

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA UNA COMUNIDAD AGRICOLA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Juan Ruilova

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

POR LOS BRS.  
DE FREITAS J., REINALDO A.  
SANCHEZ H., SERGIO A.

PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**Caracas, 2002**

**De Freitas J. Reinaldo A.**

**Sánchez H. Sergio A.**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA UNA POBLACIÓN AGRÍCOLA**

**Tutor Académico: Prof. Juan Ruilova. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Mecánica. 2002, 68 pag.**

Palabras Clave: Golpe de Ariete, Ariete Hidráulico, Sistema de Bombeo, Bomba de Ariete.

**Resumen:** Para la población de Guareguare, ubicada en el Estado Miranda se estudió la posibilidad de instalar un sistema alternativo de suministro de agua, cuya fuente de energía de trabajo depende de las mismas condiciones del río a utilizar para su instalación.

Se diseñó y construyó un Ariete Hidráulico para el estudio de su comportamiento al variar diversos parámetros, como son la caída de agua, el caudal de suministro y la longitud de la tubería de succión. Con este estudio se determinó la factibilidad de instalación del sistema en la zona.

Se obtuvieron evidentes cambios en el comportamiento de la bomba, al variar la frecuencia de ciclo de funcionamiento y al variar la altura de bombeo.

Se determinó comportamientos de curvas Frecuencia de Ciclo – Caudal, diferentes respecto a estudios anteriores, debido a la poca longitud de tubería de succión y del tornillo eje de la válvula de impulso.

Finalmente se concluyó que el sistema no es factible a ser utilizado para esta población dada la gran altura de bombeo y la contaminación existente en el río evaluado.

## **Dedicatoria**

El arduo camino que he debido recorrer, desde el primer examen hasta mi última prueba, este trabajo de grado, ha tenido cientos de personas trabajando conmigo y fortaleciéndome. Seguramente no recordaré a todas, ni todas cabrían en este pequeño espacio, debo, sin embargo dedicarle este esfuerzo a mis padres, por el empujón que siempre me han dado para no desistir, a mi novia de tantos años Mireya, por su apoyo incondicional y su larga y paciente espera. A mis hermanos, por ser un motor motivante y una razón más para vivir, a muchos profesores que dejaron su huella, a Dios, que si existe, tiene su mérito.

Reinaldo A. De Freitas J.

## **Dedicatoria**

Debo dedicar esta tesis, en primer lugar a mi madre por ser siempre mi compañera. A mi familia por estar siempre presente. A mis amigos y amigas que han llegado y se han ido. A Roosevelt Barbosa como el primero que me hablo del rojo pacientemente. A Juan Ruilova, gran compañero. A Iván y Pavel excelentes compañeros y mejores amigos. A Mariluz Alonso, quien siente a sus estudiantes como sus hijos. A esas tantas mujeres maravillosas que me humanizaron con sus bienvenidas y rechazos, todas hermosas. A Natalia Medrano, que siempre la llevaré en mi corazón. A mis compañeros que han hecho y siguen haciendo caminos, paso a paso hacia esa utopía. A este maravilloso espacio llamado UUUCV que me ha hecho la mitad de lo que soy. A Giuseppe Giannetto, por obligarme a conocer niveles de compromiso por mi desconocidos, ante las injusticias. Al Consejo de Facultad, cuerpo inservible que me hizo entender el concepto de burocracia. A las marchas, las pintas y el volante rebelde que me han introducido en esta hermosa búsqueda de la equidad. Al suelo, en donde tantas veces he ido a parar y que siempre me ha recibido sobrio y solo, y finalmente, a la miseria que me hace temblar de indignación y acicatea mi camino.

Sergio A. Sánchez H.

## **Agradecimiento**

Para poder realizar este trabajo contamos con la valiosa colaboración de empresas y personas que con desinterés se sumaron a nuestro trabajo, en especial queremos agradecer a:

- Cheo Ascanio
- Sr. José Freitas y la empresa Marcaplast, C.A.
- Prof. Juan Ruilova
- Prof. Manuel Martínez
- Ing.(as) María Rincones y Rosario Alberdi de la Planta Experimental de Tratamiento de Agua.
- Prof. Cesar Ferrer
- Lic. Ismael Calles
- Lic. Agenor Rodríguez
- Todas las demás personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo.

## INDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### **Capitulo I: Objetivos y Alcances**

1.1 Descripción del Problema.....	2
1.2 Planteamiento de la Solución.....	2
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Alcances.....	3

### **Capitulo II: Marco Teórico**

2.1 Mecánica de los Fluidos	
2.1.1 Flujo Permanente.....	4
2.1.2 Flujo No Permanente.....	4
2.1.3 Flujo Incompresible.....	4
2.1.4 Flujo Compresible.....	4
2.2 Golpe de Ariete.....	5
2.2.1 Velocidad de Propagación de las Ondas Elásticas .....	6
2.2.2 Golpe de Ariete en Cierres completos de Válvulas.....	15
2.3 Bomba de Ariete	
2.3.1 Principio de Funcionamiento.....	17
2.3.2 Componentes de la Bomba.....	17
2.3.3 Funcionamiento del Ariete Hidráulico.....	18
2.3.4 Análisis Teórico.....	20

### **Capitulo III : Datos**

3.1Recolección de Datos	
3.1.1 Caudal del Río.....	29
3.1.2 Medición de Cotas.....	30
3.1.3 Censo Poblacional.....	30

3.1.4 Características del terreno: .....	31
3.1.5 Muestra de Agua del Río.....	32
3.2 Análisis de Datos.....	33

## **Capítulo IV: Diseño y Construcción del Sistema.**

4.1 Velocidad de Propagación de Onda.....	35
4.2 Golpe de Ariete.....	35
4.3 Bomba de Ariete Hidráulico	
4.3.1 Válvula de Impulso.....	35
4.3.2 Válvula de Descarga.....	37
4.3.3 Tubo “T” .....	37
4.3.4 Cámara de Aire.....	38
4.4 Elementos del Sistema de Bombeo	
4.4.1 Tanque de Suministro.....	39
4.4.2 Tubería de Impulso.....	40
4.4.3 Tubería de Descarga.....	40
4.5 Instrumentos de Medición	
4.5.1 Manómetro.....	40
4.6 Costos.....	41

## **Capítulo V: Instalación y Pruebas.**

5.1 Ensamblaje.....	42
5.2 Instalación de Componentes del Sistema de Bombeo	
5.2.1 Toma de Agua.....	42
5.2.2 Bomba de Ariete Hidráulico.....	42
5.3 Puesta en Marcha	
5.3.1 Acciones Previas.....	43
5.3.2 Accionamiento del Sistema.....	43

5.3.3	Detención de la bomba.....	44
5.3.4	Calibración de la Bomba.....	44
5.3.5	Mantenimiento.....	45
5.4	Descripción de las Pruebas.....	46
5.4.1	Datos Obtenidos.....	47
5.4.2	Cálculos Tipo.....	47
5.4.3	Gráficas.....	52
5.4.4	Análisis de Resultados.....	56
<b>Conclusiones.....</b>		<b>58</b>
<b>Propuestas Alternativas.....</b>		<b>59</b>
<b>Recomendaciones.....</b>		<b>66</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>		<b>68</b>
<b>Anexos</b>		
<b>A. Nomenclatura</b>		
<b>B. Materiales</b>		
<b>C. Equipos</b>		
<b>D. Análisis de Agua</b>		
<b>E. Geología de la Región</b>		
<b>F. Fotos</b>		
<b>G. Planos</b>		



### **Introducción**

La comunidad de Guareguare en el Estado Miranda, es una comunidad rural de unos 1200 habitantes, la cual no cuenta con los servicios básicos indispensables como agua potable, electricidad o teléfono.

Dado que el agua es necesaria para la buena salud y subsistencia de sus pobladores es indispensable diseñar y construir un sistema de suministro de agua, donde la fuerza motriz sea la elasticidad del líquido, esto debido a la carencias de electricidad en la zona, por lo cual una Bomba de Ariete puede ser la solución óptima para entregarle la energía al agua que la eleve hasta una cota superior.

La solución planteada es bombear agua desde un pequeño río adyacente a la población hasta un tanque de almacenamiento, potabilizar esta agua y distribuirla entre los habitantes de la misma, partiendo de la premisa de que el sistema a diseñar debe ser mantenido por la comunidad y debe ser de bajo costo de instalación y mantenimiento.

### **1.1 Descripción del Problema**

Actualmente la comunidad de Guareguare (Edo. Miranda) carece de suministro de agua para consumo humano y agrícola. La poca agua de la que disponen es obtenida de las lluvias o transportada en recipientes por sus pobladores. Esta carencia de agua potable aumenta los riesgos de enfermedades y limita el surgimiento próspero de la agricultura en la región.

La carencia de energía eléctrica es otro problema que aqueja a esta población, por lo que tecnología fundamentada en la electricidad para el bombeo de agua no es una opción en la solución de este problema.

### **1.2 Planteamiento de la solución**

La existencia de ríos adyacentes al caserío plantea la posibilidad de bombear agua desde los mismos hasta un tanque elevado y luego distribuirla para su aprovechamiento. Se deberán tomar muestras de las aguas para su estudio bacteriológico y diseñar un sistema de tratamiento adecuado tanto para el agua de consumo como para el riego, además, por la carencia de servicio eléctrico en la zona y la dificultad para acceder a los mismos se pretende utilizar un sistema alternativo de bombeo, de bajo mantenimiento y cuya energía utilizada sea aprovechada de las condiciones elásticas del agua. La Bomba de Ariete servirá para este propósito y el agua bombeada deberá ser almacenada en un punto de cota superior al caserío, para su distribución por gravedad.

### 1.3 Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de bombeo, tratamiento y distribución de agua para una comunidad rural, aprovechando el agua de ríos adyacentes.

### 1.4 Objetivos Específicos

- Investigación y diseño de métodos de tratamiento de agua para consumo humano y agrícola.
- Investigación sobre el requerimiento humano y agrícola de agua y distribución de la misma según las condiciones climáticas y geológicas de la zona.
- Investigación y diseño de una Bomba de Ariete para el bombeo de agua tratada.
- Estudio sobre el funcionamiento de la bomba y la influencia del Golpe de Ariete en la misma.
- Diseño y plan de mantenimiento del sistema y evaluación periódica de las aguas.
- Construcción y pruebas de la Bomba.
- Instalación y Puesta en Marcha del Sistema.

### 1.5 Alcances

- Determinar la factibilidad de construcción del sistema de suministro de agua, tomando en consideración el análisis del agua a suministrar y los datos de altura y caudal disponible y los necesarios.
- Evaluar los parámetros que permiten el funcionamiento del ariete hidráulico sobre un modelo diseñado para tal fin

## 2.1 Mecánica de Fluidos

### 2.1.1 Flujo Permanente.

Se dice que el flujo es permanente cuando las propiedades del fluido y las condiciones del movimiento en cualquier punto no cambian en el transcurso del tiempo. La expresión analítica que define éste concepto es:  $(\partial V/\partial t)=0$ . También no existen cambios ni en la densidad  $\rho$ , ni en la presión  $P$ , ni en la temperatura  $T$ , con el tiempo en cualquier punto. (Streeter, Victor 1971)

### 2.1.2 Flujo No Permanente.

El flujo es no permanente cuando las condiciones en cualquier punto cambian con el tiempo,  $(\partial V/\partial t) \neq 0$ ,  $(\partial T/\partial t) \neq 0$ , etc. Ejemplo: Bombeo por un sistema con caudal variable, creciente o decreciente. Éste flujo también es denominado flujo transitorio.

### 2.1.3 Flujo Incompresible.

Se denomina Flujo Incompresible a todo aquel flujo que mantiene su densidad relativamente constante en el tiempo mientras se mueve por un campo de flujo, esto es:

$$\frac{d\rho}{dt} = 0$$

Esto no exige que la densidad sea constante en todos los puntos. Tanto los flujos líquidos como los flujos de gases a baja velocidad, son considerados incompresibles.

### 2.1.4 Flujo Compresible.

Todo aquel flujo en el que la densidad varía significativamente en el tiempo mientras se mueve por un campo de flujo, se denomina Flujo Compresible. Estas variaciones de densidad son significativas tanto en los gases como en los líquidos. Lo que hace que el líquido se comprima ligeramente y que el material de la tubería experimente

deformaciones muy pequeñas es la interacción de los cambios de momentum y las fuerzas aplicadas. Estos cambios de presión, que pueden ser significativos, se conoce como **Golpe de Ariete**. Esto va acompañado por perturbaciones de presión y velocidad que viajan a velocidades muy alta, cercanas a la velocidad del sonido en el líquido, además, la acción ondulatoria resultante ocurre a frecuencias relativamente altas.

## 2.2 Golpe de Ariete.

El término Golpe de Ariete se refiere a las fluctuaciones de presión debido a un repentino incremento o decremento en la velocidad del flujo. Este fenómeno de estado estable se encarga del cambio entre la energía cinética y la energía de presión, el cual puede ser positivo o negativo.

Algunas causas del golpe de ariete son:

- 1) Abertura o cierre repentino de válvulas en un sistema de tuberías.
- 2) Al arrancar o detener una bomba en un sistema de bombeo.

Si la presión al cerrar un conducto disminuye por debajo de la presión de vapor del líquido se forma un espacio o cavidad (donde la columna de agua es separada por un espacio de aire). Este fenómeno es llamado *separación de columna de agua*, esta es la peor condición de golpe de ariete, y puede provocar que la tubería no sea capaz de soportar las fuerzas externas y colapse. Esto puede ser un problema para tuberías de pared delgada y grandes diámetros y tuberías plásticas con rangos de presión bajos o transportando líquidos calientes. La respuesta de columna de agua separada puede producir altas presiones y poner la tubería en riesgo.

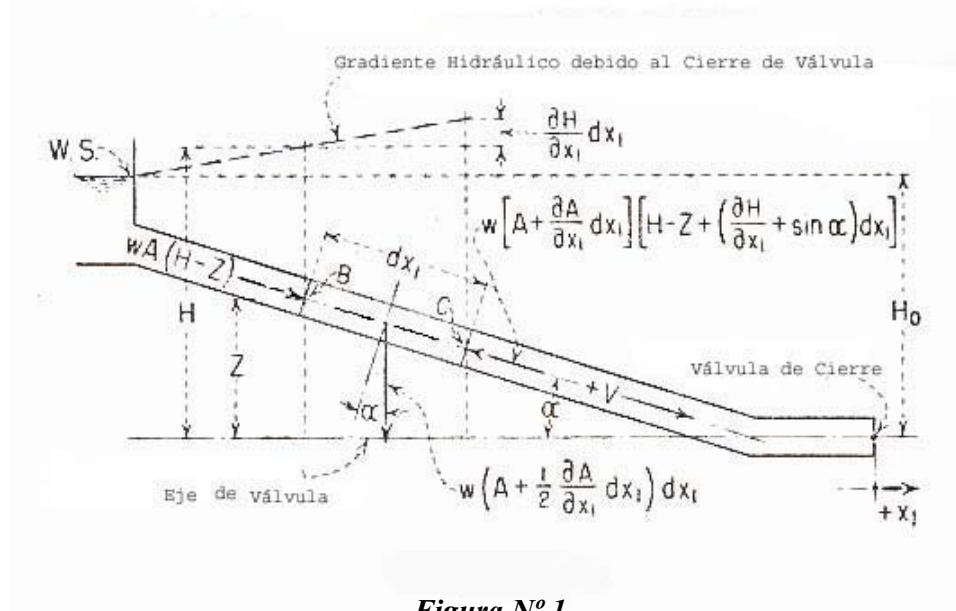
### 2.2.1 Velocidad de Propagación de las Ondas Elásticas o Perturbaciones de las Magnitudes de Flujo

Para explicar la Teoría de la Columna Elástica de Agua se asumirá lo siguiente:

- a.- La tubería se mantiene llena de agua todo el tiempo y la presión mínima dentro de la misma es mucho mayor a la presión de vapor del agua.
- b.- Las pérdidas hidráulicas son despreciables comparadas con los cambios de presión.
- c.- La velocidad del agua en la dirección del eje de la tubería es uniforme a través de cualquier sección transversal del tubo.
- d.- La presión es uniforme en cualquier punto de una sección transversal del tubo y es igual a la presión en la línea central de la tubería.
- g.- El nivel de agua en el reservorio se mantiene constante durante el movimiento de la válvula de control.

#### Condición de equilibrio dinámico:

A continuación se estudiará la condición de equilibrio dinámico para el elemento de agua de longitud  $dx_1$  ubicado dentro de la tubería mostrado en la Figura N° 1.



**Figura N° 1**

## CAPITULO II : Marco Teórico

En el paso de la cara B a la cara C del elemento de longitud  $dx_1$ , el área transversal del tubo se incrementa en una rata de  $\partial A/\partial x_1$ . Si el área en la cara B la definimos como A, el área en la cara C es entonces. La intensidad de la presión y las fuerzas actuantes en las caras B y C son determinadas de una manera similar y son mostradas en la Tabla N° 1.

Ubicación	Cara B	Cara C
Área	$A$	$A + \frac{\partial A}{\partial x_1} dx$
Presión	$w(H - Z)$	$w \left[ H - Z + \left( \frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right]$
Fuerza	$wA(H - Z)$	$w \left( A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) \left[ H - Z + \left( \frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right]$

**Tabla N° 1**

En el centro del volumen diferencial estudiado, la fuerza de gravedad que actúa verticalmente hacia abajo sobre la masa del elemento es igual a:

$$w \left( A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) dx_1$$

La fuerza no balanceada que actúa como desaceleradora en dirección del eje longitudinal del es:

$$w \left( A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) \left[ H - Z + \left( \frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right] - wA(H - Z) - w \left( A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) dx_1 \text{sen} \alpha$$

Donde tomamos como positiva la dirección de la fuerza en sentido opuesto al movimiento normal del flujo. Después de eliminar términos despreciables la ecuación anterior se reduce a:

$$w \left[ A \frac{\partial H}{\partial x_1} + (H - Z) \frac{\partial A}{\partial x_1} \right] dx_1$$

Tomando en cuenta que  $w[(H - Z)\partial A/\partial x_1]dx_1$  es muy pequeño comparado con  $wA(\partial H/\partial x_1)dx_1$ , entonces la expresión de la fuerza desaceleradora no balanceada queda reducida a:

$$wA \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1$$

Observando que la masa del elemento de agua a ser movido es  $wAdx_1/g$  y su desaceleración es  $-dV/dt$ . Entonces la segunda ley de Newton viene expresada por:

$$-wA \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1 = \frac{wA}{g} \frac{dV}{dt} dx_1 \quad g = \text{aceleración de la gravedad (m/s}^2\text{)}$$

Como la velocidad es una función de  $x_1$  y de  $t$ , entonces

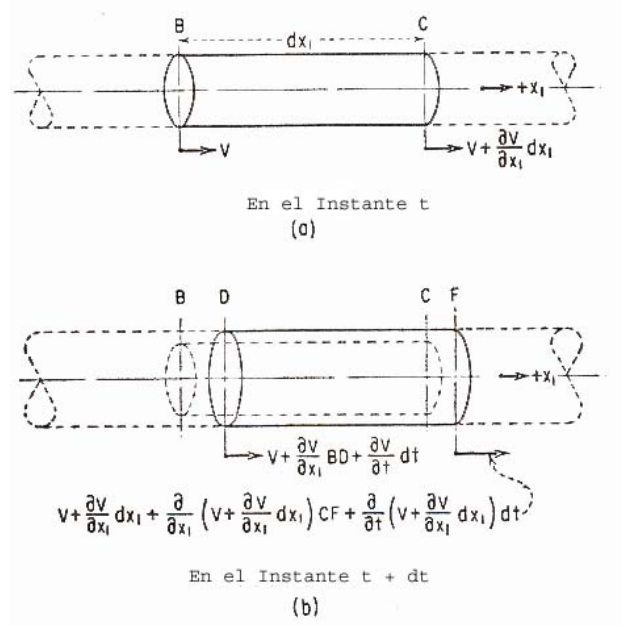
$$\frac{\partial H}{\partial x_1} = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x_1} \right) \quad (3)$$

que es la ecuación de equilibrio dinámico para el elemento de agua.

#### Condición de continuidad:

La segunda ecuación que relaciona  $H$  y  $V$  es extraída de la condición de continuidad. La Figura N° 2a muestra un elemento de agua de longitud  $BC$  igual a  $dx_1$  para un tiempo  $t$ . Para un instante de tiempo dado la rata de cambio de la velocidad entre la cara  $B$  y la cara  $C$  del elemento es  $dV/dx_1$ , y la velocidad en las caras  $B$  y  $C$  son  $V$  y  $V + (\partial V/\partial x_1)dx$  respectivamente. En la Figura N° 2b se observa el cambio en el elemento diferencial de agua desde una posición  $BC$  a la posición  $DF$  pasado un tiempo diferencial  $dt$ .





