536,6	69,37	555,2	56,35	570,0	46,18	581,4	37,55	590,8
710	-	-	-	-	-	-	108,1	604,8	88,01	625,8	71,75	642,2	58,65	655,2	47,75	665,8
800	-	-	-	-	-	-	137,3	681,4	111,8	705,0	90,94	723,8	74,23	738,4	60,51	750,2
900	-	-	-	-	-	-	-	-	141,4	793,2	115,1	814,2	94,06	830,6	76,52	864,0
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	175,0	881,4	142,0	904,6	115,0	923,6	94,54	937,8

A continuación, se muestran el análisis realizado en la hora de menor consumo a las 0.00 horas y a la hora de mayor consumo a las 19.00 horas.

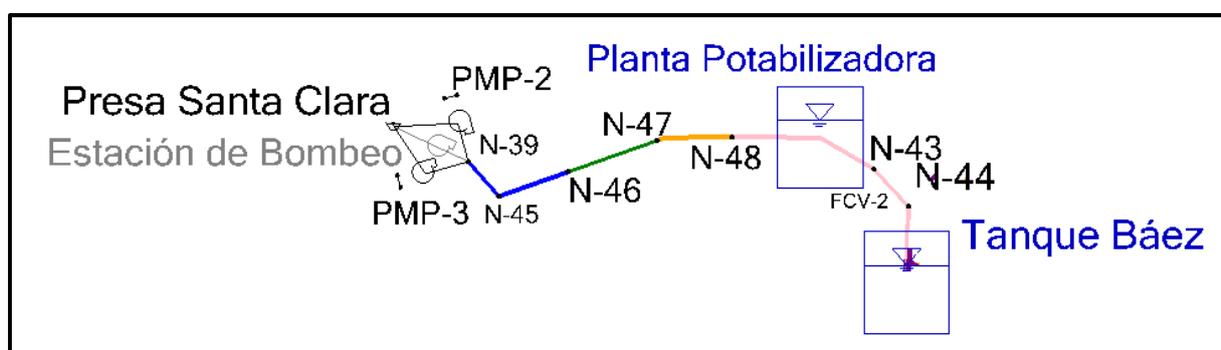
Los resultados obtenidos para el horario de la madrugada luego de aplicar la ecuación (2.13) y la tabla 2.11 se pueden observar a continuación.

**Tabla 2.12. Variables hidráulicas de la conductora principal en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.3)**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (MPa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)	Longitud (m)
N-48	Planta Potabilizadora	5	800	750.2	318.88	0.7	0.89	1,412
N-47	N-48	6	800	738.4	318.88	0.7	1.02	1,497
N-46	N-47	10	800	705	318.88	0.8	1.3	1,513
N-39	N-45	12.5	800	681.4	318.88	0.9	1.23	893
N-45	N-46	12.5	800	681.4	318.88	0.9	1.66	1,639
Planta Potabilizadora	N-43	5	450	422	310.00	2.2	0.15	15
N-43	FCV-2	5	450	422	310.00	2.2	0.09	9
FCV-2	N-44	5	450	422	310.00	2.2	0.11	11
N-44	Tanque Báez	5	450	422	310.00	2.2	0.16	16

**Tabla 2.13. Variables nodos de la conductora principal en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.3)**

Nodo	Elevación(m)	Demanda (l/s)	Presión (kPa)
N-44	250	0	0.46
N-43	250	0	6.14
N-48	227.55	0	29.58
N-47	205.37	0	52.74
N-46	177.71	0	81.64
N-45	156.07	0	104.89
N-39	142.46	0	119.71



**Figura 2.3. Tuberías y Nodos de la conductora principal**

**Tabla 2.14. Variables hidráulicas de la conductora norte en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.4).**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (Mpa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)	Longitud (m)
Tanque Placetas	Poblado de Placetas	6	630	581.4	27.34	0.1	0.02	1,000
Tanque Báez	Báez Independiente	6	200	184.6	3.07	0.1	0.25	2,302
N-24	Guaracabulla	8	800	723.8	185.71	0.5	0.34	1,235
N-25	N-24	8	800	723.8	185.71	0.5	0.41	1,488
N-36	N-25	8	800	723.8	185.71	0.5	0.33	1,193
Tanque Báez	N-37	8	800	723.8	185.71	0.5	0.15	531
N-37	N-36	8	800	723.8	185.71	0.5	0.15	545
N-35	N-27	6	630	581.4	185.00	0.7	1.86	2,324
N-38	N-35	6	630	581.4	185.00	0.7	0.49	609
N-27	FCV-3	6	630	581.4	185.00	0.7	5.88	7,347
FCV-3	Tanque Placetas	6	630	581.4	185.00	0.7	0	5
Guaracabulla	N-26	8	630	570	185.00	0.7	1.62	1,837
N-26	N-38	8	630	570	185.00	0.7	0.61	690

**Tabla 2.15. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora norte en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.4)**

Nodo	Elevación(m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
Poblado de Placetas	200	27.3385	20.83
N-27	193.58	0	50.66
N-35	187	0	59.08
N-38	185.28	0	61.29
N-26	183.32	0	63.85
N-37	184.27	0	65.75
N-36	183.52	0	66.35
N-25	181.87	0	67.66
N-24	179.82	0	69.3
Guaracabulla	178.12	0.7064	70.65
Báez Independiente	171	3.0666	78.89

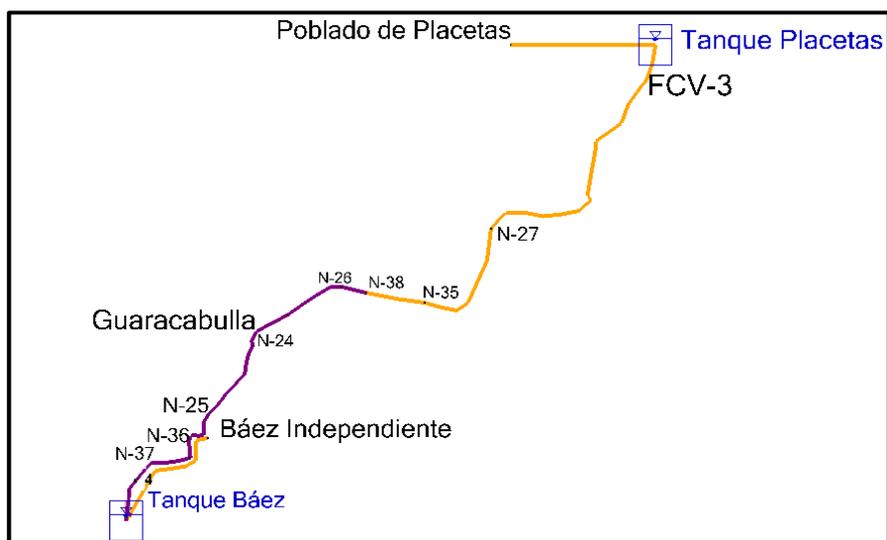


Figura 2.4. Tuberías y Nodos de la conductora norte.

Tabla 2.16. Variables hidráulicas de la conductora sur en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.5).

