

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.



Facultad de Construcciones  
Departamento de Ingeniería Hidráulica

***Sistema de abasto de agua a la zona  
Mabujabo de la ciudad de Baracoa.***

Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico

Autor:

**Diosbel José Morgado Durán**

Tutores:

**M.Sc. Profesor: Onell Pérez Hernández**

**M.Sc. Eudel Michel Rojas**

**Ing. Loengris Rojas Rodriguez**

**Santiago de Cuba**

**Junio, 2019**



Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

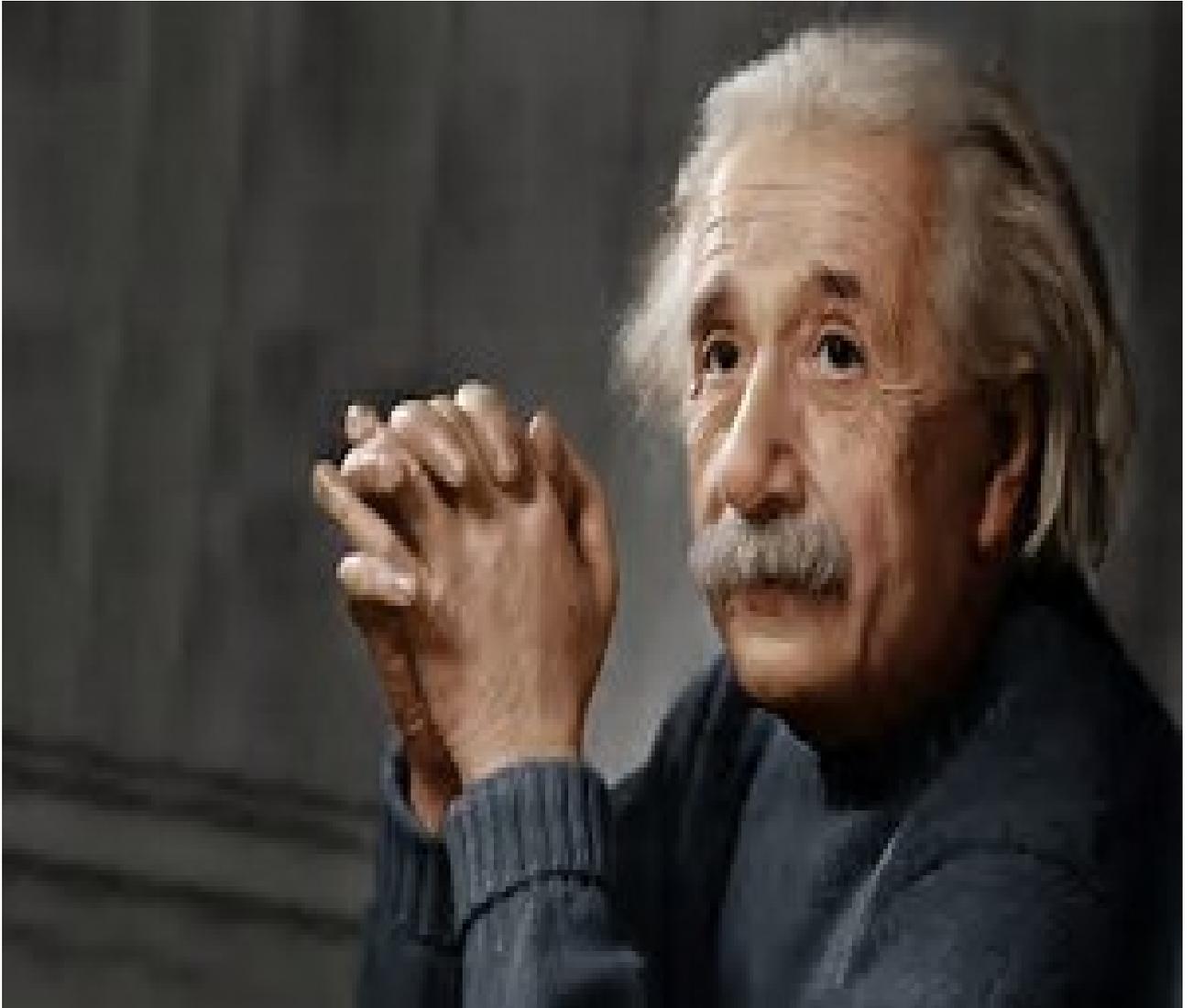
# **PENSAMIENTO**



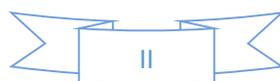
Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

## Pensamiento

"El valor de una educación universitaria no es el aprendizaje de muchos datos, sino el entrenamiento de la mente para pensar".



Albert Einstein.



Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

# DEDICATORIA



## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo de diploma:*

*A mis padres: Dorka Felicia Durán Jiménez por haberme apoyado en cada momento de mi vida y darme los consejos que siempre necesité, a mi padre Esmerido Morgado Toirac por ser ese ejemplo a seguir que todo hijo necesita.*

*A mis hermanos Elionel Morgado Durán y Edniel Morgado Durán que a pesar de estar molestos el uno con el otro casi en todo momento, somos como uno solo cuando más lo necesitamos.*

*A tía Ángela Felicia Durán Jiménez que aunque no entienda muchas cosas sabe dar y brindar amor.*

*A todos ustedes...*

*Muchas gracias.*

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

# AGRADECIMIENTOS



## **Agradecimientos**

*Quiero agradecer a todas las personas que de una forma u otra han sido parte de mi formación profesional en estos años de universidad:*

*A mis padres Esmerido Morgado Toirac y Dorka Durán Jiménez*

*A mi novia Dayalis Lobaina Borges por su inagotable paciencia, que ha estado a mi lado en momentos malos y buenos sin dejarme caer y siempre dándome y buscando las fuerzas que creía a veces no tener. A ti mi amor, te agradezco por creer en mí y darme el apoyo que muchas veces necesité.*

*A mis tutores Onell Pérez Hernández y Michel Rojas por estar siempre ahí cuando los necesité y por la confianza.*

*A todos los profesores del departamento de ingeniería hidráulica que formaron parte de mi formación como ingeniera hidráulica.*

*A mis compañeros de aula en estos cinco años de complicidad y de lucha continua, por cada aventura y momento de desvelo, de disfrute y de risas en especial a Alejandro Lobaina Rossell por todo el tiempo dedicado a los estudios.*

*A las personas del departamento de Operaciones de Acueducto y alcantarillado de la ciudad de Baracoa.*

*A todos ustedes:*

*Muchas gracias.*

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

# RESUMEN

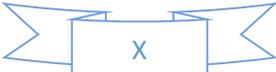


## Resumen

La ciudad de Baracoa carece hoy de una adecuada gestión de operación de abasto de agua potable. El siguiente trabajo fue solicitado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad de Baracoa, el mismo tiene como objetivo, determinar los parámetros hidráulicos del comportamiento técnico del sistema de abasto de agua de la zona Mabujabo, para realizar una sectorización que permita elevar la calidad del servicio en esta. Para alcanzar este objetivo se revisó y actualizó la información gráfica en correspondencia con los trabajos de rehabilitación ejecutados en las redes de la zona; se estructuraron las redes en nodos y tramos, determinándose sus parámetros de comportamiento hidráulico mediante el uso del software Epanet 2.000.2, AUTO CAD y EPA CAD; se realizó el inventario por tipo de usuarios, se determinaron las demandas reales de explotación y de lectura de los metrocontadores colocados en algunas de las fábricas. Como resultado se obtuvo la actualización de la información gráfica y la demanda de explotación, la cual es de 22 L/s, siendo esta menor que la demanda metrada, que es de 22.38 L/s; lo que permitió evaluar la calidad actual del servicio de abasto de agua.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

# ABSTRAC



## **Abstract**

The city of Baracoa currently lacks adequate management of potable water supply operations. The following work was requested by the Water and Sewerage Company of the city of Baracoa, the objective of which is to determine the hydraulic parameters of the technical performance of the water supply system of the Mabujabo area, in order to carry out a sectorization that allows raising the quality of service in this. To achieve this objective, the graphic information was revised and updated in correspondence with the rehabilitation works executed in the networks of the area; the networks were structured in nodes and sections, determining their hydraulic behavior parameters through the use of the Epanet 2000.2, AUTO CAD and EPA CAD software; the inventory was carried out by type of users, the real demands of exploitation and reading of the metro-meters placed in some of the factories were determined. As a result the updating of the graphic information and the exploitation demand was obtained, which is of 22 L/s, being lower than the metered demand, which is of 22.38 L/s; which allowed evaluating the current quality of the water supply service.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