**Figura N° 2**

El cambio en longitud del elemento  $dx_1$  en el movimiento desde BC a DF es BD-CF. La velocidad de la cara B en su movimiento hacia D durante el intervalo de tiempo  $dt$  es:

$$V + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} BD + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} dt$$

y la distancia recorrida BD en el intervalo  $dt$  es:

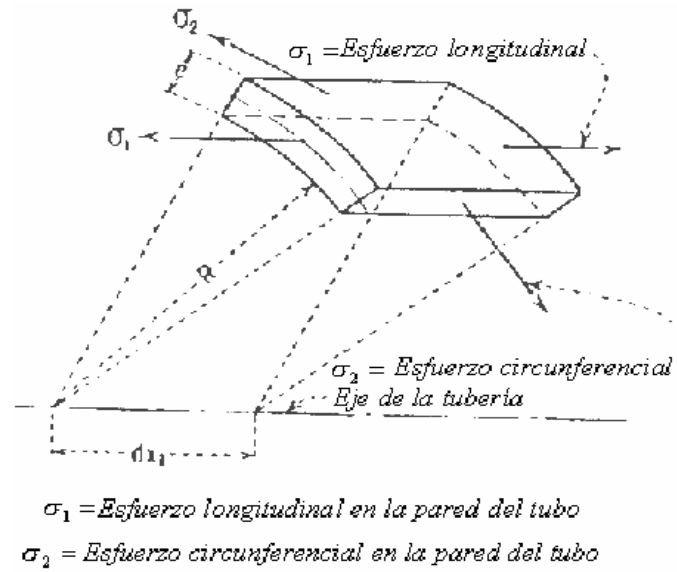
$$BD = \left( V + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial x_1} BD + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} dt \right) dt$$

de manera similar:

$$CF = \left[ V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 \right) CF + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left( V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 \right) dt \right] dt$$

Luego de eliminar términos de menor orden tenemos.

$$BD - CF = - \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 dt \quad (4)$$

**Figura N° 3**

El cambio en la longitud del elemento  $dx_1$  es consecuencia de dos factores. En primer lugar el cambio en la presión causa una expansión en la corteza del tubo. El resultado de este cambio de dimensión de la sección transversal es un cambio en la longitud del elemento diferencial, para mantener el mismo volumen de agua. En segundo lugar, a consecuencia de la compresibilidad del agua, un cambio en la presión origina un cambio en el volumen de agua dentro del elemento. Debe calcularse el cambio total en la longitud del elemento, considerando al mismo tiempo la elasticidad del agua y la elasticidad de la corteza del tubo. Tomando como referencia la Figura N° 3, la deformación en el elemento de la corteza de tubo producido por esfuerzos longitudinales y circunferenciales es:

$$\Delta R \cong \frac{R}{E} (\Delta \sigma_2 - \mu \Delta \sigma_1) \quad \text{y} \quad \delta x_1 = \frac{dx_1}{E} (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_2)$$

$E$  = Módulo de elasticidad del material del conducto ( $\text{N/m}^2$ ).

Donde  $\Delta \sigma_1$  y  $\Delta \sigma_2$  representan el cambio en los esfuerzos longitudinales y circunferenciales respectivamente, producidos por un cambio en la presión. El volumen

encerrado dentro del elemento después de aplicados los esfuerzos es  $\pi(R + \Delta R)^2(\delta x_1 + dx_1)$  y el cambio en longitud del elemento original BC compatible con el cambio de volumen es:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1$$

El cambio en el esfuerzo longitudinal depende de la habilidad de la tubería para moverse en dirección axial, se estudiarán tres casos de restricción de movimiento axial en tuberías:

A .- Para una tubería anclada únicamente en su extremo superior:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} \frac{dH}{\left(\frac{5}{4} - \mu\right)} dx_1 \quad e = \text{Ancho de la pared del tubo (m)}$$

B .- Para tuberías con anclajes en ambos extremos que no permiten movimiento en la dirección axial a la tubería.

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} \frac{dH}{(1 - \mu^2)} dx_1$$

C .- Para tuberías con juntas de expansión.

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} \frac{dH}{\left(1 - \frac{\mu}{2}\right)} dx_1$$

De donde podemos decir que la ecuación usada para los tres casos es:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} \frac{dH}{dx_1} c_1$$

Para los tres casos:

$$A .- c_1 = \left(\frac{5}{4} - \mu\right); \quad B .- c_1 = (1 - \mu^2); \quad C .- c_1 = \left(1 - \frac{\mu}{2}\right)$$

El cambio en la longitud total del elemento de agua  $dx_l$  debido al efecto del cambio de presión  $w dH$ , considerando la elasticidad del agua y la deformación en la tubería se reduce a:

$$w \left( \frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) dH dx_1$$

Donde H es una función de  $x_l$  y  $t$ , con  $dV/dx_l = V$  tenemos lo siguiente:

$$dH = \frac{\partial H}{\partial t} dt + \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1 = \left( \frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) dt$$

Si introducimos la definición producida en la ecuación 4:

$$BD - CF = - \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 dt$$

El cambio en la longitud total del elemento queda:

$$BD - CF = w \left( \frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) \left( \frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) dx_1 dt$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores queda:

$$\frac{\partial V}{\partial x_1} = -w \left( \frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) \left( \frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right)$$

Simplificando:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} = - \frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \quad (5)$$

Donde:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{w}{g} \left( \frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right)}} \quad (6)$$

a: velocidad de propagación de las perturbaciones (m/s)

K: módulo de elasticidad volumétrica del líquido (Pa)

w: peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

E: módulo elasticidad del material de la tubería (Pa)

D: diámetro de la tubería (m)

e: espesor de la tubería (m)

C<sub>1</sub>: factor de colocación de la tubería

Siendo  $a$  (Ecuación 6) la expresión de la velocidad a la cual se mueven las ondas de presión producidas por el golpe de ariete dentro de una tubería llena por un líquido. Como se puede apreciar  $a$  depende de las condiciones en las cuales se encuentra el fluido y las propiedades de la tubería. Cuando la tubería es muy rígida (  $E$  tiende a infinito )  $a$  es equivalente a la velocidad del sonido, pero cuando la tubería es menos rígida el valor de  $a$  disminuye porque una porción de la energía de las ondas se pierde.

Para obtener las ecuaciones fundamentales que describen el golpe de ariete resolveremos simultáneamente las ecuaciones 3 y 5.

Para empezar debemos asumir que el término  $V(\partial V/\partial x_1)$  de la ecuación 3 es pequeño comparado con  $\partial V/\partial t$ . Y en la ecuación 5 el término  $V(\partial H/\partial x_1)$  es despreciable comparado con  $\partial H/\partial t$ . De ésta manera rescribiendo las ecuaciones 3 y 5 tenemos:

$$\frac{\partial H}{\partial x_1} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \quad (8)$$

Las soluciones generales para éstas ecuaciones diferenciales son respectivamente:

$$H - H_o = f\left(t - \frac{x_1}{a}\right) + F\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \quad (9)$$

$$V - V_o = \frac{g}{a} \left[ f\left(t - \frac{x_1}{a}\right) - F\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \right] \quad (10)$$

Con el fin de facilitar el estudio del efecto del golpe de ariete hidráulico, es conveniente expresar la variable  $V$  como positiva en la dirección espontánea del fluido, en este caso cuando el vector apunta desde el reservorio de agua hacia la compuerta en el nivel mas bajo de la tubería. También resulta provechoso cuando se estudian problemas que involucran compuertas en el extremo inferior de la tubería medir la variable  $x_1$  a partir de dicha compuerta y en sentido positivo opuesto al movimiento del fluido, es decir desde la compuerta hasta el reservorio, esto debido a que la perturbación inicial en el flujo ocurre en el extremo inferior de la tubería y luego se mueve hacia el extremo superior de la misma. Tomando ésta última consideración en cuenta las ecuaciones 9 y 10 quedan de la siguiente manera:

Haciendo  $-x = x_1$

$$H - H_o = F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) + f\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \quad (11)$$

$$V - V_o = \frac{g}{a} \left[ F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) - f\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \right] \quad (12)$$

Las ecuaciones 11 y 12 son las ecuaciones fundamentales del golpe de ariete hidráulico. (Parmakian 1963).

En donde:

$$F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) \quad \text{y} \quad f\left(t + \frac{x_1}{a}\right)$$

Son funciones arbitrarias que representan respectivamente la onda de presión que se mueve desde la válvula al reservorio y la onda de presión que recorre la tubería desde el reservorio hasta la válvula.

### 2.2.2 Golpe de Ariete en Cierres completos de Válvulas

A comienzos del siglo XX, el investigador italiano Lorenzo Alievi propone el primer procedimiento de cálculo del golpe de ariete más o menos riguroso desde el punto de vista teórico y a la vez de utilidad práctica. Siendo, para cierres completos de válvulas que ocurran en tiempos  $t \leq 2L/a$  el valor extremo para el golpe de ariete:

$$h_1 - h_0 = \frac{aV_0}{g} \quad (13)$$

Para explicar el movimiento de las ondas de presión en una tubería luego del cierre repentino de una válvula, consideraremos una tubería recta y dispuesta Horizontalmente conectada a un depósito como lo indica la Figura N° 4 , la cual se encuentra llena de agua para cualquier tiempo  $t$  y no tiene roce con el fluido, es decir las pérdidas por fricción son despreciables.

La evolución hidráulica del movimiento transitorio se muestra en la figura 4. Una vez que se cierra la válvula, la altura piezométrica aumenta a un valor  $h_0 + a*V_0/g$ , la velocidad se anula y comienza la propagación de las perturbaciones hacia el estanque, tal como se indica en las situaciones (b), (c) y (d) de la misma figura. Una vez que la perturbación alcanza el estanque, situación (e), se verifica en la entrada un considerable gradiente piezométrico. En efecto, justo en la tubería, la altura piezométrica es  $h_0 + a*V_0/g$ , mientras que, inmediatamente aguas arriba, en el estanque es  $h_0$ . Se desarrolla entonces, un flujo desde el conducto hacia el estanque, a expensas de la masa de líquido acumulada en la tubería. Esta perturbación, del tipo f, que es reflejo de la primaria generada en la válvula, comienza a desplazarse hacia aguas abajo, situaciones (f), (g) y (h). Cuando llega al extremo cerrado, el flujo hacia la izquierda reduce la altura piezométrica y comienza la propagación de dicha perturbación hacia el estanque, que representa una depresión, situaciones (j), (k) y (l). Cuando la perturbación alcanza el estanque, el gradiente piezométrico, puesto de manifiesto por el valor de  $h_0$  y  $h_0 + a*V_0/g$  (justo. en la tubería), ocasiona un movimiento desde esa estructura hacia el conducto, que progresa aguas abajo, situaciones (n), (o) y (p). Finalmente, cuando la perturbación f alcanza la válvula, se

origina un efecto similar al primario, situación (b), y el ciclo se repite indefinidamente ya que se han ignorado los efectos de la fricción. En el caso de un sistema de tuberías real, la fricción, el movimiento del tubo y el comportamiento no elástico del material del tubo hacen que la oscilación tarde o temprano se amortigüe y cese.

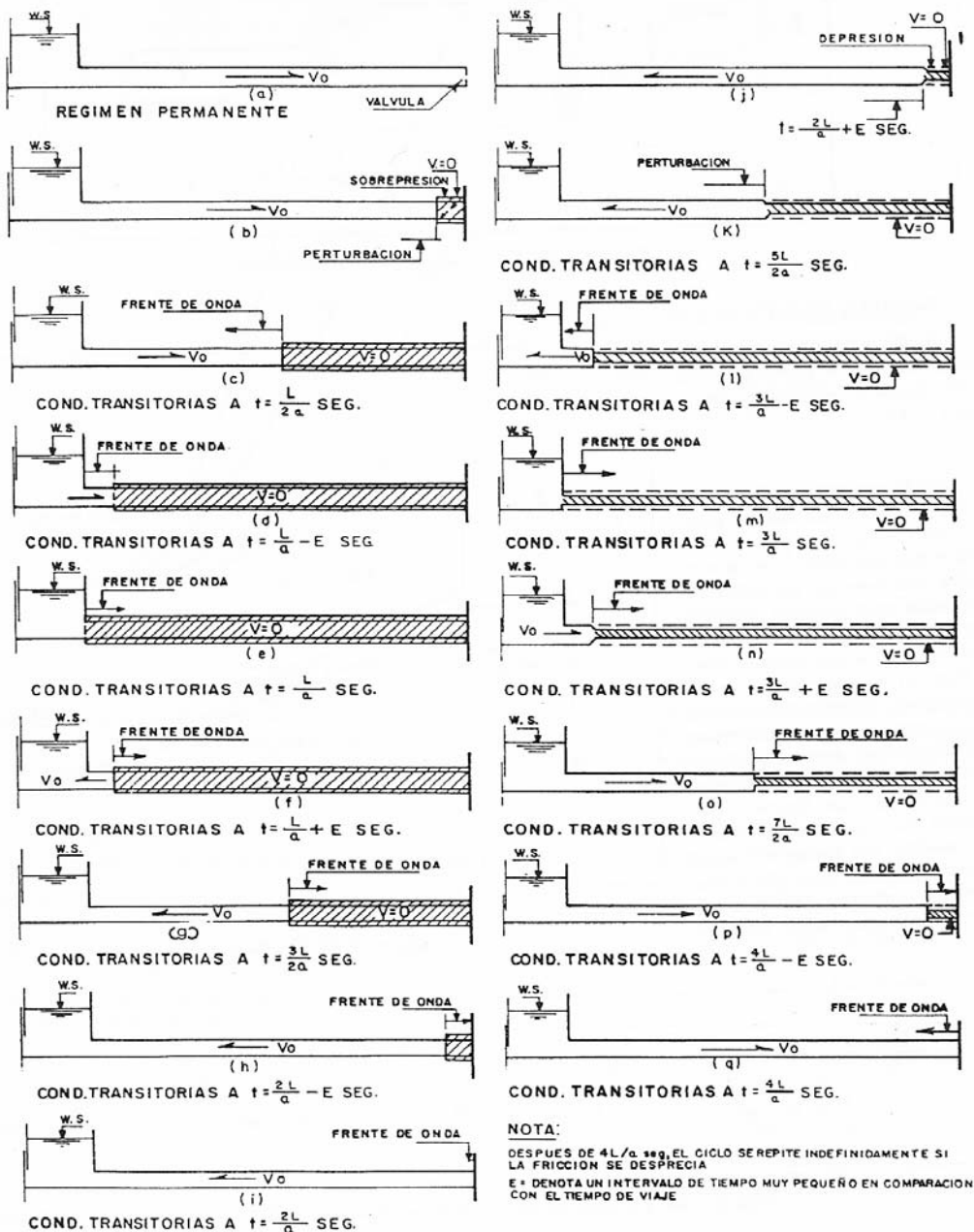


Figura N° 4 Evolución de los parámetros de flujo para el caso de un cierre instantáneo.

Manuel Vicente Mendez. Tuberías a Presión. Pg.7-28

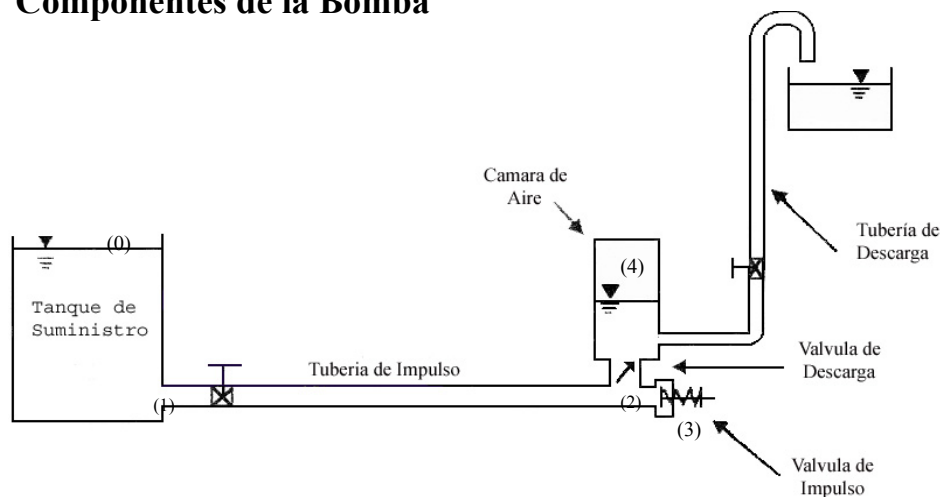


## 2.3 Bomba de Ariete

### 2.3.1 Principio de funcionamiento

El sistema se basa en el fenómeno conocido en la hidráulica como golpe de ariete, el cual se observa cuando se interrumpe el flujo de agua cerrando bruscamente una tubería. La energía cinética, que trae el agua en movimiento, al ser detenida, origina un aumento brusco o golpe de presión. Con el ariete hidráulico se producen continuamente estos golpes en un tubo que se alimenta con agua de una presa, de un río o cualquier desnivel, y se aprovechan los aumentos de presión para mandar una parte del agua que pasa por el tubo a una altura superior.

### 2.3.2 Componentes de la Bomba



**Figura N° 5**

En el esquema se muestran los elementos esenciales para el funcionamiento del ariete hidráulico, que son:

–La presa, un río o cualquier otro medio que permite crear un desnivel en relación con la Bomba de Ariete.

–**El tubo de impulso.** Según las reglas convencionales debe tener un largo entre 100 y 500 veces el diámetro del tubo, y un mínimo de 2 y hasta 7 veces la altura de la presa, según el tipo de ariete.

–**La válvula de impulso** con su cámara, que según las mismas reglas, debe tener como mínimo el doble del diámetro del tubo de impulso.

–**La válvula de retención o descarga** la cual generalmente es la mitad del diámetro de la válvula anterior, depende en primer lugar del caudal de bombeo y la frecuencia de los golpes.

–Encima de la válvula de retención se encuentra la **cámara de aire** que debe tener un mínimo de 10 veces el volumen del agua que entra por golpe.

–Por último se observa el **tubo de bombeo**, generalmente de la mitad del diámetro del tubo de impulso, aunque es más lógico determinarlo según el caudal de bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible.

### 2.3.3 Funcionamiento del Ariete Hidráulico

El ariete hidráulico es una bomba en la cual el momento (o cantidad de movimiento) producido por un flujo desde una caída baja es usado para bombear fluido hasta una altura superior a la de suministro. Tan solo tiene dos partes móviles, una válvula de impulso y una de descarga o bombeo, las cuales operan automáticamente con la acción dinámica del fluido durante el ciclo de bombeo.

La acción de bombeo puede ser entendida al considerar la siguiente secuencia de eventos:

- a) Ambas válvulas están cerradas, la válvula de impulso se mantiene cerrada debido a la presión estática de la altura de suministro,  $H$ , y la válvula de descarga se mantiene cerrada debido a la presión en la descarga.

- b) El accionamiento de la bomba se inicia forzando la apertura de la válvula de impulso. La presión en (2) viene a ser esencialmente la atmosférica. Bajo la acción de la altura  $H$ , el fluido en la tubería de impulso es acelerado, fluyendo hacia fuera de la válvula en el nivel inferior del río.
- c) Con un diseño apropiado de la válvula de impulso, ésta se cerrará automáticamente cuando el fluido salga por la válvula a cierta velocidad, debido a la distribución de presión, que es suficiente para vencer el peso de la válvula. El cierre se produce muy rápidamente.
- d) El repentino cierre de la válvula de impulso inicia una presión en la misma, que es mucho mayor que la presión estática por la altura de suministro. Esta presión abre la válvula de descarga.
- e) La inercia de la masa de fluido en la tubería de impulso mantiene el flujo hacia la tubería de descarga (en contra de la presión en la zona de descarga), pero con una velocidad decreciente debido a la fuerza retardante de la altura de descarga, la cual es mayor que la altura de suministro. Durante este intervalo de bombeo con desaceleración del flujo en el ducto de suministro, la presión en la válvula de impulso es aproximadamente la presión de descarga, manteniéndose así la válvula de impulso cerrada.
- f) Cuando la velocidad del flujo a través de la válvula de descarga se reduce a cero, la presión de descarga devuelve el flujo hacia la válvula de descarga y hacia la tubería de impulso. El flujo al devolverse cierra la válvula de descarga.
- g) Puesto que el flujo en el ducto de suministro se mueve ahora hacia el tanque de suministro y la válvula de descarga se encuentra cerrada, la presión en la válvula de impulso disminuye rápidamente hasta que el efecto combinado de la presión atmosférica actuando en la válvula de impulso, el resorte en la válvula y la presión interna (presión negativa) actuante en la válvula de impulso produce una fuerza neta que la abre automáticamente. (Note que en la parte (b) forzamos la válvula para que se abriera, mientras que ahora esta se abre automáticamente sin otra fuerza externa)
- h) Cuando la válvula de impulso se abre, la presión en la válvula de impulso es la presión atmosférica. La altura del tanque de suministro actúa para desacelerar el

flujo en retorno hasta una velocidad cero y acelerar el flujo para el comienzo de otro ciclo.

Con la acción rápida de apertura y cierre de las válvulas, las pulsaciones de presión son sobrepuestas a los mayores efectos de las diferencias de presión estables y la inercia de la columna de fluido. Estas fluctuaciones de presión producen ondas de compresión y cambios de velocidad superpuesta con propagación a la velocidad del sonido. Cuando todos los efectos son considerados, el análisis detallado se vuelve bastante complejo.

