

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA LAS COMUNIDADES SANTA FE Y CAPACHAL, PÍRITU, ESTADO  
ANZOÁTEGUI**

**PRESENTADO POR:**

**RAÚL JOSÉ LÓPEZ MALAVÉ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO.**

**Puerto La cruz, Enero de 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**  
**PARA LAS COMUNIDADES SANTA FE Y CAPACHAL, PÍRITU, ESTADO**  
**ANZOÁTEGUI**

**ASESORES:**

---

---

**Prof. José Eduardo Rengel**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Omar Rojas**  
**Asesor Industrial**

**Puerto La cruz, Enero de 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA LAS COMUNIDADES SANTA FE Y CAPACHAL, PÍRITU, ESTADO  
ANZOÁTEGUI**

**JURADO CALIFICADOR:**

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

---

**Prof. José Eduardo Rengel**

**Asesor Académico**

---

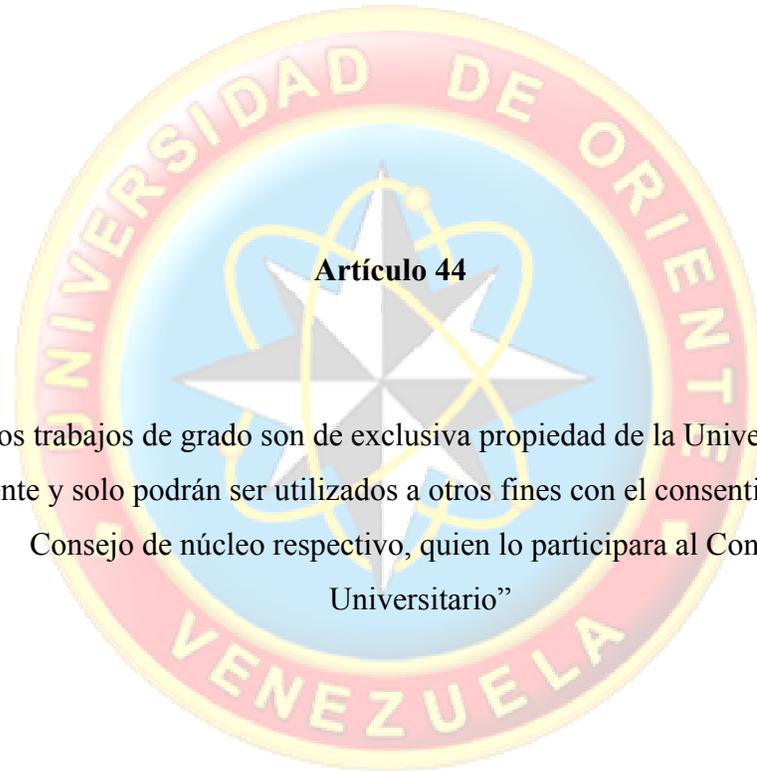
**Prof. Simón Bittar**  
**Jurado Principal**

---

**Prof. Melchor Ledezma**  
**Jurado Principal**

**Puerto La cruz, Enero de 2009**

## RESOLUCIÓN



### Artículo 44

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario”

## DEDICATORIA

En primer lugar, a **DIOS TODOPODEROSO**, por haberme guiado, protegido, por darme la fuerza de voluntad ante las adversidades, la confianza, la determinación para seguir adelante y haber alcanzado uno de mis mayores propósitos en la vida.

A mis padres por su dedicación y sacrificio para darme todo lo que necesité en esta etapa de mi vida, todo lo que soy se los debo a ustedes y este logro es también suyo.

A mis abuelos por el cariño que me han brindado y el apoyo que he obtenido de ellos. Los quiero mucho...

A mi novia Andreina por creer siempre en mí y brindarme su apoyo incondicional. Te quiero mi reina...

Raúl López.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por cuidarme y protegerme de las malas influencias y darme la oportunidad de haber logrado esta meta.

A mis padres **Raúl López** y **Belkhis Malavé**, por inculcarme siempre buenos valores, haberme guiado cuando lo necesité, cuidarme como lo han hecho y darme todo su amor; sin el apoyo y la confianza de ustedes no creo que hubiese llegado hasta aquí, gracias por ser mis padres los quiero mucho.

A mis abuelos **Juan Malavé**, a la **viejita Blanca** y las **dos Rosas** (Rosa Carrasquel y Rosa Ortiz) por quererme, aconsejarme como siempre lo hacen y haberme brindado su más sincero cariño y apoyo.

A mi Madrina **Raitza Malavé** que ha sido otra madre para mí, gracias por haberme apoyado siempre y creer en mí; no creo que mi madre haya podido escoger a una mejor madrina, te quiero mucho...

A todos mis **tíos** que siempre han compartido momentos especiales conmigo y me han servido de ejemplo.

A mi novia **Andreina Molina** que ha sido mi confidente, mi amiga, cuaima etc. Gracias por aconsejarme y aguantarme durante todo este tiempo de estudiante, como dicen por hay, ya te comiste las verdes ahora vendrán las maduras...

A mis grandes amigos de la Universidad **Esteban Guerra** (el popular Gallina Negra) gran amigo, compañero de estudio y tragos, socio de negocios etc. **Carlos Mosqueda** (La Mente) gran amigo también de estudios y como de costumbre



concañero; ellos siempre estuvieron presentes y a disposición para ayudarme y compartir muchos momentos agradables. Gracias...

A los muchachos del gran grupo de estudio y de rumbas de la Universidad como son **Marcos Carvajal** (el payo), **Yonathan Aguilera** (el yongo), **Francisco Ríos** (el infeliz), **Juan Gonzáles** (el gordo), **Carla**, **Rafael** (nenoneno), **Anibal** (el padrino), **Arístides** (el socio), **Juan Carlos** (el Abuelo), **María Emilia** (milla) y a los que faltan en esta lista; gracias por brindarme su amistad y compañerismo les deseo lo mejor.

A mi asesor académico Profesor **José Rengel** por la oportunidad que me brindó guiándome, asesorándome y por su valiosa colaboración y aporte para lograr la culminación de este trabajo.

A mi asesor industrial **Ing. Omar Rojas** por ayudarme en la realización de este trabajo, brindarme su amistad, asesoría y compartir sus conocimientos conmigo.

Al señor **Luis Román** por darme la oportunidad de realizar mis pasantías en su empresa **SANDBLASOL C.A.** y en general a todos los compañeros y compañeras que me ayudaron en dicha empresa.

MUCHAS GRACIAS A TODOS...

## NOMENCLATURA

Área<sub>(Prom)</sub> = Área promedio (m<sup>2</sup>)

Área A = Área de la sección transversal A (m<sup>2</sup>)

C = Coeficiente C (adimensional)

D = Diámetro (m)

f = Factor de fricción (adimensional)

g = Gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

H<sub>b</sub> = Altura que debe vencer la bomba (m)

h<sub>f</sub> = Pérdidas por fricción (m)

HP = Potencia de la bomba. (W)

H<sub>rs</sub> = Pérdidas de carga secundarias (m)

K = Coeficiente de pérdida de conexiones, (adimensional)

L = Longitud (m)

L<sub>e</sub> = Longitud equivalente de tubería (m)

N = Tiempo de bombeo (s)

N<sub>p</sub> = Número de personas

P = Presión (KPa)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>b</sub> = Gasto de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>m</sub> = Gasto medio (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>pp</sub> = Caudal por persona según OMS (l/día)

Q<sub>R</sub> = Caudal para abastecer las poblaciones de Santa Fe y Capachal (l/s)

Q<sub>rio</sub> = Caudal estimado del río (m<sup>3</sup>/s)

t<sub>(Prom)</sub> = Tiempo entre los puntos A y B (s)

V = Velocidad del fluido (m/s)

V<sub>p</sub> = Velocidad media de la sección (m/s)

V<sub>s</sub> = Velocidad de la superficie del agua (m/s)

Z = Altura (m)

η = Eficiencia de la bomba

γ = Peso específico (N/m<sup>3</sup>)

## **RESUMEN**

En este trabajo se diseñó el sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades de Santa Fe y Capachal. Para tal diseño se realizaron cálculos de hidráulica, estableciéndose como parámetro fijo el número de habitantes a los cuales se les prestará el servicio, determinándose el caudal aproximado que requieren esas comunidades, y así, poder satisfacer las necesidades domésticas de esas poblaciones. Conocido el caudal necesario se estudió la proyección y distribución de la tubería con el fin de determinar las pérdidas que deben vencer las bombas para poder seleccionarlas dependiendo de las especificaciones técnicas del fabricante. Y, por último, simular el sistema con el programa PIPEPHASE 8.1 para poder verificar el funcionamiento del mismo y obtener unos resultados más satisfactorios. En el diseño del sistema se obtuvieron los siguientes resultados: a) Una distribución apropiada del caudal en cada comunidad lo cual garantiza el suministro diario requerido, b) las bombas seleccionadas fueron las centrífugas, debido a que es un tipo de máquina más versátil y puede mover grandes o pequeñas cantidades de agua a una gama muy grande de presiones.

## INDICE

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
NOMENCLATURA.....	viii
RESUMEN .....	ix
INDICE.....	x
CAPÍTULO I .....	15
Introducción.....	15
1.1 Sandblasol.....	16
1.2 Planteamiento del Problema .....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
1.4 Resumen de Resultados .....	19
1.5 Contenido de la Tesis .....	19
CAPÍTULO II.....	21
Antecedentes.....	21
2.1 El Agua .....	23
2.2 Red de Abastecimiento de Agua Potable .....	25
2.2.1 Clasificación de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Según la Fuente.....	25
2.2.2 Componentes del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable .....	25
2.2.2.1 Almacenamiento de Agua Bruta.....	26
2.2.2.2 Captación.....	27
2.2.2.3 Tratamiento.....	27
2.2.2.4 Almacenamiento de agua tratada.....	28

2.2.2.5 Red de distribución .....	29
2.2.2.5.1 Componentes de la red de distribución.....	32
2.3 Pérdidas .....	36
2.3.1 Pérdidas primarias .....	36
2.3.2 Pérdidas secundarias.....	38
2.3.2.1 Primer método .....	38
2.3.2.2 Segundo método .....	39
2.4 Bomba.....	41
2.4.1 Características del rendimiento de la bomba .....	42
2.4.2 Altura dinámica de bombeo (HB) .....	43
2.4.3 Potencia .....	44
2.5 Programas simuladores de procesos .....	45
CAPÍTULO III .....	46
3.1 Descripción del funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable.....	46
3.2 Número de habitantes que requiere el servicio de abastecimiento de agua potable.....	47
3.3 Cálculo del caudal requerido .....	47
3.4 Estudio del caudal del río .....	49
3.4.1 Procedimiento que se utilizó para medir el caudal del río:.....	50
3.5 Cálculo de la red de tuberías.....	54
3.6 Cálculo de la potencia de las bombas .....	60
3.7 Cálculo de la capacidad de los tanques de compensación.....	67
3.8 Selección de las bombas .....	69
3.9 Simulación del funcionamiento de la red con el programa pipephase ....	71
CAPÍTULO IV .....	75
4.1 Resultados.....	75
4.2 Análisis de los resultados .....	85
CAPÍTULO V.....	89

5.1 Conclusiones.....	89
5.2 Recomendaciones .....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo A</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo A-1 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo A-2 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo A-3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo A-4 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo A-5 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo B</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo B-1.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo B-2.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo C</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo C-1.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo C-2.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo C-3.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo D</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D-1 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D-3 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D-4 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D-5 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D-6 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO: .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2. 1 Agua potable [Internet] .....	24
Fig. 2. 2 Vista desde satélite del embalse del Gurí,.....	26
Fig. 2.3 Bocatoma [www.wikipedia.com].....	27
Fig. 2.4 Esquema de una Red de Distribución de agua potable. [Internet] ....	29
Fig. 2.5 Tubería. [www.interempresas.net] .....	33
Fig. 2.6 Válvula check [www.elregante.com] .....	33
Fig. 2.7 Válvula de compuerta [www.elregante.com].....	34
Fig. 2.8 Válvula de Aire [www.elregante.com] .....	35
Fig. 2.9 Válvula de Alivio [www.elregante.com] .....	35
Fig. 2.10 Bomba Centrífuga .....	41
Fig. 2.11 Características de funcionamiento de las bombas .....	42
Fig. 2.12 Sistema de bombeo tanque a tanque [fuente propia].....	44
Fig. 3.1 Consumo de agua por persona por día según OMS. ....	48
Fig. 3.2 Estimación del área en distintos puntos del río Guere. ....	50
Fig. 3.3 Longitudes entre los puntos A-B.....	52
Fig 3.4 Tubería de acero que va desde el río hasta la planta de tratamiento. ....	55
Fig 3.5 Tubería de PVC (plastico) que va desde la planta de tratamiento hasta las comunidades. ....	55
Fig. 3.6 Trayectoria más desfavorable.....	61
Fig. 3.7 curva característica de la bomba MALMEDI Modelo 65-200 <sup>a</sup> .....	66
Fig. 3.8 Curvas características de la bomba MALMEDI Modelo 65-315A.....	70
Fig. 3.9 Curvas características de la bomba MALMEDI Modelo 65-250A.....	71
Fig. 3.10 Software de simulación PIPEPHASE 8.1 .....	72
Fig 3.11 Variación de la Presión en función de la longitud de la tubería.....	73
Fig. 3.12 Variación de la Presión en función de la longitud de la tubería.....	74
Fig. 4.1 Esquema del sistema Río – Planta de Tratamiento en PIPEPHASE....	77
Fig. 4.2 Sistema Planta de Tratamiento – Comunidades .....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Períodos de diseños recomendados para estructuras hidráulicas. [6]	32
Tabla 2.2 Valores del coeficiente K de algunas conexiones. ....	39
Tabla 3.1. Número de habitantes para el año 2005 [Ambulatorio Pedro Rollinson].....	47
Tabla 3.2 Caudales estimados por población .....	49
Tabla 3.3 Tiempo transcurrido para que la botella pase del punto A al B. [fuente propia] .....	52
Tabla 3.4 Velocidades asumidas para el cálculo del diámetro del tramo B .....	57
Tabla 3.5 Diámetros teóricos calculados en el tramo B de tubería. ....	58
Tabla 3.6 Pérdidas de carga en el tramo B de tubería. ....	59
Tabla 3.7 Diámetro comercial escogido para el tramo B. ....	59
Tabla 3.8 Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tubería.....	60
Tabla 3.9 Pérdidas ocasionadas por cada tramo de tubería. ....	62
Tabla 3.10 Pérdidas de los accesorios utilizados en la red. ....	64
Tabla 3.11 Capacidad de los tanques de cada población.....	68
Tabla 3.12 Requerimientos de los sistemas de bombeo. ....	69
Tabla 4.1 Caudales calculados en el diseño del sistema .....	75
Tabla 4.2 Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tubería.....	75
Tabla 4.3 Potencia de las bombas usadas en el sistema. ....	76
Tabla 4.4 Capacidad de los tanques de cada población.....	77
Tabla 4.5 Variación de presión a lo largo del sistema Río - Planta.....	78
Tabla 4.6 Velocidad a lo largo del sistema Río – Planta (tramo A) .....	79
Tabla 4.7 Caudal del sistema Río – Planta (tramo A) .....	80
Tabla 4.8 Variación de la presión en el sistema Planta de tratamiento - Comunidades.....	81
Tabla 4.9 Velocidad del fluido en el Planta de Tratamiento - Comunidades ....	83
Tabla 4.10 Caudal del sistema Planta de Tratamiento - Comunidades .....	84

# CAPÍTULO I

## **Introducción**

El abastecimiento de agua potable es una cuestión de supervivencia. Todos necesitan acceso a una cantidad suficiente de agua pura para mantener la buena salud y la vida. Sin embargo, no todo se reduce a los 15 ó 20 litros de agua por día que se necesitan para mantenerse vivo y sano. La fuente de agua debería estar a una distancia que permitiera a los integrantes del hogar acceder a ella con facilidad y tomar de ella suficiente agua como para satisfacer las necesidades que exceden la supervivencia y la salud: en especial, las relativas a la agricultura y la cría de animales.

El abastecimiento de agua potable a nivel doméstico no se reduce a las cuatro paredes del hogar. Todos los integrantes de la comunidad deben tener acceso al agua potable. Las situaciones en que sólo algunos hogares (negocios o granjas) tienen acceso al agua potable a expensas de sus vecinos o del medio ambiente mismo, finalmente dan lugar a problemas en materia de abastecimiento de agua potable a nivel comunitario; por ello, surgen los sistemas de abastecimiento de agua potable, los cuales tienen como propósito principal suministrar agua limpia y segura para el consumo humano a un costo razonable.