# ÍNDICE

## Índice

Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.- Sistemas de abastecimiento de agua.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.- Metraje del consumo de agua en un sistema de acueducto.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Sectorización hidrométrica.....</b>	<b>10</b>
1.3.1.- Objetivo y ventajas de la sectorización.....	11
1.3.2.- Metodología de las etapas y tareas del proceso de sectorización.....	12
<b>1.4.- Procedimientos, Metodologías para el cálculo de usuarios y demandas.....</b>	<b>15</b>
1.4.1.- Metodología .....	15
1.4.2 Cálculo de la población.....	16
<b>1.5-Gestión de operación .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 2. Situación actual del sistema de abasto de agua de la zona Mabujabo... 21</b>	<b>21</b>
<b>2.1- Descripción del sistema tecnológico.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.- Descripción de la red: .....</b>	<b>24</b>
2.2.1.- Inventario físico por tipo de usuario.....	24
<b>2.3.- Software Empleados.....</b>	<b>24</b>
2.3.1.- Empleo de la Metodología Utilizada.....	26
<b>2.4.- Equipos utilizados .....</b>	<b>27</b>
2.4.1.- Caudalímetro ultrasónico .....	27
2.4.2.- Metodología .....	28
<b>Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados obtenidos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1-Mediciones reales realizadas mediante Caudalímetro ultrasónico.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2-Cálculo de la demanda de la población y las empresas (Resolución: 287: 2015). .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3-Cálculo de la población futura.....</b>	<b>31</b>
$Pf = Pa (1 + r) n$ .....	31
<b>3.4-Simulación en el software Epanet 2000 del comportamiento de la carga hidráulica.....</b>	<b>31</b>

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

**Conclusiones.** ..... 34  
**Recomendaciones** ..... 36  
**Referencia bibliográfica** ..... 38  
**Anexo 2** ..... 41

# INTRODUCCIÓN

## Introducción

El agua es esencial para la existencia de la vida y está íntimamente relacionada con múltiples aspectos de la supervivencia, necesidades y actividades del ser humano, es un recurso limitado que se desarrolla de forma natural mediante el llamado Ciclo del Agua. Del total del agua existente en el planeta se estima que únicamente es agua dulce aproximadamente el 3%, siendo el restante 97 % agua salada acumulada en mares y océanos.

Este escaso porcentaje de agua dulce es, fundamental para la supervivencia de los seres humanos y otros seres vivos; se ve reducido de una forma natural por el hecho de que aproximadamente dos tercios de ella se encuentran casi totalmente inmovilizados en forma de hielo o nieve en los polos, glaciares, etc. El agua dulce de la que la humanidad puede disponer para satisfacer sus necesidades queda reducida a menos del 1% del agua dulce del planeta. Kobus (1997)

La disponibilidad de este recurso está totalmente ligada al bienestar y prosperidad de cualquier sociedad, de ahí la importancia que cobra la buena gestión de las Redes de Abastecimiento de Agua Potable.

Estas, son las infraestructuras que permiten transportar el recurso en cuestión desde las fuentes hasta los consumidores; es decir, a través de ellas se da el proceso de abastecimiento de agua potable. En tal sentido, es importante hacer notar la relación directa que existe entre la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable de la que dispone cualquier ciudad (o localidad) y su grado de desarrollo y modernidad. Muchas ciudades del mundo cuentan con grandes redes de agua potable, abastecidas por varias fuentes interconectadas entre sí por medio de la propia red. En estas condiciones es difícil controlar el agua entregada y la consumida, condición indispensable para un diagnóstico y reducción de las pérdidas de agua (Campbell, 2013).

A fin de mejorar los sistemas de abastecimiento, y tener un mayor conocimiento del destino del agua, muchos gestores están optando por sectorizar la red que consiste básicamente en subdividir la red en áreas o sectores propiamente dichos, también llamados DMAs (Distric Metered Área) o sectores hidrométricos,

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

con unas entradas y salidas del agua a cada sector perfectamente controladas (Vegas, 2012).

La zona de Mabujabo no queda ajena a este problema pues numerosos pobladores carecen hoy de la calidad y cantidad requerida de este preciado líquido, por lo que se ve necesario un estudio para la correcta gestión de operación para la distribución de agua. En esta zona se concentran las principales industrias de la provincia como la Fábrica de Chocolate, Refinería del aceite de coco y La Fábrica Carbón Activado. Estos centros e instituciones se abastecen del acueducto Duaba, cuya fuente de abasto es el río con el mismo nombre.

Por lo expuesto anteriormente se plantea el siguiente problema de investigación:

### **Problema científico**

Actualmente el servicio de abasto de agua en la zona Mabujabo, presenta una inadecuada operación del sistema de abasto a la población lo cual origina insatisfacción en los residentes de la zona.

### **Objeto de investigación**

Sistema de abasto de agua potable de la zona Mabujabo

### **Objetivo General**

Lograr una adecuada gestión de operación del sistema de abasto mediante la simulación del comportamiento hidráulico para satisfacer a los pobladores de la zona.

### **Campo de acción**

La red de distribución de la zona Mabujabo

### **Objetivos específicos.**

1. Caracterizar los contenidos referidos por otros autores sobre la gestión de operación de sistemas de abasto de agua potable con énfasis en la red de distribución de Mabujabo.
2. Medir los parámetros hidráulicos como caudales y presiones en las redes de distribución.
3. Simular del comportamiento hidráulico de la zona en estudio, con el software EPANET y brindar recomendaciones para el buen funcionamiento de la red.

### **Hipótesis**

La actualización del modelo de comportamiento de los parámetros hidráulicos de la zona Mabujabo contribuye a mejorar la operación al sistema de abasto de la ciudad de Baracoa.

### **Tareas a Desarrollar**

- Recolección de información teórica y técnica sobre el objeto de investigación.
- Actualización detallada del plano general de la zona y la localización de las tuberías y válvulas.
- Levantamiento de los tipos y cantidad de usuarios dentro de la zona.
- Medición los parámetros hidráulicos
- Simulación del comportamiento hidráulico de la zona.
- Evaluar la calidad del servicio de abasto a la zona.

### **Cronograma.**

- Introducción (Marzo)].
- Recorrer el Sector Hidrométrico (Marzo)].
- Presentar el Diseño de la Investigación (Marzo)].
- Recopilar la información documental (Marzo- Abril)].
- Capítulo I (Abril)].
- Describir metodologías y medios a emplear (Abril)].
- Realizar inventarios físicos de la red (Abril)].
- **Conformación de Bases de Datos (Abril)].**
- Realizar inventario de usuarios reales (Abril)].
- Procesar datos y analizar resultados [ (Mayo)].
- Elaborar conclusiones y recomendaciones (Mayo)].
- Elaborar la redacción final del Informe Técnico (Mayo)].
- Defender el Trabajo Diploma (Junio)].

# CAPÍTULO I

## Capítulo 1. Marco teórico-conceptual de los sistemas de abasto de agua potable

En este capítulo se abordan los referentes teórico-conceptuales de los sistemas de abasto de agua potable, su concepto, aspectos fundamentales sobre el metraje del consumo de agua y la sectorización hidrométrica.

### 1.1.- Sistemas de abastecimiento de agua.

Según Suce M. (2015).es el conjunto de tuberías, instalaciones y accesorios destinados a conducir las aguas requeridas por una población determinada con el fin de satisfacer sus necesidades, desde su lugar de existencia natural o fuente hasta el hogar de los usuarios. Los sistemas de abastecimiento de agua potable se pueden clasificar por el origen de la fuente de abasto, las mismas pueden ser de diferentes tipos:

- Agua de lluvia almacenada en aljibes
- Agua proveniente de manantiales naturales, donde el agua subterránea aflora a la superficie
- Agua subterránea, captada a través de pozos o galerías filtrantes
- Agua superficial, proveniente de ríos, arroyos, embalses o lagos naturales
- Agua de mar.

El sistema de abastecimiento de agua también se clasifica dependiendo del tipo de usuario, en urbano o rural. Los sistemas de abastecimientos rurales suelen ser sencillos y no cuentan en su mayoría con redes de distribución eficientes. Los sistemas de abastecimiento urbano son sistemas complejos que cuentan con una serie de componentes como los que se refieren a continuación:

**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, suministrando el agua por gravedad o por bombeo. Por estas razones las fuentes de abastecimiento se divide en dos grandes grupos como lo son:

- a) Agua superficial: En esta área incluye arroyos, ríos, lagos y los manantiales que no estén confinados.
- b) Agua subterránea: Es todo aquella que proviene de grietas del subsuelo, que puede aflorar a la superficie o artificialmente a través de una bomba.

**Obra de Captación:** son estructuras y/o dispositivos ubicados en la fuente y destinados a facilitar la derivación de los caudales demandados por la población.