Sin embargo, un análisis aproximado puede ser hecho asumiendo que la presión y la velocidad de fluctuación tiende a producir efectos promedios causados por la altura del reservorio de suministro, la presión atmosférica en la válvula de impulso cuando esta se encuentra abierta y la altura de descarga en la tubería de impulso cuando la válvula de descarga está abierta.

### 2.3.4 Análisis Teórico

Ya que el ducto de impulso es un elemento necesario en la acción de bombeo este debe ser considerado como parte de la bomba. La bomba son los elementos de (0) a (4) (ver fig. 5).

A pesar de que los flujos de impulso y bombeo son intermitentes la Tasa de Flujo Promedio puede ser definida por el volumen total de fluido de impulso y volumen total de fluido bombeado entre el tiempo de un largo número de ciclos.

El fluido de impulso usa la altura  $H_i$  de (0) a (3). De tal manera que la energía mecánica usada para hacer funcionar la bomba es

$$P_T = Q_T w H \quad (14)$$

donde  $Q_T$  es la tasa de Flujo Promedio a través de la válvula de Impulso.

El fluido bombeado se encuentra originalmente al mismo nivel que el tanque de suministro,  $z_0$ . La altura de descarga es la combinación de la presión por la columna de agua y la elevación en la cámara de aire, es decir

$$h_4 = \frac{p_4}{w} + z_4 \quad (15)$$

La altura de bombeo es entonces,

$$h = \frac{p_4}{w} + z_4 - z_0 \quad (16)$$

donde  $p_4$  es la presión manométrica tomando la presión en (0) como cero.

La tasa de energía mecánica suministrada al fluido bombeado es

$$P_p = Q_p wh \quad (17)$$

donde  $Q_p$  es la tasa de flujo promedio a través de la válvula de descarga hacia la cámara de aire y luego hacia el sistema de descarga.

La eficiencia es la siguiente,

$$e = \frac{P_p}{P_T} = \frac{Q_p wh}{Q_T wH} = \frac{Q_p h}{Q_T H} \quad (18)$$

Ignorando los pequeños periodos de presión fluctuante, el ariete hidráulico puede ser analizado considerando únicamente los efectos dependientes del tiempo causados por la altura de impulso y la altura de descarga.

Además, ya que se dijo que casi todo el período de un ciclo completo de eventos está compuesto por el periodo de la aceleración del flujo de impulso desde una velocidad cero hasta la velocidad cuando se cierra la válvula de impulso y el período de

desaceleración del flujo bombeado desde el momento en que ocurre simultáneamente la apertura de la válvula de descarga y el cierre de la válvula de impulso hasta que la velocidad del flujo bombeado se hace cero por el cierre de la válvula de descarga, este periodo se tomará como un ciclo de tiempo completo. En efecto, el tiempo de (f) y (g) hasta (h) será ignorado. El ciclo se reduce a dos intervalos, el intervalo de aceleración del flujo de impulso desde (b) hasta (c) y intervalo de bombeo de flujo de (c) o (d) hasta (f). Estos flujos dependientes del tiempo deben ser tratados como un medio de aproximación al flujo unidimensional no estable,

$$-\frac{dp}{w} - ds - \frac{fV^2}{2gD} dl = \frac{dV}{dt} \frac{dl}{g} \quad (19)$$

Con un factor de fricción constante y un diámetro constante en la tubería de impulso entre (1) y (2)

$$\frac{P_1 - P_2}{w} + z_1 - z_2 - \frac{fLV^2}{D2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (20)$$

Entre (0) y (1) la masa del fluido que se acelera se puede despreciar respecto a la masa de fluido en la tubería de impulso. La ecuación de flujo estable se aplica entonces con un coeficiente de pérdida  $K_c$

$$\frac{P_0 - P_1}{w} + z_0 - z_1 + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} - K_c \frac{V_1^2}{2g} = 0 \quad (21)$$

Para el intervalo de flujo de impulso  $t_b$  a  $t_c$ , se asume que la válvula de impulso está completamente abierta, con un coeficiente de pérdida  $K_d$ . Además, la masa de flujo en aceleración entre (2) y (3) es pequeña comparada con la masa de fluido en línea de impulso. La ecuación de flujo estable aplicable es,

$$\frac{P_2 - P_3}{w} + z_2 - z_3 + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_{31}^2}{2g} - K_d \frac{V_2^2}{2g} = 0 \quad (22)$$

Con la ecuaciones (20), (21) y (22) y notando que  $P_0 = P_3 = 0$ ,  $V_0 = 0$  y  $V_1 = V_2 = V$  se obtiene

$$z_0 - z_3 - \frac{V_3^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \left( f \frac{L}{D} + K_c + K_d \right) = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (23)$$

Además,  $V_3$  puede ser expresado en términos de  $V$  en la línea de impulso,  $A_3 V_3 = AV$  donde  $A$  es el área de la tubería de impulso. Adicionalmente tenemos que  $z_0 - z_3 = H$  por lo que la ecuación para el intervalo de impulso se transforma en,

$$H - \left( \frac{A^2}{A_3^2} \right)^2 + f \frac{L}{D} + K_c + K_d \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (24)$$

Sea  $M = \left( \frac{A}{A_3} \right)^2 + f \frac{L}{D} + K_c + K_d$ , entonces la ecuación (24) se convierte en

$$H - M \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (25)$$

de igual forma, para el intervalo de descarga (c) hasta (f) entre (1) y (2)

$$\frac{P_1 - P_2}{w} + z_1 - z_2 - f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (26)$$

entre (0) y (1)

$$\frac{P_0 - P_1}{w} + z_0 - z_1 + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} - K_e \frac{V_1^2}{2g} = 0 \quad (27)$$

entre (2) y (4), asumiendo una longitud de tubería corta y con un coeficiente  $K_p$  de válvula de descarga en términos de la velocidad  $V_2$ ,

$$\frac{P_2 - P_4}{w} + z_2 - z_4 + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_4^2}{2g} - K_p \frac{V_2^2}{2g} = 0 \quad (28)$$

con las ecuaciones (26), (27) y (28) y notando que  $p_0 = 0$ ,  $V_0 = 0$  y  $V_1 = V_2 = V$ ,

$$-\frac{P_4}{w} + z_0 - z_4 - \frac{V^2}{2g} \left( f \frac{L}{D} + K_c + K_p \right) - \frac{V_4^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (29)$$

$V_4$  en la ecuación (29) es la velocidad existente desde la válvula de descarga y puede ser expresado en términos de la velocidad de impulso

$$A_4 V_4 = AV \quad (30)$$

la ecuación (29) queda entonces,

$$-\frac{P_4}{w} + z_0 - z_4 - \left( \frac{A^2}{A_4^2} + f \frac{L}{D} + K_e + K_p \right) \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (31)$$

de (16) y definiendo

$$N = \frac{A^2}{A_4^2} + f \frac{L}{D} + K_e + K_p \quad (32)$$

la ecuación (31) queda

$$-h - N \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad (33)$$



las ecuaciones (25) y (33) pueden ser resueltas para los intervalos de tiempo de impulso y descarga,

*Intervalo de impulso*

$$t_c - t_b = \left( \frac{2L^2}{gHM} \right)^{1/2} \tan^{-1} \left( \frac{MV_m^2}{2gH} \right)^{1/2} \quad (34)$$

*Intervalo de descarga*

$$t_f - t_c = \left( \frac{2L^2}{ghN} \right)^{1/2} \tan^{-1} \left( \frac{NV_m^2}{2gH} \right)^{1/2} \quad (35)$$

En las ecuaciones (34) y (35),  $V_m$  es la velocidad máxima en la tubería de impulso la cual ocurre cuando la válvula de impulso se cierra y la válvula de descarga se abre. El flujo volumétrico en cada intervalo de tiempo se obtiene de las ecuaciones (34) y (35).

$$(Vol)_T = \int_{t_b}^{t_c} AV dt = \int_0^{V_m} \frac{AV}{g} \frac{LdV}{\left( H - M \frac{V^2}{2g} \right)} \quad (36)$$

$$(Vol)_P = \int_{t_c}^{t_f} AV dt = \int_{V_m}^0 \frac{AV}{g} \frac{LdV}{\left( h - N \frac{V^2}{2g} \right)} \quad (37)$$

integrando las ecuaciones (36) y (37)

$$(Vol)_T = \frac{LA}{M} \left[ \log \left( \frac{1}{1 - \frac{MV_m^2}{2gH}} \right) \right] \quad (38)$$

$$(Vol)_P = \frac{LA}{N} \left[ \log \left( 1 + \frac{NV_m^2}{2gh} \right) \right] \quad (39)$$

El cociente volumétrico por ciclo es también el cociente de la tasa de flujos, dado que los volúmenes deben ser promediados sobre el tiempo total de un ciclo.

$$\frac{Q_P}{Q_T} = \frac{(Vol)_P}{(Vol)_T} = \frac{M}{N} \frac{\log\left(\frac{NV_m^2}{2gh} + 1\right)}{\log\left(\frac{1}{1 - \frac{MV_m^2}{2gH}}\right)} \quad (40)$$

Si la válvula de impulso se mantiene abierta hasta que la velocidad en la tubería de impulso alcance el flujo estable bajo la altura H, esta velocidad de flujo estable debe ser obtenida de la ecuación (25) con  $dV/dt = 0$  y  $V_3^2 = 2gH/M$ . Con esta definición la ecuación (40) puede cambiarse a la forma,

$$\frac{Q_P}{Q_T} = \frac{M}{N} \frac{\log\left(\frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{N}{M} \frac{H}{h} + 1\right)}{\log\left(\frac{1}{1 - \frac{V_m^2}{V_3^2}}\right)} \quad (41)$$

La eficiencia es

$$e = \frac{Q_P h}{Q_T H} = \left(\frac{h}{H}\right) \left(\frac{M}{N}\right) \frac{\log\left(\frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{N}{M} \frac{H}{h} + 1\right)}{\log\left(\frac{1}{1 - \frac{V_m^2}{V_3^2}}\right)} \quad (42)$$

La tasa de flujo bombeado es el volumen bombeado en un ciclo promediado sobre el intervalo de tiempo total del ciclo.

$$Q_p = \frac{(Vol)_p}{t_f - t_b} = \frac{A \log \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{N}{M} \frac{H}{h} + 1 \right)}{\left( \frac{2M}{gh} \right)^{1/2} \left[ \left( \frac{M}{N} \right) \tan^{-1} \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{N}{M} \frac{H}{h} \right) + \left( \frac{h}{H} \right)^{1/2} \tan^{-1} \frac{V_m}{V_3} \right]} \quad (43)$$

Las ecuaciones (41), (42) y (43) dan la información completa del funcionamiento del ariete hidráulico.

Las ecuaciones de funcionamiento contienen tres cocientes  $V_m/V_3$ ,  $N/M$  y  $H/h$ , las cuales pueden ser reducidas a dos, notando que  $N$  y  $M$  son aproximadamente iguales,

$$M = \left( \frac{A}{A_3} \right)^2 + f \frac{L}{D} + K_e + K_d$$

$$N = \left( \frac{A}{A_4} \right)^2 + f \frac{L}{D} + K_e + K_p$$

Note que  $K_e \cong 0,5$ ,  $K_p$  y  $K_d$  son  $\cong 1,0$ ,  $A_3$  y  $A_4$  son aproximadamente iguales. Además,  $f L/D$  es igual para  $N$  y  $M$ , con la previa suposición de que  $f$  no depende de la velocidad y se tomó como constante. Para valores mínimos de  $M$  y  $N$  los valores de  $A/A_3$ ,  $A/A_4$ ,  $K_p$  y  $K_d$  deben ser tan pequeños como sea posible. Si llegan a ser cero, o son pequeños comparados con  $f L/D + K_e$ , entonces  $M = N$  y  $M/N = 1$ .

Las ecuaciones de funcionamiento las podemos reducir entonces a

$$\frac{Q_p}{Q_T} = \frac{\log \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{H}{h} + 1 \right)}{\log \left( \frac{1}{1 - \frac{V_m^2}{V_3^2}} \right)} \quad (44)$$

$$e = \frac{h \log \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{H}{h} + 1 \right)}{H \log \left( \frac{1}{1 - \frac{V_m^2}{V_3^2}} \right)} \quad (45)$$

$$\frac{Q_p}{AV_3} = \left( \frac{1}{2} \left( \frac{h}{H} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\log \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{H}{h} + 1 \right)}{\left[ \tan^{-1} \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{H}{h} \right)^{\frac{1}{2}} + \left( \frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \tanh^{-1} \left( \frac{V_m}{V_3} \right) \right]} \quad (46)$$

Tomando  $V_m/V_3$  como un parámetro, el funcionamiento esperado se obtiene de una forma generalizada en forma de gráficas.

De interés es también la frecuencia de ciclos, y con  $M = N$ , se tiene:

$$ciclos / s = \frac{1}{t_f - t_b} = \frac{gH}{LV_3} \left( \frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\left[ \tan^{-1} \left( \frac{V_m^2}{V_3^2} \frac{H}{h} \right)^{\frac{1}{2}} + \left( \frac{h}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \tanh^{-1} \left( \frac{V_m}{V_3} \right) \right]} \quad (47)$$

### 3.1 Recolección de Datos

#### 3.1.1 Caudal del Río

Para la determinación de este dato se utilizó un recipiente de 20 lts de capacidad, un tubo de 1 ½” para direccionar el curso del río y un cronómetro. Se procedió a represar el agua y desviar su curso mediante el ducto hacia el recipiente, realizando a su vez, el cronometraje del llenado para la determinación del caudal. Este procedimiento se realizó en tres sectores diferentes del río para la determinación de la ubicación con mayor caudal, además, para la ubicación de estos puntos de posible bombeo fue indispensable la presencia de un desnivel o caída, puesto que este es utilizado para dar impulso al agua bombeada. El procedimiento anterior fue efectuado tanto en el periodo seco como en el lluvioso en los meses de Marzo y Agosto respectivamente, obteniéndose resultados similares en ambos periodos.

Debido a la variedad de ríos en la zona se realizaron los procedimientos anteriores en los tres ríos más cercanos a la población, 1) “Sin Nombre”, 2) “Las Comadres” y 3) “El Ingenio”. Sin embargo, el río “El Ingenio” fue descartado por su alta contaminación, su caudal poco constante, la carencia de puntos de caída y la gran altura de bombeo (400 mt).

1)  $Q \cong 70 \text{ lts/min}$

Tiempo(seg)	
1	15
2	17
3	17
4	18
5	18

Posible altura del dique a construir: 2m  
Longitud de caída del agua por la tubería de succión: 6m

2)  $Q \cong 632 \text{ lts/min}$

Tiempo(seg)	
1	1,9
2	1,9
3	1,8
4	1,9
5	2,0

Posible altura del dique a construir: 4m  
Longitud de caída del agua por la tubería de succión: 13m

### 3.1.2 Medición de Cotas

Se utilizó en primera instancia un Plano Aerofotogramétrico de la zona obtenido en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, con una escala de 1 : 5.000 y luego corroborado, para una mayor precisión, con un GPS (Ver Anexo B).

Se ha pretendido inicialmente, realizar el bombeo a la escuela comunitaria y luego a los demás pobladores, por lo que el punto de ubicación del tanque de descarga debería estar a una cota superior a la escuela.

#### **Alturas (cota sobre el nivel del mar):**

Escuela: aprox. 1060m

Loma más alta: aprox. 1130m

1) Río “ Sin Nombre”: aprox. 715m

2) Río “Las Comadres “: aprox. 600m

### 3.1.3 Censo Poblacional

Para la realización de este censo se contó con la colaboración de los estudiantes de la escuela de la comunidad, que recorrieron cada una de las viviendas para la obtención de la información.

La población cuenta con cerca de 1200 habitantes y un 35% son niños, las condiciones sanitarias de sus viviendas son pocas debido a la carencia de agua. Aunque las condiciones de salud de sus habitantes es buena, esta se puede ver afectada por epidemias o enfermedades, sobre todo en la población infantil, debido al consumo de aguas no aptas para ello.

El 90 % de la actividad productiva se basa en la agricultura, la cual se desarrolla de manera marginal, ya que depende de la época de lluvia y del agua que esporádicamente puedan conseguir.

En cuanto a lo educativo, la comunidad cuenta con una escuela hasta 6° grado, la cual también carece de agua.

Según los pobladores, no hay duda que el agua es la necesidad más sentida de la comunidad.

#### 3.1.4 Características del Terreno:

La topografía de la zona es accidentada con altas pendientes, está ubicado en la “Cordillera de la costa”, ramal del Interior.

Precipitación promedio: 1.400 mm. Anuales, con dos picos de precipitación en Junio y Octubre. Seco en Enero, Febrero y Marzo.

#### Agricultura:

En zonas tropicales se calcula 1etc (evapotranspiración del cultivo) = 5 mm por día, considerando que  $1\text{mm por m}^2 = 1000\text{ L}$ .

En otras palabras, por cada metro cuadrado se debe suministrar 0,5 L de agua al día, lo que indica que por hectárea serían 5.000 L por día.

En el caso de maíz, que es el cultivo más común de la zona, se debe regar dos veces a la semana, aportándole las perdidas de toda la semana, es decir, 5.000 L por día X 7 días, o lo que es igual a 35.000 L por hectárea a la semana.

Si se calcula este caudal nos daría unos 0,06 L/s por cada hectárea de cultivo de maíz.

#### Consumo de Agua:

Cantidad de agua requerida por día en zonas rurales	
Usuario	lts/día
Una Persona	100-200
Un Alumno escolar	10-15
Un Caballo o Vaca para suministro de carne	20-50
Una Vaca lechera	120
Animal mediano (cerdo, oveja, etc.)	10-20
Animal pequeño (ave, conejo, etc.)	2-5

Para el consumo humano, según estándares internacionales, se calcula la cantidad de agua al día en 120 litros, lo que nos arroja por cada 100 personas 12.000 L al día. Si se calcula este caudal nos da 0,14 L/s.

#### **3.1.5 Muestra de Agua del Río**

Para el análisis del agua se obtuvo ayuda de la PETA (Planta Experimental de Tratamiento de Agua de la Universidad Central de Venezuela). La consulta con esta institución fue de vital importancia, para el conocimiento de la forma en que se realizan los análisis del agua para diversos usos.

En el suministro de agua para consumo humano se requiere realizar un amplio análisis del agua a suministrar, según las “NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE” publicado en la Gaceta Oficial N° 36.395 de fecha 13/02/1998 (Ver Anexo F).

El objetivo principal de esta norma es especificado en su Artículo 1, y es el de establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

Es de importancia resaltar lo estipulado en los artículos 2 y 20 sobre la obligación que tienen los entes responsables de los sistemas de abastecimiento de agua en hacer cumplir los parámetros exigidos en la norma y enviar mensualmente los resultados de los análisis efectuados a la Autoridad Sanitaria Competente.

Los estudios realizados para este trabajo incluyen pruebas Fisicoquímica y Bacteriológicas (Ver Anexo F), sin embargo es de vital importancia mencionar, que esto no representa un estudio estadístico de las aguas, sino un simple estudio puntual de una sola muestra, es decir, no es concluyente el análisis por no representar las características periódicas de las aguas del río.

De este análisis, se pueden mencionar ciertos valores que se encuentran fuera del rango permitido por la Norma de Calidad para Agua Potable o en el límite de este:



1. Dureza Total: 483 (mg/l  $\text{CaCO}_3$ ) y el valor deseable debe ser menor de 250, lo que indica que el agua es bastante dura, contiene elementos que podrían obstruir las tuberías y demás elementos que estén en contacto permanente con el agua.
2. Sólidos Disueltos Totales: 660 (mg/l) y el valor deseable es inferior a 600. esto efectivamente se evidencia en la cantidad de Sulfato (250 mg/l) que está en el límite del rango permitido, lo que podría ocasionar cuadros diarreicos en los pobladores.
3. Coliformes Totales y Fecales:  $2,3 \times 10^4$  y 210 (ucf/100ml) respectivamente. Aunque estos no son los agentes que perjudican la salud, este análisis bacteriológico muestra gran cantidad de desechos fecales y obviamente un valor muy por encima del estipulado en la norma, que es de 0 ucf/100ml para consumo humano, y menor a 1000 y 100 respectivamente, para uso en el riego para consumo humano.

### 3.2 Análisis de Datos

Los datos obtenidos no han sido del todo satisfactorios, especialmente la altura de bombeo, la cual es excesiva en cualquiera de los ríos evaluados. El punto deseado para la colocación del tanque de almacenamiento se encuentra a una diferencia de cota mínima de 400 mts respecto al río más cercano, esto representa una altura significativa respecto a los escasos 4 mts de altura de caída que se puede obtener.

El análisis del agua es otro factor condicionante, pues para suministrar agua para consumo humano se deben realizar pruebas Fisicoquímicas y Bacteriológicas al agua mensualmente, además de evaluar las condición de la cuenca. Este estudio, obviamente es muy extenso y costoso lo que representa una dificultad para la culminación del proyecto en el plazo establecido inicialmente.

