



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO LA LOMA, PERTENECIENTE  
AL CANTÓN COLIMA, JURISDICCIÓN DE SUCHITOTO.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PREPARADO PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**POR:**

**CARLOS ENRIQUE ABREGO GRANADOS  
ROLANDO MORALES SÁNCHEZ  
PEDRO VALERIO VIDES CANJURA**



**MARZO 1999**

**SOYAPANGO – EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**RECTOR**

**ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA**

**SECRETARIO GENERAL**

**PBRO. PEDRO JOSÉ GARCÍA CASTRO S.D.B.**

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ING. CARLOS GUILLERMO BRAN**

**ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR**

**JURADO EXAMINADOR**

**ING. FRANCISCO A. DELEON TORRES**

**ING. SATURNINO GAMEZ GUADRÓN**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL  
CASERÍO LA LOMA, PERTENECIENTE AL CANTÓN  
COLIMA, JURISDICCIÓN DE SUCHITOTO”.**

**ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR**

**Asesor**

**ING. FRANCISCO A. DELEON TORRES**

**Jurado**

**ING. SATURNINO GÁMEZ GUADRÓN**

**Jurado**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por habernos permitido la elaboración del presente proyecto.

A nuestros padres por habernos apoyado incondicionalmente en todo momento.

A la Universidad Don Bosco por habernos brindado la formación necesaria.

A los miembros de la Cooperativa Colima R.L., por haber transmitido el interés a los habitantes de La Loma.

A la Fundación para el Desarrollo de la Cuenca del Río Lempa (FUNDALEMPA), por brindarnos información valiosa para el desarrollo del proyecto.

A todas las personas que nos apoyaron desinteresadamente, con el único propósito de contribuir a solucionar parte de los problemas más sensibles de la población rural de nuestro país.

# **OBJETIVOS**

## **A. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de suministro, almacenamiento y distribución de agua para los habitantes del caserío La Loma, cantón Colima, jurisdicción de Suchitoto, departamento de Cuscatlán, que sirva como modelo para implementarse en otras comunidades rurales con condiciones hidrológicas similares.

## **B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Seleccionar los dispositivos del sistema de acuerdo a las características geográficas y demográficas existentes en el caserío La Loma..
- 2) Aplicar los conocimientos teóricos, técnicos y humanísticos adquiridos durante los estudios de ingeniería mecánica, adecuándolos a las necesidades concretas de la población.
- 3) De acuerdo a los análisis de las muestras de agua obtenidas de los pozos del caserío, recomendar métodos de tratamiento para su consumo.
- 4) Dimensionar el sistema de acuerdo a la capacidad de recarga del pozo y determinar la cantidad de habitantes beneficiados.
- 5) Seleccionar un sistema de control automático que garantice un régimen de bombeo y almacenamiento, según la capacidad de recarga del pozo y las necesidades de la población.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable en el caserío La Loma, perteneciente al cantón Colima del municipio de Suchitoto, Cuscatlán (ver mapa en anexo 1). En la investigación se han considerado las condiciones geográficas, hidrogeológicas (niveles de agua en pozos), ambientales (cercanía al bosque de tecla del cantón Colima, que forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas), energéticas, demográficas y sociales, a fin de que los cálculos hidráulicos (caudales, selección de tuberías, etc.) sean óptimos.

El diseño propuesto consta de un sistema de bombeo que extrae el agua de un pozo y la transporta hasta un tanque [1], sistema de distribución, sistema de control automático, así como recomendaciones sobre el método de purificación del agua, incluyendo recomendaciones acerca del mantenimiento y uso apropiado del sistema.

Con el presente trabajo se busca proporcionar toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción del sistema propuesto; esto comprende los planos constructivos, lista de materiales, datos del equipo de bombeo y presupuesto.

La selección del lugar se hizo sobre la base de diagnósticos elaborados por la Fundación Río Lempa (FUNDALEMPA), los cuales establecen que la zona donde se realizará el trabajo es una de las más críticas dentro de la cuenca hidrográfica del Lempa,

debido a la extrema pobreza de sus habitantes y a su cercanía con la desembocadura del Río Acelhuate [2]. (Ver anexo 1)

Se pretende contribuir a solucionar parte del problema de abastecimiento de agua potable, que la tecnología aquí planteada se difunda y pueda ser de provecho para otras comunidades. Teniendo en cuenta la visión humanista y cristiana de la Universidad Don Bosco, sería de mucho beneficio darle continuidad a este tipo de proyectos, en el que tienen cabida todas las especialidades.

# ÍNDICE

	Página
1.0 ANTECEDENTES	8
2.0 PROYECCIÓN SOCIAL	10
3.0 SITUACIÓN ACTUAL	11
3.1 Descripción de la zona	11
3.2 Sistema de abastecimiento actual	12
3.3 Recursos hídricos de la zona	13
3.3.1 Fuentes de abastecimiento subterráneas	13
3.3.2 Fuentes de abastecimiento del caserío	14
3.3.3 Características del pozo	14
3.4 Cálculo de población futura	17
3.4.1 Tasa de crecimiento de acuerdo a los censos	18
3.4.2 Capacidad del territorio para albergar más habitantes	18
3.4.3 Según la capacidad del pozo	19
4.0 ALCANCES Y LIMITACIONES	21
5.0 METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	22
6.0 MARCO TEÓRICO	24
6.1 El ciclo hidrológico	24
6.2 Distribución del agua del subsuelo	25
6.3 Aprovechamiento de los recursos hidráulicos	27
6.4 Elevación y transporte de agua	28
6.5 Bombas; aplicaciones para pozos pequeños	30
6.6 Clasificación de las bombas	34
Bombas según la altura de succión	34
Bombas según principios mecánicos	34
Bombas de pozo profundo	45
Cebado de bombas	49
Selección de la bomba	49
6.7 Fuerza motriz	52
6.8 Sistema de tuberías. Tanque de almacenamiento	53
Características del flujo. Definiciones	54
Flujo viscoso en tuberías y canales: Flujo laminar y turbulento;	55
flujo interno y externo	
Pérdidas en flujo laminar	57
Sistemas de distribución	59
Almacenamiento	61
6.9 Agua: Calidad y tratamientos.	62
Naturaleza del agua. La molécula del agua	62
Tensión superficial	63
Fuentes de agua y usos. Efectos de la lluvia	65
6.10 Aguas subterráneas	67
Constante de las aguas de pozo	67
Criterio de calidad	67

6.11 Generalidades sobre tratamientos de agua	70
Sustancias químicas orgánicas	71
Mecanismos para reducir los riesgos para la salud mediante el tratamiento	71
7.0 DISEÑO DEL SISTEMA	73
7.1 Consideraciones	73
7.2 Sistema de regularización	74
7.3 Sistema de conducción	74
7.4 Sistema de bombeo	75
7.4.1 Cálculo de pérdidas	75
7.4.2 Cálculo de potencia del grupo	77
7.4.3 Eficiencia total del equipo de bombeo	78
7.5 Sistema de control de niveles	79
7.6 Sistema de distribución	81
8.0 CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	82
9.0 SUGERENCIAS SOBRE EL TRATAMIENTO DEL AGUA	86
10.0 PRESUPUESTO	89
11.0 CONCLUSIONES	91
12.0 RECOMENDACIONES	93
Bibliografía	94
Anexos y planos	96
Plano Hidráulico	
Plano del perfil del terreno	
Plano eléctrico	

## 1.0 ANTECEDENTES

El abastecimiento de agua potable es a escala nacional uno de los problemas más graves. La ausencia de redes de distribución del líquido y de energía eléctrica, especialmente en el área rural, son el principal obstáculo para el suministro de agua a las comunidades, lo que incide directamente en la calidad de vida de la población [3].

La disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos es consecuencia directa de la degradación de los recursos naturales en el ámbito nacional. La deforestación generalizada y el uso inadecuado de los suelos han provocado un aumento considerable en los niveles de erosión[3]. Según un estudio realizado en El Salvador por la Organización Mundial para la Salud en 1996, de una precipitación pluvial anual de 1,800 mm, 11% alimenta los mantos acuíferos subterráneos, 22% a la escorrentería superficial y 67% se pierde por evapotranspiración. El estudio agrega que la explotación del agua superficial y subterránea no representaría ningún problema si las fuentes se alimentaran en la misma medida, no obstante, el deterioro de las cuencas hidrográficas y zonas de recarga lo impiden. Por otro lado, a parte de la poca disponibilidad del agua está el problema de la baja calidad de la misma. Estudios han revelado que sólo el 5% de los ríos del país tienen agua de buena calidad, mientras que el 82.5% tienen calidades de mediocre a pésima, sobrepasando considerablemente los límites aceptables para el consumo humano establecidos por la Organización Mundial para la Salud (OMS) [4].

La crisis en el abastecimiento de agua potable es generalizada y afecta a todo el territorio nacional, no obstante, es en el campo donde este problema se vuelve más dramático, a pesar de que las principales fuentes de abastecimiento de agua de las zonas

urbanas provienen de la rural [5]. Los asentamientos humanos en el campo, aunque estén ubicados en las cercanías de fuentes de agua, carecen de ella, pues no tienen medios para su transportación y almacenamiento. El problema se vuelve más difícil de resolver cuando las comunidades no cuentan con suministro de energía eléctrica.

Diversas entidades privadas y estatales han realizado esfuerzos para contribuir a solucionar el problema del abastecimiento de agua en el campo, sin embargo estos esfuerzos no han sido suficientes. Los medios técnicos proporcionados a la población no siempre han sido los más adecuados y en la mayoría de los casos, los beneficiarios no han sido capacitados en su uso y mantenimiento, lo que ha provocado un acortamiento en su vida útil [5]. En el caso de Colima, la Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA), entidades privadas, así como la misma población, han realizado algunos proyectos comunitarios, como el de la implementación de bombas manuales del tipo de émbolo y de mecate.

Atendiendo a las sugerencias de los directivos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Colima de R.L., se optó por buscar una solución al problema de abastecimiento de agua en el caserío La Loma, ya que es el más crítico de la zona, tal como puede observarse en los datos estadísticos (Ver anexo 2).

El lugar donde se desarrollará el proyecto hace factible el empleo de un sistema de bombeo, considerando la poca profundidad del manto acuífero y de que ya existen pozos perforados. Además, su condición geográfica permite la distribución del líquido por gravedad.

## 2.0 PROYECCIÓN SOCIAL

El caserío La Loma está ubicado en una zona que fue muy afectada por el pasado conflicto armado. El nivel de vida de la población del lugar es muy bajo, y la mayoría de familias no cuenta con servicios básicos como agua potable y energía eléctrica. A la difícil situación socioeconómica se suman problemas ambientales como la deforestación, erosión e infertilidad del suelo, agravados por la cercanía del río Acelhuate, el más contaminado del territorio nacional [6].

Esta propuesta no busca dar solución a todos los problemas, sino contribuir a resolver parte de ellos. En ese sentido, se ha considerado la falta de agua potable como uno de los más serios.

Con este proyecto se pretende que la población del caserío La Loma cuente con el diseño de un sistema de servicio de agua potable comunitario, a fin de que la comunidad gestione el financiamiento para su ejecución. Como universidad salesiana, sus estudiantes están comprometidos a contribuir al desarrollo de aquellos sectores de la población menos favorecidos.

### **3.0 SITUACIÓN ACTUAL**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.**

El caserío La Loma pertenece al cantón Colima del municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán, y está ubicado a 17.7 kilómetros al noroeste de la ciudad de Suchitoto, a orillas de la carretera Troncal del Norte y en las proximidades del puente El Tule sobre el río Acelhuate.

La clasificación pedológica de la zona en la que está asentado el caserío es de grumosoles, litosoles y latosoles arcillo rojizos, vertisoles y alfisoles. Estos son suelos que se reconocen por su color rojo, con algunas variaciones en su tonalidad y textura arcillosa. El drenaje natural de estas áreas varía de bueno a excesivo. La escorrentía en las áreas con mayor pendiente a causa de la erosión ha removido las capas superficiales.

La clasificación agrológica es de clase III, y se caracteriza por ser tierras que tienen limitaciones para los cultivos intensivos, y requieren prácticas y obras especiales de conservación, algo difíciles y costosas de aplicar. Se pueden esperar rendimientos en las cosechas, de buenos a muy buenos [7].

La clasificación ecológica, según Holdridge, es de bosque húmedo subtropical, con biotemperaturas menores a 24 grados centígrados, pero con temperaturas del aire medio- anuales mayores a 24 grados centígrados. La velocidad promedio anual del viento, según el Servicio Meteorológico, es de 2 m/s.

La Loma cuenta con 78 habitantes y está situado al pie del cerro con el mismo nombre, el cual alcanza una altitud de 307.8 msnm, contiguo al área protegida del cantón Colima. El caserío consta de 16 viviendas distribuidas en tres sectores: 6 en la parte

inferior, 3 en la parte media y 7 en la parte superior. Del total de viviendas, sólo 3 poseen pozo propio y 6 tienen servicio de energía eléctrica, todas ellas ubicadas en la parte inferior del caserío (ver anexo 2).

El terreno en el que está ubicado el caserío pertenece a la Cooperativa de Producción Agropecuaria del cantón Colima, entidad productiva de mayor importancia en la zona, quien es la encargada de asignar los lotes destinados a la vivienda. Los habitantes del caserío no son socios de la cooperativa, sin embargo ésta les permite trabajar pequeños lotes con pendiente, donde predomina el cultivo de maíz. Esta tarea es desarrollada por los hombres, por lo que se ausentan del hogar durante el día, recayendo en las mujeres las tareas domésticas y el cuidado de los hijos.

El bajo nivel de desarrollo socioeconómico en el caserío se manifiesta en las condiciones de pobreza en las que habitan sus pobladores, en la carencia de servicios básicos, así como en el alto índice de analfabetismo que alcanza al 30% de sus habitantes. Las únicas fuentes de abastecimiento de agua del caserío la constituyen tres pozos artesanales de poca profundidad, el primero, cercano al margen del río Acelhuate, está a 253.23 msnm, su espejo de agua está a 3.8 metros de profundidad y el fondo a 7.78 metros. El segundo se encuentra a 253.05 msnm, el espejo de agua a 4.9 metros y el fondo a 8.63 metros, mientras que el último, ubicado a la orilla de la calle que conduce a la parte superior del caserío, está a 254.46 msnm, el espejo de agua a 5.53 metros y el fondo a 10.13 metros (ver plano #1). El agua de los pozos presenta color y sabor.

### **3.2 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL**

El caserío se abastece de tres pozos que han sido excavados en casas particulares y de la compra de barriles con agua a personas dedicadas a este negocio. Los propietarios de

los pozos mantienen una actitud solidaria con el resto de habitantes, quienes realizan viajes con depósitos para transportar el líquido hasta sus casas.

Las viviendas poseen una pila o barriles donde almacenan el líquido, el cual es empleado racionalmente para el consumo personal, preparación de los alimentos, lavado de ropa, tareas domésticas y el riego de los pequeños jardines alrededor de éstas.

### **3.3 RECURSOS HÍDRICOS DE LA ZONA**

#### **3.3.1 Fuentes de abastecimiento subterráneas.**

Las aguas subterráneas se localizan en una zona con cavidades conectadas entre sí. Son constituidas por el agua precipitada sobre la tierra como lluvia, granizo o nieve que se filtra a través de la tierra.

Esta zona comprende: zona de saturación y zona de aereación, que quedan separadas por el nivel freático. En la zona de saturación, las cavidades están llenas de agua bajo presión hidrostática y reciben el nombre de aguas subterráneas, las que a su vez se dividen en freáticas y artesianas. En la zona de aereación, las cavidades están llenas principalmente de gases atmosféricos y agua, pero no bajo presión hidrostática, sino que sostenidas por atracción molecular, razón por la cual se llama agua suspendida. Comprende, de la superficie a la profundidad: el agua del suelo aprovechada por las plantas; el agua vadosa o intermedia que es casi estacionaria o que se mueve hacia la zona de saturación por gravedad; y el agua capilar, por arriba del nivel freático, como una continuación de la zona de saturación [8].

### **3.3.2 Fuentes de abastecimiento de agua del caserío.**

En La Loma existen únicamente tres pozos, el pozo número uno, ubicado en una zona a 253.23 msnm tiene un nivel freático de 3.8 metros de profundidad y su fondo llega hasta los 7.78 metros. Dicho pozo se encuentra a unos diez metros de la orilla del río Acelhuate. El pozo número dos está ubicado a 253.05 msnm, nivel freático a 4.9 metros y profundidad de 8.63 metros. El tercer pozo se encuentra a 254.46 msnm, el nivel freático está a 5.53 metros y tiene 10.13 metros de profundidad.

La elección del tercer pozo como fuente de abastecimiento del sistema propuesto se hizo en base a los siguientes criterios:

- a) Es el pozo más lejano al río Acelhuate, lo que implica de que exista menos riesgo de contaminación por filtración.
- b) Es la fuente de agua más cercana a la carretera Troncal del Norte, y por lo tanto más cercana al tendido eléctrico.
- c) Sus propietarios mantienen una actitud bastante solidaria con el resto de habitantes del caserío que no poseen pozo propio.

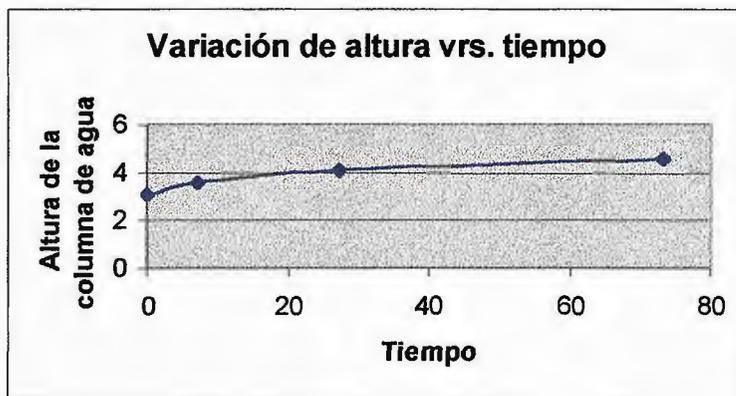
### **3.3.3 Características del pozo.**

Tomando al tercer pozo como la fuente más idónea para abastecer el sistema propuesto, se procedió a realizar un aforamiento parcial con el fin de conocer la capacidad de recarga de éste. Dicha operación fue realizada con una bomba achicadora centrífuga de 6 HP, accionada con un motor de combustión interna de gasolina, obteniendo los siguientes resultados:

<b>h</b> <b>(metros)</b>	<b>t</b> <b>(minutos)</b>
3.10	0.00
3.60	7.00
4.10	27.37
4.60	73.32

Donde h es la altura tomada desde el fondo del pozo hasta el nivel freático.

En base a los datos anteriores se obtuvo la siguiente gráfica:



Según se puede observar, la gráfica tiene una tendencia de tipo exponencial, cuya ecuación general es:

$$Y = aX^b + c$$

Para el caso, la ecuación es:

$$h = at^b + c,$$

donde:

h: altura desde la profundidad del pozo hasta el nivel del espejo de agua (m);

t: tiempo de recarga del pozo (min);

a, b y c: constantes (c = 3.1, distancia entre la profundidad del pozo y la máxima altura de abatimiento en metros).

Determinando los valores de a y b:

Para h = 4.6 m, t = 73.32 min; sustituyendo estos valores en la ecuación:

$$4.6 = a(73.32)^b + 3.1;$$

despejando a, tenemos:

$$a = 1.5 / 73.32^b \quad (1)$$

Para h = 3.6 m, t = 7 min; sustituyendo en la ecuación general:

$$3.6 = a(7)^b + 3.1 \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2), se obtiene que:

$$a = 0.2012$$

$$b = 0.4677$$

Por tanto, la ecuación general de la gráfica es:

$$h = 0.2012t^{0.4677} + 3.1$$

Considerando que la sección transversal del pozo se mantiene constante siendo igual a 0.8 m, se determinará el caudal promedio q:

$$q = vA,$$

donde:

v: velocidad de recuperación del pozo (m/min);

A: área transversal del pozo (m<sup>2</sup>).