Un sistema de distribución de agua potable se proyecta para suministrar un volumen suficiente de agua a una presión adecuada y con una calidad aceptable, desde la fuente de suministro hasta los consumidores. El sistema básico de abastecimiento de agua potable, incluye la infraestructura necesaria para captar el

agua de una fuente que reúna condiciones aceptables, realizar un tratamiento previo para luego conducirla, almacenarla y distribuirla a la comunidad en forma regular.

### **1.1 Sandblasol**

Es una empresa venezolana fundada en 1992, dedicada desde entonces a ejecutar trabajos de sandblasting (Chorro de arena a alta presión para la preparación de superficies) y soldadura de todo tipo de superficies metálicas. Esta empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Barcelona, estado Anzoátegui, y está conformada por sus oficinas establecidas en la calle Sucre con calle Uríca, Edificio Cayenca Center PB Oficina N° 2, Barrio Sucre (donde se realizan labores administrativas y proyectos de ingeniería) y el patio de operaciones ubicado en la Autopista Rómulo Betancourt, sector los Potocos (donde se realizan los trabajos de sandblasting y de soldadura).

**Sandblasol C.A.** ha realizado grandes trabajos a empresas importantes como: PDVSA, SUPERMETANOL, JANTESA, CAMSA, CONFURCA, etc, para las cuales se requiere de una gran capacidad de respuesta, experiencia, confiabilidad y extremadas normas de seguridad.

La directiva de **Sandblasol C.A.**, con miras a fortalecerse y crecer como empresa contratista, ha decidido experimentar en otras áreas de la ingeniería como es la construcción, realizando y ejecutando proyectos para otros entes como son los gubernamentales por ejemplo: Gobernación del Estado Anzoátegui, Alcaldía del Municipio Sucre (Edo. Sucre) y para la Alcaldía de Píritu. Entre las tantas obras realizadas se pueden mencionar el Acueducto caserío El Tigre – Cielo Grande PVC 4", Acueducto crucero el Nazareno – Capachal ACERO 8", etc. los cuales han sido de gran ayuda para el desarrollo educativo, deportivo y bienestar social de esas comunidades.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

SANDBLASOL C.A. contando con la experiencia de los diferentes trabajos realizados a los entes gubernamentales, decidió participar en la licitación que realizó la Alcaldía del Municipio Píritu para la construcción de un sistema que pueda satisfacer los requerimientos de agua potable de los habitantes de las poblaciones de Capachal y Santa Fé. Esto debido a que en la actualidad dichas poblaciones contaban con una tubería de 4" la cual nunca fue empalmada a ningún sistema de bombeo y dicha tubería se encuentra inservible ya que ha cumplido su vida útil de 25 años.

Estas comunidades (Capachal y Santa Fé) se encuentran ubicadas en el Municipio Píritu Estado Anzoátegui sobre la Troncal 14 que se conecta con el Estado Guárico a través de la población de Onoto y cuyo centro se encuentra 11Km. aproximadamente de la troncal 9, vía Caracas.

La falta de agua provoca el estancamiento del desarrollo económico de la región, ya que las actividades agrícolas, artesanales y lácteas no son garantizadas y sus productos podrían no comercializarse en cualquier época del año. Por estas razones se requiere del uso de camiones cisternas para hacer llegar el líquido a los hogares, los cuales tienen que contar con tanques de almacenamiento con la capacidad suficiente para cubrir el consumo de por lo menos 5 días que es la frecuencia con la cual el camión puede abastecer las casas.

La Alcaldía del municipio Píritu teniendo como ganadora de la licitación que se menciona en el primer párrafo de esta sección a la empresa SANDBLASOL C.A. le ha propuesto un proyecto que implique el diseño y construcción de un sistema de abastecimiento de agua incluyendo una planta de tratamiento a dichas comunidades, para poder así mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En el presente trabajo sólo se diseñará el sistema de bombeo sin incluir la planta de tratamiento. Para este diseño

se requiere conocer varias características de las poblaciones y fuentes de abastecimiento como por ejemplo: el número de habitantes a los cuales se les prestará el servicio, el caudal del río en los meses más secos (entre Enero y Abril), el levantamiento topográfico del área por donde se colocará la tubería, etc., para poder realizar el diseño del sistema de bombeo lo cual implicará: escoger los diferentes diámetros de las tuberías que conforman el sistema de acueducto, calcular la capacidad de un tanque de compensación para cada población, seleccionar las bombas que se requieren en el sistema y por último simular el funcionamiento del sistema mediante el programa PIPEPHASE. Todo esto se puede resumir de forma más detallada con los siguientes objetivos.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable para las comunidades de Santa Fe y Capachal, Píritu, Estado Anzoátegui.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Estudiar el comportamiento del río en los meses más secos (entre Enero y Abril) para saber el caudal aproximado y nivel con que se cuenta en las condiciones más desfavorables.
2. Proponer la red de tuberías de distribución de agua.
3. Calcular la potencia de las bombas para los requerimientos (caudal y presión) necesarios en el sistema.

4. Calcular la capacidad de los tanques de compensación que abastecerán a las poblaciones cuando las bombas no funcionen (en la noche).
5. Seleccionar los equipos de bombeo (bombas centrífugas) de acuerdo a los requerimientos del sistema, considerando las especificaciones técnicas del fabricante.
6. Simular el funcionamiento del sistema con el programa PIPEPHASE.

#### **1.4 Resumen de Resultados**

En el diseño del sistema de abastecimiento de agua de las comunidades de Santa Fe y Capachal se obtuvieron los siguientes resultados, a) El caudal total requerido por las comunidades fue de 22 litros por segundo (l/s), b) El caudal del río Guere en la temporada de sequía es de aproximadamente 258 l/s, c) Los diámetros de las tuberías se seleccionaron con el fin de tratar de reducir las pérdidas en lo posible para obtener una mayor eficiencia del sistema en cuanto al consumo de energía, d) Para suministrar la cantidad de agua requerida por el sistema, se seleccionaron dos bombas centrífugas de 11190 W (15 HP) para llevar agua del río hacia la planta de tratamiento y dos bombas centrífugas de 22380 W (30 HP) para enviar agua potable desde la planta de tratamiento hacia las comunidades, e) La capacidad de los tanques de compensación dieron como resultado 325 m<sup>3</sup> para Santa Fé y 925 m<sup>3</sup> para Capachal, f) el programa PIPEPHASE 8.1 ayudó a obtener una mejor configuración del sistema que se había planteado al principio.

#### **1.5 Contenido de la Tesis**

El presente trabajo está dividido en 5 capítulos:

En el capítulo 1 se hace una pequeña introducción donde se plantea el problema a resolver, se muestran los objetivos y se hace referencia a los resultados obtenidos.

En el segundo capítulo se encuentra el marco teórico donde se definen términos que ayudarán a comprender el problema planteado en el capítulo 1.

La metodología y los procedimientos para la elaboración del diseño del sistema de abastecimiento de agua se reflejan en el tercer capítulo.

En el cuarto capítulo se encuentran los resultados y los análisis de los mismos.

Finalmente en el capítulo 5 están las conclusiones y recomendaciones producto de los análisis realizados.

## CAPÍTULO II

### Antecedentes

En varias ocasiones se ha tratado de mejorar los sistemas de abastecimiento de agua potable de las distintas ciudades, ya que con el crecimiento de las poblaciones estos sistemas tienden a hacerse insuficientes. Existen muchos trabajos relacionados con el tema como por ejemplo el trabajo de **CHACÓN** en el año 1998 [1] fue desarrollar el diseño de las obras requeridas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable de las poblaciones de Clarines, Píritu y Puerto Píritu ya que este sistema se hizo insuficiente debido al crecimiento poblacional. Chacón en este trabajo recomendó la sustitución de diferentes tramos de tubería por unas tuberías de mayor diámetro para disminuir pérdidas en el sistema. Propuso el aumento de potencia de las bombas del sistema y recomendó cambiar algunas válvulas que se encontraban dañadas. Del trabajo de Chacón se obtuvieron algunos procedimientos referidos al cálculo de los diámetros de las tuberías y la potencia requerida por las bombas.

Otro de los trabajos relacionado con el tema de abastecimiento de agua potable es el de **RAMÍREZ** que en el año 1996 [2], realizó una evaluación del sistema de abastecimiento de agua de la población de Santa Ana en la cual describió el sistema y el estado actual de los equipos que conforman el mismo. Esta evaluación tuvo como resultado el descubrimiento de fallas en distintas válvulas y tramos de tubería. Ramírez también presentó posibles soluciones de los problemas que se presentaron en el sistema de abastecimiento de agua en estudio. Éste trabajo sirvió de referencia para los problemas que se puedan ocurrir en un futuro y tomar las medidas necesarias para evitarlos.

Por último el trabajo de **TODD** en el año 2007 [3] sirvió para verificar el procedimiento de cálculo de la altura neta de succión positiva en las bombas. Todd realizó un análisis de las condiciones operacionales y de diseño del sistema de bombeo P-66-7 A/B/C del área de tratamiento de agua desmineralizada de CVG Bauxilum. Uno de los aspectos más resaltantes de este trabajo fue la revisión de la configuración hidráulica para comparar el NPSH/disponible con el NPSH/requerido para poder descartar la cavitación y revisar el diseño del sistema de bombeo para verificar su efectividad.

## 2.1 El Agua

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H<sub>2</sub>O.

El agua cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante aunque sólo supone el 0,22% de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos; en forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius; y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. El 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra formando casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos.

Es fundamental para todas las formas de vida conocidas. Las personas consumen agua potable la cual se denomina al agua que se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano según unos estándares de calidad, la cual llega a los hogares a través de grifos ver (Fig. 2.1)



Fig. 2. 1 Agua potable [Internet]

Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales. El suministro de agua potable al consumidor es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. Ya en la Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local. En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y a salvo de la luz del sol.

En Venezuela existen muchas comunidades y poblados que no cuentan con el servicio de agua potable lo cual provoca el Estancamiento del Desarrollo Económico de esas regiones, ya que las actividades agrícolas, artesanales y lácteas no son garantizadas y sus productos podrían no comercializarse en cualquier época del año. Por otra parte se ve un incremento del alto índice de morbilidad, producto del almacenamiento de agua en envases inadecuados.

Capachal y Santa Fé son dos de esas tantas comunidades en Venezuela que se ven afectadas por no contar con el servicio de agua potable, por tal razón se pretende diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable para esas comunidades; con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **2.2 Red de Abastecimiento de Agua Potable**

Es un sistema de obras de ingeniería, concatenadas que permiten llevar hasta la vivienda de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural relativamente densa, el agua potable o en general cualquier líquido o gas.

### **2.2.1 Clasificación de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Según la Fuente**

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

Según el origen del agua, para transformarla en agua potable, deberá ser sometida a tratamientos, que van desde la simple desinfección, hasta la desalinización.

El sistema de abastecimiento de agua que se va a diseñar en este trabajo se clasificará como uno de Agua superficial ya que su fuente de abastecimiento va a ser un río, específicamente el río Guere el cual pasa por Píritu.

### **2.2.2 Componentes del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable**

El sistema de abastecimiento de agua potable más complejo, que es el que utiliza aguas superficiales, consta de cinco partes principales, a saber:

- Almacenamiento de agua bruta.

- Captación.
- Tratamiento.
- Almacenamiento de agua tratada.
- Red de distribución.

Se analiza a continuación cada uno de los componentes.

### **2.2.2.1 Almacenamiento de Agua Bruta**

El almacenamiento de agua bruta se hace necesario cuando la fuente de agua no tiene un caudal suficiente durante todo el año para suplir la cantidad de agua necesaria. Para almacenar el agua de los ríos o arroyos que no garantizan en todo momento el caudal necesario se construyen embalses como el que se puede apreciar en la figura 2.2.

El **embalse** es una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.



Fig. 2. 2 Vista desde satélite del embalse del Gurí, Venezuela. [www.wikipedia.com]

### **2.2.2.2 Captación**

La captación de un manantial debe hacerse con todo cuidado, protegiendo el lugar de afloramiento de posibles contaminaciones, delimitando un área de protección cerrada.

La captación de las agua superficiales se hace a través de las bocatomas, en algunos casos se utilizan galerías filtrantes paralelas al curso de agua para captar las aguas que resultan así con un filtrado preliminar.

Una **bocatoma** (Fig 2.3), o captación, es una estructura hidráulica destinada a desviar desde un curso de agua, río, arroyo, o canal, o desde un lago, o incluso desde el mar, una parte del agua disponible en ésta, para ser utilizada en un fin específico, como puede ser abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía eléctrica, agricultura, enfriamiento de instalaciones industriales, etc.



Fig. 2.3 Bocatoma [www.wikipedia.com]

### **2.2.2.3 Tratamiento**

El tratamiento del agua para hacerla potable es la parte más delicada del sistema. El tipo de tratamiento es muy variado en función de la calidad del agua

bruta. Una planta de tratamiento de agua potable generalmente consta de los siguientes componentes:

- Reja para la retención de material grueso, tanto flotante como de arrastre de fondo.
- Desarenador, para retener el material en suspensión de tamaño fino.
- Floculadores, donde se adicionan químicos que facilitan la decantación de sustancias en suspensión coloidal y materiales muy finos en general.
- Decantadores, o sedimentadores que separan una parte importante del material fino.
- Filtros, que terminan de retirar el material en suspensión.
- Dispositivo de desinfección.

#### **2.2.2.4 Almacenamiento de agua tratada**

El almacenamiento del agua tratada tiene la función de compensar las variaciones horarias del consumo, y almacenar un volumen estratégico para situaciones de emergencia, como por ejemplo incendios. Existen dos tipos de tanques para agua tratada:

- Tanques apoyados en el suelo.
- Tanques elevados.

### 2.2.2.5 Red de distribución

La red de distribución de agua está constituida por un conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el líquido desde el tanque de agua tratada hasta las tomas domiciliares o hidrantes públicos como se muestra en la figura 2.4. A los usuarios (domésticos, públicos, industriales, comerciales) la red deberá proporcionarles el servicio las 24 horas de cada uno de los 365 días del año, en las cantidades adecuadas y con una presión satisfactoria.

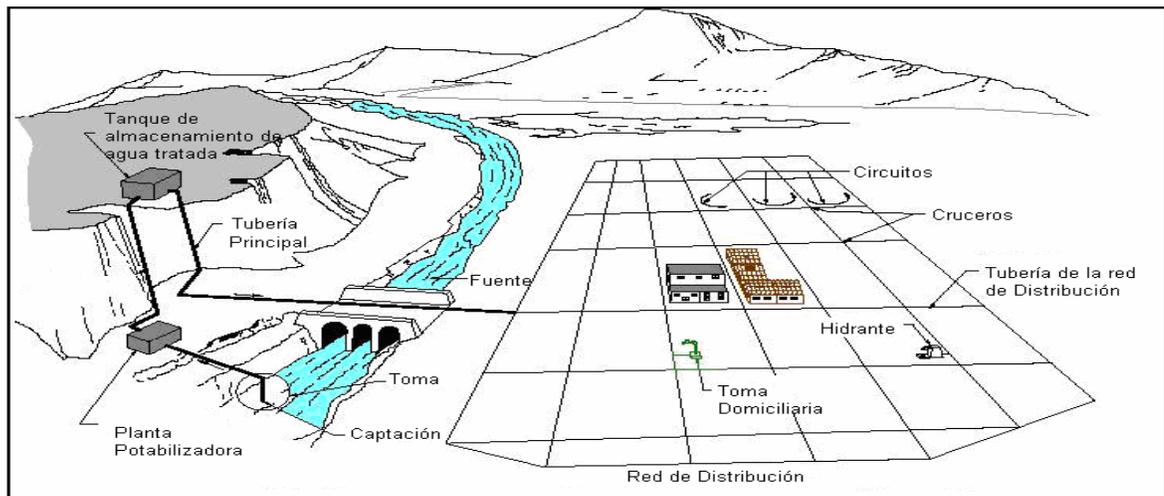


Fig. 2.4 Esquema de una Red de Distribución de agua potable. [Internet]

Para poder diseñar las partes del sistema de abastecimiento de agua potable mencionadas en los párrafos anteriores, se debe realizar primero una serie de estudios para obtener los valores estimados de los datos definidos a continuación:

**Caudal:** es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente [4].

**Consumo:** Es la cantidad de agua realmente utilizada por un núcleo urbano para una fecha determinada y puede ser expresada en litros (l) o metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

**Demanda:** Es la cantidad de agua que los usuarios de un sistema de abastecimiento pretenden utilizar de acuerdo a determinados usos y costumbres. De no existir pérdidas o limitaciones en el servicio, el consumo y la demanda deberían ser iguales para una misma fecha.