El estudio bacteriológico muestra gran cantidad de coliformes, incluso para el riego de cultivos, lo que obligaría a la instalación de una planta cloradora para resolver este aspecto; sin embargo, esto no es tan simple, se debe estudiar las concentraciones de cloro necesarias y el tiempo de actividad para su desinfección, esto obviamente es un trabajo

### **CAPITULO III : Análisis de Factibilidad**

arduo que debe ser efectuado por expertos en la materia. Respecto a la dureza y los sólidos disueltos, esta solución no es tan simple y para una población tan pequeña el factor económico juega un papel fundamental para la decisión de la instalación de un sistema de este tipo.

Una vez más debemos mencionar que el estudio no puede ser tomado como representativo, pues el nivel de contaminación puede aumentar con el aumento de las lluvias o con la deposición de más desechos contaminantes por granjas o viviendas que hay en la región.

## 4.1 Velocidad de Propagación de Onda

Utilizando la Ec. (6) para una columna elástica de agua tenemos

$$w := 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad Q = 2.15 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \blacksquare$$

$$E := 1.10 \cdot 10^{11} \cdot \text{Pa} \quad K := 2.20 \cdot 10^9 \text{Pa} \quad D := 0.042 \text{m} \quad L := 7.6 \text{m}$$

$$V := \frac{Q}{A} \quad V = 0.049 \frac{\text{m}}{\text{s}} \blacksquare$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{w}{g} \left( \frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right)}}$$

$$a = 1.284 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \blacksquare$$

## 4.2 Golpe de Ariete

Según la Ec. (13) tenemos

$$H := \frac{a \cdot v}{g}$$

$$H = 755.155 \text{m} \blacksquare$$

$$\Rightarrow H = 1073 \text{ psi}$$

## 4.3 Bomba de Ariete Hidráulico

### 4.3.1 Válvula de Impulso

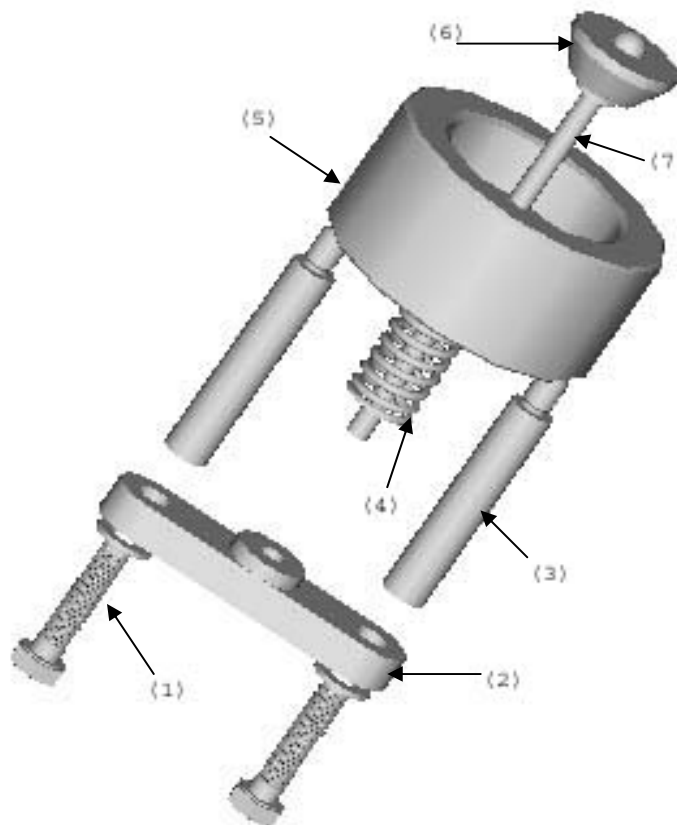
En una Bomba de Ariete Hidráulico se debe aprovechar la sobrepresión producida por el golpe de ariete, en tal sentido se debe minimizar la absorción de energía por el material, por lo que el mismo debe ser lo más rígido posible, además se debe considerar las condiciones a las que estará sujeto la válvula y el uso que se le dará al fluido bombeado, es decir, siendo para consumo humano se debe evitar la oxidación del material. Un acero

## CAPITULO IV : Diseño y Construcción del Sistema

Inoxidable AISI 304 es adecuado para el sistema deseado, sin embargo debido al constante golpeteo del tapón de cierre de la válvula, este debe ser el elemento a desgastarse pues es el más sencillo y económico de construir, por lo que se seleccionó un material más dúctil y menos resiliente, un Acero Inoxidable AISI 316 fue el escogido. (Ver Anexo A)

En cuanto a la forma y diseño de la válvula, esta debe ser de un diseño tal que:

- a) Permita el flujo libre del agua hacia el exterior, minimizando las pérdidas en lo posible
- b) Al producirse el golpe, las fuerzas ejercidas sobre las paredes de la pieza deben ser distribuidas lo mas uniforme posible, a fin de evitar los esfuerzos excesivos concentrados en una sola región de la pieza y la posible falla de la válvula.
- c) La apertura y cierre de la válvula deberá tener un ciclo de repeticiones lo más alto posible por unidad de tiempo, lo que se logra con el adecuado dimensionamiento del sistema, es decir, una longitud de Tornillo Eje adecuada y una longitud de tubería de succión lo suficientemente larga, además se debe tomar en cuenta el cálculo adecuado de la fuerza a ejercer por el elemento de cierre de válvula sobre las fuerzas producidas por el agua al descender a través de la tubería de succión.



- 1- Tornillo M8\*2P
- 2- Lámina Sujetadora
- 3- Soporte de Unión
- 4- Resorte
- 5- Cuerpo de la Válvula
- 6- Tapón de Cierre
- 7- Tornillo Eje

### 4.3.2 Válvula de Descarga

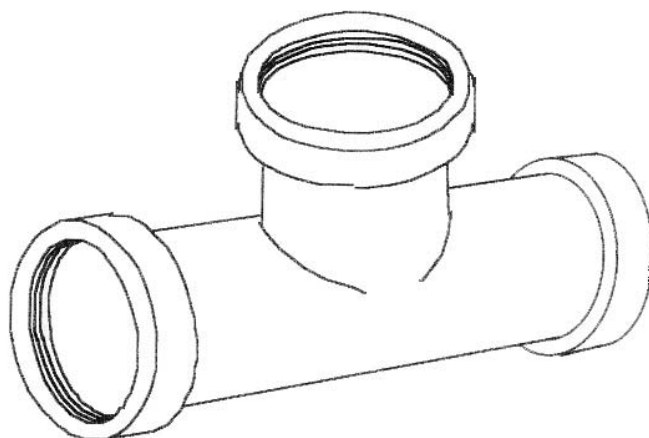
La Válvula de Descarga permite el paso de agua desde la succión hasta la cámara de aire. Esto se efectúa debido a la sobrepresión producida en el golpe, que al pasar por el tubo “T” es desviada hacia la válvula, la cual abre su compuerta por la fuerza ejercida sobre ella.

Puesto que la energía en la sobrepresión se transfiere a la cámara de aire, el material de esta válvula no es realmente muy exigido en comparación con la Válvula de Impulso, por lo que se seleccionó una Válvula Check comercial de 1 ½”, diseñada en bronce.

### 4.3.3 Tubo “T”

Este elemento conecta la tubería de Impulso con la válvula de Impulso y la Válvula de Descarga, esta conexión permite desviar el paso del agua hacia la Válvula de Descarga en el momento en que la sobrepresión alcanza este elemento.

Se seleccionó un Tubo “T” comercial en Hierro Galvanizado de 1 ½”.



#### 4.3.4 Cámara de Aire

Considerando que la cámara de aire debe tener un mínimo de 10 veces el volumen del agua que entra por golpe, se seleccionó un tubo de 3" de diámetro y 0,7m de longitud, en acero galvanizado. El mismo, es suficientemente resistente para soportar las presiones que se pretenden, además de ser un material cuyo tratamiento permite su uso en el manejo de agua incluso para consumo humano.

Puesto que el recipiente a utilizar como Cámara de Aire estará sometido a una alta presión se determinará la presión máxima que resiste,

Longitud (L) = 0,7 mt

Diámetro externo (Do) = 88 mm

Espesor (t) = 4 mm

Material: Acero Galvanizado ASTM 20

De las tablas de la *American Society for Testing and Materials* se obtiene que para el ASTM 20 el  $S_y = 20$  Kpsi

$$P \leq \frac{S_y \times 2t}{d_i}$$

$$P \leq \frac{20.000 \text{ psi} \times 2 \times 4 \text{ mm}}{84 \text{ mm}} = 1904,762 \text{ psi} \cong 1340,520 \text{ m H}_2\text{O}$$

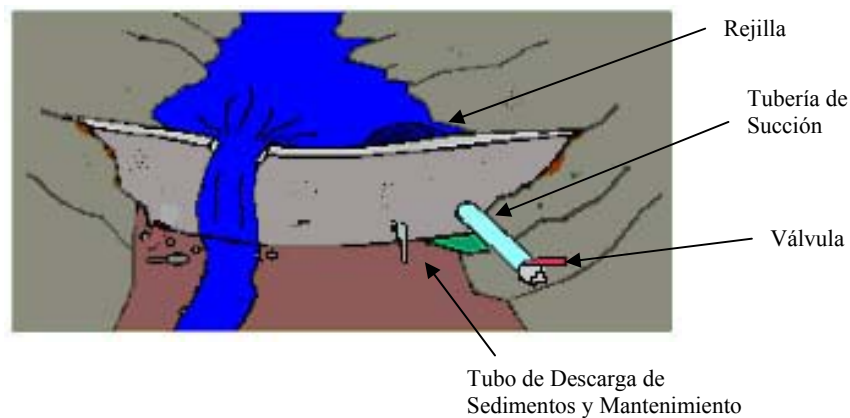
Puesto que la altura máxima a ser alcanzada por esta bomba es muy inferior, se puede utilizar el tubo de 3" escogido.

## 4.4 Elementos del Sistema de Bombeo

### 4.4.1 Tanque de suministro

Para la realización de las pruebas se utilizó una caída natural de agua de 2,5 m de altura, por lo que tan solo fue necesario hacer un pequeño dique de piedras y arena para dirigir el agua hacia la tubería.

Para la instalación de la bomba para su uso permanente se dispone de una represa ya construida por los habitantes de la zona, cuya altura es de 4 m. Esta represa debe ser reparada y calculada para soportar la presión del agua, además deben considerarse varios factores para su construcción, como la erosión producida por el río en la base de la represa, y la implantación de varios ductos para la correcta circulación del agua en exceso, para su mantenimiento y remoción de sedimentos y el ducto de succión del ariete hidráulico.



**Figura N°6** Represa

### 4.4.2 Tubería Impulso

Se utilizó un tubo comercial de Acero Galvanizado de 1 ½". El diámetro se calculó y seleccionó en base al caudal medido en el río (632 Lts/min) para la mayor altura posible de bombeo y según la magnitud del golpe producido, es decir, se calculó el golpe de ariete para varios diámetros y se seleccionó el más adecuado.

El material seleccionado se debe a tres factores esenciales:

- a) Debe ser lo más rígido posible para mantener la intensidad de la sobrepresión producida por el golpe.
- b) Debe ser un material comercial de fácil adquisición.
- c) El costo del mismo debe ser el menor posible debido al bajo presupuesto disponible.

### 4.4.3 Tubería de descarga

Para simular un sistema de tuberías de descarga, se instaló a la salida de la cámara de aire, una válvula de paso, tipo esfera, de ¾", con la cual se varía el caudal de salida y las pérdidas en la misma.

Para la instalación del sistema se puede utilizar tuberías comerciales de hierro o PVC y el funcionamiento del sistema no se verá afectado, pero se recomienda utilizar materiales poco rugosos, a fin de minimizar las pérdidas.

## 4.5 Instrumentos de Medición

### 4.5.1 Manómetro

El manómetro se seleccionó en base a la magnitud de la sobrepresión calculada. (Ver Anexo B). Se utilizó un manómetro cuya escala es de 0 – 230 psi y con intervalos de 10 psi, sin embargo para los valores de presión menores se utilizó un manómetro con escala de 0 – 80 psi e intervalos de 5 psi.



## CAPITULO IV : Diseño y Construcción del Sistema

### 4.6 Costos

Componentes	Precio/unidad (Bs)	Cantidad	Total (Bs)
Material para Válvula de Impulso	31.000	1	31.000
Válvula Chech (de Descarga) 1 ½"	15.000	1	15.000
Anillo Reductor 3" – 1 ½"	4.500	1	4.500
Niple de Ø 1 ½" (long. 6 cm)	2.000	2	4.000
Niple de Ø 1 ½" (long. 20 cm)	2.000	1	2.000
Niple de Ø ¾"	1.500	1	1.500
T de Ø 1 ½"	2.000	1	2.000
Tapa Galvanizada 3"	3.700	1	3.700
Roscado de Tubo 3"	4.000	2	8.000
Manómetro (hasta 230 psi)	8.000	1	8.000
Anillo Reductor 2" – 1 ½"	1.500	1	1.500
Resorte	700	1	700
Válvula de Paso de Ø ¾"	3.500	1	3.500
		Total	85.400

## **5.1 Ensamblaje**

Para el ensamblaje de la bomba, se deben armar los diferentes componentes , según los planos del anexo E. Entre cada pieza roscada, se coloca teflón y un sellador flexible para uniones roscadas, lo cual evitará la existencia de fugas. El ensamblaje es relativamente sencillo, pero debe tenerse la precaución de roscar todos los elementos correcta y firmemente, además se debe utilizar arandelas de presión al colocar los tornillos N°15 (Ver Anexo E), pues la alta vibración puede producir el desarme de la válvula y el mal funcionamiento del sistema.

## **5.2 Instalación de Componentes del Sistema de Bombeo**

### **5.2.1 Toma de Agua**

Para las pruebas se utilizó una caída natural de 2,5 m, donde se represó el agua con piedras y arena para dirigirla hacia la tubería de impulso. El caudal se mantuvo siempre constante.

### **5.2.2 Bomba de Ariete Hidráulico.**

La Bomba de Ariete Hidráulico debe ser instalada sobre una base con las siguientes características:

- Debe ser construida sobre suelo firme y estable que evite el movimiento bajo las condiciones de vibración a las cuales la Bomba opera.
- La bomba debe estar fijada a la base. La base debe poseer una estructura que permita dicho anclaje.
- Preferiblemente debe existir una estructura de acero dentro del suelo firme para evitar que ésta se quiebre.
- La bomba de Ariete y su base debe estar particularmente alineada con la tubería de suministro para evitar esfuerzos y perdidas en la conexión.

- La superficie de la base de la bomba debe permitir el adecuado drenaje del agua de trabajo hacia el cause de la quebrada.
- Se recomienda la construcción de una caseta o reja protectora para albergar a la bomba, para evitar el contacto de animales con la bomba que puedan ocasionar daño al sistema o interrumpir su funcionamiento.

### **5.3 Puesta en Marcha.**

#### **5.3.1 Acciones Previas.**

Una vez instalado el sistema, deben tomarse ciertas precauciones antes de encender la bomba:

- Asegurarse de que todas las conexiones estén debidamente ajustadas.
- Asegurarse que la bomba se encuentre sujeta firmemente a la base.
- Asegurarse que las tuercas y tornillos de la válvula de impulso estén ajustadas.
- Chequear que el canal de desagüe drene debidamente sin posibles escapes.
- Chequear que la válvula de impulso abra y cierre efectivamente.
- Manteniendo la válvula de impulso abierta, se abre la válvula de paso en la entrada de la tubería de suministro y luego en la entrada de la bomba, permitiendo la salida del agua a través de la válvula de impulso durante un minuto, esto con el fin de garantizar que la tubería de suministro esté llena de agua y no existe aire dentro de la misma.
- Manteniendo llena la tubería de suministro y el cuerpo de la bomba con la válvula de impulso cerrada chequear que no existen escapes de agua a través de estos elementos.

#### **5.3.2 Accionamiento del Sistema.**

Para accionar el sistema se debe mantener la válvula de impulso abierta con la mano ejerciendo presión suficiente para esto. El agua fluirá más rápido a través de la abertura, luego debido a esto la válvula debe cerrarse súbitamente por sí misma. Cuando esto ocurra

debe presionarse inmediatamente para reabrir la válvula, se sentirá un punto después de cerrar, en el cual la válvula abre fácilmente. Mantener ésta ayuda a la válvula durante varios ciclos y luego verificar que funcione normalmente sin ayuda.

### 5.3.3 Detención del Sistema.

Para detener el funcionamiento de la bomba, debe cerrarse la válvula de la tubería de suministro o mantener cerrada la válvula de impulso. El cierre de la válvula debe realizarse lentamente para evitar el golpe de ariete en la compuerta de la misma, lo que podría ocasionar daños a la misma.

### 5.3.4 Calibración de la Bomba.

La calibración de la bomba dependerá de la altura de bombeo y del caudal de suministro, debiéndose obtener el mayor caudal posible. Para obtener un mayor caudal se deben tener ciclos de bombeo rápidos, sin embargo la altura de bombeo determina la velocidad del ciclo, pues la disminución en el tiempo de cierre produce un aumento en la sobrepresión.

La calibración de la bomba de ariete busca optimizar los siguientes puntos:

- **Punto de Bombeo Máximo:** Cuando se dispone de suficiente agua de la fuente la calibración para un mayor servicio es la ideal. Esto coincide con una larga duración del ciclo de bombeo o una alta presión en la fuente, permitiendo una mayor velocidad del flujo de agua a través de la tubería de suministro y por ende una mayor energía disponible para el servicio. Sin embargo debe tomarse en cuenta que una mayor energía del fluido se traduce en un aumento de la probabilidad de falla de la bomba.
- **Punto de Eficiencia Máxima:** Cuando la cantidad de agua en la fuente es limitada, debe procederse a calibrar la bomba en el punto de eficiencia máximo, para tratar de aprovechar toda la energía disponible de la fuente. El punto de eficiencia máximo se logra cuando se utiliza un mínimo del caudal y carga de suministro, para bombear la mayor cantidad posible de agua y a una mayor altura.

La calibración de la válvula depende de las condiciones dadas por la fuente y el lugar. Para mayor caudal, la apertura de la válvula de impulso debe ser relativamente pequeña y la fuerza producida por el resorte debe ser menor, lo que se traduce en una reducción del tiempo del ciclo de bombeo. En el caso de requerir mayor altura de servicio, la apertura de la válvula de impulso debe ser mayor, permitiendo un golpe de ariete más efectivo, es decir, un golpe de ariete de mayor energía al permitir un mayor aumento de la velocidad del flujo de agua en la tubería de suministro. La calibración para ambas situaciones se efectúa de la siguiente forma:

1. Si se desea un buen caudal y no mucha altura, se hace funcionar la bomba de modo que el tornillo eje esté lo más atornillado posible y el resorte lo menos rígido posible, de modo que el funcionamiento de la bomba sea rápido. Esta graduación dependerá de la altura de descarga y del caudal de suministro.
2. A medida que abrimos más la válvula (desatornillando el tornillo eje) y comprimimos el resorte se obtendrá un ciclo de golpes más lento, por lo que se tendrá un aumento en la sobrepresión, esto disminuye el caudal de descarga pero aumenta la altura de bombeo.

### 5.3.5 Mantenimiento

Periódicamente se debe vaciar el contenido de agua dentro de la cámara de aire para asegurar un adecuado volumen de aire dentro de la misma. Éste procedimiento debe realizarse a través de la válvula de mantenimiento, colocada entre la salida de la bomba y la tubería de descarga. Deteniendo el sistema, cerrando la válvula de la tubería de succión y cerrando la de la tubería de descarga, se abre la válvula de mantenimiento lentamente, liberando gradualmente el contenido de la cámara de aire. Luego de vaciada la cámara de aire, se cierra la válvula de mantenimiento y se revisan todos los elementos de unión y los de fijación (tornillos) percatándose de que estén bien apretados, luego se inicia el funcionamiento de la bomba.

El periodo de mantenimiento debe ser determinado por los usuarios de la bomba, dependiendo de las condiciones a las que esté sometida la bomba, es decir, si se observa una disminución en la presión de bombeo o en el caudal de descarga o incluso si se detiene el sistema.

### **5.4 Descripción de las Pruebas**

Luego de instalar correctamente la bomba y los componentes del sistema, se pone en funcionamiento la misma. Puesto que se pretende determinar cual es la máxima altura de bombeo dado una altura de caída, se selecciona el mejor resorte (de un grupo de tres) probándolos en la bomba con la válvula de descarga cerrada y obteniendo la mayor presión posible; la graduación de la válvula se hace como se indicó en la sección 5.3.4.

1. Luego de determinar cual es el mejor resorte se procede a anotar la máxima presión obtenida.
2. Se abre la válvula de descarga hasta hacer descender la presión indicada en el manómetro.
3. Se determina el caudal de descarga, el que se pierde en la válvula de impulso, la presión y el número de ciclos por minuto (se repiten las mediciones 3 veces).
4. Se toman nota de los datos y se repiten los pasos 2 y 3, hasta obtener una cantidad de puntos adecuado para la graficación.
5. Se detiene la bomba y se repiten las pruebas anteriores desde la presión máxima (paso 1).