Las tomas son orificios protegidos a través de los cuales el agua entra a una tanquilla y luego a un canal o tubo que la transporta, por gravedad o mediante bombeo, al sitio de consumo. Estas obras deben ser estables, para que en todo tiempo puedan suministrar el caudal estipulado en el diseño.

**Línea de aducción o impulsión:** son tuberías usadas para transportar los caudales desde la obra de captación hasta el estanque de almacenamiento o la planta de tratamiento y consta de una serie de dispositivos necesarios para su buen funcionamiento, tales como: ventosas, limpiezas, desarenador, tanquillas rompe carga, válvulas reductoras de presión, codos, etc. La mayoría de las veces el agua es conducida en tuberías a presión, bien por gravedad o con la ayuda de bombas. Algunas veces, a lo largo de canales abiertos, puentes-canales y túneles. El tipo de conducto que se adopta depende de la topografía general del terreno a través del cual se tienden los conductos.

**Planta de Tratamiento:** Es el conjunto de estructuras y/o dispositivos destinados a proporcionar al agua la calidad necesaria para el consumo humano, es decir potabilizarla a través de diferentes procesos como: son la aireación, floculación, decantación, filtración y desinfección, siendo este último el tratamiento por contacto. A continuación se describen cada uno de los procesos que se aplican en la potabilización del agua para consumo humano.

- **Aireación:** La aireación de las aguas es realizada para remover los gases disueltos en exceso en las aguas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), remoción de sustancias volátiles y la introducción de oxígeno (inclusive para la oxidación de fierro).
- **Coagulación o floculación:** La coagulación o floculación es un proceso que aglomera las impurezas que se encuentran en forma de suspensión y en estado coloidal, en partículas sólidas que puedan ser removidas por decantación o filtración. Las partículas se agrupan constituyendo formaciones gelatinosas inconsistentes, denominados flóculos. Los flóculos iniciales son formados rápidamente y a ellos se adhieren las impurezas. Los reactivos normalmente empleados son los coagulantes y los Alcalis.
- **Decantación:** La decantación o sedimentación es un proceso dinámico de separación de partículas sólidas suspendidas en el agua, donde las partículas más pesadas caen al fondo. Disminuyendo la velocidad de flujo de las aguas y reduciendo los efectos de turbulencia se provoca el asentamiento de las

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

partículas. Esto es posible en tanques donde se trata de evitar al máximo la turbulencia, denominándose recipientes de sedimentación.

- Filtración: En un sistema de tratamiento de agua la filtración consiste en pasar el agua en capas porosas capaces de retener impurezas. El material poroso comúnmente empleado como medio filtrante es la arena, en la que se puede utilizar materiales como carbón (antracita) y el granate.
- Desinfección: La desinfección del agua es una medida con carácter correctivo o preventivo para garantizar la calidad del agua desde el punto de vista de la salud pública. Los productos normalmente utilizados para la desinfección de agua del abastecimiento público son:
  - a) Cloro (cloro gas o cloro líquido).
  - b) Hipoclorito de calcio  $\text{Ca}(\text{ClO})$ .
  - c) Hipoclorito de sodio  $\text{Na}(\text{ClO})$ .
  - d) Clorada ( $\text{CaOCl}$ ).

Las aguas que llegan a una planta de tratamiento contienen agentes reductores (compuestos orgánicos e inorgánicos como nitritos, iones de hierro, plomo y sulfuros), así como microorganismos y bacterias.

**Estanque de Almacenamiento:** son depósitos para almacenar agua con el propósito de compensar variaciones de consumo, atender situaciones de emergencias como incendios, atender interrupciones de servicio y para prever diseños más económicos del sistema. Es necesario situar estos estanques, con relación al sistema de distribución a fin de asegurar un servicio eficiente.

Se clasifican según:

4. Su posición:

- Elevado.
- Apoyado.
- Enterrado.
- Semienterrado.

5. Su finalidad:

- Depósito de distribución de cabecera.
- Depósito de compensación y de cola.

Para concebir un sistema de abastecimiento se deben conocer entre otros los siguientes parámetros.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

1. Volumen de Almacenamiento: Es el volumen o capacidad de almacenamiento del depósito, las unidades de medida más utilizada es el m<sup>3</sup>.
2. Nivel del Depósito: Es el nivel del agua en el depósito y este representa un volumen.
3. Cota de Solera: Es la cota de fondo del depósito.

**Línea Matriz:** Es el tramo de tubería destinado a conducir el agua desde el estanque de almacenamiento y/o la planta de tratamiento hasta la red de distribución.

**Red de Distribución:** Es el conjunto de tuberías y accesorios destinados a conducir las aguas a todos y cada una de los usuarios a través de las calles.. Por lo tanto, existen tres tipos sistemas que se describen a continuación:

- a) Sistema ramificado: En el tipo ramificado de red de distribución, la estructura del sistema es similar a un árbol. La Línea de alimentación o troncal es la principal fuente de suministro de agua, y de ésta se derivan todas las ramas.
- b) Sistema malla: El rasgo distintivo del sistema en malla, es que todas las tuberías están interconectadas y no hay terminales.
- c) Sistema combinado: De acuerdo con las características de la zona, son ampliaciones a la red de distribución en malla con ramas abiertas dando como resultando un sistema combinado.

**Acometida Domiciliaria:** Es el tramo de tubería que conduce las aguas desde la red de distribución hasta el interior de la vivienda. En este tramo de tubería se colocan los contadores o medidores que son equipos destinados a medir la cantidad de agua que utiliza cada usuario, además se puede medir la presión con la que el cliente recibe el agua, la cual puede ser regulada por la válvula de regulación que se instala en la acometida. Para medir esta presión se pueden utilizar los manómetros metálicos y diferenciales.

Para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua se debe tener en cuenta:

#### 1. Caudales de Diseño de 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.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

- a) Caudal Medio 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. .
- b) 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), se utiliza para diseñar la obra de captación, la línea de aducción, la planta de tratamiento y el estanque de almacenamiento.
- c) 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 que varía entre 200% y 275%.
- d) Caudal de Bombeo: Es el caudal requerido por las instalaciones destinadas a impulsar el agua a los puntos elevados del sistema de abastecimiento de agua y no es más que estimar el caudal equivalente al caudal medio para el número de horas de bombeo necesaria que no puede exceder las 16 horas diarias, para diseñar el sistema de bombeo y las tuberías de succión y de impulsión.
- e) 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.

### **1.2.- Metraje del consumo de agua en un sistema de acueducto.**

En el proceso de diseño de un sistema de acueducto para una comunidad se parte de la asignación de un volumen de agua per cápita al día o dotación, tomado de las normas nacionales de acuerdo al tamaño de la población a abastecer, asumiendo este valor como el consumo medio en L/ hab. x día. La experiencia ha demostrado que el per cápita supuesto puede ser superado significativamente en función de las características propias de la comunidad y especialmente por el mal empleo del agua. Barreda y colaboradores (2017)

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

La mejor forma de controlar el consumo es mediante la medición directa de la cantidad de agua utilizada por cada tipo de cliente (residencial o no residencial) por medio de hidrómetros, denominándose a este proceso micro medición. Medir el consumo de agua es la mejor forma para garantizar un pago equitativo por el servicio de agua potable esta medición trae también beneficios ambientales al fomentar la conservación y uso eficiente del agua potable la cual permite establecer un marco de operación que favorece la transparencia en el trato al usuario, la distribución equitativa del agua y el pago justo por el servicio que ofrece, además permite detectar cuando hay un consumo inusual o fugas en el sistema. Barreda y colaboradores (2017)

Este proceso de micro medición es el conjunto de acciones permanentes destinadas a obtener, procesar, analizar, y divulgar datos operacionales relativos a la medición directa del volumen de agua real consumido por cada cliente registrado el cual constituye la base del proceso de facturación y cobro que garantiza la sustentabilidad del servicio de abasto.

Conforme con lo planteado por Barreda y colaboradores (2017), el establecimiento de un programa de micro medición, contempla la selección de los tipos y tamaños de hidrómetros, a instalar no solo en función de los diámetros de las acometidas de los usuarios, es decir, no solo fijar el diámetro nominal de conexión de medidor, sino sus características de diseño y requerimientos de funcionamiento, rango de caudales que mide, la precisión de lectura, las pérdidas de presión que genera, los precios de adquisición y costos de instalación y mantenimiento, ya que es el instrumento que se utiliza para medir la cantidad de agua que pasa por la tubería. Constituye por tanto un proceso para la obtención de información fundamental para lograr una adecuada Gestión Integrada de Operación del Sistema de Abasto de Agua Potable, que permite:

1. Crear las bases de datos de clientes y estadísticas de comportamiento histórico del consumo medio facturado y cobrado.
2. Realizar el balance entre los volúmenes de agua suministrados en las entradas de las redes de distribución.
3. Evaluar la eficacia y eficiencia de la Gestión Integrada de Operación del Sistema de Abasto de Agua Potable.
4. Planear y ejecutar los programas de rehabilitación y mantenimiento preventivo o correctivo de las redes de distribución y acometidas.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

5. Evaluar la reserva disponible de capacidad de diseño de las redes de distribución de agua potable.
6. Evaluar el sistema de micro medición existente, incluyendo el grado de adecuación de los hidrómetros domiciliarios al régimen de demanda de los clientes, la exactitud, presión y sensibilidad de los equipos, eficiencia del mantenimiento, nivel de eficacia de lectura y procesamiento de datos y facturación.
7. Implementar programas de micro medición en comunidades similares.
8. Realizar el balance de agua para evaluar la eficiencia del consumo del agua facturada a clientes con relación al agua producida.
9. Determinar el comportamiento de los consumos promedios y horarios por sectores hidrométricos.