**Dotación:** es la cantidad de agua necesaria para satisfacer apropiadamente los requerimientos de un determinado núcleo urbano, generalmente expresada en litros por persona por día (LPCD). La dotación se forma de la suma de los requerimientos razonables correspondientes a los usos que conforman el abastecimiento urbano.

La dotación es un factor muy importante que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de abastecimiento de agua para una comunidad ya que es la meta del diseño que se va a realizar.

**Gasto de bombeo:** En el caso de estaciones de bombeo, el gasto a considerar debe ser el correspondiente al consumo máximo diario, pero en virtud de que ahora interviene una nueva variable, que es el tiempo de bombeo, es conveniente y justificado hacer un análisis considerando los gastos máximos y mínimos, como consecuencia de las demandas en los consumos actual y futuro, así como los incrementos durante el período de diseño.

Casi siempre resulta más ventajoso el seleccionar los equipos de bombeo para un gasto correspondiente a:

$$Q_b = \frac{Q_m \cdot 86400s}{N} \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_b$ = gasto de bombeo ( $m^3/s$ )

$Q_m$ = gasto medio ( $m^3/s$ )

N: Tiempo de bombeo (s) [6]

Y aumentar el tiempo de bombeo cuando sea necesario satisfacer la demanda del día de máximo consumo.

**Levantamientos Topográficos:** los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre, estos levantamientos topográficos sirven de guía para saber las diferencias de alturas en el terreno y longitudes de los diferentes tramos de tubería.

**Durabilidad o vida útil de las instalaciones:** Dependerá de la resistencia física del material a factores adversos de desgaste u obsolescencia. Así, al hablar de tuberías como elemento de primer orden dentro de un acueducto, se encuentran distintas resistencias al desgaste por corrosión, erosión y fragilidad; siendo entonces estos factores determinantes en su durabilidad o en el establecimiento de períodos de diseño, puesto que sería ilógico seleccionarlos con capacidad superior al máximo que les fija su resistencia física. Siendo un sistema de abastecimiento de agua una obra muy compleja, constituidos por obras de concreto, metálicas, tuberías, estaciones de bombeo, etc., cuya resistencia física es variable, no es posible pensar en períodos de diseños uniformes. Cabe destacar que cuanto mayor sea la vida útil del sistema diseñado, mayor será la dificultad para hacer ampliaciones del mismo al final del período de diseño. Los períodos de diseño empleados a menudo en la práctica se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Períodos de diseños recomendados para estructuras hidráulicas. [6]

Población (habitantes)	Período de diseño
menos de 4,000	5 años
De 4,000 a 15,000	10 años
De 15,000 a 70,000	15 años
Más de 70,000	20 años

Con los valores de los datos descritos en la sección 2.3.2.5 se pueden realizar los cálculos necesarios para poder escoger de acuerdo a los diferentes fabricantes, los componentes que conforman la red de distribución del sistema de abastecimiento de agua potable de Capachal y Santa Fe.

#### **2.2.2.5.1 Componentes de la red de distribución**

**Tubería:** A menos que se indique específicamente, la palabra tubería se refiere siempre a un conducto de sección circular y diámetro interior constante. [5].

Las tuberías (Fig 3.6) representan uno de los componentes más importantes en un sistema de abastecimiento de agua, ya que éstas facilitan el traslado del agua sobre todo si existe un desnivel como el que se presenta en este proyecto en el cual hay que llevar el agua de un nivel inferior a uno superior.



Fig. 2.5 Tubería. [www.interempresas.net]

**Válvulas y accesorios:** las válvulas y accesorios tienen como función principal controlar las presiones y caudales en la red de tuberías, cambiar la dirección del líquido, conectar las tuberías en diferentes configuraciones etc. Para poder así llevar el líquido (agua) a los diferentes puntos de abastecimiento, A continuación se muestran algunos tipos de válvulas y conexiones que se utilizarán en el sistema de abastecimiento de agua.

**Check:** Las válvulas de retención, también llamadas check y de no retorno, tienen el fin de evitar la descarga del agua en dirección a la bomba como se aprecia en la Fig. 3.7, esto evita daños por la rotación inversa de la bomba, además de impedir el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha del sistema sea más rápida y segura.



Fig. 2.6 Válvula check [www.elregante.com]

**Válvulas de cierre:** Las válvulas de cierre permiten o cierran el paso de agua en los distintos componentes del sistema, se fabrican en diversos materiales de acuerdo al fin al que estén destinadas, a continuación se puede apreciar una válvula de compuerta la cual es uno de los tantos tipos de válvulas de cierre que existen.

**Válvulas de Compuerta:** En las válvulas de compuerta el cierre se produce con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento (ver Fig. 3.8), Deben permanecer durante el período de operación, totalmente abierto o totalmente cerrado, no se recomiendan para la regulación de caudales en la red o equipo.

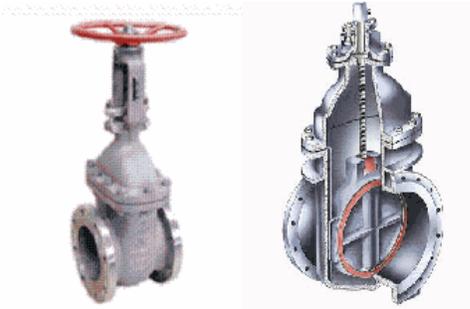


Fig. 2.7 Válvula de compuerta [www.elregante.com]

**Válvulas de aire:** Las válvulas de aire o ventosas, tienen la finalidad de extraer el aire que puede disminuir considerablemente el caudal cuando se producen bolsas de aire, también permiten la entrada de aire cuando se crean presiones de vacío, como ocurre con la parada repentina de una bomba o cuando se cierra una válvula; en la figura 3.9 se puede apreciar una ventosa.



Fig. 2.8 Válvula de Aire [www.elregante.com]

**Válvulas de alivio:** Las válvulas de alivio también llamadas de seguridad, tienen la función de abrir el sistema a la atmósfera cuando la presión supera ciertos límites preestablecidos, reduciendo de esta forma las sobrepresiones subsiguiente.

En la figura 3.10 se puede apreciar una válvula de alivio. Éstas son de gran utilidad ya que protegen las tuberías y equipos de la red de una operación anormal del sistema o una avería.



Fig. 2.9 Válvula de Alivio [www.elregante.com]

**Conexiones:** las conexiones son accesorios que permiten unir las tuberías entre sí también unir tuberías con válvulas, etc. y desviar el flujo de agua para donde se requiera; entre tantas conexiones se pueden nombrar los codos, tees, contracciones, expansiones, anillos etc.

Todos estos componentes se tienen que escoger según el resultado de los cálculos y la experiencia que se tenga en el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable ya que así se podría alcanzar la mayor eficiencia del sistema y reducir en lo posible las pérdidas que se generan en todos los componentes y tuberías que conforman dicho sistema. En la sección 2.4 se hablará un poco sobre las pérdidas que ocasionan las válvulas, conexiones y tuberías en un sistema de abastecimiento de agua y los métodos que se utilizan para calcularlas.

### **2.3 Pérdidas**

La pérdida de carga en una tubería o canal, es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene. [4]

Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos tipos: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

#### **2.3.1 Pérdidas primarias**

Son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otras (régimen laminar) o las de partículas de fluido entre si (régimen turbulento).

En este trabajo se hablará de las dos fórmulas más utilizados para calcular las pérdidas primarias. Dichas fórmulas se mencionan a continuación:

La ecuación de Hazen & Williams (2.2) como primer método la cual se expresa de la siguiente manera:

$$H_f = \frac{10.67 \cdot L \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \quad (2.2)$$

Donde:

$H_f$  = Pérdidas por fricción (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente  $C$

$D$  = Diámetro (m)

$L$  = Longitud (m)

La segunda ecuación que se puede utilizar para calcular las pérdidas por fricción es la de Darcy Weisbach (2.3)

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Donde:

$H_f$  = Pérdidas por fricción (m)

$V$  = Velocidad promedio del fluido (m/s)

$f$  = Factor de fricción (adimensional)

$D$  = Diámetro (m)

$L$  = Longitud (m)

$g$  = Gravedad ( $9.81 m^2/s$ )

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería. Sin embargo, puede suceder que debido a velocidades extremas la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a

igualar la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales obtenidos por cálculo serán inexactos. [5]

### **2.3.2 Pérdidas secundarias**

Cuando el fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del fluido y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo de tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional llamada pérdida secundaria [8]. Las pérdidas secundarias en válvulas y accesorios que conforman un sistema de tuberías se pueden calcular por dos métodos que se explican a continuación:

#### **2.3.2.1 Primer método**

Utilizando la ecuación 2.4 y un coeficiente K adimensional de pérdidas secundarias (ver tabla 2.2) que depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad de la tubería y de hasta la configuración antes del accesorio [4].

$$\mathbf{Hrs = K \frac{V^2}{2g}} \quad (2.4)$$

Donde:

Hrs: Pérdidas de carga secundarias (m)

K : Coeficiente de pérdida de conexiones (adimensional)

V: Velocidad del fluido dentro del accesorio (m/s)

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor.

En la tabla 2.2 se puede apreciar algunos valores del coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo del diámetro de cada conexión.

Tabla 2.2 Valores del coeficiente K de algunas conexiones.

Pieza	Descripción	Diámetro de los accesorios en mm											
		13	19	25	32	38	50	62-75	100	150	200-250	300-400	450-600
	Válvula de pie con tapa de bizagra	11,3	10,5	9,7	9,3	8,8	8,0	7,6	7,1	6,3	5,9	5,5	5,0
	Válvula de pie con tapa vertical	2,0	1,9	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9
	Codo de 90° Radio=2 diámetros	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14
	Codo 45° Radio=2 diámetros	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
	Contracción	$K = 0.5 \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \sqrt{\text{Sen} \frac{\theta}{2}}$											
	Válvula de compuerta	0,22	0,20	0,18	0,18	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10
	Válvula de bola	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04

### 2.3.2.2 Segundo método

Consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir, longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que

produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión. [4] Estas se calculan por las mismas fórmulas de las pérdidas primarias a la cual sólo se le agrega el término de longitud equivalente como se aprecia en la ecuación 2.5.

$$H_f = \frac{10.67.(L + Le).Q^{1.85}}{C^{1.85}.D^{4.87}} \quad (2.5)$$

Donde:

Le = Longitud equivalente de tubería.

La longitud equivalente (Le) se puede determinar ya sea por diagramas establecidos o por la ecuación 2.6:

$$Le = \frac{\sum K_i d_i}{f_i} \quad (2.6)$$

Donde:  $\sum K$  representa la sumatoria de los coeficientes de pérdida de cada uno de los accesorios que estén instalados en toda la tubería.

Si la conducción es larga como en el caso de este proyecto las pérdidas secundarias tienen poca importancia, pudiendo a veces despreciarse o se tienen en cuenta al final, sumando un 5 o 10 por ciento de las pérdidas principales halladas. Si la conducción es corta y complicada (tramos cortos de tubería y muchos accesorios) las pérdidas secundarias pueden jugar un papel preponderante y las pérdidas primarias pueden incluso llegar a ser despreciables.

Para vencer todas las pérdidas generadas por el sistema, por lo general es necesario utilizar máquinas que aumenten la energía del fluido a menos que el fluido tenga la suficiente energía potencial para vencer dichas pérdidas; ya que en este

proyecto no se cuenta con la energía potencial del fluido por que la fuente de abastecimiento se encuentra en un nivel geodésico inferior al nivel donde están ubicadas las comunidades, se requiere de la utilización de dichas máquinas llamadas bombas de las cuales se hablará a continuación.

## 2.4 Bomba

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye, al líquido que la atraviesa, energía hidráulica [4]. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos como el agua, aceites, combustibles, ácidos, etc. En el diseño del sistema de abastecimiento de agua se utilizarán bombas centrífugas (figura 2.5) de diferentes tamaños y potencias de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción.

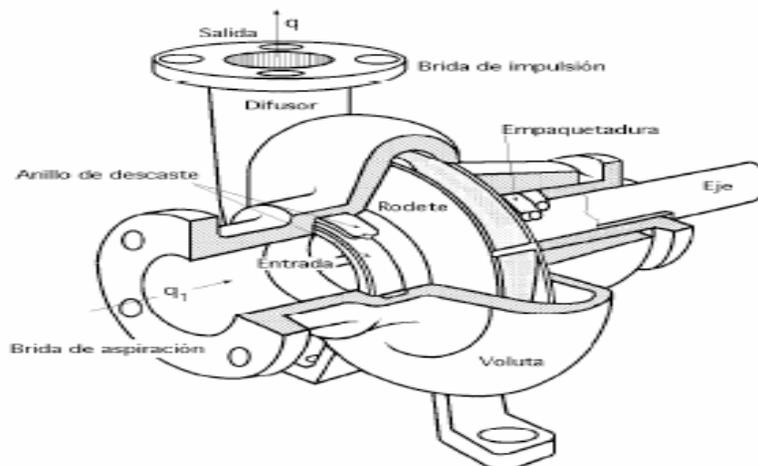


Fig. 2.10 Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas se encuentran en la clasificación de rotodinámicas por que su movimiento es rotativo, su órgano transmisor de energía se llama rodete y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

### 2.4.1 Características del rendimiento de la bomba

Las características de rendimiento a velocidad constante que se ilustra en la figura 2.6 son para una bomba de tipo y tamaño definido y que maneje agua que fluye a velocidad y densidad determinada. La bomba puede operar a cualquier capacidad, desde cero hasta la máxima que se ilustra, pero cuando se instala en un sistema en particular, la bomba operará sólo en la intercepción de las características del sistema con la curva de funcionamiento apropiada de la bomba.

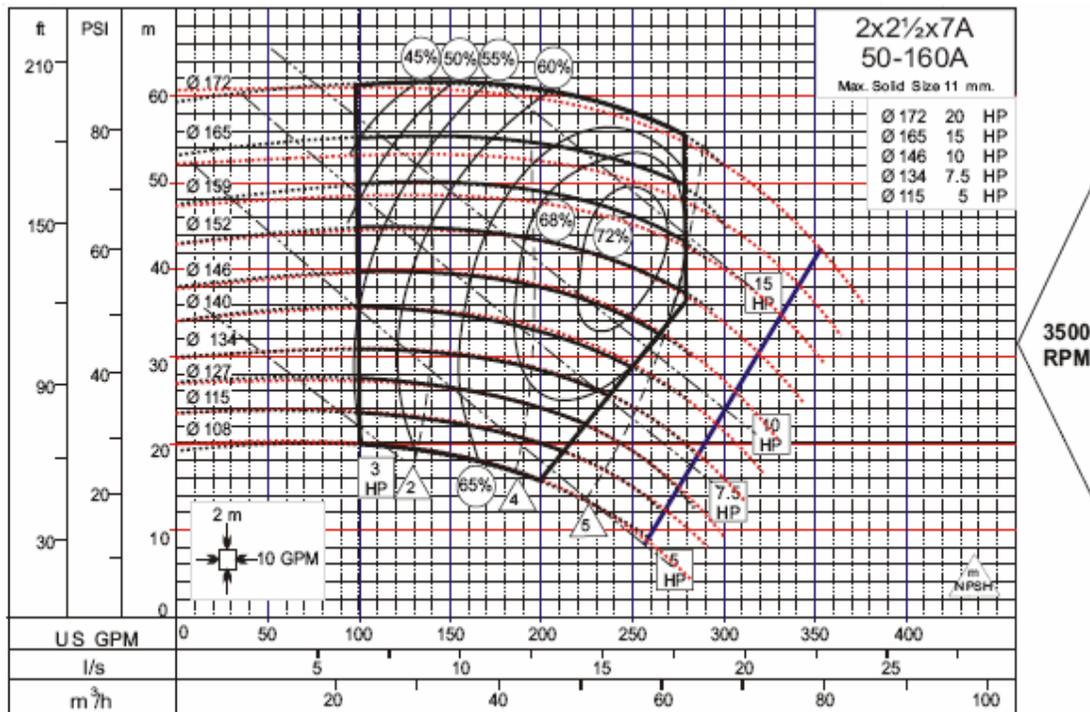


Fig. 2.11 Características de funcionamiento de las bombas

### 2.4.2 Altura dinámica de bombeo (HB)

Representa la cantidad de energía que entrega la bomba por cada m-Kg/Kg del líquido bombeado. Se expresa ya sea en metros (m) en el sistema internacional o en pies (ft) en el sistema inglés.