### 5.4.1 Datos Obtenidos

	P <sub>4</sub>		Q <sub>T1</sub>	Q <sub>T2</sub>	Q <sub>T3</sub>	Q <sub>Tpromedio</sub>	Q <sub>P1</sub>	Q <sub>P2</sub>	Q <sub>P3</sub>	Q <sub>Ppromedio</sub>	f
	(psi)	(mH <sub>2</sub> O)	(lts/min)								(ciclos/min)
1	11	7,74	36,25	36,47	36,59	36,44	12,77	13,04	12,9	12,90	150
2	12	8,45	33,61	32,26	32,88	32,92	10,80	10,18	10,6	10,53	182
3	15	10,56	34,38	36,81	36,81	36,00	9,07	8,55	8,62	8,75	196
4	15	10,56	35,82	34,78	35,29	35,30	7,41	7,54	7,48	7,48	198
5	20	14,08	35,82	36,92	36,36	36,37	5,04	5,22	5,22	5,16	220
6	21	14,78	31,58	32,17	31,75	31,83	4,55	4,63	4,5	4,56	206
7	25	17,59	38,10	33,80	33,71	35,20	3,46	3,44	3,38	3,43	208
8	29	20,41	32,09	31,61	31,91	31,87	2,44	2,51	2,45	2,47	118
9	36	25,34	33,33	34,99	34,09	34,14	1,29	1,29	1,28	1,29	184
10	41	28,85	28,85	29,93	29,06	29,28	0,99	0,99	1	0,99	200
11	45	31,67	29,63	29,90	29,78	29,77	0,63	0,62	0,62	0,62	186
12	55	38,71	29,07	30,53	28,57	29,39	0,20	0,20	0,21	0,21	175
13	58	40,82	31,58	32,43	30,00	31,34	0,18	0,17	0,18	0,18	186

### 5.4.2 Cálculos Tipo

a) Para calcular h, procedemos según la Ec. (16),

$$h := \frac{P_4}{w} + z_4 - z_0$$

donde  $z_0 = 3\text{m}$  y como no se utilizó un visor de nivel, se calculará teóricamente el valor  $z_4$ , según la ecuación de los gases ideales.

Tomando como altura de la cámara de aire  $H_1 = 0,75\text{m}$ , se tiene que:

$$V_2 := \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2}$$

$$V_1 := H_1 \cdot A$$

$$A := 3.1416 \frac{(0.075\text{m})^2}{4}$$

$$A = 4.418 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \blacksquare$$

$$V_1 = 3.313 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \blacksquare$$

$$H_2 := \frac{V_2}{A}$$

$$H_2 = 0.429 \text{ m} \blacksquare$$

$$z_4 := H_1 - H_2$$

$$z_4 = 0.321 \text{ m} \blacksquare$$

$$\Rightarrow h = 5.051 \text{ m} \blacksquare$$

b) De la Ec. (18) calculamos la Eficiencia Hidráulica,

$$e = \frac{P_p}{P_T} = \frac{Q_p w h}{Q_T w H} = \frac{Q_p h}{Q_T H}$$

$$e := \frac{12.95.051}{36.443}$$

$$e := 59.6\%$$

c) Para obtener la razón de caudal bombeado respecto al utilizado por la bomba, calculamos la Eficiencia Volumétrica,

$$e_v = \frac{Q_p}{Q_T + Q_p}$$

$$\Rightarrow e_v = \frac{1290}{3644+1290} * 100 = 26.15\%$$



d) Las Eficiencias Hidráulicas teóricas son calculadas según la Ec. (45), para relaciones  $(V_m/V_3)^2$  de 0,9, 0,7 y 0,5.

$$e := \frac{5.06 \log \left( 1 + 0.9 \cdot \frac{3}{5.06} \right)}{3 \cdot \log \left( \frac{1}{1 - 0.9} \right)}$$

$$e := 31.3\%$$

e) De la Ec. (14) tenemos, la tasa de energía mecánica usada para hacer funcionar la bomba:

$$P_T := 9800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}^2} \cdot 3\text{m} \cdot 36.44 \frac{\text{L}}{\text{min}} \frac{1\text{L} \cdot \text{min}}{60\text{s} \cdot 1000\text{m}^3}$$

$$P_T = 1.786 \times 10^{-5} \text{ W} \blacksquare$$

f) De la Ec. (17) tenemos, la tasa de energía mecánica suministrada al fluido bombeado:

$$P_p := 9800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}^2} \cdot 5.06\text{m} \cdot 12.9 \frac{\text{L}}{\text{min}} \frac{1\text{L} \cdot \text{min}}{60\text{s} \cdot 1000\text{m}^3}$$

$$P_p = 1.066 \times 10^{-5} \text{ W} \blacksquare$$

g) para calcular las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach,

$$h_f := f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

donde el factor de fricción  $f$ , fue calculado con la ecuación de Swamee,

$$f := \frac{0.25}{\left( \log \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right)^2}$$

con

$$k := 0.102 \text{ mm} \quad D := 0.01905 \text{ m} \quad v := 1.007 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

y  $V$  se calcula a partir de la ecuación de continuidad, para la descarga

$$f_0 = 0.037 \blacksquare$$

$$h_{f_0} = 0.435 \text{ m} \blacksquare \quad \left| \right.$$

h) Pérdidas por Entrada

$$\Delta H = K \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

con  $k = 0,5$

i) La frecuencia de ciclos también fue calculada, según la Ec. (47), donde

$$V_3^2 = \frac{2gH}{M}$$

y  $M$  se calcula según la ecuación siguiente, con  $K_e=0,5$  y  $K_d=1$

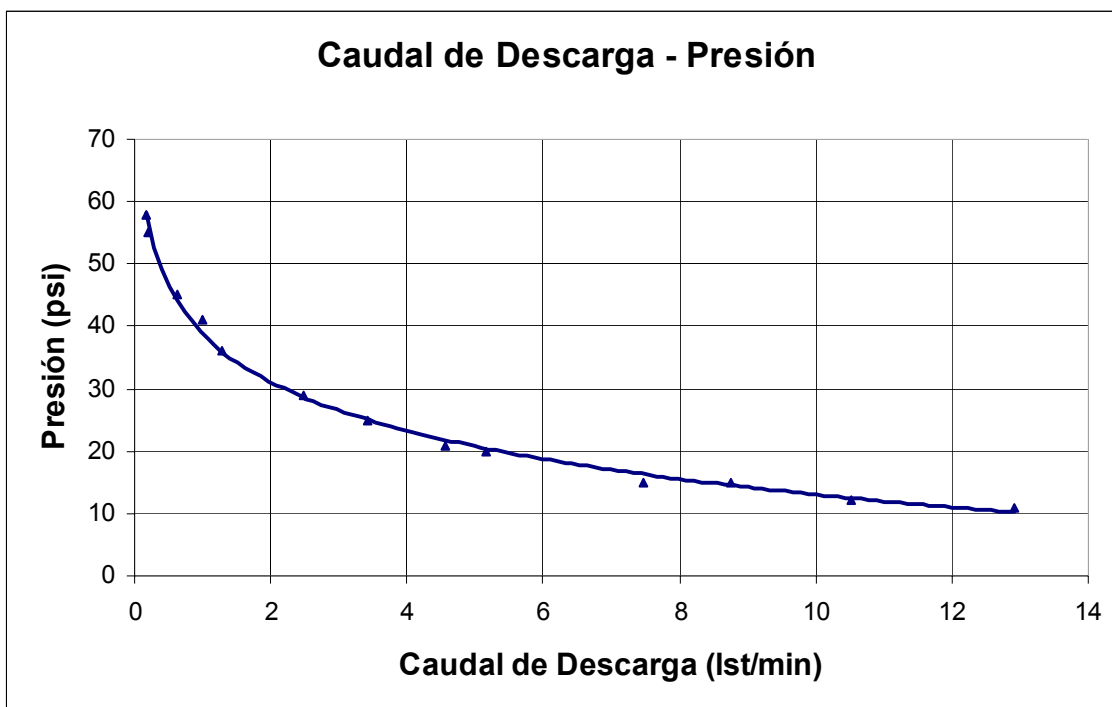
$$M = \left( \frac{A}{A_3} \right)^2 + f \frac{L}{D} + K_e + K_d$$

## CAPITULO V : Instalación y Pruebas

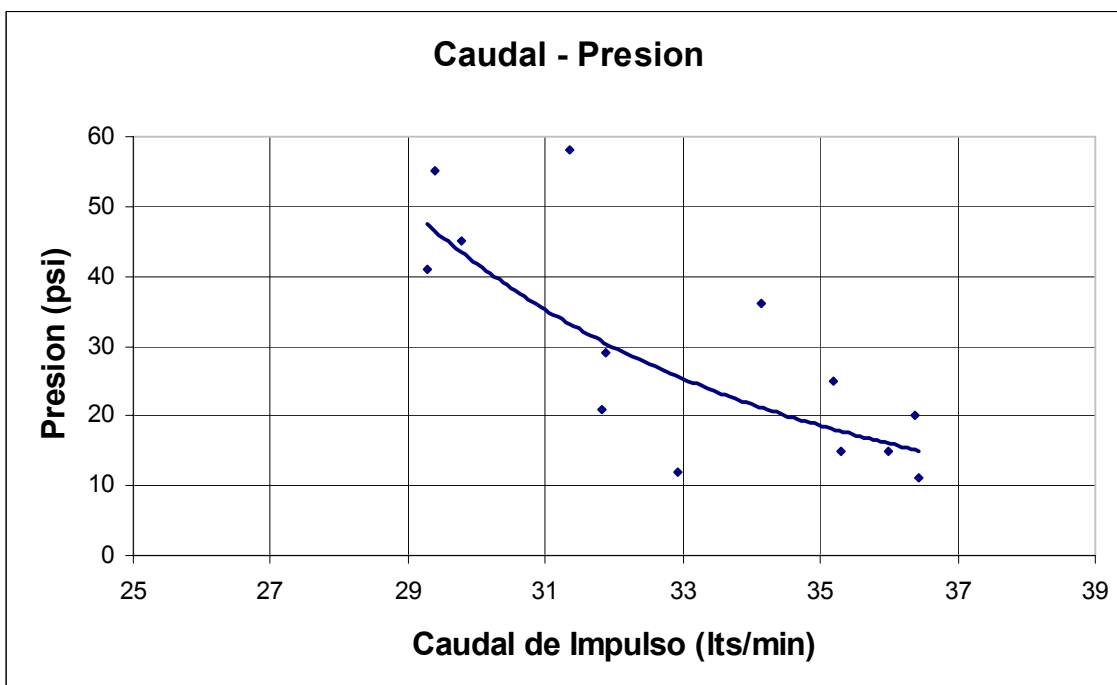
Presión	$z_4$	$h$	$e_h$	$e_v$	$(h_f)$	$(h_e)$	$Z$ (estimado)	$P_T$	$P_P$
(mH <sub>2</sub> O)	(m)		(%)			(m)		(w)	
7,74	0,32	5,06	59,76	26,15	0,4350	1,45E-02	7,61	17,87	10,68
8,45	0,34	5,78	61,64	24,23	0,3250	9,65E-03	8,45	16,15	9,95
10,56	0,38	7,94	64,26	19,54	0,2880	6,66E-03	10,64	17,66	11,35
10,56	0,38	7,94	56,01	17,48	0,2160	4,87E-03	10,71	17,31	9,70
14,08	0,43	11,51	54,42	12,43	0,1470	2,32E-03	14,36	17,84	9,71
14,78	0,44	12,22	58,32	12,52	0,1240	1,81E-03	15,09	15,61	9,11
17,59	0,47	15,07	48,87	8,87	0,0890	1,02E-03	17,98	17,27	8,44
20,41	0,50	17,91	46,19	7,18	0,0580	5,30E-04	20,85	15,63	7,22
25,34	0,53	22,87	28,74	3,63	0,0240	1,44E-04	25,84	16,74	4,81
28,85	0,55	26,41	29,77	3,27	0,0180	8,54E-05	29,39	14,36	4,27
31,67	0,57	29,24	20,40	2,05	0,0090	3,38E-05	32,23	14,60	2,98
38,71	0,59	36,30	8,45	0,69	0,0021	3,67E-06	39,30	14,42	1,22
40,82	0,60	38,42	7,27	0,56	0,0018	2,76E-06	41,42	15,37	1,12

Presión	Eficiencia Teórica ( $V_m/V_s$ ) = 0,9	Eficiencia Teórica ( $V_m/V_s$ ) = 0,7	Eficiencia Teórica ( $V_m/V_s$ ) = 0,5
(mH <sub>2</sub> O)	(%)		
7,74	39,84	63,89	81,04
8,45	40,72	64,84	81,71
10,56	42,55	66,76	83,04
10,56	42,55	66,76	83,04
14,08	44,25	68,48	84,19
14,78	44,48	68,72	84,34
17,59	45,22	69,44	84,81
20,41	45,74	69,94	85,13
25,34	46,35	70,53	85,51
28,85	46,66	70,82	85,69
31,67	46,85	71,00	85,81
38,71	47,21	71,34	86,02
40,82	47,29	71,41	86,06

