

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



**FC**  
Facultad de  
Contrucciones

**Departamento de Ingeniería Hidráulica**

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título Análisis y propuesta de abasto por gravedad de pequeños poblados

Autor: Sulainy Yervilla Rodríguez.

Tutor: Juan Daniel Quintana Camacho.

Santa Clara, junio 2018  
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

(...) “Hagámonos el propósito de redoblar nuestros esfuerzos y jurémonos ante nosotros mismos que si un día, nuestro trabajo nos pareciera bueno debemos luchar por hacerlo mejor, y si fuera mejor, debemos luchar por hacerlo perfecto; conociendo de ante mano que para un comunista nada será nunca suficiente bueno y ninguna obra humana, será jamás suficientemente perfecta” (...).

Cdte Fidel Castro Ruz

### **Dedicatoria:**

Este trabajo está dedicado especialmente a mi madre por estar conmigo en cada momento de mi vida y tener tanta confianza en mí para alcanzar este sueño que siempre habíamos anhelado, a mi esposo por quererme tanto y apoyarme en los momentos buenos y malos, a mi niño por ser la razón de todo y darme fuerzas para seguir a delante, a mis hermanos por servirles siempre de ejemplo, a mi papa, mi madrastra, a mis tías, abuelos, primos, y a mis padrinos que siempre de una u otra forma me han apoyado en todas las decisiones de mi vida. A mi tutor por tener tanta paciencia conmigo y ayudarme incondicionalmente como lo ha hecho, a todas las personas que confiaron en mí y me apoyaron, especialmente a Doris y Yosvany.

## Agradecimiento:

Quiero agradecer a mi mamá Mayra Rodríguez Cruz y mi papá Manuel Enrique Yervilla Oropesa por su apoyo infinito en mi vida, a mi tutor Juan Daniel Quintana Camacho por su dedicación y paciencia, a mis compañeros de aula, especialmente a Nilien, Lianet y Dayana, por darme tanto cariño y apoyo en los cinco años de la carrera, a la familia de mi esposo que me acogieron como un miembro más de ellos desde el primer día, a mis vecinos, a los profesores del departamento de Ingeniería Hidráulica de la facultad de Construcciones, a los trabajadores de la Empresa de Recursos Hidráulicos, a todos los que de diferentes maneras me animaron y ayudaron para lograr este gran paso en mi vida que ha sido graduarme de Ingeniera Hidráulica en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

## Índice:

|                                                                                                                                 |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b><u>Pensamiento</u></b> .....                                                                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b><u>Dedicatoria</u></b> .....                                                                                                 | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b><u>Agradecimiento</u></b> .....                                                                                              | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b><u>Resumen</u></b> .....                                                                                                     | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b><u>Introducción</u></b> .....                                                                                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b><u>Capítulo I:</u></b> Fundamentos teóricos del diseño de Sistemas de Abastecimiento de agua en acueductos urbanos. ....     | 14                            |
| 1.1 Sistema de abasto de agua potable. ....                                                                                     | 14                            |
| 1.2 Elementos que componen un sistema de abastecimiento de agua. ....                                                           | 16                            |
| 1.3 Requisitos para un sistema de abastecimiento de agua según las Normas Cubanas vigentes .....                                | 32                            |
| 1.4 Software utilizados para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable. ....                                  | 37                            |
| 1.5 Generalidades del software a utilizar, WaterGEMS V8i.Serie 5, para la simulación de una red de abastecimiento de agua. .... | 39                            |
| 1.6 Estado Actual del sistema de abasto de agua potable en Buena Vista.....                                                     | 39                            |
| <b><u>Capítulo II:</u></b> Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.....                     | 41                            |
| 2.1 Caracterización de los componentes del sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista .....                    | 41                            |
| <b><u>Capítulo III:</u></b> Propuesta de rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.....    | 55                            |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Valoración de los componentes del sistema de abasto de agua al poblado de Buena Vista mediante el software WaterGEMS V8i. Serie 5..... | 55 |
| <b><u>Conclusiones y Recomendaciones.</u></b> ....                                                                                         | 65 |
| <b><u>Bibliografía.</u></b> .....                                                                                                          | 67 |

## Resumen:

El poblado de Buena Vista, que se ubica en el Municipio de Remedios, cuenta con un sistema de abastecimiento que ya se hace insuficiente para la población actual. Si se tiene en cuenta que buena parte del agua que se bombea durante 16 horas al día, se pierde por fugas en sus diferentes componentes y que se pierde también la energía utilizada en su bombeo y los productos químicos que le son suministrados para su tratamiento a la salida de la estación de bombeo, es evidente que se requiere realizar acciones de mejora. Cerca del poblado existió antes de 1959 una mina de asfaltita, para la cual se construyeron pozos y galerías que aún existen. En el presente trabajo, se propone y se demuestra la factibilidad de su uso como fuente alternativa. Por la altura en que se encuentra la fuente alternativa propuesta, no se requiere el uso de energía eléctrica, lo que constituye un modesto aporte a la preservación del medio ambiente, por la emisión de CO<sub>2</sub> que se evita y por el ahorro de energía que implica.

## Summary:

Buena Vista Town, located at Remedios municipality counts with a water supply system, which is, at the moment, not enough for the present population. If it's Taken into account that a considerable amount of water, pumped during 16 hours a day is lost due to leakage in different components and also the energy used by the pumps and the chemical products supplied to purify the water at the outlet of the pump station, is evident that some action to improve it are required. Very close to the town was a mine of asphaltite before 1959, for whose purpose some wells and galleries which steel exist were built. In the present paper the feasibility of use the wells and galleries as an alternative source is proposed and demonstrated. Due to the high in which the proposed source is located, the use of electric energy is not required, which is an unpretending contribution in benefit of environment because emission of CO<sub>2</sub> is avoided and saving energy is achieved.

## Introducción:

A inicios de la década de los 60, hubo en Cuba una Voluntad Hidráulica que trajo consigo que, la infraestructura hidráulica edificada por la Revolución para asegurar la disponibilidad del agua creciera significativamente en relación con la existente antes de 1959, pero una prolongada explotación de dicha infraestructura sin el adecuado y necesario mantenimiento, afectada además por eventos hidrometeorológicos, limitaciones financieras y erróneas prácticas en su operación, sumado ello a precios subsidiados y baja prioridad del agua como categoría del plan de la economía, han constituido las principales causas de la ineficiencia que hoy presentan las obras hidráulicas en sentido general y del uso irracional e improductivo de este limitado e imprescindible recurso (15).

Ante tal situación, a partir del año 2011, se ha acometido la rehabilitación de la infraestructura hidráulica de algunas de las principales ciudades del país, entre ellas las ciudades de Santiago de Cuba, Holguín, Manzanillo entre otras. A la par existe un número considerable de poblados de menor relevancia en cuanto a la cantidad de habitantes, que también requieren de la rehabilitación de su infraestructura total o parcialmente.

La escases de recursos energéticos hace que el suministro de agua sea una actividad relativamente cara, sobre todo cuando se requiere del bombeo desde la fuente hasta los consumidores.

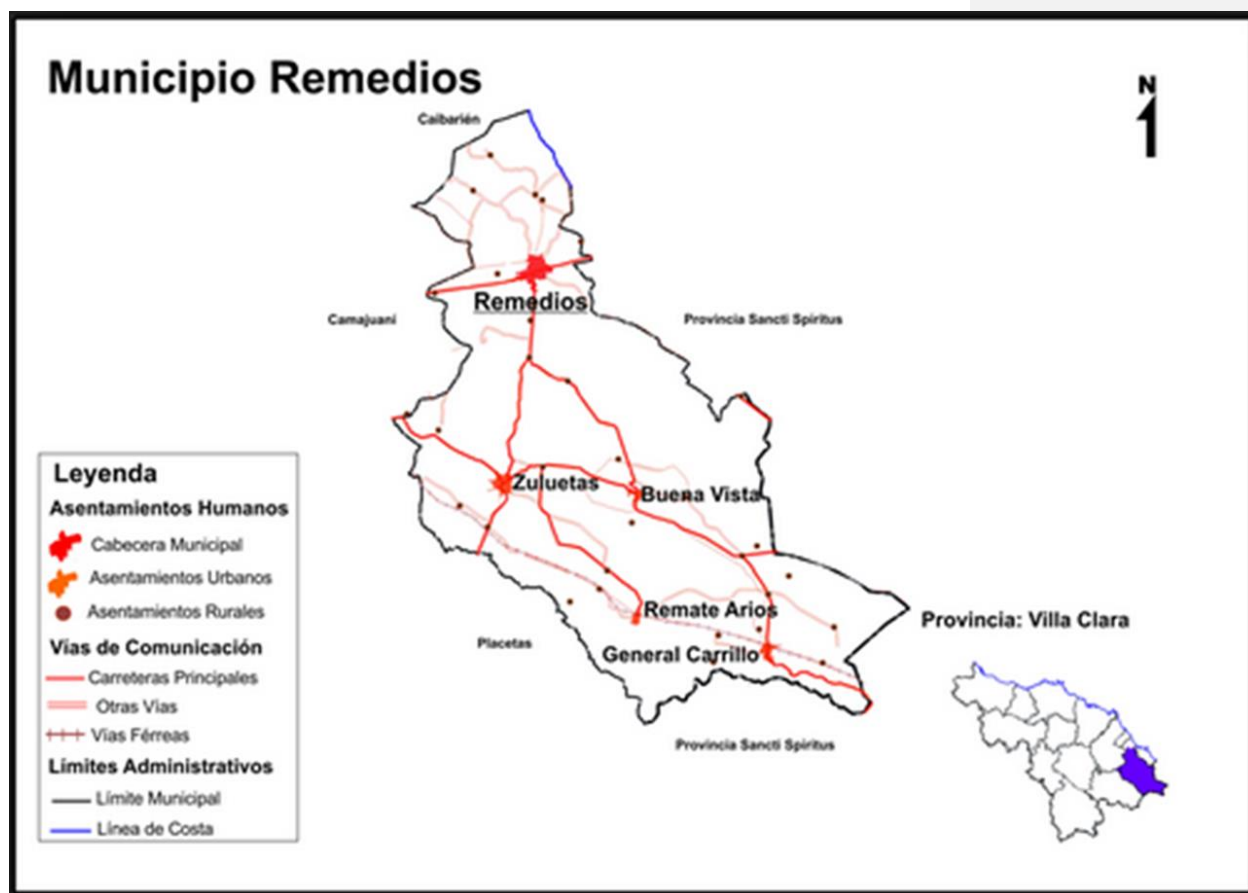
En Cuba, diversos estudios realizados por especialistas y entidades (Planos E, et al., 2013) describen futuros escenarios (2050-2100) climáticos, hidrológicos y marinos costeros que revelan, entre otros: una disminución de la precipitación anual entre el 15% y 60% respecto a los valores actuales, por lo que los especialistas de la ingeniería hidráulica tienen la obligación, de modo preventivo de buscar soluciones que eliminen o atenúen los efectos de dichos fenómenos.

Es de suma preocupación para los habitantes de Buena Vista, ubicado a 18 km del poblado de Remedios en la provincia de Villa Clara, el abatimiento frecuente del nivel freático en la actual fuente de abastecimiento de agua y se encuentran temerosos de quedarse sin el suministro del preciado líquido en próximos períodos de sequía, pues en ocasiones anteriores este nivel se ha abatido tanto que han visto reducido el caudal que reciben.

La fuente de abasto actual presenta una calidad adecuada para el consumo de la población, solo requiere de un tratamiento de cloro con una concentración del 20 %. La estación de bombeo cuenta con 1 bomba con motor eléctrico, la cual se encuentra trabajando, 1 bomba con motor DIESEL de reserva y una bomba de cloración marca NIKKISU japonesa, y entrega un caudal de 12 L/s con 16 horas de bombeo diarias.

Antes del triunfo de la Revolución existía, próximo a las elevaciones Dos Sierras, a 1.5 km al sur del poblado de Buena Vista, una mina de asfaltita, para la cual se construyeron pozos y galerías que perduran en la actualidad. En uno de los pozos, se pretende realizar estudios sobre la posibilidad de utilización del mismo como fuente alternativa y poder precisar si es posible el abasto por gravedad, dado que la nueva propuesta se encuentra en cotas considerablemente más altas que el poblado. La zona de la fuente está próxima a las mencionadas elevaciones con cotas aproximadas de 206m, descendiendo hacia el poblado con pendiente promedio aproximada del 2% hasta alcanzar cotas de alrededor de 170m.

Según estudios realizados en el laboratorio de muestras tomadas para determinar la calidad del agua, se cumple con lo establecido en la NC 93-11/1986: 1986 "Fuentes de abastecimiento de agua Calidad y protección sanitaria" y la NC 93-02/1985 "Agua Potable requisitos Sanitarios y muestreo", y los mismos demostraron que esta agua solo requiere de un simple tratamiento de cloración para el consumo humano.



**Figura 1:** Ubicación geográfica del poblado Buena Vista.

**Problema de investigación:**

El poblado de Buena Vista no cuenta en la actualidad, con una fuente de abastecimiento alternativa a la existente. Hasta el presente el abastecimiento se realiza desde un pozo cercano al poblado, cuyos niveles se han visto deprimidos frecuentemente durante períodos de sequía y se teme la ocurrencia de un prolongado período de reducción de la entrega.

**Hipótesis.**

Si se mantienen las características físicas químicas y bacteriológicas del pozo existente en las elevaciones Dos Sierras, ubicadas al sur del poblado de Buena Vista, y se realiza un diseño adecuado de un sifón para extraer su agua y de una conducción para transportar la misma a la red existente, puede garantizarse por gravedad un caudal igual o superior al actual con una presión en todos los puntos de la red superior a la mínima requerida.

**Objetivo general.**

Determinar si la fuente alternativa puede suministrar un caudal igual o superior al actual, con la calidad requerida, para poder satisfacer la demanda de la población.

Determinar una fuente de abasto de agua alternativa al poblado de Buena Vista, que sea capaz de suministrar un caudal igual o superior al actual y con la calidad requerida en períodos de intensa sequía, para poder satisfacer la demanda de la población.

**Campo de investigación.**

Sistema de abastecimiento de agua potable.

**Objeto de estudio.**

Diseño y rehabilitación de redes de abastecimiento de agua potable.

### **Preguntas de investigación.**

- ¿Será posible suministrar el agua suficiente al poblado, con la calidad necesaria para satisfacer la demanda de la población?
- ¿Cómo extraer el agua desde el pozo?
- ¿Bajo qué condiciones se realizará el tratamiento del agua para el consumo de la población?
- ¿Con qué presión reciben el agua los consumidores?
- ¿Cuánta energía se ahorra y cuál es la magnitud de la emisión de CO<sub>2</sub> evitada?

### **Objetivos específicos.**

Determinar la posibilidad de suministrar el caudal de diseño desde la fuente alternativa con la presión requerida en todos los puntos de la red, incluyendo la extracción desde el pozo.

Realizar un diagnóstico de los diferentes componentes del sistema de abastecimiento actual, teniendo en cuenta los antecedentes vinculados al tema de investigación.

Proponer soluciones para el proceso de cloración, teniendo en cuenta el caudal de entrega.

Diseñar la conducción desde la fuente alternativa hasta la red existente.

Cuantificar el listado de cantidades y materiales y accesorios requeridos para la instalación de la nueva conducción.

### **Tareas de investigación:**

Búsqueda bibliográfica de los antecedentes vinculados al tema de investigación.

Evaluación de cada componente del sistema.

Simulación del comportamiento de la red de distribución actual a partir de las dos posibles fuentes de abastecimiento de agua.

Recomendaciones para la rehabilitación o mejoras del sistema.

Valoración económica de la propuesta.