Si un líquido es transferido de un punto 1 a un punto 2 por una bomba (ver figura 2.7), la energía que entrega la bomba (HB) expresada en metros (m), será dada por la ecuación 2.7, la cual es una derivación de la ecuación de Bernoulli.

$$\mathbf{Hb} = \left( \frac{\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1}{\gamma} \right) + \left( \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2\mathbf{g}} \right) + (\mathbf{Z}_2 - \mathbf{Z}_1) + \mathbf{Hf} \quad (2.7)$$

Donde:

P = Presión (KPa)

V = Velocidad del fluido (m/s)

Z = Altura (m)

g = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Hb = Altura que debe vencer la bomba (m)

Hf = Pérdidas por fricción (m)

Nota: Los subíndices indican el estado inicial y final en la figura 2.7

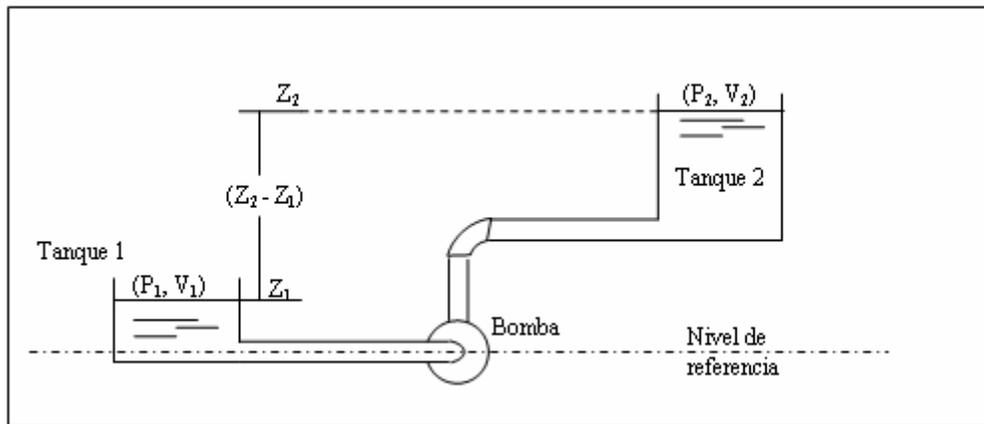


Fig. 2.12 Sistema de bombeo tanque a tanque [fuente propia]

### 2.4.3 Potencia

La potencia de la bomba es la energía que requiere ésta para vencer todas las pérdidas presentes en un sistema y poder abastecer con suficiente presión y caudal dicho sistema, podrá calcularse por la ecuación siguiente:

$$\mathbf{HP = \frac{Q \cdot H_b \cdot \gamma}{\eta}} \quad \mathbf{(2.8)}$$

Donde:

HP: Potencia de la bomba. (W)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

H<sub>b</sub>: Carga total de la bomba en metros (m)

η: Eficiencia de la bomba, para efectos del cálculo teórico se estima en 60%

γ: Peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

En este trabajo después de haber calculado la potencia de las bombas y haber escogido las bombas que se utilizarán en el proyecto se procederá a simular el

funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua con un programa de simulación de procesos llamado PIPEPHASE 8.1 del cual se hablará en la siguiente sección.

## **2.5 Programas simuladores de procesos**

Los programas de simulación pueden convertir a la computadora en un micro-laboratorio artificial. A diferencia de los programas de demostración basados en un tipo de exposición muy poco interactiva, las simulaciones por computadora facultan al alumno para dar datos y manipular los elementos que intervienen en la experiencia, y que modifican el resultado del experimento. Las simulaciones pueden referirse a actividades, procesos y fenómenos relacionados con la naturaleza, la ciencia, la técnica, la industria, el comercio, la sociedad, etc.

En este trabajo se utilizará el programa de simulación PIPEPHASE 8.1 para verificar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua de las poblaciones de Capachal y Santa Fe, dicho software es una herramienta de cálculo poderosa para el diseño, análisis y optimización de gran variedad de sistemas de flujo, análisis gráficos y todos los componentes necesarios para el modelaje de pozos y optimización de diseños complejos de sistemas de redes de tuberías. Con dicho programa se obtienen los caudales, presiones, velocidades y temperaturas del fluido en estudio y se pueden variar las condiciones iniciales del sistema propuesto, para ver que influencia tienen dichas variaciones (positivas o negativas) en el sistema; por lo que dicho programa será de gran ayuda para en la obtención de mejores resultados.

## CAPÍTULO III

En este capítulo, se plantean los requerimientos, los cálculos a realizar y sugerencias a seguir en la realización del diseño del sistema de abastecimiento de agua potable de Capachal y Santa Fé. En dicho diseño se estimó el número de personas a las cuales se les prestará el servicio de abastecimiento de agua potable para luego calcular el caudal necesario. Después, se realizó un estudio de la fuente de abastecimiento, es decir, el río de donde se extraerá el agua para tratarla y llevarla a la comunidad. Luego se propuso la red de tuberías y la capacidad de los tanques de compensación con lo cual se pudo calcular la potencia de las bombas para poder seleccionarlas de acuerdo a lo ofrecido por los fabricantes y por último simular el funcionamiento del sistema en general con el programa PIPEPHASE 8.1.

### **3.1 Descripción del funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable**

Comienza con la succión del agua cruda (agua sin tratar) por medio de una bomba centrífuga, ubicada en las adyacencias del río Guere la cual impulsa el agua hacia los tanques de la planta de tratamiento que se encuentra a unos 1600 m de la fuente de abastecimiento (río). En ésta se realiza el proceso de potabilización del agua y se almacena el agua tratada en otros tanques de dicha planta para después poder bombear, con otras bombas centrífugas, el agua tratada hacia los tanques elevados de las comunidades de Santa Fe (ubicada a 300 m aprox. de la planta de tratamiento) y Capachal (ubicada a 4000 m de la población de Santa Fe) y el agua que contienen estos tanques a su vez, abastecerán a los pobladores de dichas comunidades por gravedad.

### 3.2 Número de habitantes que requiere el servicio de abastecimiento de agua potable

Para el diseño del sistema de abastecimiento de agua, se tomó como parámetro principal el número de personas que requerirán el servicio en una proyección a 20 años. De acuerdo con los datos obtenidos (tabla 3.1) del Ambulatorio Pedro Rollinson- Píritu, la población en el año 2005 era de 2742 personas; por lo que se estima que para el año 2025 habrá una población de 5000 habitantes aproximadamente, teniendo en cuenta una tasa de crecimiento del 3% anual, según datos obtenidos de los registros del personal que labora en dicho ambulatorio.

Tabla 3.1. Número de habitantes para el año 2005 [Ambulatorio Pedro Rollinson]

POBLACIONES	N° DE PERSONAS
CAPACHAL	1825
SANTA FE	917
<b>TOTAL</b>	<b>2742</b>

### 3.3 Cálculo del caudal requerido

El cálculo del caudal que se requiere para abastecer a las comunidades de Santa Fé y Capachal se realizó siguiendo las Normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la cual establece que el consumo de agua diario por persona debe ser aproximadamente de 250 litros como se puede apreciar en la figura 3.1.

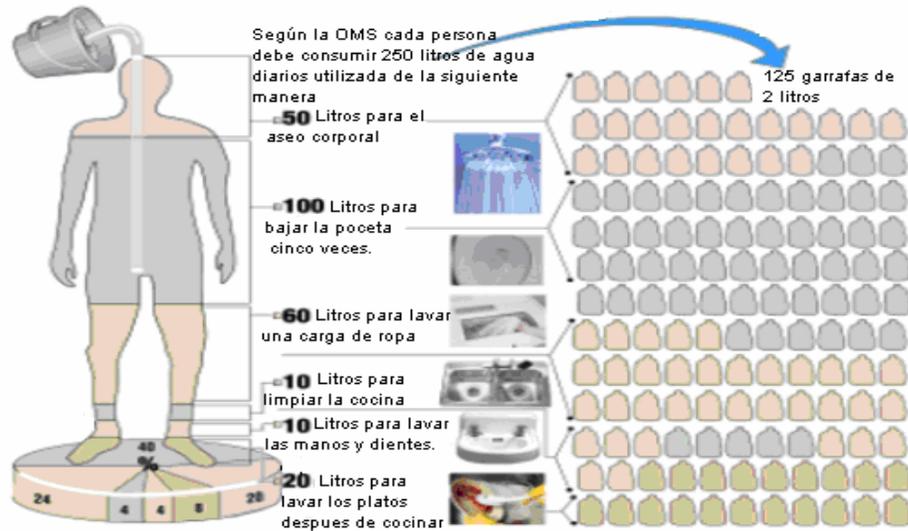


Fig. 3.1 Consumo de agua por persona por día según OMS.

Con el consumo diario de agua por persona (250 litros) y el número de habitantes de dichas poblaciones (5000 personas aproximadamente) se calcula el caudal con la ecuación (3.1).

$$Q_R = \frac{Q_{pp} \cdot N_P}{57600s} \quad (3.1)$$

Donde:

$Q_R$  = Caudal para abastecer las poblaciones de Santa Fe y Capachal (l/s)

$Q_{pp}$  = Caudal por persona según OMS (l/día)

$N_P$  = Número de personas

**57600s** = 16 horas llevadas a segundos (tiempo de bombeo).

Sustituyendo los valores de  $Q_{pp}$  que en este caso es de 250 l/día y N igual a 5000 personas en la ecuación (3.1) se obtuvo que el caudal requerido para abastecer de agua potable a las comunidades Santa Fe y Capachal es:

$$Q_R = 21,7 \text{ l/s}$$

Como  $Q_R$  es un caudal estimado se redondeará a 22 l/s. Éste caudal no abastecerá a las 5000 personas sino se cuenta con la ayuda de los tanques de compensación, ya que en el cálculo de dicho caudal, se estima que una persona gasta los 250 litros de agua en 16 horas cuando en realidad esos 250 litros de agua se gastan en aproximadamente 12 horas o menos, por lo que si no existiera dichos tanques de compensación (en la sección 3.7 se hablará de la función de los tanques de compensación) el sistema sería insuficiente. Para el cálculo del caudal requerido  $Q_R$  no se pudo utilizar 12 horas como tiempo de bombeo, ya que la disminución del tiempo de bombeo produce el aumento de la potencia requerida por las bombas y se excede el consumo de electricidad permitido por la compañía que presta este servicio.

Habiendo estimado el caudal total (22 l/s), se puede calcular el caudal que requerirá cada comunidad de acuerdo a la población; obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Caudales estimados por población

POBLACIÓN	Nº HAB.	CAUDAL EST. (l/s)
CAPACHAL	3300	14.5
SANTA FE	1700	7.5

### 3.4 Estudio del caudal del río

Este es un procedimiento que consiste en medir la corriente del río para conocer el caudal en los meses más secos (entre Enero y Abril) y poder asegurar que la fuente

tiene la capacidad de abastecer los requerimientos de las comunidades sin dañar el ecosistema. Con este estudio también se puede garantizar el buen funcionamiento de las bombas, ya que éstas no pueden quedar en vacío o succionar aire por que se dañarían o en su defecto no funcionaría bien el sistema de bombeo y por ende no serán cubiertos los requerimientos de las comunidades en las condiciones más críticas (temporada de sequía).

**3.4.1 Procedimiento que se utilizó para medir el caudal del río:**

1.- Del levantamiento topográfico (anexo B) se eligen tres secciones transversales del río (como se muestra en la figura 3.2) y se calcula cada área de dichas secciones.

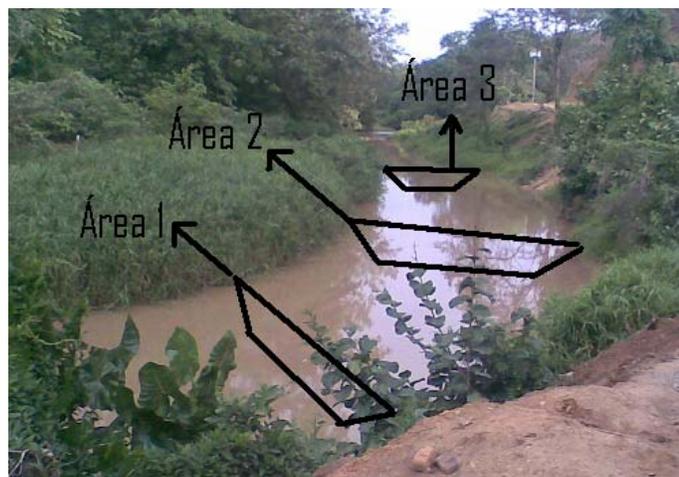


Fig. 3.2 Estimación del área en distintos puntos del río Guere.

La figura 3.2 es sólo para referencia ya que las secciones transversales reales del río Guere se encuentran en el Anexo B-2 (levantamiento topográfico).

2.- Se calcula un área promedio ( $\text{Área}_{(\text{Prom})}$ ) con las áreas de las secciones transversales escogidas en el paso N° 1 (por dicha  $\text{Área}_{(\text{Prom})}$  se asumirá que pasará el agua); el  $\text{Área}_{(\text{Prom})}$  se calcula con la ecuación (3.2)

$$\text{Área}_{(\text{Prom})} = \frac{\text{Área1} + \text{Área2} + \text{Área3}}{3} \quad (3.2)$$

Donde:

$\text{Área}_{(\text{Prom})} = \text{Área promedio (m}^2\text{)}$

$\text{Área1} = \text{Área de la sección transversal 1 (m}^2\text{)}$

$\text{Área2} = \text{Área de la sección transversal 2 (m}^2\text{)}$

$\text{Área3} = \text{Área de la sección transversal 3 (m}^2\text{)}$

Sustituyendo los valores de las áreas en la ecuación 3.2 se obtuvo:

$$\text{Área}_{(\text{Prom})} = 6.96 \text{ m}^2$$

3.- Utilizando un objeto flotante (botella de refresco medio llena de agua, para que el viento no influya en las mediciones) se mide el tiempo desde que el objeto pasa por el punto **A** hasta que llega al punto **B**; habiendo fijado con anterioridad la distancia entre dichos puntos así como se muestra en la figura 3.3.

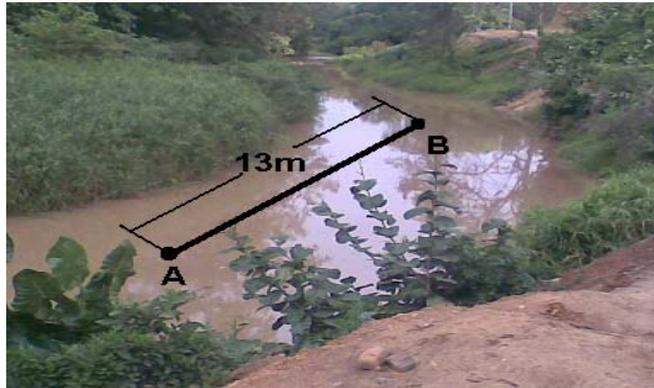


Fig. 3.3 Longitudes entre los puntos A-B.