### **1.3 Sectorización hidrométrica.**

La sectorización, que es considerada como una opción estratégica, implica la subdivisión de la red en subredes con una entrada de agua controlada. En cada segmento de subdivisión se maneja un valor máximo de demanda y dentro de ellos se trata de mantener una homogeneidad en lo que a elevación de terreno se refiere. Como uno de los grandes beneficios de su implementación se destaca el aumento de la facilidad con la que se detecta cualquier anomalía dentro de la red debido a la reducción de su tamaño (Herrera, 2011), (Morrison *et al.*, 2007), (CVIA, 2010). Contar con una red sectorizada permite no sólo aplicar técnicas particulares de control de fugas, sino además permite implementar modelos de gestión diversos (Campbell, 2013).

De acuerdo con Barreda y colaboradores (2017), la Gestión Integrada de Operación de un Sistema de Acueducto se hace más engorrosa, problemática e ineficaz directamente proporcional a los siguientes parámetros:

- La extensión territorial que abarca.
- La densidad demográfica.
- La diversidad y complejidad de su infraestructura tecnológica.
- Población con cobertura del servicio de acueducto.
- Tipologías predominantes viviendas.
- Características económicas, sociales y culturales de la población residente.

Por ello se requiere la estructuración del sistema de acueducto en sectores de extensión territorial relativamente pequeña, simplificándose la infraestructura

tecnológica, reduciendo la cantidad de clientes servidos, predominio de una tipología de vivienda, y facilitando la gestión integrada de operación técnica y comercial, Barreda y colaboradores (2017).

Sectorización.- Proceso de subdivisión de las redes de distribución de un sistema de acueducto en áreas de extensiones de territorio relativamente pequeñas, delimitadas física e hidráulicamente, cuyo volumen de entradas de suministro de agua a la red de distribución está controlada.

Sector Hidrométrico.- Unidad estructural del sistema de acueducto, con delimitación física e hidráulica de sus redes de distribución e independencia operacional tecnológica y comercial.

Sector Hidrométrico cerrado.-Un Sector Hidrométrico del sistema de acueducto con independencia operacional tecnológica y comercial, que cuenta con hidrómetros en los puntos de entrada de suministro de las redes de distribución, y medrado el consumo de todos los clientes localizados dentro de sus límites físicos.

### **1.3.1.- Objetivo y ventajas de la sectorización.**

La sectorización tiene como objetivo mejorar el rendimiento técnico de la red de abasto teniendo en cuenta que debe ser aprovechada al máximo toda el agua que entra al circuito, para lo que se hace necesario conocer en detalle la red de distribución. Definir la instalación de los medidores necesarios para contabilizar el agua que entra a cada sector, así como de cada usuario de manera independiente. Aumentar el horario de servicio en las zonas más afectadas. Mejorar las presiones de servicio. Estricto control de todos los clientes, manteniendo una vinculación estrecha con la actividad comercial para la depuración correspondiente de sus bases de datos. Todo esto permite asegurar un servicio eficiente con el consiguiente ahorro de los recursos hídricos.

Las ventajas de la sectorización hidrométrica del sistema de acueducto son:

- Por su relativa poca extensión territorial, regularidad del relieve topográfico, simplicidad estructural, e independencia de operación tecnológica, se simplifica y facilita el control, la evaluación y la optimización de la gestión de operación hidráulica, de saneamiento y comercial.
- Facilita la elaboración y calibración de los modelos de simulación del comportamiento hidráulico del sistema tecnológico para diversos escenarios de operación, que incluyen:

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

-El modelo de simulación del comportamiento hidráulico para las demandas promedio y máximas de los usuarios.

-El modelo de simulación del comportamiento hidráulico para los consumos medidos

-Modelos de simulación del comportamiento hidráulico para la evaluación preventiva de alternativas de operación del sistema de acueducto y el adecuado control de aplicación de éstas, que permite además, la correcta toma de decisiones ante contingencias extremas como los provocados por incendios, frecuentes períodos de intensas sequías, y los potenciales riegos generados por huracanes y terremotos a que está expuesto el territorio.

- Facilita ejecutar racionalmente los programas de instalación de hidrómetros para la macro y micro medición con la finalidad de controlar y balancear los volúmenes de suministro de agua al sector hidrométrico y los volúmenes consumo de agua por tipo de usuario y las pérdidas físicas.
- Conformar rutas de lectura de los hidrómetros y de facturación del servicio de abasto exclusivas del sector hidrométrico que permita el análisis y la reducción de las pérdidas de agua comerciales y las cuentas por cobrar.
- Crear las bases de datos de clientes y las estadísticas del comportamiento histórico del consumo medido y facturado.
- Se hace factible alcanzar un mayor equilibrio en la relación suministro – consumo medido – consumo facturado – demanda de agua.
- Realizar estudios para la determinación del comportamiento de las demandas de aguas promedio y horarias para proponer regulaciones y curvas de modulación del comportamiento horario de las demandas para su utilización en la gestión de proyecto y de operación de sectores hidrométricos similares.
- Establecer procedimientos operacionales para lograr la calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de abasto en condiciones normales de explotación.
- Aplicar eficaz y racionalmente el programa de reducción de pérdidas de agua.

### **1.3.2.- Metodología de las etapas y tareas del proceso de sectorización**

De acuerdo con Barreda y colaboradores (2017), el proceso de sectorización, cuenta con un grupo de medidas para su diseño e implementación, las cuales se muestran a continuación:

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

1. Planeación y estudio de alternativas de estructuración del sistema de acueducto en sectores hidrométricos.
  - Selección y conformación del equipo de trabajo
  - Capacitación del equipo de trabajo
  - Localizar, compilar y actualizar la información técnica y gráfica de las redes hidráulicas del sistema de acueducto.
  - Elaborar las propuestas de alternativas de estructuración del sistema de acueducto en sectores hidrométricos
  - Determinar los nodos de entrada de los sectores hidrométricos propuestos.
  - Elaborar el programa de construcción de los registros hidrométricos. Comprende el diseño del tipo de registro y la organización y presupuesto de ejecución.
  - Elaborar el plan de mediciones de caudales y presiones en puntos seleccionados del sector hidrométrico propuesto.
  - Determinar los recursos requeridos humanos, materiales, financieros y de tiempo para la etapa de planeación y verificación de terreno en función de la extensión territorial diversidad y complejidad del sistema de acueducto.
2. Verificación de terreno en los sectores hidrométricos propuestos.
  - Verificar y determinar los límites físicos e hidráulicos y comprobación de la existencia y funcionabilidad de los puntos de cierre de los sectores hidrométricos propuestos.
  - Verificar la información técnica de la infraestructura hidráulica en los sectores hidrométricos propuestos.
  - Acondicionar los puntos seleccionados de los sectores hidrométricos propuestos, para ejecutar el plan de mediciones de caudales y presiones.
3. Selección de la alternativa de sectorización hidrométrica del sistema de acueducto.
  - Seleccionar la alternativa de estructuración del sistema de acueducto de las propuestas elaboradas, en función de los sectores hidrométricos que cumplan con los criterios básicos de evaluación para su creación, teniendo en cuenta las verificaciones de terreno y los resultados de las mediciones de caudales y presiones realizadas en la Etapa #2.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