**Estructura de la tesis.**

**Capítulo 1.** Fundamentos teóricos del diseño de Sistemas de Abastecimiento de agua en acueductos urbanos.

**Capítulo 2.** Diagnóstico de sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.

**Capítulo 3.** Propuesta de rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.

**Conclusiones y Recomendaciones.**

**Bibliografías.**

## **CAPÍTULO 1. Fundamentos Teóricos del Diseño de Sistemas de**

### **Abastecimiento de Agua en acueductos urbanos.**

#### **1.1. Sistemas de abastecimiento de agua.**

Se puede definir como sistema de abastecimiento de agua al conjunto de tuberías, instalaciones equipos y accesorios destinados a conducir, almacenar y distribuir las aguas requeridas por una población determinada para 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 según la fuente de agua que poseen:

- 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 galerías filtrantes;
- Agua superficial proveniente de ríos, arroyos, embalses o lagos naturales;
- Agua de mar.

En función de donde se encuentre la fuente de abastecimiento en relación con la población a servir, se pueden presentar dos casos; por gravedad y por bombeo. En ambos casos se cuenta con los mismos componentes, excepto la estación de bombeo que no está presente en los sistemas por gravedad.

El sistema por gravedad es aquel en el que el agua circula desde un punto inicial con una mayor energía, que pudiera ser la fuente de abastecimiento, hacia un punto final donde se encuentran los consumidores y donde tiene menor energía. La diferencia de energía se consume en el proceso y es la responsable de la circulación del fluido. Todo el proceso transcurre sin un suministro de energía externo al sistema, como pudiera ser

la utilización de energía mecánica suministrada por un conjunto de bomba-motor. La energía utilizada para el desplazamiento es la energía potencial que tiene el agua por su altura, la energía cinética dada por su velocidad y la presión, lo cual puede expresarse a través de la ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + hf_{1-2}$$

Donde:

$Z_1$  = Altura o energía potencial en el punto inicial

$\frac{P_1}{\gamma}$  = Presión en el punto inicial

$\frac{v_1^2}{2g}$  = Energía cinética en el punto inicial

$Z_2$  = Altura o energía potencial en el punto final

$\frac{P_2}{\gamma}$  = Presión en el punto final

$\frac{v_2^2}{2g}$  = Energía cinética en el punto final

$hf_{1-2}$  = Pérdidas de energía entre los puntos inicial y final

Las **ventajas** principales de este sistema de abastecimiento son:

1. No requiere consumo de energía a causa del bombeo, razón por la cual no aparecen costos asociados a ella.
2. El mantenimiento es menor que en sistemas con bombeo porque apenas tienen partes móviles.
3. La presión del sistema se controla con mayor facilidad y se evitan incrementos súbitos de ésta.

4. Dado que interviene una menor cantidad de equipos y accesorios como bombas, motores, transformadores, líneas eléctricas, válvulas y otros su **fiabilidad** es mayor

En muchos casos en la práctica, se presentan sistemas en que una parte del suministro se realiza por bombeo y otra por gravedad. Por ejemplo, algunos sistemas suelen diseñarse para bombear el agua hasta un punto elevado, que pudiera ser un depósito de distribución, a partir del cual puede distribuirse el agua por gravedad hacia los consumidores.

### **1.2. Elementos que componen un sistema de abastecimiento de agua.**

Generalmente los sistemas de abastecimiento de agua potable están compuestos por los siguientes elementos:

- Fuentes de abastecimiento.
- Equipos de bombeo.
- Sistema de cloración
- Depósitos de almacenamiento.
- Tubería exterior o de aducción.
- Tubería de alimentación
- Redes de distribución.
- Elementos y accesorios complementarios.

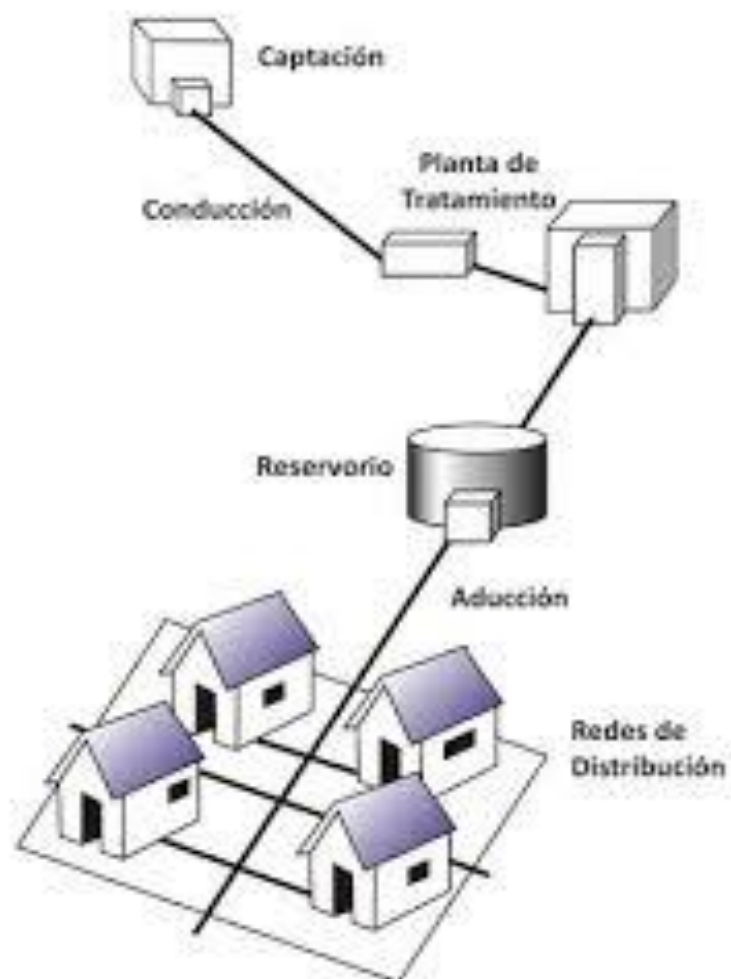
#### **Fuentes de abastecimiento.**

Es el aspecto principal en la elaboración de un proyecto de acueducto, por lo que no debe iniciarse el diseño de otros elementos sin tener garantizado el caudal de circulación necesario. El agua para el consumo humano puede clasificarse en agua pura, potable, sospechosa o mala; pero de acuerdo a su captación pueden ser subterráneas o superficiales.

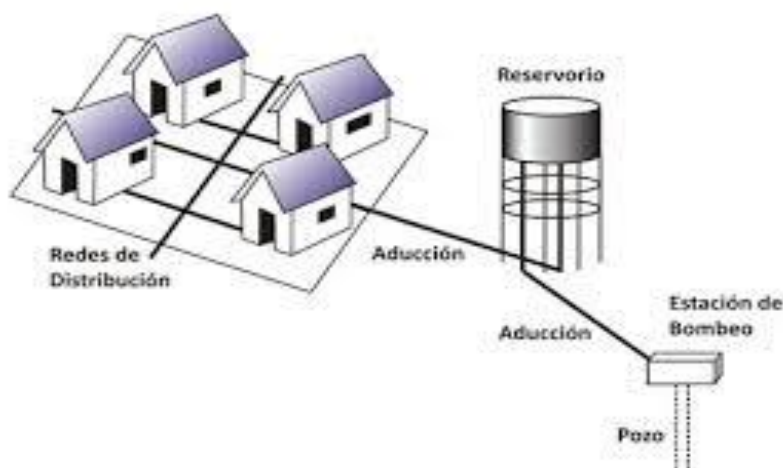
Las aguas subterráneas se pueden obtener de cuevas, ríos subterráneos, manantiales, galerías de infiltración o pozos perforados, este tipo de abastecimiento por lo general no necesita una planta de tratamiento. Para su aprovechamiento se requieren obras de captación, tienen como objetivo obtener la mayor cantidad de agua con el mínimo gasto de energía. Al hablar de captaciones para explotación de aguas subterráneas generalmente nos referimos a pozos verticales, pero existen otros sistemas constructivos que permiten alcanzar el mismo fin.

Las aguas superficiales se obtienen de ríos, lagos, arroyos, lagunas o presas; pero en este tipo de fuente es imprescindible el tratamiento de las aguas mediante plantas potabilizadoras, para ello se necesitan un gran número de equipos y por tanto mayor empleo de energía. Toda fuente de abastecimiento, cualquiera que sea su tipo, debe cumplir con la NC 827: 2012 "Requisitos sanitarios del agua potable".

En las figuras que se muestran a continuación se observan de forma breve los esquemas aproximados de abasto de agua con fuentes superficiales y fuentes subterráneas.



**Figura 1.1:** Sistema de abasto de agua con fuente superficial.



**Figura 1.2:** Sistema de abasto de agua con fuente subterránea.

La captación de aguas subterráneas se realiza a través de pozos y en general no se efectúa tratamiento de agua alguno, salvo en ocasiones, la adición de cloro, la mayor parte de las veces como precaución, esto establece una enorme diferencia con las aguas superficiales, las que además de ser siempre desinfectadas, obligan a complejos tratamientos de potabilización, con un gran despliegue de equipos y el consecuente mayor empleo de energía.

### **Equipos de bombeo.**

Uno de los aspectos más importantes es que las bombas tengan su máximo rendimiento u óptimo, lo más cerca posible del punto de operación. No resulta conveniente elegir una bomba sobredimensionada con vistas a posibles ampliaciones futuras del sistema. El rendimiento es máximo en el punto llamado de diseño de la bomba y disminuye tanto para caudales superiores como inferiores.

Normalmente, tanto la potencia como el rendimiento se refieren únicamente a la bomba, sin tener en cuenta el motor que se utiliza para accionarla. Los valores máximos de rendimiento se tanto de las bombas como de los motores, están en estrecha relación con su tipo y tamaño. En el caso particular de las bombas centrífugas, se puede asegurar que en general bombas mayores tienen mayores eficiencias o rendimiento y este depende a su vez de un parámetro característico de las bombas que se denomina velocidad específica. Lo recomendado cuando se realiza un proyecto ejecutivo es contar con la información que brindan los fabricantes de bombas, pero en etapas previas o para obtener un valor bastante aproximado del posible rendimiento de la bomba puede utilizarse la siguiente expresión:

$$\eta_e = 0.94 - (13.2 Q_p)^{-0.32}$$

$$\Delta\eta_e = 0.29[0.32 - \log(47.43nq|1000)]^2$$

Donde:

$\eta_e$ =Eficiencia de la bomba en forma decimal

$Q_p$ =Caudal de la bomba en L/s

$Nq$  =Velocidad específica de la bomba

$$Nq = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

La constante  $Nq$  (denominada velocidad específica) tiene dimensiones según el sistema de unidades que se utilice, por ejemplo,  $Q$  en  $m^3/s$ ,  $H$  en  $m$  y  $n$  en  $rpm$

La primera clasificación posible de las bombas es separarlas en el grupo de bombas de desplazamiento positivo y bombas rotodinámicas.

Las primeras operan de forma volumétrica: desplazan un determinado volumen por unidad de tiempo, independientemente de la presión. Son bombas de émbolos, paletas, engranajes, etc., donde se requieren unos caudales ínfimos con presiones muy elevadas.

Las bombas rotodinámicas, consiguen incrementar la energía del fluido a base de aumentar la energía cinética (por medio de la deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete) recuperando esta energía posteriormente en forma de presión.

La principal forma de clasificación de las bombas rotodinámicas es separarlas en bombas axiales, mixtas y radiales, según la dirección de salida del flujo con respecto al eje.

La utilización de bombas axiales está indicada cuando se necesitan grandes caudales con pequeñas alturas de elevación. Las centrífugas, cuando se necesitan grandes alturas y pequeños caudales. Las bombas mixtas constituyen un caso intermedio.

### **Sistema de cloración.**

La aplicación de cloro al agua es una medida para proteger la salud de la población. Es por ello que deben funcionar de forma permanente y segura. Así, esta barrera contra las enfermedades protegerá de forma efectiva. Para que la instalación cumpla estos propósitos es absolutamente imprescindible una buena operación.

#### **Tipos de instalación.**

Existen dos clases de instalaciones para la cloración según el producto utilizado: las de cloro gas y las de hipoclorito.

- Las primeras emplean gas cloro licuado como desinfectante del agua, son las instalaciones de mayor capacidad, por lo que se utilizan en los acueductos de poblaciones grandes y medianas.
- Las instalaciones de hipoclorito aplican una solución de hipoclorito de sodio o de hipoclorito de calcio, que se diluye en agua y se aplica mediante una bomba dosificadora. Las bombas dosificadoras pueden ser de pistón o de diafragma. En instalaciones pequeñas, que trabajan a gravedad, se utilizan con frecuencia dosificadores de hipoclorito a carga constante y, cuando

existe una cisterna o depósito, se emplea también los dosificadores por difusión.

#### **Productos utilizados para la cloración.**

En la cloración del agua de los acueductos se utilizan principalmente tres productos:

- ° Cloro gas. El cloro gases un gas licuado de color amarillo verdoso, irritante y corrosivo en presencia de agua. Se envasa en cilindros de acero y se aplica mezclado con agua, generalmente a presión alta.
- ° Hipoclorito de sodio. El hipoclorito de sodio es un líquido amarillo, corrosivo y cáustico, que contiene alrededor del 10% en cloro activo. Se transporta y almacena en depósitos resistentes a la corrosión, que deben protegerse del calor. El hipoclorito de sodio es poco estable, pierde el cloro activo con relativa rapidez, por lo que debe consumirse en los 30 días posteriores a su recibo.
- ° Hipoclorito de calcio. El hipoclorito de calcio es un polvo blanco, con concentración entre el 20 y el 70% de cloro activo. Si se protege contra la humedad y el agua puede ser almacenado por varios años

#### **Instalaciones de cloración.**

- ° La instalación de gas cloro tiene tres componentes principales: La bomba auxiliar, el equipo clorador y los depósitos de cloro. La bomba auxiliar impulsa un caudal pequeño de agua a presión alta a través de un eyector. El vacío que produce esta agua arrastra al gas cloro desde el equipo, lo mezcla con el agua de la bomba y se aplica en un punto de inyección en la conductora o canal de agua. El clorador es un aparato que trabaja a vacío (el mismo que produce la bomba), mide el caudal de gas que pasa a través de él y regula su dosificación. Los depósitos de cloro gas son cilindros de acero de 1000, 900, 850, 700 o 69kg de capacidad. Constan de una o dos válvulas, caperuzas para proteger a estas y de fusibles. Los cilindros se

colocan en un lugar protegido, se conectan al equipo, generalmente por una toma múltiple y una tubería de cobre flexible o de acero.

- ° Las instalaciones de hipoclorito cuentan con una bomba dosificadora y uno o más depósitos de solución. Las bombas dosificadoras, según su aplicación, se clasifican en: de pistón o de diafragma. Las bombas de pistón utilizan un pistón de desplazamiento positivo, construido de porcelana, plástico o acero inoxidable. El caudal que se dosifica es proporcional al recorrido del pistón y su diámetro. Las bombas de diafragma son generalmente de menor capacidad que las de pistón. La dosificación se realiza mediante la compresión de un diafragma doble, con lo que la solución entra en la cámara del diafragma y es expulsada hacia el punto de aplicación. El depósito de solución preparada es un tanque plástico, de asbesto cemento o de hormigón estucado, donde se diluye la solución de hipoclorito con más agua, se deja en reposo y se succiona por la bomba dosificadora mediante una manguera. Tanto las mangueras de succión como las de descarga de la bomba dosificadora cuentan con una válvula de cheque para evitar el retroceso del líquido bombeado.

### **Depósitos de distribución.**

Su función principal es almacenar agua en los períodos donde la demanda es menor que el suministro, de tal forma que en los períodos en que la demanda sea mayor, se supla el déficit con el volumen almacenado previamente en el depósito. Entre otras funciones se encuentran las de compensar las variaciones horarias del consumo; almacenar un volumen estratégico para situaciones de emergencia como por ejemplo incendios; absorber las variaciones horarias, es decir, acumulan el agua durante los períodos de poco consumo (durante la madrugada) y se llenan. Entregan un caudal mayor al máximo diario en los horarios pico (como, por ejemplo, a la hora de cocinar, bañarse, etc.) y se vacían. Brindan presiones adecuadas en la red de distribución y disponen de reserva ante

eventualidades e interrupciones en el suministro de agua. En caso de bombeo permite mantener una eficiencia de trabajo de las bombas más próxima a la del punto de diseño, pues, a diferencia del bombeo directo contra la red, el nivel y presión en la descarga es prácticamente constante. Los depósitos pueden ser contruidos sobre el terreno si se dispone de un desnivel topográfico adecuado que permita el funcionamiento de la red de distribución bajo las normas adecuadas de presión. En el caso de no disponer de la condición topográfica anterior, se debe proyectar un tanque elevado, sobre torre.