Las medidas del tiempo entre los puntos A y B se realizaron en diferentes fechas entre los meses de Enero y Abril del año 2007. En la tabla 3.3 se puede apreciar las mediciones realizadas

Tabla 3.3 Tiempo transcurrido para que la botella pase del punto A al B. [fuente propia]

<b>Fecha</b>	12/01	12/01	08/02	08/02	16/03	16/03	16/03	04/04	04/04	04/04
<b>Tiempo(s)</b>	211	213	209	206	211	213	212	208	215	212

Habiendo promediado los tiempos que aparecen en la tabla 3.3 se obtuvo un tiempo igual a **211** segundos; este valor se llamará Tiempo Promedio ( $t_{(prom)}$ ).

$$t_{(prom)} = 211s$$

4.- Con el tiempo promedio entre los puntos A-B y conociendo la distancia entre dichos puntos (ver fig. 3.3) se determina la velocidad en la superficie del agua sustituyendo los valores en la ecuación 3.3

$$V_s = \frac{L}{t_{(Prom)}} \quad (3.3)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de la superficie del agua (m/s)

$L$  = Longitud entre los puntos A y B (m)

$t_{(Prom)}$  = Tiempo entre los puntos A y B (s)

Sustituyendo los valores de  $L$  y  $t_{(Prom)}$  en la ecuación 3.3 se obtiene

$$V_s = 0.0616 \text{ m/s}$$

Como la velocidad de la superficie del agua no es igual en toda la sección transversal del río, ya que en el medio del río se observa la velocidad más alta y a medida que se va acercando a la orilla la velocidad tiende a cero (esto se debe a que en la orilla y en el fondo del río se tiene el mayor coeficiente de roce); según [7] se debe multiplicar la velocidad  $V_s$  por 0.6 para tomar en cuenta esta diferencia de velocidades y obtener una estimación de la velocidad media de la sección transversal del río ( $V_p$ ).

$$V_p = V_s \cdot 0.6 \quad (3.4)$$

Donde:

$V_p$  = Velocidad media de la sección (m/s)

Sustituyendo  $V_s$  en la ecuación 3.4 se tiene la velocidad media aproximada de la sección transversal del río que es  $V_p = 0.0369 \text{ m/s}$

5.- Como último paso se obtiene el caudal del río ( $Q_{\text{río}}$ ) con la ecuación 3.5:

$$Q_{\text{río}} = V_p \cdot \text{Area}_{(\text{prom})} \quad (3.5)$$

Donde:

$Q_{\text{río}}$  = Caudal estimado del río ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Sustituyendo los valores de  $V_p$  y  $\text{Área}_{(\text{prom})}$  en la ecuación 3.5 se obtuvo el caudal del río  $Q_{\text{río}} = 0.258 \text{ m}^3/\text{s}$  (258 l/s); según [7] el caudal ( $Q_{\text{río}}$ ) obtenido debe ser por lo menos 5 veces mayor al caudal requerido por la comunidad para asegurar el abastecimiento; y ya que el  $Q_R = 22 \text{ l/s}$  se puede decir que el río cumple con la condición establecida por [7], por lo que éste se utilizará como fuente de abastecimiento.

### 3.5 Cálculo de la red de tuberías

En forma general la red de tuberías parte de las bombas y se va derivando hacia los distintos lugares. El conjunto se asemeja a un árbol, en el cual el tronco sería la tubería principal y las ramas las derivaciones. Para el cálculo del sistema es importante proyectar la red de tuberías con la finalidad de conocer por donde ha de pasar, las longitudes de los diferentes tramos, los accesorios que ha de tener, las diferencias de cotas y los caudales de agua que circularán por cada punto de la red.

En este trabajo se proyectarán dos trazados de tuberías, en primer lugar el de la tubería de acero que abastecerá la planta de tratamiento (fig. 3.4) dicho trazado se denominará sistema río - planta de tratamiento y un segundo trazado de tubería PVC (plástico) que abastecerá las comunidades de Santa Fé y Capachal (fig 3.5) él cual tendrá como nombre sistema planta de tratamiento - comunidades.

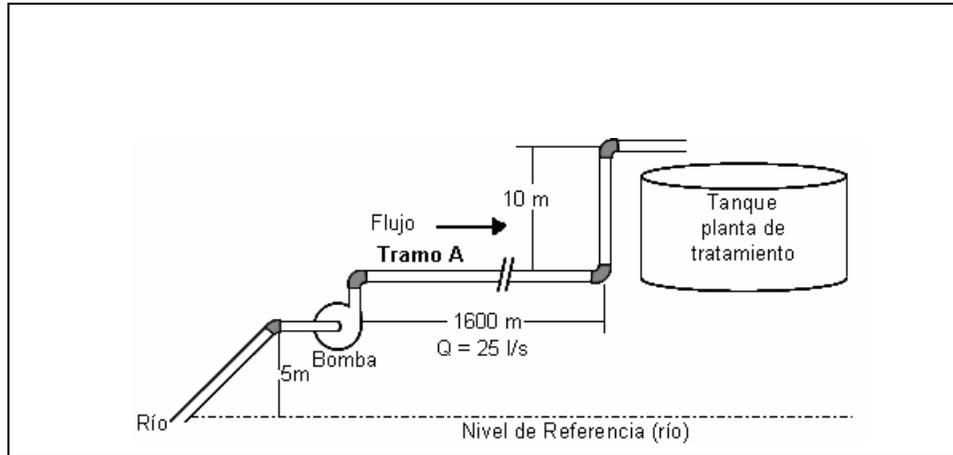


Fig 3.4 Tubería de acero que va desde el río hasta la planta de tratamiento.

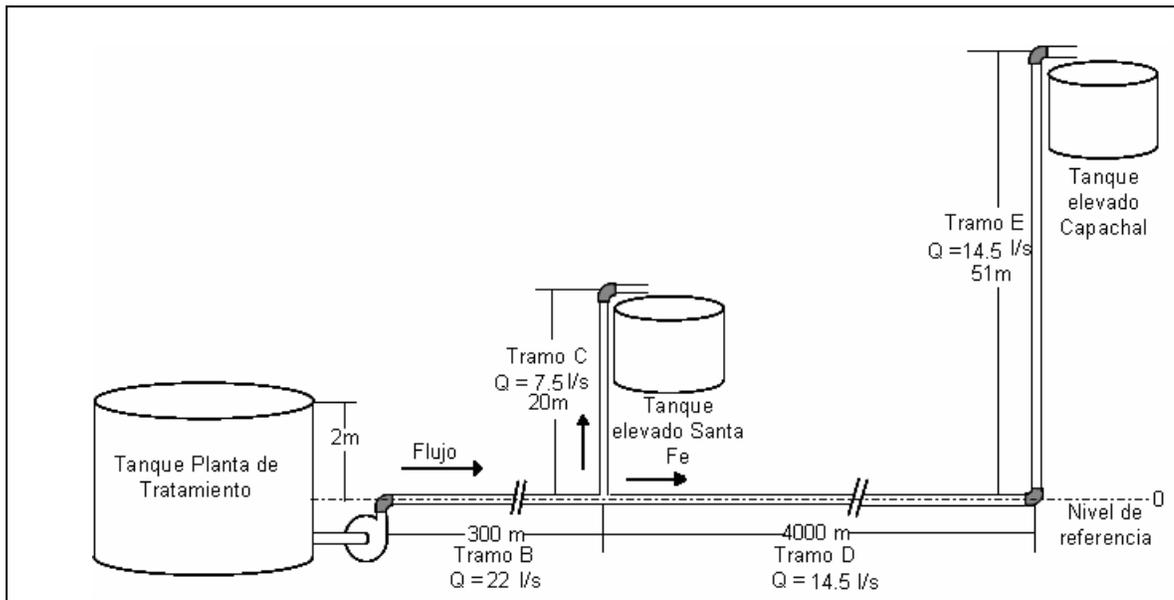


Fig 3.5 Tubería de PVC (plástico) que va desde la planta de tratamiento hasta las comunidades.

Las figuras 3.4 y 3.5 sólo representan esquemas de la distribución de las tuberías que formarán la red ya que los trazados reales están en los levantamientos topográficos que se encuentran en los anexos B en los cuales se puede apreciar las diferencias de altura (cotas) a lo largo del terreno y también las longitudes de las tuberías.

En esta parte del trabajo se calcularán los diámetros teóricos para después escoger un diámetro de tubería comercial. Para el ejemplo de cálculo se tomará como referencia la figura 3.5.

Este procedimiento se inicia eligiendo un tramo de tubería. Para este caso se elegirá el Tramo B de la figura 3.5 como se dijo en el párrafo anterior. De dicho tramo se toman los datos como el caudal (22 l/s) y la longitud de la tubería (300 m).

Después se asumen al azar varias velocidades del fluido dentro de la tubería, es decir, la velocidad a la que el fluido (agua) viajará dentro de la tubería; las cuales deben estar comprendidas entre una velocidad mínima de 0.6 m/s para asegurar el arrastre de partículas presentes en el agua y una velocidad máxima de 3 m/s para evitar corrosión en las tuberías, según el artículo 301 de la Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela Anexo A figura A-5. La idea de asumir varias velocidades del fluido dentro de la tubería es calcular distintos diámetros para el tramo de tubería B, con la finalidad de ver cual de los diámetros calculados produce menos pérdidas por fricción para mejorar la eficiencia del sistema. La planta de tratamiento y las bombas de dicho sistema, se instalarán en la comunidad de Santa Fé y ya que ésta comunidad no cuenta con un buen servicio de electricidad, el consumo de energía de las bombas esta limitado.

Las velocidades del fluido que se asumieron para el tramo B de tubería se encuentran en la tabla 3.4:

Tabla 3.4 Velocidades asumidas para el cálculo del diámetro del tramo B

<b>V<sub>1</sub></b>	<b>0.80 m/s</b>
<b>V<sub>2</sub></b>	<b>1.50 m/s</b>
<b>V<sub>3</sub></b>	<b>2.20 m/s</b>

Con las velocidades que se encuentran en la tabla 3.4 y el caudal que pasa por el tramo B (**Q = 22 l/s**) se procede a sustituir las velocidades, una a la vez, en la ecuación 3.6 manteniendo constante el caudal y de esta forma se obtienen los diferentes diámetros teóricos.

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{V \cdot \pi}} \quad (3.6)$$

Donde:

D = Diámetro Teórico (m)

Q = Caudal Requerido (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad asumida (m/s)

π = Valor de PI (3.1416)

Sustituyendo los valores de Q y las velocidades asumidas (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> y V<sub>3</sub>) en la ecuación 3.6 se obtienen los diámetros teóricos (respectivos a cada velocidad) del tramo de tubería B como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Diámetros teóricos calculados en el tramo B de tubería.

	<b>Tramo B</b>
<b>D<sub>1</sub> (Calculado con V<sub>1</sub>)</b>	0,187 m
<b>D<sub>2</sub> (Calculado con V<sub>2</sub>)</b>	0,136 m
<b>D<sub>3</sub> (Calculado con V<sub>3</sub>)</b>	0,112 m

Teniendo los diferentes diámetros teóricos calculados anteriormente para el tramo B (tabla 3.5), el caudal ( $Q = 22$  l/s) y la longitud de dicho tramo (300m) se escogerá el diámetro que ocasione menores pérdidas, calculando dichas pérdidas con la ecuación de Hazen & Williams que aparece en el capítulo II de este trabajo.

$$hf = \frac{10.67.L.Q^{1.85}}{C^{1.85}.D^{4.87}} \quad (2.2)$$

Donde:

hf = Pérdidas por fricción (m)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente C (Valor 149 para tubos de PVC según Anexo A figura A-1)

D = Diámetro (m)

L = Longitud (m)

Después de haber sustituido en la ecuación 2.2 los datos que se nombran en el párrafo anterior, se obtuvieron los valores de las pérdidas de carga ocasionadas por los distintos diámetros teóricos, los cuales se pueden apreciar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Pérdidas de carga en el tramo B de tubería.

	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Pérdidas (m)</b>
<b>Tramo B</b>	0,187	300	0.022	0,918
	0,136	300	0.022	4,245
	0,112	300	0.022	10,787

De la tabla 3.6 se escogió el diámetro (resaltado en verde) que menos pérdidas ocasiona al tramo B. Habiendo escogido dicho diámetro se procede a buscar el diámetro comercial más parecido para asegurar que no se aumenten las pérdidas. En la tabla 3.7 se puede apreciar el diámetro comercial que se utilizará en el tramo B de este proyecto.

Tabla 3.7 Diámetro comercial escogido para el tramo B.

<b>Tramo</b>	<b>Diámetro Calculado (m)</b>	<b>Diámetro Comercial (m / pul)</b>
B	0.187	0.152 / 8

De la misma forma que se calculó el diámetro de la tubería del tramo B, se calcularon los demás diámetros de los otros tramos de tubería; en la tabla 3.8 se puede apreciar los diámetros teóricos calculados y los diámetros comerciales escogidos para cada tramo de tubería.

Tabla 3.8 Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tubería.

<b>Tramo</b>	<b>Diámetro Calculado (m)</b>	<b>Diámetro Comercial (m / pul)</b>
A	0.187	0.152 / 6
C	0.065	0.05 / 2
D	0.151	0.152 / 6
E	0.151	0.152 / 6

Teniendo las medidas de los diámetros comerciales, las longitudes y las diferencias de altura de los distintos tramos de tubería se puede proceder a realizar los cálculos para estimar las pérdidas reales y la potencia de las bombas.

### 3.6 Cálculo de la potencia de las bombas

Para el cálculo de la potencia requerida por las bombas se utilizará la trayectoria más desfavorable a lo largo de la red de tuberías. Este trayecto es con frecuencia el más largo, pero puede ser uno más corto que contenga un número apreciable de conexiones con grandes pérdidas de presión.

En el presente trabajo existen dos sistemas de tuberías, uno que se origina en el río y llega hasta la planta de tratamiento (Fig. 3.4) y el otro es la red de tuberías que va desde la planta de tratamiento hasta las comunidades de Santa Fe y Capachal (Fig. 3.5). Para la muestra del procedimiento de cálculo se tomará la red de tubería que está representada en la figura 3.5 ya que cuenta con dos trayectorias y más variedades de conexiones y tuberías.

En el sistema de tuberías de la Figura 3.5 se puede ver que la trayectoria más desfavorable es la que va desde la planta de tratamiento hasta la comunidad de Capachal (tramos B, D y E) ya que es la más larga, la que tiene mayor diferencia de cotas y es la que contiene mayor cantidad de accesorios, por lo que se trabajará con esta trayectoria para calcular la potencia de las bombas. En la figura 3.6 se muestra un esquema de la trayectoria más desfavorable subrayada en color rojo.

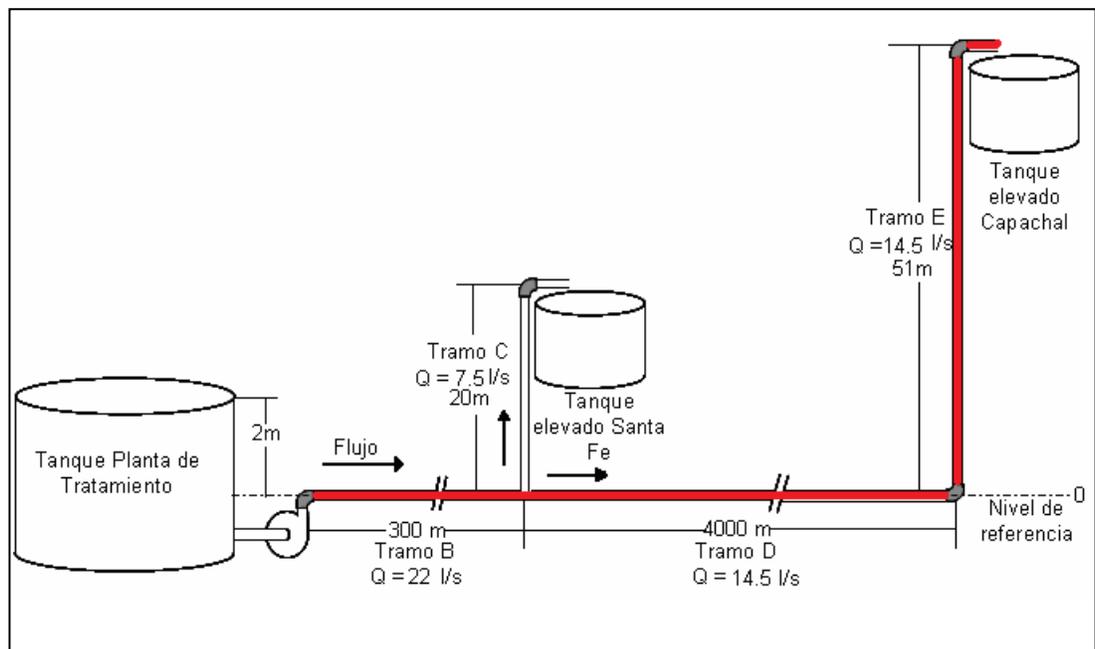


Fig. 3.6 Trayectoria más desfavorable

La trayectoria más desfavorable tiene una longitud de 4351m como se puede apreciar en la figura 3.6 (color rojo); también se puede ver que existe una variación de caudales entre los tramos B y D por lo que el cálculo de las pérdidas por fricción se realizará en cada tramo por separado y después se sumarán las pérdidas generadas por cada tramo para obtener una pérdida por fricción total.