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (Mpa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)	Longitud (m)
Chucho Rua	PRV-5	10	40	35.2	0.0222	0.02	0	5
PRV-5	N-CR	10	40	35.2	0.0222	0.02	0.02	495
Lotería	PRV-2	10	75	66	0.0835	0.02	0	5
PRV-2	N-L	10	63	55.4	0.0835	0.02	0.02	495
Punta Diamante	PRV-1	10	40	35.2	0.0688	0.1	0	5
PRV-1	N- PD	10	40	35.2	0.0688	0.1	0.25	825
Agabama	PRV-6	10	160	141	1.4023	0.1	0	5
Tanque Fomento	Poblado de Fomento	6	400	369.2	12.4949	0.1	0.07	1,400
PRV-6	N-A	6	110	101.4	1.4023	0.2	0.09	195
Chucho Rua	N-33	12.5	400	340.6	86.4024	0.9	2.6	985
N-31	N-32	12.5	400	340.6	86.4246	0.9	2.14	811
N-32	Chucho Rua	12.5	400	340.6	86.4246	0.9	2.07	782
Lotería	N-28	8	355	321.2	86.5675	1.1	2.42	686
N-28	Cooperativa	8	355	321.2	86.5675	1.1	3.32	941

**Tabla 2.16. Variables hidráulicas de la conductora sur en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.5). Continuación.**

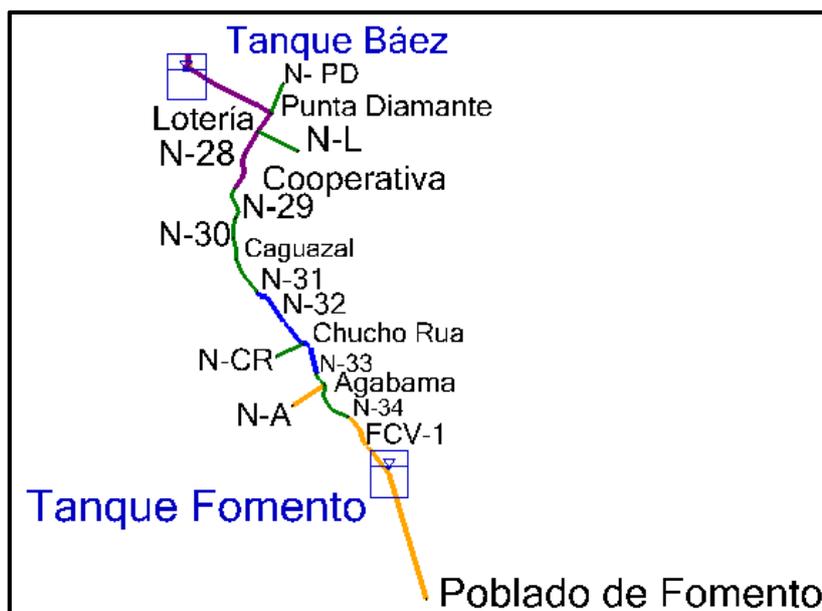
Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (Mpa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)	Longitud (m)
Tanque Báez	Punta Diamante	8	355	321.2	86.7198	1.1	6.51	1,839
Cooperativa	N-29	10	355	312.8	86.5103	1.1	3.16	789
N-29	N-30	10	355	312.8	86.5103	1.1	3.7	923
N-30	Caguazal	10	355	312.8	86.5103	1.1	2.69	671
Agabama	N-34	10	315	277.6	85	1.4	8.72	1,256
N-33	Agabama	10	315	277.6	86.4024	1.4	6	839
Caguazal	N-31	10	315	277.6	86.4246	1.4	4.9	684
FCV-1	Tanque Fomento	6	250	230.6	85	2	0.07	4
N-34	FCV-1	6	250	230.6	85	2	18.29	1,068
Punta Diamante	Lotería	8	250	226.2	86.651	2.2	10.18	522

**Tabla 2.17. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora sur en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.5).**

Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
N-CR	106	0.0222	17.9
N-A	110	1.4023	25.39
N-L	160	0.0835	29.13
Poblado de Fomento	120	12.4949	30.67
N- PD	166	0.0688	48.77
N-34	118.47	0	73.27
Lotería	159.05	0	74.41
Punta Diamante	165	0	78.63
N-28	151.01	0	80.02
Cooperativa	140	0.0573	87.7
N-29	134.56	0	89.97
N-30	128.18	0	92.64
Caguazal	123.55	0.0857	94.57
Agabama	105	0	95.41
N-31	114.19	0	99.03
N-33	99.19	0	107.2

**Tabla 2.17. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora sur en el horario de la madrugada a las 0.00 horas (ver figura 2.5). Continuación.**

Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
N-32	103.1	0	107.96
Chucho Rua	92.39	0	116.59



**Figura 2.5. Tuberías y Nodos de la conductora sur.**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos luego de efectuar los cálculos en el horario de mayor consumo del sistema.

**Tabla 2.18. Variables hidráulicas de la conductora principal en el horario de mayor consumo del sistema a las 19.00 horas.**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (MPa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)
N-48	Planta Potabilizadora	5	800	750.2	311.3568	0.7	0.86
N-47	N-48	6	800	738.4	311.3568	0.73	0.98
N-46	N-47	10	800	705	311.3568	0.8	1.24
N-39	N-45	12.5	800	681.4	311.3568	0.85	1.18
N-45	N-46	12.5	800	681.4	311.3568	0.85	1.59
Planta Pot	N-43	5	450	422	310	2.22	0.15

**Tabla 2.18. Variables hidráulicas de la conductora principal en el horario de mayor consumo del sistema a las 19.00 horas. Continuación.**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (MPa)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)
N-43	FCV-2	5	450	422	310	2.22	0.09
FCV-2	N-44	5	450	422	310	2.22	0.11
N-44	Tanque Báez	5	450	422	310	2.22	0.16

**Tabla 2.19. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora principal en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas.**

Nodo	Elevación	Demanda (l/s)	Presión (m)
N-44	250	0	0.97
N-43	250	0	8.54
N-48	227.55	0	31.94
N-47	205.37	0	55.06
N-46	177.71	0	83.9
N-45	156.07	0	107.08
N-39	142.46	0	121.85

**Tabla 2.20. Variables hidráulicas de la conductora norte en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas.**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (Mpa)	Diámetro nominal(mm)	Diámetro interior(mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)
N-24	Guaracabulla	6	630	723.8	193.47	0.47	0.37
N-25	N-24	6	200	723.8	193.47	0.47	0.44
N-36	N-25	8	800	723.8	193.47	0.47	0.36
Tanque Báez	N-37	8	800	723.8	193.47	0.47	0.16
N-37	N-36	8	800	723.8	193.47	0.47	0.16
N-35	N-27	8	800	581.4	185.00	0.7	1.86
N-38	N-35	8	800	581.4	185.00	0.7	0.49
N-27	FCV-3	6	630	581.4	185.00	0.7	5.88
FCV-3	Tanque Placetas	6	630	581.4	185.00	0.7	0
Guaracabulla	N-26	6	630	570	185.00	0.72	1.62
N-26	N-38	6	630	570	185.00	0.72	0.61
TanquePlacetas	PobladoPlacetas	8	630	581.4	328.06	1.24	2.31
Tanque Báez	BáezIndependiente	8	630	184.6	36.79	1.37	24.73

**Tabla 2.21. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora norte en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas.**

Nodo	Elevación	Demanda (l/s)	Presión (m)
Poblado de Placetas	200	328.0617	19.15
N-27	193.58	0	51.06
Báez Independiente	171	36.799	54.97
N-35	187	0	59.48
N-38	185.28	0	61.69
N-26	183.32	0	64.25
N-37	184.27	0	66.25
N-36	183.52	0	66.84
N-25	181.87	0	68.12
N-24	179.82	0	69.72
Guaracabulla	178.12	8.4771	71.05