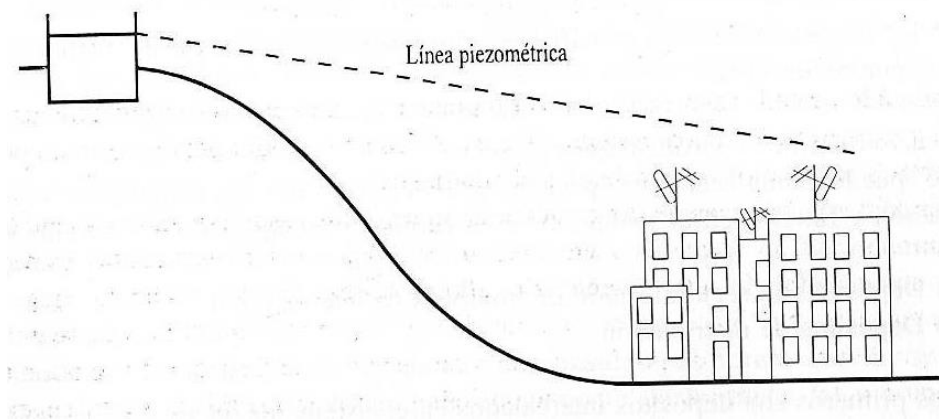
**Según su función y posición en relación con la red se clasifican como:**

- ° Tanques de distribución en cabecera: Se sitúan aguas arriba de la red que alimentan. Toda el agua que se distribuye en la red tiene necesariamente que pasar por el tanque de cabecera.
- ° Tanques de compensación y de cola: Como su nombre lo dice, se sitúan en el extremo opuesto de la red, en relación al punto en que la línea de aducción llega a la red. No toda el agua distribuida por la red pasa por el tanque de cola.
- ° Torres a presión.
- ° Recipientes a presión (calderines).

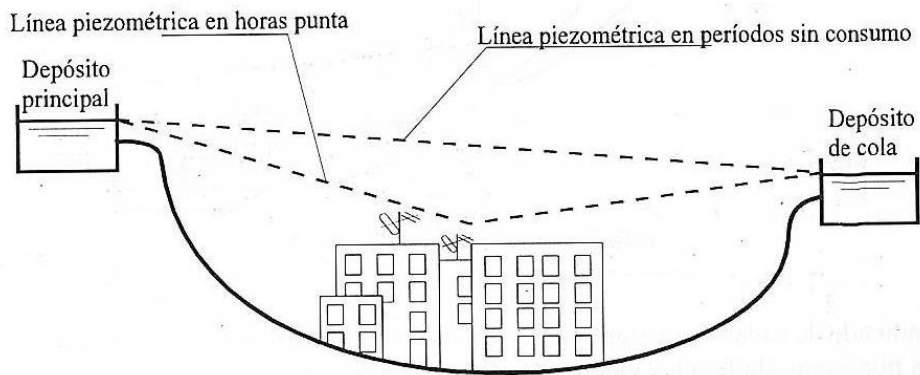
**Según su construcción:**

- ° Enterrados
- ° Semienterrados
- ° Superficiales
- ° Elevados

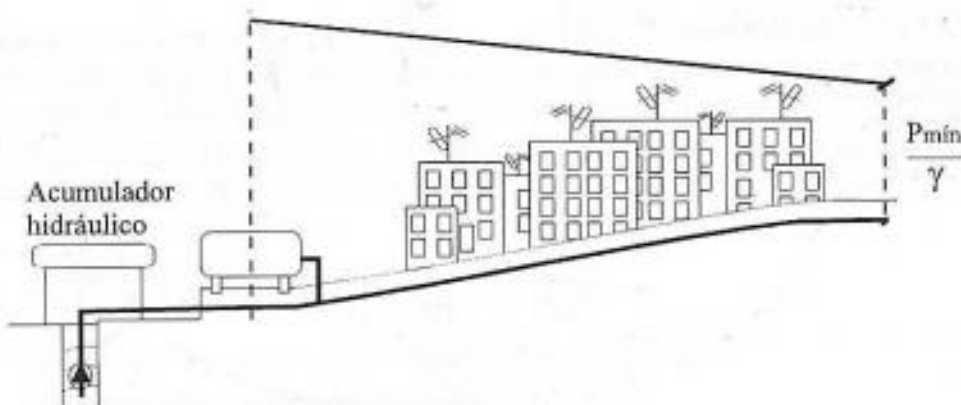
Según la NC 53-121 se recomienda valores de entre el 30 y el 50% sumo diario para depósitos apoyados y entre 10 y 30% para los elevados. Además, indica que para poblaciones menores de 50000 habitantes se reserve en el tanque un volumen de 115 m<sup>3</sup>.



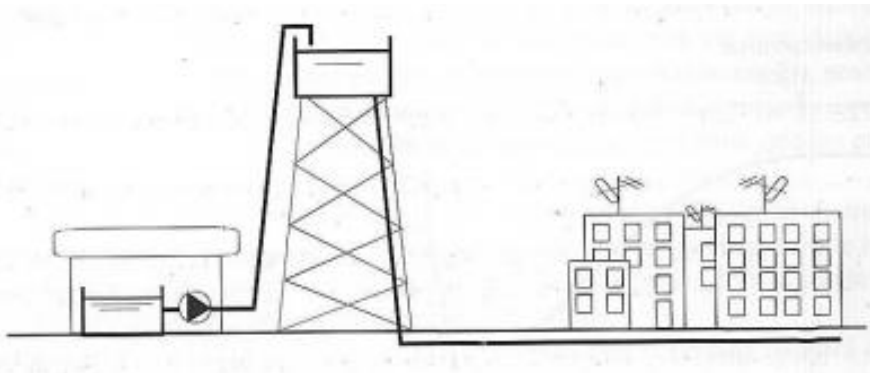
**Figura 1.3:** Depósito de distribución en cabecera.



**Figura 1.4:** Depósito de distribución en cola.



**Figura 1.5:** Esquema del funcionamiento de un tanque de distribución.



**Figura 1.6:** Esquema del funcionamiento de una torre de presión.

### **Conductoras:**

Las conductoras son las tuberías encargadas de conducir el agua desde la fuente de abasto hasta el tanque y desde este hasta el inicio de la red de distribución. Las tuberías empleadas para este fin, pueden ser de distintos materiales como, por ejemplo: termoplásticas, plástico reforzado con fibra de vidrio, acero, hormigón centro acero, asbesto cemento, entre otros. En Cuba se cuenta actualmente con tres fábricas de tuberías de PEAD y es con este material que se construyen prácticamente todas las conductoras.

Atendiendo al origen de la energía disponible para transportar el flujo:

- ° Conductoras de gravedad: Son aquellas en las que el agua fluye por una diferencia de nivel entre dos puntos del sistema.
- ° Conductoras de bombeo: En este caso es necesario imprimirle una energía adicional al fluido (bombeo) para vencer una diferencia de nivel adversa entre dos puntos del sistema.

Atendiendo al régimen de circulación del flujo:

- ° Conductora a presión: En las que el fluido circula a presión en todo momento dentro del conducto.
- ° Conductora libre: Son aquellas en las que el flujo circula en una sección parcialmente llena del conducto a lo largo de este.
- ° Conductora mixta: Son aquellas en las que el fluido circula a presión por un tramo del conducto y libre por otro.

Atendiendo a su función dentro del sistema de abastecimiento de agua:

- ° Conductoras exteriores o aducciones: son aquellas conducciones forzadas (por bombeo o gravedad) que conducen el agua desde la fuente hasta un punto de descarga, que por regla general es un tanque de distribución. Estas conducciones no poseen entrega en su trayecto, a no ser que la entrega haya sido prevista desde el proyecto.

- ° Tuberías de alimentación: son las tuberías de alimentación a los sectores hidrométricos de la red. Por regla general parten desde el tanque hasta la entrada de los sectores hidrométricos.
- ° Tuberías principales: son las tuberías que conforman la malla de la red y que distribuyen el caudal dentro de cada sector y que pertenecen a este. Estas tienen diámetros de 110 milímetros o mayor y requieren del cálculo hidráulico para su colocación.
- ° Tuberías secundarias o de relleno. Son las tuberías de 100 y 90mm dentro del sector que se colocan sin cálculo previo (excepto cuando las condiciones topográficas exijan lo contrario, o sea, la colocación de un diámetro menor). Resulta importante en este paso, identificar aquellas tuberías que siendo de alimentación o principales poseen entrega directa a usuarios, aspecto que debe suprimirse durante la rehabilitación

**Red de distribución.** Se denomina red de distribución al conjunto de elementos encargados del transporte del agua desde los puntos de producción y/o almacenamiento hasta los puntos de consumo: viviendas, comercios, industrias, hidrantes de riego e incendio etc. La red está compuesta básicamente por tuberías y elementos especiales: válvulas, accesorios, hidrantes, elementos de unión, elementos de medición, etc., que deben ser dimensionados adecuadamente para suministrar los caudales demandados. Las redes de distribución de agua pueden clasificarse atendiendo a un gran número de criterios. Entre ellos se pueden destacar:

Tipos de redes de acuerdo al uso a que vaya destinada el agua:

- ° Redes generales de suministro de agua en zonas urbanas: En estos casos es la misma red la encargada del suministro doméstico, industrial, riego, limpieza de calles, extinción de incendios etc.

- ° Redes de abastecimiento para zonas residenciales: Una red de uso exclusivo para el agua potable y otra para el resto de los usos (limpieza de calles, riego, incendio, etc.) con agua de menor calidad.
- ° Redes de servicios en polígonos industriales.
- ° Redes exclusivas de riego: Cultivos y/o jardines.
- ° Redes para uso exclusivo en la extinción de incendios.

Tipos de redes atendiendo a la topología del sistema.

- ° Ramificadas.
- ° Malladas.
- ° Mixta.

**Red ramificada:** Desde el punto de vista topológico, una red ramificada es aquella en la que, para una situación definida de consumos en los nudos, pueden calcularse los caudales circulantes por las tuberías, sin más que aplicar la ecuación de continuidad; es decir, el caudal circulante por una tubería, será igual a la suma de los consumos en los nudos situados aguas debajo de la misma. Este tipo de red, solo puede tener un punto de alimentación, ya que en caso contrario pasaría a ser mallada.

**Ventajas:**

- ° Es más simple su diseño y su regulación posterior, por estar definidos los caudales circulantes por las conducciones.
- ° Su costo de inversión es menor.

**Desventajas:**

- ° Los consumos situados aguas abajo de una conducción en la que se ha producido una rotura, no pueden ser satisfechos. Las posibles ampliaciones o

incrementos de consumo pueden dar lugar a presiones insuficientes sino se ha tenido en cuenta este hecho a la hora de diseñar el sistema.

- Los extremos de las conexiones presentan el inconveniente de que el agua queda estancada, con lo que puede originar problemas sanitarios en el caso de redes de agua potable si el tiempo de permanencia del agua en la red se prolonga excesivamente y no se realizan purgas periódicas. El hecho de que el agua no circule algunas horas al día a una velocidad mínima, favorece el que se produzcan incrustaciones que reducen el diámetro de la tubería.

**Red mallada:** En este tipo de redes, los caudales circulantes por las conducciones, no quedan definidos aplicando las ecuaciones de continuidad, sino que es necesario utilizar además las ecuaciones de equilibrio de malla. Se puede decir que en los sistemas ramificados el agua solo puede seguir un camino para llegar a cada uno de los nudos del sistema, mientras que en los mallados las posibilidades son múltiples, como mínimo son posible dos caminos diferentes. Ello se traduce en una mayor seguridad en el suministro, pues en caso de interrupción en una tubería, existen caminos alternativos para el suministro de los nudos de la red que hayan quedado desabastecidos. Esta es la razón fundamental por la que, a pesar de implicar un costo superior, se usan redes malladas en los sistemas de abastecimiento, sobre todo en las conducciones principales que abastecen a un gran número de consumidores. Las ramificadas se justifican debido a su menor costo.

**Ventajas:**

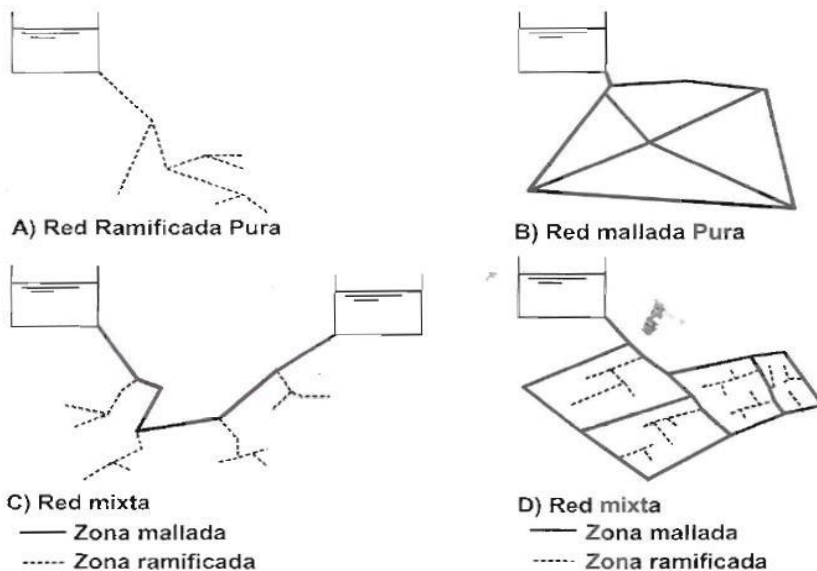
- Seguridad del suministro en el caso de roturas si han sido adecuadamente dimensionadas y si se han dispuesto las válvulas de seccionamiento adecuadas para aislar los tramos afectados.
- Se reducen los problemas sanitarios pues no se producen estancamientos prolongados al circular el agua en mayor o menor medida por todas las tuberías.

- Menos pérdidas de carga en el sistema, lo que se traduce en alturas piezométricas y por ende presiones más equilibradas. Los usuarios disponen de presiones semejantes en sus acometidas. Para lograr esto en redes ramificadas, tendría que acudir a sistemas sobredimensionados, desapareciendo las ventajas económicas.

**Desventajas:**

- Un mayor costo de inversión.
- Su dimensionado es más complejo.
- La regulación es más compleja.

**Red mixta:** se podrán calcular de forma inmediata los caudales circulantes en las arterias ramificadas, pero no en las mallas.



**Figura 1.7:** Tipos de redes según la topología.

### **Elementos y accesorios complementarios**

Los elementos complementarios pueden agruparse de acuerdo con la función que realizan en: válvulas, elementos de medida y control, registros, anclajes.

#### **Válvulas:**

Las válvulas están presentes en una red de distribución, realizando diversas funciones. La mayoría de ellas se utilizan como elementos que permiten aislar tramos de la red de distribución para realizar operaciones de mantenimiento. Las válvulas a instalar en una red de distribución pueden clasificarse, con arreglo a la función que desempeña, en:

- ° Válvulas de seccionamiento.
- ° Válvulas de control.
- ° Válvulas de retención.
- ° Válvulas de regulación.
- ° Ventosas.
- ° Válvulas de protección.
- ° Válvulas de control de depósitos.

#### **Elementos de medidas y control.**

Su finalidad es la de proporcionar un conocimiento de las principales variables físicas que nos indiquen el estado de la red, es decir, que nos muestren el caudal y la presión en cada punto de interés. Su utilización es siempre recomendable y en algunos casos resulta imprescindible (sobre todo en sistemas complejos y/o de grandes dimensiones), en la práctica su uso suele limitarse por cuestiones económicas, pero es indispensable su uso racional para el control del agua que ingresa y sale de cada sector.