Para comenzar con el procedimiento se calculan las pérdidas por fricción de la tubería sin los accesorios, éstas pérdidas se determinarán con la fórmula de Hazen & Williams (2.2) utilizada también en la sección 3.5.

Los datos que se utilizaron para el cálculo de las pérdidas por fricción se obtuvieron de la siguiente manera:

- El coeficiente C se escogió del Anexo A figura A-1, para tubería PVC y tiene un valor de 149.
- Los diámetros comerciales que se utilizarán en cada tramo de tubería se encuentran en la tabla 3.8 (Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tubería)
- Las longitudes y los caudales respectivos a cada tramo de tubería están en la figura 3.6 (donde se puede observar la longitud y caudal de cada tramo de tubería)

Todos los datos anteriormente nombrados se sustituyeron en la ecuación 2.2 y se obtuvieron las pérdidas que se muestran sombreadas en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Pérdidas ocasionadas por cada tramo de tubería.

<b>Tramo</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Pérdida (m)</b>
<b>B</b>	<b>0.152</b>	<b>300</b>	<b>0.022</b>	2,528
<b>D</b>	<b>0.152</b>	<b>4000</b>	<b>0.0145</b>	15,587

<b>E</b>	<b>0.152</b>	<b>51</b>	<b>0.0145</b>	<b>0,198</b>
----------	--------------	-----------	---------------	--------------

Teniendo los valores de las pérdidas de cada tramo (tabla 3.9) se procede a sumar estos valores para obtener una pérdida total por fricción como se muestra a continuación:

$$\mathbf{H_{fTotal} = 18.81 \text{ m}}$$

Luego con la pérdida por fricción total o primaria; se procede a buscar las pérdidas en los accesorios. Éstas se calcularon de la siguiente forma:

- Con la ayuda del anexo A, figura A-2 se utilizan las ecuaciones para calcular el coeficientes de resistencia (K) válido para cada válvula y accesorio.
- Habiendo obtenido los coeficientes (K) de cada accesorio, se busca la velocidad del fluido dentro de los accesorios (por lo general la velocidad en los accesorios es la misma velocidad del fluido dentro de la tubería a menos que existan contracciones o expansiones).
- Sustituyendo el valor de K y de la velocidad del fluido que pasará por cada accesorio en la ecuación 2.3 (tomada del marco teórico de este trabajo) se calculan las pérdidas en cada accesorio.

$$\mathbf{Hrs = K \frac{V^2}{2g}} \quad \mathbf{(2.3)}$$

Donde:

Hrs = Pérdidas de carga en accesorio, (m)

K = Coeficiente de pérdida de conexiones, (adimensional)

V = Velocidad del fluido dentro del accesorio, (m/s)

Los valores de las pérdidas de los accesorios y válvulas se pueden ver en la tabla 3.10 que se muestra a continuación.

Tabla 3.10 Pérdidas de los accesorios utilizados en la red.

<b>CANTIDAD</b>	<b>ACCESORIO</b>	<b>COEFICIENTE (K)</b>	<b>PÉRDIDAS (m)</b>
<b>1</b>	<b>Estrechamiento</b>	0.2	0,100
<b>1</b>	<b>Ensanchamiento</b>	0.7	0,352
<b>3</b>	<b>Codo 90°</b>	0.45	0,014
<b>2</b>	<b>Codo 45°</b>	0.24	0,007
<b>1</b>	<b>Válvula Check</b>	0.75	0,024
<b>1</b>	<b>Válvula de compuerta</b>	0.12	0,003

Después de obtener la pérdida generada por cada accesorio utilizado en la red de tuberías, se procede a sumar todas esas pérdidas y se obtiene la pérdida total generadas por los accesorios de la tabla 3.10 dando como resultado **0.51 m**.

Teniendo las pérdidas de los accesorios (**0.51 m**) y las pérdidas ocasionadas por los tramos de tuberías (**18.81 m**), se procede a sumar dichas pérdidas para obtener la pérdida total generada por el trayecto más desfavorable la cual fue **19.32m**.

Para calcular la altura que debe vencer la bomba, se hizo uso de la ecuación de Bernoulli (ecuación 3.7). Para esto se considera la trayectoria más desfavorable.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + Hb = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Hf \quad (3.7)$$

Donde:

P = Presión (KPa)

V = Velocidad del fluido (m/s)

Z = Altura (m)

g = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Hb = Altura que debe vencer la bomba (m)

Hf = Pérdidas por fricción (m)

Los subíndices indican el estado inicial y final.

Despejando y sustituyendo en la ecuación 3.7, se obtiene la altura que debe vencer la bomba como se muestra a continuación.

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + Hf$$

$$Hb = 70.32 \text{ m}$$

Teniendo la altura que debe vencer la bomba ( $H_b = 70.32\text{m}$ ) y el caudal que debe suministrar la misma ( $Q = 22 \text{ l/s}$ ), se busca las curvas características de una bomba que trabaje en un rango de altura y caudal lo más parecido posible y así obtener la eficiencia de la bomba seleccionada como se aprecia en la figura 3.7.

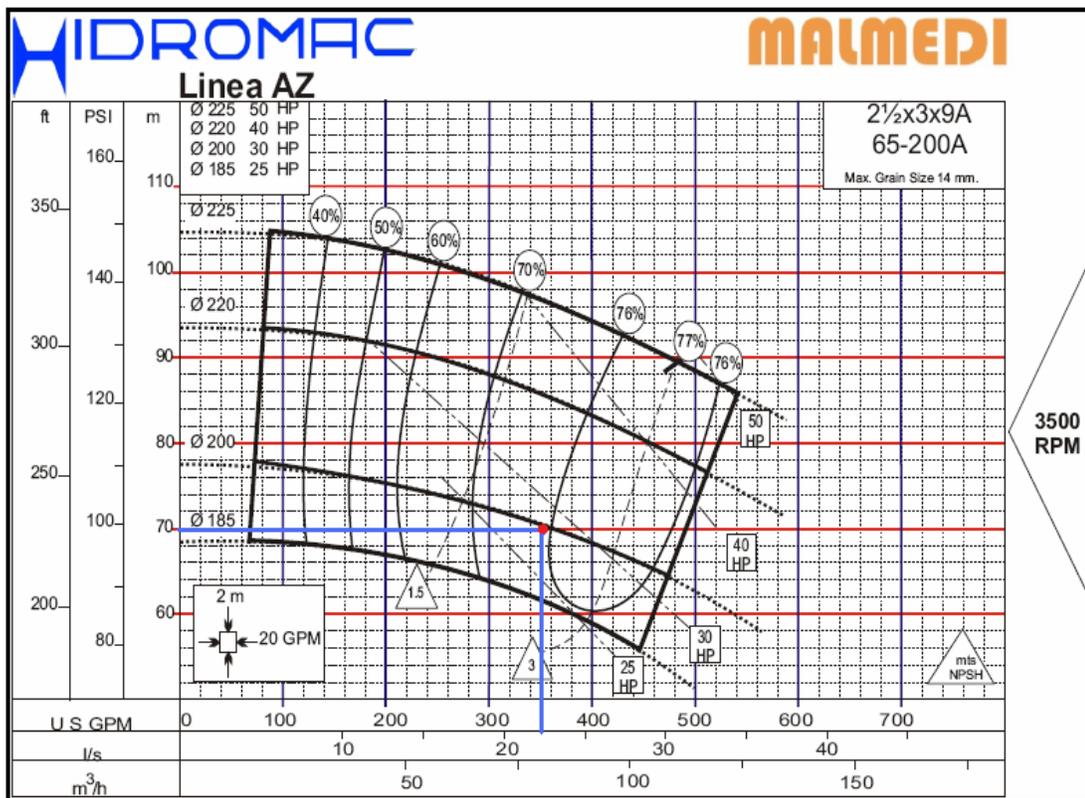


Fig. 3.7 curva característica de la bomba MALMEDI Modelo 65-200<sup>a</sup>

En la figura 3.7 se puede ver las líneas de color azul. Éstas líneas representan la altura a vencer (línea horizontal) y el caudal a suministrar (línea vertical). Donde se cruzan las líneas, se encuentra un punto rojo el cual representa la eficiencia con la que trabajará la bomba; que en este caso es aproximadamente 76 %.

La potencia de las bombas se calcula de acuerdo a la ecuación 2.8 del capítulo

$$\mathbf{HP} = \frac{\mathbf{Q_R \cdot H_b \cdot \gamma}}{\eta} \quad (2.8)$$

Donde:

HP = Potencia (W)

Q<sub>R</sub> = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

γ = Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H<sub>b</sub> = Altura que debe vencer la bomba (m)

η = Eficiencia de la bomba (0.76)

Sustituyendo el valor del caudal requerido (22 l/s), la altura que debe vencer la bomba (70.32 m), el peso específico del agua (9810 N/m<sup>3</sup>) y la eficiencia de la bomba (0.76 según figura 3.7) en la ecuación 2.8 se consigue la potencia requerida por las bombas del sistema Planta de tratamiento - Capachal la cual es de **19969 W (26.76 HP)** y con el mismo procedimiento anterior, se calculó la potencia de las bombas que se utilizarán para llevar el agua desde el río hasta la planta de tratamiento dando como resultado **10494 W (14.06 HP)**. Las bombas utilizadas son centrífugas y las curvas de funcionamiento de dichas bombas se encuentran en el anexo A-4.

### 3.7 Cálculo de la capacidad de los tanques de compensación

Los reservorios elevados son estanques de almacenamiento de agua que se encuentran por encima del nivel del terreno natural y son soportados por columnas y pilotes o por paredes. Desempeñan un rol importante en los sistemas de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico, como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente.

En todo sistema de abastecimiento de agua potable, se debe contar con un tanque que sirva para almacenar el agua tratada, compensar las variaciones de los

consumos que se producen durante el día y a la vez, abastecer la red de tuberías cuando los sistemas de bombeo estén en espera. Esto por lo general sucede en la noche cuando el consumo de agua es muy bajo y las bombas se detienen por largos períodos de tiempo ya que no hay demanda. Dicho tanque debe tener una capacidad útil cuando menos igual a la dotación diaria de la población según artículo 160 de la Gaceta Oficial de Venezuela anexo A-5.

Para el diseño del tanque lo primero que se tiene que realizar es el cálculo de la capacidad que debe tener para cumplir con los requerimientos estipulados en el párrafo anterior, en este caso se deben calcular dos tanques ya que son dos poblaciones distintas y por ende dos capacidades diferentes. Para el cálculo de la capacidad del tanque se multiplicará el número de habitantes de cada población por el consumo diario de cada persona que en este caso será de 250 litros según O.M.S como se puede ver en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Capacidad de los tanques de cada población

<b>POBLACIÓN</b>	<b>Nº HAB.</b>	<b>CONSUMO DIARIO (l/Día)</b>	<b>CAPACIDAD DEL TANQUE (litros)</b>
CAPACHAL	3700	250	925.000
SANTA FE	1300	250	325.000

En la tabla 3.11 se puede apreciar que los tanques son de gran capacidad, por lo que deben ser ubicados en zonas altas lo más cercanas posible de cada población ya que construir una estructura que soporte el peso de dichos tanques será muy costosa;

lo que causaría un aumento en el presupuesto del proyecto y alargaría el tiempo de construcción del mismo. Debido al gran tamaño y costo de dichos tanques, la alcaldía del municipio Píritu decidió colocar de manera provisional un tanque de 100.000 litros en cada población mientras se consigue el presupuesto para la construcción de los tanques expuestos en la tabla anterior.

### 3.8 Selección de las bombas

El primer paso para la selección de los equipos de bombeo es conocer los requerimientos del sistema donde se colocará la máquina impulsora, es decir, caudal y presión. Por lo que los datos necesarios para elegir las bombas son:

- Caudal que debe manejar (Q)
- Altura que debe vencer (Hb)

Con esta información se puede proceder a la selección de las bombas de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante. En la tabla 3.12 se muestran los datos de los diferentes sistemas de bombeo que constituyen el sistema de abastecimiento de agua potable de Santa Fe y Capachal.

Tabla 3.12 Requerimientos de los sistemas de bombeo.

NOMBRE DEL SISTEMA	CAUDAL (m <sup>3</sup> /S)	ALTURA QUE DEBE VENCER (m)
Río – Planta de Tratamiento	0.025	28.67
Planta de Tratamiento - Comunidades	0.022	70.32

En la tabla 3.12 se puede apreciar que en el sistema Río – Planta de tratamiento se utilizará un caudal de 25 l/s para que la planta de tratamiento cuente con más caudal del máximo que puede utilizar (22 l/s) y poder asegurar el abastecimiento de la planta sin ningún problema.

Del manual de bombas de la empresa HIDROMAC, CA. Anexo A, figura A-4 se seleccionaron los diferentes modelos de bombas que se utilizarán en el presente proyecto como se muestra a continuación:

Para el sistema de bombeo que va desde el Río hasta la Planta de Tratamiento se eligieron dos bombas centrífugas marca MALMEDI, modelo 65-315A de la línea AZ que suministrando un caudal de 27 (l/s) genera una altura de carga de 30 m trabajando a 1750 revoluciones por minuto (rpm) y una potencia al freno igual a 11190 W (15 HP) con una eficiencia del 70%. La filosofía operacional corresponde a una bomba en servicio y otra disponible. En la figura 3.8 se puede apreciar las curvas de funcionamiento de la bomba MALMEDI 65-315A.

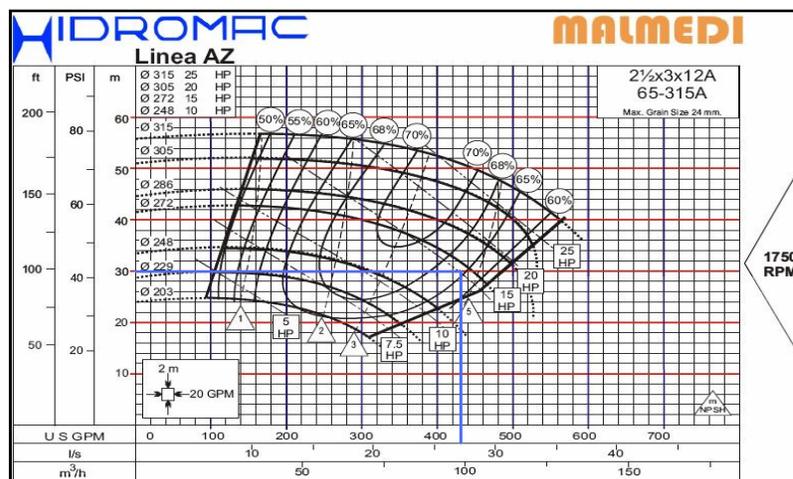


Fig. 3.8 Curvas características de la bomba MALMEDI Modelo 65-315A

Para el sistema de bombeo Planta de Tratamiento – Comunidades se eligieron dos bombas centrífugas de la misma marca, modelo 65-250A de la línea AZ que suministrando un caudal de 25 (l/s) genera una altura de carga de 70 m trabajando a 3500 rpm y una potencia al freno igual a 22380 W (30 HP) con una eficiencia del 76%. La filosofía operacional es la misma del sistema anterior. En la figura 3.9 se puede apreciar las curvas de funcionamiento de la bomba MALMEDI 65-200A.