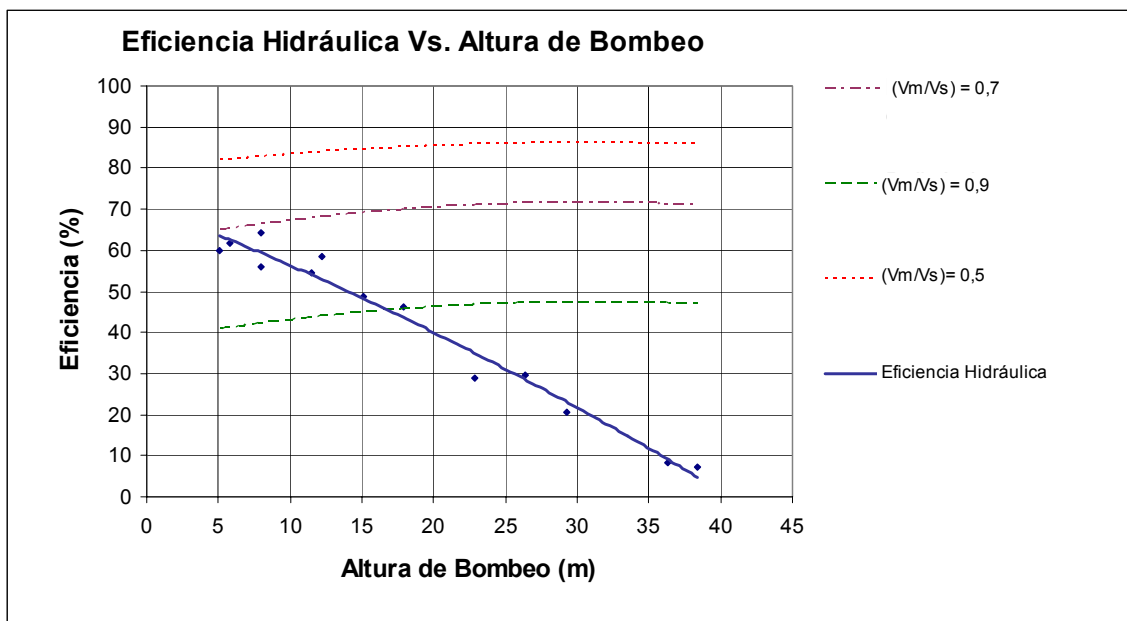
### 5.4.3 Gráficas



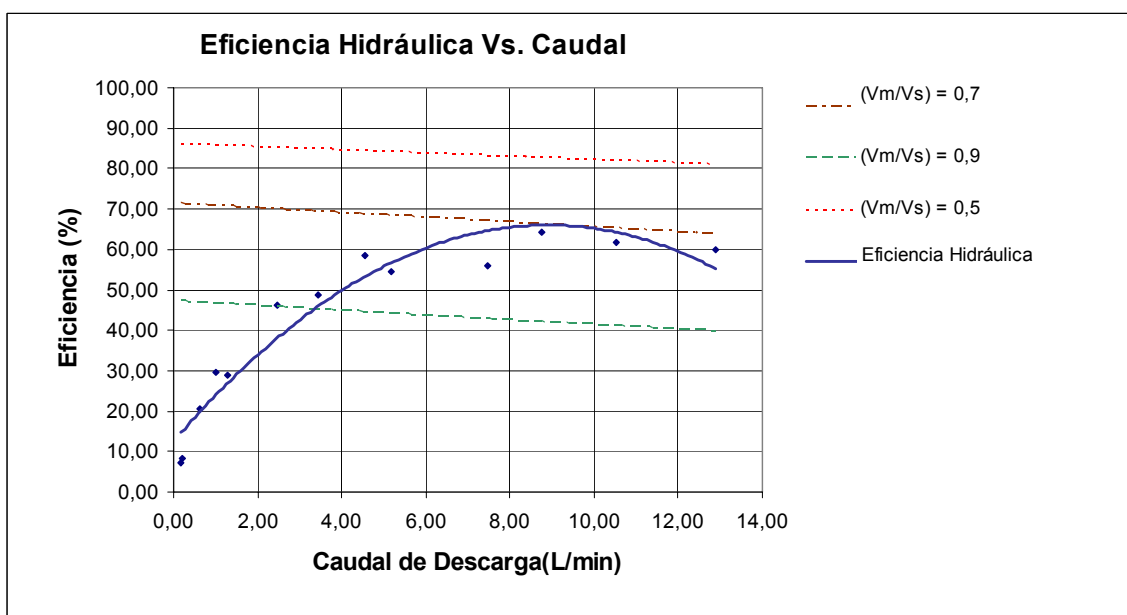
Gráfica N° 1



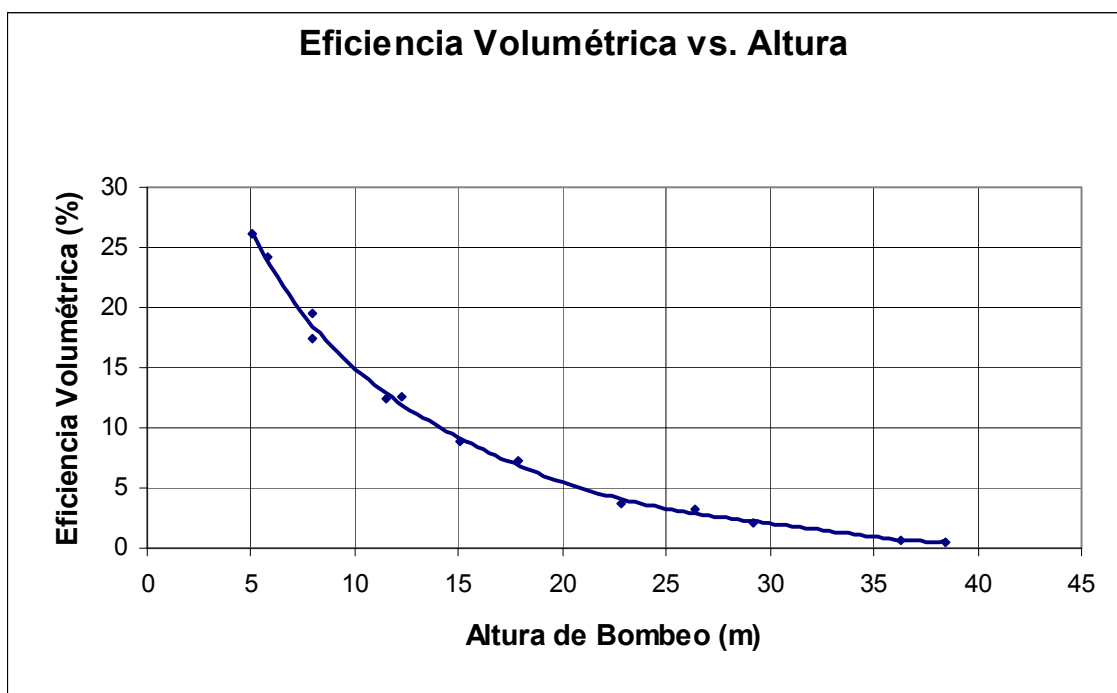
Gráfica N° 2



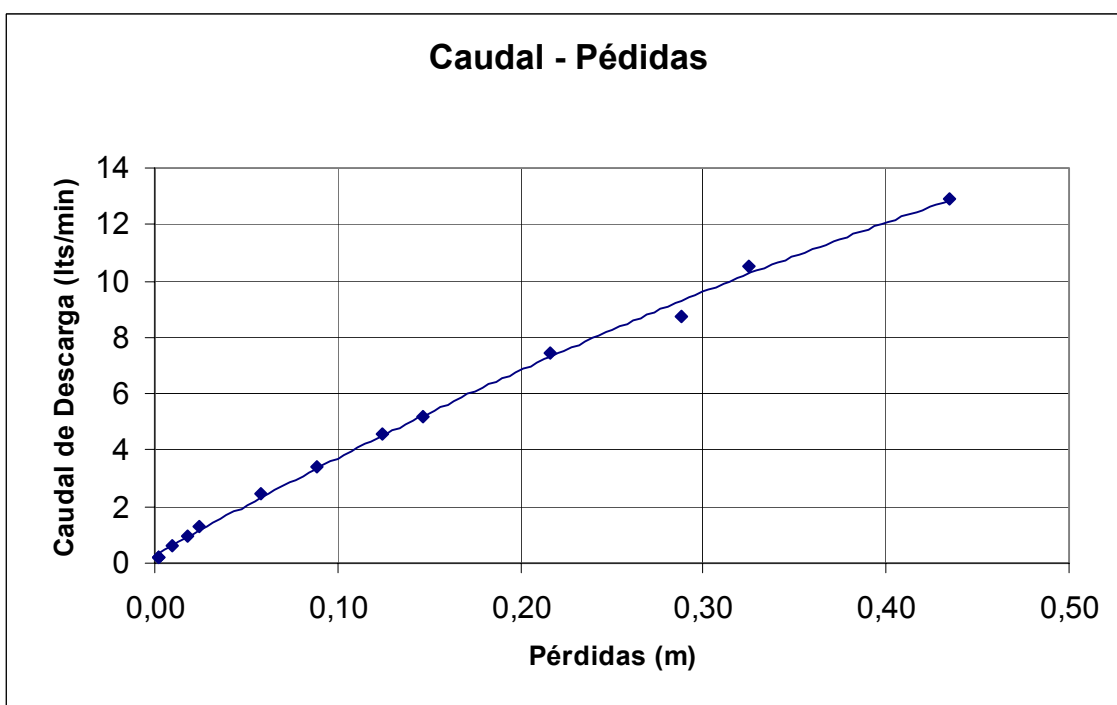
Gráfica N° 3



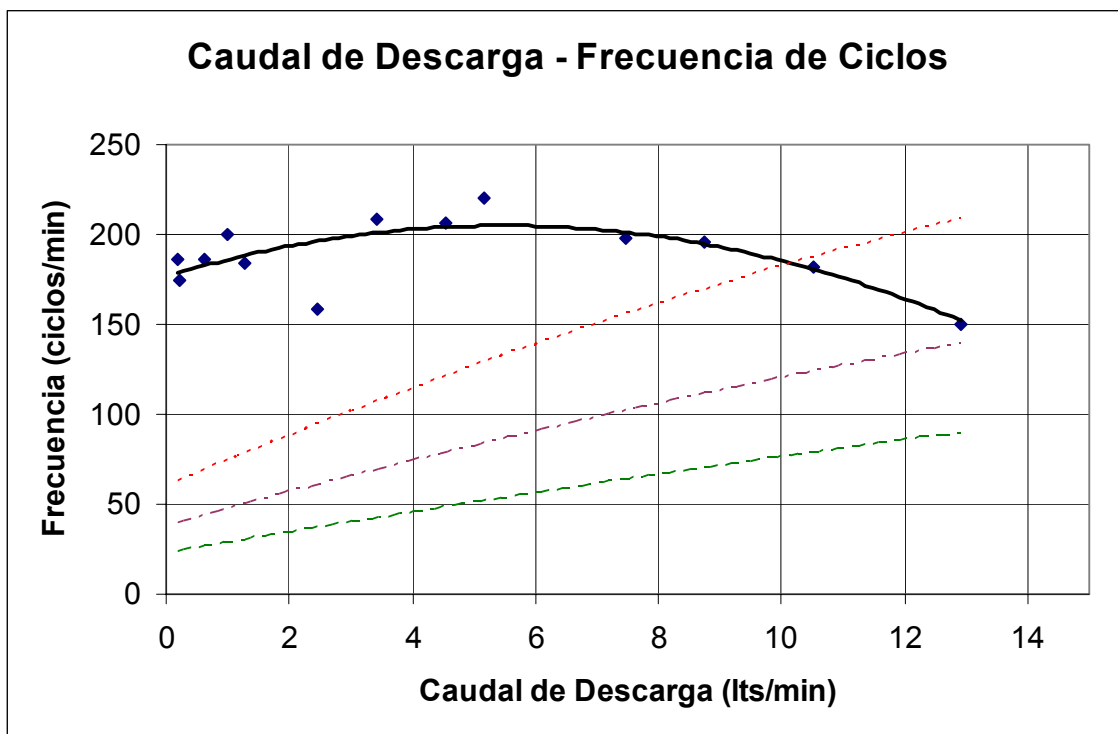
Gráfica N° 4



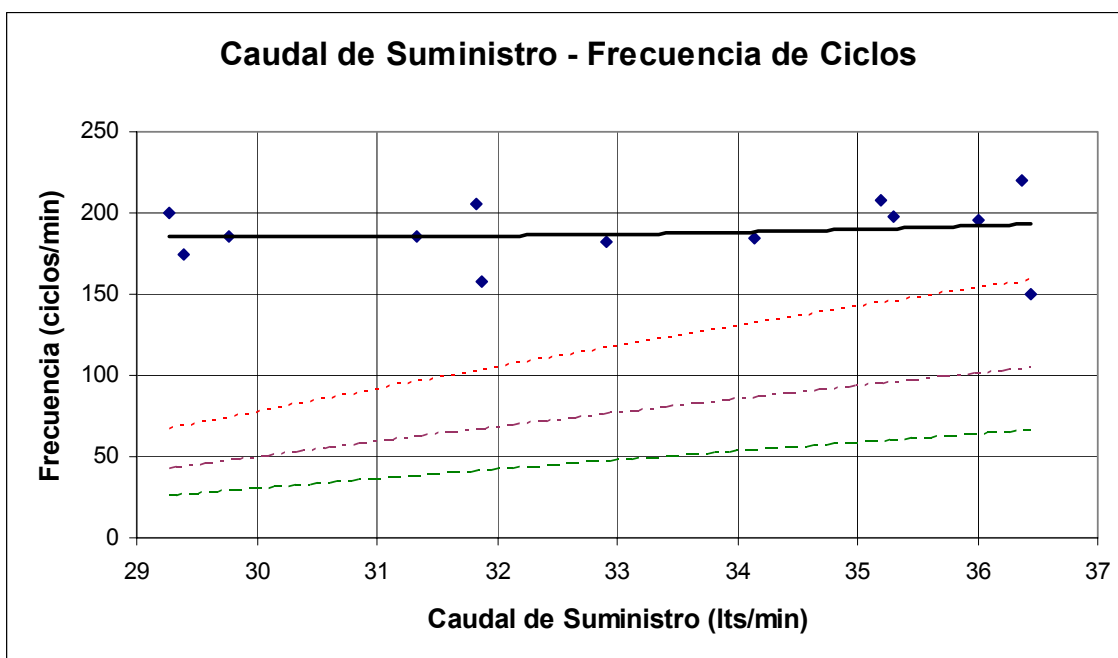
Gráfica N° 5



Gráfica N° 6



Gráfica N° 7



Gráfica N° 8

#### 5.4.4 Análisis de Resultados

De los datos obtenidos y las gráficas se pueden deducir los siguientes puntos de discusión:

1. El caudal de descarga aumenta al disminuir la presión en la cámara de aire (se disminuye la altura de bombeo), ya que el golpe de ariete es menor. Al ser menor la altura de bombeo, la frecuencia de ciclo es mayor , debido a que la energía necesaria para desplazar fluido desde la tubería de impulso a través de la válvula de descarga es menor y este aumento de frecuencia aumenta el caudal.
2. El caudal de impulso se ubicó en un rango muy reducido, aunque se observó una pequeña tendencia hacia el aumento al disminuir la presión en la cámara de aire.
3. La frecuencia de ciclos se mantuvo relativamente constante respecto a los caudales de suministro y descarga, aunque según las curvas teóricas esta frecuencia debía aumentar con los caudales. El gran flujo de agua disponible, la poca longitud de tubería y el hecho de tener un tornillo eje muy corto influye en el hecho de obtener altas frecuencias de golpe, esto es beneficioso respecto a la eficiencia, pues aumenta el caudal bombeado a su máximo, sin embargo si se desean altas alturas de bombeo la frecuencia debe disminuir.
4. Efectivamente se observaron curvas de eficiencia relativamente diferentes a las esperadas teóricamente, sin embargo se puede deducir de estas gráficas que el diseño de la bomba es para bajas alturas de bombeo y altos caudales, pues la eficiencia cae notablemente con el aumento de la altura (disminución del caudal). Se observan eficiencias superiores a 55% con caudales de entre 7 y 13 lts/min y cuyas alturas llegan a los 15 m.
5. La máxima presión alcanzada fue de 110 psi, equivalente a 77 mH<sub>2</sub>O, lo que se presume que haciendo los ajustes necesarios y recomendados al sistema se pueden alcanzar alturas considerables, aunque notablemente con poco caudal.



6. Las pérdidas deben ser minimizadas al mínimo, mediante la utilización de materiales y diseños adecuados, sin embargo la necesidad de utilización de elementos comerciales y económicos produjo las pérdidas de descarga observados en el gráfico N° 6, los cuales aumentan con el caudal de descarga, es decir, con la disminución de la altura. Esto ocurre debido a que al aumentar la altura de bombeo se tienen caudales, y consecuentes velocidades, menores en el fluido transportado.

### Conclusiones

- La alta frecuencia de ciclos produce una disminución de la sobrepresión producida por el golpe.
- La frecuencia de ciclos está directamente relacionada con la longitud del tornillo eje de la válvula de impulso. Las altas frecuencias de ciclo son producidas por la corta longitud del tornillo eje utilizado (que es inferior al diseñado).
- La alta frecuencia de ciclos está directamente relacionada con la baja relación  $L/D$  de la tubería de succión.
- A medida que exigimos mayor altura en la descarga de la bomba (mayor presión de descarga), se bombea menos agua, ya que por menos tiempo se abre la válvula de retención.
- Se obtuvieron buenos rendimientos y muy bajos costos de fabricación, lo que hace competitivo nuestro diseño frente a otros sistemas similares vendidos comercialmente.
- Mientras mejor se fije la bomba para evitar vibraciones, se reduce las pérdidas de energía por disipación.
- Concluimos que no es factible la instalación de una bomba de ariete directamente desde el río “Las Comadres” hasta la población de Guareguare debido a la diferencia de cotas.

## Propuestas Alternativas

Dado que el sistema diseñado en la tesis no soluciona las necesidades de agua de la comunidad de Guareguare, a continuación plantearemos varias alternativas.

El agua para el consumo humano y riego de Guareguare se puede obtener de fuentes externas al municipio Guaicaipuro, o bien de fuentes que se encuentren en el propio municipio, una de las alternativas sería la instalación, por parte de Acueductos Rurales, de un sistema de tuberías y suministro de agua.

Si se opta por utilizar el agua del municipio, nos encontramos con la necesidad de instalar un sistema de tratamiento de aguas para cualquiera de las quebradas aledañas a la comunidad que se tome como fuente, ya que las mismas tienen diversos grados de contaminación, producto de labores agropecuarias en la zona. También se debe detener la deforestación en las cuencas de las quebradas, porque esto disminuye el nivel freático y en consecuencia el caudal de la quebrada.

Para el sistema de bombeo de agua se plantea la instalación de una o más bombas con capacidad para elevar el caudal requerido a la altura deseada. Este caudal sustraído de la quebrada seleccionada, debe ser previamente determinado mediante un estudio hídrico, geológico y de la cuenca, para evitar causar daños ecológicos, como la disminución de la vegetación o la fauna de la zona.

Este sistema de bombeo planteado se debe alimentar de corriente eléctrica o de combustible (gasoil), para lo cual se tienen las siguientes alternativas:

**Máquinas Eólicas (Aerogeneradores y Molinos para bombear agua) :** Por tratarse de una zona montañosa, nos encontramos con vientos fuertes que pudiesen utilizarse para la generación de electricidad.

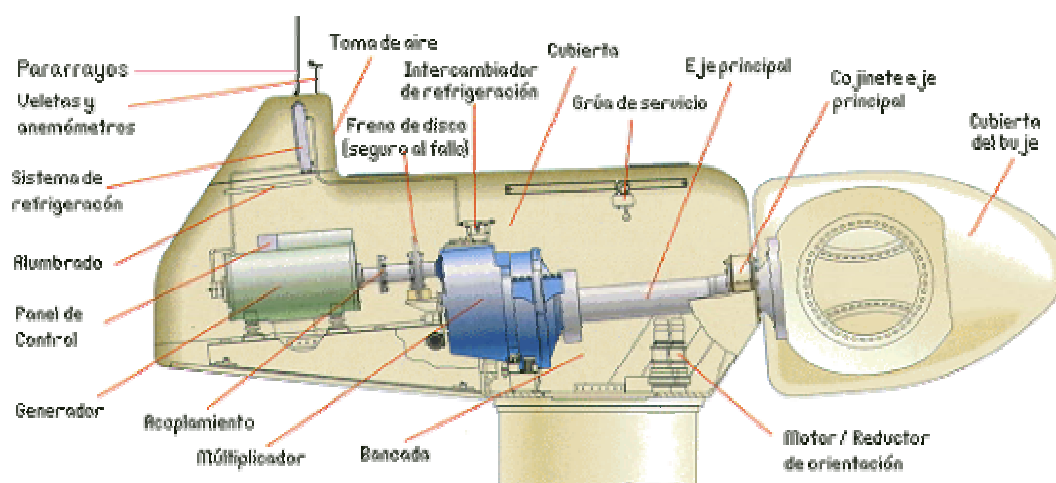
Los generadores de turbina de viento tienen varios componentes. El rotor convierte la fuerza del viento en energía rotatoria del eje, una caja de engranajes aumenta la velocidad y un generador transforma la energía del eje en energía eléctrica.

En algunas máquinas de eje horizontal la velocidad de las aspas puede ajustarse y regularse durante su funcionamiento normal, así como cerrarse en caso de viento excesivo.

Otras emplean un freno aerodinámico que con vientos fuertes reduce automáticamente la energía producida.

Las máquinas modernas comienzan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de unos 19 km/h., logran su máximo rendimiento con vientos entre 40 y 48 km/h. y dejan de funcionar cuando los vientos alcanzan los 100 km/h. Los lugares ideales para la instalación de los aerogeneradores son aquellos en los que el promedio anual de la velocidad del viento es de al menos 21 km/h.

La energía eólica, que no contamina el medio ambiente con gases ni agrava el efecto invernadero, es una valiosa alternativa frente a los combustibles no renovables como el carbón y el petróleo.



Los molinos para bombear agua tienen un elevado momento de torsión y una baja velocidad. Son frecuentes en zonas rurales y se emplean para drenar agua del subsuelo. Basan su funcionamiento en que, una pieza rotatoria donde van instaladas varias aspas, hace girar los engranajes que activan una bomba de pistón.

El parámetro más significativo en la elección de una zona para instalar una máquina eólica es la velocidad del viento. Un buen molino comienza a funcionar con una velocidad del viento de 2 a 2,5 m/seg. para accionar bombas o los elevadores de agua y a partir de 3 a 4 m/seg. si se trata de aerogeneradores. Con dispositivos especiales se mantiene constante la potencia para velocidades comprendidas dentro de un amplio intervalo (por ejemplo,

entre 2 y 12 m/seg.) y se interrumpe su funcionamiento para velocidades del viento superiores a 18-20 m/seg.



La instalación racional de un generador implica, por tanto, un conocimiento lo más amplio posible de las condiciones climatológicas, relativas a la frecuencia e intensidad de los vientos, los periodos de calma, etc. Por lo general son buenos todos los emplazamientos situados a gran altura sobre el suelo, mientras que a poca altura el viento varía mucho con las características del lugar y su entorno.

Si el viento sopla de modo constante y con suficiente intensidad durante ocho o nueve meses al año, el emplazamiento será excelente. La suficiente intensidad depende de las necesidades energéticas.

*Algunos aspectos técnicos de interés:* La potencia suministrada por un aerogenerador, depende de la superficie barrida por la hélice y, por tanto, de la longitud de las palas y es independiente del número de palas.

La energía que origina el viento es energía cinética, es decir, debida a la masa del aire en movimiento:

$$Ec = 1/2mv^2$$

donde m es la masa del aire en kg. y v es la velocidad instantánea del viento (metros/segundo). La masa de esta cantidad de aire es:

$$m = \rho \cdot V$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire 1,25 Kg./m y V el volumen del cilindro barrido.

El volumen del cilindro es  $V=A.L$  donde A es la superficie barrida y L la longitud del cilindro, que es un espacio y por tanto es igual a una velocidad (la del viento) por un tiempo (en segundos).

$$L=v.t$$

Con todo ello nos queda que la energía es igual a:

$$Ec=1/2\rho.V.v^2=1/2\rho.A.L.v^2=1/2\rho.A.v.t.v^2=1/2\rho.A.v^3.t$$

Por tanto la potencia teórica del viento será:

$$P=Ec/t=1/2\rho.A.v^3$$

Si el área barrida transversalmente por el viento es circular, como ocurre en todas las máquinas eólicas de eje horizontal,

$$A=p.D^2/4$$

siendo D el diámetro, por lo que la potencia disponible será:

$$P=p/8\rho.D^2.v^3$$

*Algunos problemas ecológicos:* Si bien el uso de la energía eólica a pequeña escala no plantea problemas de contaminación ambiental, su utilización masiva en maquinas gigantes ha sido estudiado cuidadosamente y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), en un informe técnico emitido en 1981, señala como impedimentos ambientales al uso de los grandes generadores eólicos los siguientes por orden de importancia:

- Interferencias electromagnéticas que distorsionan las señales de televisión en un área de hasta 5 Km.
- Estética, aunque este aspecto es muy subjetivo y viene influido por muchos factores.
- Ruido, se han realizado muchos estudios acerca de los efectos de los infrasonidos (frecuencia inferior a 16 Hz) y de los sonidos audibles (frecuencia entre 16 Hz y 20

Khz) producidos por un generador eólico. Los infrasonidos pueden afectar al sistema respiratorio del hombre y causan molestias y náuseas. Los sonidos audibles pueden afectar al oído humano y al sistema nervioso.

- Cambios micro climáticos, no son significativos a no ser que se coloquen muchos generadores próximos unos a otros.
- Migraciones de pájaros, no son significativos.

Las características físicas de un buen emplazamiento pueden resumirse en las normas siguientes:

- Poseer una alta velocidad media anual de los vientos de la zona.
- Ausencia de grandes obstáculos en 2 ó 3 Km. en la dirección dominante del viento.
- Estar localizado en la parte alta de una colina de pendientes suaves y redondeadas, o en una isla, sobre el agua de un lago o del mar.
- Estar situado en una llanura abierta o en una costa no accidentada.

Guareguare cumple con algunas de las normas indicadas, sin embargo se debe realizar el estudio de los vientos y condiciones climatológicas de la región, para determinar la factibilidad de instalación de este sistema. Obviamente este proyecto debe estar económicamente y ecológicamente justificado respecto a las otras propuestas aquí indicadas.

**Paneles Solares** (*Sistema fotovoltaico*): Estos paneles podrían instalarse en terrazas hechas con este propósito, en las filas de los cerros más altos de la localidad, y de allí transportar la energía eléctrica hasta la ubicación de la estación de bombeo, en la quebrada seleccionada.

Con el sistema fotovoltaico se transforma la luz solar en electricidad. Esta conversión directa se realiza mediante unas sustancias especiales llamadas semiconductores. La luz interacciona con los electrones del semiconductor y provoca el movimiento de algunos de ellos; en el lugar de donde sale un electrón aparece un hueco con carga positiva. Si se mueve un electrón próximo a este hueco lo ocupará, dejando un nuevo

hueco positivo. El movimiento de estas cargas produce una corriente eléctrica que puede utilizarse como fuente de energía. La sustancia semiconductor más utilizada es el silicio.

Los aparatos que llevan a cabo esta conversión reciben el nombre de células fotovoltaicas, las cuales generan una tensión de salida que es proporcional a la intensidad de la luz incidente sobre las mismas. Por consiguiente, estos dispositivos son convertidores directos de energía luminosa en energía eléctrica.

Todas las células fotovoltaicas comerciales son del tipo de unión. Su funcionamiento básico es el siguiente: los fotones de la luz ejercen su acción sobre la unión PN, provocando un movimiento de pares electrón-hueco que dará lugar a una corriente eléctrica en carga.

Un panel solar fotovoltaico es una fuente de energía de corriente continua, constituido por varias células solares conectadas en serie o en paralelo, o en ambos modos, para que entregue cantidades útiles de potencia (tensión o intensidad) cuando es iluminado por la luz solar.

Tales paneles se utilizan en multitud de aplicaciones, desde la alimentación de los circuitos de los satélites espaciales, hasta para dar suministro eléctrico a una vivienda, o en nuestro caso, para poner en funcionamiento una bomba eléctrica.

Al igual que en la recomendación anterior, esta forma de energía alternativa puede implicar altos costos, además de requerir un estudio climatológico para la determinación de la cantidad de energía solar recibida en la zona anualmente.





**Electricidad Comercial:** Se podría alimentar la estación de bombeo con electricidad proveniente de la compañía eléctrica que cubre el estado Miranda, siempre y cuando la misma extienda sus servicios hasta la ubicación de la bomba.

**Generador Eléctrico con Motor a Gasoil:** Este sistema requiere un mantenimiento mayor que las anteriores, y el consumo de combustible es elevado. No debería estar encendida continuamente, sino por períodos del día, lo que implicaría que la bomba debe ser de mayor capacidad que las anteriores para suministrar la misma cantidad de agua al día. Necesitaría de una vía de acceso para vehículos en los cuales se transportaría el combustible, y necesitaría un tanque para el mismo.