Como v = dh/dt, entonces:

$$q = A \, dh/dt$$

$$q \, dt = A \, dh,$$

integrando se obtiene:

$$\int_0^{73.32} q \, dt = \int_{3.1}^{4.6} A \, dh$$

Como  $h = 0.2012t^{0.4677} + 3.1$ , los límites de integración serán ahora en función del tiempo:

$$q [t]_0^{73.32} = A [0.2012t^{0.4677} + 3.1]_0^{73.32}$$

$$A = (\pi/4) d^2 = (\pi/4) 0.8^2 = 0.5027 \, \text{m}^2$$

Resolviendo:

$$q = 0.01028 \, \text{m}^3 / \text{min} = 10.28 \, \text{lt} / \text{min}$$

El dato anterior corresponde al caudal promedio de recarga del pozo.

### 3.4 CÁLCULO DE POBLACIÓN FUTURA

Conocer la cantidad de habitantes en la zona del proyecto, así como las tendencias en su futura variación, es de suma importancia para el desarrollo del trabajo, ya que ello determinará el volumen de agua demandado y la capacidad que debe de poseer el sistema de suministro (dimensiones del tanque, dimensionamiento y distribución de tuberías, carga de la bomba, etc.).

Para determinar la población futura se tomarán en cuenta tres parámetros:

- a) Tasas de crecimiento de acuerdo a los censos.
- b) Capacidad del territorio para albergar más habitantes.
- c) Capacidad del pozo.

### **3.4.1 Tasa de crecimiento de acuerdo a los censos**

La población total del caserío, según el censo realizado por la cooperativa en diciembre de 1997 es de 78 personas (ver anexo 2). Debido a que La Loma es un caserío de reciente formación, no se cuenta con un censo anterior que permita calcular una tasa de crecimiento, siendo necesario considerar otros parámetros para conocer la cantidad futura de habitantes.

Según el V Censo Nacional de Población, realizado por el Ministerio de Economía en 1992, el crecimiento absoluto de población en el municipio de Suchitoto de 1971 a 1992 fue de -20,251 habitantes. El saldo negativo puede explicarse por las condiciones socioeconómicas del municipio que impulsaron a la población a emigrar hacia los centros urbanos, y más recientemente, el conflicto armado; no hay que olvidar que la zona fue una de las más afectadas por la guerra. Este decrecimiento da como resultado una tasa negativa de 4.16% anual. No obstante, tomando en cuenta que al introducir el agua potable en el caserío habrá una sensible mejoría en las condiciones de vida, es importante considerar que esto podría conllevar a un incremento de los habitantes en dicho lugar.

Por lo antes expuesto, puede concluirse que los datos sobre la tasa de crecimiento del municipio no son aplicables al caso concreto de La Loma, así como no son confiables para la determinación de la población futura.

### **3.4.2 Capacidad del territorio para albergar más habitantes**

El territorio tiene un área aproximada de 120000 m<sup>2</sup> (ver plano #1). Según indagaciones, los proyectos habitacionales en áreas rurales consideran un área de una tarea (400 m<sup>2</sup>) para la construcción de cada vivienda y su solar. Por lo accidentado del terreno, y a fin de despremiar las áreas donde no será posible construir, se asumirán terrenos de 1200 m<sup>2</sup> por vivienda, es decir, tres veces una tarea.

Dividiendo el área total entre el área por vivienda se obtiene el número de viviendas:

$$\# \text{ de viviendas} = 120000 \text{ m}^2 / (1200 \text{ m}^2 / \text{vivienda})$$

$$\# \text{ de viviendas} = 100$$

Considerando un número de 5 habitantes por vivienda (dato utilizado por ANDA para zonas rurales), la población máxima que podría albergar el territorio es de 500 habitantes. Además, utilizando una dotación mínima de 50 lt / día por habitante (sugerida por ANDA), será necesario un caudal de:

$$q = 500 \text{ hab} \times 50 \text{ lt} / \text{día por hab}$$

$$q = 25000 \text{ lt} / \text{día} = 17.36 \text{ lt} / \text{min}$$

Este dato sobrepasa el caudal de recarga del pozo, por lo que se concluye que el sistema propuesto no se puede basar en la capacidad del territorio para albergar habitantes, sino más bien en la capacidad de los recursos hídricos existentes.

### **3.4.3 Según la capacidad del pozo**

Para determinar la población futura de acuerdo a la capacidad del pozo, es necesario calcular el caudal máximo diario, el cual depende de la dotación diaria por habitante y del número de habitantes. Se hicieron varios cálculos con diferentes valores de ambas variables, tomando un rango de dotación entre 30 y 50 lt / día por habitante (recomendado por ANDA para cantareras ), concluyendo lo siguiente:

- dotación = 50 lt / día por habitante
- # de habitantes = 160
- El caudal medio diario ( $Q_m$ ) =  $160 \times 50 = 8000 \text{ lt} / \text{día}$
- El caudal máximo diario ( $Q_{Md}$ ) =  $1.2 \times 8000 = 9600 \text{ lt} / \text{día}$ ,

donde 1.2 es un coeficiente de demanda para caudal máximo diario recomendado por ANDA.

- El caudal máximo horario ( $Q_{Mh} = [(9600 \text{ lt / día}) / 24 \text{ hr}] \times 1.8 = 720 \text{ lt / hr}$ ,

donde 1.8 es un coeficiente de demanda para caudal máximo horario recomendado por ANDA.

Comparando el caudal máximo diario con el caudal de recarga del pozo, tenemos:

$$9600 \text{ lt / día} = 6.67 \text{ lt / min} < 10.28 \text{ lt / min.}$$

Lo que indica que el pozo es capaz de satisfacer la demanda de 160 habitantes con una dotación de 50 lt / día por habitante.

## **4.0 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **ALCANCES:**

1) Selección de un sistema apropiado de abastecimiento, almacenamiento y distribución de agua, considerando la dotación de agua y número de habitantes descritas en el capítulo anterior.

2) Facilitar a los habitantes del caserío La Loma el acceso al agua, de forma tal que no tengan que recorrer grandes distancia en busca del líquido.

3) Seleccionar un sistema de control automático que asegure un buen funcionamiento del sistema.

3) Sugerir un método de tratamiento del agua.

### **LIMITACIONES:**

1) La capacidad y profundidad del pozo existente, debido a su naturaleza artesanal, limita a considerar el doble de la población actual con una dotación de 50 lt/hab x día.

2) Elevado nivel de contaminación de las fuentes de agua.

3) Bajo nivel de desarrollo socioeconómico de la zona.

4) Poca disponibilidad de recursos para financiar el aforado total del pozo.

## 5.0 METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

### **METODOLOGÍAS:**

#### - Estudio de campo:

Se realizó un levantamiento topográfico del caserío, ubicando en forma precisa la disposición de los pozos (profundidad y nivel freático), la ubicación de los lotes, las alturas sobre el nivel del mar de los accidentes geográficos y diferentes distancias.

Se llevó a cabo un aforado parcial del pozo seleccionado, determinando de esa forma el caudal de recarga del pozo.

Se realizaron pruebas fisico-químicas y bacteriológicas del agua de los pozos.

#### - Estudio bibliográfico:

Consultas en bibliotecas (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Universidad de El Salvador y Universidad Don Bosco), centros de documentación de FUNDALEMPA, Dirección General de Recursos Naturales, resultados de censos elaborados por la Cooperativa Colima y otras fuentes.

#### - Estudio consultivo:

Entrevistas a personas con experiencia en el ramo (empresarios y técnicos de ANDA), técnicos de las empresas HIDROSAGARRA, la Casa Castro e Ingenio El Ángel, pobladores de la zona y directivos de la cooperativa Colima.

## **TÉCNICAS**

- El levantamiento topográfico se realizó empleando un teodolito, cinta métrica y brújula, estableciendo las diferencias de alturas entre los puntos de interés, así como las pendientes del terreno.

- El aforamiento se llevó a cabo utilizando una bomba achicadora centrífuga autocebante de 6 HP con una capacidad de 55 gal / min, activada mediante un motor de combustión interna de gasolina. Con el uso de la bomba se tomaron diferentes valores de rapidez de recarga para diversas alturas de abatimiento, obteniendo de esta forma una gráfica. Mediante cálculos matemáticos se dedujo la ecuación de dicha curva y se obtuvo el caudal promedio de recarga del pozo. Con este dato se determinó la cantidad de habitantes y la dotación máxima de agua por habitante que se tomarán como base para el desarrollo del proyecto.

## 6.0 MARCO TEÓRICO

El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen, la existencia y la circulación del agua del subsuelo, es esencial para la captación y usos adecuados de las fuentes. Es importante, para determinar un grado satisfactorio de extracción y usos apropiados del agua, conocer la cantidad presente, su origen, la dirección y grado de circulación hasta su punto de descarga, el grado de descarga y el de reposición así como su calidad.

### 6.1 EL CICLO HIDROLÓGICO:

El ciclo hidrológico es el nombre que se da a la circulación del agua en estado líquido, de vapor, o sólido, desde los océanos al aire, del aire a la tierra, sobre la superficie de ésta o bajo el suelo, y de nuevo a los océanos.

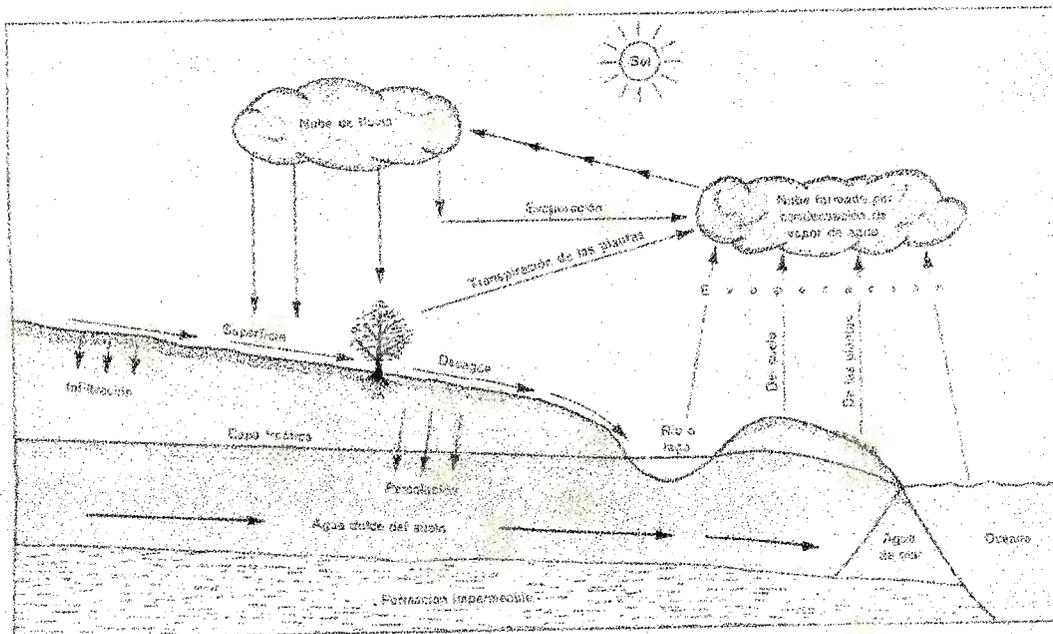


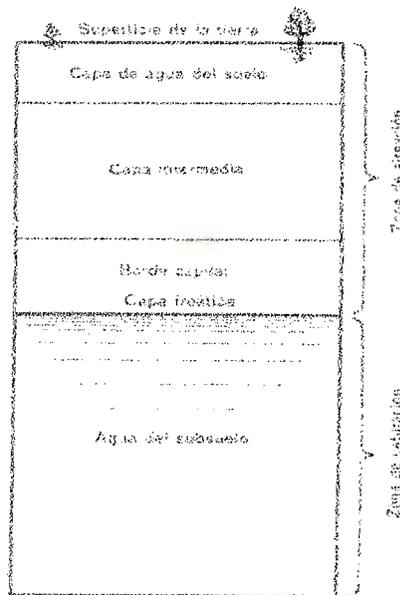
Fig. 6.1. Ciclo hidrológico.

La evaporación que tiene lugar en la superficie del agua de los océanos y otras masas abiertas de agua, da por resultado la transferencia de vapor de agua a la atmósfera. En ciertas condiciones, este vapor se condensa para formar nubes, las cuales subsecuentemente, liberan su humedad como precipitación en forma de lluvia, granizo, cellisca o nieve. La precipitación puede ocurrir sobre los océanos regresando algo de agua directamente a ellos o sobre la tierra, en la que los vientos han transportado previamente la humedad del aire y las nubes. Parte de la lluvia que cae en la tierra se evapora retornando inmediatamente la humedad a la atmósfera. Del resto, una parte, alcanzando la superficie del suelo la moja y fluye hacia las corrientes superficiales y desembocan finalmente en el océano, mientras otra parte se filtra en el suelo y, entonces, se percola hacia el flujo del agua del suelo a través del cual llega, más tarde, hasta el océano. La evaporación regresa parte del agua de la superficie de la tierra mojada a la atmósfera, mientras que las plantas extraen algo de ésta porción en el suelo mediante sus raíces, y en virtud de un proceso conocido como transpiración, la devuelven a la atmósfera a través de sus hojas [9].

## **6.2 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO:**

El agua del subsuelo que se encuentra en los intersticios o poros de las rocas se puede dividir en dos zonas principales: zona de aereación y de saturación.

La zona de aereación se extiende de la superficie de la tierra hasta el nivel al cual todos los poros o espacios abiertos en los componentes de la tierra se encuentran completamente llenos o saturados de agua. Una mezcla de aire y agua se encuentra en los poros en esta zona, y de aquí su nombre. Se puede subdividir en tres capas. Estas son la capa de agua de suelo, la capa intermedia y el borde capilar.



**Fig.6.2 Divisiones del agua del subsuelo**

La capa de agua del suelo yace inmediatamente debajo de la superficie, y ésta es la región de la que las plantas extraen, por medio de sus raíces, la humedad necesaria para su desarrollo. El grueso de la capa difiere grandemente según el tipo de suelo y vegetación, variando de unos cuantos pies en las tierras compactas y las áreas de cultivo, hasta varios pies en los bosques y tierras que soportan plantas de raíces profundas.

El borde capilar, ocupa la porción del fondo de la zona de aireación y yace inmediatamente sobre la zona de saturación. Su nombre procede del hecho de que el agua en esta capa, está suspendida por fuerzas capilares similares a las que causan que el agua se eleve en un tubo estrecho o capilar, por encima del nivel del agua contenida en un recipiente mayor que aloja verticalmente al tubo. Mientras más estrecho sea el tubo o los poros, más se elevará el agua. Por lo tanto, el espesor de la capa depende de la textura de la roca o el suelo y puede ser prácticamente cero cuando los poros son grandes.

La capa intermedia yace entre la capa de agua del suelo y el borde capilar. La mayor parte de su agua llega por gravedad hacia abajo, a través de la capa del agua del suelo. El agua de esta capa se llama agua intermedia (vadosa).

La zona de saturación yace inmediatamente bajo la zona de aereación, en la cual los poros están completamente llenos o saturados de agua. El agua de la zona de saturación se conoce como agua del subsuelo, y es la única forma de agua del subsuelo que puede fluir fácilmente hacia un pozo. El objeto de la construcción de un pozo es penetrar la tierra en esta zona con un tubo, cuya sección inferior tiene aberturas de un tamaño tal que permiten la entrada del agua desde la zona de saturación, pero excluyen la partículas de roca. Las formaciones que contienen agua del subsuelo y que la proporcionan fácilmente a los pozos son llamadas acuíferas [9].

### **6.3 APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS:**

Además de las fuentes subterráneas existen otras dos fuentes principales de agua para sistemas pequeños de abastecimiento: el agua de la superficie y el agua de lluvia. No obstante, la elección de la fuente de agua depende de las circunstancias locales. Una vez que se dispone del agua, debe ser traída de donde se encuentre hasta donde se necesite, es decir, elevarla, transportarla, almacenarla y purificarla.

Existen tres formas de acceder al agua subterránea:

- a) Mediante pozos entubados.
- b) Mediante pozos excavados.
- c) Mediante el aprovechamiento de manantiales.

Los primeros, son pozos sellados de diámetros pequeños donde se introduce un tubo tan profundo como sea posible dentro de los lechos acuíferos. Debido a que la capacidad de

almacenamiento de los pozos de pequeño diámetro es también pequeña, su rendimiento depende principalmente de la velocidad a la que fluye el agua del suelo circundante hacia el pozo. En una capa de arena saturada la corriente es rápida. El agua que fluye hacia adentro rápidamente reemplaza el agua extraída del pozo. Un pozo que alcanza una capa así, raramente se seca y puede proporcionar agua suficiente para una vivienda.

Los pozos excavados son perforados manualmente mediante el empleo de palas, barras y piochas y tienen un diámetro aproximado de un metro, para luego ser revestidos por tubos prefabricados de concreto o ladrillo de barro y cemento. A diferencia del pozo entubado, el pozo excavado permite la acumulación del agua que se filtra lentamente hacia su interior, contando así con una provisión abundante cuando la demanda es mayor.

El aprovechamiento de manantiales consiste en el uso de fuentes de agua que llegan hasta la superficie, con las cuales no es necesario realizar excavaciones. Son comúnmente llamadas nacimientos de agua [1].

#### **6.4 ELEVACIÓN Y TRANSPORTE DEL AGUA**

Una vez que se ha encontrado y captado una fuente de agua se debe determinar:

- a) la cantidad promedio de agua que sus necesidades requiere;
- b) los dos puntos entre los cuales debe ser transportada el agua;
- c) la clase y tamaño de tubería que se necesita para transportar la corriente requerida;
- d) la regularización del suministro de agua;
- e) la clase de bomba que se requiere para producir la corriente deseada.

El método más común para conocer la cantidad promedio de agua es el del aforado. Este consiste en extraer parcial o totalmente el agua contenida en el pozo, por medio de

bombeo, baldeo u otro medio. Se mide el diámetro interior del pozo y se toma el tiempo que tarda el agua en recuperar su nivel normal. Luego, mediante la fórmula  $q = V / t$  (donde  $q$  es el caudal de agua,  $V$  es el volumen extraído y  $t$  el tiempo), se calcula el caudal de recarga del pozo [1].

Mediante el levantamiento topográfico se pueden conocer la distancia y diferencia de alturas de los dos puntos entre los cuales se transporta el agua. Para ello se utilizan las tuberías. Estas pueden ser de varios materiales, pero por su mayor duración y resistencia se prefieren las de hierro galvanizado, asbesto, cemento y PVC. Aunque las tuberías siguen comúnmente el perfil del terreno, es necesario tener en cuenta que en ningún caso deben quedar a mayor altura que la línea de pendiente piezométrica entre los dos puntos, pues de lo contrario se producirán presiones negativas y, en caso de fisuras, se tendrán entradas de agua, aire, etc. En los puntos bajos deben instalarse válvulas de desagüe para poder vaciar la tubería y extraer sedimentos. En los puntos altos se pondrán válvulas de aire para evitar taponamientos. Las presiones excesivas pueden evitarse intercalando en los puntos adecuados cajas rompedoras de presión.

La regularización tiene por objeto transformar el régimen de alimentación de agua, que generalmente es constante, en régimen de demanda que es variable en todos los casos. Se almacena agua cuando la demanda es menor que el gasto de llegada, la cual se utilizará cuando la demanda sea mayor.