Además de las variables que podríamos denominar hidráulicas (presión, nivel y caudal o volumen) existe una serie de variables adicionales que es preciso conocer, como por

ejemplo, posición de válvulas, estado de bombas, velocidad de giro de las mismas. Asimismo, es necesario disponer de datos de variables de tipo eléctrico, potencia, tensión, energía consumida, etc. Los principales tipos de medidores que puede encontrarse en una red de abastecimiento de agua son:

- ° Medidores de presión.
- ° Medidores de nivel.
- ° Medidores de caudal / volumen
- ° Medidores de cloro.

#### **Otros elementos a instalar.**

Entre los otros elementos a instalar para que cumplan determinada función, se encuentran los siguientes:

- ° Desagües.
- ° Bocas de riego.
- ° Hidrantes de extinción de incendios.
- ° Acometidas.
- ° Registros
- ° Anclajes

### **1.3. Requisitos para un sistema de abasto de agua según las normas cubanas vigentes.**

El objetivo del servicio de acueducto es que la entrega de agua potable a los usuarios cumpla con la calidad requerida, además de los parámetros que la hacen inocua para la salud, por lo que es necesario mantener el control de las características físico químico y bacteriológico de todo el sistema. Para ello es

necesario regirse por las normas cubanas aprobadas y vigentes para el abasto de agua potable.

**Normas cubanas:**

En relación a los sistemas de abastecimiento se emplean diferentes normas cubanas algunas de ellas son:

❖ **NC 973:2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.**

Esta Norma Cubana establece los índices per cápita (dotación) de las demandas 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 la fuente de abastecimiento de agua, la capacidad de los conductos y la elaboración de planes de suministro de agua.

❖ **NC 53 – 121 Elaboración de Proyectos de construcción. Acueducto. Especificaciones de proyecto.**

Esta norma establece las especificaciones de proyecto para acueductos que darán servicios a la población y la industria fundamentalmente y se aplica en todas las etapas de elaboración de nuevos proyectos, así como en la ampliación o modificación de los ya existentes. Para su confección se hizo referencia a las Normas estatales que se relacionan:

**48 03:83** Ingeniería Hidráulica. Riego y drenaje. Términos y definiciones

**48 14:83** Ingeniería Hidráulica. Drenaje pluvial de cubiertas. Especificaciones de proyecto.

**48 26:83** Ingeniería Hidráulica. Drenaje pluvial urbano. Especificaciones de proyecto.

**53 91:83** Elaboración de Proyectos de Construcción. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones.

**53 91:83** Elaboración de Proyectos de Construcción. Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones.

❖ **NC 93-01-209: 1990 Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. Procedimientos de Cálculo para la Determinación de la Zona de Protección Sanitaria. Cuba.**

La norma establece los procedimientos de cálculo para la determinación de las zonas de protección sanitaria para una fuente de abasto enclavada en un acuífero. Lo dispuesto en esta norma es válido para todo nuevo trabajo que se realice, esté en etapas de construcción, de ampliación, o de simple planeamiento. Con la utilización de ella se evita una contaminación del medio ambiente, en este caso las aguas subterráneas; se ubica correctamente el pozo a construir en la zona adecuada para ello, donde exista un mayor caudal de acuerdo a la geología del terreno, evitando así la construcción de pozos en lugares inapropiados como son terrenos contaminados o simplemente con escaso manto freático para satisfacer la demanda de agua.

❖ **NC 93-11/1986 Higiene Comunal. Fuentes de Abastecimiento de Agua. Calidad y protección sanitaria, Cuba.**

Esta norma establece los requisitos que se deben cumplir en cuanto a la calidad del agua, y se definen las características para su protección sanitaria. En ella se precisa que todos los casos de utilización de una fuente de abastecimiento de agua, será aprobada por las autoridades sanitarias e hidroeconómicas correspondientes en nuestro país, lo cual permite garantizar el uso de los recursos hidráulicos en buen estado, de forma eficiente y económica para su consumo.

❖ **NC 93-02/1985 Higiene Comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo, Cuba.**

La norma establece los requisitos sanitarios del agua potable y el muestreo para el control de la misma. Se aplica a todas las aguas para consumo que se entreguen por cualquier sistema de abastecimiento público de agua individual o especial en todo el territorio nacional. Con la utilización de esta norma en el proceso de tratamientos de

aguas se permiten corregir las características del agua obtenida de la fuente de abasto para el consumo de la misma; se toman muestras para ensayos físicos, químicos y bacteriológicos con la periodicidad de dos veces al año, como mínimo en las fuentes de aguas subterráneas.

❖ **NC 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.

❖ **LEY No. 124 DE LAS AGUAS TERRESTRES.**

La presente Ley regula la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres que se encuentran dentro de la corteza terrestre o encima de ella, independientemente de su composición física, química o bacteriológica, en el espacio que conforma la parte emergida del territorio nacional limitado por la línea de costa.

❖ **Política nacional del Agua.**

Constituye la vía para alcanzar la visión que se propone el país para el desarrollo del sector hídrico, a la vez que resulta una contribución a la actualización del modelo económico cubano.

La política nacional del agua establece, promueve y canaliza a través de sus principios rectores cuatro prioridades estratégicas:

- El uso racional y productivo del agua disponible.
- El uso eficiente de la infraestructura construida.
- La gestión de riesgos asociados a la calidad del agua.
- La gestión de riesgos asociados a eventos del clima.

Las normas cubanas responden a las definiciones de agua potable establecidas por La Organización Mundial de la Salud (OMS), las cuales consisten en presentar las

concentraciones de microorganismos y sustancias máximas permisibles que puedan estar presentes en el agua, sin que afecte la salud del hombre.

#### **1.4. Softwares utilizados para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable.**

Para la confección de los modelos que se expondrán en este trabajo se utilizan los softwares líderes relacionados con el campo de la investigación que permita la modelación de redes de distribución de agua tanto en estado estático como en período extendido. Existen en los mercados diversos softwares que cumplen estas características, cada uno de estos programas nos permite no sólo el diseño mediante la realización de los cálculos, sino que también nos facilita los resultados en formato gráfico y un informe dónde se indican los cálculos realizados y los resultados obtenidos. Dentro de estos programas (algunos de código abierto y otros comerciales) se pueden destacar:

**WATERCAD:** es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego), propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos. WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.)

**H2OMAP:** H2OMAPWater es la plataforma SIG más potente y práctica para soluciones de agua potable. Como un programa autónomo basado en SIG (Sistemas de Información Geográfica), H2OMAPWater combina herramientas de análisis espacial y funciones de mapeo con sofisticados y precisos modelos de red para una completa gestión de infraestructura y planificación de negocios. Realiza un modelado hidráulico y dinámico rápido, fiable y completo de la calidad del agua, la gestión de la energía (con verdadero bombeo variable de velocidad), simulación y control en tiempo real con interfaz SCADA en línea, análisis de flujo de fuego completo y descarga unidireccional. El programa

también puede utilizarse eficazmente para analizar el sistema de recolección de alcantarillado presurizado.

**EPANET:** Epanet es un programa para computador libre que permite realizar análisis hidráulicos de sistemas de distribución de agua potable a partir de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nudos (consumos) para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente. El programa es de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. El mismo es capaz de trabajar con períodos de simulación sobre hidráulica y el comportamiento de la calidad de las aguas dentro de una red presurizada, además de estar diseñada para ser "una herramienta de investigación que mejore nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas". Si bien fue diseñado para agua potable también puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

**ROKO:** Roko es un sistema integrado de programas para el cálculo y diseño óptimo de redes hidráulicas urbanas. Está formado por tres módulos: DATOS, ROCT y KOLEC, mediante los cuales se puede calcular redes de abastecimiento de agua formadas por tuberías circulares con flujo a presión, así como redes de alcantarillado sanitario y de drenaje pluvial formadas por tuberías circulares o rectangulares con flujo por gravedad (llenado parcial) y permite la creación, revisión y modificación en pantalla de los ficheros de datos necesarios para calcular las redes. El sistema ROKO, además, facilita revisar una red ya dimensionada formada por tuberías nuevas y existentes en cualquier combinación, **obtener el diseño de costo mínimo total** de una red completa o parcialmente nueva.

**WATERGEMS:** Bentley WaterGEMS al igual que WaterCAD (producto de la misma casa de Software) permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.). No obstante, WaterGEMS agrega a las capacidades de análisis hidráulico incluidas

en WaterCAD, el soporte a entornos SIG (Sistemas de Información Geográfica) y la inclusión de diferentes módulos de análisis avanzado.

#### **1.5. Generalidades del software a utilizar WaterGEMS V8i. Serie 5 para la simulación de una red de Abastecimiento de Agua.**

En la red existente. Sobre un plano de fondo (background) donde se muestran las calles del poblado se ubican los nodos que abastecen a todos los consumidores. Se tomaron de un proyecto existente () las cotas de todos los nodos y se indican las demandas de cada uno de ellos. Del propio proyecto se conocen las distancias, material y diámetro de las tuberías, así como las características de los equipos de bombeo desde la fuente actual y los niveles en el pozo de la nueva fuente propuesta. Se realiza un análisis estático que refleja el comportamiento de la red para una condición específica que es la entrega del caudal máximo horario, o el correspondiente al máximo que puede aportar la fuente actual.

Como resultados del software se cuenta con las presiones en cada nodo, supuestas unas demandas fijas, así como las velocidades en cada una de las tuberías. Los resultados además se presentan en forma de tablas o gráficos que, en el caso de análisis en período extendido, muestran el comportamiento de cada componente de la red a lo largo del tiempo de análisis.

#### **1.6. Estado Actual del sistema de abasto de agua potable en Buena Vista.**

El poblado de Buena Vista cuenta actualmente con una población de 3432 habitantes, la cual se abastece desde un pozo cercano a la localidad que aporta 10 L/s de agua en 16h de bombeo, con una profundidad total de 30m y diámetro de 0.30m. Existe además, un sistema de cloración con hipoclorito de sodio a razón de 1.5 L/h. Los pobladores del lugar se encuentran temerosos de sufrir una crisis de desabastecimiento, debido al descenso que alcanza el nivel del agua en el pozo, principalmente en períodos de sequía. Se pretende estudiar una fuente alternativa de abastecimiento para ser utilizada en estos casos, tratando, de ser posible, realizar el abasto de este preciado líquido por gravedad, dado que la nueva propuesta se encuentra con cotas aproximadas de 206m,

descendiendo hacia el poblado con pendiente promedio del 2% hasta alcanzar cotas de alrededor de 170m.

La fuente alternativa cuenta con un estudio de las características físico químico y bacteriológico del agua, realizadas en laboratorio, las cuales cumplen con lo establecido en la NC 93-11/1986 Fuentes de Abastecimiento de Agua. Calidad y protección sanitaria, Cuba.

Los datos de la fuente se presentan a continuación en la siguiente tabla:

| Parámetro                                  | Valor       |
|--------------------------------------------|-------------|
| Diámetro (m)                               | 3.10 x 1.70 |
| Profundidad al nivel estático (m)          | 5           |
| Profundidad al nivel dinámico (m)          | 10          |
| Profundidad de instalación de la bomba (m) | 12          |
| Gasto recomendado (L/s)                    | 15          |
| Horas diarias de bombeo (h)                | 16          |
| Días de bombeo                             | 365         |
| Volumen diario autorizado ( m3/d )         | 864         |
| Volumen anual (hm <sup>3</sup> )           | 0.315       |

**Tabla 1:** Datos de la fuente alternativa.

## **CAPÍTULO 2. Diagnóstico de sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.**

### **2.1. Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable en el poblado de Buena Vista.**

En el poblado de Buena Vista, Municipio de Remedios existe un sistema de abastecimiento de agua cuyos componentes son:

- ° Fuente de abastecimiento.
- ° Estación de bombeo.
- ° Depósito de distribución
- ° Conductora
- ° Tubería exterior o de aducción.
- ° Tubería de alimentación.
- ° Red de abastecimiento.
- ° Tuberías principales
- ° Tuberías secundarias
- ° Válvulas

**Fuente de abastecimiento.** Actualmente la fuente de abastecimiento al poblado son los pozos G-788 y G-788 A, de los cuales se conocen los datos siguientes.

**Tabla 2.1.** Datos de la fuente de abastecimiento actual del poblado de Buena Vista.

| Parámetro                         | Valor | Parámetro                   | Valor |
|-----------------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Diámetro (m)                      | 0.30  | Gasto recomendado (L/s)     | 12    |
| Profundidad al nivel estático (m) | 6.26  | Horas diarias de bombeo (h) | 16    |

|                                   |    |                                                 |       |
|-----------------------------------|----|-------------------------------------------------|-------|
| Profundidad al nivel dinámico (m) | 15 | Días de bombeo                                  | 365   |
| Profundidad de instalación (m)    | 25 | Volumen diario autorizado ( m <sup>3</sup> /d ) | 691.2 |
| Profundidad total (m)             | 30 | Volumen anual (hm <sup>3</sup> )                | 0.25  |

En cuanto a la calidad del agua es buena y sólo se requiere realizar desinfección con hipoclorito de sodio a razón de 1.5 L/h, pero en relación con la cantidad, se puede asegurar que los usuarios no reciben la dotación que especifica la norma cubana. Los usuarios aprecian como sistemáticamente los niveles en la fuente se deprimen y se reduce el caudal que recibe la red del poblado.

**Tabla 2.2.** Cálculo de los caudales característicos

|                                                                  |                  |      |                   |        |
|------------------------------------------------------------------|------------------|------|-------------------|--------|
| $Q_{pd} = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400}$ |                  |      | P =               | 3432   |
|                                                                  |                  |      | Do =              | 210.0  |
|                                                                  |                  |      | Q <sub>pd</sub> = | 8.3    |
| Q <sub>md</sub> = Q <sub>pd</sub> · K <sub>1</sub>               | K <sub>1</sub> = | 1.60 | Q <sub>md</sub> = | 13.3   |
| Q <sub>mh</sub> = Q <sub>md</sub> · K <sub>2</sub>               | K <sub>2</sub> = | 1.80 | Q <sub>mh</sub> = | 24.0   |
| Volumen requerido del depósito (m <sup>3</sup> )                 |                  |      | V =               | 576.6  |
| Tiempo de bombeo o suministro diario (h)                         |                  |      | T =               | 24.0   |
| Volumen máximo diario (m <sup>3</sup> )                          |                  |      | V <sub>md</sub>   | 1153.2 |

P: Población de diseño

D<sub>0</sub>: Dotación de diseño

K<sub>1</sub>: Coeficiente de irregularidad diaria

K<sub>2</sub>: Coeficiente de irregularidad horaria

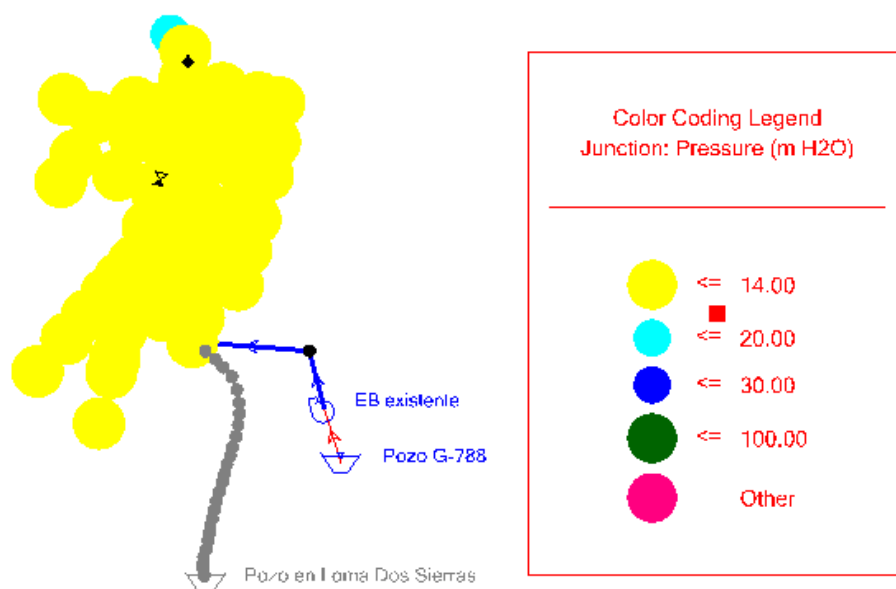
V<sub>md</sub>: Volumen diario a entregar a los usuarios el día de máximo consumo.