- Determinar los recursos requeridos humanos, materiales, financieros y de tiempo para la ejecución de las tareas previstas en etapa de materialización de la alternativa seleccionada.
4. Materialización de la alternativa seleccionada de sectorización hidrométrica del sistema de acueducto (Diseño de cada sector hidrométrico).
- Estructurar, nominar, e inventariar los nodos y tuberías de la red de distribución del sector hidrométrico especificando sus parámetros y características.
  - Inventariar los clientes localizados por cuadra del Sector Hidrométrico.
  - Calcular las demandas de agua por cuadra y nodo de la red.
  - Distribuir las demandas de agua del sector hidrométrico por nodo de la red.
  - Elaborar el modelo teórico de simulación del comportamiento hidráulico.
  - Correr el modelo de simulación para las demandas teóricas de agua.
  - Emplear el modelo de simulación para determinar las presiones y caudales requeridos en los nodos de entrada.
  - Seleccionar el diseño de los registros a construir en los nodos de entrada.
5. Materialización de la alternativa seleccionada de sectorización hidrométrica del sistema de acueducto Activación de cada sector hidrométrico cerrado de la alternativa seleccionada.
- Ejecutar la construcción de los registros en los nodos de entrada a las redes de distribución del sector hidrométrico.
  - Ejecutar de instalación de hidrómetros para la macro y micro medición.
  - Certificar la calidad de los trabajos de construcción y de la funcionalidad de las instalaciones y los medios de medición.
  - Verificar el registro de Clientes Residenciales y No Residenciales del Sector Hidrométrico.
  - Informar a la comunidad del sector hidrométrico
  - Verificar el aislamiento hidráulico del sector hidrométrico
  - Conformar y explicar a las cuadrillas operativas de revisión, los procedimientos de trabajo
  - Entregar a la dirección de operaciones de la EAA la documentación técnica elaborada y actualizada

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

- Ejecutar mediciones de control de presiones en nodos seleccionados del sector hidrométrico.
  - Designar el o los lectores-cobradores del sector hidrométrico.
6. Implementar procedimientos de medición de caudales y presiones en los sectores hidrométricos activados.
- Realizar las lecturas iniciales de los hidrómetros
  - Realizar la primera lectura mensual de los hidrómetros de macro y micro medición
  - Revisar el estado técnico de los hidrómetros que reportaron consumos de agua anómalos.
  - Realizar campañas periódicas de lecturas de presión
  - Realizar mediciones de caudales
  - Calibrar el modelo de simulación.
7. Regulación de presiones de cada sector hidrométrico cerrado.
8. Control sistemático de las pérdidas físicas y comerciales y la eficiencia del servicio de abasto de agua de los sectores hidrométricos cerrados.

#### **1.4.- Procedimientos, Metodologías para el cálculo de usuarios y demandas.**

##### **1.4.1.- Metodología**

###### **1. Cálculo de las demandas de diseño.**

Dotación: es la cantidad de agua que demanda una población por habitante y que todo acueducto eficiente debe suministrar, durante las 24 hrs del día y con una presión adecuada. (Rojas, 1977).

Para el cálculo de la demanda de diseño se utilizó el método de las fórmulas estadísticas.

Para ello se emplearon las siguientes expresiones:

$Q_p = \text{Dotación} \times \text{habitantes}$  (consumo promedio).

$Q_{md} = Q_p \times K_1$  (consumo o gasto máximo diario).

$Q_{mh} = Q_{md} \times K_2$  (consumo o gasto máximo horario).

Nota: Los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  se dan en dependencia de la población al igual que la dotación. (Ver **NC: 973: 2013**).

**Tabla 1.** Dotación en litros por habitantes al día (NC: 973: 2013).

Tamaño de la población en miles de personas	Según el uso				
	Doméstico	Comercial y público	Industrias locales	Propio del sistema	Total
Menos de 2,0	130	20	3	2	155
2,0—10,0	145	55	7	3	210
10,0—25,0	165	62	8	5	240
25,0—50,0	175	77	8	5	265
50,0—100,0	185	90	9	6	290
100—250,0	195	95	20	10	320
250—500,0	205	105	25	10	345
Más — 500	210	110	30	10	360

**Tabla 2** Coeficientes de irregularidad

Tamaño de la población en miles de personas	Coeficientes de irregularidad		
	Diario ( $K_1$ )	Horario( $K_2$ )	Max. horario( $K_h$ )
Menos de 2,0	1,65	1,90	3,14
2,0—10,0	1,60	1,80	2,88
10,0—25,0	1,55	1,69	2,63
25,0—50,0	1,50	1,63	2,45
50,0—100,0	1,45	1,58	2,30
100,0—250,0	1,35	1,58	2,13
250,0—500,0	1,30	1,57	2,04
Mas — 500.0	1,25	1,56	1,95

#### 1.4.2 Cálculo de la población.

Para realizar la estimación de la población deben recolectarse los datos demográficos, censos disponibles de suscripciones de sistema de abasto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base de los datos

anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población y el estado actual de los servicios. R. C. Colombia (1998).

Los proyectos para abastecimiento de agua potable para las poblaciones, se elaboran con vista a que satisfagan las necesidades de la población al final del período de explotación (30 años generalmente). Rojas (1977), sin embargo, Rossié y colaboradores (2001) recomiendan períodos de diseño de 20 años, pero esto dependerá de si la solución adoptada es la definitiva, o se hará por etapas, lo cual es recomendable según la tecnología utilizada. Para la investigación el periodo de diseño utilizado es de 25 años.

Uno de los métodos para estimar las poblaciones futuras es el método de pronóstico; basado en estimados específicos, que en Cuba le corresponde realizarlo al Instituto de Planificación Física (IPF). Rojas (1977). Al respecto Rossié y colaboradores (2001) dicen, se utilizará la tasa de crecimiento rural, municipal, etc. que proporcione la entidad que lleve las estadísticas y censos de la población. De no tenerse este dato, se utilizará el criterio de los métodos habituales de determinación de la población futura (aritmético, geométrico, etc.). Por ejemplo, el de la progresión geométrica se basa o fundamenta en el hecho de suponer un porcentaje de crecimiento constante, para iguales períodos de tiempo y se expresa por la fórmula:

$P_f = P_a (1 + r)^n$  Donde:

$P_f$  – Población futura en habitantes

$P_a$  – Población actual en habitantes

$n$  -- número de años que se contempla en el diseño

$r$  – porcentaje de crecimiento anual.

En Cuba, el porcentaje de crecimiento anual está comprendido, por lo general, entre 2 y 2.5%. Rojas (1977).

Afirmando lo planteado por Rossié y colaboradores (2001), para el cálculo de la población deben tenerse en cuenta tanto la población real, como la población equivalente, es decir cuánto representa en caudal  $Q$  de una industria en población, por lo que la población total será igual a población real + población equivalente, que en términos de caudales puede expresarse como:  $Q_{total} = Q_{real} + Q_{equi}$

### **1.5-Gestión de operación**

Al respecto (Rossié y colaboradores, 2001) refiriéndose a la Gestión Técnica en los Sistemas de Distribución de agua, plantean, la gestión técnica aplicada a los sistemas de abastecimiento de agua y evacuación de residuales líquidos está dada por la acción y efecto de administrar un conjunto de procedimientos para mejorar la calidad del servicio, procurando mayor eficiencia con menores costos. Su función no se puede limitar solamente a la satisfacción de una demanda dada, sino que la práctica moderna busca que en el logro de este objetivo se tenga en cuenta la actualización y modernización de toda actividad relacionada con este servicio. Al organizar la explotación de un abastecimiento, es una responsabilidad el mejorar la calidad del servicio, garantizar el abastecimiento de la explotación, aumentar la seguridad asociada al servicio, optimizar las inversiones, mejorar el aprovechamiento de todos los recursos involucrados, mejorar las condiciones de trabajo y productividad del personal. Toda organización dedicada a la prestación del servicio urbano de agua deberá desarrollar y utilizar unas normas de calidad de servicio para satisfacer los requisitos mínimos de la calidad de dicho servicio:

Garantía de presión y caudal en acometida o puntos de suministro.

Continuidad del servicio.

Servicio permanente de averías.

Calidad adecuada del agua suministrada.

Si bien es verdad que hay una definición muy completa y exacta a cerca de la gestión técnica dada por los autores, en la misma no se refleja el concepto de operación.

Por lo que al respecto (Rossié y colaboradores, 2001) plantean, la operación es un conjunto de actividades externas dirigidas, que tienen el propósito principal de conservar el buen funcionamiento de los mecanismos de todo un sistema con el objetivo de mantener el servicio para el que fue proyectado.