El almacenamiento también se hace para disponer de una determinada cantidad de agua como reserva, con el objeto de no suspender el servicio en caso de desperfectos en la captación o en la conducción.

La localización de los depósitos se hará tomando en cuenta la presión que deberá tener el agua para poder llegar a todos los puntos de la red de distribución con la presión

adecuada. Por lo anterior, los depósitos se situarán en lugares naturalmente altos o tendrán que elevarse en forma artificial.

Los primeros datos que se necesitan para seleccionar el tipo y el tamaño de la bomba son: 1) la corriente de agua que se necesitará y 2) la carga hidrostática o presión que tiene que vencer la bomba. Esta carga se compone de dos partes: la altura a la que debe de elevarse el líquido y la resistencia a la corriente creada por las paredes del tubo y las juntas, o sea, las pérdidas por fricción [8].

## **6.5 BOMBAS; APLICACIONES PARA POZOS PEQUEÑOS**

Bomba en general es una máquina de fluido que sirve para comunicar energía al líquido que la atraviesa. Con esta energía puede el líquido remontar el desnivel geodésico existente entre un depósito superior y otro inferior; ser impulsado contra la diferencia de presiones entre la atmosférica y la presión reinante en una caldera, etc.

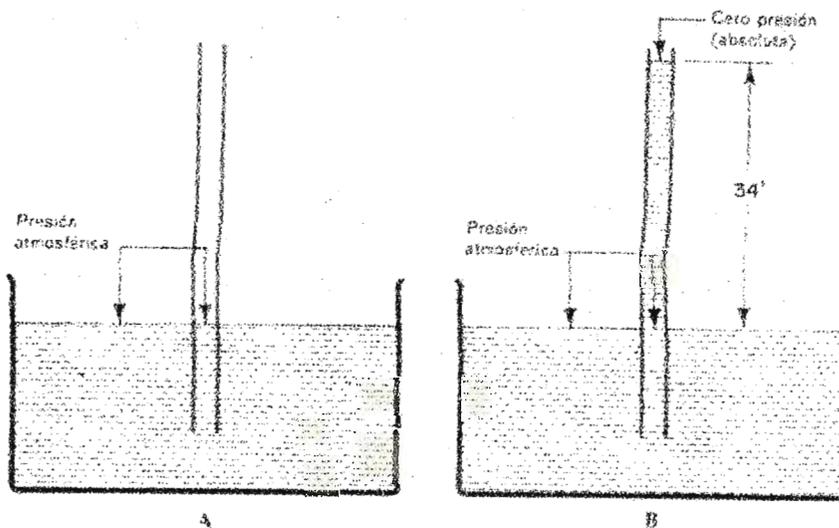
Las bombas no desarrollan energía por sí solas. Debe proveerse alguna fuente externa de energía para accionar una bomba y lograr que transporte y fuerce el fluido de trabajo desde un punto a otro. De todas las máquinas de fluidos, las bombas son las máquinas más versátiles por la variedad de condiciones de servicio (caudales y alturas suministradas), de potencias, de líquidos a impulsar y materiales de fabricación, así como por la enorme variedad de tipos existentes. El elemento impulsor puede ser según el tipo de bomba uno o varios émbolos, engranajes de diversos tipos, paletas deslizantes, álabes de formas diversas, etc. En cuanto a los materiales para su construcción, se utiliza la fundición, plomo, vidrio, bronce, cobre, etc. Además, las bombas pueden trabajar en condiciones muy diversas, desde en atmósferas esterilizadas hasta en pozos de petróleo a 3,000 metros de profundidad; los líquidos bombeados pueden ser prácticamente todos sin excepción, desde

los más volátiles hasta fluidos viscosos y pastosos, inclusive fangos y líquidos con sólidos en suspensión [9].

Para el bombeo de agua desde pozos, la acción de la mayoría de bombas puede dividirse en dos partes principales: la primera es la elevación del agua desde cierto nivel bajo hasta la toma de la bomba o su lado de succión y la segunda, se refiere a la presión aplicada al agua en la bomba para impulsarla hasta su destino.

### Altura de succión:

Considérese un tubo con sus extremos abiertos, que se encuentra suspendido verticalmente en un recipiente grande de agua:

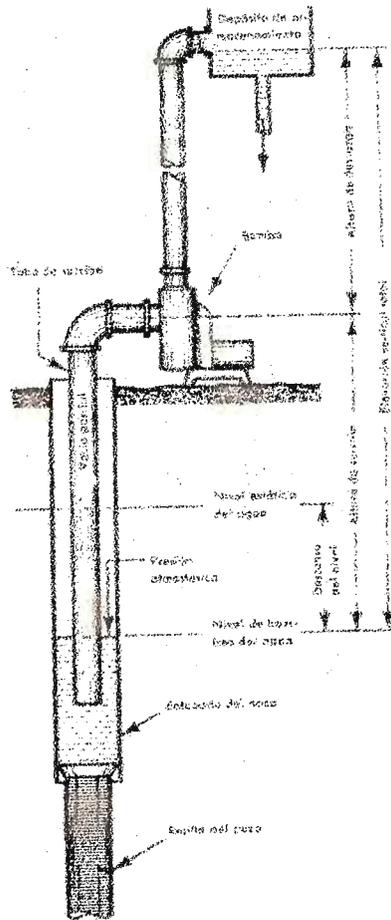


**Fig. 6.3. A. Presión atmosférica en todos los puntos. No hay diferencia en los niveles de agua. B. Presión en el tubo reducida a cero atmósferas (vacío total). El nivel del agua en el tubo se eleva, aproximadamente, a 10.33 m.**

Como el agua, tanto dentro como fuera del tubo está expuesta a la atmósfera (Figura A), la única fuerza externa que actúa sobre ambas superficies es la debida a la presión atmosférica. Siendo la presión en la superficie del agua igual dentro y fuera del tubo, no habrá diferencia en los niveles de agua (suponiendo que el tubo es suficientemente amplio

para que puedan despreciarse las fuerzas capilares). Sin embargo, si la presión sobre la superficie del agua dentro del tubo se reduce por debajo de la presión atmosférica, mientras que el exterior del tubo permanece a la presión atmosférica, el agua se elevará en el tubo hasta que el peso de la columna de agua dentro de éste ejerza una presión igual a la diferencia original de presión en las superficies del agua dentro y fuera del tubo. La altura máxima a la cual se elevará esta columna se presenta cuando la presión sobre la superficie del agua dentro del tubo se reduce a cero atmósferas (absolutas). Entonces, la columna de agua ejercerá una presión descendente igual a la presión atmosférica (Figura B). La presión atmosférica al nivel del mar es, aproximadamente, equivalente a una columna de agua de 10.33 metros y esta es la elevación a la cual subirá el agua dentro del tubo. La presión atmosférica disminuye al aumentar la altitud o altura sobre el nivel del mar. Asimismo, la altura máxima a la cual puede hacerse subir la columna de agua también disminuye cuando aumenta la altitud.

El término succión (o aspiración) se emplea para describir la cantidad en la cual se reduce la presión en el tubo por debajo de la atmosférica. Puede aplicarse succión al tubo accionando una bomba conectada en su extremo superior. El nivel a que se eleva el agua dentro del tubo por encima de la superficie en el recipiente grande se denomina altura de succión. Una bomba debe ser capaz de crear suficiente succión para elevarla en el tubo hasta el nivel del extremo de succión de la bomba. En la siguiente figura, el entubado del pozo representa el recipiente más grande mientras que el conducto de succión de la bomba ocupa el lugar del tubo.



**Fig. 6.4. Principios de bombeo de un pozo**

Nótese que la elevación del agua en la tubería de succión debe estar acompañada por una disminución del nivel del agua en el entubado del pozo. El nivel del agua dentro del entubado y el tubo de succión antes de que la bomba desarrolle la altura de succión se llama nivel estático del agua. El nivel en el entubado del pozo durante el bombeo es el nivel de bombeo del agua.

Entonces, en teoría, una bomba al crear la presión cero (absoluta) o un vacío total dentro de su tubería de succión, debe ser capaz de desarrollar una altura de succión de, aproximadamente 10.33 metros de agua al nivel del mar y algo menos en alturas mayores. Sin embargo, en la práctica esto no se logra, ya que las bombas no son 100 por ciento

eficaces y otros factores tales como la temperatura del agua y la fricción o resistencia al flujo en la tubería de succión reducen la altura de succión. Al nivel del mar, comúnmente las bombas mejor diseñadas para pozos pequeños desarrollan una altura de succión de aproximadamente 7.6 metros, mientras que la altura de succión de una bomba promedio varía entre 4.5 y 5.5 metros aproximadamente. Si es necesario elevar agua de un pozo desde un nivel situado a 7.6 metros o más bajo la superficie del suelo, debe encontrarse algún medio para bajar la bomba dentro del pozo y, ya sea sumergiéndola completamente en el agua o llevándola bastante cerca de la superficie del líquido, permitir que desarrolle la altura de succión de ésta [9].

## **6.6 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS**

### **Bombas según la altura de succión**

La altura límite de succión se emplea para clasificar las bombas en tipos para superficie, o bombas para pozos poco profundos, y bombas para pozos profundos. Las bombas del tipo de superficie son aquellas que se instalan en la superficie del suelo o sobre él y están limitadas a elevar agua por succión desde una profundidad generalmente no mayor de 7.6 metros aproximadamente bajo la superficie del suelo. Las bombas de pozo profundo son las que se instalan dentro del pozo y se emplean para extraer agua desde profundidades generalmente mayores de 7.6 metros bajo la superficie del suelo.

### **Bombas según principios mecánicos.**

Otra clasificación muy común de las bombas las divide en dos tipos principales basados en los principios mecánicos que implican. Estos dos tipos son: de desplazamiento constante y de desplazamiento variable.

Las bombas de desplazamiento constante están diseñadas para descargar más o menos una cantidad constante de agua sin tomar en cuenta la carga de presión contra la que se encuentran operando. Es decir, la velocidad de descarga es esencialmente la misma a presiones bajas o altas. Sin embargo, la energía de entrada o fuerza impulsora varía directamente en proporción a la presión en el sistema y debe duplicarse si la presión se duplica. Existen tres diseños principales de este tipo de bomba que se emplean comúnmente en los pozos de agua. Estos son: bombas de émbolo de movimiento alterno, bombas rotatorias y bombas de rotor helicoidal.

Las bombas de émbolo de movimiento alterno son el tipo más común de bomba de desplazamiento constante, utilizan el movimiento ascendente y descendente, o hacia delante y hacia atrás de un émbolo para desplazar el agua en un cilindro. El flujo dentro y fuera del cilindro se controla por medio de válvulas. Los principios y etapas fundamentales del funcionamiento de una bomba de émbolo de simple acción se ilustran en la siguiente figura.

El émbolo en la carrera hacia delante impulsa el agua desde el cilindro a través de la válvula de descarga abierta en el tubo de descarga mientras que al mismo tiempo se crea una succión debajo de ésta que abre la válvula de pie y permite que fluya el agua a través de la tubería de succión en el cilindro. La carrera de retroceso crea una presión detrás del émbolo en el cilindro, cerrando así la válvula de pie y abriendo las válvulas de charnela en el émbolo para permitir el paso del agua a través del lado de descarga del émbolo.

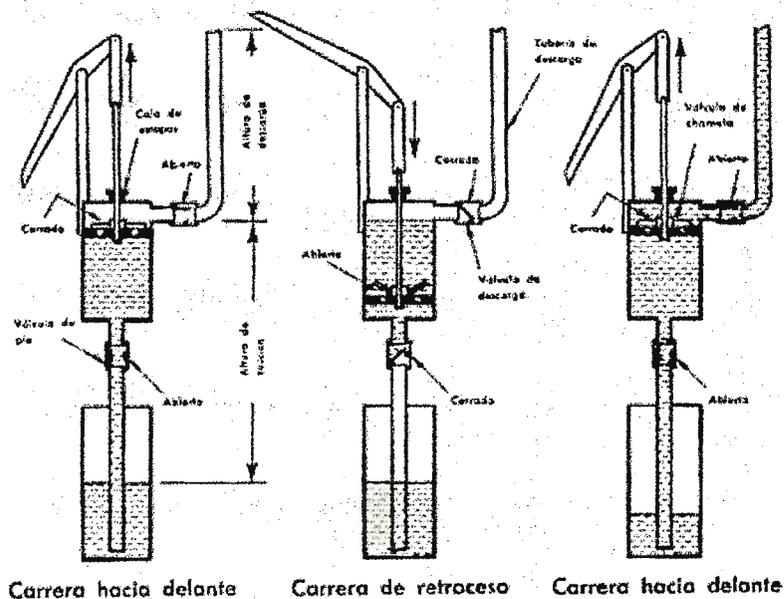
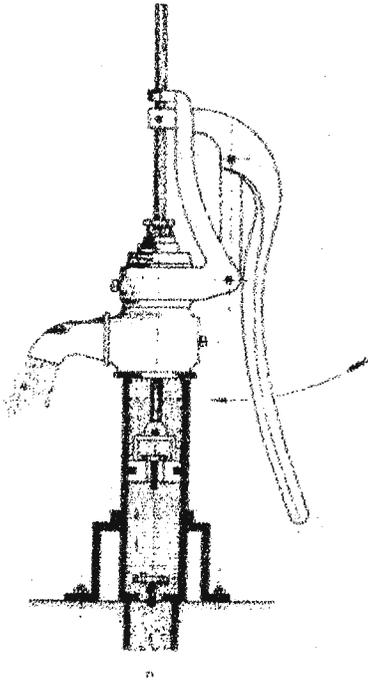


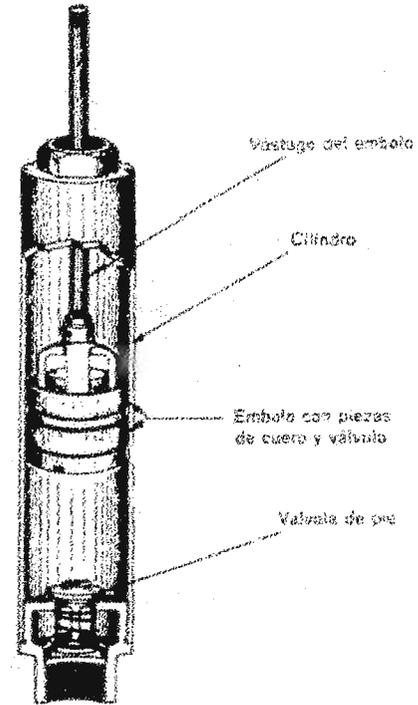
Fig. 6.5

La repetición continua de las carreras hacia delante y de retroceso del émbolo da por resultado un flujo permanente de agua hacia fuera de la tubería de descarga. La magnitud de la presión desarrollada por una bomba de este tipo depende de la energía aplicada al funcionamiento del émbolo. Estas bombas se fabrican en los tipos de superficie y para pozo profundo, y pueden operarse manual o mecánicamente.

El principio de funcionamiento de la bomba de émbolo de simple acción puede modificarse para que se bombee el agua en las carreras hacia delante y de retroceso. Las bombas así modificadas se conocen como bombas de émbolo de doble acción. Otras modificaciones implican el uso de dos o más émbolos, de manera que se bombea una corriente continua de agua con pulsación mínima contra altas presiones.



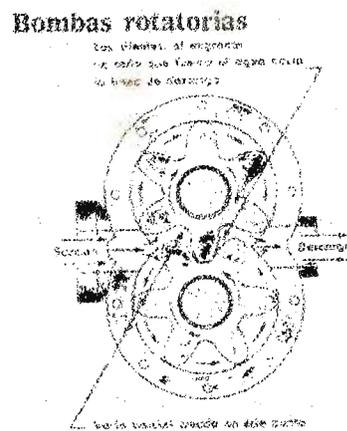
**Fig. 6.6. Bomba de émbolo de tipo de superficie accionada manualmente.**



**Fig. 6.7. Bomba de émbolo de simple acción para pozo profundo.**

El ritmo o velocidad de descarga de las bombas de émbolo de movimiento alternativo se determina multiplicando el volumen de agua desplazada en el cilindro en cada carrera por el número de movimientos del émbolo en un tiempo dado. De ésta manera, la velocidad de descarga puede cambiarse dentro de amplios límites modificando la velocidad del émbolo. Solamente cuando interviene un deslizamiento (movimiento del agua hacia atrás entre el émbolo y las paredes del cilindro) por un movimiento demasiado rápido del émbolo se alcanza el límite de capacidad. Lo anterior requiere un suministro adecuado de energía. Por lo tanto, puede haber gran flexibilidad en el uso de este tipo de bomba para satisfacer demandas variables de agua.

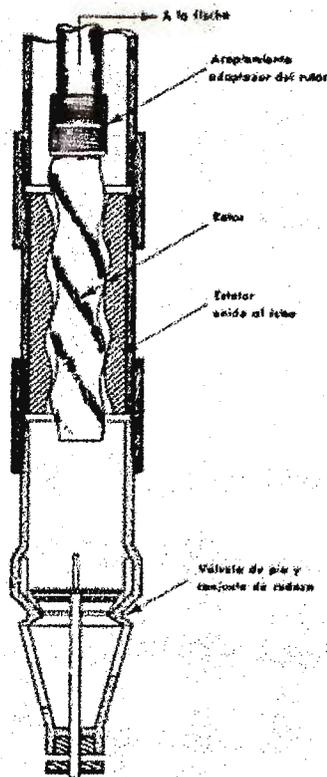
Las bombas rotatorias usan generalmente un sistema rotatorio de engranes o álabes, para crear una succión en sus lados de entrada y forzar una corriente continua de agua fuera de sus aberturas de descarga. De ordinario, son bombas del tipo de superficie con capacidades gobernadas por la velocidad y anchura de los dientes de los engranes y, cuando se usan en pozos, limitadas por su altura de succión. Las bombas de engranes están diseñadas para operar a baja velocidad y para el bombeo de agua limpia, exenta de arena o arcilla, ya que estos materiales pueden causar un desgaste considerable en los dientes de los engranes ajustados con precisión.



**Fig. 6.8. Bomba rotatoria de engranes**

Las bombas de rotor helicoidal son una modificación de la bomba de desplazamiento constante de tipo rotatorio. Sus elementos principales son el rotor o espiras de metal altamente pulido en forma de un gusano helicoidal de simple entrada y el estator exterior hecho de caucho. Las montaduras flexibles permiten al rotor girar excéntricamente dentro del estator, presionando una corriente continua de agua hacia delante a lo largo de las cavidades del estator. El agua también actúa como un lubricante entre los dos elementos

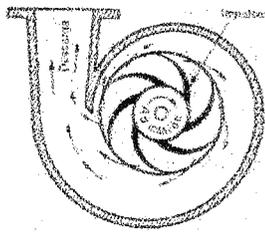
de la bomba. Las bombas de rotor helicoidal pueden ser, indistintamente, del tipo de superficie o de pozo profundo, y se impulsan, generalmente, por medio de máquinas o motores eléctricos.



**Fig. 6.9. Bomba de rotor helicoidal para pozo profundo**

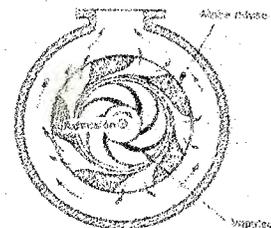
Las bombas de desplazamiento variable se caracterizan por tener una relación inversa entre sus velocidades de descarga y la carga de presión contra la cual funcionan. Es decir, el régimen de bombeo disminuye al aumentar la carga de presión. Lo contrario también es cierto, el régimen de bombeo aumenta cuando disminuye la carga de presión. Los dos tipos principales de bombas de desplazamiento variable empleadas en pozos pequeños son las centrífugas y las de chorro. Las bombas centrífugas son el tipo más común de uso general. Los principios básicos de funcionamiento se pueden ilustrar considerando el efecto de un balde oscilante de agua alrededor de un círculo y al extremo

de una cuerda. Si se cortara un agujero el fondo del balde, la fuerza centrífuga hará que el agua se descargue a través del agujero, con una velocidad que estaría determinada por dicha fuerza. Si se conectara una tubería de admisión a una cubierta hermética, en el balde, debe crearse un vacío parcial dentro de aquél al descargarse el agua. Este vacío puede arrastrar una cantidad adicional de agua, dentro del cubo, desde un depósito colocado en el otro extremo de la tubería de admisión, dentro del límite de la altura de succión creada por el vacío. De esta forma podría mantenerse un flujo continuo, de una manera similar a la de una bomba centrífuga. El cubo y la cubierta corresponden a la envolvente de la bomba, el agujero de descarga y la tubería de admisión corresponden a la descarga y admisión de la bomba, respectivamente, mientras que la cuerda y el brazo cumplen las funciones del impulsor de la bomba.