Como puede apreciarse en la tabla 2.2, con la población actual el caudal máximo diario (Q<sub>md</sub>) requerido es de 13.3 L/s suponiendo que se bombea durante 24 horas diarias. Si por cualquier razón se limita el tiempo de bombeo, como en el caso que se trata, en que este se ha autorizado a 16 horas, el caudal que se requiere bombear es mayor, habría que bombear un Q<sub>md</sub> aproximado de 20 L/s, que no puede ser suministrado por la

estación de bombeo (EB) existente. La tabla 2.3 y la figura 2.1, apoyan la afirmación de que la fuente actual es insuficiente.

**Tabla 2.3.** Presiones en los nodos de la red bajo las condiciones actuales en que trabaja sólo la EB. (Resultados de la simulación con Water Gems, utilizando la alternativa en que la demanda es una función de la presión)

| Nodo | Cota (m) | Q <sub>objetivo</sub> (L/s) | Q <sub>real</sub> (L/s) | Cota piezom. (m) | Presión (m) | Nodo | Cota (m) | Q <sub>objetivo</sub> (L/s) | Q <sub>real</sub> (L/s) | Cota piezom. (m) | Presión (m) |
|------|----------|-----------------------------|-------------------------|------------------|-------------|------|----------|-----------------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| J-4  | 173.69   | 0.45                        | 0.17                    | 175.75           | 2.06        | J-19 | 167.43   | 0.45                        | 0.34                    | 175.74           | 8.30        |
| J-45 | 172.17   | 0.45                        | 0.22                    | 175.76           | 3.58        | J-25 | 167.17   | 0.45                        | 0.34                    | 175.74           | 8.55        |
| J-49 | 171.20   | 0.45                        | 0.24                    | 175.54           | 4.33        | J-30 | 167.12   | 0.45                        | 0.34                    | 175.74           | 8.60        |
| J-5  | 171.40   | 0.45                        | 0.24                    | 175.76           | 4.35        | J-11 | 166.95   | 0.45                        | 0.35                    | 175.71           | 8.74        |
| J-44 | 171.36   | 0.45                        | 0.25                    | 175.76           | 4.39        | J-36 | 166.73   | 0.45                        | 0.35                    | 175.56           | 8.81        |
| J-6  | 171.28   | 0.45                        | 0.25                    | 175.76           | 4.47        | J-12 | 166.72   | 0.45                        | 0.35                    | 175.70           | 8.96        |
| J-7  | 170.69   | 0.45                        | 0.26                    | 175.77           | 5.07        | J-20 | 166.54   | 0.45                        | 0.35                    | 175.71           | 9.15        |
| J-43 | 170.32   | 0.45                        | 0.27                    | 175.77           | 5.43        | J-35 | 166.27   | 0.45                        | 0.36                    | 175.70           | 9.41        |
| J-8  | 170.13   | 0.45                        | 0.28                    | 175.78           | 5.64        | J-33 | 166.16   | 0.45                        | 0.36                    | 175.64           | 9.47        |
| J-50 | 170.39   | 0.45                        | 0.28                    | 176.10           | 5.70        | J-26 | 166.00   | 0.45                        | 0.36                    | 175.71           | 9.69        |
| J-52 | 169.94   | 0.45                        | 0.29                    | 175.89           | 5.94        | J-31 | 165.93   | 0.45                        | 0.37                    | 175.72           | 9.77        |
| J-51 | 172.28   | 0.00                        | 0.00                    | 178.52           | 6.23        | J-13 | 165.53   | 0.45                        | 0.37                    | 175.68           | 10.13       |
| J-42 | 169.47   | 0.45                        | 0.29                    | 175.78           | 6.30        | J-38 | 165.45   | 0.45                        | 0.37                    | 175.64           | 10.17       |
| J-1  | 169.49   | 0.45                        | 0.29                    | 175.81           | 6.31        | J-34 | 165.37   | 0.45                        | 0.38                    | 175.64           | 10.25       |
| J-3  | 169.48   | 0.45                        | 0.30                    | 176.02           | 6.52        | J-21 | 165.11   | 0.45                        | 0.38                    | 175.67           | 10.54       |
| J-54 | 168.90   | 0.45                        | 0.30                    | 175.54           | 6.63        | J-27 | 164.64   | 0.45                        | 0.39                    | 175.67           | 11.01       |
| J-41 | 169.14   | 0.45                        | 0.30                    | 175.79           | 6.63        | J-14 | 164.34   | 0.45                        | 0.39                    | 175.67           | 11.31       |
| J-2  | 169.10   | 0.45                        | 0.31                    | 175.89           | 6.78        | J-48 | 164.16   | 0.45                        | 0.40                    | 175.66           | 11.48       |
| J-9  | 168.43   | 0.45                        | 0.32                    | 175.78           | 7.34        | J-15 | 163.80   | 0.45                        | 0.40                    | 175.67           | 11.84       |
| J-47 | 168.39   | 0.45                        | 0.32                    | 175.78           | 7.38        | J-28 | 163.77   | 0.45                        | 0.40                    | 175.65           | 11.86       |
| J-46 | 168.39   | 0.45                        | 0.32                    | 175.78           | 7.38        | J-22 | 163.74   | 0.45                        | 0.40                    | 175.66           | 11.90       |
| J-53 | 168.19   | 0.45                        | 0.32                    | 175.78           | 7.57        | J-39 | 162.92   | 0.45                        | 0.42                    | 175.65           | 12.70       |
| J-37 | 167.92   | 0.45                        | 0.32                    | 175.56           | 7.62        | J-29 | 162.28   | 0.45                        | 0.43                    | 175.65           | 13.34       |
| J-18 | 168.05   | 0.45                        | 0.33                    | 175.79           | 7.72        | J-23 | 162.08   | 0.45                        | 0.43                    | 175.66           | 13.55       |
| J-24 | 167.89   | 0.45                        | 0.33                    | 175.79           | 7.88        | J-17 | 161.62   | 0.45                        | 0.44                    | 175.67           | 14.02       |
| J-10 | 167.73   | 0.45                        | 0.33                    | 175.74           | 8.00        | J-40 | 160.00   | 0.45                        | 0.46                    | 175.65           | 15.61       |
| J-32 | 167.38   | 0.45                        | 0.34                    | 175.66           | 8.26        | J-16 | 155.42   | 0.45                        | 0.53                    | 175.67           | 20.21       |
|      |          |                             | 7.47                    |                  |             |      |          |                             | 10.46                   |                  |             |



**Figura 2.1.** Presiones en los nodos de la red bajo las condiciones actuales en que trabaja sólo la EB.

Obsérvese como en la mayoría de los nodos de la red (en amarillo), la presión es menor que la de diseño. Si no se restringe la entrega de la EB, esta pudiera dar un caudal de 17.93 L/s, superior al autorizado, pero este aun es menor que los 24 L/s correspondiente al  $Q_{mh}$ . En la práctica no se permite que se exceda el caudal máximo autorizado del pozo y se regula la entrega de la bomba, para que esta no supere los 12 L/s. Es evidente entonces que la entrega de la EB directa a la red es insuficiente, pues es muy inferior a los 24 L/s demandados como caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ ), y en las 16 horas de trabajo sólo puede aportar un volumen de 691 m<sup>3</sup>, inferior a los 1153.2m<sup>3</sup> requeridos para el día de máximo consumo.

**Comentado [JDQC1]:** Si no se puede imprimir en colores es bueno usar otros colores

**Estación de bombeo (EB).** Consiste en una bomba de trabajo y una de reserva con las siguientes características:

**Tabla 2.4.** Datos de las bombas y motores instalados en la estación de bombeo.

| Datos de las bombas  |        |                     |          |         |       |                    |          |
|----------------------|--------|---------------------|----------|---------|-------|--------------------|----------|
| Marca                | Modelo | Tipo                | Etapas   | Q (L/s) | H (m) | E <sub>f</sub> (%) | País     |
| Wilo                 | NR 615 | BPPS                | 4        | 10      | 45    | 77                 | Alemania |
| ATH                  | 8-1-8  | BPPV                | 8        | 10.9    | 65    | -                  | Rusia    |
| Datos de los motores |        |                     |          |         |       |                    |          |
| Marca                | Modelo | N <sub>m</sub> (kW) | V (volt) | I (A)   | RPM   | Cos $\phi$         | País     |
| Wilo                 | NU 60- | 6.3                 | 220      | 26      | 3440  | 0.8                | Alemania |
| ATH                  | 8      | 15                  | 220      | 58      | 1760  | -                  | Rusia    |

De los datos que se muestran en la tabla 2.4 también se puede apreciar que la EB existente en estos momentos no es capaz de suministrar el caudal máximo diario y, por lo tanto, tampoco el máximo horario. El pozo de la EB existente está recomendado sólo para 12 L/s y para 16 horas. Si no existieran fugas por el estado actual de la red, la EB podría, en teoría, y de acuerdo a los datos de la tabla 2.4, aportar un volumen diario de 691 m<sup>3</sup>, que representa el 60 % del volumen máximo diario requerido de 1153.2 m<sup>3</sup>.

**Depósito de distribución.** Los depósitos propuestos en el proyecto de 1996, que no se construyeron y que son uno apoyado de 100000 galones (378.5 m<sup>3</sup>) y otro elevado del tipo canoa de 30000 galones (113.6 m<sup>3</sup>) respectivamente, no tienen el volumen suficiente para las condiciones actuales, pues en conjunto tienen un volumen 492.1 m<sup>3</sup>, inferior al que se requiere.

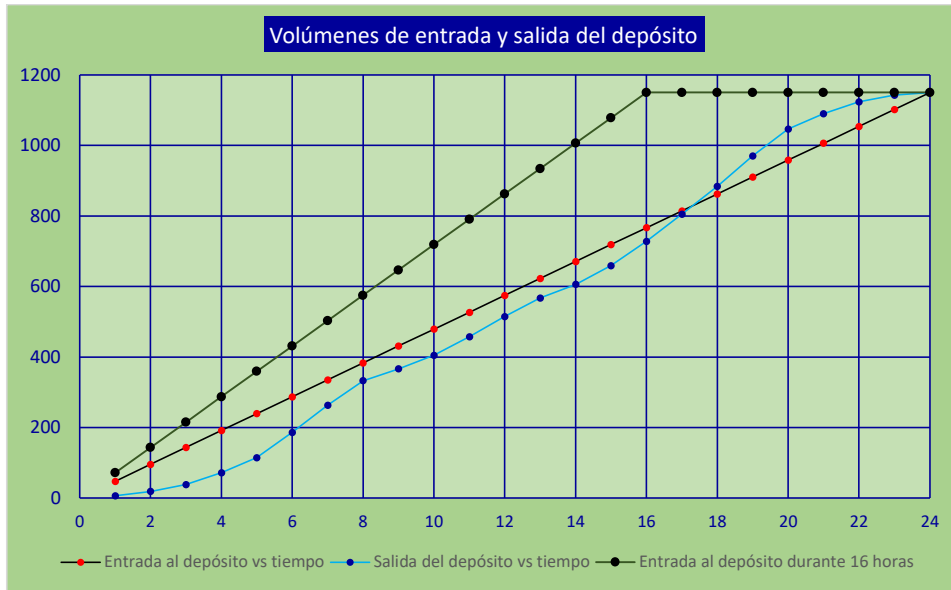
Aunque en el proyecto anterior no se especifica la ubicación de los depósitos que se proponen, existen en las inmediaciones del poblado condiciones topográficas para la ubicación de los mismos.

Si el patrón de consumo del poblado se comportara como el correspondiente a poblados semejantes, y se pudiera bombear desde la fuente el  $Q_{md}$  de 13.3 L/s durante 24 horas, el volumen necesario del depósito sería del 18.5 % del  $V_{md}$ , es decir, 213.8 m<sup>3</sup> como se aprecia en la tabla 2.5

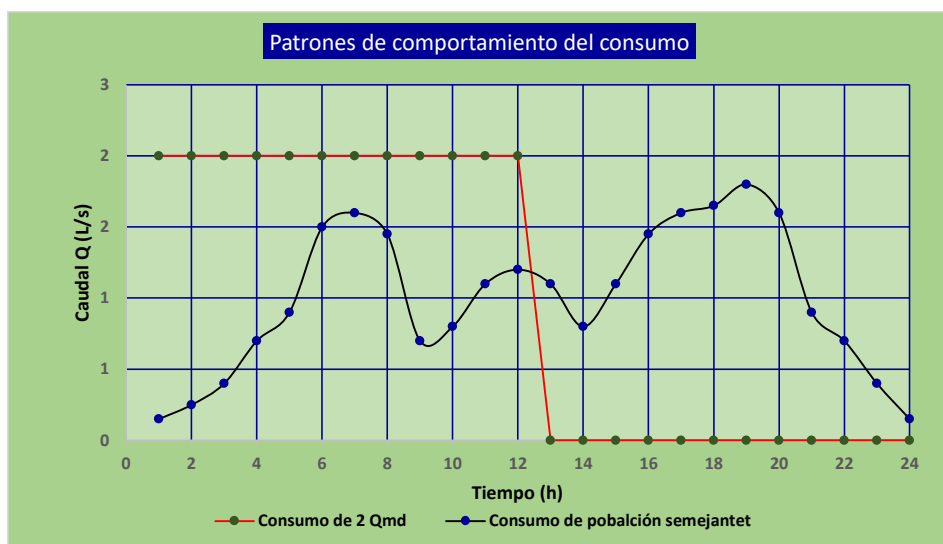
**Comentado [JDQC2]:** Esto sugiere una recomendación sobre el estudio del patrón de consumo del poblado