Para poder transformar la operación del acueducto, en la zona en que se trate; lo primero que hay que hacer es conocerlo, solo teniendo información de cómo es la realidad en cuanto al sistema investigado, sólo así será posible tomar decisiones en el sentido de mejorar el servicio, de optimizarlo, y para ello se requiere de una mayor eficiencia del sistema, que garantice la calidad del agua, seguridad de explotación, presiones, así como flexibilidad ante accidentes naturales y antrópicos.( Pérez y colaboradores,2001)

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

Dentro de las acciones para la obtención de información se conoce como Macromedición al conjunto de actividades permanentes destinadas a obtener, procesar, analizar, y divulgar datos operacionales relativos a caudales, velocidades, presiones y niveles de agua en el sistema de abastecimiento. (Rossié y colaboradores, 2001), la Macromedición es un medio indispensable en la operación del sistema de suministro de agua para poder determinar entre otros, los siguientes indicadores:

- Obtener la dotación real en los distintos sectores del sistema en su conjunto
- Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de distribución y comparar la disponibilidad con los consumos de agua.
- Obtener las presiones y niveles de agua en puntos significativos del sistema
- Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento del sistema.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

## **CAPÍTULO II**

## Capítulo 2. Situación actual del sistema de abasto de agua de la zona Mabujabo.

### 2.1- Descripción del sistema tecnológico

Un sistema tecnológico no es más que un conjunto de instalaciones y dispositivos que tienen como objetivo garantizar el suministro de agua potable a los consumidores. La obra está compuesta por los siguientes objetos: cierre, obra de toma, desarenador, conductora desde la obra de toma hasta el tanque apoyado, tanque apoyado de 4 000 m<sup>3</sup>, conductora desde el tanque hasta las redes, redes de distribución y planta potabilizadora.

Obra de toma: El diseño de la obra de toma (Figura. # 2.1 a) consiste, en una captación lateral ubicada en la margen derecha del río Duaba y un muro de cierre en el cauce. La captación del agua es mediante una conducción conformada por una línea de cajones de hormigón de 1 x 1 m de sección transversal interior, la que captará el gasto hasta el desarenador donde se decantarán los materiales sólidos en suspensión que lograron penetrar a través de la rejilla colocada a la entrada, y desde aquí el agua pasa a través de una segunda rejilla más fina que la anterior, a la cámara de derivación desde la cual parte la conductora de 630 mm de diámetro. Adyacente a la cámara de derivación se previó un registro para la colocación de una válvula de cierre.

**Figura. # 2.1 a.** Obra de toma.



Desarenador: Su limpieza se logra mediante otra línea de cajones de igual sección transversal a la anterior que parte desde este último hasta el río,

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

utilizando para ello una compuerta metálica ubicada a la entrada de dicha línea de cajones. También se ubica una compuerta a la entrada de la conducción. En un segundo nivel se diseñó un local que permitirá la inspección, operación y mantenimiento de la obra.

**Conductora:** El trazado de la conductora (Figura # 2.1 b) va desde la obra de toma, específicamente de la caja de válvula, hasta el área propuesta para la construcción del tanque de 4000 m<sup>3</sup> y la planta potabilizadora ubicada al frente de los edificios en la carretera Baracoa – Moa, la misma es de PEAD, de diámetro variable. Los primeros 5 000 m tienen un diámetro de 630 mm, PN 0,6 MPa, los restantes 5 000 m, son de 560 mm de diámetro, PN 0,8 MPa; conducirá un gasto de 200 L/s, con una velocidad que varía entre 0,75 y 0,99 m/s. La carga hidráulica a la entrada de la planta potabilizadora es de 11,0 m.

**Figura # 2.1 b.** Conductora



**Depósito apoyado:** El tanque (Figura # 2.1 c) es prefabricado de 4 000 m<sup>3</sup> de capacidad, el mismo está apoyado sobre el terreno y se construyó en la loma conocida como Los Hicacos, en la cota 53,0 msnm. Para su proyección se ha utilizado el proyecto típico de los tanques prefabricados realizado por la empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara (EIPHVC). Este tipo de estructura está compuesta por una losa de cimentación fundida “in situ” con engrosamiento en los extremos que forma una cimentación corrida para apoyar los paneles prefabricados de pared utilizados como elementos de cierre de las fachadas del tanque. Los elementos de cubierta que se utilizan son losas prefabricadas (losas Spiroll) apoyadas sobre pórticos conformados por cimientos,

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

además por columnas, vigas de cubierta y viga cerramiento fundida en el lugar. Las dimensiones interiores son de 24,0 m de ancho por 42,0 m de largo y 4,80 m de altura, con una altura de agua de 4,20 m.

**Figura # 2.1 c** Tanque apoyado



Redes: La misma está concebida desde el tanque por medio de una tubería de 800 mm de diámetro, específicamente del reducido concéntrico de  $\varnothing$  800 x 630 mm hasta el estacionado 0 + 277,43, donde se encuentran las tuberías de  $\varnothing$  630, 315 y 200 mm que dan abasto a la ciudad; la misma será de PEAD, PN 0,6 MPa, conducirá un gasto de 320 L/s.

Planta potabilizadora: En la planta potabilizadora Duaba (figura 2.1 d) se trata el agua proveniente del río Duaba, esta es compacta de procedencia IRANÍ, para la cual se destinó un área de (55,0 x 60,0 m), en la cota 53,0 msnm. La carga hidráulica a la entrada de la misma es de 11,0 m. El agua tratada va al tanque de distribución de 4 000 m<sup>3</sup>, que se construyó aledaña a la planta. El gasto a tratar es de 104 L/s.

**Figura# .2.1d.** Planta potabilizadora



### **2.2.- Descripción de la red:**

**2.2.-** La comunidad de Mabujabo será abastecida por una tubería de PEAD de 200 mm de diámetro que se conectará a la conductora de 800 mm que viene del tanque. La tubería de 200 mm, PEAD, PN 0,6 MPa, tendrá una longitud de 2 000 m, conducirá un gasto de 27,95 L/s y tendrá una cota piezométrica a la entrada de la comunidad de 48,55 m. Las redes están compuestas por tuberías nuevas de PEAD de diámetro variable 90, 110 y 160 mm, PN 0,6 MPa para una longitud total de 4 225 m. La presión en las redes varía entre 17, 0 y 42,0 m. Las acometidas son de PEAD Ø 16 mm para un total de 11 330 m, considerándose una longitud promedio de 10 m por usuario.

### **2.2.1.- Inventario físico por tipo de usuario.**

Durante la etapa de búsqueda, recopilación de la información y conformación de las bases de datos, se procedió a realizar un levantamiento con el objetivo de conocer la cantidad total de usuarios del área en estudio. Para determinar la cantidad de residentes se consultaron los libros de registro de direcciones de la totalidad de los Comités de Defensa de la Revolución (CDR) radicados en el área. Como resultado de esta investigación se comprobó que la cantidad real de habitantes del área es de 1457 personas.

### **2.3.- Software Empleados.**

#### **Simulación Hidráulica: Epanet 2.0**

El software Epanet 2.0 es un software profesional que permite realizar simulaciones en períodos prolongados de tiempo, del comportamiento hidráulico y

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

de la evolución de la calidad del agua en redes de tuberías de suministro de agua a presión. También efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua a lo largo de todo el período de simulación, discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies químicas, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde diversas fuentes de suministro.

Dispone de un simulador hidráulico muy avanzado que ofrece las siguientes ventajas:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams; Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores en accesorios y singularidades.
- Puede calcular el consumo energético y sus costos.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como: de corte; de retención, reguladoras de presión o de caudal, etc.
- Permite considerar diferentes tipos de demandas en los nodos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo.
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (por ejemplo, aspersores, hidrantes de redes contra incendios).

EPANET 2.0 proporciona un entorno integrado bajo Windows para la edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, así como la visualización de resultados en una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de izolíneas.

EPANET 2.0 ha sido desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua (anteriormente División de Investigación del Agua Potable) del Laboratorio de Investigación Nacional para la Gestión de Riesgos, de la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos (Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory) Cincinnati, Ohio. Traducido al español por Fernando Martínez Almazamora y Hugo J. Bartolín Ayala del Grupo IDMH del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

de Valencia, España, y financiado por el Grupo Aguas de Valencia.

El software EPANET 2.0 cuenta con la licencia correspondiente para su utilización dada por los organismos mencionados anteriormente, y su comercialización es gratuita en INTERNET.

### **2.3.1.- Empleo de la Metodología Utilizada.**

Procedimiento para crear y sincronizar el mapa de fondo en EPANET

1. Sobre el mapa se dibujó una línea horizontal y otra vertical coincidente con el límite inferior y el límite derecho respectivamente del área objeto de estudio.
2. Se determinó los valores de las longitudes de dichas líneas en correspondencia con la escala del plano o mapa.
3. Luego se guardó el fichero como metafile (\*.wmf).
4. Se actualizó el software Epanet en cuanto a:  
Valores por Defecto ----- Propiedades ----- Longitud Automática SI
5. En la opción ver se cargó el mapa de fondo.
6. Se colocó dos tuberías coincidentes con las líneas trazadas en el punto 1. Necesario garantizar la coincidencia de los nodos iniciales y finales de las tuberías con los puntos de inicio y terminación de las líneas.
7. Se determinó los valores de las longitudes de las tuberías.
8. Se plantearon las Relaciones siguientes valorando las coordenadas del punto superior derecho establecidas por defecto en Ver ---- Dimensiones ---- Vértice Superior Derecho, y Unidades del Esquema (m).

$$\frac{\textit{Longitud de la tubería horizontal}}{\textit{Longitud de la línea horizontal}} = \frac{\textit{Cordenada X del vértice superior derecho}}{\textit{Cordenada X a encontrar}}$$

$$\frac{\textit{Longitud de la tubería vertical}}{\textit{Longitud de la línea vertical}} = \frac{\textit{Cordenada Y del vértice superior derecho}}{\textit{Cordenada Y a encontrar}}$$

9. Si en Ver ---- Dimensiones ---- Vértice Inferior Izquierdo las coordenadas "X" y "Y" son diferentes de cero, sumar el valor de las coordenadas de este vértice a los valores de coordenadas encontrados para el Vértice Superior Derecho.
10. Después de colocar en Ver ---- Dimensiones ---- Vértice Superior Derecho los valores calculados de sus coordenadas, el plano y el esquema en EPANET están a la misma escala, y los nodos asumirán las coordenadas reales del plano o

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

mapa, y las tuberías las longitudes reales.