**Fig. 6.10. Bomba centrífuga con cuerpo de caracol**

**Fig. 6.11. Bomba centrífuga de turbina mostrando los álabes difusores característicos**

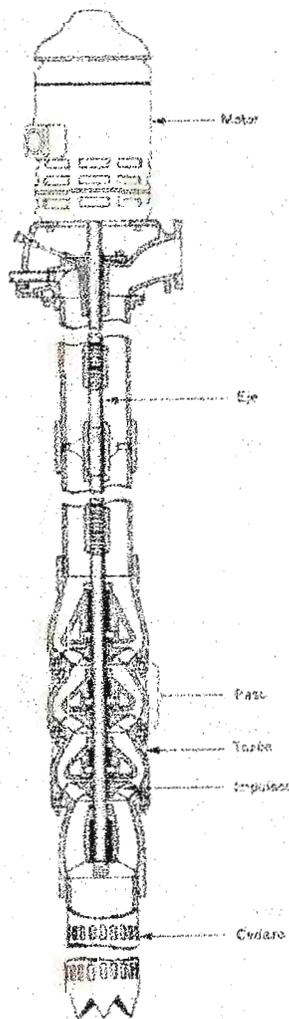


Las bombas centrífugas empleadas en pozos pequeños pueden subdividirse en dos tipos principales basados en sus características de diseño. Estas son, bombas con cuerpo de caracol y turbina y bombas de difusor. Los impulsores de las primeras están alojados en envolventes en forma de espiral, en las cuales se reduce la velocidad del agua al salir del impulsor, con un aumento resultante en la presión. En las bombas de turbina, los impulsores están rodeados por álabes difusores que proporcionan pasajes cada vez mayores a través de los cuales se reduce gradualmente la velocidad del agua que sale del impulsor, transformando así la carga de velocidad en carga de presión.

Las condiciones del uso determinan la selección entre las bombas de caracol y turbina. El diseño de caracol se usa muy comúnmente en las bombas de tipo de superficie cuando su tamaño no es un factor limitante y las cargas de diseño fluctúan entre bajas y medianas. Las bombas de tipo turbina se emplean cuando debe limitarse el diámetro de la bomba, en este caso, por el de la envolvente del pozo.

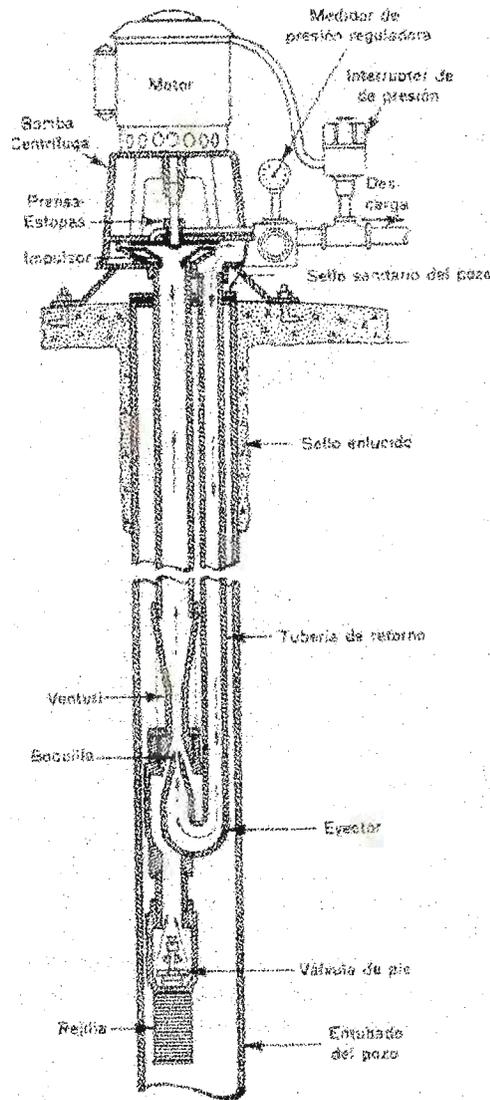
El comportamiento de una bomba centrífuga depende grandemente del diseño de su impulsor. Por ejemplo, la descarga de la bomba con una carga dada puede aumentarse agrandando el diámetro de la abertura de entrada y la anchura del impulsor. También se acostumbra usar un gran número de álabes de gula (hasta 12) en las bombas de turbina, cuando se desea una carga de presión más alta. El grado al cual puede aumentarse la carga de presión por un aumento en el número de álabes de gula es, sin embargo, limitado. Se logran incrementos más grandes por el uso de pasos múltiples, cada uno de los cuales contiene un impulsor. El diseño de pasos múltiples se emplea en las bombas de tipo de superficie y de pozo profundo, pero es particularmente común en las de pozo profundo diseñadas para emplearse cuando la altura es grande. Generalmente, la descarga de una bomba de paso múltiple es casi la misma que la de un solo paso de dicha bomba. La carga

de presión desarrollada y el caballaje requerido para su operación, sin embargo, aumentan en razón directa al número de pasos o impulsores. Por ejemplo, la carga de presión de una bomba de 4 pasos, uno de los cuales desarrolla una carga de 40 pies (12.2 m) de agua sería  $4 \times 40$ , ó 160 pies (48.8 m) de agua. En la siguiente figura se muestra una sección transversal de una bomba de pozo profundo de tipo de turbina de tres pasos, la cual es, en efecto, igual que tres bombas acopladas en serie donde el flujo pasa de una a la siguiente y aumenta la carga con el trayecto a través de cada paso.



**Fig. 6.12. Bomba de turbina de pozo profundo con eje maestro de tres pasos.**

Las bombas de inyección o chorro combinan las centrífugas y los eyectores para elevar el agua desde profundidades mayores, en los pozos, de lo que es posible empleando las bombas centrífugas del tipo de superficie por sí solas. Los componentes básicos de los eyectores son la boquilla y el tubo venturi mostrados en la siguiente figura.



**Fig. 6.13. Bomba de chorro**

Los principios de operación son como sigue: El agua bajo presión se descarga mediante la bomba centrífuga (montada al nivel del suelo) a través de la boquilla del eyector. El aumento súbito en la velocidad del agua al pasar a través de la boquilla ahusada causa una reducción en la presión al abandonar la boquilla y entrar al tubo venturi. Mientras más alta sea la velocidad del agua a través de la boquilla, mayor será la reducción de la presión en la entrada al tubo venturi. Por lo tanto, esta reducción en la presión puede hacerse suficientemente grande para crear un vacío parcial y de esta manera, succionar el agua desde el pozo a través de la tubería de admisión del eyector y en el tubo venturi. El ensanchamiento gradual del tubo venturi reduce la velocidad con un mínimo de turbulencia en el flujo y, así, causa una recuperación de casi toda la presión del agua en su curso a través de la boquilla. La bomba centrífuga, entonces, recoge el flujo, enviando parte de él hacia la tubería de descarga y regresando el resto al eyector para provocar mas flujo desde el pozo y, de esta manera, repetir el ciclo. El medidor de regulación de presión se ajusta para mantener la presión necesaria para producir flujo a la carga deseada de bombeo.

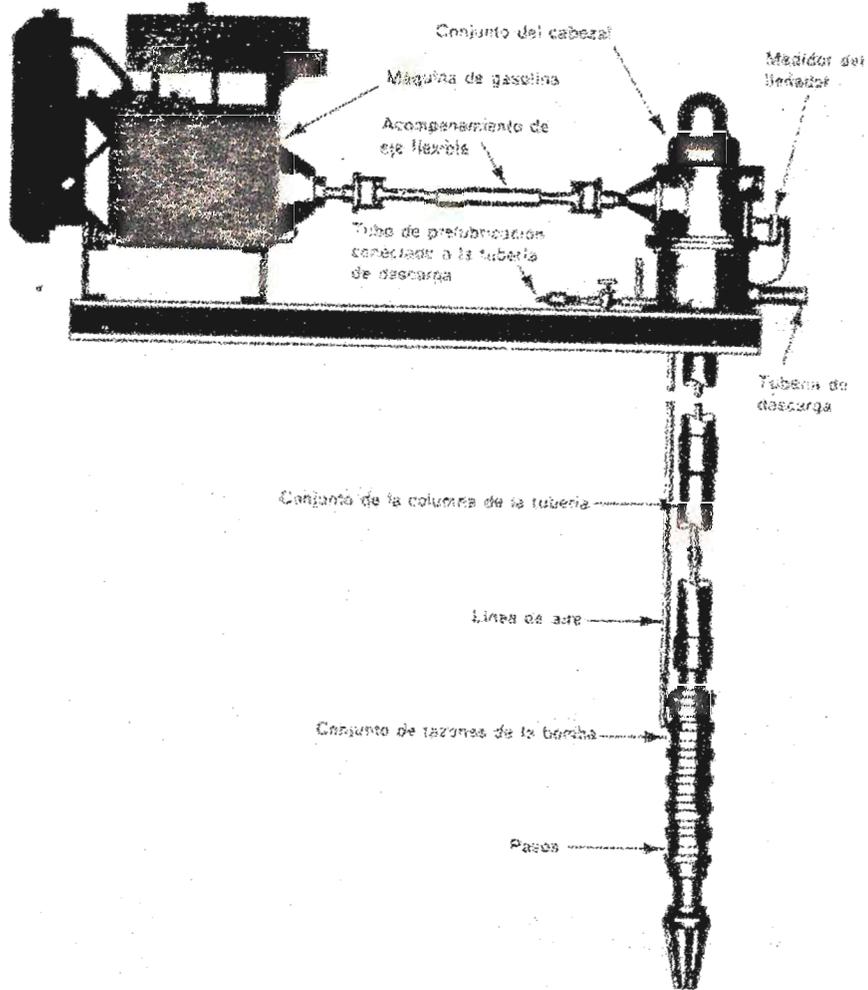
La bomba centrífuga es el impulsor primario sin el cual el eyector no podría bombear agua. No pueden lograrse aumentos considerables en la carga de presión de la descarga ajustando el medidor regulador. Tales aumentos se obtienen con un mayor número de pesos en la bomba. Las condiciones de operación siempre deben ser tales que la boquilla del eyector esté cubierta, por lo menos, por 5 pies (1.5 m) de agua. Las bombas pequeñas de inyección, usualmente, están limitadas a descargas de, aproximadamente, 20 galones (75.70 lt) por minuto contra cargas totales de presión que no exceden de 150 pies (45.75 m), de los cuales la altura requerida bajo el suelo es, aproximadamente, de 100 pies (30 m) o menos.

Generalmente, las bombas de chorro son ineficientes, pero tienen cierto número de

características deseables que han generalizado su empleo en las instalaciones pequeñas de abastecimiento doméstico de agua. Entre estas características se encuentra su adaptabilidad para usarse en pozos pequeños menores de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro, la accesibilidad de las partes móviles que están todas sobre la superficie del suelo, su simplicidad, el precio de compra relativamente bajo y el económico mantenimiento.

### **Bombas de pozo profundo:**

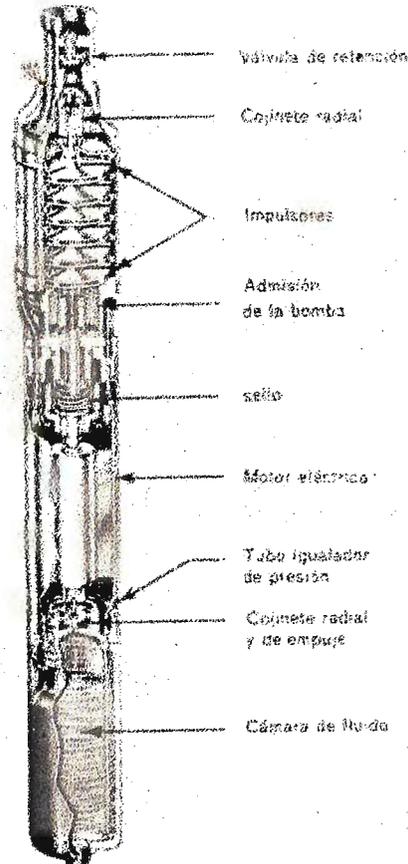
Las bombas de pozo profundo se definieron como las que se colocan dentro de los pozos y se emplean para elevar agua desde profundidades generalmente mayores de 25 pies (7.6 m) bajo la superficie del suelo. También se indicó que pueden ser de desplazamiento positivo (pistón y rotor helicoidal) y de desplazamiento variable (centrífugas y de chorro) por lo que respecta al diseño. Sin embargo, las bombas de pozo profundo se clasifican, además, según la posición de su fuente de energía. Si ésta está situada en la superficie del suelo o sobre él, y se requiere por consiguiente la transmisión de la fuerza impulsora a través de un largo eje, hacia la bomba en el pozo, entonces la bomba se conoce como de eje maestro vertical. Las bombas de eje maestro pueden moverse indistintamente por medio de motores eléctricos acoplados directamente (ver esquema de bomba de turbina de pozo profundo con eje maestro de tres pasos) o por máquinas o motores eléctricos a través de cabezales de transmisión a ángulo recto, tal como puede apreciarse en la siguiente figura:



**Fig. 6.14. Bomba de turbina de eje maestro para pozo profundo impulsada con una máquina.**

Sin embargo, cuando la fuente de energía (en este caso un motor eléctrico) está montada inmediatamente bajo la bomba y sumergida con ella en el agua, la máquina se denomina bomba sumergible.

## Bombas sumergibles



**Fig. 6.15. Vista en corte de una bomba sumergible.**

Las flechas en las bombas sumergibles solamente se extienden desde el motor hundido hasta el impulsor del extremo superior. No hay eje entre la bomba y la superficie del suelo, a diferencia de las bombas de eje maestro. Esta característica imparte a las bombas sumergibles una de sus más importantes ventajas sobre las de eje maestro.

Las bombas de eje maestro se han empleado durante varios años, precediendo a sus más recientes competidoras, las bombas sumergibles. La mayor parte de las fallas en las instalaciones de bombas, usualmente, surgen como un resultado de problemas en la fuente de energía. Las bombas de eje maestro, por tener sus fuentes de energía sobre el nivel del

suelo y separadas de ella, hacen más fácil el acceso a estas fuentes de energía y las reparaciones son posibles sin sacar todo el conjunto de la bomba del pozo. También puede lograrse mayor flexibilidad por el empleo de un cabezal de transmisión a ángulo recto, al cual pueden acoplarse dos máquinas, dos motores eléctricos o una máquina y un motor eléctrico. Esta disposición permite el empleo de una fuente de energía de reserva y operar continuamente la bomba por medio de una fuente, mientras la otra se atiende o repara.

Sin embargo, las instalaciones de eje maestro deben encerrarse en casetas para bombas y, en parte como resultado de esto, usualmente son más costosas que las instalaciones de bombas sumergibles. Los ejes y los cojinetes de las bombas de eje maestro también incluyen muchas más partes móviles, las cuales están sujetas al desgaste normal, acelerado por la corrosión y las partículas abrasivas de arena.

Las bombas sumergibles, aunque han sido construidas durante los pasados 50 años, sólo se han usado extensamente los últimos 15 años. Su mayor utilización coincidió con los mejoramientos del diseño en los motores sumergibles, los cables eléctricos y los sellos a prueba de agua. Estas mejoras hacen posible lograr eficiencias comparables con las obtenidas de las bombas de eje maestro. y largos períodos de operación sin problemas. La eliminación del largo eje de impulsión (y de sus múltiples cojinetes) no solamente eliminó los problemas de desgaste y mantenimiento relativos a las bombas de eje maestro sino también redujo los problemas creados por desviaciones en el alineamiento vertical de un pozo. El empleo de bombas sumergibles también produce economías en los costos de instalación, ya que, usualmente, no se requieren casetas para bombas. La operación del motor a una profundidad de varios pies, en el pozo, también reduce considerablemente los niveles de ruido. Sin embargo, toda la bomba y el motor deben retirarse para efectuar reparaciones y atender éste, aunque la necesidad de hacerlo no es frecuente [9].

### **Cebado de bombas:**

Cebado es el nombre que se da al proceso por el cual se introduce agua en una bomba a fin de desalojar el aire atrapado en ella y su tubo de succión durante los períodos de reposo. En otras palabras, el cebado produce una masa continua de agua desde la abertura de admisión del impulsor de la bomba, hacia abajo, a través del tubo de succión. Sin esta masa continua de agua, una bomba centrífuga no extrae agua aunque se haga funcionar el motor. Las bombas del tipo de desplazamiento positivo son menos afectadas y sólo requieren el cebado necesario para sellar las fugas en los pistones, válvulas y otras partes móviles.

Los muchos mecanismos y procedimientos empleados en la obtención y el mantenimiento del cebado en las bombas, generalmente comprenden uno o una combinación de los siguientes factores: (1) una válvula de pie para retener el agua en la bomba durante los períodos de interrupción, (2) una ventila para permitir el escape del aire atrapado, (3) una bomba auxiliar u otro mecanismo (tubo desde un tanque elevado) para llenar la bomba con agua, (4) el uso de un tipo de construcción autocebante en la bomba. Usualmente, las bombas autocebante tienen una cámara auxiliar integrada en su estructura, de tal manera que el aire atrapado es expulsado cuando la bomba hace circular el agua del cebado.

### **Selección de la bomba:**

La selección adecuada de una bomba para su instalación en un pozo comprende la consideración de varios factores. La exposición siguiente presenta algunos de los más importantes de ellos y, particularmente, aquellos que más frecuentemente se pasan por alto y es necesario hacer destacar.

El primer factor a considerarse debe ser, necesariamente, el rendimiento de un pozo. Pese a lo evidente que parece, es un hecho que a menudo se desatiende en la selección de la bomba para pozos pequeños. No es posible extraer más agua de un pozo que la cantidad determinada por su rendimiento máximo. Por lo tanto, es temerario escoger una bomba cuya capacidad de descarga sea más grande que lo que rendirá el pozo. Usualmente, los rendimientos máximos de un pozo se determinan por medio de pruebas de bombeo. Para pozos pequeños, las pruebas de bombeo no necesitan comprender más que el bombeo de los mismos a un régimen específico, o a una serie de ellos, por un período de tiempo mayor que los requerimientos probables de servicio. Entonces, los registros de la prueba pueden usarse para determinar la capacidad específica.

Con el conocimiento de la capacidad específica y las demandas estimadas de agua, se puede seleccionar después el régimen de bombeo adecuado tomando en consideración la provisión de almacenamiento. Se puede considerar la posibilidad de varias horas de capacidad de almacenamiento y un alto régimen de bombeo a fin de mantener el número de horas de funcionamiento tan bajo como sea posible. Deben pesarse las ventajas de hacer esto, o bien emplear un régimen de bombeo más bajo durante mayor número de horas de operación y la provisión de una capacidad de almacenamiento menor. La disponibilidad de energía eléctrica solamente por períodos limitados del día o la noche también influiría en la decisión. Habiendo escogido un régimen de bombeo, puede estimarse el descenso de nivel en el pozo para ese régimen dividiéndolo por la capacidad específica de aquél. Por ejemplo, un régimen de bombeo de 30 gpm (113.55 litros por minuto) en un pozo con una capacidad específica de 5 galones por minuto por pie, crearía un descenso de nivel de 30 dividido por 5, o sea, 6 pies (1.83 m). Agregando el descenso a la profundidad del nivel estático del agua bajo la superficie de ésta, se obtiene la profundidad al nivel esperado de bombeo del agua.