**Tabla 2.22. Variables hidráulicas de la conductora sur en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas.**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (MPa)	Diámetro nominal(mm)	Diámetro interior(mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)
Chucho Rua	PRV-5	10	40	35.2	0.2664	0.27	0.02
PRV-5	N-CR	10	40	35.2	0.2664	0.27	1.85
Lotería	PRV-2	10	75	66	1.0017	0.29	0.01
PRV-2	N-L	10	63	55.4	1.0017	0.42	2.36
Punta Diamante	PRV-1	10	40	35.2	0.8258	0.85	0.15
PRV-1	N- PD	10	40	35.2	0.8258	0.85	25.08
Agabama	PRV-6	10	160	141	16.828	1.08	0.05
Chucho Rua	N-33	6	400	340.6	101.828	1.12	3.53
N-31	N-32	6	110	340.6	102.0944	1.12	2.92
N-32	Chucho Rua	12.5	400	340.6	102.0944	1.12	2.81
Lotería	N-28	12.5	400	321.2	103.81	1.28	3.39
N-28	Cooperativa	12.5	400	321.2	103.81	1.28	4.65
Tanque Báez	Punta Diamante	8	355	321.2	105.6375	1.3	9.38

**Tabla 2.22. Variables hidráulicas de la conductora sur en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas. Continuación.**

Nodo inicial	Nodo final	Presión nominal (MPa)	Diámetro nominal(mm)	Diámetro interior(mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdidas (m)
Cooperativa	N-29	8	355	312.8	103.1228	1.34	4.38
N-29	N-30	8	355	312.8	103.1228	1.34	5.13
N-30	Caguazal	10	355	312.8	103.1228	1.34	3.72
Tanque Fomento	Poblado de Fomento	10	355	369.2	149.9393	1.4	6.93
Agabama	N-34	10	355	277.6	85	1.4	8.72
N-33	Agabama	10	315	277.6	101.828	1.68	8.14
Caguazal	N-31	10	315	277.6	102.0944	1.69	6.67
FCV-1	Tanque Fomento	10	315	230.6	85	2.04	0.07
N-34	FCV-1	6	250	230.6	85	2.04	18.29
PRV-6	N-A	6	250	101.4	16.828	2.08	9.1
Punta Diamante	Lotería	8	250	226.2	104.8117	2.61	14.48

**Tabla 2.23. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora sur en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas.**

Nodo	Elevación (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)
N-CR	106	0.2664	16.07
N-A	110	16.828	16.39
N- PD	166	0.8258	23.99
Poblado de Fomento	120	149.9393	24.48
N-L	160	1.0017	26.79
N-34	118.47	0	54.33
Lotería	159.05	0	67.76
N-28	151.01	0	72.4
Punta Diamante	165	0	76.28
Agabama	105	0	76.47
Cooperativa	140	0.6872	78.76
N-29	134.56	0	79.82
N-30	128.18	0	81.06
Caguazal	123.55	1.0283	81.97
N-31	114.19	0	84.66

**Tabla 2.23. Variables hidráulicas de los nodos de la conductora sur en el horario de mayor consumo del sistema 19.00 horas. Continuación.**

<b>Nodo</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Presión (m)</b>
N-33	99.19	0	90.39
N-32	103.1	0	92.82
Chucho Rúa	92.39	0	100.7

**Conclusión parcial:**

Se determinó la población para la cual luego se realizó el diseño del esquema de abasto de agua potable, la potencia de bombeo, los diámetros y presiones necesarias para que el agua llegue sin problemas hasta los tanque en cada pueblo, dichos tanques tienen una capacidad suficiente para enfrentar el día de mayor consumo durante todo el año.

### Capítulo 3 Funcionalidad del sistema.

#### 3.1 Esquema hidráulico

A partir de los cálculos realizados en el capítulo anterior, se obtuvo como resultado el esquema (ver figura 3.1) que tiene tuberías con una longitud total de 45 km para una población de 68 929 habitantes por lo que el índice de longitud de tuberías/habitantes es de 0.6528 m, que varían su diámetro en función de las presiones nominales de manera que se cumpla con la entrega requerida, además cuenta con 36 nodos para controlar las presiones.

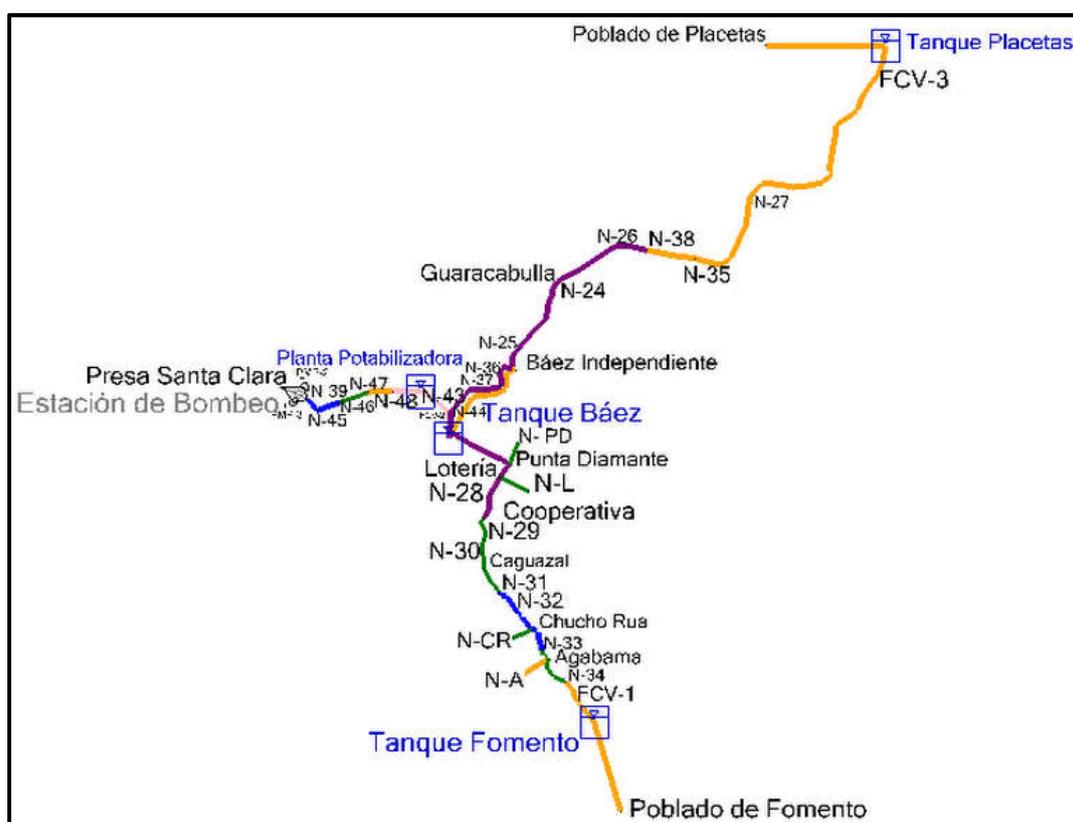


Figura 3.1. Esquema hidráulico.

A continuación, se muestran los diámetros y presiones nominales utilizadas para diseñar el esquema.