| Tabla 2.5. Cálculo del volumen del depósito para diferentes tiempos de bombeo |                            |                                        |               |                    |                  |                                       |                             |                    |                                       |                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----|
| Q pd (L/s)                                                                    |                            |                                        | 8.34          | Qmd (L/s)          | 13.3             | Qmh (L/s)                             | 24.0                        | Poblado:           | Buena Vista                           |                             |     |
| Población                                                                     |                            |                                        | 3432          | Dotación (lppd)    |                  | 210.0                                 | K1 =                        | 1.6                | K2 =                                  | 1.8                         |     |
| 1                                                                             | 2                          | 3                                      | 4             | 5                  | 6                | 7                                     | 8                           | 9                  | 10                                    | 11                          |     |
| Σt(h)                                                                         | Patrón (2Q <sub>md</sub> ) | Patrón de consumo (Q/Q <sub>md</sub> ) | Consumo (L/s) | Consumo Acum. (m3) | Q 24 horas (L/s) | V                                     | Dif. (m <sup>3</sup> ) 24 h | Q 16 horas (L/s)   | V                                     | Dif. (m <sup>3</sup> ) 16 h |     |
|                                                                               |                            |                                        |               |                    |                  | acumulado (m <sup>3</sup> ) para 24 h |                             |                    | acumulado (m <sup>3</sup> ) para 16 h |                             |     |
| 1                                                                             | 2                          | 0.15                                   | 2.0           | 7.2                | 13.3             | 48.0                                  | 40.8                        | 20.0               | 72.1                                  | 64.9                        |     |
| 2                                                                             | 2                          | 0.25                                   | 3.3           | 19.2               | 13.3             | 96.1                                  | 76.9                        | 20.0               | 144.1                                 | 124.9                       |     |
| 3                                                                             | 2                          | 0.40                                   | 5.3           | 38.4               | 13.3             | 144.1                                 | 105.7                       | 20.0               | 216.2                                 | 177.8                       |     |
| 4                                                                             | 2                          | 0.70                                   | 9.3           | 72.1               | 13.3             | 192.2                                 | 120.1                       | 20.0               | 288.3                                 | 216.2                       |     |
| 5                                                                             | 2                          | 0.90                                   | 12.0          | 115.3              | 13.3             | 240.2                                 | 124.9                       | 20.0               | 360.4                                 | 245.0                       |     |
| 6                                                                             | 2                          | 1.50                                   | 20.0          | 187.4              | 13.3             | 288.3                                 | 100.9                       | 20.0               | 432.4                                 | 245.0                       |     |
| 7                                                                             | 2                          | 1.60                                   | 21.4          | 264.3              | 13.3             | 336.3                                 | 72.1                        | 20.0               | 504.5                                 | 240.2                       |     |
| 8                                                                             | 2                          | 1.45                                   | 19.4          | 333.9              | 13.3             | 384.4                                 | 50.5                        | 20.0               | 576.6                                 | 242.6                       |     |
| 9                                                                             | 2                          | 0.70                                   | 9.3           | 367.6              | 13.3             | 432.4                                 | 64.9                        | 20.0               | 648.6                                 | 281.1                       |     |
| 10                                                                            | 2                          | 0.80                                   | 10.7          | 406.0              | 13.3             | 480.5                                 | 74.5                        | 20.0               | 720.7                                 | 314.7                       |     |
| 11                                                                            | 2                          | 1.10                                   | 14.7          | 458.9              | 13.3             | 528.5                                 | 69.7                        | 20.0               | 792.8                                 | 333.9                       |     |
| 12                                                                            | 2                          | 1.20                                   | 16.0          | 516.5              | 13.3             | 576.6                                 | 60.1                        | 20.0               | 864.9                                 | 348.3                       |     |
| 13                                                                            | 0                          | 1.10                                   | 14.7          | 569.4              | 13.3             | 624.6                                 | 55.3                        | 20.0               | 936.9                                 | 367.6                       |     |
| 14                                                                            | 0                          | 0.80                                   | 10.7          | 607.8              | 13.3             | 672.7                                 | 64.9                        | 20.0               | 1009.0                                | 401.2                       |     |
| 15                                                                            | 0                          | 1.10                                   | 14.7          | 660.7              | 13.3             | 720.7                                 | 60.1                        | 20.0               | 1081.1                                | 420.4                       |     |
| 16                                                                            | 0                          | 1.45                                   | 19.4          | 730.3              | 13.3             | 768.8                                 | 38.4                        | 20.0               | 1153.2                                | 422.8                       |     |
| 17                                                                            | 0                          | 1.60                                   | 21.4          | 807.2              | 13.3             | 816.8                                 | 9.6                         | 0.0                | 1153.2                                | 345.9                       |     |
| 18                                                                            | 0                          | 1.65                                   | 22.0          | 886.5              | 13.3             | 864.9                                 | -21.6                       | 0.0                | 1153.2                                | 266.7                       |     |
| 19                                                                            | 0                          | 1.80                                   | 24.0          | 973.0              | 13.3             | 912.9                                 | -60.1                       | 0.0                | 1153.2                                | 180.2                       |     |
| 20                                                                            | 0                          | 1.60                                   | 21.4          | 1049.8             | 13.3             | 961.0                                 | -88.9                       | 0.0                | 1153.2                                | 103.3                       |     |
| 21                                                                            | 0                          | 0.90                                   | 12.0          | 1093.1             | 13.3             | 1009.0                                | -84.1                       | 0.0                | 1153.2                                | 60.1                        |     |
| 22                                                                            | 0                          | 0.70                                   | 9.3           | 1126.7             | 13.3             | 1057.1                                | -69.7                       | 0.0                | 1153.2                                | 26.4                        |     |
| 23                                                                            | 0                          | 0.40                                   | 5.3           | 1145.9             | 13.3             | 1105.1                                | -40.8                       | 0.0                | 1153.2                                | 7.2                         |     |
| 24                                                                            | 0                          | 0.15                                   | 2.0           | 1153.2             | 13.3             | 1153.2                                | 0.0                         | 0.0                | 1153.2                                | 0.0                         |     |
| Tiempo de bombeo en horas                                                     |                            |                                        |               |                    |                  | =                                     | 24.0                        | 124.9              |                                       | 422.8                       |     |
| Tiempo de bombeo en horas                                                     |                            |                                        |               |                    |                  | =                                     | 16.0                        | -88.9              |                                       | 0.0                         |     |
| Volumen máximo diario (m <sup>3</sup> )                                       |                            |                                        |               |                    |                  | =                                     | 1153.2                      |                    |                                       | 1153.2                      |     |
| Porcentaje del Vol. máx. diario que representa el vol. del depósito           |                            |                                        |               |                    |                  |                                       | 18.5%                       |                    |                                       | 36.7%                       |     |
| Volumen requerido del depósito (m <sup>3</sup> )                              |                            |                                        |               |                    |                  |                                       | 213.8                       |                    |                                       | 422.8                       |     |
| Usar patrón (2Q <sub>md</sub> )                                               |                            |                                        | 2             | Usar patrón típico |                  |                                       | 1.0                         | Seleccionar patrón |                                       |                             | 1.0 |

Si se limita el horario de bombeo a 16 horas, ante el mismo patrón de consumo, el volumen del depósito sería entonces de 422.8 m<sup>3</sup> que representa el 36.7% del  $V_{md}$ .



**Figura 2.2.** Diagrama de masas para el cálculo del volumen del depósito considerando el consumo como el de una población semejante y bombeo durante 24 y 16 horas



**Figura 2.3.** Gráfico de consumo de un poblado semejante.

Como no siempre se dispone de un patrón de consumo conocido o del patrón de una población semejante, se asume además aquel que sugiere la NC 969 del 2013 que consiste en entregar el doble del  $Q_{md}$  en la mitad del tiempo a la mitad de la población. Para este caso los resultados pueden verse en la figura 2.4. y la tabla 2.6

Situación actual, pero considerando que se ha construido un depósito con el volumen requerido.

El depósito se queda vacío próximo a las 16 (Figura 2.4) horas puesto que se está extrayendo el  $Q_{mh}$  y al depósito entra un caudal inferior al  $Q_{md}$ . Además, el trabajo de la EB sólo se autoriza por 16 horas, lo que hace imposible que los usuarios reciban la dotación de diseño.

Si no se restringe la entrega a través de la válvula controladora de caudal, este puede incrementarse hasta casi 14 L/s, pero de igual modo el depósito se queda vacío, pues aunque el caudal se incremente ligeramente por el descenso del nivel del depósito, la EB no es capaz de entregar el volumen diario, porque trabaja sólo durante 16 horas

**Comentado [JDQC3]:** Este análisis no se debe hacer con la EB existente, porque se sabe que no puede aportar 2 Qmd

(Figura 2.5). A partir de las 16 horas no hay entrega desde la EB y los consumidores no reciben en el día la dotación de diseño. Si se asume un patrón de consumo en que se supone que la mitad de la población recibe el doble del Qmd en la mitad del tiempo (12 horas) tampoco se puede entregar la dotación de diseño, pues es mayor aun el déficit en el suministro.

---

*Análisis y propuesta por gravedad en pequeños poblados*

---



Figura 2.4 Evolución del llenado del depósito durante el día.

| Tabla 2.6 Cálculo del volumen del depósito para diferentes tiempos de bombeo y patrones de consumo |               |                           |               |                                 |                  |                                         |                             |                      |                                         |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Q pd (L/s)                                                                                         |               |                           | 8.34          | Qmd (L/s)                       | 13.3             | Qmh (L/s)                               | 24.0                        | Poblado: Buena Vista |                                         |                             |
| Población                                                                                          |               |                           | 3432          | Dotación (lppd)                 |                  | 210.0                                   | K1 =                        | 1.6                  | K2 =                                    | 1.8                         |
| 1                                                                                                  | 2             | 3                         | 4             | 5                               | 6                | 7                                       | 8                           | 9                    | 10                                      | 11                          |
| Consumo                                                                                            |               |                           |               | Suministro                      |                  | Diferencia                              | Suministro                  |                      | Diferencia                              |                             |
| St(h)                                                                                              | Patrón (2Qmd) | Patrón de consumo (Q/Qmd) | Consumo (L/s) | Consumo Acum. (m <sup>3</sup> ) | Q 24 horas (L/s) | V acumulado (m <sup>3</sup> ) para 24 h | Dif. (m <sup>3</sup> ) 24 h | Q 16 horas (L/s)     | V acumulado (m <sup>3</sup> ) para 16 h | Dif. (m <sup>3</sup> ) 16 h |
| 1                                                                                                  | 2             | 0.15                      | 26.7          | 96.1                            | 13.3             | 48.0                                    | -48.0                       | 20.0                 | 72.1                                    | -24.0                       |
| 2                                                                                                  | 2             | 0.25                      | 26.7          | 192.2                           | 13.3             | 96.1                                    | -96.1                       | 20.0                 | 144.1                                   | -48.0                       |
| 3                                                                                                  | 2             | 0.40                      | 26.7          | 288.3                           | 13.3             | 144.1                                   | -144.1                      | 20.0                 | 216.2                                   | -72.1                       |
| 4                                                                                                  | 2             | 0.70                      | 26.7          | 384.4                           | 13.3             | 192.2                                   | -192.2                      | 20.0                 | 288.3                                   | -96.1                       |
| 5                                                                                                  | 2             | 0.90                      | 26.7          | 480.5                           | 13.3             | 240.2                                   | -240.2                      | 20.0                 | 360.4                                   | -120.1                      |
| 6                                                                                                  | 2             | 1.50                      | 26.7          | 576.6                           | 13.3             | 288.3                                   | -288.3                      | 20.0                 | 432.4                                   | -144.1                      |
| 7                                                                                                  | 2             | 1.60                      | 26.7          | 672.7                           | 13.3             | 336.3                                   | -336.3                      | 20.0                 | 504.5                                   | -168.2                      |
| 8                                                                                                  | 2             | 1.45                      | 26.7          | 768.8                           | 13.3             | 384.4                                   | -384.4                      | 20.0                 | 576.6                                   | -192.2                      |
| 9                                                                                                  | 2             | 0.70                      | 26.7          | 864.9                           | 13.3             | 432.4                                   | -432.4                      | 20.0                 | 648.6                                   | -216.2                      |
| 10                                                                                                 | 2             | 0.80                      | 26.7          | 961.0                           | 13.3             | 480.5                                   | -480.5                      | 20.0                 | 720.7                                   | -240.2                      |
| 11                                                                                                 | 2             | 1.10                      | 26.7          | 1057.1                          | 13.3             | 528.5                                   | -528.5                      | 20.0                 | 792.8                                   | -264.3                      |
| 12                                                                                                 | 2             | 1.20                      | 26.7          | 1153.2                          | 13.3             | 576.6                                   | -576.6                      | 20.0                 | 864.9                                   | -288.3                      |
| 13                                                                                                 | 0             | 1.10                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 624.6                                   | -528.5                      | 20.0                 | 936.9                                   | -216.2                      |
| 14                                                                                                 | 0             | 0.80                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 672.7                                   | -480.5                      | 20.0                 | 1009.0                                  | -144.1                      |
| 15                                                                                                 | 0             | 1.10                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 720.7                                   | -432.4                      | 20.0                 | 1081.1                                  | -72.1                       |
| 16                                                                                                 | 0             | 1.45                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 768.8                                   | -384.4                      | 20.0                 | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 17                                                                                                 | 0             | 1.60                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 816.8                                   | -336.3                      | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 18                                                                                                 | 0             | 1.65                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 864.9                                   | -288.3                      | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 19                                                                                                 | 0             | 1.80                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 912.9                                   | -240.2                      | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 20                                                                                                 | 0             | 1.60                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 961.0                                   | -192.2                      | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 21                                                                                                 | 0             | 0.90                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 1009.0                                  | -144.1                      | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 22                                                                                                 | 0             | 0.70                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 1057.1                                  | -96.1                       | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 23                                                                                                 | 0             | 0.40                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 1105.1                                  | -48.0                       | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| 24                                                                                                 | 0             | 0.15                      | 0.0           | 1153.2                          | 13.3             | 1153.2                                  | 0.0                         | 0.0                  | 1153.2                                  | 0.0                         |
| Tiempo de bombeo en horas                                                                          |               |                           |               |                                 |                  | 24.0                                    | 0.0                         |                      |                                         | 0.0                         |
| Tiempo de bombeo en horas                                                                          |               |                           |               |                                 |                  | 16.0                                    | -576.6                      |                      |                                         | -288.3                      |
| Volumen máximo diario (m <sup>3</sup> )                                                            |               |                           |               |                                 |                  |                                         | 1153.2                      |                      |                                         | 1153.2                      |
| Porcentaje del Vol. máx. diario que representa el vol. del depósito                                |               |                           |               |                                 |                  |                                         | 50.0%                       |                      |                                         | 25.0%                       |
| Volumen requerido del depósito (m <sup>3</sup> )                                                   |               |                           |               |                                 |                  |                                         | 576.6                       |                      |                                         | 288.3                       |
| Usar patrón (2Qmd)                                                                                 |               |                           | 2             | Usar patrón típico              |                  |                                         | 1.0                         | Seleccionar patrón   |                                         |                             |
|                                                                                                    |               |                           |               |                                 |                  |                                         |                             |                      |                                         |                             |

**Conductora.** La tubería exterior o de aducción es de hierro fundido de 200 mm, tiene una longitud de 1257 m y se encuentra en buen estado técnico. No existe la tubería de alimentación entre el depósito de almacenamiento y el inicio de la red, pues este no se construyó en su momento y aún está pendiente su ejecución.

**Red de abastecimiento.** Existe una red construida desde 1986 cuyo estado técnico no es bueno, dado la existencia de roturas y salideros, situación que se

agrava por el escaso y prácticamente nulo mantenimiento de sus componentes. Por esta razón la operación tiene que realizarse por zonas, ya que el caudal es insuficiente para alimentar toda la red simultáneamente. Como se mostró en la figura 2.1, La población en la red demanda 24 L/s que la EB actual no puede suministrar, por esa razón se presentan presiones negativas en la mayoría de los puntos de la red, y aunque no se ha realizado un ejercicio de calibración, los resultados teóricos se corresponden en buena medida con la realidad.

La red carece de micro y macromedición, no cuenta con un punto de control donde se midan los parámetros fundamentales como presión y caudal a la entrada de la red y tampoco posee caudalímetro para la medida del consumo de cada usuario, de modo que pueda determinarse la diferencia entre lo que entra a la red y lo que consumen los usuarios, y así determinar la eficiencia en la distribución.

**Tuberías principales.** Como esta es una red mixta, sus tuberías principales no forman una red mallada, sino, que se extienden desde el final de la tubería de alimentación hasta los últimos consumidores al norte del poblado, cercanos al mirador. Estas tuberías son de hierro fundido, de 200 mm de diámetro y su estado técnico no es bueno, pero además a ellas se han insertado consumidores no previstos inicialmente, que han producido roturas y salideros de consideración, lo que en buena medida es causa de que muchos consumidores no reciben la dotación de diseño con la presión requerida.

**Tuberías secundarias.** Son igualmente de material hierro fundido, pero de 100 mm de diámetro y el estado técnico es semejante a las de 200 mm. Para ambos casos se han señalado en el plano los tramos con mayores dificultades y que se proponen sustituir.