El costo de mantenimiento, así como el nivel de ruido y la contaminación pueden representar un problema para la ecología de la región.

En cuanto a la fuente, se necesitaría construir un dique que nos permita controlar el nivel de agua en el mismo y el perfecto funcionamiento de la(s) bomba(s). Este estudio deben realizarlos geólogos, geofísicos e ingenieros civiles.

Tanto el estudio del agua para su tratamiento como el de la selección de la quebrada y el de la construcción del dique, deben realizarlos organismos especializados en la materia como la Universidad Central de Venezuela, en varias de sus Escuelas e Institutos, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Infraestructura, Hidrocapital, etc. En cuanto al diseño de cualquiera de las alternativas sugeridas se puede contar con las Escuelas de Ingeniería Mecánica y Civil de la UCV.

El diseño y construcción de la alternativa más factible, pudiese ser cubierto por organismos del Estado como Acueductos Rurales, Ministerio de Infraestructura, Fondo Único Social, Gobernación de Miranda, Alcaldía de Guaicaipuro, entre otros.

Aunque el principal objetivo de este estudio es el plantear soluciones para el suministro de agua a la población de Guareguare de una forma eficiente, nos inspira realmente las soluciones alternativas y no contaminantes, de modo a ser pioneros en nuestro país en la utilización de sistemas ecológicamente sustentables a gran escala en las zonas rurales del país.

## Recomendaciones

Referente a la bomba:

- Para mejorar el rendimiento se sugiere hacer una abertura mayor de salida en la válvula de impulso; esto se puede lograr disminuyendo la altura de la sección cónica y su ángulo.
- Se puede lograr una mayor sobrepresión, aumentando la longitud del tornillo eje utilizado (que fue inferior en 20mm al previsto), esto produce una frecuencia de ciclo menor.
- Aumentando la longitud de la tubería de suministro se logra disminuir también, la frecuencia de ciclos. En estudios anteriores [ref.2] se demostró que la relación de tubería de succión  $L/D$  debe estar en el rango de [150,1000]. En nuestras pruebas la razón fue de 180, que representa 7,6 m de longitud.
- Para la instalación del sistema se sugiere retirar el manómetro y la tapa de la cámara de aire, y colocar otra tapa sin perforaciones, para evitar fugas de aire entre la rosca del manómetro y la tapa. También se puede colocar un recipiente hidroneumático con cámara separada de aire y agua para evitar las pérdidas de aire y su necesaria reposición.
- Para aumentar el caudal de descarga, se debe aumentar el diámetro de la tubería de impulso y válvula de descarga, ya que, al ser mayor el área de entrada a la cámara de aire, mayor cantidad de fluido será desplazado a su interior, producto del aumento de presión por el golpe de ariete, esto se puede hacer también por el gran caudal con el que se cuenta.
- Se debe fijar muy bien la bomba (incluyendo tubería de suministro) para evitar pérdidas de energía mediante el movimiento de la misma.
- Se debe utilizar una válvula de descarga que ofrezca las menores pérdidas posibles.

Referente al Sistema:

- Dado que el sistema construido no es factible utilizarlo para una cota de descarga tan elevada (500m) sin ayuda de otro sistema, se debe promover que el mismo

satisfaga las necesidades de agua de las poblaciones cercanas al río , las cuales se sustentan de la agricultura.

- Se sugiere a la población solicitar ayuda a diversas instituciones (Alcaldías, Gobernación, Ministerios de Agricultura y Cría, Salud, Institutos de acueductos rurales, etc.) a fin de obtener el servicio eléctrico del que carecen. Este servicio podría ser utilizado para colocar bombas eléctricas como subestaciones de bombeo.

## Referencias Bibliográficas.

1. MENDEZ, Manuel Vicente. “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”. Caracas. Editorial Texto. 1ª Edición, 1994.
2. IVERSEN, H.W. “An Analysis of the Hydraulic Ram”. Journal of the Fluids Engineering. Pag. 191-196. Junio de 1975.
3. BENJAMÍN, Wylie E., Streeter Victor, 1978, “Fluid Transients”, McGraw Hill, Nueva York.
4. POTTER, Merle y C. WIGGERT David C. 1998 “Mecánica de Fluidos”. Prentice may, México. 2ª Edición, 1998.
5. SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. “Diseño en Ingeniería Mecánica”. McGraw-Hill, México. 5ª Edición, 1999.
6. PARMAKIAN, Jonh, 1963 “Waterhammer Analysis” Dover Publications Inc. NY U.S.A.
7. HI-RAM PUMP, “ The new, simple and economic pump” [www.Banford.com](http://www.Banford.com).
8. JOHNSTON, David, 2001 “Sustainable Solutions”, Jade Mountain. [www.Jademountain\renewable energy\articles and information](http://www.Jademountain\renewable energy\articles and information).
9. LIFEWATER, “designing a hydraulic ram pump”[www.Lifewater.org](http://www.Lifewater.org)
10. THE RAM COMPANY, “Pumping Water Without Electricity”  
[www.Theramcompany.com](http://www.Theramcompany.com)
11. TROY, Steve 2001 “What is Appropriate Technology? & Green Materialism and Psychological Pollution” [www.Jademountain\renewable energy\articles and information](http://www.Jademountain\renewable energy\articles and information).

## Nomenclatura Utilizada

$A$  = Área transversal del tubo ( $\text{m}^2$ ).

$a$  = Velocidad de la onda de presión (m/s)

$C_1$  = Factor de Colocación de Tubería (Adimensional)

$D$  = Diámetro de Tubería (m)

$E$  = Módulo de elasticidad del material del tubo ( $\text{N/m}^2$ ).

$e$  = Ancho de la pared del tubo (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$H$  = Altura en la Succión (m).

$h$  = Altura de Descarga (m)

$H_a$  = Elevación de la presión (m)

$K$  = Módulo de elasticidad volumétrica del agua ( $\text{N/m}^2$ )

$L$  = Longitud de la tubería. (m)

$P_T$  = Energía Mecánica en la tubería de Impulso (Joule)

$P_p$  = Energía Mecánica en la tubería de Descarga (Joule)

$Q_p$  = Caudal en la Descarga ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_T$  = Caudal en la Succión ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$t$  = Tiempo (seg)

$V$  = Velocidad (m/s)

$V_m$  = Velocidad media (m/s)

$w$  = Peso específico del agua ( $\text{N/m}^3$ ).

$Z_1$  = Altura piezométrica a la entrada del tubo (m)

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de la tubería

$\Delta\sigma_1$  = Esfuerzo Longitudinal en la pared del tubo ( $\text{N/m}^2$ )

$\Delta\sigma_2$  = Esfuerzo Circunferencial en la pared del tubo ( $\text{N/m}^2$ )

$\eta$  = Eficiencia del Sistema (Adimensional)

$\mu$  = Coeficiente de Poisson del material de las paredes del tubo (Adimensional)

## **Materiales: Propiedades**

### **- Acero Inoxidable AISI 304**

Dureza Brinell -160

Resistencia a la Tracción:  $50-70 \text{ kg/mm}^2$

Límite de Fluencia:  $>19 \text{ kg/mm}^2$

Resiliencia (DVM):  $15 \text{ kg/cm}^2$  Longitudinal

Alargamiento:  $>50\%$  (L=5d) Longitudinal

Densidad:  $7,9 \text{ gr/cm}^3$

### **- Acero Inoxidable AISI 316**

Dureza Brinell: 120

Resistencia a la Tracción:  $46-71 \text{ kg/mm}^2$

Límite de Fluencia:  $>20 \text{ kg/mm}^2$

Resiliencia (DVM):  $20 \text{ kg/cm}^2$  Longitudinal

Alargamiento:  $>45\%$  (L=5d) Longitudinal

Densidad:  $7,95 \text{ gr/cm}^3$

### **- Acero Galvanizado**

Modulo de elasticidad:  $E = 207 \text{ GPa}$

### **- Cobre**

Modulo de elasticidad:  $E = 119 \text{ GPa}$

### **- Hierro**

Modulo de elasticidad:  $E = 100 \text{ GPa}$

## Equipos de Medición

### - GPS (Global Positioning System)



Marca: GARMIN

Precisión: aprox. 15 metros (puede ser menor o mayor dependiendo del número de satélites y su posición)

Velocidad: 0.1 Nudos RMS Estado Estable

Tasa de Actualización: 1/seg, continuo

Tiempo de adquisición: 15 - 45 seg

Auto localización: aprox. 5 min

Numero de Satélites: máx. 12

### - Manómetro

Marca: CEWAL

Máxima Medición: 230 psi (16 bar)

Precisión: Clase 1,6

Elemento sensible: Manómetro tipo Bourdon con resorte “C” de Cobre.



**Nota:** Para la medición de cotas y longitud de tuberías se utilizaron mapas de la zona obtenidos en el Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”

Escala: 1 : 5000

Equidistancia Entre Curvas de Nivel: 5 mts

1. Análisis de Laboratorio
2. “NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE” publicado en la Gaceta Oficial N° 36.395 de fecha 13/02/1998





**PLANTA EXPERIMENTAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - UCV**  
**LABORATORIO ANALÍTICO**

**TABLA 1**  
**METODOLOGÍA ANALÍTICA**

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Color	Comparación Visual	2120 B
Turbiedad	Nefelométrico	2130 B
Conductividad Específica	Conductímetro	2510 B
Sólidos Totales	Gravimétrico	2540 B
Sólidos Disueltos Totales	Gravimétrico	2540 C
Sólidos Suspen. Totales	Diferencia	
pH	Electrométrico	4500-H <sup>+</sup> B
Alcalinidad	Titulométrico	2320 B
Dureza	Cálculo	2340 B
Índice de Langelier	Cálculo	2330 B
Calcio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Ca B
Magnesio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Mg B
Sodio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Na B
Potasio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-K B
Cloruros	Cromatografía Iónica	4500-Cl <sup>-</sup> F
Sulfatos	Cromatografía Iónica	4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> B
Nitritos	Cromatografía Iónica	4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> C
Nitratos	Cromatografía Iónica	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> C
Fosfatos	Cromatografía Iónica	4110-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> B
Coliformes Totales	Filtración por Membrana	9222 B
Coliformes Fecales	Filtración por Membrana	9222 D

\*: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA-AWWA-WEF, Ed. 20, 1998.



PLANTA EXPERIMENTAL DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA - UCV

TABLA 2  
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS REALIZADOS A UNA MUESTRA DE AGUA  
CAPTADA EN LA QUEBRADA LAS COMADRES, MUNICIPIO LOS SALIAS

SOLICITADO POR	Prof. Cesar Ferrer
LUGAR DE CAPTACIÓN	Quebrada Las Comadres
SITIO DE CAPTACION	Salida Bomba
FECHA Y HORA DE CAPTACIÓN	24-oct-02 8:45 a.m.
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	LC-I
TIPO DE MUESTRA	INSTANTÁNEA
ASPECTO *	CLARA
TEMPERATURA ( C ) *	-
CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) *	950
pH *	8,1
OXÍGENO DISUELTO (mg/l)	-
TURBIEDAD (UNT)	9,6
COLOR VERDADERO (UC)	5
COLOR APARENTE (UC)	15
ALCALINIDAD A pH 8,3 (mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$ )	0
A pH 4,5 (mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$ )	220
DUREZA TOTAL (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	483
CALCICA (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	400
MAGNESICA (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	83
CARBONATICA (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	220
NO CARBONATICA (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	263
ÍNDICE Langelier	1,35
SÓLIDOS TOTALES (103 °C) (mg/l)	676
SÓLIDOS DISUELTOS TOT. (103 °C) (mg/l)	660
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOT (103 °C) (mg/l)	16
NITRATOS (mg $\text{NO}_3^-/\text{l}$ )	0,78
NITRITOS (mg/l N)	INAPRECIABLE
ORTOFOSFATOS (mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$ )	0,11
CLORUROS (mg/l)	19
SULFATOS (mg/l)	250
FLUORUROS (mg/l)	INAPRECIABLE
CALCIO (mg/l)	160
MAGNESIO (mg/L)	20
SODIO (mg/L)	12
POTASIO (mg/L)	3,1
COLIFORMES TOTALES (ufc/100 ml)	$2,3 \times 10^4$ ( $6,1 \times 10^4$ atípicas)
COLIFORMES FECALES (ufc/100 ml)	210 (160 atípicas)

Lic. Rosario Alberdi M.  
Jefe Laboratorio

Tabla 2

Resultados Análisis Físico Químicos y Bacteriológicos Realizados a una Muestra Captada en La Quebrada Las Comadres, Municipio los Salias

SOLICITADO POR	Quebrada Las Comadres	NORMA CALIDAD AGUA POTABLE	AGUAS TIPO I A	AGUAS TIPO I B	AGUAS TIPO II A	AGUAS TIPO II B
LUGAR DE CAPTACIÓN	Salida Bomba	Valor deseable (Máximo permisible)				
SITIO DE CAPTACION	24-oct-02					
FECHA Y HORA	8.45 a.m.					
DE CAPTACIÓN						
IDENTIFICACIÓN MUESTRA	INSTANTÁNEA					
TIPO DE MUESTRA	CLARA					
ASPECTO *	-					
TEMPERATURA (C) *	950					
CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA (µS/cm)*	8,1	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5		
pH *	-					
OXÍGENO DISUELTO (mg/l)	9,6	1 (5)	< 25	< 250		
TURBIEDAD (UNT)	5	5 (15)				
COLOR REAL (UC)	15					
COLOR APARENTE (UC)	0					
ALCALINIDAD A pH 8,3 (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	220					
A pH 4,5 (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	483	250 (500)	500	500		
DUREZA TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	400					
CALCICA (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	83					
MAGNESICA (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	220					
CARBONATICA (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	263					
NO CARBONATICA (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	676					
SÓLIDOS TOTALES (103 °C) (mg/l)	660	600 (1000)	1500	1500	3000	3000
SÓLIDOS DISUELTOS TOT. (103 °C) (mg/l)	16					
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOT (103 °C) (mg/l)	0,78	10	10 °C	10 °C		
NITRATOS (mg NO <sub>3</sub> -N/l)	INAPRECIABLE	(0,01)				
NITRITOS (mg/l N)	0,11					
ORTOFOSFATOS (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/l)	19	250 (300)	600	600		
CLORUROS (mg/l)	250	250 (500)	400	400		
SULFATOS (mg/l)	INAPRECIABLE					
FLUORUROS (mg/l)	160					
CALCIO (mg/l)	20					
MAGNESIO (mg/L)	12	200 (200)	200	200		
SODIO (mg/L)	3,1					
POTASIO (mg/L)	2,3 x 10 <sup>4</sup> (6,1 x 10 <sup>4</sup> ATÍPICAS)	0	< 2000	< 10000	< 1000	< 5000
COLIFORMES TOTALES (ufc/100 ml)	210 (160 ATÍPICAS)	0			< 100	< 1000
COLIFORMES FECALES (ufc/100 ml)						
C: NITRITOS + NITRATOS						

IA: DESTINADAS A USO DOMÉSTICO, ACONDICIONADAS CON DESINFECTANTE

I B: DESTINADAS A USO DOMÉSTICO, ACONDICIONADAS TRAT CONVENCIONALES

IIA Y II B: RIEGO CONSUMO HUMANO - OTRO CULTIVO

I A: DESTINADAS A USO DOMÉSTICO, ACONDICIONADAS CON DESINFECTANTE  
 I B: DESTINADAS A USO DOMÉSTICO, ACONDICIONADAS TRAT CONVENCIONALES  
 IIA Y IIB: RIEGO CONSUMO HUMANO - OTRO CULTIVO



# GACETA OFICIAL

## DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA

AÑO CXXV — MES V

Caracas, viernes 13 de febrero de 1998

Número 36.395

### SUMARIO

#### Ministerio de Hacienda

Resolución por la cual se designa Asesora Legal de la Contraloría Interna, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Bolás Orta de Álvarez.

Resolución por la cual se designa Directora de Control Previo de la Contraloría Interna, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Inma Suárez de Medina.

Resolución por la cual se designa Directora Adjunta al Contralor Interno, a partir del 1° de enero de 1998, a la ciudadana Elinor Josefina Zapata Pérez.

Resolución por la cual se designa Director de Control Posterior de la Contraloría Interna, a partir del 16 de diciembre de 1997, al ciudadano Miguel Hung Pardo.

#### Oficina Central de Presupuesto

Resolución por la cual se incorporan al Plan Único de Cuentas los conceptos que en ella se señalan.

#### Superintendencia de Seguros

Providencia por la cual se revoca la autorización otorgada a la empresa "Sociedad de Corretaje de Seguros La Promotora, C.A."

Providencia por la cual se dispone que las empresas de seguros autorizadas para operar como fiduciarias deberán remitir la información de los contratos de fideicomiso celebrados y los datos estadísticos a que hacen referencia los formularios que se publican conjuntamente con la presente.

#### Seniat

Providencia por la cual se concede a la empresa Almacénadora Dima, C.A., autorización para establecer y operar un almacén general de depósito.

Providencia por la cual se otorga a la firma Inversiones Machine, C.A., autorización para actuar como Agente de Aduanas, con carácter permanente, ante la Gerencia de Aduana Principal de Puerto Cabello.

#### Consejo Nacional de Valores

Resolución por la cual se autoriza la oferta pública de las acciones a ser emitidas con ocasión del cambio de valor nominal de las acciones que representan el capital social de C.A. La Electricidad de Guatras y Guatras.

#### Ministerios de Hacienda y de Industria y Comercio

Resolución por la cual se modifica el artículo 9 del Decreto N° 969 de fecha 20-12-95, mediante el cual se promulgó el Arancel de Aduanas, en los términos que en ella se indican.

#### Ministerio de Industria y Comercio

#### Superintendencia Nacional de Cooperativas

Resolución por la cual se autoriza definitivamente el funcionamiento de la Asociación Cooperativa de Transporte de Carga "Los Dinamitos".

#### Ministerio de Educación

Resolución por la cual se coniga parcialmente la Resolución N° 666 de fecha 05 de julio de 1990, publicada en la Gaceta Oficial N° 34.509 del 13 de julio del mismo año, en los términos que en ella se especifican.

#### Consejo Nacional de Universidades

Resolución por la cual se aprueba la distribución del Aporte Anual del Ejecutivo Nacional para las Universidades Nacionales a ser ejecutado en el Ejercicio Fiscal 1998.

#### Ministerio de Sanidad y Asistencia Social

Resolución por la cual se dictan las "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable".

#### Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

Resolución por la cual se delega en los Directores de Región de este Despacho, la atribución de suscribir Contratos para Ejecución de Obras, de Mantenimiento, Ampliación, Mejoras y Reparaciones de Obras hasta por un monto que comprenda Diez Mil Unidades Tributarias.

Resolución por la cual se ordena la publicación del texto íntegro del Acuerdo Intergubernamental para la Creación del Comité Responsable de la Supervisión y Ejecución del Plan de Contingencia y Recuperación del Sistema de Abastecimiento de Aguas Tulé-Maracaibo-El Tablazo.

Resolución por la cual se designa a partir del día 12 de enero de 1998, a la ciudadana Licenciada Yolanda Ceballos Martínez, Directora Encargada de la Dirección de Servicios Administrativos, de este Ministerio.

Resolución por la cual se designa Directora General del Servicio Autónomo para la Restauración, Fomento y Racional Aprovechamiento de la Fauna Silvestre y Acuática del País (Profauna) a la Licenciada Mima Quero de Peña. (Se reimprime por error material del ente emisor).

#### Consejo de la Judicatura

Resolución por la cual se designa a la abogada Luisa Ochoa de Silantes, Sustanciadora Encargada del Tribunal Disciplinario del Organismo.

Resolución por la cual se dicta el Instructivo para el Otorgamiento de Ayudas Económicas para los Empleados del Consejo de la Judicatura, Defensorías Públicas y Tribunales de la República.

#### Aviso

### MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL

REPÚBLICA DE VENEZUELA

MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL

NUMERO S6-018-78

11 DE 02 DE 1998  
157 Y 138

Por disposición del Ciudadano Presidente de la República y de conformidad con el artículo 30, ordinal 7° de la Ley Orgánica de la Administración Central



## RESUELVE

Dictar las siguientes

**"NORMAS SANITARIAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE"**

**Capítulo I**  
**Disposiciones preliminares**

**Artículo 1.-** El objetivo de las "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable" es establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

**Artículo 2.-** Están sujetos al cumplimiento de las presentes Normas los entes responsables de los sistemas de abastecimiento de agua potable públicos o privados

**Artículo 3.-** A los efectos de la interpretación y aplicación de estas Normas, se establecen los siguientes criterios:

*Autoridad Sanitaria Competente:* Ente Regional adscrito a la Unidad Sanitaria Regional, dependiente del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.

*Valor Máximo Aceptable:* Es el establecido para la concentración de un componente que no representa un riesgo significativo para la salud o rechazo del consumidor, teniendo en cuenta el consumo de agua durante toda su vida. (OPS/OMS).

*Bacterias Coliformes Termorresistentes:* Grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45°C; comprenden el género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *enterobacter* y *citrobacter*.

*Componentes Organolépticos:* Sustancias y/o elementos que proporcionan al agua características físicas percibibles por el consumidor. (color, olor, sabor, temperatura).