**Tabla 3.1 Diámetros y presiones nominales.**

<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>PN5 (MPa)</b>	<b>PN6 (MPa)</b>	<b>PN8 (MPa)</b>	<b>PN10 (MPa)</b>	<b>PN12.5 (MPa)</b>
800	1	1	5	1	2
630	-	5	2	-	-
450	4	-	-	-	-
400	-	2	-	-	3
355	-	-	3	3	-
315	-	-	-	3	-
250	-	2	1	-	-
200	-	1	-	1	-
160	-	-	-	1	-
110	-	1	-	-	-
75	-	-	-	1	-
63	-	-	-	1	-
40	-	-	-	4	-
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>5</b>

Cantidad de tuberías según su diámetro

- 10 tuberías con diámetro nominal de 800 mm
- 7 tuberías con diámetro nominal de 630 mm
- 4 tuberías con diámetro nominal de 450 mm
- 5 tuberías con diámetro nominal de 400 mm
- 6 tuberías con diámetro nominal de 355 mm
- 3 tuberías con diámetro nominal de 315 mm
- 2 tuberías con diámetro nominal de 250 mm
- 2 tuberías con diámetro nominal de 200 mm
- 1 tuberías con diámetro nominal de 160 mm
- 1 tuberías con diámetro nominal de 110 mm
- 1 tuberías con diámetro nominal de 75 mm
- 1 tuberías con diámetro nominal de 63 mm
- 4 tuberías con diámetro nominal de 40 mm

Cantidad de tuberías según su presión nominal.

- 5 tuberías de presión nominal 5 MPa
- 12 tuberías de presión nominal 6 MPa
- 11 tuberías de presión nominal 8 MPa
- 15 tuberías de presión nominal 10 MPa
- 5 tuberías de presión nominal 12.5 MPa

El esquema obtenido durante el horario de la madrugada, a las 0.00 horas, las velocidades oscilan entre 0.02 y 2.22 m/s, debido a que el consumo de agua es escaso, con un total de pérdidas en todo el sistema de 96.10 m. Las presiones varían desde un mínimo de 0.46 m a un máximo de 119.71 m, en este horario no es necesario presiones tan altas, esto se pudiera controlar colocando una válvula reguladora de presión a la salida del Tanque de Báez con el objetivo de atenuar las fugas, los nodos que presentan presiones pequeñas no son nodos de consumo y se encuentran muy próximos a los depósitos, por lo que no es posible que tengan altas presiones, en los nodos de consumo se cumple con la presión requerida para posterior abasto a la población, dichas presiones no sobrepasan los 50 m ya que si lo hiciera afectaría los equipos sanitarios en las viviendas en una posterior etapa de abasto.

Durante el horario de mayor consumo a las 19.00 horas las velocidades del sistema varían de 0.3 a 2.61 m/s estas velocidades están dentro del rango (0.3-7) m/s que oscila del valor mínimo al máximo posible según lo establecido en la NC 53 – 121 Acueducto. Especificaciones de proyecto.

Nota: Cuando se tomen valores de velocidades máximas se calculará el efecto del golpe de ariete y en consecuencia se proyectará la tubería o se preverán los medios auxiliares para eliminar su efecto en base a la mejor alternativa técnica económica.

En esta investigación las velocidades no sobrepasan los 3 m/s de velocidad por lo que no se hizo necesario el cálculo del golpe de ariete.

En este pico del consumo las pérdidas totales del sistema son de 187.30 m porque existe más demanda de agua y las presiones en los nodos de consumo van de 16.07 m

a 81.97 m. El caso en que las presiones son mayores de 50 m son debido a que los nodos de consumo están en la misma conductora, pero se soluciona el problema colocando tuberías de distintas presiones nominales de manera que resistan estas presiones.

### **3.2 Análisis en periodo extendido del sistema.**

El análisis en periodo extendido consiste en simular lo que pudiera pasar durante un tiempo determinado respecto al llenado de los tanques, a las presiones en diferentes horas, a las velocidades, etc.

En este caso se analizó durante 24 h el llenado y vaciado de los tanques y el comportamiento de la Estación de bombeo.

#### **3.2.1 Comportamiento de los tanques.**

Para realizar un análisis en período extendido, se debe efectuar previamente el diseño de los depósitos como el diseño previo realizado en el epígrafe 2.2 pues sino tienen el tamaño adecuado, difícilmente puedan funcionar bien y si son demasiado grandes, hemos derrochado recursos innecesariamente.

Es importante que la tendencia de los depósitos sea al llenado, es decir, que al final del día el porcentaje de llenado sea mayor que al inicio, de lo contrario, en un período más prolongado de tiempo se quedará vacío, con la consiguiente interrupción en la entrega. Cuando el caudal que entra al depósito como promedio, es menor que el caudal máximo diario la tendencia es a vaciarse, es decir se tiene un porcentaje de llenado inicial mayor que el final. Si el caudal que entra al depósito como promedio es algo mayor que caudal máximo diario la tendencia será a llenarse, es decir, al final del día el porcentaje de llenado será ligeramente mayor que el inicial, condición que se desea en todo depósito de regulación.

Debe buscarse también que el porcentaje que queda por llenarse en tiempo de poca demanda sea aproximadamente igual al que queda por vaciarse en tiempo de máxima demanda. Para lograr este equilibrio debe incrementarse el llenado inicial si queda un porcentaje alto por llenar y disminuirlo si queda un volumen considerable por vaciar.

Se puede observar un correcto equilibrio en los siguientes resultados:

### Cisterna de aguas claras

La cisterna de aguas claras se representa en forma de depósito con un volumen de 480 m<sup>3</sup> de manera que la tendencia sea al llenado porque el caudal de entrega es ligeramente superior al requerido.

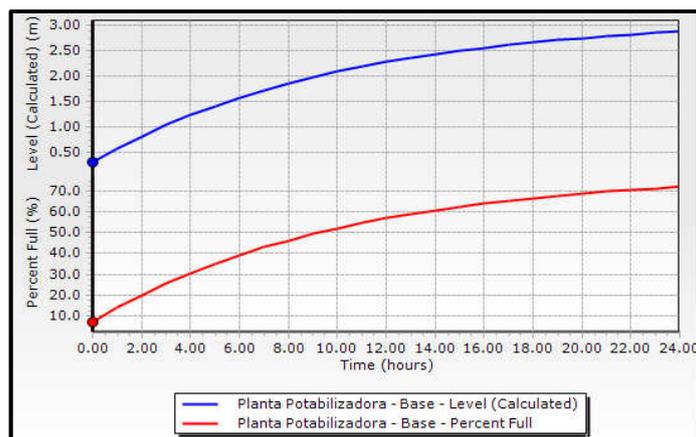


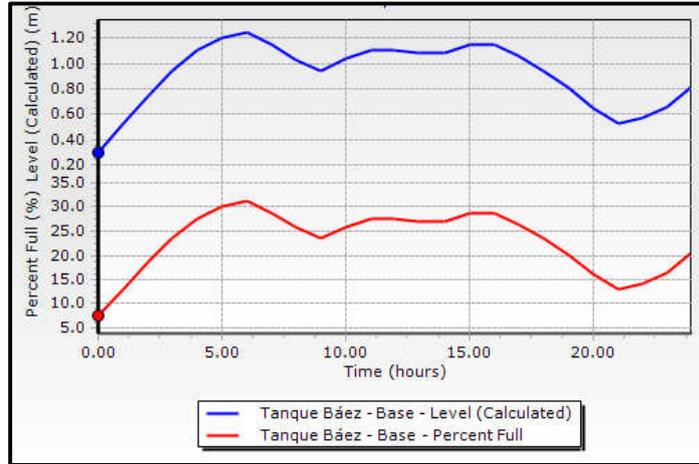
Figura 3.2. Llenado de la Cisterna de aguas claras.