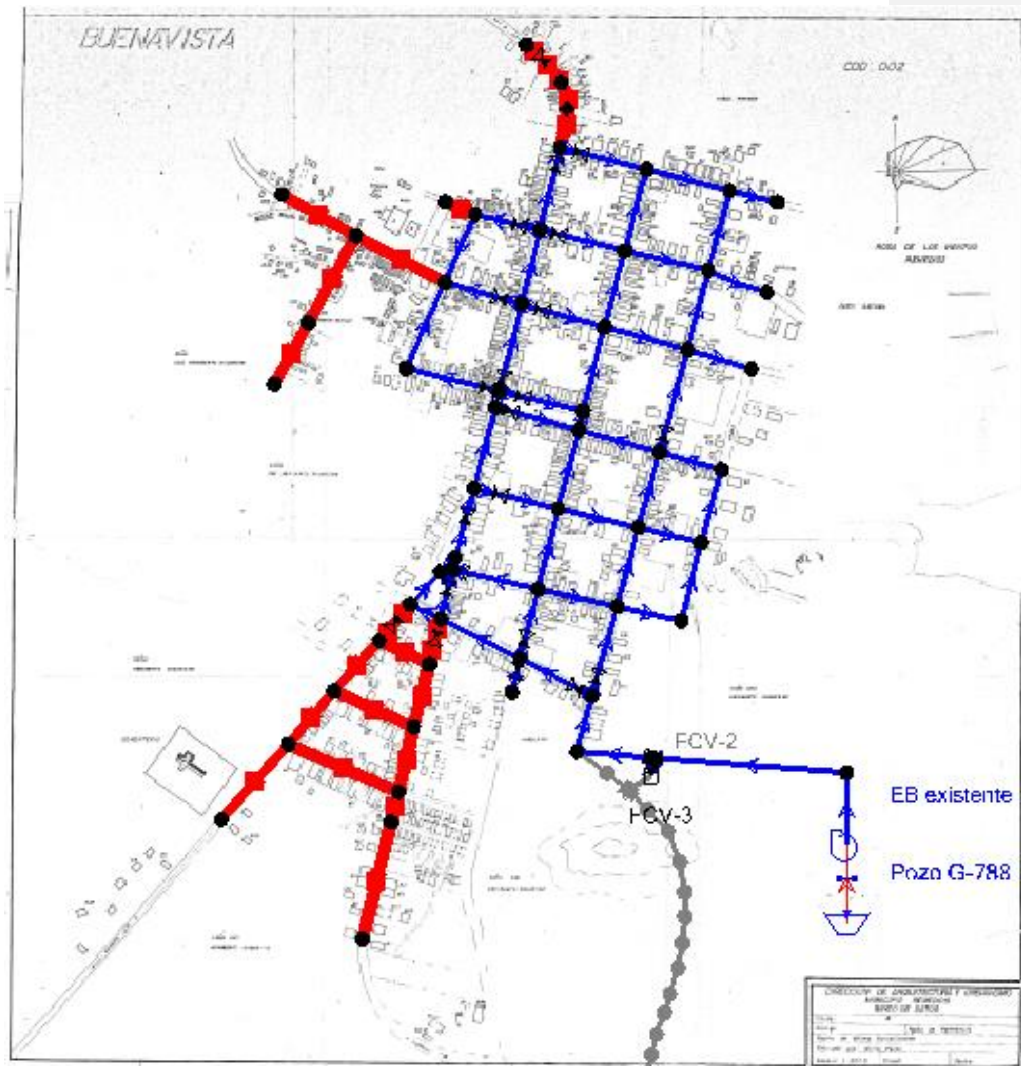


Figura 2.6

| Díámetro (mm) | Material | Longitud (m) |
|---------------|----------|--------------|
| 101.4         | PEAD     | 1582         |
| 184.6         | PEAD     | 135          |

Tabla 2.6: Tuberías que requieren ser sustituidas

**Válvulas.** De las 26 válvulas de cierre existentes, sólo 8 se conoce que están en buen estado y son operables, por lo que se sugiere su sustitución de conjunto con las tuberías que están en mal estado. Existe sólo una de desagüe que se encuentra en buen estado y solo una de aire que requiere ser sustituida. Se propondrá proyecto ejecutivo para la rehabilitación de las redes, en el cual se cuantificarán los hidrantes a colocar para la prevención de incendios.

## **Capítulo 3: Propuesta de rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua al poblado de Buena Vista.**

### **3.1 Valoración de los componentes del sistema de abasto de agua al poblado de Buena Vista mediante el software WaterGEMS V8i. Serie 5.**

**Fuente de abastecimiento.** Como se expuso en el capítulo 2, la fuente actual no es capaz de suministrar el caudal correspondiente a la dotación de diseño, cuyo valor, ascendente a 210 lppd implica caudales característicos de 8.3 L/s como caudal promedio diario, 13.3 L/s como caudal máximo diario y 24 L/s como caudal máximo horario. Por tal razón y conociendo la existencia de pozos en las cercanías del poblado que con otros fines se construyeron antes de 1959, se pensó en ampliar o sustituir la actual fuente. Para ello se han realizado caracterizaciones de la calidad del agua y aforo del pozo existente, que arrojaron resultados satisfactorios.

Tabla 3.1 Resultado de los ensayos físicos, químicos y bacteriológicos.

*Análisis y propuesta por gravedad en pequeños poblados*

| Parámetros                                 | Valores        |
|--------------------------------------------|----------------|
| Potencial de hidrógeno (pH).               | 7,23 Unidades  |
| Conductividad Eléctrica (CE)               | 660 $\mu$ S/cm |
| Color                                      | 5 Unidades     |
| Turbiedad                                  | 5 unidades     |
| Carbonato CO <sub>3</sub>                  | 0,0 mg/l       |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> )                 | 4 mg/l         |
| Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> | 348 mg/l       |
| Cloruro Cl <sup>1-</sup>                   | 24mg/l         |
| Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      | 10 mg/l        |
| Calcio (Ca <sup>2+</sup> )                 | 108 mg/l       |
| Magnesio (Mg)                              | 5mg/l          |
| Sodio (Na)                                 | 18 mg/l        |
| Potacio (K)                                | 1 mg/l         |
| Sales Solubles totales                     | 518mg/l        |
| Hierro (Fe)                                | 0 mg/l         |
| Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )              | 0 mg/l         |
| Nitrito (NO <sub>2</sub> )                 | 0.00 mg/l      |
| Amonio (NH <sub>4</sub> )                  | 0 mg/l         |
| Dureza Total (DT)                          | 290 mg/l       |
| Alcalinidad (Alc)                          | 285 mg/l       |
| Coliformes Totales CT                      | <2 NMP/100 ml  |
| Coliformes Fecales CF                      | <2 NMP/100 ml  |

Al comparar los resultados de la tabla 3.1 se comprueba que los parámetros de calidad se encuentran dentro de lo permisible, según las normas NC 827-2012, y NC 1021-2014

Tabla 3.2 Los resultados del aforo del pozo que se toma como fuente en el presente trabajo son:

| Parámetro                                  | Valor       |
|--------------------------------------------|-------------|
| Diámetro (m)                               | 3.10 x 1.70 |
| Profundidad al nivel estático (m)          | 5           |
| Profundidad al nivel dinámico (m)          | 10          |
| Profundidad de instalación de la bomba (m) | 12          |
| Gasto recomendado (L/s)                    | 15          |
| Horas diarias de bombeo (h)                | 16          |
| Días de bombeo                             | 365         |
| Volumen diario autorizado ( m3/d )         | 864         |
| Volumen anual (hm <sup>3</sup> )           | 0.315       |

La ventaja principal de utilizar este pozo existente, es que el agua puede ser suministrada por gravedad, aunque para extraerla se requiere de la construcción de un sifón, al cual se le debe asegurar su llenado y puesta en marcha, así como su control y posibles llenados sistemáticos, en casos de ocurrir su vaciado.

**Comentado [JDQC4]:** Incluir esquema

| Tabla 3.3 Cálculo del sifón, presión a la entrada de la red |         |        |        |      |         |          |            |
|-------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|------|---------|----------|------------|
| D (mm)                                                      | Q (L/s) | Z1     | Z2     | hf   | v (m/s) | $v^2/2g$ | $P_{50}/g$ |
| 184.6                                                       | 15      | 197.48 | 170.39 | 3.94 | 0.5625  | 0.31     | 22.5875    |
| 230.6                                                       | 15      | 197.48 | 170.39 | 1.33 | 0.3592  | 0.14     | 25.4008    |

Cálculo de las presiones mínimas en el sifón.

Para  $Q=15$  L/s

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Hf_{1-2}$$

$$198.46 + 0 + 0 = 203.37 + \frac{p_2}{\gamma} + 0.016 + 0.2915$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 198.46 - 203.37 - 0.016 - 0.2915$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = -5.2175 \approx -5.22 \text{ m}$$

Con el nivel dinámico en el pozo en cota 197.48 m (9 m por debajo de la superficie, según informe de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara), tomando como punto de entrega a la red el vértice en el nodo J-50, que es final de la conductora exterior existente, con cota 170.39 m se tiene una longitud de 1928.8 m, lo que produce unas pérdidas de 3.94 m para el caudal de diseño de 15 L/s y se llega al punto de entrega con una presión de 22.59 m, superior a la mínima requerida de 14.0 m. Este caudal de 15 L/s que se suministra desde el pozo de "Dos Sierras", por sí sólo no es suficiente, pues al tener autorizadas 16 horas de trabajo, aporta un volumen diario de: Volumen diario =  $0.001 \cdot 15 \cdot 16 \cdot 3600 \text{ m}^3 = 864 \text{ m}^3$  menor que los que necesita el poblado

(Volumen diario =  $0.001 \cdot 13.3 \cdot 86400 = 1153.2 \text{ m}^3$ ). Por esta razón, se sugiere trabajar con ambas fuentes. El modo de operación pudiera ser trabajar con ambas fuentes simultáneamente, o 16 horas desde Dos Sierras y a continuación 8 horas desde la EB actual. Pudiera simultanearse el trabajo, pero nunca más de 8 horas desde la EB actual. El volumen adicional que pudiera aportar la EB existente si trabajara 16 horas es de  $345.6 \text{ m}^3$  por encima de los que debe aportar en 8 horas para completar el volumen diario. Esta es una reserva que tiene el sistema y a la vez significa, por disminuir 8 horas de trabajo en relación a las 16 que trabaja actualmente, un ahorro de energía de kWh (tabla 3.4).

Tabla 3.4 Cálculo del consumo y ahorro de energía anual.

| Q (L/s) | H (m) | $\eta$ (%) | N (kW) | T (h) | E (kwh) | pe (\$/kWh) | CE (\$) |
|---------|-------|------------|--------|-------|---------|-------------|---------|
| 15      | 45    | 77         | 8.60   | 5840  | 50205.0 | 0.21        | 10543.0 |

Q: caudal

H: carga dinámica total

$\eta$ : eficiencia

N: potencia

T: tiempo de trabajo anual en horas

E: energía consumida

pe: precio de la energía

CE: costo anual de la energía consumida

**Estación de bombeo.** LA EB actual no satisface la demanda del poblado de Buena Vista, bajo las condiciones actuales. Ya se mostró en el capítulo 2 que la EB actual no puede suministrar la demanda de la población, lo cual se refleja en que la mayoría de los nodos presentan presiones negativas o por debajo de la de diseño y aunque no se ha realizado un ejercicio de calibración, los resultados teóricos se corresponden en buena medida con la realidad. Para solucionar esta dificultad, se propone trabajar durante 16 horas con la fuente alternativa con 15 L/s, 8 horas con la EB actual modificada y construir un depósito en las

elevaciones cercanas al inicio de la red. La modificación esencial en la EB radica en que la bomba actual no trabajará directamente contra la red, sino que descargará su caudal en un depósito que se propone construir en una de las elevaciones cercanas.

| Caudal (L/s) | H (m) | n (rpm) | Ns   | $\eta$ (%) | N (kW) |
|--------------|-------|---------|------|------------|--------|
| 12           | 45    | 3560    | 20.5 | 72         | 7.35   |

Tabla 3.5: Características para la modificación de la bomba.

**Depósito de distribución.** Actualmente el sistema no cuenta con un depósito de distribución, lo que causa que no puede transformarse el caudal máximo diario en máximo horario, independientemente de que el máximo diario es insuficiente por incapacidad del equipo de bombeo.

Con estas características, la bomba si puede elevar el agua hasta el depósito con un caudal de 12 L/s recomendados.

#### **Conductora.**

**Tubería exterior o de aducción.** La tubería de aducción o exterior existente se describió en el capítulo anterior. A esta se le propone como modificación un tramo de subida y otro de bajada al tanque cuyas características son: La tubería de subida tiene diámetro de 230.6 mm, es de PEAD y tiene una longitud de 129.51 m entre la estación 931.88 y el depósito de distribución, la de bajada es también de 230.6 mm de diámetro, de material PEAD y tiene una longitud de 116.31, desde el depósito hasta su unión con la tubería de hierro fundido que sale desde la EB actual. La conductora de 200 mm de hierro fundido que sale de la EB se encuentra en buen estado técnico, no presenta salideros y aunque no se dispone de medidores de caudal para realizar mediciones a la salida de la EB, a simple vista no se aprecian salideros y no se reportan roturas con frecuencia.

**Tubería de alimentación.** Con la nueva propuesta el tramo de alimentación queda comprendido entre el depósito y el comienzo de la red, es de 200 mm de hierro fundido y se encuentra en buen estado técnico. No se proponen cambios en relación a lo descrito en el diagnóstico.

En la fuente propuesta se diseñó una tubería de aducción desde el pozo en las elevaciones Dos Sierras hasta el vértice en nodo J-50, donde termina la aducción existente y comienza la red. La longitud total es de 1928.8 m y tiene diámetro de 250 mm (230.6 mm interior) en toda su longitud y el material es **PEAD**.

**Comentado [JDQC5]:** Puede incluirse perfil ejecutivo

**Red de abastecimiento.** La red de abastecimiento debe aportar a cada usuario el caudal de diseño con la presión nominal o de diseño bajo cualquier circunstancia. En el caso que nos ocupa y cumpliendo lo establecido en la NC 969 del 2013 referido a que “Debe chequearse que el diseño de las tuberías de la red principal permita dar la dotación del día de máximo consumo en 12 horas a la mitad de la población”, se utilizó un patrón de consumo que simula dichas exigencias. Como resultado de la simulación bajo estas condiciones, se muestran los parámetros de caudal y presión en todos los nodos, lo cual se puede apreciar en la tabla 3.6.

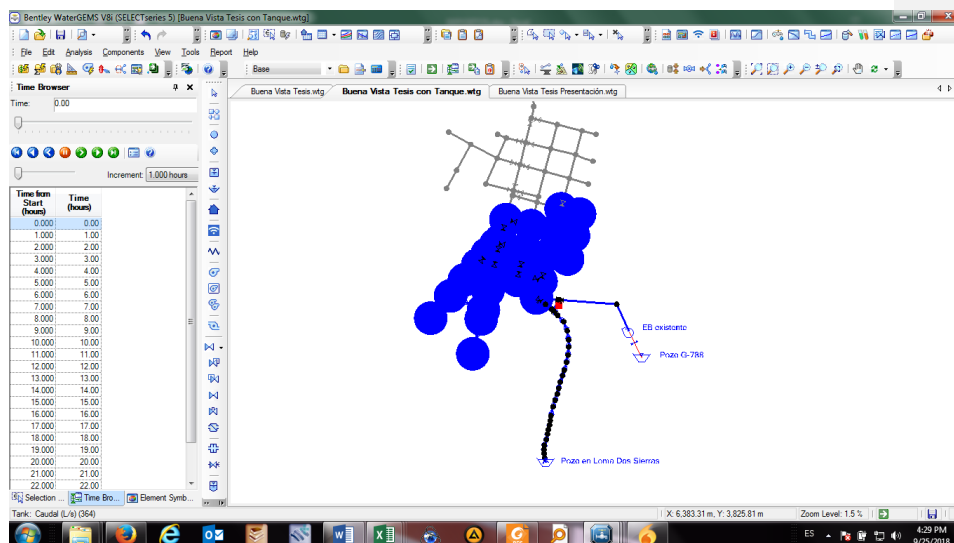


Figura 3.1. Nótese como todos los nodos de la Zona 1 en operación tienen presiones por encima de la mínima exigida. **Es**

**Comentado [JDQC6]:** Es necesario describir cuál es la zona 1

## Análisis y propuesta por gravedad en pequeños poblados

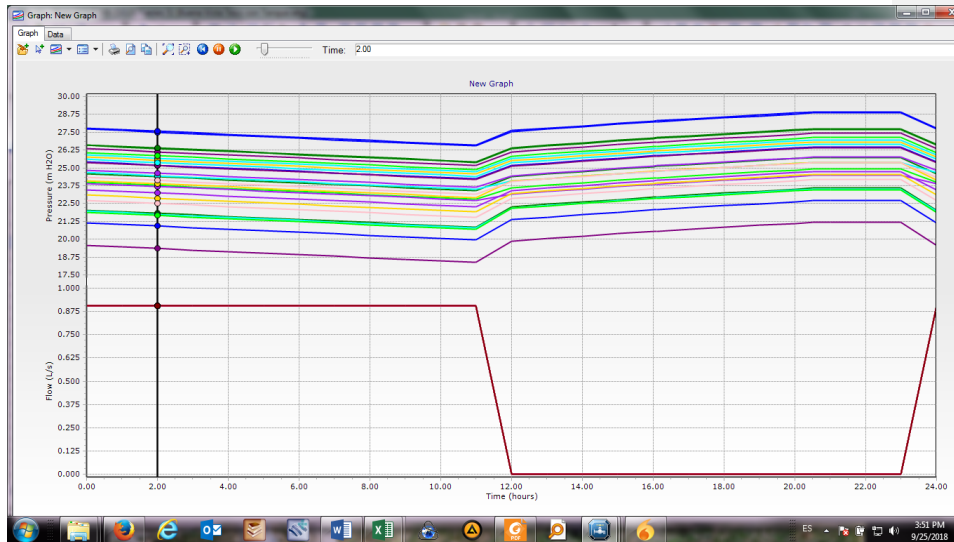


Figura 3.2 Evolución de los caudales y presiones en los nodos durante el día.