*Sitios Representativos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable:* Se consideran así al efluente de la planta de tratamiento, alimentadores principales y secundarios, ramales abiertos y cerrados, estaciones de bombeo y estanques de almacenamiento.

*USA/mL:* Unidad de área equivalente a 400  $\mu\text{m}^2$ .

**Artículo 4.-** El agua potable debe cumplir con los requisitos microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radiactivos que establecen las presentes Normas.

**Artículo 5.-** Cuando el agua que se destine al suministro como potable no cumpla con los requisitos establecidos en las presentes Normas, el responsable del sistema de abastecimiento respectivo deberá aplicar el tratamiento que la haga apta para dicho uso.

**Artículo 6.-** El agua potable destinada al abastecimiento público deberá contener en todo momento una concentración de cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de 0.3 a 0.5 mg/l.

**Artículo 7.-** Cuando se excede un Valor Máximo Aceptable en estas Normas, el ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable debe investigar la causa, informar a la Autoridad Sanitaria Competente y tomar las medidas correctivas.

**Capítulo II**  
**De los aspectos microbiológicos**

**Artículo 8.-** El ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable debe asegurar que ésta no contenga microorganismos transmisores o causantes de enfermedades, ni bacterias coliformes termorresistentes (coliformes fecales), siguiendo como criterio de Evaluación de la Calidad Microbiológica la detección del grupo coliforme realizada sobre muestras representativas captadas, preservadas y analizadas según lo establecido en las presentes Normas.

**Artículo 9.-** Los resultados de los análisis bacteriológicos del agua potable deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ninguna muestra de 100 mL, deberá indicar la presencia de organismos coliformes termorresistentes (coliformes fecales).
- El 95% de las muestras de 100 mL, analizadas en la red de distribución no deberá indicar la presencia de organismos coliformes totales durante cualquier período de 12 meses consecutivos.
- En ningún caso deberá detectarse organismos coliformes totales en dos muestras consecutivas de 100 mL, provenientes del mismo sitio.

**Artículo 10.-** El agua potable no debe contener agentes patógenos: *Virus*, *Bacterias*, *Hongos*, *Protozoarios*, ni *Helmintos*.

**Artículo 11.-** El agua potable no debe contener organismos heterótrofos aerobios en densidad mayor a 100  $\mu\text{c}/\text{mL}$ .

**Artículo 12.-** La cantidad total de plancton presente en el agua potable, en ningún caso debe exceder de 300 unidades estándar de área por mL (USA/mL).

**Artículo 13.-** El ente responsable del sistema de abastecimiento de agua potable proveniente de fuentes ubicadas en zonas endémicas de enfermedades de origen hídrico definidas por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, debe establecer programas de vigilancia sanitaria permanente y aplicar los correctivos específicos adecuados, a juicio de la Autoridad Sanitaria Competente.

**Capítulo III**  
**De los aspectos organolépticos, físicos y químicos.**

**Artículo 14.-** El agua potable deberá cumplir con los requisitos organolépticos, físicos y químicos establecidos en los cuadros N° 1, 2, 3 y 4.



Cuadro N° 1 Componentes relativos a la calidad organolépticos del agua potable

Componente o Característica	Unidad	Valor Desempeñarse	Valor Máximo Aceptable (a)
Color	UCV (b)	5	15 (25)
Turbiedad	UNT (c)	1	5 (10)
Olor o Sabor	--	Aceptable para la mayoría de los consumidores	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	600	1000
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	250	500
pH	--	6.5 - 8.5	9.0
Aluminio	mg/L	0.1	0.2
Cloruro	mg/L	250	300
Cobre	mg/L	1.0	(2.0)
Hierro Total	mg/L	0.1	0.3 (1.0)
Manganeso Total	mg/L	0.1	0.5
Sodio	mg/L	200	200
Sulfato	mg/L	250	500
Cinc	mg/L	3.0	5.0

(a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

(b) UCV: Unidades de Color Verdadero.

(c) UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

Cuadro N° 2 Componentes inorgánicos

Componentes	Valor Máximo Aceptable (mg/L)
Arsénico	0.01
Bario	0.7
Boro	0.3
Cobre	20
Cadmio	0.003
Cianuro	0.07
Cromo Total	0.05
Fluoruros	(c)
Mercurio Total	0.001
Níquel	0.02
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	45.0
(N)	10
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	0.03
(N)	0.01
Molibdeno	0.07
Piombo	0.01
Selenio	0.01
Plata	0.05
Cloro Residual	1.0 (3.0) (a)

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrato N = Nitrógeno NO<sub>2</sub><sup>-</sup> = Nitrito

(a) El valor entre paréntesis es aceptado provisionalmente en casos extremadamente excepcionales, plenamente justificado ante la Autoridad Sanitaria Competente.

(b) La suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor máximo aceptable no debe ser mayor a la unidad.

(c) El contenido de flúor como ion fluoruro F<sup>-</sup> se fijará de acuerdo con el promedio anual de temperatura máxima del aire en °C, según el cuadro N° 3 siguiente:

Cuadro N° 3. Valores límites recomendables para el contenido de Fluoruro en mg/L

Promedio anual de Temperatura máxima del aire en °C	Límite inferior	Límite Optimo	Límite Superior
10.0 - 14.0	0.8	1.1	1.5
14.0 - 17.6	0.8	1.0	1.3
17.7 - 21.4	0.7	0.9	1.2
21.5 - 26.2	0.7	0.8	1.0
26.3 - 32.6	0.6	0.7	0.8

Cuadro N° 4 Componentes orgánicos

Componentes	Valor Máximo Aceptable µg/L
Bromoformo	100
Cloroformo	200
Dibromoclorometano	100
Benceno	10
Tolueno	700
Xileno	500
Aldrin y Dieldrin	0.03
Clordano	0.2
DDT y sus metabolitos	2.0
2,4-D	30
Heptacloro	0.03
HeptacloroEpóxido	0.1
Hexaclorobenceno	1.0
Lindano	2.0
Metoxicloro	20
Acilamida	0.5
Benzopireno	0.7
1-2 Dicloroetano	30
1-1 Dicloroetano	30
Etilbenceno	300
Pentaclorofenol	9.0
2,4-6 Triclorofenol	200

#### Capítulo IV De los aspectos radiactivos

**Artículo 15.-** El agua que se suministre como potable no deberá contener ni haber sido contaminada con elementos radioactivos que excedan los valores máximos que se establecen a continuación:

Radiactividad Alfa Global: 0.1 Bq/L

Radiactividad Beta Global: 1.0 Bq/L

#### Capítulo V De la frecuencia de muestreo y análisis del agua para suministro como potable.

**Artículo 16.-** El agua que se suministre como potable deberá someterse a mediciones sistemáticas para la evaluación de parámetros microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radiactivos en muestras representativas del sistema de abastecimiento con la frecuencia que establecen estas Normas.

**Artículo 17.-** La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis bacteriológicos se presentan en el cuadro siguiente:

Población Abastecida	Frecuencia Mínima (a)
Menor de 5.000	Una (01) muestra mensual.
5.000 a 100.000	Una (01) muestra mensual por cada 5.000 personas
Más de 100.000	Una (01) muestra mensual por cada 10.000 personas, más 10 muestras adicionales.

(a) Cuando se produzcan epidemias, inundaciones u operaciones de emergencia después de las interrupciones del abastecimiento o reparaciones, la frecuencia del muestreo ha de aumentarse dependiendo de la situación en particular a juicio de la Autoridad Sanitaria Competente.

**Artículo 18.-** La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis microbiológicos, será de una (1) muestra anual y se captarán muestras adicionales cuando se observen alteraciones o cuando lo exija la Autoridad Sanitaria Competente.

**Artículo 19.-** La frecuencia mínima para la captación de muestras y análisis de las características organolépticas, físicas y químicas se presentan en el cuadro siguiente:

*Frecuencia mínima para el análisis de los parámetros relacionados con las características organolépticas, físicas y químicas del agua potable.*

Componente o Característica	Frecuencia Mínima	
	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas
Color y Turbiedad	Una (01) muestra quincenal en aguas no sometidas a tratamiento de clarificación.	Dos (02) muestras anuales en aguas no sometidas a tratamiento de clarificación.
Aluminio <sup>10</sup>	Una (01) muestra diaria en aguas tratadas.	Una (01) muestra diaria en aguas tratadas.
pH		
Dureza		
Olor		
Sabor	Una (01) muestra diaria.	Una (01) muestra diaria.
Aspecto		
Conductividad Específica		
Temperatura		
Cloro Residual		
Todos los parámetros incluidos en las tablas del Artículo 14 de estas Normas.	Una (01) muestra trimestral	Una (01) muestra semestral.

(a) Realizar el análisis de este elemento, con la frecuencia establecida sólo si se adiciona durante el tratamiento de clarificación.

**Artículo 20.-** Los entes responsables del abastecimiento del agua potable están en la obligación de enviar mensualmente los resultados de los análisis efectuados a la Autoridad Sanitaria Competente.

**Artículo 21.-** Los análisis a que se refieren las presentes Normas deben ser realizados por profesionales idóneos en laboratorios competentes a juicio de la Autoridad Sanitaria, siguiendo las metodologías establecidas en el *Método Estándar para el análisis de aguas y aguas residuales* (AWWA y AVHA).

**Artículo 22.-** La Autoridad Sanitaria Competente realizará la captación de muestras de agua para la determinación de radiactividad cuando se sospeche la presencia de fuentes radiactivas naturales o provenientes del desarrollo de actividades humanas en áreas de las cuencas hidrográficas utilizadas para el abastecimiento de agua potable.

#### Capítulo VI Disposiciones finales

**Artículo 23.-** La Autoridad Sanitaria Competente que tenga a su cargo los programas de Ingeniería Sanitaria, establecerá los plazos dentro de los cuales los responsables del suministro de agua potable deberán instalar los sistemas o procedimientos que se requieran para el tratamiento de las aguas, de manera que cumplan con los requisitos de potabilidad establecidos en las presentes Normas y fijará los plazos dentro de los cuales deben proceder a cambiar o complementar las fuentes de abastecimiento que se requieran.

**Artículo 24.-** El incumplimiento de las disposiciones contenidas en esta resolución será sancionado conforme a lo dispuesto en la Ley de Sanidad Nacional y la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud, según sea el caso.

**Artículo 25.-** La presente Resolución deroga la Resolución N° 238 de fecha 30/12/91, publicada en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 34.892 de fecha 29/01/92; así como cualquier otra resolución, disposición o

**Artículo 26.-** La presente Resolución entrará en vigencia transcurridos 60 días contados a partir de su publicación en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela.

Comuníquese y Publíquese,

JOSE FELIX OLETTA LOPEZ  
Ministro de Sanidad y Asistencia Social

## MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

REPUBLICA DE VENEZUELA  
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE  
LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

NUMERO:178

Caracas, 06-02-98  
Años 187° y 138

### RESOLUCION

De conformidad con lo previsto en el Artículo 20, Ordinales 14 y 25 de la Ley Orgánica de la Administración Central y Artículo 1° del Reglamento de Delegación de Firma de los Ministros del Ejecutivo Nacional, dictado a través del Decreto N° 140 de fecha 17 de Septiembre de 1959, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 29.025 del 18 de Septiembre de 1969, en concordancia con lo dispuesto en la Resolución N° 171 de fecha 04 de Junio de 1997, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.220 de fecha 04-06-97, emanada de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SENIAT) que fija la Unidad Tributaria a Nivel Nacional en la cantidad de Cinco Mil Cuatrocientos Bolívars con 00/100 Céntimos (Bs. 5.400,00), se delega a partir del 09 de Febrero de 1998, en los Directores de Región de Despacho, la atribución de suscribir Contratos para Ejecución de Obras, de Mantenimiento, Ampliación, Mejoras y Reparaciones de Obras hasta por un monto que comprenda Diez Mil (10.000) Unidades Tributarias, previa presentación y aprobación en Cuenta por el ciudadano Director General Sectorial de Infraestructura del Ministerio.

En consecuencia, todas las tramitaciones de los Contratos desde su comienzo hasta su recepción definitiva, inclusive prórrogas para el inicio y terminación de obras, cesión, trasposos y rescisión de contratos, se llevarán a cabo en las respectivas Direcciones de Región, sin perjuicio de las facultades de Control que ejercen los órganos competentes, reguladas en la Ley Orgánica de la Contraloría General de la República.

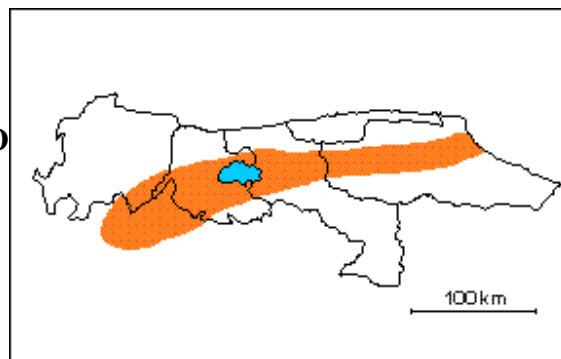
Igualmente podrán firmar, dentro del monto máximo aprobado por intermedio de la presente Resolución, las Variaciones de Precios que pudieren afectar las Partidas de los Presupuestos de los respectivos contratos, aumentos o disminuciones y obras extras o adicionales, cuando técnica y económicamente fuere necesario.

En los contratos y documentos que se firmen invocando la delegación conferida, se hará constar esta circunstancia con indicación del número y fecha de esta Resolución y de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela donde aparece su publicación, estando los Directores de Región en la obligación de presentar mensualmente por ante el Director General Sectorial de Infraestructura, relación detallada de todos los contratos y documentos suscritos, quien a su vez rendirá cuenta de la gestión documentada al Ministro, conforme a lo establecido en el artículo



**Geología:****LAS MERCEDES, Formación****VALIDO****MESOZOICO** (Jurásico - Cretácico)

Distrito Federal

**Referencia original:** S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 15.

**Consideraciones históricas:** Originalmente fue referida por Aguerrevere y Zuloaga (1937-a, b), quienes la denominan esquistos de Las Mercedes. Posteriormente (1938-a, b), formalizan el nombre de la unidad con el nombre actual. Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme, por Dengo (1949), Smith (1952), MacLachlan *et al.* (1960), Feo-Codecido (1962), Oxburgh (1965), Menéndez (1965), Seiders (1965), Bellizzia y Rodríguez (1968), Morgan (1969), Urbani y Quesada (1972), Asuaje (1972), Beck (1986), Cantisano (1989), Urbani *et al.* (1989-a, b), Wehrmann (1972), González Silva (1972) y Rodríguez (1972).

**Localidad tipo:** Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

**Descripción litológica:** Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte

rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana *et al.* (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann (*op. cit.*), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (*op. cit.*), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los

Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (*op. cit.*), Seiders (*op. cit.*), y Wehrmann (*op. cit.*), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. Oxburgh (*op. cit.*), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con un facies oriental más arenosa.

Talukdar y Loureiro (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de la calizas, indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados, indican lo contrario.

Urbani *et al.* (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

**Contactos:** La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana *et al.*, 1980, p. 318).

**Fósiles:** Diversos hallazgos de fósiles han sido reportados en esta Formación: Mackenzie (1966) encuentra un gasterópodo (*Nerinea* sp.); Oxburgh (1965) encuentra un fragmento de amonite; Morgan (1969) halla fragmentos de pelecípodos, gasterópodos y foraminíferos no identificables; Urbani (1972) reporta fragmentos de equinoides; Furrer y Urbani (1973) indican foraminíferos de la familia *Ophtalminidae* y otros fragmentos no identificables; Spina *et al.* (1977) reporta fragmentos de pelecípodos, gasterópodos, equinoides y algas

posiblemente de los géneros *Acicularia*, *Cyanophyta*, *Cayeuxia*. (véase revisión en Urbani, 1982, p. 78). La mayoría de ellos sugieren un ambiente de aguas marinas poco profundas, con fragmentos que parecen haber sido re TRABAJADOS por las olas.

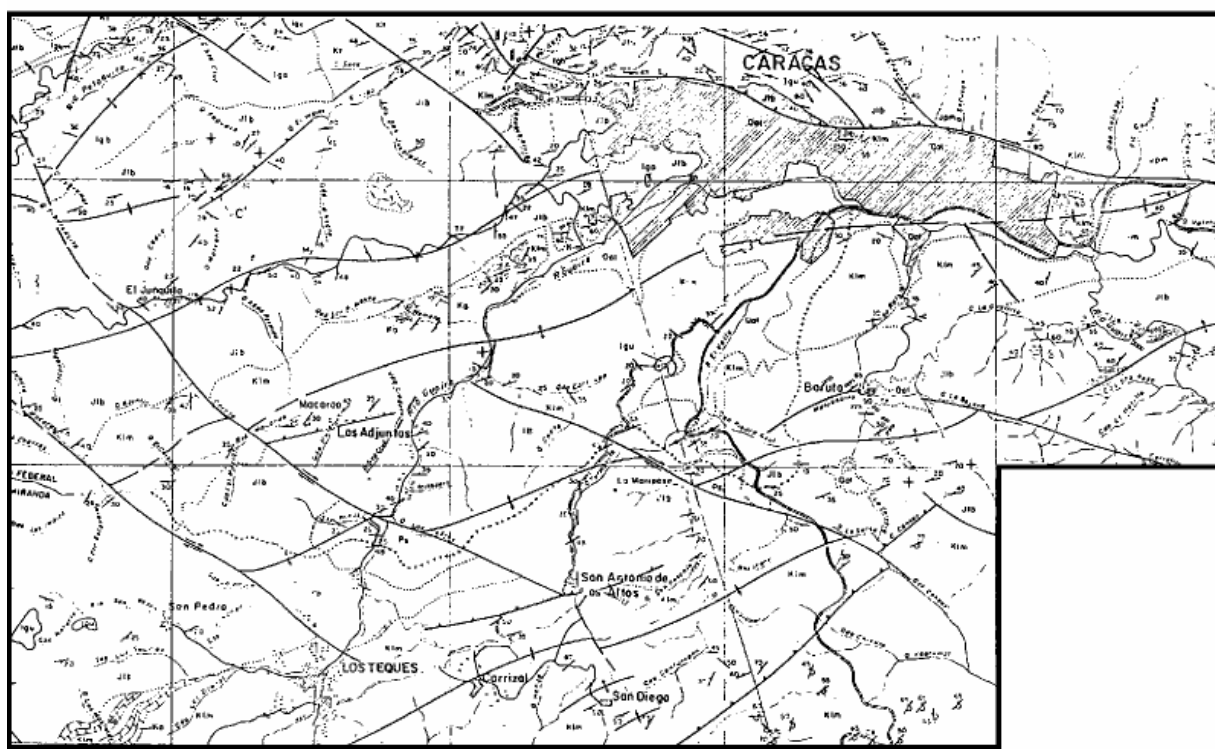
**Edad:** Estas asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

**Correlación:** Por su similitud óptica, se la presume equivalente a la Formación Aroa, en el macizo occidental de la Cordillera de la Costa, y a la Formación Carúpano, en Oriente. Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), la correlacionan tentativamente con la Formación La Luna y Querecual, inclusive Navarro *et al.* (1988) afirman que la única diferencia entre las unidades litoestratigráficas "Formación Las Mercedes" y "Grupo Guayuta" lo constituye el metamorfismo, ya que representan facies semejantes en tiempo y ambiente.

**Paleoambientes:** Talukdar y Loureiro (1982) sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a una arco volcánico, donde la estructura finamente laminada de la caliza, indica la sedimentación en un ambiente pelágico. Navarro *et al.* (1988) interpretan que esta Formación se formó en un ambiente de facies pelágicas de sedimentación oceánica en las cuencas del Caribe y de Altamira. Los escasos restos de fósiles hallados indican ambientes más someros, pero es probable que sean re TRABAJADOS y hayan sido acarreados a los ambientes pelágicos por corrientes de turbidez.

Mapa tomado de:  
Wehrmann (1972)

## FORMACIÓN DE LAS MERCEDES



5 Km

## 1.- Medición de Caudal del Río



Se utilizó un recipiente de 20 lts de capacidad y un cronómetro para medir el caudal de los diversos ríos.



## 2.- Represa



La represa tiene una altura de 4 m y se puede aumentar esta altura. Debe ser diseñada para evitar erosión en su parte inferior y para soportar la presión del agua.

### 3.- Instalación de la Bomba



Las pruebas se realizaron en un río cuyo caudal era similar al obtenido en el río “Las Comadres” (observado en la figura), se consiguió una caída de 3 m



Reducción 2”-1 ½” colocada en la tubería de succión, cuyas pérdidas pueden ser notables.



#### 4.- Pruebas Efectuadas



Para la realización de las pruebas se simuló la altura de bombeo mediante la colocación de una válvula de esfera en la tubería de descarga.

## 5.- Muestra de Agua



Las muestras de agua recogidas en la quebrada “Las Comadres” fue analizada por la PETA de la Universidad Central, sin embargo esto representa un estudio puntual y no una representación significativa de la contaminación real del río.

## **PLANOS**

3. ARIETE HIDRÁULICO: DESPIECE

4. ARIETE HIDRÁULICO: DISEÑO DE CONJUNTO