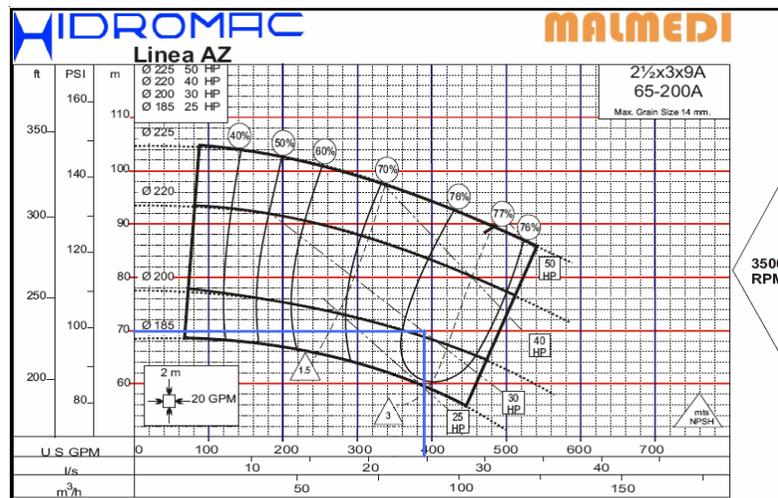


Fig. 3.9 Curvas características de la bomba MALMEDI Modelo 65-250<sup>a</sup>

### 3.9 Simulación del funcionamiento de la red con el programa pipephase

Simulation Sciences Inc., es la compañía que ha diseñado este simulador para sistemas hidráulicos, el cual es una herramienta de cálculo poderosa para el diseño, análisis y optimización de gran variedad de sistemas de flujo, análisis gráficos y todos los componentes necesarios para el modelaje de pozos y optimización de diseños complejos de sistemas de redes de tuberías (Figura 3.10)

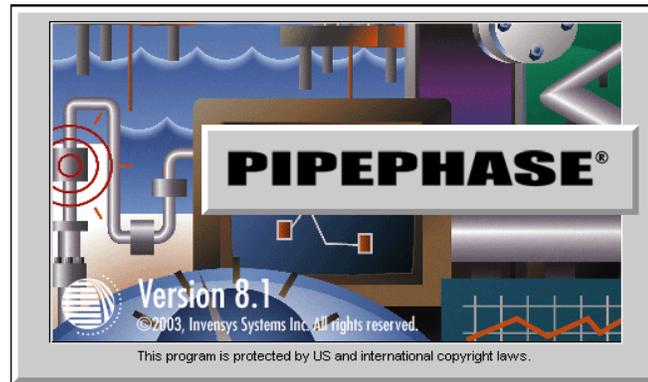


Fig. 3.10 Software de simulación PIPEPHASE 8.1

En este trabajo se utilizó el software PIPEPHASE 8.1 con la finalidad de optimizar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua. Con este programa se aprecian las pérdidas de presiones a lo largo de la red de tuberías, las presiones de salida del agua a los distintos tanques del sistema y los caudales que maneja cada tramo de tubería, por lo que se pueden realizar variaciones en el diseño inicial (Cambiar diámetros de tuberías, variar las presiones de agua en tramos de tuberías, colocar o quitar válvulas, etc) del sistema para mejorar la configuración y funcionamiento del mismo.

Para el proceso de simulación se introducen todos los datos y las condiciones de borde requeridas de cada sistema por separado, se chequea el modelo para ver si hay algún error en cuanto a la data requerida por el simulador. Finalmente se ejecuta y se verifica el reporte de los resultados obtenidos, dichos resultados se pueden apreciar en las gráficas que se muestran a continuación y en las tablas arrojadas por el programa PIPEPHASE que se pueden ver en el capítulo 4 (Resultados) de este trabajo.

En la siguiente figura (3.11) se puede apreciar las diferencias de presión que se generan a lo largo de los tramos de tuberías. Se puede ver como la presión en la succión de la bomba baja desde 101 KPa (Presión Atmosférica) hasta 47 KPa lo cual

es una presión negativa, es decir de vacío. Después se aprecia que el agua sale de la bomba con una presión de 438 KPa lo cual es suficiente para vencer todas las pérdidas que genera el sistema y poder llenar el tanque de la planta de tratamiento con una presión final de 171 KPa que es suficiente para el buen funcionamiento de dicho sistema.

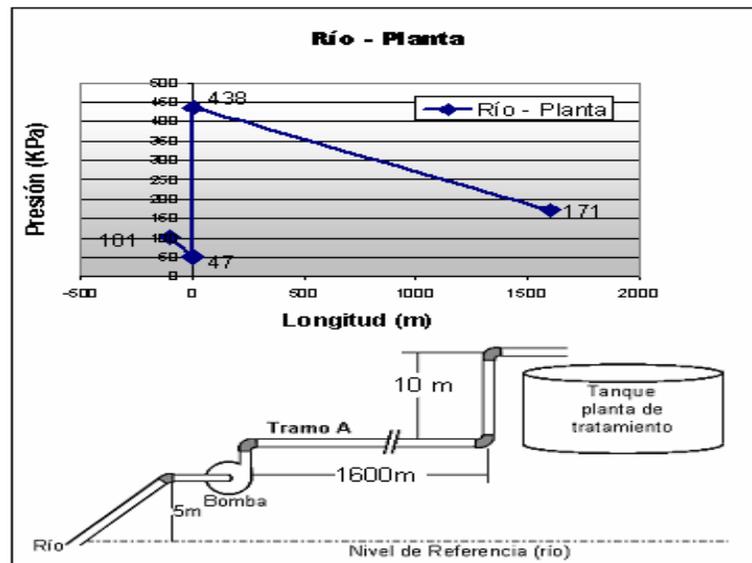


Fig 3.11 Variación de la Presión en función de la longitud de la tubería

La figura 3.12 representa el sistema de tuberías que abastecerá las poblaciones de Capachal y Santa Fe. En esta gráfica se puede apreciar las variaciones de presión con respecto a la longitud de cada tramo; en el tramo E la presión baja desde 758 KPa a 262 KPa cuando el agua sube los 51 m de altura en dicho tramo. Por otra parte en el tramo C hubo que crear una pérdida de presión con una válvula reductora de presión para poder establecer un balance en el sistema y asegurar que cada tanque tenga el abastecimiento requerido. La presión con que llegará el agua al tanque de la población de Santa Fe según el programa es de 300 KPa y la presión que tienen que generar las bombas es de por lo menos 900 KPa, para poder vencer todas las pérdidas y cumplir con los requerimientos de dicho sistema.

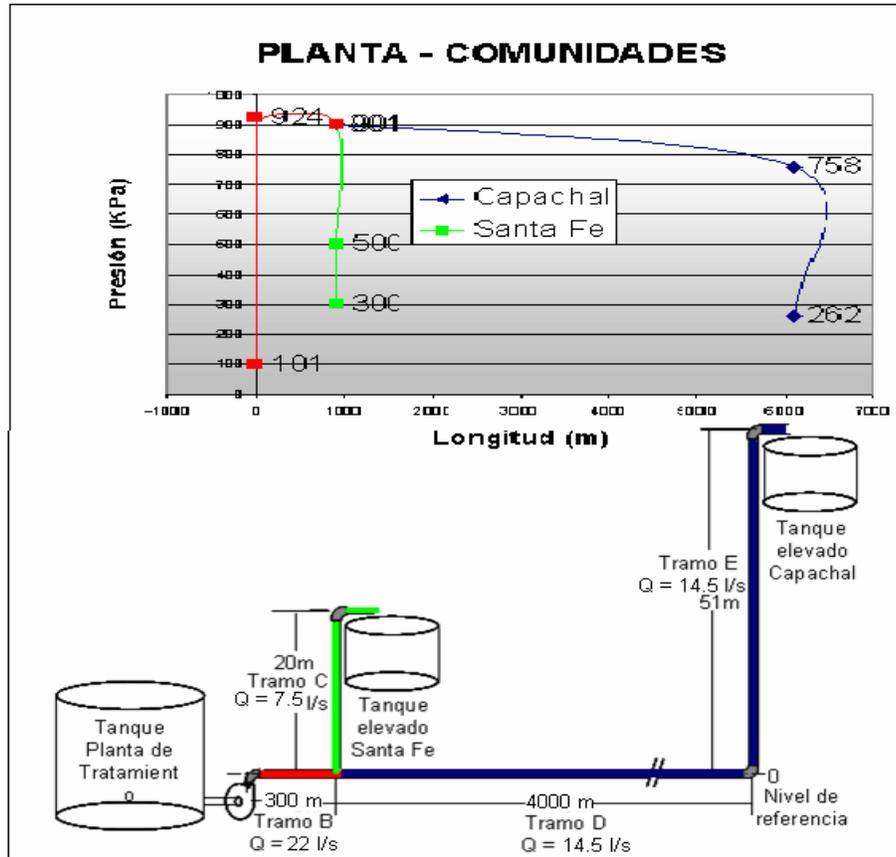


Fig. 3.12 Variación de la Presión en función de la longitud de la tubería.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Resultados

En este capítulo se puede apreciar de forma más detallada los resultados obtenidos en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades de Capachal y Santa Fé. También se realiza una interpretación de dichos resultados o bien los análisis de los mismos, para poder tomar decisiones con respecto al diseño propuesto y realizar los cambios que promuevan el mejor funcionamiento del sistema.

Tabla 4.1 Caudales calculados en el diseño del sistema .

ÍTEMS	RESULTADO
Caudal para abastecer los requerimientos de la población de Santa Fe	7.5 l/s
Caudal para abastecer los requerimientos de la población de Capachal	14.5 l/s
Caudal promedio del río Guere en la temporada de sequía (desde Enero hasta Abril)	258 l/s

El caudal requerido por cada comunidad (tabla 4.1) fue calculado de acuerdo al número de habitantes de cada población. El caudal del río Guere presentado en la tabla 4.1 es el promedio de una serie de mediciones que se realizaron entre los meses de Enero y Abril (Capítulo III, tabla 3.3).

Tabla 4.2 Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tubería.

TRAMO	LONGITUD (m)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	DIÁMETRO CALC. (m)	DIÁMETRO COMERC. SELEC. (m/pul)
A	1600	0.025	0.187	0.152 / 6

Continuación Tabla 4.2 – Diámetros escogidos para los diferentes tramos de tuberías

TRAMO	LONGITUD (m)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	DIÁMETRO CALC. (m)	DIÁMETRO COMERC. SELEC. (m/pul)
B	300	0.022	0.187	0.152 / 6
C	20	0.0075	0.065	0.75 / 3
D	4000	0.0145	0,151	0.152 / 6
E	51	0.0145	0.151	0.152 / 6

En la tabla 4.2 se aprecian los diámetros que se calcularon para cada tramo de tubería y los diámetros seleccionados para dichos tramos.

Tabla 4.3 Potencia de las bombas usadas en el sistema.

SISTEMA	TIPO DE BOMBA	POTENCIA DE LAS BOMBAS SELECCIONADAS (KW)
Río - Planta de Tratamiento	Centrífuga	22.38
Planta de Tratamiento - Comunidades	Centrífuga	11.2

En la tabla 4.3 se muestra el resultado de la potencia que requiere la bomba que se seleccionó para cada sistema.

Tabla 4.4 Capacidad de los tanques de cada población

POBLACIÓN	Nº HAB.	CAPACIDAD DEL TANQUE (litros)
CAPACHAL	3700	925.000
SANTA FE	1300	325.000

Las capacidades de los tanques de compensación se pueden ver en la tabla 4.4, donde dicha capacidad está calculada de acuerdo a la población (Nº de habitantes) de cada comunidad.

Los resultados de la simulación del sistema de abastecimiento de agua con el programa PIPEPHASE son los siguientes:

**SISTEMA RÍO – PLANTA DE TRATAMIENTO**

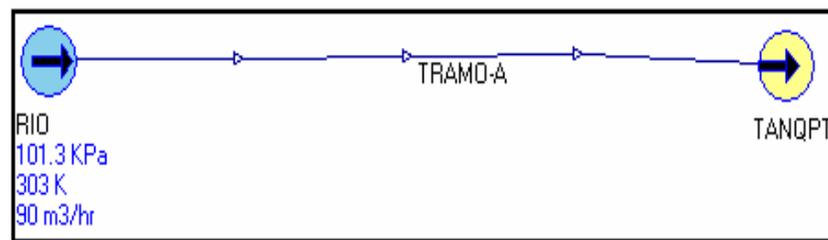


Fig. 4.1 Esquema del sistema Río – Planta de Tratamiento en PIPEPHASE

La Fig. 4.1 representa el esquema planteado en el programa PIPEPHASE 8.1 para simular el sistema río - planta de tratamiento.

Los valores de los resultados que arrojó el programa PIPEPHASE 8.1 se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 4.5 Variación de presión a lo largo del sistema Río - Planta

T R A M O A	Nombre	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Elevación (m)	Presión (Kpa)
	Codo 45°	152	0	0	101
	Tubería	152	9.5	5	52
	Codo 45°	152	0	0	51
	Reducción	152 x 75	0	0	47
	Bomba	75 x 75	0	0	428
	Expansión	75 x 152	0	0	438
	Codo 90°	152	0	0	437
	Tubería	152	1	0	437
	Chek	152	0	0	437
	Tubería	152	1	0	437
	Válvula	152	0	0	437
	Tubería	152	6	0	437
	Codo 90°	152	0	0	436
	Tubería	152	1600	10	171
	Codo 90°	152	0	0	171
	Tubería	152	3	0	171
	Codo 90°	152	0	0	171
	Tubería des	152	1	0	171

En la tabla 4.5 se ven las longitudes de tubería, diferencias de altura y la variación de la presión del agua a lo largo del recorrido del sistema. La presión de llegada al tanque de la planta de tratamiento es de 171 Kpa, presión suficiente para abastecer los tanques.

Tabla 4.6 Velocidad a lo largo del sistema Río – Planta (tramo A)

Nombre	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
Codo 45°	152	1.35
Tubería	152	1.35
Codo 45°	152	1.35
Reducción	152 x 75	-
Bomba	75 x 75	-
Expansión	75 x 152	-
Codo 90°	152	1.35
Tubería	152	1.35
Chek	152	1.35
Tubería	152	1.35
Valvula	152	1.35
Tubería	152	1.35
Codo 90°	152	1.35
Tubería	152	1.35
Codo 90°	152	1.35
Tubería	152	1.35
Codo 90°	152	1.35
Tubería	152	1.35

La tabla 4.6 expresa las velocidades del agua en los distintos accesorios y tramos de tubería.

Tabla 4.7 Caudal del sistema Río – Planta (tramo A)

Nombre	Diámetro (mm)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal (l/s)
Codo 45°	152	-	-
Tubería	152	90.69	25.12
Codo 45°	152	-	-
Reducción	152 x 75	-	-
Bomba	75 x 75	-	-
Expansión	75 x 152	-	-
Codo 90°	152	-	-
Tubería	152	90.70	25.12
Chek	152	-	-
Tubería	152	90.70	25.12
Válvula	152	-	-
Tubería	152	90.70	25.12
Codo 90°	152	-	-
Tubería	152	90.70	25.12
Codo 90°	152	-	-
Tubería	152	90.67	25.11
Codo 90°	152	-	-
Tubería	152	90.67	25.11

En la tabla 4.7 se aprecia un pequeño aumento en el caudal que se esperaba (22 l/s), esto se debe a que las bombas que se utilizaron en el sistema tienen más potencia de la que requiere dicho sistema.

**SISTEMA PLANTA DE TRATAMIENTO – COMUNIDADES**

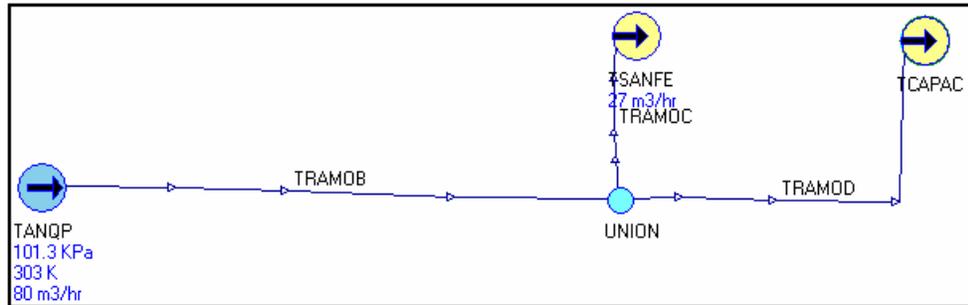


Fig. 4.2 Sistema Planta de Tratamiento – Comunidades

En la fig. 4.2 se aprecia la configuración del sistema Planta de tratamiento – Comunidades planteada en PIPEPHASE 8.1 para la simulación de dicho sistema. A continuación se presentan las tablas arrojadas producto de la simulación con PIPEPHASE 8.1.