### Depósito de Báez

Para un nivel en el reservorio de 135 m, con un nivel de llenado inicial en el depósito de 250.30 m se obtienen valores de llenado inicial y final de 7.5 y 20.6 % respectivamente para un llenado total de 31.1 % (ver figura 3.3).

Esto quiere decir que el tanque es más grande que lo requerido, pero se hace necesario mantener ese volumen por si existiera un mal funcionamiento, una ruptura en la planta o mala operación de la válvula de control de flujo. Dicho tanque será capaz de asimilar 2 horas de entrega ante una avería menor.

Este depósito es un tanque intermedio, no abastece directamente a los pueblos, sino que primero hace la entrega a otros depósitos y estos son los encargados de distribuir el líquido.

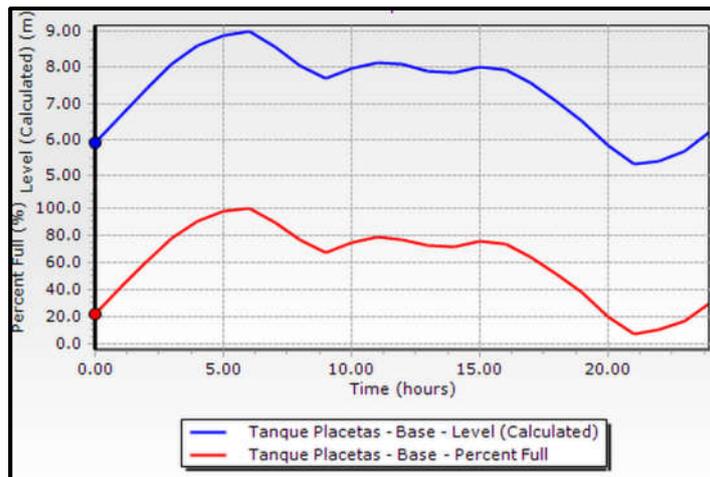


**Figura 3.3. Llenado del Tanque de Báez.**

### Depósito de Placetas

Para un nivel en el reservorio de 135 m, con un nivel de llenado inicial en el depósito de 220.90 m se obtienen valores de llenado inicial y final de 22.5 y 30.4 % respectivamente para un llenado total de 99.9 % (ver figura 3.4)

Esto quiere decir que el tanque está dimensionado correctamente para la demanda del poblado de Placetas, dicho tanque tiende a llenarse lo que es beneficioso porque en caso de averías en el sistema quedará una reserva de agua evitando la interrupción en la entrega.



**Figura 3.4. Llenado del Tanque de Placetas.**

## Depósito de Fomento

Para un nivel en el reservorio de 135 m, con un nivel de llenado inicial en el depósito de 150.80 m se obtienen valores de llenado inicial y final de 20 y 30.3 % respectivamente para un llenado total de 95.4 % (ver figura 3.5)

Esto quiere decir que el tanque esta dimensionado correctamente para la demanda del poblado de Fomento, dicho tanque tiende a llenarse lo que es beneficioso porque en caso de averías en el sistema quedará una reserva de agua.

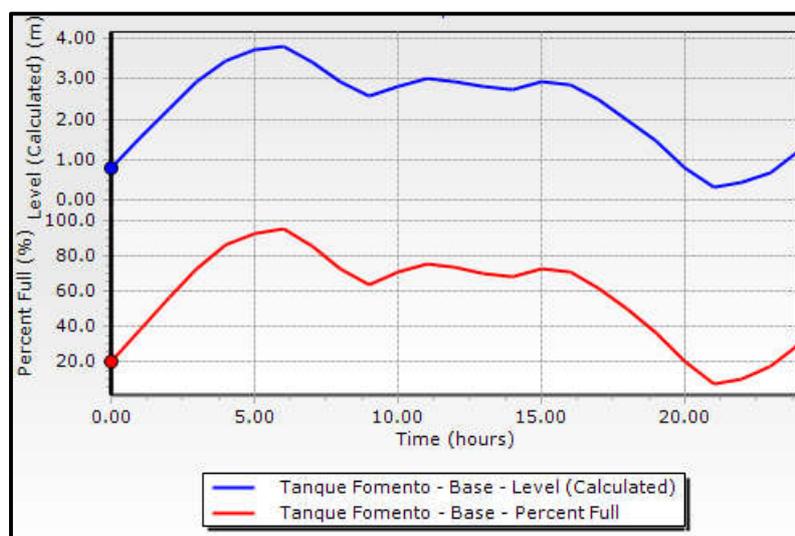


Figura 3.5 Llenado de Tanque de Fomento.

### 3.2.2 Comportamiento de la Estación de Bombeo.

La Estación de Bombeo consta de 3 bombas, 2 instaladas y 1 de reserva en caso de avería o interrupción del sistema. Estas bombas aportan un caudal promedio ligeramente superior, es por ello que en algún momento el tanque pueda llenarse.

En caso de llenado del depósito las bombas están controladas para que automáticamente se apaguen y se detenga el bombeo.

Las dos bombas en cuestión trabajan próximas a su punto de diseño solo una diferencia del 1% respecto al promedio de carga y 2% respecto al promedio del caudal. Esto es beneficioso porque aumenta la durabilidad del equipo de bombeo, la

estabilidad en la entrega del caudal, existe mayor eficiencia y menor consumo energético.

El consumo energético por bombas es de 239.1 kW con motores que consumen 270 kW, según NC 800: Reglamento electrotécnico cubano para instalaciones eléctricas en edificaciones, para un consumo energético total de 4.15 GWh.

### **3.3 Análisis técnico - económico y ambiental del sistema.**

Durante la preparación previa de los proyectos se requiere de negociaciones y algunas evaluaciones preliminares de lo que se pretende desarrollar, es necesario la evaluación de la factibilidad o no de las obras. (Díaz, 2007)

Desde el punto de vista **técnico** el sistema cumple con los diámetros y presiones requeridos en cada tramo de tubería para una correcta entrega de agua en los puntos donde exista demanda, según lo establecido en la Norma Cubana 969 – 2013 Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación (ver tablas de la 2.3 a la 2.23).

Desde el punto de vista **económico** se puede analizar cada elemento del esquema de la siguiente forma:

#### **Conductoras**

En la actualidad las tuberías son adquiridas fundamentalmente en el país con ofertas de la fábrica CIEGOPLAST.

Se puede utilizar la expresión que relaciona diámetro y costo para el cálculo del costo.

$$Y = 0.0889 \times X^{1.2559} \quad (3.1)$$

Donde:

Y = Costo en, \$/m.

X = Diámetro, en mm.

Nota: También se puede determinar el costo por metro de tubería en el anexo 1 de este trabajo. Para obtener los resultados de esta investigación se utilizó la ecuación (3.1) por aportar más precisión en los resultados.

**Tabla 3.2. Costo por diámetros**

Diámetro nominal (mm)	Longitudes (m)	Costo (\$/m)	Costo (\$)
800	11950	393.45	4701759.18
630	13912	291.47	4054927.80
450	51	191.02	9741.85
400	3980	164.75	655710.26
355	5949	141.82	843679.54
315	2779	122.05	339170.86
250	1594	91.30	145533.49
200	2302	68.99	158807.37
160	5	52.13	260.63
110	195	32.56	6349.24
75	5	20.128	100.64
63	495	16.169	8003.85
40	1330	9.140	12155.72
$\Sigma$	44547	1594.97	10916040.85

### Tanque de almacenamiento

Se puede utilizar la siguiente fórmula para el cálculo de costo de los tanques según el Índice Técnico Económico (ITE).

$$Y = 117.45 \times X + 11931 \quad (3.2)$$

Donde:

Y = Costo en \$/módulo.