## 2.4.- Equipos utilizados

### 2.4.1.- Caudalímetro ultrasónico

Es un dispositivo electrónico de uso universal, consta de dos sondas, una de las sondas se excita por un impulso de tensión, esta genera un impulso ultrasónico que se propaga a través del líquido a medir, esta señal es recibida por la segunda sonda que lo transforma en una señal eléctrica.



**Figura 1-**Imágenes del Caudalímetro ultrasónico

#### **2.4.2.- Metodología**

- 1- M10 Ventana para introducir el perímetro
- 2-M11 Te calcula el diámetro exterior
- 3-M12 Se introduce el espesor de la tubería
- 4-M13 Te calcula el diámetro interior de la tubería
- 5-M14 Se introduce el tipo de material
- 6-M20 Se introduce el tipo de flujo
- 7-M23 Se introduce el tipo de transducer (TM1)
- 8-M24 Posición del traductor (V)
- 9-M25 Te calcula la distancia entre los sensores
- 10-M26 Especifica la calidad de lectura entre los sensores (mayor que 60)
- 11-M1 Te calcula el caudal y la velocidad
- 12-M97-M98-M99-Para imprimir los datos

# CAPÍTULO II

### Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados obtenidos

En este capítulo se abordarán los referentes a los resultados de los parámetros hidráulicos del comportamiento técnico del sistema de abasto de agua de la zona, cálculo de la dotación y demanda así como las posibles soluciones a los problemas encontrados.

#### 3.1-Mediciones reales realizadas mediante Caudalímetro ultrasónico.

Las mediciones se realizaron en varios puntos; a la entrada, intermedio y a la salida (ver anexo 1) de la zona obteniéndose los siguientes resultados:

Parámetros	mediciones		
	1ra	2da	3ra
<b>Diámetro exterior</b>	199.898mm	199.898mm	111.408 mm
<b>Expesor de la tubería</b>	12mm	12mm	10mm
<b>Tipo de material</b>	PAD	PAD	PAD
<b>Tipo de fluido</b>	Agua (general)	Agua (general)	Agua (general)
<b>Tipo de traductor</b>	Clamp-on TM1	Clamp-on TM1	Clamp-on TM1
<b>Posición del traductor</b>	V	V	V
<b>Espacio entre traductores</b>	134.336mm	134.336mm	48.4914mm
<b>Caudal</b>	22.326 L/s	14.437 L/s	8.034 L/s
<b>Velocidad</b>	0.9187 m/s	0.5941 m/s	1.2242 m/s

Tabla 3.1 Resultado de las mediciones realizadas

#### 3.2-Cálculo de la demanda de la población y las empresas (Resolución: 287: 2015).

Población por Calles	Demanda por usuarios	Resultado	Demanda de empresas	Demanda Total
89	0.015	1.335		1.335
35	0.015	0.525		0.525
28	0.015	0.42		0.42
31	0.015	0.465		0.465
36	0.015	0.54	0.1246	0.6646
161	0.015	2.415		2.415
43	0.015	0.645		0.645
30	0.015	0.45	0.01953	0.46953
87	0.015	1.305		1.305
15	0.015	0.225	0.09459	0.31959

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

72	0.015	1.08	0.04767	1.12767
21	0.015	0.315		0.315
28	0.015	0.42		0.42
30	0.015	0.45		0.45
45	0.015	0.675		0.675
60	0.015	0.9		0.9
32	0.015	0.48		0.48
73	0.015	1.095		1.095
35	0.015	0.525		0.525
71	0.015	1.065		1.065
47	0.015	0.705		0.705
62	0.015	0.93		0.93
60	0.015	0.9	0.03782	0.93782
92	0.015	1.38		1.38
94	0.015	1.41		1.41
43	0.015	0.645	0.0162	0.6612
18	0.015	0.27		0.27
12	0.015	0.18		0.18
7	0.015	0.105		0.105
1457				22.19541

**Tabla 3.2 Resultado del cálculo de la demanda.**

### 3.3-Cálculo de la población futura

$$Pf = Pa (1 + r) n$$

Pa=1457 Habitantes

r=2.3%

n=20 años

Pf= 12851.5911Habitantes

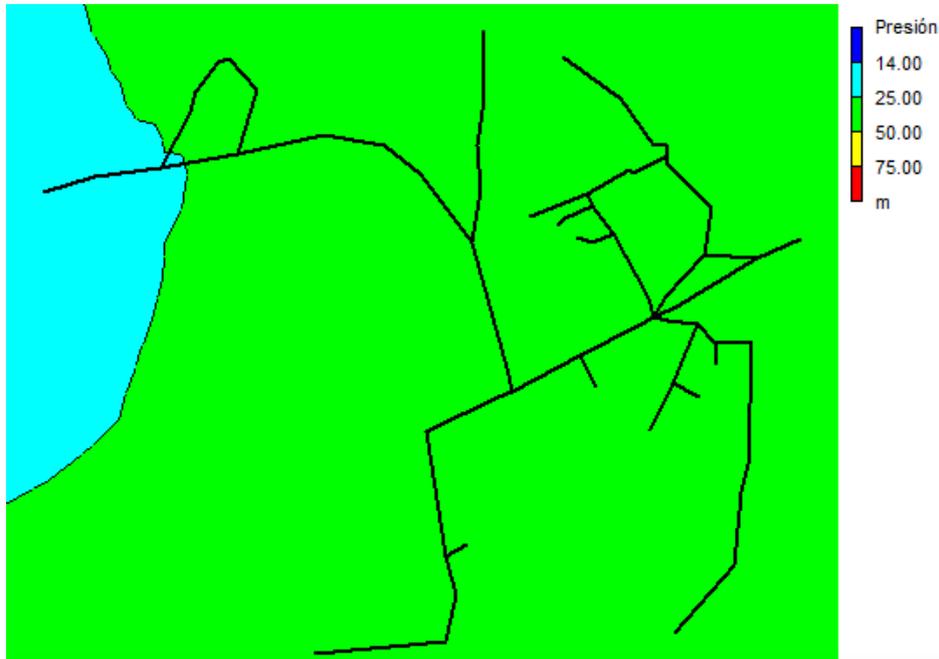
### 3.4-Simulación en el software Epanet 2000 del comportamiento de la carga hidráulica.

En la corrida y el análisis de los resultados del modelo de simulación del comportamiento hidráulico de la zona, se tuvieron en cuenta la demanda de explotación contratada por cada sector estatal.

Los resultados de la corrida del modelo garantizan la calidad del servicio de abasto a la zona, se logra establecer un equilibrio de caudales suficientes para cubrir las demandas en todos los nodos; los valores de presiones garantizan que el agua llegue a los usuarios (Ver figura 3.1). Observándose además que los valores de velocidades mínimos son inferiores a 0,1 m/s y por tanto no satisfacen

## Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

los requerimientos de la NC-53-121/84, pudiéndose presentar sedimentación de sólidos en las tuberías.



**Figura 3.2.** Resultados de la simulación del software profesional Epanet 2.0. Estado de las presiones para la demanda de explotación.