Entonces, se usa esta profundidad al nivel de bombeo del agua para escoger entre una bomba de tipo de superficie y una de pozo profundo. Al hacer esto, debe recordarse que las variaciones estacionales de la capa freática, el bombeo prolongado y la interferencia de otros pozos, pueden producir la disminución del nivel de bombeo del agua. Por lo tanto, deben hacerse concesiones donde es probable que ocurran tales posibilidades. El uso de bombas de pozo profundo estaría indicado donde la profundidad al nivel de bombeo del agua fuera de 25 pies (7.62 m) o más, y el pozo fuese suficientemente profundo y de diámetro bastante grande para alojar una bomba apropiada. De lo contrario, se usarían bombas de tipo de superficie con regímenes limitados de bombeo, si fuera necesario.

El siguiente paso lógico es la estimación de la carga total de bombeo, la cual, con el régimen correspondiente, determina la capacidad de la bomba seleccionada. Entonces, puede estimarse la carga total de bombeo,  $h_t$ , agregando la altura total vertical  $h_e$ , del nivel de bombeo del agua al punto de entrega del líquido y las pérdidas totales por fricción,  $h_f$ , que ocurren en la tubería de succión y descarga. Esta estimación desdeña la carga por velocidad o carga requerida para producir el flujo a través del sistema, ya que puede esperarse que ésta sea despreciable en la mayoría de las instalaciones que emplean pozos pequeños. La altura vertical total,  $h_e$ , incluye la altura de succión y la carga de entrega o carga sobre el impulsor de la bomba cuando se usa una máquina del tipo superficie.

Se puede consultar a los fabricantes de bombas o a sus agentes sobre la selección de una bomba adecuada para satisfacer la capacidad de bombeo estimada y las condiciones de succión, cuando sea posible. Algunos otros factores afectarían la selección final. Entre éstos se encuentran el precio de compra y el costo de operación de la bomba; la magnitud del mantenimiento requerido y la confiabilidad en el servicio disponible para ello; la posibilidad de obtener piezas de repuesto; la facilidad con que pueden efectuarse las

reparaciones; las características sanitarias de la bomba, y la conveniencia de la regularización en el uso de un determinado tipo y fabricación de bomba a fin de reducir la diversidad de piezas de repuesto [9].

## **6.7 FUERZA MOTRIZ**

### **Motores Eléctricos.**

Los motores eléctricos constituyen el principal dispositivo para convertir la electricidad en fuerza motriz y se utilizan ampliamente con ese propósito en aquellos casos donde se cuenta con suministro de energía eléctrica. En los usos estacionarios, el bajo costo, el alto rendimiento energético y la amplia gama de tamaños de los motores eléctricos da a éstos una pequeña ventaja sobre los de combustión interna. En países asiáticos como en América, la energía eléctrica es muy utilizada para sistemas de riego y bombeo[10].

El rendimiento energético de las operaciones en que intervienen los motores eléctricos es producto de dos factores: el rendimiento energético del motor en sí y la proporción del trabajo del motor que realmente es utilizada.

Las pérdidas de energía en las operaciones impulsadas por motores eléctricos se deben al hecho de que la velocidad de un motor la determinan el número de polos del mismo y la frecuencia de la electricidad que se le aplica. En los casos en que se requiere una velocidad variable, se utilizan reguladores de velocidad – como transmisiones y válvulas de estrangulación y de otros tipos - y es en esos dispositivos donde ocurren las mayores pérdidas. Ahora bien, existen tres enfoques disponibles para reducir esas pérdidas:

**-Los motores de corriente continua.** La velocidad de éstos puede variarse mediante la simple regulación del voltaje, y el regulador de voltaje necesario puede ser muy barato; sin embargo, los motores de corriente continua son voluminosos, caros y no siempre

adecuados para la industria. El motor eléctrico más común – barato, simple y confiable- es el de corriente alterna con devanado inducido en forma de jaula, pero no existe una manera simple de regular su velocidad como en el caso de un motor de corriente continua.

**-La conversión a transmisión hidráulica.** Con los motores hidráulicos puede obtenerse también una gama variable de velocidad y par de torsión, flexibilidad que puede aprovecharse para eliminar las transmisiones de las máquinas-herramientas y, por ende, para hacerlas más simples y baratas.

**-Las transmisiones de frecuencia variable.** Este tipo de transmisiones comprende dos dispositivos en serie o en combinación: un rectificador para convertir la corriente alterna en continua y un inversor para alimentar el motor con voltajes trifásicos ajustables [10].

## **6.8 SISTEMA DE TUBERÍAS. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.**

La tubería es el medio por el cual el agua se transporta desde la bomba hasta su destino, en este caso, el tanque. Para ello, es conveniente conocer el comportamiento básico del fluido, por lo que en esta sección se introducen los conceptos necesarios para el análisis del movimiento de fluidos. Se enuncian o derivan las ecuaciones básicas que permiten predecir el comportamiento de los fluidos y son: las ecuaciones de movimiento, continuidad y cantidad de movimiento.

La estática de fluidos es casi una ciencia exacta, siendo el peso específico (o densidad) la única cantidad que debe determinarse experimentalmente; por otro lado, la naturaleza del flujo de un fluido real es muy compleja. Ya que las leyes básicas que describen el movimiento completo de un fluido no se formulan ni manejan fácilmente desde el punto de vista matemático, se requiere el recurso de la experimentación. Por medio

de análisis basados en mecánica, en termodinámica y en la experimentación ordenada, se han producido grandes estructuras hidráulicas y eficientes máquinas de fluido [11].

### **Características del flujo. Definiciones.**

El flujo se puede clasificar de muchas maneras, tales como turbulento, laminar; real, ideal; reversible, irreversible; constante, inconstante; uniforme, no uniforme; rotacional, no rotacional o irrotacional.

Las situaciones de flujo turbulento son más usuales en la práctica de ingeniería. En el flujo turbulento las partículas del fluido (pequeñas masas molares) se mueven en trayectorias muy irregulares que causan un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra, de una manera similar a la transferencia de cantidad de movimiento molecular pero en una escala mucho mayor. Las partículas de un fluido pueden variar en tamaño, desde uno muy pequeño hasta uno muy grande. En una situación en la que un flujo podría ser turbulento o laminar, la turbulencia establece mayores esfuerzos cortantes en todo el fluido y causa más irreversibilidades o pérdidas. También, en el flujo turbulento, las pérdidas varían con la potencia de la velocidad de 1.7 a 2; en flujo laminar, varían proporcionalmente a la primera potencia de la velocidad.

En flujo laminar, las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias suaves en láminas, o capas, con una capa deslizándose suavemente sobre una capa adyacente. El flujo laminar es gobernado por la ley de viscosidad de Newton:  $\tau = \mu U/t$ , donde la relación  $U/t$  es la velocidad angular o la rapidez de deformación angular del fluido y  $\mu$  se denomina viscosidad del fluido, que relaciona el esfuerzo cortante con la rapidez de deformación angular. En el flujo laminar, la acción de la viscosidad amortigua las tendencias a la turbulencia. El flujo laminar no es estable en situaciones en las que hay

combinaciones de baja viscosidad, alta velocidad, grandes avenidas de flujo, y se descompone en flujo turbulento. Se puede escribir una ecuación para flujo turbulento similar, en forma, a la ley de viscosidad de Newton:

$$\tau = \eta \, du/dy$$

El factor  $\eta$ , sin embargo, no sólo es una propiedad del fluido, sino que depende del movimiento del fluido y de la densidad; se denomina viscosidad Eddy.

En muchas situaciones prácticas de flujo, tanto la viscosidad como la turbulencia contribuyen al esfuerzo cortante:

$$\tau = (\mu + \eta) \, du/dy$$

Un fluido ideal no tiene fricción, es incompresible. Un fluido sin fricción no es viscoso y sus procesos de flujo son reversibles.

La capa de fluido en el área inmediata a una frontera de flujo real que ha visto afectada su velocidad relativa a la frontera por un corte viscoso se llama “capa límite”. Éstas pueden ser laminares o turbulentas, dependiendo generalmente de su longitud, la viscosidad, la velocidad del flujo cerca de ellas y la aspereza de la frontera [11].

**Flujo viscoso en tuberías y canales: Flujo laminar y turbulento; flujo interno y externo.**

La naturaleza del flujo laminar o turbulento, y su posición relativa sobre una escala que indica la importancia relativa de las tendencias de turbulento a laminar, son indicadas por el número de Reynolds.

Se dice que dos casos de flujo son dinámicamente similares cuando:

- 1) son geoméricamente análogos, es decir, que las dimensiones lineales correspondientes tienen una razón constante;

- 2) las líneas de corriente correspondientes son geoméricamente semejantes, o las presiones en puntos correspondientes tienen una razón constante.

Reynolds dedujo que dos situaciones de flujo geoméricamente similares serían dinamicamente similares si las ecuaciones diferenciales generales que describen su flujo son idénticas. Al cambiar las unidades de masa, longitud y tiempo en un conjunto de ecuaciones y determinar la condición que debe satisfacerse para hacerlas idénticas a las ecuaciones originales, Reynolds encontró que el grupo dimensional  $ul\rho/\mu$  debe ser el mismo para ambos casos. La cantidad  $u$  es una velocidad característica,  $l$  es una longitud característica,  $\rho$  es la densidad de masa y  $\mu$  la viscosidad. Este grupo se conoce como el número de Reynolds ( $R$ ).

$$R = ul\rho/\mu.$$

Con una instalación común de tubos, el flujo cambiará de laminar a turbulento en los límites de los números de Reynolds de 2000 a 4000. En flujo laminar las pérdidas son directamente proporcionales a la velocidad promedio, mientras que en flujo turbulento las pérdidas son proporcionales a la velocidad elevada a una potencia que varía de 1.7 a 2.0.

Para valores intermedios de  $R$ , los efectos viscosos e inerciales son importantes y los cambios en la viscosidad alteran la distribución de la velocidad así como la resistencia al flujo.

Para la misma  $R$ , dos sistemas de conducto cerrado geoméricamente similares tendrán la misma razón de pérdidas a la velocidad de carga.  $R$  proporciona un medio para usar resultados experimentales obtenidos con un fluido para predecir los resultados en un caso análogo con otro fluido.

Otro método de clasificar flujos es examinando la extensión del campo de flujo. El flujo interno comprende flujo en una región limitada. El flujo externo comprende fluido en una región no limitada, en donde el foco de atención está en el patrón de flujo de un cuerpo sumergido en el fluido.

El movimiento de un fluido real está determinado por la presencia de una frontera. Las partículas del fluido en la pared permanecen en reposo, en contacto con ella. En el campo del flujo existe gradiente de velocidad en la vecindad de la pared, región llamada capa límite. Una fuerza cortante retardada es aplicada al fluido en la pared, siendo la capa límite frontera una región de esfuerzos cortantes significativos.

La acción del esfuerzo cortante en la pared es el retardar del flujo cerca de la pared. Como consecuencia de la continuidad, la velocidad debe aumentar en la región central. Más allá de una longitud de transición  $L'$ , el perfil de velocidad es fijo, ya que la influencia de la frontera se ha extendido a la línea central del tubo. La longitud de transición es una función de  $R$ . Para flujo laminar, Langhaar desarrolló la fórmula teórica:

$$L'/D = 0.058R,$$

en flujo turbulento, la capa límite crece con mayor rapidez y la longitud de transición es considerablemente más corta que la dada por la ecuación anterior [11].

### **Pérdidas en flujo laminar.**

Enseguida se desarrollan expresiones para las irreversibilidades de un flujo laminar unidimensional, incompresible a régimen permanente. Para el flujo a régimen permanente en un tubo, entre placas paralelas o en un flujo de película a profundidad constante, no cambia la energía cinética y la reducción en  $p + \gamma h$  representa el trabajo realizado sobre el fluido por unidad de volumen. El trabajo realizado se convierte en irreversibilidades por la

acción del corte viscoso. Las pérdidas en la longitud  $L$  son  $Q\Delta(p + \gamma h)$  por unidad de tiempo.

Si  $u$  es una función de  $y$ , que es la dirección transversal, y el cambio  $p + \gamma h$  es una función de la distancia  $x$  en la dirección del flujo, se pueden usar derivadas totales en todo el desarrollo:

$$d(p + \gamma h) / dx = d\tau / dy$$

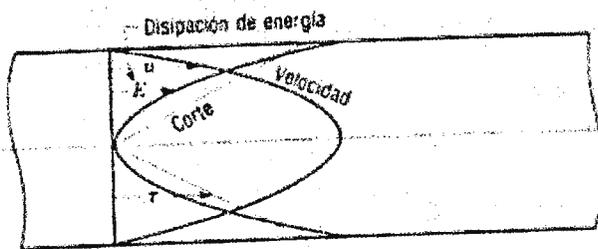
de acuerdo a la ecuación anterior, se deduce:

$$\text{Pérdidas} = \text{entrada neta de potencia} = QL d(p + \gamma h) / dx = Q\Delta(p + \gamma h)$$

En donde  $\Delta(p + \gamma h)$  es la caída de  $(p + \gamma h)$  en la longitud  $L$ . La expresión para la alimentación de potencia por unidad de volumen:

$$(\text{entrada neta de potencia}) / (\text{unidad de volumen}) = \tau du / dy = \mu (du / dy)^2 = \tau^2 / \mu$$

también se aplica a flujo laminar en un tubo. Las irreversibilidades son mayores cuando  $du/dy$  es mayor. La distribución del esfuerzo cortante, la velocidad y las pérdidas por unidad de volumen para un tubo circular se muestran en la siguiente figura [11].



**Fig. 6.16. Distribución de la velocidad, corte y pérdidas por unidad de volumen para un tubo circular**

## **Sistemas de distribución.**

Los sistemas de distribución de agua potable, deberán proyectarse y construirse para suministrar en todo tiempo la cantidad suficiente de agua en cualquier sector de la red, manteniendo una presión adecuada en todo el sistema. También deben permitir circulación continua del agua en la red, evitándose los ramales con punta muerta que dan lugar a presiones bajas y a estancamientos del agua con acumulación de sedimentos y de bacterias.

Para evitar corrosiones de la tubería e incrustaciones en sus paredes, debe seleccionarse el material de la misma. Las corrosiones implican destrucción de la tubería y, con ello, exponen el agua a contaminaciones que modifican su calidad; las incrustaciones estorban el libre flujo del líquido, al reducir el diámetro interno de la tubería.

En todo sistema de distribución, se utilizan piezas especiales y juntas. Las piezas especiales se usan en función del número de bocas necesarias para conducir el agua. Las juntas son aditamentos de unión para dos elementos seccionados que conducen agua.

A continuación se muestra una serie de piezas especiales y juntas más utilizadas en los sistemas de distribución de agua:

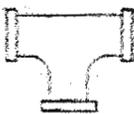
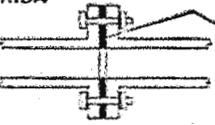
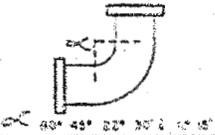
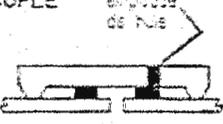
PIEZAS ESPECIALES		JUNTAS	
estas piezas se usan en función del número de "bocas" necesarios para conducir el agua, salvo en piezas de fabricación especial.		son aditamentos de unión para dos elementos seccionados que conducen agua.	
<b>"CRUZ"</b> 	generalmente las cuatro bocas son de igual diámetro, pero también se abren en dos diámetros distintos, situados por pares diagonales.	<b>CAMPANA Y MACHO</b> 	usado para unir con juntas de asbesto y plomo y como junta rígida usada en tuberías de hierro y asbesto cemento.
<b>NOTA</b> los esquemas muestran piezas con junta de "campana" y de "brida".	<b>"TE"</b> 	<b>MECANICA</b> 	empaque de goma junta flexible usada en tuberías de acero.
<b>"YE"</b> 	<b>"YE"</b> "yes" y "yes" pueden encontrarse de tres bocas de igual diámetro, o bien la boca desviadora de diámetro distinto.	<b>BRIDA</b> 	empaque de plomo sobre el tipo junta rígida para tuberías de hierro.
las bocas también pueden ser iguales o diferentes, y se fabrican con diferentes ángulos, para poder dar curvaturas de radio abigarrado, o conveniente al proyecto.	<b>"CODO"</b>  $45^\circ$ $45^\circ$ $30^\circ$ $30^\circ$ $15^\circ$ $15^\circ$	<b>GIBULT</b> 	barra de hierro junta flexible para tubo hueco de hierro o asbesto cemento o mixtos.
<b>"REDUCCION"</b> 	se utilizan para acoplar tuberías de menor diámetro, a piezas especiales de diámetro mayor, de acuerdo con las necesidades del proyecto también se usan como piezas de unión directa para tuberías de diámetros distintos.	<b>COPE</b> 	empaque de goma junta flexible para tubería de asbesto cemento se requieren "patas" para alinearlas una hacia otra. A.S. con P.A. usando espigas especiales.

Fig. 6.17

Existen también, en los sistemas de distribución de agua, otras piezas especiales tales como válvulas. Para asegurarse del buen funcionamiento de las válvulas, éstas deberán cerrarse y abrirse cuando menos dos veces al año. Siempre que proceda una reparación en las válvulas, deberán sustituirse los empaques [8].

Todas las válvulas deberán protegerse con cajas de registro, y ser fácilmente accesibles para su manejo y sustitución en caso necesario. En la siguiente figura se detallan algunas de éstas válvulas, indicando su utilización:

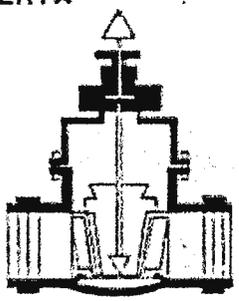
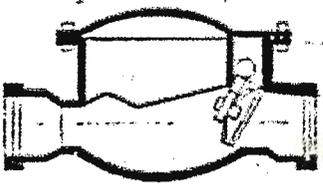
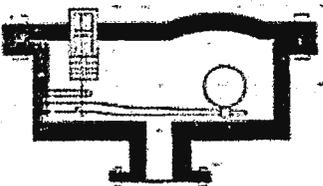
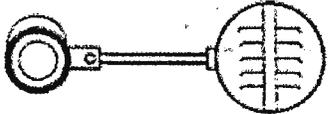
tipo de válvula	utilización
<p>COMPUERTA</p> 	<p>para regular el gasto, aislamiento de sectores en una red, y desfogue de instalaciones en general</p>
<p>RETENCION O "CHECK"</p> 	<p>no dejan circular el agua mas que en un solo sentido. De mucha aplicación en instalaciones de bombas.</p>
<p>DE AIRE</p> 	<p>permiten el escape de aire en los puntos más altos de la conducción, evitando taponamientos de aire que impidan el flujo del agua.</p>
<p>DE FLOTADOR</p> 	<p>regulan la entrada de agua, hasta que esta ha alcanzado un nivel deseado en un almacenamiento.</p>

Fig. 6.18

### Almacenamiento.

La regularización, tal como se explicó en la sección 6.4, tiene por objeto transformar el régimen de alimentación de agua, que generalmente es constante, en régimen de demanda que es variable en todos los casos. Se almacena agua, cuando la demanda es menor que el gasto de llegada, la cual se utilizará cuando la demanda sea mayor.