**Comentado [JDQC7]:** OJO, esto es período extendido



Figura 3.3 Circulación del agua en las tuberías de subida y bajada del tanque propuesto.

**Comentado [JDQC8]:** Analizar posibilidad de aumentar números y títulos. Esto es válido para todos los gráficos. Hay que comentar todos estos gráficos.

### Análisis y propuesta por gravedad en pequeños poblados

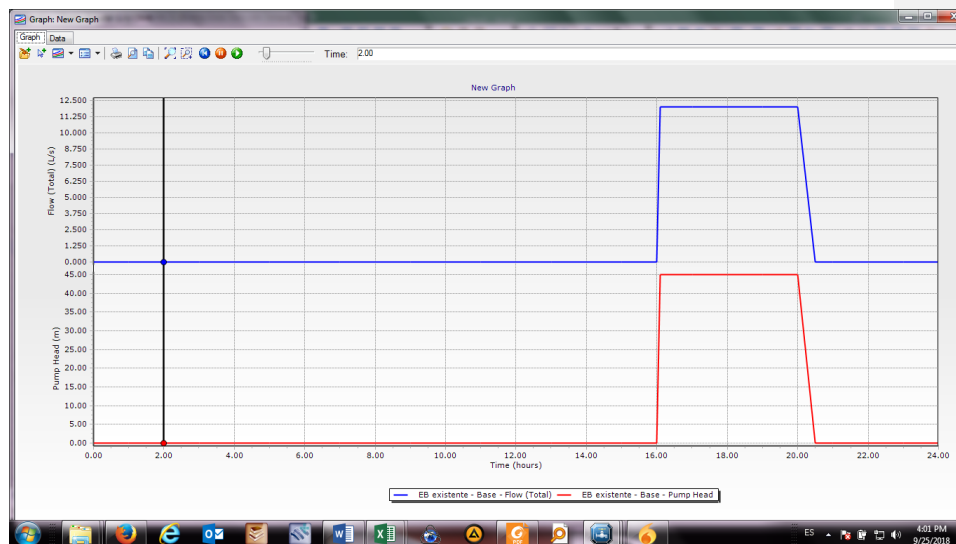


Figura 3.4 Comportamiento de la EB a lo largo del día



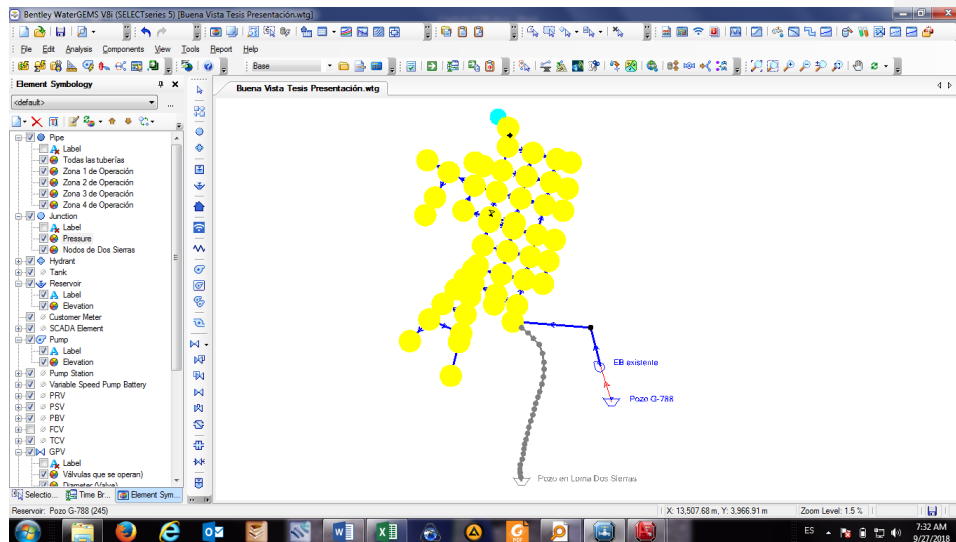
Figura 3.5. Salida neta del tanque y porcentaje de llenado durante el día.

Tabla 3.6. Valores de caudal y presión en los nodos de la Zona 2

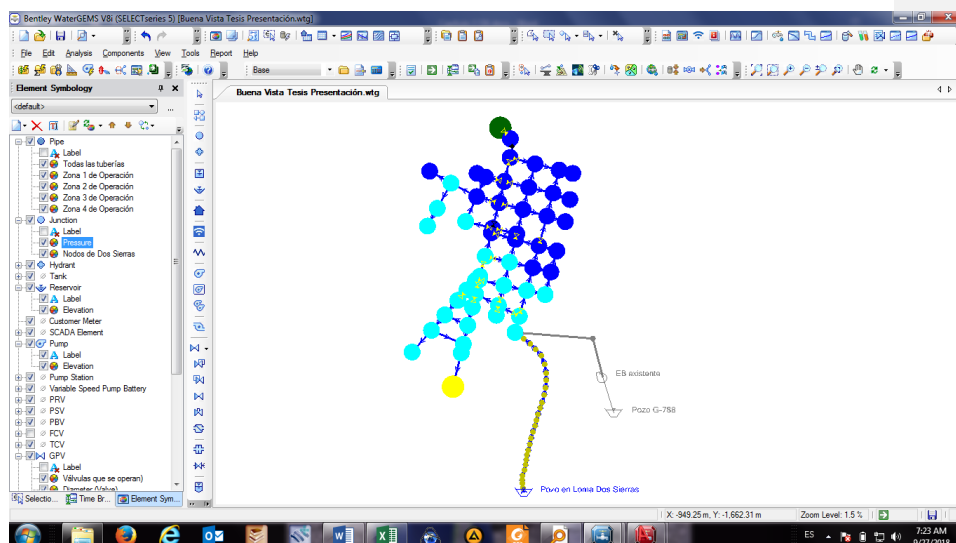
| Nodo | Elevación<br>(m) | Demanda (L/s) |       | Cota<br>piezométrica<br>(m) | Presión<br>(m) |
|------|------------------|---------------|-------|-----------------------------|----------------|
|      |                  | Objetivo      | Real  |                             |                |
| J-49 | 171.2            | 0.906         | 0.906 | 189.68                      | 18.44          |
| J-54 | 168.9            | 0.906         | 0.906 | 189.71                      | 20.76          |
| J-37 | 167.92           | 0.906         | 0.906 | 189.84                      | 21.88          |
| J-36 | 166.73           | 0.906         | 0.906 | 189.83                      | 23.05          |
| J-32 | 167.38           | 0.906         | 0.906 | 190.6                       | 23.17          |
| J-11 | 166.95           | 0.906         | 0.906 | 190.9                       | 23.9           |
| J-12 | 166.72           | 0.906         | 0.906 | 190.84                      | 24.07          |
| J-20 | 166.54           | 0.906         | 0.906 | 190.77                      | 24.18          |
| J-33 | 166.16           | 0.906         | 0.906 | 190.49                      | 24.28          |
| J-35 | 166.27           | 0.906         | 0.906 | 190.76                      | 24.44          |
| J-38 | 165.45           | 0.906         | 0.906 | 190.48                      | 24.98          |
| J-34 | 165.37           | 0.906         | 0.906 | 190.49                      | 25.07          |
| J-13 | 165.53           | 0.906         | 0.906 | 190.71                      | 25.13          |
| J-21 | 165.11           | 0.906         | 0.906 | 190.62                      | 25.46          |
| J-27 | 164.64           | 0.906         | 0.906 | 190.51                      | 25.81          |
| J-14 | 164.34           | 0.906         | 0.906 | 190.66                      | 26.27          |
| J-48 | 164.16           | 0.906         | 0.906 | 190.49                      | 26.27          |
| J-28 | 163.77           | 0.906         | 0.906 | 190.5                       | 26.68          |
| J-22 | 163.74           | 0.906         | 0.906 | 190.58                      | 26.78          |
| J-15 | 163.8            | 0.906         | 0.906 | 190.64                      | 26.79          |
| J-39 | 162.92           | 0.906         | 0.906 | 190.49                      | 27.51          |
| J-29 | 162.28           | 0.906         | 0.906 | 190.5                       | 28.16          |
| J-23 | 162.08           | 0.906         | 0.906 | 190.56                      | 28.43          |
| J-17 | 161.62           | 0.906         | 0.906 | 190.64                      | 28.96          |
| J-40 | 160              | 0.906         | 0.906 | 190.49                      | 30.43          |
| J-16 | 155.42           | 0.906         | 0.906 | 190.64                      | 35.15          |

**Comentado [JDQC9]:** Si se sigue la misma leyenda de Amarillo, cyan, azul, verde y ladrillo se puede prescindir de esta ventana de color coding

### Análisis y propuesta por gravedad en pequeños poblados



Comentado [JDQC10]: Comentar este gráfico



Aquí se puede apreciar que excepto en el nodo J-4 (en amarillo) las presiones están entre 14 y 30, menos en el nodo más al norte que está por encima de 30 m. Como se consideró la entrega en función de la presión, el caudal, excepto en J-4 está por encima del de diseño y el total excede el autorizado para el pozo, por lo que debe regularse a no más de 15 L/s.

Tuberías principales. Tuberías secundarias. Válvulas

## **Conclusiones:**

- La fuente de abasto actual y su estación de bombeo no son suficientes para suministrar la dotación de diseño del poblado de Buena Vista.
- La fuente alternativa puede suministrar un caudal igual o superior al actual con la calidad requerida y una presión adecuada en todos los nodos de la red, pero no es capaz de aportar el volumen diario que satisfaga la demanda.
- La conducción desde la fuente alternativa hasta el punto inicial de la red, con diámetro de 200 mm (184.6 mm) de PEAD y presión nominal de 0.6 MPa, garantiza la presión en dicho punto.
- Se requiere el uso combinado de ambas fuentes para asegurar la demanda, pero el sistema queda con una reserva adicional del 35% del volumen diario.
- El uso de 15 L/s desde la fuente alternativa por gravedad produce un ahorro de energía de alrededor de 50.2 MWh.

## **Recomendaciones:**

- Estudiar el comportamiento del consumo diario del poblado a través de medidores de caudal de modo que se pueda caracterizar su consumo y aplicar un patrón propio del poblado para definir el volumen del depósito.
- Se requiere la construcción de un depósito de aproximadamente 700 m<sup>3</sup> de capacidad para realizar la regulación horaria del consumo.
- Realizar la construcción de la conductora desde el pozo en Loma Dos Sierras hasta el inicio de la red existente con los parámetros recomendados en este trabajo.

### **Preguntas del oponente**

1. ¿En el análisis hidráulico realizado se consideró el gasto contra incendio en las redes?
2. En el trabajo se propone la construcción de un tanque. ¿Qué consideraciones tuvo en cuenta para su ubicación y volumen de almacenamiento?
3. Se realizó un análisis hidráulico con las redes existentes. ¿Existe un aval del Acueducto Municipal de su estado técnico?

## **Respuestas**

1. Utilizando el fichero “Buena Vista Tesis con tanque”, con un patrón de consumo de 16 L/s en el nodo crítico (nodo J-4) el resultado fue favorable, con una presión de 8.73 m. En el resto de los nodos con consumo las presiones se mantuvieron por encima de 14.0 m, lo que resulta muy favorable.
2. Para la ubicación del depósito se tuvo en cuenta la existencia en los alrededores del poblado de elevaciones que permitieran que la cota piezométrica de este fuera suficiente para que la presión en todos los nodos de la red sean iguales o superiores a las de diseño, ambas condiciones se cumplen en la ubicación propuesta. En cuanto a su volumen, primero se determinó un volumen requerido suponiendo que el poblado tuviese un patrón de consumo semejante al de otros poblados (patrón típico) y los volúmenes requeridos para tiempos de bombeo del  $Q_{md}$  de 24 y 16 horas fueron de 213.8 y 422.8 m<sup>3</sup> respectivamente, no obstante, como no se tiene certeza de que ese sea el comportamiento del consumo del poblado y por otra parte para cumplir con lo planteado en la NC 969 del 2013 en que “se indica que se chequeen las redes principales para que sean capaces de recibir el doble del  $Q_{md}$  en la mitad del tiempo y la mitad de la población” se realizó el cálculo para estas últimas exigencias y se le añadió un volumen para incendio. El volumen total es de 700 m<sup>3</sup>.
3. Se realizó un análisis de las redes existentes, considerando que estas se encuentran en buen estado, pero partiendo de que las tuberías, tanto principales como secundarias que están en estos momentos en mal estado, serán sustituidas en su totalidad. En el cuerpo de la tesis se hace referencia a los tramos a sustituir (135 m de diámetro de 200 mm y 1582 m de 100 mm). En recorrido de campo, de conjunto con los operadores del acueducto del poblado se pudo realizar el diagnóstico de la red y conocer aquellos tramos que presentan salideros y roturas frecuentes, los que se proponen para ser sustituidos.

## **Bibliografía**

1. Pérez Franco, D. (1999). "Máquina Hidráulicas Rotodinámicas", Ed, Empresa Nacional de Producción y Servicios del Ministerio de Educación Superior (ENPSES). La Habana, Cuba.
2. Riaño Valle, F. "Selección hidráulica de bombas rotodinámicas de diseño eficiente". Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol XXXII, No. 2. May-Ago 2011, p. 58-68
3. NC 969 (2013). Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.
4. Monzón Sánchez, A; Quintana Camacho J.D. Procedimientos para la realización de proyectos de rehabilitación e intervención constructiva en los sistemas de acueductos de Cuba. (2015).
5. García Trisolini, E. "Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales". Lima. Perú. 2009
6. NC 827:2012. Agua potable. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. Calle E. № 261. Vedado. La Habana. Cuba. Disponible en: [www.nc.cubaindustria.cu](http://www.nc.cubaindustria.cu)
7. NC 973:2013 Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas.
8. NC 53 – 121 Elaboración de Proyectos de construcción. Acueducto. Especificaciones de proyecto.
9. NC 93-01-209: 1990 Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. Procedimientos de Cálculo para la Determinación de la Zona de Protección Sanitaria. Cuba.
10. NC 93-11/1986 Higiene Comunal. Fuentes de Abastecimiento de Agua. Calidad y protección sanitaria, Cuba.
11. NC 827:2012. Agua potable. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. Calle E. № 261. Vedado. La Habana. Cuba. Disponible en: [www.nc.cubaindustria.cu](http://www.nc.cubaindustria.cu)
12. NC 969:2013 Tuberías presurizadas de polietileno- especificaciones para el cálculo, diseño transportación, manipulación, almacenamiento y colocación.
13. Ley No. 124 de las aguas terrestres.
14. Política del Agua.

- 15.** Villa Clara, Acueducto y Alcantarillado, Evaluación del sistema de abasto de agua al poblado de Buena Vista.