Los resultados de la corrida de la simulación para esta demanda se pueden observar en el anexo 2.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

## **CONCLUSIONES**

## **Conclusiones.**

1. En el trabajo se brindan recomendaciones para lograr una adecuada gestión de operación, así como, se actualizó en sentido general el plano de las redes de acueducto de la zona Mabujabo a través del levantamiento realizado, donde se obtuvieron 13 entidades las cuales demandan un total de 0,511 L/s por norma y contratado a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, pero en la lectura de los metrocontadores, cuatro de ella tienen sobreconsumo, resaltándose la Fábrica de Chocolate.
2. Se logró la simulación del comportamiento hidráulico del sistema de acueducto de la zona Mabujabo lo que permitió valorar la calidad del servicio de abasto de la zona, el cual es de buena calidad.
3. Los resultados obtenidos con la corrida del modelo de simulación del comportamiento hidráulico de la zona Mabujabo, muestran el comportamiento de los parámetros hidráulicos los cuales se comportan favorables ya que se ofrece la demanda requerida y las presiones cumplen con el rango 14-50 mca. Las velocidades en algunos tramos caen por debajo de la norma (0.9 m/s-1.5 m/s) lo que indica el sistema está sobredimensionado para el gasto que demanda.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

## **RECOMENDACIONES**

### **Recomendaciones**

1. Colocar las válvulas recomendadas en la simulación del comportamiento hidráulico y colocar hidrantes en la zona.
2. Disminuir el diámetro de Pv 34-Pv 35 y Pv 27-Pv 37 a 63 mm lo cual aumenta las velocidades y disminuye el asolvamiento en la red.
3. Verificar y actualizar la demanda de las fábricas que tienen sobreconsumo.
4. Dar un mantenimiento periódico a la red pues se encuentran numerosas fugas.
5. Hacer conciencia de ahorro a los pobladores y a las empresas.

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

## **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

## Referencia bibliográfica

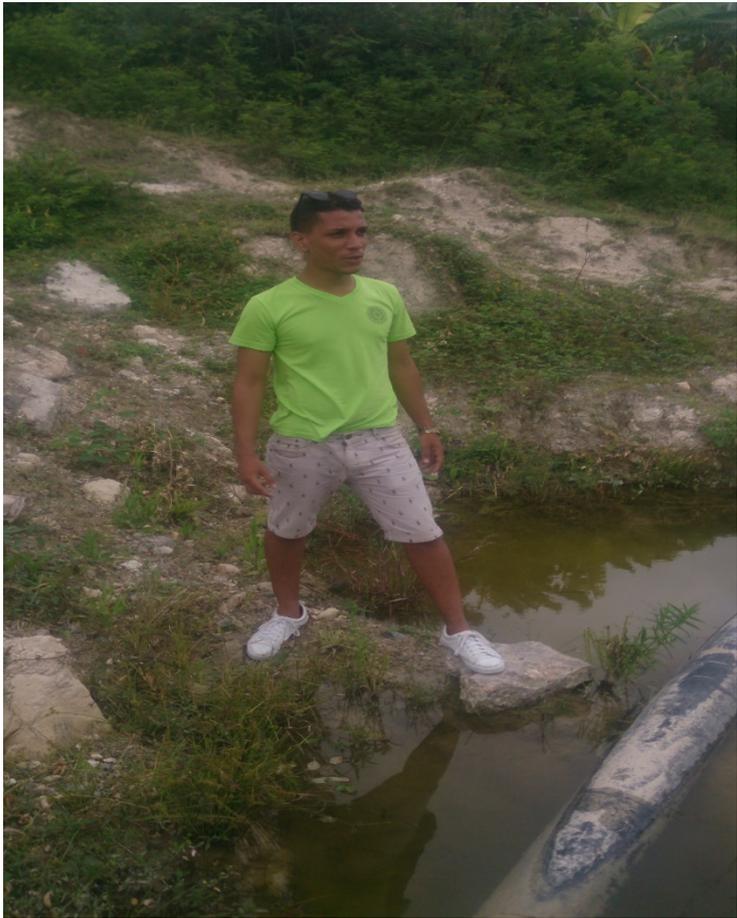
1. (Herrera, 2011a), (Morrison *et al.*, 2007), (CVIA, 2010)
2. Campbell E. (2013). "Propuesta para una metodología de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable". Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. España.
3. Curso de sectorización 2017, Barreda y colaboradores(2017)
4. Grupo Empresarial Aprovechamiento Hidráulico. (2018). "Curso de sectorización hidrométrico de los sistemas acueductos". Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. La Habana, Cuba.
5. Hernández Rossié, Armando D y otros autores "Redes Hidráulicas y Sanitarias".C.I.H. Facultad de Ingeniería Civil. ISP J.A. Echeverría. CUJAE. Habana, Cuba. 2001.
6. Norma Cubana 973:2013. (2013). "Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas". Oficina Nacional de Normalización, Edición Mes 2013. La Habana, Cuba.
7. Pérez Hernández, Onell. "Diseño de Investigación del acueducto No 2 San Juan en la zona del Litoral. Trabajo de Tesis. /1999.
8. Pérez Hernández, Onell. "Gestión de Operación de los acueductos de la ciudad de Santiago de Cuba "Conferencia Magistral. UNAICC. Las Tunas/1999
9. Pérez Hernández, Onell. "Gestión de Operación del acueducto No 2 "San Juan" en la Zona del Litoral. Evento Regional. UNAICC Santiago de Cuba/1999
10. Pérez Hernández, Onell. "Gestión de Operación del acueducto San Juan", V Congreso Internacional de Desastres. La Habana/1999.
11. Pérez Hernández, Onell. "Investigación Experimental No 1" y No 2, Ediciones interna/1999.
12. Pérez Hernández, Onell. "Investigación Bibliográfica No 1" y No 2, Ediciones interna/1999-2000.
13. Pérez Hernández, Onell "Hidrometría. Trabajo Práctico.(2000)
14. Pérez Hernández, Onell. Díaz Rodríguez, Manuel: Gestión de Operaciones del acueducto # 2 "San Juan" en la Zona del Litoral. V Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. Pinar del Río. cuba .2001

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

15. Pérez Hernández, Onell. "Diseño Hidráulico de una Planta Potabilizadora. Trabajo Práctico. 2001.
16. Pérez Hernández, Onell y Díaz Rodríguez, Manuel. "Abastecimiento de agua a Pequeñas Comunidades". V Taller Nacional de Ingeniería de Montañas. Guantánamo. Cuba. 2002.
17. Resolución 287/2015. (2015) "Índices de consumo de agua para producciones y servicios". Instituto Nacional de Recursos Hidráulico. La Habana, Cuba.
18. ROJAS, JOSÉ A. "ACUEDUCTO" EDITORA PUEBLO Y EDUCACIÓN. HABANA. CUBA 1977
19. Suce M. (2015). "Propuesta de diseño de un Sistema de Abastecimiento de agua potable por bombeo eléctrico para el asentamiento 23 de Octubre de la comunidad Limón #1 del municipio de Tola". Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Managua, Managua, Nicaragua.
20. Vegas O. (2012). "Herramienta de ayuda a la sectorización de redes de abastecimientos de aguas basadas en la teoría de grafos aplicando distintos criterios". Tesis en opción del título de Ingeniero Civil. Universidad de Valencia, Valencia, España.

# **ANEXOS**

**Anexo 1** Mediciones con el Caudalímetro ultrasónico



## Anexo 2

Estado de las Nudos de la Red para la Demanda de Explotación.

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Nudo n1	0.64	50.39	45.08
Nudo n7	2.41	49.70	28.31
Nudo n8	0.66	48.59	31.16
Nudo n11	0.94	48.46	24.17
Nudo n14	0.47	48.48	25.78
Nudo n17	0.00	50.66	45.43
Nudo n28	1.35	48.33	19.38
Nudo n29	0.42	50.31	34.68
Nudo n30	0.31	50.30	35.47
Nudo n31	0.90	50.19	35.45
Nudo n32	0.68	50.18	35.68
Nudo n34	0.45	50.14	36.08
Nudo n35	0.47	50.64	43.77
Nudo n36	1.30	50.62	43.91
Nudo n37	0.32	50.50	41.92
Nudo n38	0.48	50.32	35.93
Nudo n43	1.13	50.03	43.27
Nudo n44	0.94	50.36	44.51
Nudo n46	0.93	50.34	46.11
Nudo n48	0.70	50.25	42.07
Nudo n49	0.66	50.23	34.64
Nudo n51	0.27	50.41	37.67
Nudo n57	1.41	50.16	31.80
Nudo n58	0.10	50.43	44.50

Sistema de abasto de agua a la zona Mabujabo de la ciudad de Baracoa.

Nudo n59	0.18	50.43	45.18
Nudo n64	1.07	50.21	41.82
Nudo n66	1.91	50.20	41.47
Nudo n67	1.10	50.16	45.67
Nudo 2	0.00	51.58	32.85
Nudo 3	0.17	51.57	32.84
Nudo 4	0.00	53.00	34.27
Nudo 5	0.00	50.66	45.43
Nudo 6	0.00	50.50	41.92
Nudo 7	0.00	50.50	41.92
Nudo 8	0.00	50.50	41.92
Nudo 9	0.00	50.50	41.92
Nudo 10	0.00	50.50	41.92
Nudo 11	0.00	50.66	45.43
Embalse 1	-22.38	53.00	0.00