Tabla 4.8 Variación de la presión en el sistema Planta de tratamiento - Comunidades

T r a m o B	Nombre	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Elevación (m)	Presión (Kpa)
	Tubería	152	1	0	101
	Bomba	152	0	0	922
	Expansión	75 x 152	0	0	924
	Codo 90°	152	0	0	924
	Tubería	152	1	0	924
	Válvula	152	0	0	924
	Tubería	152	1	0	924
	Chek	152	0	0	924
	Tubería	152	300	0	901

Continuación Tabla 4.8 –Variación de la presión en el sistema Planta de tratamiento - Comunidades

<b>Tramo C</b>	Nombre	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Elevación (m)	Presión (Kpa)
	Unión	77.9	0	0	901
	Valv. Reduc	77.9	0	0	500
	Tubería	77.9	20	20	301
	Codo 90°	77.9	0	0	301
	Tubería de descarga	77.9	1	0	300
	<b>Tramo D</b>	Unión	152	0	0
Tubería		152	4000	0	758
Codo 90°		152	0	0	758
Tubería		152	51	51	262
Codo 90°		152	0	0	262
Tubería de descarga		152	1	0	262

En la tabla 4.8 se aprecia la variación de presión en los diferentes tramos de tubería del sistema planta de tratamiento – Comunidades. Se puede ver que las diferencias de altura son las que tienen mayor influencia en la caída de presión.

Tabla 4.9 Velocidad del fluido en el Planta de Tratamiento - Comunidades

	Nombre	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
	<b>Tramo B</b>	Tubería	152
Bomba		152	-
Expansión		75 x 152	-
Codo 90°		152	-
Tubería		152	1.20
Válvula		152	-
Tubería		152	1.20
Chek		152	-
Tubería		152	1.20
<b>Tramo C</b>		Unión	77.9
	Valv. Reduc	77.9	-
	Tubería	77.9	1.59
	Codo 90°	77.9	-
	Tubería	77.9	1.59
<b>Tramo D</b>	Unión	152	-
	Tubería	152	0.8
	Codo 90°	152	-
	Tubería	152	0.8
	Codo 90°	152	-
	Tubería	152	0.8

La tabla 4.9 muestra las velocidades en los distintos tramos de tubería. Todas las velocidades se encuentran en el rango que establece o recomienda la Gaceta Oficial de Venezuela (de 0.6 m/s a 3 m/s).

Tabla 4.10 Caudal del sistema Planta de Tratamiento - Comunidades

		Nombre	Diámetro (mm)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal (l/s)
<b>Tramo B</b>		Tubería	152	80.63	22.33
		Bomba	152	-	-
		Expansión	75 x 152	-	-
		Codo 90°	152	-	-
		Tubería	152	80.63	22.33
		Válvula	152	-	-
		Tubería	152	80.63	22.33
		Chek	152	-	-
		Tubería	152	80.63	22.33
	<b>Tramo C</b>		Unión	77.9	-
		Valv. Reduc	77.9	-	-
		Tubería	77.9	27.21	7.53
		Codo 90°	77.9	-	-
		Tubería	77.9	27.21	7.53
<b>Tramo D</b>		Unión	152	-	-
		Tubería	152	53.41	14.79
		Codo 90°	152	-	-
		Tubería	152	53.41	14.79
		Codo 90°	152	-	-
		Tubería	152	53.41	14.79

## 4.2 Análisis de los resultados

Los caudales que se calcularon para abastecer las poblaciones de Capachal y Santa Fe estuvieron basados en las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual toma como referencia los consumos diarios para usos domésticos exclusivamente y no toma en cuenta las dotaciones de aguas necesarias para satisfacer los consumos correspondientes a : Riego de jardines y áreas verdes, para instalaciones y servicios anexos a las edificaciones, restaurantes, bares, lavanderías, oficinas, comercios, lavado de carros y otros, pero como el cálculo se realizó para abastecer a unas poblaciones rurales, es decir, en dichas poblaciones solo existen viviendas, un ambulatorio y una escuela. El caudal suministrado es suficiente para cubrir las demandas de la población en una proyección a 20 años; siempre y cuando la población permanezca rural.

El estudio del caudal del río de donde se abastecerá la población arrojó como resultado 258 l/s en la temporada de sequía que está entre los meses de enero y abril. Esto es suficiente para cubrir la demanda de las poblaciones que requieren este servicio ya que se cumple con la condición que establece [7] la cual dice que el caudal del río debe superar en más de 5 veces el caudal requerido (22 l/s) por las comunidades, de lo contrario se tiene que construir una especie de represa para que no disminuya demasiado el nivel del río y poder asegurar el buen funcionamiento del sistema de bombeo.

En la tabla 4.2 (resultados) se puede apreciar que en los tramos de tuberías que tienen la mayor longitud como son el tramo A, tramo B, tramo C y tramo D, se escogió un mismo diámetro (152mm). Esto se decidió con la idea de disminuir en lo posible las pérdidas por fricción y los costos, ya que el fluido debe viajar dentro de la tubería a una velocidad que se encuentre entre 0.6 m/s y 3 m/s, según lo recomendado en el artículo 160 de la Gaceta Oficial de Venezuela (anexo A figura A-5). De esta

manera se puede garantizar el buen funcionamiento del sistema y a su vez ser lo más eficiente posible, es decir, que el sistema pueda cumplir con las demandas de las poblaciones y consumir la menor energía posible, por que el sistema se pondrá en funcionamiento en una zona rural la cual no cuenta con un buen servicio de electricidad. El diámetro de la tubería que se seleccionó fue de 152 mm (6 pulgadas) en los tramos más largos por que con éste diámetro el caudal requerido de 22 l/s viaja a una velocidad dentro de la tubería de 1.2 m/s la cual se encuentra dentro del rango establecido y no genera tantas pérdidas si se compara con un diámetro de 100 mm (4 pulgadas), el cual también manejaría el caudal requerido con una velocidad que se encuentra dentro de los valores aceptables; pero generaría 5 veces más pérdidas por fricción que el diámetro anteriormente nombrado.

Los resultados de los cálculos que se realizaron para conseguir los valores de las potencias que deben tener las bombas para poder cumplir con los requerimientos del sistema son los siguientes: **10494 W (14.06 HP)** para manejar un caudal de 25 l/s y poder llevar el agua desde el río hasta la planta de tratamiento y **19969 W (26.76 HP)** para trasladar 22 l/s desde la planta de tratamiento hasta las comunidades, pero estos valores no fueron los que se utilizaron en el sistema, ya que se tuvieron que escoger bombas de acuerdo a las potencias que ofrece el fabricante. Más adelante se pueden apreciar las bombas que se seleccionaron para el buen funcionamiento de cada sistema.

En la tabla 4.5 se consiguen los resultados arrojados por el programa PIPEPHASE. Del sistema Río – Planta de tratamiento se puede apreciar las variaciones de presión a lo largo de la longitud de la tubería. la variación más importante de esta tabla se da en la tubería de succión, en la cual la presión baja de 101 KPa (presión atmosférica) a 47 KPa debido a que el nivel del agua está 5 metros por debajo del nivel donde está colocada la bomba, lo que significa que en la tubería de succión hay una presión negativa o de vacío; por lo que se tuvo que calcular la

altura neta de succión positiva disponible ( $NPSH_d$ ) dando como resultado 4.88m y la bomba tiene un NSPH requerido de 3 m por lo que se puede asegurar que en la bomba no habrá cavitación, ya que se cumple con la condición de  $NPSH_d \geq NPSH_R$ . En las otras variaciones de presión presentes en la tabla 4.5 se aprecia como la presión aumenta después que el fluido sale de la bomba pasando de 47 KPa a 438 KPa lo que significa que la bomba le ha transferido energía al fluido; esta presión de 438 KPa comienza a disminuir sucesivamente a lo largo del trayecto de tubería, llegando hasta una presión final de 171 Kpa, presión suficiente para surtir el tanque de la planta de tratamiento con un caudal igual a 90.7 m<sup>3</sup>/h (25.2 l/s) según tabla 4.7; lo que supera el caudal requerido según lo calculado en el capítulo III de este trabajo (22 l/s).

En la tabla 4.8 del sistema planta de tratamiento - comunidades no se aprecia la disminución de la presión en la succión de la bomba ya que el nivel del agua del tanque de la planta de tratamiento está por encima del nivel donde se encuentra ubicada la bomba, lo que ocasiona que el agua llegue por si sola a la bomba y ésta no tenga que ejercer una presión negativa en la tubería de succión. Por otro lado en la unión del tramo C con el tramo D (ver figura 4.2) existe una presión de 901 Kpa la cual en el caso del tramo D es la presión que se requiere para vencer todas las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería de dicho tramo, superar el desnivel de 51 metros donde se ubica el tanque de la población de Capachal y abastecer dicho tanque con el caudal requerido (14.5 l/s). En cambio en el tramo C sólo se requieren 200 KPa para vencer las pérdidas por fricción y la diferencia de altura de 20 metros donde se ubica el tanque de la población de Santa Fe. Por lo tanto, se tuvo que colocar en la tubería del tramo C una válvula reductora de presión para bajarla de 901 KPa (que es la presión en el punto donde se une el tramo B con el tramo C) a 500 Kpa y obtener una presión de descarga hacia el tanque de Santa Fé de 300 Kpa, ya que ésta sería la diferencia de 500 Kpa – 200 Kpa. La válvula reductora de presión es necesaria para mantener el equilibrio del sistema, ya que sin dicha válvula el caudal de la población

de Santa fé aumentaría considerablemente. Lo que ocasionaría la disminución del caudal que requiere la población de Capachal.

La bomba que se seleccionó para cada sistema fue en base a las exigencias de presión y caudal de agua. Para el sistema Río – Planta de tratamiento se escogió una bomba marca MALMEDI, modelo 65-315A de la línea AZ que suministrando un caudal de 27 (l/s) genera una altura de carga de 30 m trabajando a 1750 revoluciones por minuto (rpm) y una potencia al freno igual a 11190 W (15 HP) con una eficiencia del 70%. Para el sistema Planta de Tratamiento – Comunidades se eligió una bomba centrífuga de la misma marca, modelo 65-250A de la línea AZ que suministrando un caudal de 25 l/s genera una altura de carga de 70 m trabajando a 3500 rpm y una potencia al freno igual a 22380 W (30 HP) con una eficiencia del 76%. Donde la filosofía operacional corresponde a una bomba en servicio y otra en espera.

Actualmente el sistema de abastecimiento de agua potable diseñado en este proyecto se encuentra en período de prueba y hasta el momento se han obtenido resultados satisfactorios, ya que el caudal con que se llena el tanque de la planta de tratamiento es de 27 l/s según las mediciones realizadas por los ingenieros de la compañía, el caudal que llega al tanque de Santa Fé es de 8 l/s y el caudal que abastece población de Capachal es de 13 l/s debido a alguna fuga que presenta la tubería según prueba hidrostática. Por otro lado las poblaciones tanto de Santa Fe como de Capachal son abastecidas diariamente y los pobladores de esas comunidades tienen una mejor calidad de vida gracias a que no tienen que esperar cada 5 días para ser abastecidos de agua.

## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

1.- El caudal del río (258 l/s) en la temporada de sequía es suficiente para satisfacer y asegurar el abastecimiento de agua a las comunidades durante todo el año.

2.- La red de tuberías propuesta en este trabajo tiene como objetivo principal que el sistema no generara muchas pérdidas de carga ya que estas comunidades no cuentan con una buena red de energía eléctrica, por lo que las bombas no pueden ser de mucha potencia.

3.- La bomba que se seleccionó para cada sistema fue de mayor potencia a la requerida por dicho sistema, ya que el fabricante tiene una gama de potencias fijas, a las cuales hubo que ajustarse a la hora de la selección.

4.- La alcaldía de Píritu colocó un tanque de 100 m<sup>3</sup> en cada población por razones presupuestarias.

5.- Se seleccionaron las bombas centrífugas ya que este tipo de máquinas es relativamente pequeña, fácil de transportar, fácil de conseguir y su funcionamiento e instalación es simple en comparación con otro tipo de bomba.

6.- Con el programa de simulación PIPEPHASE 8.1 se pudo comprobar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua y realizar algunas modificaciones al mismo para mejorar su eficiencia.

## **5.2 Recomendaciones**

1.- Instalar una trampa de arena en la entrada de la tubería de succión de las bombas que se encuentran ubicadas en el río, ya que el agua de éste es muy turbia por la gran cantidad de arena y sedimentos que posee; lo que puede ocasionar un desgaste prematuro de las partes móviles de las bombas.

2.- Realizar una campaña de concientización sobre el consumo de agua en las comunidades que se les presta el servicio (Santa Fe y Capachal), para que el sistema tenga un mejor funcionamiento y la comunidad una mejor calidad de vida.

3.- Revisar cada 3 meses el estado de las tuberías a lo largo de la red y verificar que no existan fugas ni tomas clandestina.

4.- Mantener en buen estado la vía de acceso que conecta la carretera principal con la casilla de bombeo ubicada en el río, para un fácil acceso a la hora de cualquier eventualidad.

5.- Colocar una manguera flexible en la entrada de la tubería de succión, para contrarrestar los desniveles que se producen en el río Guere en las diferentes temporadas del año.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CHACON, Y. “**Diseño de las obras requeridas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua de las poblaciones clarines, píritu y puerto píritu**”, Tesis de Grado. Dpto. de Mecánica, UDO, Núcleo Anzoátegui (1998).
  
- [2] RAMÍREZ, J. “**Evaluación del sistema de abastecimiento de agua de la población de santa ana**”, Tesis de Grado. Dpto. de Mecánica, UDO, Núcleo Anzoátegui (1996).
  
- [3] TODD, R. “**Rediseño del sistema de bombeo p-667a/b/c del áres de tratamientode agua desmineralizada de la estación de vapor de cvg bauxilum**”, Tesis de Grado. Dpto. de Mecánica, UDO, Núcleo Anzoátegui (2007).
  
- [4] C. MATAIX, **Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas**, Segunda Edición, HARLA, S.A. México. (1990).
  
- [5] CRANE, Editorial McGraw – Hill, Traducido por VALFISA, S.A., Revisado por Clemente Reza García.
  
- [6] G. RIVAS MIJARES, **Abastecimientos de aguas y alcantarillados**, Tercera Edición, VEGA, S.R.L. Caracas – Venezuela. (1983).
  
- [7] LUIS A. LOPEZ, **Cartilla de urbanismo**, Edición de prueba, Imagen Editorial C.A. Caracas – Venezuela. (1997).
  
- [8] S. AROCHA R., **Abastecimientos de agua**, Primera Edición, VEGA, S.R.L. España. (1978).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES SANTA FE Y CAPACHAL, PÍRITU, ESTADO ANZOÁTEGUI</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>López M. Raúl J.</b>	<b>CVLAC: 15576965</b> <b>EMAIL: raullopez_2124@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Abastecimiento  
Bomba  
Caudal  
Gaceta  
Oficial  
Válvula  
Presión.

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÀREA</b>	<b>SUBÀREA</b>
Ingeniería y Cs. Aplicadas	Ingeniería Mecánica
	Fluidos y Térmica

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

En este trabajo se diseñó el sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades de Santa Fe y Capachal. Para tal diseño se realizaron cálculos de hidráulica, estableciéndose como parámetro fijo el número de habitantes a los cuales se les prestará el servicio, determinándose el caudal aproximado que requieren esas comunidades, y así, poder satisfacer las necesidades domésticas de esas poblaciones. Conocido el caudal necesario se estudió la proyección y distribución de la tubería con el fin de determinar las pérdidas que deben vencer las bombas para poder seleccionarlas dependiendo de las especificaciones técnicas del fabricante. Y, por último, simular el sistema con el programa PIPEPHASE 8.1 para poder verificar el funcionamiento del mismo y obtener unos resultados más satisfactorios. En el diseño del sistema se obtuvieron los siguientes resultados: a) Una distribución apropiada del caudal en cada comunidad lo cual garantiza el suministro diario requerido, b) las bombas seleccionadas fueron las centrífugas, debido a que es un tipo de máquina más versátil y puede mover grandes o pequeñas cantidades de agua a una gama muy grande de presiones.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Rengel H. José E.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS: <input checked="" type="checkbox"/></b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>9278475</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Bittar A. Simón B</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU: <input checked="" type="checkbox"/></b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>3957961</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Ledezma B. Melchor J.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU: <input checked="" type="checkbox"/></b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>11175872</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Rojas T. Omar A</b>	<b>ROL</b>	<b>CA: <input checked="" type="checkbox"/></b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>20636742</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<u>2009.</u>	<u>01.</u>	<u>19.</u>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
<u>TESIS: Sistema de Abastecimiento.doc</u>	application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H  
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u  
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** Oficina de Ingeniería de Sandblasol (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** 1 Año (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Mecánico.

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado.

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Mecánica.

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario.

**López M. Raúl J.**

**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

**Rengel Jose**

**TUTOR**

**Bittar Simóm**

**JURADO**

**Ledezma Melchor**

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**