X = Volumen por módulo, en m<sup>3</sup>.

Nota: También se puede determinar el costo por módulo en el anexo 2 de este trabajo. Para obtener los resultados de esta investigación se utilizó la ecuación 3.2 por aportar más precisión en los resultados.

**Tabla 3.3. Costo por volumen de los tanques.**

Tanque	Volumen (m3)	Costo (\$)
Báez	2419	296042.55
Placetas	3024	367099.8
Fomento	1814	224985.3
$\Sigma$	7257	888127.65

### Estación de Bombeo

El costo del equipo de bombeo para bombas horizontales se realizó por la siguiente ecuación.

$$Y = 6056.7 \times X^{-0.396} \quad (3.3)$$

Donde:

Y = Costo del equipamiento en, \$/kW.

X = Potencia instalada, en kW.

Nota: También se puede determinar el costo equipamiento y de obra civil según la potencia instalada en el anexo 3 y anexo 4 de este trabajo. Para obtener los resultados de esta investigación se utilizó la ecuación (3.3) por aportar más precisión en los resultados.

**Tabla 3.4. Costo de equipamiento.**

Potencia	Costo (\$/kW)	Costo (\$)
540.00	501.68	270904.96

**Tabla 3.5. Costo de obra civil.**

Potencia	Costo (\$/kW)	Costo (\$)
540.00	1665.46	899346.93

El costo total de la Estación de Bombeo es de \$ 1 170 251.89

### Planta potabilizadora.

Según la siguiente clasificación se determinó el tamaño de la planta potabilizadora.

- Menor de 500 habitantes la planta potabilizadora es pequeña

- Entre 500 y 1000 habitantes la planta potabilizadora es mediana.
- Mayor de 1000 habitantes la planta potabilizadora es grande. (Miguel, 2010)

**Tabla 3.6. Costo de equipamiento**

Tamaño de la Planta	Gasto (l/s)	Gasto (m3/h)	\$/m3/h	Costo (\$)
Grande	322	1 159.2	2 400	2 782 080

**Tabla 3.7. Costo de la obra civil**

Tipo	Gasto (l/s)	Gasto (m3/h)	\$/m3/h	Costo (\$)
Planta convencional de tratamiento completo	322	1 159.2	575.4	667 003.68

El costo total de la Planta Potabilizadora es de \$ 3 449 083.68

**Costo total del Esquema de Abasto de agua potable a los pueblos de Placetas, Fomento y otros pueblos aledaños:**

Los costos de inversión son de \$ 16 512 296.27

Los costos anuales son los siguientes:

El costo de energía se expresa durante un año de trabajo del equipo de bombeo, teniendo en cuenta que el precio de la energía es de 0.221 \$/kWh por tanto el costo anual de la energía es de \$ 875 472.0

El costo de mano de obra se representa como el 4% del costo de inversión, por tanto, dicho costo es de \$ 660 491.85

El costo de mantenimiento y reparación es \$ 363 270.52

El costo anualizado total es de \$ 1 899 235

**Línea ambiental**

Con el objetivo de entregar un servicio de abasto de agua adecuado a los poblados descritos, es necesario una planificación y control del funcionamiento de cada elemento que compone este sistema, para evitar daños ecológicos al entorno, tanto en la etapa constructiva como en la explotación.

Entre los aspectos generales del medio natural y socioeconómico donde se pretende desarrollar la obra debe tenerse en cuenta para el proyecto ejecutivo:

- La vegetación
- La fauna
- Los suelos
- El relieve y la geología
- El clima
- Agua
- Aire
- Factores socio-económicos

En la actualidad existen altos niveles de contaminación causados por el hombre y durante el proceso constructivo se generarán algunos problemas de contaminación dentro de los cuales se encuentran:

- Emanaciones de gases y polvo debido a la actividad de los equipos de construcción.
- Presencia de zonas de ruidos propio de la actividad de los equipos de construcción.

Se hace necesario la protección del medio ambiente pues este, con su conjunto de factores físicos, químicos y biológicos, hace del entorno en que se habita un lugar placentero para vivir y desarrollarse.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones:**

1. Después de realizar esta investigación se elaboró el esquema hidráulico para solucionar la problemática actual que presentan los municipios de Placetas y Fomento y sus poblaciones aledañas relacionadas con el abasto de agua potable.
2. El cálculo hidráulico del sistema está en función de las poblaciones actuales, de las demandas de agua de cada pueblo y se cumple con las presiones requeridas en cada tramo según las normas cubanas vigentes.
3. Se realizó un análisis técnico - económico del sistema empleando un Índice Técnico Económico facilitado por la Empresa de Proyectos e Investigaciones Hidráulicas (IPH) de Villa Clara y se obtuvo que para un volumen total de 7 257 m<sup>3</sup> se necesitan 45 km de conductora para un costo total del sistema de \$ 16 512 296.27.

### **Recomendaciones:**

1. Se recomienda realizar el diseño de las redes distribución para completar la solución de abasto de agua potable a los pueblos de Placetas y Fomentos.
2. Se propone realizar un estudio hidrogeológico detallado en la zona de Zulueta, donde se conoce que hay apreciables recursos hídricos.
3. Se recomienda en etapas posteriores el estudio del golpe de ariete que se provoca en el sistema debido a que existen tramos con presiones altas que en algún momento puedan causar daños al mismo.

## Referencias Bibliográficas

### Uncategorized References

2008. *Componentes de un Sistema de Abastecimiento* [Online]. Available: <https://saraemor.wordpress.com/> [Accessed].
- 2010. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable.
- (AECID), L. A. E. D. C. I. P. E. D. 2019. *La cooperación española llevó agua potable a 1,5 millones de personas hasta 2017* [Online]. Available: <https://www.iagua.es/> [Accessed].
- ALFONSO ENRIQUE SUÁREZ REYTOR, N. V. M. D. L., JOSÉ BIENVENIDO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, ARMANDO O. HERNÁNDEZ VALDÉS , ERIC CABRERA ESTUPIÑÁN 2013. *Introducción al planeamiento y la operación de los recursos hidráulicos*.
- BENTLEY, C. 2013. *Síntesis de diferencias entre Bentley WaterCAD/GEMS V8i y EPANET* [Online]. Available: <https://communities.bentley.com/> [Accessed].
- CLARA, E. D. A. H. D. V. 2005. Ficha técnica y electromecánica Presa Santa Clara.
- CUBADEBATE. 2017. *¿Por qué una Ley de Aguas para Cuba?* [Online]. Available: <http://www.cubadebate.cu/> [Accessed].
- DÍAZ, J. D. Q. A. 2007. Índices técnico-económicos para la evaluación de inversiones de obras hidráulicas.
- DURÁN, E. M. D. A. P. Y. A. D. 2014. *¿Qué son las estaciones de bombeo?* [Online]. Available: <http://www.emapad.gob.ec/> [Accessed].
- GARCIA, Y. 2012. *Los recursos hídricos en Cuba* [Online]. Available: <http://www.eumed.net/> [Accessed].
- GONZÁLEZ, C. J. 2018. *Diseño de proyecto de abasto a las localidades de los municipios Ranchuelo y Santo Domingo*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- GONZÁLEZ, E. 2015. Caracterización demográfica del municipio de Placetas en la provincia de Villa Clara. Available: <http://www.scielo.org/>.
- INRH 2013. Política Nacional del Agua.
- MARTÍNEZ, F. 2016. Software para el análisis de redes. El programa epanet
- MIGUEL, E. O. D. 2010. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*.
- NIETO, N. 2011. La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas.
- NORMALIZACIÓN, C. E. D. 1984. Norma Cubana (NC) 53 – 121 Acueducto. Especificaciones de Proyecto
- NORMALIZACIÓN, C. E. D. 2013a. Instructivo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).

- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013b. Norma Cubana (NC) 969 – 2013 Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013c. Norma Cubana (NC) 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 4: Requisitos del proyecto de ingeniería básica o anteproyecto
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013d. Norma Cubana (NC) 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 5: Requisitos del proyecto ingeniería de detalles o ejecutivo
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013e. Norma Cubana (NC) 973 – 2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2014. Norma Cubana (NC) 1021 – 2014 Higiene comunal —Fuentes de abastecimiento de agua — Calidad y protección sanitaria.
- PÉREZ, D. *Orientaciones para el anteproyecto de una estación de bombeo.*
- TELEVISA, N. 2018. *ONU: Más de dos mil millones de personas en el mundo carecen de acceso a agua potable.* [Online]. [Accessed].

## Bibliografía

1. 2008. *Componentes de un Sistema de Abastecimiento* [Online]. Available: <https://saraemor.wordpress.com/> [Accessed].
  - a. 2010. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable.
2. (AECID), L. A. E. D. C. I. P. E. D. 2019. *La cooperación española llevó agua potable a 1,5 millones de personas hasta 2017* [Online]. Available: <https://www.iagua.es/> [Accessed].
3. ALFONSO ENRIQUE SUÁREZ REYTOR, N. V. M. D. L., JOSÉ BIENVENIDO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, ARMANDO O. HERNÁNDEZ VALDÉS , ERIC CABRERA ESTUPIÑÁN 2013. *Introducción al planeamiento y la operación de los recursos hidráulicos*.
4. ÁLVAREZ, F. *Tratamiento de agua para consumo*.
5. ARROJO, P. 2009. El reto ético de la crisis global del agua. 21.
6. BENTLEY, C. 2013. *Síntesis de diferencias entre Bentley WaterCAD/GEMS V8i y EPANET* [Online]. Available: <https://communities.bentley.com/> [Accessed].
7. BENTLEY, C. 2013. *Software de análisis y diseño de sistemas de distribución de agua* [Online]. [Accessed].
8. CLARA, E. D. A. H. D. V. 2005. Ficha técnica y electromecánica Presa Santa Clara.
9. CUBADEBATE. 2017. *¿Por qué una Ley de Aguas para Cuba?* [Online]. Available: <http://www.cubadebate.cu/> [Accessed].
10. DÍAZ, J. D. Q. A. 2007. Índices técnico-económicos para la evaluación de inversiones de obras hidráulicas.
11. DURÁN, E. M. D. A. P. Y. A. D. 2014. *¿Qué son las estaciones de bombeo?* [Online]. Available: <http://www.emapad.gob.ec/> [Accessed].
12. ESCAMBRAY, P. 2019. *Cuando el agua se pone jibara* [Online]. Available: <http://www.escambray.cu/> [Accessed].
13. FARIÑAS, F. E. 2018. Tarea de proyecto esquema solución abasto poblados de placetas y fomento desde presa santa clara.
14. GARCÍA, A. 1996. *Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*.

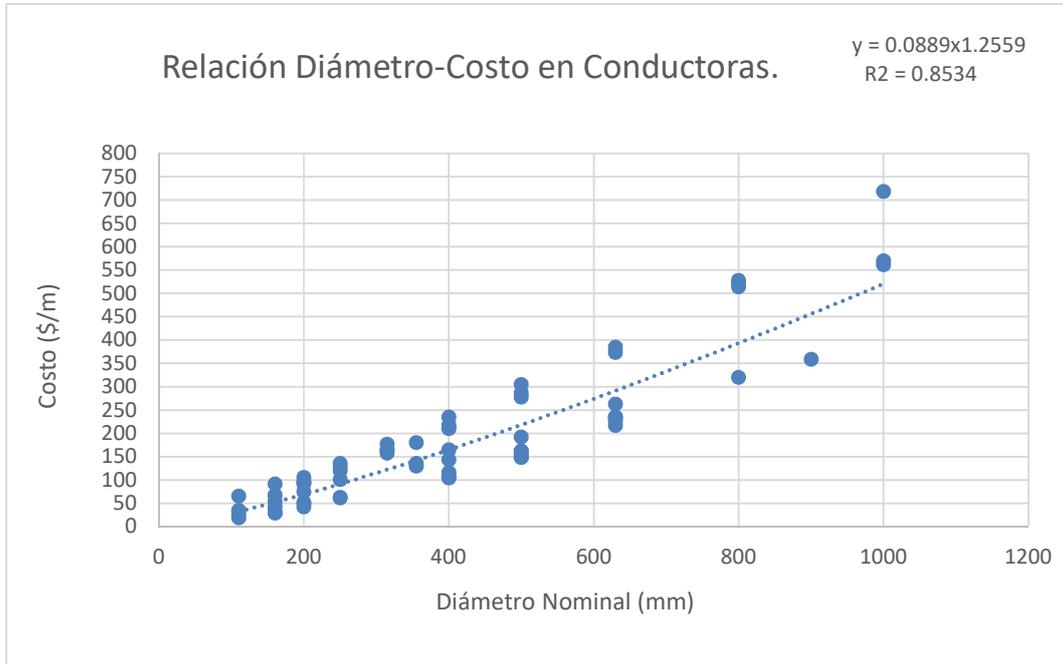
15. GARCIA, Y. 2012. *Los recursos hídricos en Cuba* [Online]. Available: <http://www.eumed.net/> [Accessed].
16. GONZÁLEZ, C. J. 2018. *Diseño de proyecto de abasto a las localidades de los municipios Ranchuelo y Santo Domingo*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
17. GONZÁLEZ, E. 2015. Caracterización demográfica del municipio de Placetas en la provincia de Villa Clara. Available: <http://www.scielo.org/>.
18. HATCH, S. S. G. 2012. *El agua en México*.
19. INFORMACIÓN, O. N. D. E. Y. E. 2018. ANUARIO ESTADÍSTICO DE PLACETAS 2017. 62.
20. INFORMACIÓN, O. N. D. E. Y. E. 2018. ANUARIO ESTADÍSTICO DE SANCTI SPÍRITUS 2017. 221.
21. INRH 2013. Política Nacional del Agua.
22. JIMÉNEZ, J. M. *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. UNIVERSIDAD VERACRUZANA.
23. JIMÉNEZ, M. G. 2004. *El Municipio de Placetas Topografía y Economía. Ciudades, Pueblos y Lugares de Cuba*
24. [Online]. Available: <http://www.guije.com/> [Accessed].
25. JIMÉNEZ, M. G. 2005. *El Municipio de Fomento. Ciudades, Pueblos y Lugares de Cuba* [Online]. Available: <http://www.guije.com/> [Accessed].
26. LEONIDAS, D. 2010. *Estudios y Diseños definitivos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la comunidad de Tutucán, Cantón Paute, Provincia del Azuay*. Universidad de Cuenca.
27. MARTÍNEZ, F. 2016. Software para el análisis de redes. El programa epanet
28. MIGUEL, E. O. D. 2010. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*.
29. MORALES, D. 2008. *Metodología para abastecimiento de agua en regiones rurales, dentro del proceso inversionista*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
30. NIETO, N. 2011. La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas.