El almacenamiento también se hace para disponer de una determinada cantidad de agua como reserva, con objeto de no suspender el servicio en caso de desperfectos en la captación o en la conducción, así como para satisfacer demandas extraordinarias (incendios).

La localización de los depósitos se hará tomando en cuenta la presión que deberá tener el agua para poder llegar a todos los puntos de la red de distribución, con la presión adecuada. Por lo anterior, los depósitos se situarán en lugares naturalmente altos, o tendrán que elevarse en forma artificial.

Por su posición con respecto a la superficie del terreno, se clasifican en: a) superficiales y, b) elevados. Los depósitos superficiales se construyen de mampostería de piedra o de tabique y concreto simple o reforzado. Los de mampostería tienen la desventaja de ser bastante permeables, por lo que hay necesidad de impermeabilizarlos, aplanando los muros en su pared interior, con mortero de cemento-arena, 1:3 a 1:5, terminándolos con un pulido fino de cemento. Los elevados se construyen de concreto armado o metálicos.

Los depósitos se cubrirán para evitar la polución del agua que contengan; se colocarán cercas perimetrales par evitar el acceso del público y de animales [8].

## **6.9 AGUA: CALIDAD Y TRATAMIENTOS**

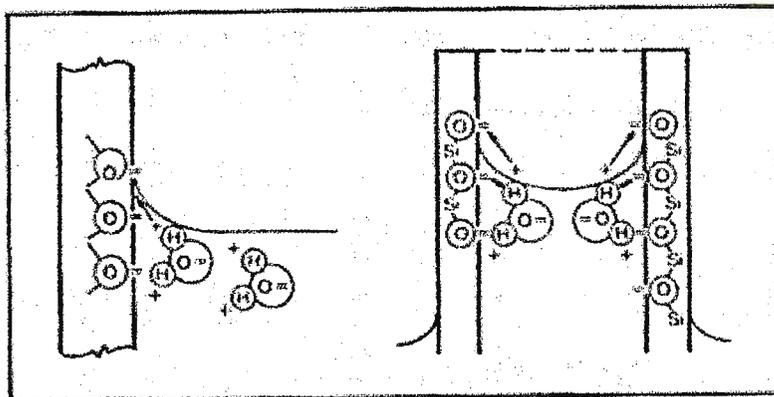
### **Naturaleza del agua. La molécula de agua.**

Las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra están cubiertas de agua. El estudio adecuado del agua es la molécula del agua. La fórmula  $H_2O$  en sí misma, únicamente indica su composición y peso molecular. No explica las propiedades extraordinarias que resultan de su arreglo molecular único. Los dos átomos de hidrógeno están separados entre sí por  $105^\circ$ , adyacentes al átomo de oxígeno, de forma que la

molécula es asimétrica, cargada positivamente del lado del hidrógeno y negativamente del lado del oxígeno. Por esta razón se dice que el agua es bipolar. Esto hace que las moléculas se aglomeren, el hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de la molécula vecina. La unión de las moléculas como resultado de esta fuerza de atracción recibe el nombre de “puentes de hidrógeno” [12].

### Tensión superficial.

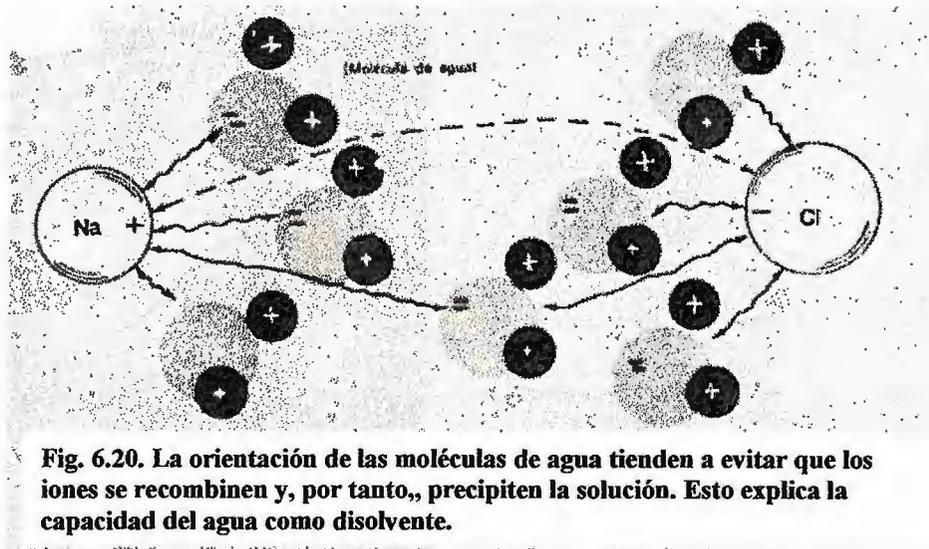
La tensión superficial elevada se demuestra fácilmente mediante el experimento de “hacer flotar” una aguja sobre la superficie del agua de un vaso. Esta elevada tensión superficial, debida a los puentes de hidrógeno, hace además que el agua se eleve en un tubo capilar. Esta capilaridad es parcialmente responsable del sistema de circulación desarrollado por las plantas vivas a través de sus raíces y sistemas tisulares.



**Fig. 6.19.** Se forma un menisco (izquierda) cuando los átomos de hidrógeno se mueven hacia arriba para humedecer la superficie del óxido en la línea de agua en un tubo de vidrio. El dibujo de la derecha muestra cómo los puentes de hidrógeno del agua en un tubo de vidrio delgado hacen que el agua en el tubo suba por arriba del nivel del agua que la rodea.

Con frecuencia al agua se le llama el disolvente universal. Las moléculas de agua en contacto con un cristal se orientan para neutralizar las fuerzas de atracción entre los iones

en la estructura cristalina. Entonces, los iones libres se hidratan con estas moléculas de agua. Este efecto de disolución e hidratación se muestra en forma cuantitativa en la relativamente elevada constante dieléctrica del agua.



El agua se ioniza muy ligeramente, produciendo únicamente  $10^{-7}$  moles de iones de hidrógeno y  $10^{-7}$  moles de iones de hidróxilo por litro, y actúan como aislante, ya que no pueden conducir la corriente eléctrica. La conductividad de las aguas naturales proporciona una medida de su contenido en minerales disueltos.

Otro fenómeno que ocurre en las soluciones acuosas y está relacionado con los materiales disueltos (solutos) más que con el agua (disolvente) es la presión osmótica. Si dos soluciones acuosas están separadas por una membrana, el agua pasará de la más diluida a la más concentrada. Este importante proceso controla la actuación de todas las células vivas; explica también la efectividad de la preservación de los alimentos mediante su salado; la sal crea una solución concentrada, separando las células de los organismos que pueden provocar la descomposición de los alimentos, cuando el agua dentro de sus cuerpos los abandona tratando de diluir la solución salina externa. En las celdas de membrana, diseñadas especialmente, el flujo osmótico del agua, a través de la membrana, puede

invertirse aplicando una presión lo bastante alta a la solución más concentrada. Este proceso de “ósmosis inversa” resulta muy práctico para la desalinización del agua.

La viscosidad es una propiedad física del agua que afecta su tratamiento y su empleo. Es una medida de la fricción interna, es decir, de la fricción de una capa de moléculas que se mueve sobre otras. Al aumentar la temperatura del agua, esta fricción interna disminuye. Debido a este efecto de la temperatura, las sales y gases disueltos pueden difundirse más rápidamente en el agua tibia; el tratamiento químico se acelera y los procesos físicos de sedimentación se efectúan con mayor rapidez [12].

### **Fuentes de agua y usos. Efectos de la lluvia**

La dilución repentina de un río mediante una fuerte lluvia puede ser un factor desorganizador en una planta de tratamientos de aguas. La ubicación de las tomas de agua de un río debe escogerse con cuidado teniendo este problema en cuenta. En la operación de una planta de tratamiento, es práctica común ajustar las dosificaciones químicas de acuerdo con la calidad del agua efluente. Sin embargo, hay muchas fuentes de agua tan variables que es necesario basar los cambios respecto al tratamiento químico en las características del agua antes de ser tratadas, en vez de en la calidad del agua después del tratamiento. Esto impone dificultades en los operadores de la planta de tratamiento, por lo que se requiere atención constante en el análisis y control.

Las mareas crean otra influencia importante sobre la calidad del agua superficial, puesto que hacen disminuir, y a veces invierten el flujo normal del río. Esto es particularmente notorio durante los períodos de poca lluvia. El cambio en la calidad del agua entre la marea alta y la baja justifica algunas veces la instalación de depósitos de agua antes de ser tratada, para recibir el agua durante la marea baja cuando el río fluye sin impedimentos y la calidad del agua es la mejor. Las plantas equipadas de esta manera

detienen el bombeo durante la marea alta cuando las aguas salinas de la bahía se mueven a contra corriente hacia el canal superior.

Las algas afectan los niveles de oxígeno. Cuando los contaminantes son biodegradables la actividad bacteriana en la corriente aumenta con la carga contaminante, tendiendo a reducir el nivel de oxígeno disuelto en la corriente; sin embargo, se tienen factores compensantes. El principal es la presencia de algas en la corriente; las algas producen oxígeno en la fotosíntesis en el día y producen con frecuencia una saturación en los días brillantes y soleados, cayendo durante la noche cuando el proceso se restringe. Este ciclo diurno afecta no sólo al oxígeno disuelto, sino también al dióxido de carbono y por lo tanto al pH. Esto puede tener una fuerte influencia sobre la coagulación de una fuente de agua en las plantas de tratamiento de agua municipales o industriales.

A partir de las corrientes en movimiento y de los ríos, el agua se puede difundir en las corrientes subterráneas cuando el nivel del agua que está alrededor es bajo; o el agua puede entrar en el río a partir de estas corrientes cuando el nivel del agua está alto. Esto también influye en la composición química, sobre todo la del hierro y manganeso en ciertas corrientes.

Al filtrarse el agua a través del suelo, los organismos presentes en la tierra consumen el oxígeno disuelto y producen dióxido de carbono, uno de los principales agentes corrosivos en la disolución de minerales de las estructuras geológicas. Es común encontrar hierro y manganeso en las aguas que carecen de oxígeno si éstas han estado en contacto con minerales que contienen hierro. Los pozos profundos que contienen oxígeno están generalmente libres de hierro [12].

## **6.10 AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Los depósitos subterráneos constituyen una fuente principal de agua dulce. En función de la capacidad de almacenamiento, las capas acuíferas subterráneas mundiales contienen más del 90% del agua fresca total con la que se cuenta para uso humano.

### **Constante de las aguas de pozo.**

El agua profunda se suele mover muy lentamente. Su flujo se mide en pies por año en comparación con las corrientes superficiales, cuyas velocidades se dan en pies por segundos. Debido a esto, la composición de cualquier pozo es por lo general bastante constante. Aunque los pozos poco profundos pueden variar estacionalmente en su temperatura, la mayor parte de ellos la mantienen generalmente constante, en el rango de 10 a 16°C. Puesto que el agua ha pasado a través de millas de formaciones de rocas porosas, invariablemente está clara si el pozo se ha perforado adecuadamente, evitando que la arena fina entre en el recubrimiento.

Puesto que la composición está relacionada con la química de las formaciones geológicas a través de las cuales haya pasado el agua, las aguas de los pozos perforados en diferentes estratos tienen características particulares. Algunos mantos acuíferos son tan grandes que pueden cubrir varias regiones en el área total, y los pozos perforados en un manto acuífero particular producen agua de composición similar [12].

### **Criterio de calidad.**

Para definir los criterios de calidad para la selección de la fuente, se recomienda seguir la clasificación de las aguas crudas en cinco grupos establecidos por Las Guías Internacionales De Agua Potable de la OMS.

Grupo 1. Agua que necesita únicamente desinfección:

a) Calidad bacteriológica.

1- Densidad de coliformes totales: la media aritmética mensual deberá ser menor que cien por cien mililitros de muestra.

2- Densidad de coliformes fecales: si se lleva a efecto la determinación de coliformes fecales, la cifra de coliformes totales puede exceder de cien por cien mililitros de muestra, pero en tal caso los coliformes fecales no deben superar de veinte por cien mililitros de muestra, computados por la media aritmética mensual.

b) Calidad física. Con relación a la turbidez se debe tener una unidad de concentración máxima deseada y cinco de concentración máxima admisible. Con relación al color, cinco unidades de concentración máxima deseada y quince de concentración máxima admisible.

c) Calidad química. Deberá contratarse el contenido de sustancias tóxicas de origen inorgánico y orgánico muy especialmente pesticidas, herbicidas, etc.

d) Calidad radiológica. Según lo establecido por la OMS.

e) Pesticidas. Según lo establecido por la OMS.

f) Tratamiento adicional: si la calidad del agua no es estable durante todo el año, según lo especificado en los literales anteriores, sería indispensable considerarlo en otro aspecto, para lo cual se necesitará darle un mantenimiento adicional durante el período en que se deteriora la calidad produciéndose un aumento de turbidez, olor, etc.

Grupo 2. Aguas que necesitan de tratamiento convencional como coagulación, sedimentación, filtración rápida o lenta y desinfección.

a) Calidad bacteriológica.

- 1- Densidad de coliformes totales: la medida geométrica mensual debe ser menor que tres mil por cien mililitros de muestra.
- 2- Densidad de coliformes fecales: si se lleva a efecto la determinación de coliformes fecales, la cifra de los coliformes totales no debe exceder de seiscientos por cien mililitros de muestra computados por la media geométrica mensual.

b) Calidad física. Elementos tales como color, turbiedad y olor contribuyen en forma significativa al tratamiento y potabilización del agua.

- 1- Color. El color real del agua tratada será de 5 unidades de concentración máxima deseada y de 15 de concentración máxima admisible.
- 2- Turbiedad. Los límites de turbiedad son variables, permaneciendo en un rango fácilmente tratable por medios convencionales. La turbiedad máxima deseable del agua tratada será de un UT y la concentración máxima admisible será de 5 unidades.
- 3- Olor. Debe ser de tal grado de naturaleza que su remoción por métodos convencionales no sea imposible. Se considerará la aireación como un método convencional.

c) Calidad química. Según lo establecido por la OMS.

d) Calidad radiológica. Según lo establecido por la OMS.

Grupo 3. Aguas que necesitan tratamiento convencional como coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección.

a) Calidad bacteriológica.

- 1- Densidad de coliformes totales. La media geométrica mensual debe ser menor que 20000 por cien mililitros de muestra.
  - 2- Densidad de coliformes fecales. El total de terminación de coliformes totales puede exceder de 20000 por cien mililitros de muestra, pero en tal caso, los coliformes fecales no deben exceder de 4000 por cien mililitros de muestra computados por la geométrica mensual.
- b) Calidad física. Según lo establecido por la OMS.
  - c) Calidad química. Según lo establecido por la OMS.
  - d) Calidad radiológica. Según lo establecido por la OMS.

Grupo 4. Aguas que no cumplen con los requisitos bacteriológicos expresados en los grupos anteriores. No se recomienda utilizar esta agua como fuente de abastecimiento, ya que su tratamiento por métodos convencionales es inadecuado. En este caso, debe efectuarse un estricto control de calidad y observarse en todo momento las Normas Internacionales Para el Agua Potable de la OMS.

Grupo 5. Aguas que no cumplen con uno o más de los requisitos físicos, químicos, radiológicos o de contenido de contaminantes orgánicos indicados. No se recomienda utilizar esta agua como fuente de abastecimiento. En este caso, se sigue el mismo paso para el grupo 4 [13].

## **6.11 GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTOS DE AGUA**

Los tipos de procesos de tratamientos que deben usarse y las eficiencias que deben obtenerse dependen en última instancia de los constituyentes que forman el agua cruda y sus concentraciones aceptables en los usos que se les va a dar al agua. El grado específico de remoción necesario para cada componente es aquel requerido para corregir la calidad del

agua cruda y satisfacer las necesidades especificadas para el producto final. Para llegar a estas decisiones deben poderse definir las metas en cuanto a calidad de agua en términos cuantitativos y precisos.

Con respecto a la protección de la salud, se necesita una base para evaluar los riesgos que acompañan a las diferentes concentraciones de constituyentes específicos del agua. Cuando se dispone de la información respecto a la concentración de cada constituyente en el agua cruda y de la concentración final que sería aceptable en el abastecimiento final, ella puede usarse para especificar qué tratamiento debe implementarse [14].

#### **Sustancias químicas orgánicas.**

La especificación de concentraciones permisibles de productos químicos orgánicos en el agua potable presenta problemas especiales, debido a las dificultades en el análisis del agua, ya que estos constituyentes se presentan en bajas concentraciones.

En la actualidad se han establecido niveles para varios tipos específicos de insecticidas, cuyas significativas implicaciones para la salud son ampliamente reconocidas, y para otros compuestos orgánicos. Los hidrocarburos clorados están despertando un gran interés en algunos países. La identificación de trazas de la mayoría de sustancias orgánicas en el agua requiere un personal y un instrumental de análisis especiales, a menudo sobre la base de consultorías [14].

#### **Mecanismos para reducir los riesgos para la salud mediante el tratamiento.**

Algunos procesos del tratamiento de agua funcionan simplemente removiendo los constituyentes indeseables sin ningún cambio significativo en su naturaleza. A esto se le llama remoción física. Otros procesos que funcionan principalmente mediante la separación

incluyen a la destilación, la ósmosis inversa y otros procesos utilizando membranas. En algunos casos, los constituyentes pueden separarse después de un pretratamiento para facilitar el proceso de remoción.

Otros tipos de procesos funcionan destruyendo las características indeseables de los constituyentes, ya sea antes de su remoción en proceso posterior o sin que exista remoción. A esto se le conoce como destrucción. En general, los procesos de desinfección funcionan mediante una reacción química con enzimas o con otros componentes celulares para inactivar al organismo y destruirlo efectivamente como sistema viviente.

A pesar de la amplia remoción de bacterias mediante diferentes procedimientos, la desinfección continúa siendo la principal línea de defensa contra la transmisión de enfermedades por medio del agua. La filtración lenta o la coagulación, sedimentación y filtración rápida, seguidas por la desinfección del agua tratada pueden virtualmente asegurar la eliminación de riesgos significativos de transmisión de enfermedades contagiosas por vía del agua potable. El desinfectante que se ha estado utilizando por tres cuartos de siglo con gran éxito es el cloro [14].

## 7.0 DISEÑO DEL SISTEMA

### 7.1 CONSIDERACIONES

La fuente de abastecimiento del sistema, tal como se ha mencionado en capítulos anteriores, es un pozo artesanal con una profundidad de 10.13 y un diámetro de 0.8 metros; con un espejo de agua a 4.6 metros del fondo. Considerando, según recomendaciones técnicas del fabricante, que la bomba estará ubicada a un metro del fondo del pozo, y que el nivel de agua puede llegar hasta 0.3 metros desde la parte superior de la bomba, el volumen aprovechable es de:

$$V_A = (\pi/4) \times d^2 \times h_A$$

$$h_A = h - h_1 - h_2 + h_3$$

donde:

d: diámetro del pozo

$h_A$ : altura aprovechable de la columna de agua

$h_1$ : altura desde el fondo del pozo a la parte inferior del motor (1m)

$h_2$ : altura del cuerpo de la bomba y motor (1.3)

$h_3$ : altura recomendada hasta donde llegará nivel de agua desde la parte superior de la bomba (0.3m)

$$h_A = (4.6 - 1 - 1.3 + 0.3) \text{ m} = 2.6 \text{ m}$$

$$V_A = \pi (0.8)^2 (2.6)/4$$

$$V_A = 1.30 \text{ m}^3 = 1300 \text{ lt} = 343.4 \text{ gal}$$

## 7.2 SISTEMA DE REGULARIZACIÓN

### Tanque:

El tanque de almacenamiento satisfecerá la demanda diaria para la población. Su volumen de almacenamiento dependerá del caudal máximo diario, al que se le agregará un 30% para cubrir las necesidades de agua mientras se realizan reparaciones o incendios (Dato sugerido por técnicos de ANDA). Por lo tanto:

$$\text{Volumen de almacenamiento} = Q_{Md}(1 + 0.3)$$

$$V_{AL} = 9600 (1.3)$$

$$V_{AL} = 12480 \text{ lt} = 12.48 \text{ m}^3 = 3296.87 \text{ gal}$$

Sus dimensiones serán: diámetro igual a 2.5 m y alto igual a 2.8 m ( $V_{TKE} = 13.74\text{m}^3$ ). El volumen de almacenamiento del tanque es 10.4 veces mayor al volumen aprovechable del pozo, por lo que será requerido un régimen de bombeo intermitente para lograr su llenado sin vaciar el pozo.