31. NORMALIZACIÓN, C. E. D. 1984. Norma Cubana (NC) 53 – 121 Acueducto. Especificaciones de Proyecto
32. NORMALIZACIÓN, C. E. D. 2013. Instructivo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).
33. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013. Norma Cubana (NC) 969 – 2013 Tuberías presurizadas de polietileno - especificaciones para el cálculo, diseño, transportación, manipulación, almacenamiento y colocación.
34. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013. Norma Cubana (NC) 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 4: Requisitos del proyecto de ingeniería básica o anteproyecto
35. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013. Norma Cubana (NC) 971 – 2013 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos para inversiones de acueducto — parte 5: Requisitos del proyecto ingeniería de detalles o ejecutivo
36. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013. Norma Cubana (NC) 973 – 2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.
37. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2014. Norma Cubana (NC) 1021 – 2014 Higiene comunal — Fuentes de abastecimiento de agua — Calidad y protección sanitaria.
38. NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2017. Norma Cubana (NC) 800:2017. Reglamento electrotécnico cubano para instalaciones eléctricas en edificaciones.
39. ORTEGA, E. 2010. Manual para la implementación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.
40. PÉREZ, D. *Orientaciones para el anteproyecto de una estación de bombeo.*
41. PÉREZ, D. 1999. *Máquinas Hidráulicas Rotodinámicas.*
42. PINO V. EDWIN, V. C. A., CONDORI P. FRANZ, MEJIA M. JESUS, CHAVARRI V. EDUARDO & ALFARO R. LUIS 2017. Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado En Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos.
43. POPULAR, A. N. D. P. 2017. LEY No. 124 DE LAS AGUAS TERRESTRES.
44. QUINTANA, J. D. Situación de los sistemas de agua en Cuba. Cantidad de agua. 2018. 29.
45. RODRÍGUEZ, J. L. 2014. Cuba y sus perspectivas energéticas: una revisión reciente (II).

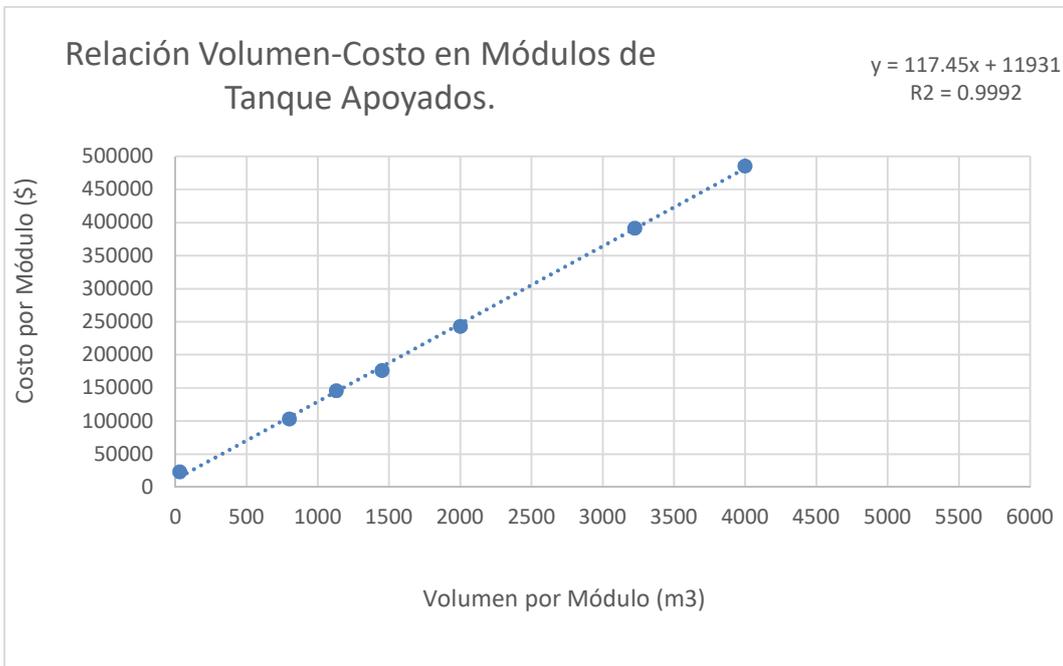
46. ROSSMAN, L. A. 2001. *EPANET 2: Manual de Usuario*.
47. SOCORRO, Y. 2019. *Determinación de la Disponibilidad de Agua en la Cuenca Hidrogeológica CFI Hanábana.*, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
48. SYSTEMS, B. *Water Distribution Analysis and Design Software* [Online]. Available: <https://www.bentley.com/> [Accessed].
49. TELEVISA, N. 2018. *ONU: Más de dos mil millones de personas en el mundo carecen de acceso a agua potable.* [Online]. [Accessed].
50. VISSCHER, E. H. H. J. T. 1990. *Fuentes Renovables de Energía para Sistemas de Abastecimiento de Agua.*

# ANEXOS

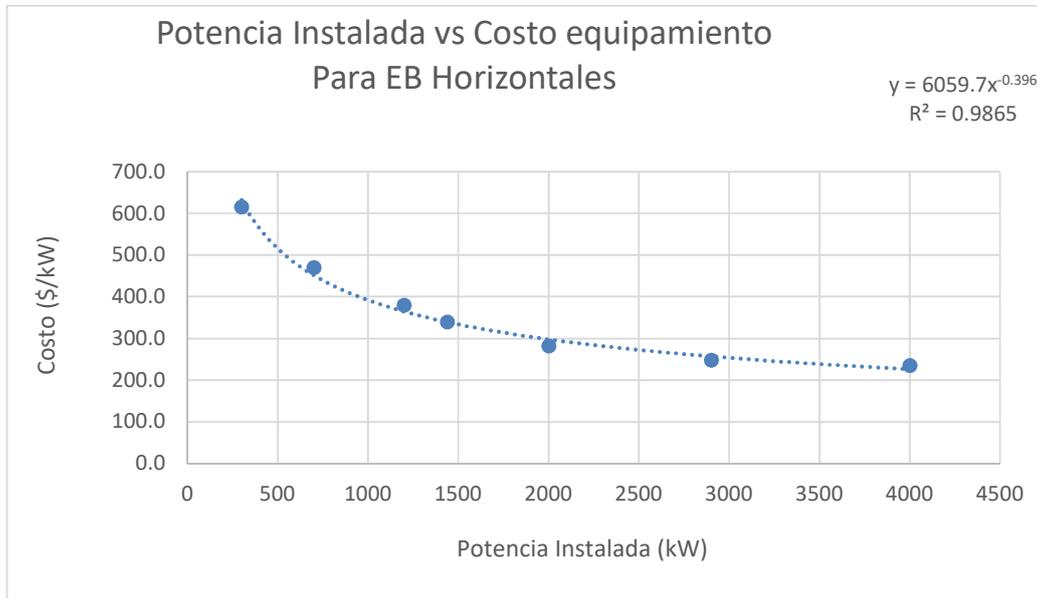
Anexo 1. Gráfico para determinar los costos por metro de tubería



Anexo 2. Gráfico para determinar el costo de los tanques según el volumen



Anexo 3. Gráfico para calcular el costo de la Estación de bombeo según costo de equipamiento.



Anexo 4. Gráfico para calcular el costo de la Estación de bombeo según costo de obra civil.