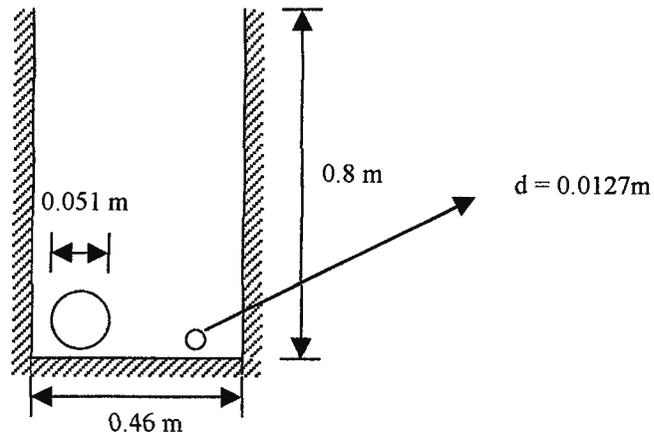
El tanque será construido de concreto, según las normas sanitarias de ANDA.

## 7.3 SISTEMA DE CONDUCCIÓN

### Tuberías:

Las tuberías a utilizar serán de 2 pulgadas, las cuales conducirán el agua desde la salida de la bomba sumergible hasta la parte superior del tanque. Las tuberías estarán colocadas en un canal de 46 cm. de ancho por 80 cm. de profundidad, recomendado para obras civiles de este tipo (ver figura 7.1). Considerando una bomba sumergible, la longitud total de la tubería está comprendida desde 2.3 m a partir del fondo del pozo (incluyendo la

longitud de la bomba) hasta la parte superior del tanque, dando un valor aproximado de 400 m. (Ver plano #2).



**Fig. 7.1. Esquema de zanja**

#### **Válvulas:**

El sistema comprenderá la instalación de dos válvulas Check, una después de la bomba al interior del pozo, y otra en la parte media de la tubería entre el pozo y el tanque de abastecimiento, con el fin de evitar el colapso de las tuberías cuando se interrumpa el bombeo. Además, se instalarán dos válvulas de compuerta, una a la salida del pozo y otra cercana al tanque, tal como se muestra en el plano #1.

## **7.4 SISTEMA DE BOMBEO**

### **7.4.1 Cálculo de pérdidas**

Para conocer la potencia de una bomba, se necesita determinar las pérdidas por fricción en las tuberías así como las pérdidas en los diferentes accesorios.

#### **7.4.1.1 Pérdidas por accesorios:**

La siguiente tabla proporcionada por Hidrosagarra muestra dichos valores en metros para tubería de PVC:

<b>PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN METROS PARA DIÁMETRO DE 2 PULGADAS</b>	
Dos codos de 45°	2 x 0.76 = 1.52
Cuatro codos de 90°	4 x 1.68 = 6.72
Dos válvulas check	2 x 3.96 = 7.92
Dos válvulas de compuerta completamente abierta	2 x 0.37 = 0.74
<b>PÉRDIDAS TOTALES POR ACCESORIOS (<math>\Delta H_{ACC}</math>)</b>	<b>16.90</b>

**Tabla 7.1**

#### 7.4.1.2 Pérdidas por fricción:

El cálculo de las pérdidas por fricción se hizo en base a la tabla del anexo 3 proporcionada por Hidrosagarra, asumiendo una bomba sumergible con un caudal de 28 gpm, trabajando a un régimen de 18 gpm por medio de la válvula reguladora.

Interpolando en dicha tabla de Red Jacket (pérdidas por fricción por cada 100 pies), para un valor de 18 gpm se obtiene:

$$\Delta H_f = 0.7014 \text{ pies} \times 1312.34 \text{ pies}/100\text{pies} = 9.20 \text{ pies}$$

$$\Delta H_f = 2.81 \text{ metros}$$

#### 7.4.1.3 Diferencia geográfica de alturas:

Como se puede observar en el plano #2, la diferencia de alturas entre la succión de la bomba y la parte superior del tanque es de  $\Delta H_g = 57.28$  metros.

#### 7.4.1.4 Pérdidas totales:

Las pérdidas totales es la sumatoria las pérdidas por accesorios y por fricción en la tubería.

$$\Delta H_T = (\Delta H_{ACC} + \Delta H_f) = 16.90 + 2.81$$

$$\Delta H_T = 19.71 \text{ metros}$$

## 7.4.2 Cálculo de la potencia del grupo

- La potencia efectiva de la bomba es:

$$Pot_{ef} = \gamma QH$$

Donde:

$\gamma$  : peso específico del agua a 20°C = 9789 N/m<sup>3</sup>

Q : caudal de bombeo = 18 gpm = 1.136 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/seg

H : altura total + pérdidas = 57.28 + 19.71  $\cong$  77 metros

$$Pot_{ef\ bomba} = 856.26\ W$$

- La potencia efectiva del motor es:

$$Pot_{ef\ mot} = Pot_{ef\ bomba} / \eta_B$$

Donde:

$\eta_B$ : eficiencia del motor = 60% (dato proporcionado por el distribuidor)

$$Pot_{ef\ mot} = 856.26 / 0.6 = 1427.1\ W$$

- La eficiencia de un motor  $\eta_m$  de 1.5 KW es de 79% (ver anexo 5)

- La potencia eléctrica es:

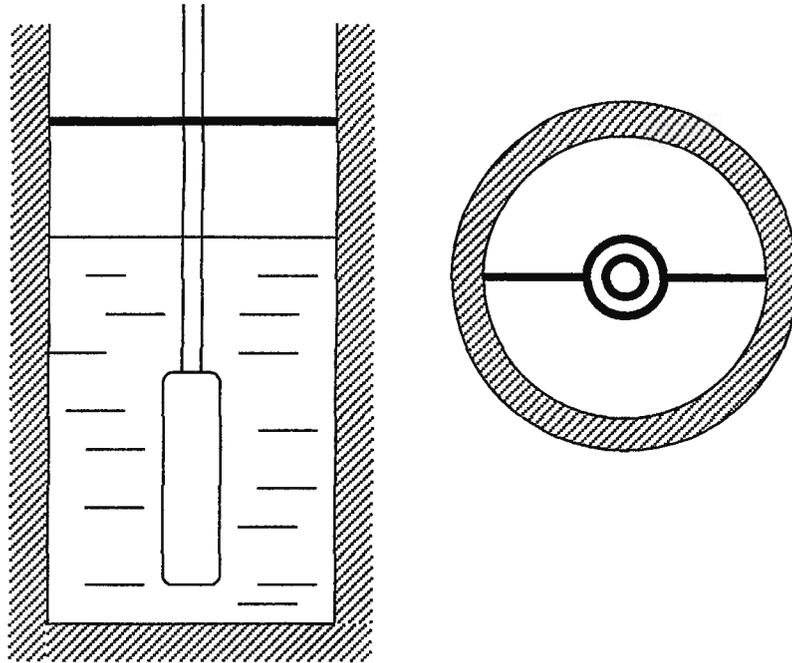
$$Pot_e = Pot_{ef\ mot} / \eta_m$$

$$Pot_e = 1.4 / 0.79 = 1.77\ KW$$

- La potencia de reserva es la potencia eléctrica más un 25%:

$$Pot_{reserva} = 1.77 (1.25) = 2.21\ KW = 2.96\ HP$$

Por lo tanto, la potencia de placa del equipo de bombeo (motor y bomba) será de 3 HP, según la tabla del anexo 4 para bombas sumergibles de 28 GPM trabajando a una altura de 77 metros (252.62 pies). Dicha bomba estará sujeta por medio de una abrazadera (fig. 7.2) en la tubería de hierro galvanizado para permitir un juego por el torque de arranque.



**Fig. 7.2. Bosquejo lateral y de planta de abrazadera de sujeción de la bomba.**

### **7.4.3 Eficiencia total del equipo de bombeo**

$$\eta_t = \eta_m \times \eta_B$$

$$\eta_t = (0.79)(0.6)$$

$$\eta_t = 0.474$$

$$\eta_t = 47.4\%,$$

la cual está considerada dentro del rango de operación de estas bombas (ver anexo 4)

## 7.5 Sistema de control de niveles

El sistema de control de niveles tendrá las siguientes funciones, evitar:

- el agotamiento del pozo;
- que la bomba trabaje en seco;
- que el tanque rebalse.

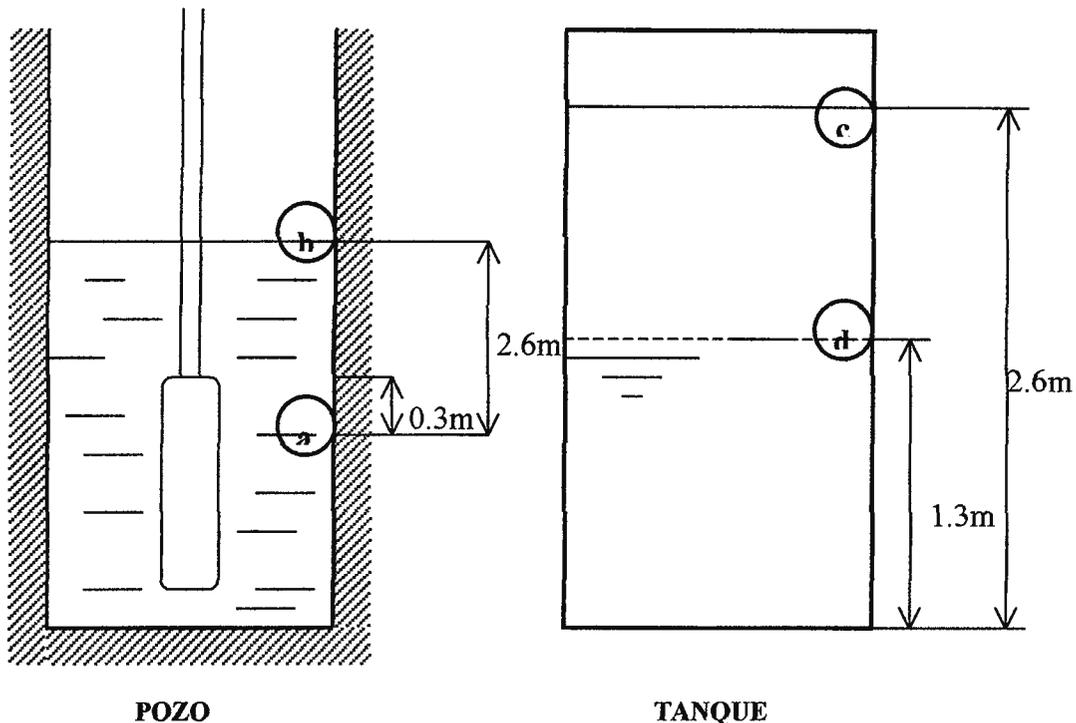


Fig. 7.3 Controles de niveles en tanque y pozo

Para evitar el agotamiento del pozo se dispondrá de un controlador de nivel de dos sensores: un indicador de bajo nivel (a) que desactivará la bomba cuando el espejo de agua llegue a 1 m arriba de la succión, asegurando que la bomba nunca trabaje en seco y un indicador de alto nivel (b) a 4.6 metros desde el fondo que activará la bomba cuando el pozo se haya recargado.

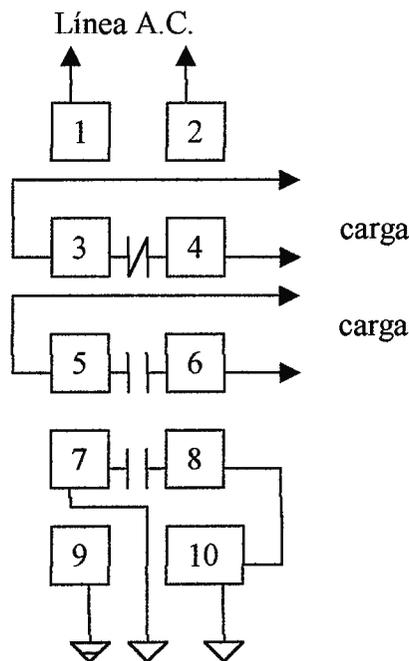
Además se dispondrá de otro controlador del mismo tipo para el tanque: un indicador de alto nivel (c) que desactivará la bomba cuando el agua llegue a 2.6 m de altura

y un indicador de bajo nivel (d) que active la bomba cuando el agua alcance 1.3 metros desde el fondo, es decir, 50% de la capacidad del tanque.

Ambos controladores podrán ser manejados a través de un panel de control. El indicador (a) es el gobernador del sistema, puesto que la bomba nunca deberá trabajar en seco. Este nivel desactivará la bomba. El indicador (b) tiene como función encender la bomba nuevamente, manejando así el volumen aprovechable estimado (1500 lt). (c) mandará una señal de desactivado de la bomba cuando el tanque esté completamente lleno.

El controlador de nivel (d) activará la bomba nuevamente, siempre y cuando (a) esté desactivado y (b) sense el nivel adecuado para activar la bomba. Es decir, que el funcionamiento de (d) estará condicionado a los indicadores (a) y (b).

Cada control de nivel estará representado por el siguiente esquema:



**Fig. 7.4. Servicio de diferencia de niveles para bombeo. El contacto de carga 3-4 se abre y el contacto de carga 5-6 se cierra cuando el nivel alcanza el electrodo corto conectado al terminal 10. El contacto 3-4 se cierra y el contacto 5-6 se abre cuando el nivel baja del electrodo conectado en el terminal 7.**

## 7.6 Sistema de distribución

La tubería del sistema de distribución será de PVC de ½ plg; la tubería principal estará en la misma zanja donde se ubicará la tubería que va del pozo al tanque (figura 7.1), con el propósito de ahorrar en lo referente al trabajo de excavación. La distribución de los chorros se muestra en el plano #1, donde se ha considerado el centroide de cada área de viviendas.

El sistema de distribución comprenderá 4 grifos de ½”, los cuales tendrán su respectiva válvula de compuerta, con el propósito de darle un mantenimiento periódico a los chorros. Además se contará con otra válvula de compuerta a la salida del tanque en caso de realizar reparaciones en el sistema. Los ramales para la tubería de distribución estarán conectados a la tubería primaria por medio de uniones tipo “Y”.

## **8.0 CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA**

La bomba seleccionada está garantizada contra cualquier defecto en su fabricación y materiales; está diseñada para proporcionar largos períodos de servicio sin contratiempos. Usualmente requiere de poca atención cuando ha sido instalada correctamente. La mayoría de las llamadas para servicio de las bombas sumergibles son causadas por problemas de tipo eléctrico. Estas bombas requieren un mantenimiento periódico, cada cuatro o seis meses, el cual consiste en un chequeo general de su funcionamiento, chequeo del panel de control, capacitores, relé, contactores, etc., mediante la revisión del amperaje, resistencias y flujo de agua. Además, en ese mismo chequeo debe incluirse la revisión del sistema de control de niveles Warrick y válvulas.

Los problemas comunes de funcionamiento, sus probables causas, así como las operaciones necesarias a realizar se describen a continuación:

A) La bomba funciona, pero con poca o nada de agua, funciona por largos períodos sin apagarse:

- i) revisar si válvula entre pozo y tanque no está instalada al revés;
- ii) las líneas en la caja de control están mal conectadas;
- iii) voltaje demasiado bajo ocasiona que el motor funcione lentamente, chequear con un voltímetro;
- iv) tubo de descarga con fugas;
- v) rejilla de succión atascada;
- vi) válvula de retención de la bomba pegada;

- vii) impulsores o difusores pueden estar parcialmente atascados;
- viii) impulsores o difusores desgastados debido a materiales abrasivos en el agua;
- ix) presión de descarga de la bomba insuficiente debido al abatimiento del nivel de agua en el pozo;
- x) interruptor de presión defectuoso;
- xi) la unidad puede estar funcionando en sentido contrario.

B) La bomba arranca con demasiada frecuencia:

- i) tanque saturado de agua, revisar el sistema de carga de aire;
- ii) fugas en el tanque, tubería o válvulas de retención;
- iii) interruptor de presión desajustado.

C) Salida de aire o agua lechosa por la llave:

- i) salida de aire del tanque no funciona adecuadamente;
- ii) pozo con gas;
- iii) válvula de retención de la bomba tiene fuga de agua y permite que demasiado aire entre al tanque.

Además de éstos existen también los problemas de índole eléctricos. Los más comunes se describen a continuación:

A) El motor de la bomba no arrancará, pero el fusible no está fundido o el protector de sobrecarga desconectado:

- i) no hay voltaje, chequear con voltímetro;
- ii) circuitos abiertos en los cables, empalme o embobinado del motor, chequear con óhmetro;
- iii) circuitos abiertos en la caja de control, chequear con óhmetro;
- iv) el circuito cortador de sobrecarga podría estar desconectado, restablecerlo.

B) El motor intenta arrancar, pero destruye el fusible o desconecta el protector de sobrecarga:

- i) relevador de arranque defectuoso, tamaño equivocado o desajustado;
- ii) capacitor de arranque defectuoso o destruido, probar con óhmetro;
- iii) bajo o alto voltaje;
- iv) cables rotos en la caja de control;
- v) los capacitores de arranque podrían haber sido sustituidos por un tamaño equivocado;
- vi) los fusibles y el circuito cortador de sobrecarga podrían ser del tamaño equivocado;
- vii) el cable, empate o embobinado del motor podrían estar aterrizados, en corto o abiertos, chequear con óhmetro;

C) La bomba funciona por un período de tiempo antes de destruirse el fusible o desconectarse el protector de sobrecarga:

- i) bajo o alto voltaje;
- ii) capacitor de funcionamiento defectuoso, probar con óhmetro;
- iii) temperatura ambiente alta alrededor de la caja de control, esta no deberá ser instalada directamente expuesta a los rayos del sol o en lugar caliente;
- iv) la caja de control y el HP del motor y/o el rango de voltaje no son los mismos;
- v) relevador de arranque defectuoso o desajustado;
- vi) el cable, empate o embobinado del motor podrían estar aterrizados, abiertos o en corto, probar con óhmetro y amperímetro;
- vii) flujo insuficiente pasa por el motor.

## 9.0 SUGERENCIAS SOBRE EL TRATAMIENTO DEL AGUA

De los resultados de los análisis de laboratorio (Ver anexo 6), puede observarse que es necesario trabajar en la disminución de los siguientes parámetros: manganeso, sólidos suspendidos totales y volátiles, E. Coli, coliformes totales y fecales.

En cuanto al hierro y el manganeso, éstos suelen encontrarse en forma natural en las rocas y los suelos; en estas condiciones se encuentran oxidados y son por lo tanto insolubles, siendo muy factible que en los mantos acuíferos subterráneos y superficiales puedan encontrarse partículas suspendidas de óxidos o sales insolubles de estos metales. Su remoción puede realizarse mediante un proceso de floculación o filtración si la concentración es excesiva. No obstante, el principal problema con estos metales ocurre cuando la materia orgánica presente en las aguas (especialmente en aguas subterráneas y de grandes embalses) consume el oxígeno disuelto y los compuestos de hierro y manganeso se reducen, dando origen a compuestos solubles. En este caso su remoción requeriría la introducción de un agente oxidante, con el propósito de volver los metales a su valencia original, logrando así que precipiten, pudiendo ser removidos mediante filtración.

Para el caso de la muestra en estudio, se observa que ambos metales se encuentran tanto en estado soluble como suspendido; el hierro, sin embargo, no acarrea problemas por su baja concentración, no así en manganeso, cuya mayor proporción se encuentra disuelta.

Normalmente bastaría con un simple proceso de aereación para oxidar el manganeso y precipitarlo, para luego eliminarlo por filtración, lo cual es perfectamente factible en este caso. Debe considerarse también que existe presencia en el agua de coliformes, por lo que para su disminución es necesario un agente desinfectante. Si se emplea un agente oxidante

enérgico para la desinfección bacteriológica, éste oxidaría a la vez a los compuestos de manganeso y hierro, lográndose el efecto descrito anteriormente con la aereación.

La selección de dicho agente oxidante depende de varios factores, como toxicidad para los microorganismos, solubilidad, estabilidad, capacidad desodorante, precio y disponibilidad. El cloro ha sido durante mucho tiempo el desinfectante empleado por excelencia, siendo el que mejor cumple con los criterios antes mencionados. En circunstancias favorables tiene un poder bactericida muy enérgico, casi fulminante, pero en ciertas circunstancias las bacterias pueden coexistir con el cloro por espacio de algunas horas; siendo los factores determinantes de dichas circunstancias, la composición del agua a tratar (principalmente la presencia de amoníaco), su temperatura, pH, la dosis de cloro y el tiempo de contacto.

El cloro como agente bactericida puede actuar en forma de cloro combinado o de cloro libre. El primer caso resulta de la aplicación de cloro al agua que contiene amoníaco, ya sea naturalmente, o agregado deliberadamente antes de la cloración. La reacción entre ambas sustancias produce otras llamadas cloraminas, que contienen cloro activo desde el punto de vista bacteriológico y es llamado cloro disponible combinado. El segundo caso, cuando el agua está libre de amoníaco y otros compuestos orgánicos, se forma ácido hipocloroso y clorhídrico en reacción reversible. El cloro en esta forma se llama cloro disponible libre.

La forma de reaccionar en forma libre o combinado es muy diferente. En el primer caso, a condiciones de pH neutro y temperatura ambiente, su acción es muy rápida y enérgica; mientras que en el segundo caso y con las mismas condiciones, se requiere casi cien veces el tiempo de contacto y el doble de concentración para lograr el mismo efecto.

Es posible, en el caso de existir amoníaco en el agua, emplear una concentración alta de cloro de manera que una parte de éste reaccione con el nitrógeno, formando las cloraminas y el exceso las destruya para quedar luego cloro libre.

En este caso particular, considerando que el tiempo de retención disponible es muy corto, conviene hacer un análisis para determinar la concentración de nitrógeno, y en base a ese resultado, aplicar hipoclorito de sodio (NaClO) en una proporción de 10 a 1 con relación al nitrógeno, lo cual garantiza la presencia de cloro libre.

El hipoclorito de sodio sería aplicado a través de un dosificador móvil entre dos tanques plásticos reforzados, donde se almacenaría la solución a ser aplicada al tanque de agua principal, mediante la acción de una pequeña bomba dosificadora.

Finalmente, es necesario emplear un filtro de grava o arena para eliminar los sólidos suspendidos y otro de carbón activado para decolorar y eliminar cualquier presencia de compuestos organo-clorados, los cuales dan mal sabor al agua.

## 10.0 PRESUPUESTO

En este capítulo se incluye el presupuesto de equipo, instalación, accesorios y otros, en base a cotizaciones realizadas con empresas y personas expertas en el ramo.

<b>EQUIPO DE BOMBEO, SISTEMA DE CONTROL, VÁLVULAS Y TUBERÍAS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Sistema de bombeo*: 1 bomba RED JACKET Modelo 11DC de 3HP y 28 GPM 1 panel de control 1 válvula check vertical de bronce de 2" 1 válvula swing de bronce de 2" 2 válvulas de compuerta de bronce de 2" 2 caños galvanizados de 2" x 6 mts. 67 tubos de PVC de 2" de 250 psi 1 juego de cintas de empalme 1 abrazadera metálica ECO de 2" 40 pies de cable sumergible #10-3 accesorios de conexión de equipo servicio por instalación de tubería servicio por instalación de equipo, panel de control, pruebas, asesorías servicio de transporte	39,242.00	39,242.00
2	Controles de nivel Warrick con electrodos	2,181.00	4,362.00
3	Hilos de 400 metros de cable THHN #12 para control Warrick	547.00	1,641.00
1	Poliducto de ½" de 440 yardas	298.00	298.00
105	Tubos de PVC de ½" x 6 mts.	15.02	1,578.00
4	Grifos de ½"	20.00	80.00
5	Válvulas de compuerta de bronce de ½"	37.00	185.00
1	Tanque de almacenamiento de concreto*	72,000.00	72,000.00
<b>Sub Total</b>			<b>¢119,386.00</b>

\*incluye instalación.

<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
5	Poste de concreto de 26 pies y transporte	1,200.00	6,000.00
3	Líneas de 128 metros de cable de cobre No. 4	1,417.00	4,251.00
8	Aisladores de carrete con estribo	42.00	336.00
4	Soportes para neutro	84.00	336.00
8	Abrazaderas de 5-7" con pernos	7.00	56.00
3	Grapas para conexión	41.00	123.00
1	Costo de instalación del servicio de CAESS	557.52	557.52
1	Herrajería	500.00	500.00
2	Térmicos de 15 y 20 Amp	45.00	90.00
<b>Sub Total</b>			<b>¢12,249.52</b>

<b>OBRAS CIVILES</b>		
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
1	Trabajos de terracería (remoción y compactación de 182 metros cúbicos de tierra para zanjas)	12,957.00
<b>Sub Total</b>		<b>€12,957.00</b>

Todos los precios anteriores incluyen IVA.

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO SUGERIDO</b>		
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
1	2 Tanques de 450 lts c/u para la mezclar NaClO con agua, 1 dosificador móvil de NaClO, 1 bomba dosificadora, 3 tubos de PVC de ½" de 3m. c/u, filtro de arena, grava y carbón activado para tratar agua clorada e instalación.	€ 8,000.00
<b>Sub Total</b>		<b>€8,000.00</b>

**TOTAL**

**€ 152, 592.52**

<b>ENERGÍA ELÉCTRICA</b>		
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
363	KWh consumidos mensualmente, considerando un tiempo de servicio mensual de 100 horas. (€0.66 x KWh + 3.38% de cargo por consumo + 39.11% de cargo por uso de la red) + IVA	€341.38

## 11.0 CONCLUSIONES

La disponibilidad de agua en el caserío La Loma es un problema crítico, los recursos naturales están seriamente deteriorados y la pobreza es una condición generalizada.

El apoyo de los habitantes y de la Cooperativa de Colima constituye un elemento importante para la ejecución del proyecto.

Este tipo de proyectos son multidisciplinarios, pues es necesario aplicar conocimientos de otras ramas de la ingeniería. No obstante, lo anterior no niega la preponderancia de la ingeniería mecánica para resolver problemas variados como éstos, que tienen gran repercusión en el ámbito social.

El sistema propuesto no estará sujeto a la tasa de crecimiento poblacional ni a la capacidad del territorio para albergar más habitantes, sino a la disponibilidad del recurso hídrico, como es en este caso la capacidad de recarga del pozo.

El sistema de abastecimiento propuesto consiste en una bomba sumergible cuya capacidad es de 28 gpm, que trabajará a un régimen de 18 gpm por medio de una válvula de compuerta; estará accionada con un motor monofásico de 220 voltios y 16.5 amperios, con una potencia de 3 HP y 3450 rpm, que transporta el líquido a través de una tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro hasta un tanque de concreto de 2.8 m de altura por 2.5 m de diámetro. La distribución se realiza por gravedad hasta 4 cantareras, por medio de una tubería de PVC de ½ pulgada de diámetro.

La cantidad actual de beneficiarios no garantiza la rentabilidad del proyecto; no obstante, la existencia de un sistema de abastecimiento mejoraría las condiciones del lugar, lo que permitiría el asentamiento de nuevos habitantes.

Este proyecto está limitado a una determinada población futura, por lo que si se sobrepasara este límite, habría que considerar un abastecimiento de agua externo o la perforación de un nuevo pozo con mayor profundidad.

La motivación principal para el desarrollo del proyecto es la de buscar, teniendo como base principios humanistas y cristianos, el mejoramiento de las condiciones de vida de la población.

## 12.0 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las condiciones existentes, de no existir un suministro externo de agua, sólo podría considerarse un incremento de un poco más del 100% de habitantes con una dotación de 50 litros diarios. En caso de sobrepasar esta cantidad, habría que considerar obras civiles en el pozo para aumentar su profundidad u otras fuentes de suministro.

El presupuesto considerado en el capítulo 10 podría reducirse al tomar en cuenta el trabajo voluntario y los recursos económicos que los mismos beneficiarios podrían aportar.

Para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, es necesaria la conservación del área protegida (bosque de teca) cercana al caserío, para lo cual es importante la concientización de los habitantes.

Para el mantenimiento del sistema, la Cooperativa podría llegar a un acuerdo con los distribuidores para dar seguimiento a los servicios técnicos. La empresa Hidrosagarra tiene una sucursal en la ciudad de Aguilares, cercana al caserío La Loma.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Voluntarios para la Asistencia Técnica Internacional (VITA); Manual de tecnología para la Comunidad; México, junio de 1972; Editorial Publicidad Artística Litográfica, S.A.

[2]: Fundación Río Lempa (FUNDALEMPA); Apoyo a la Gestión Ambiental Participativa en Tres Microrregiones Ribereñas a los Embalses Cerrón Grande y El Guayabo; San Salvador, julio de 1997.

[3]: Fundación Río Lempa (FUNDALEMPA); Reporte de la Situación Ambiental en El Salvador; San Salvador, Enero de 1996 a Diciembre de 1997.

[4]: Organización Mundial para la Salud, Estudio sobre la erosión en El Salvador, Julio de 1996.

[5]: Fundación Río Lempa (FUNDALEMPA); Balance: Degradación Ambiental en El Salvador, Separata No.13, Revista Tendencias No.59, Febrero-Marzo de 1997.

[6]: Roberto Rubio Fabián; La Situación Ecológica de El Salvador en cifras; San Salvador 1996; UCA Editores.

[7] Ministerio de Cultura y Comunicaciones; Geografía de El Salvador, Tomo I; San Salvador, El Salvador, 1986; Dirección de Publicaciones.

[8] Dirección de Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia; Manual de Saneamiento, Vivienda y Desechos; México; Noriega Editores.

[9] Ulric P. Gibson, B. Sc. Hons; Manual de los Pozos Pequeños; México, 1984; Editorial Limusa.

[10] Grupo de Investigaciones Energéticas del International Development Research Center y la United Nations University; Investigación sobre la energía; México 1991; Colegio de México.

[11] Víctor L. Streeter; Mecánica de los Fluidos; México, 1988; Editorial McGraw Hill.

[12] Kemmer Frank N.; NALCO CHEMICAL COMPANY; Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones; México, 1989; Editorial McGraw Hill.

[13] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente (C.E.P.I.S.); El Agua. Calidad y Tratamiento para Consumo Humano; Abril, 1990.

[14] Departamento de Control del Agua (ANDA); Trabajo sobre Tratamiento de Agua para Consumo Humano; San Miguel, El Salvador, 1998.

[15] Claudio Mataix, Turbomáquinas Hidráulicas; Madrid, 1975; Editorial ICAI.

[16] Avallone, E. A. y Baumesiter III, T.; Manual del Ingeniero Mecánico; México, 1995; Editorial McGraw-Hill.

[17] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente (C.E.P.I.S.); El Agua. Calidad y Tratamiento para Consumo Humano; Abril, 1990.

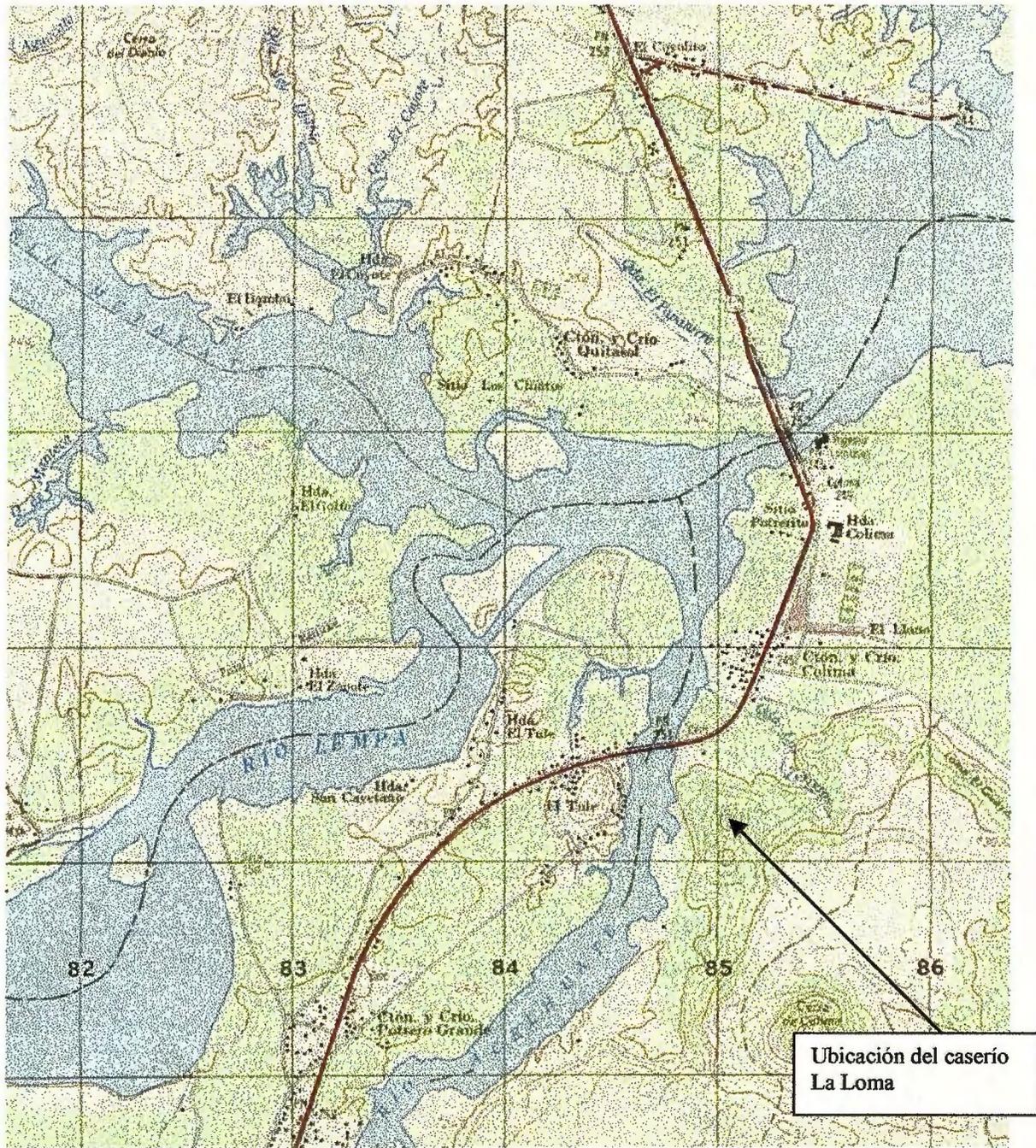
[18] Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York; Manual de Tratamiento de Aguas; México, 1998; Editorial Limusa S.A.

[19] Metcalf & Eddy; Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Neutralización (Tomos I y II); México, 1997; Editorial McGraw-Hill.

[20] Editores Técnicos Asociados S.A.; Técnicas y Obras de Ingeniería Sanitaria; Barcelona, 1973.

[21] Gould Pump Inc.; Gould Pump Manual; 1995.

# **ANEXOS Y PLANOS**



**ANEXO 1**

**DATOS DE CENSO FAMILIAR  
CASERÍO LA LOMA  
DICIEMBRE DE 1997**

<b>POBLACIÓN MASCULINA</b>	<b>40</b>
<b>POBLACIÓN FEMENINA</b>	<b>38</b>
<b>POBLACIÓN TOTAL</b>	<b>78</b>
<b>TOTAL DE FAMILIAS</b>	<b>18</b>
<b>FAMILIAS CON VIVIENDA</b>	<b>16</b>
<b>FAMILIAS SIN VIVIENDA</b>	<b>2</b>
<b>VIVIENDAS CON ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>6</b>
<b>VIVIENDAS SIN ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>10</b>
<b>VIVIENDAS CON LETRINA</b>	<b>6</b>
<b>VIVIENDAS SIN LETRINA</b>	<b>10</b>
<b>VIVIENDAS CON POZO PROPIO</b>	<b>3</b>
<b>VIVIENDAS SIN POZO</b>	<b>13</b>
<b>POBLACIÓN ANALFABETA</b>	<b>23</b>
<b>POBLACIÓN ALFABETA</b>	<b>55</b>
<b>PERSONAS ASOCIADAS A ACOPAC DE RL</b>	<b>3</b>

# FRICTION LOSS CHART

**½" to 2½" pipe and under 300 GPM**

Loss of Head in Feet, Due to Friction Per 100 Feet of Pipe

½"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID.622"	Copper ID.625"	Plastic ID.622"
0.5	.582	.35	.314
1.0	2.10	1.26	1.14
1.5	4.44	2.67	2.38
2.0	7.57	4.56	4.10
2.5	11.4	6.88	6.15
3.0	16.0	9.66	8.65
3.5	21.3	12.9	11.5
4.0	27.3	16.4	14.8
4.5	33.9	20.4	18.3
5.0	41.2	24.8	22.2
5.5	49.2	29.5	26.6
6.0	57.8	34.8	31.2
6.5	67.0	40.2	36.2
7.0	76.8	46.1	41.5
7.5	87.3	52.5	47.2
8.0	98.3	59.4	53.0
8.5	110.0	66.0	59.5
9.0	122.0	73.5	66.0
9.5	135.0	81.0	73.0
10.0	149.0	89.4	80.5

¾"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID.824"	Copper ID.822"	Plastic ID.824"
1.5	1.13	.70	.61
2.0	1.93	1.21	1.04
2.5	2.91	1.82	1.57
3.0	4.08	2.56	2.21
3.5	5.42	3.4	2.93
4.0	6.94	4.36	3.74
4.5	8.63	5.4	4.66
5.0	10.5	6.57	5.66
6.0	14.7	9.22	7.95
7.0	19.6	12.2	10.6
8.0	25.0	15.7	13.5
9.0	31.1	19.5	16.8
10.0	37.8	23.7	20.4
11.0	45.1	28.2	24.4
12.0	53.0	33.2	28.6
13.0	61.5	38.5	33.2
14.0	70.5	44.2	38.0
16.0	90.2	56.6	48.6
18.0	112.0	70.4	60.5
20.0	136.0	83.5	73.5

1"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID1.049"	Copper ID1.062"	Plastic ID1.049"
2	.595	.345	.322
3	1.26	.732	.680
4	2.14	1.24	1.15
5	3.42	1.88	1.75
6	4.54	2.63	2.45
8	7.73	4.50	4.16
10	11.7	6.77	6.31
12	16.4	9.47	8.85
14	21.8	12.6	11.8
16	27.9	16.2	15.1
18	34.7	20.1	18.7
20	42.1	24.4	22.8
22	50.2	28.8	27.1
24	59.0	34.0	31.9
26	68.4	39.7	36.9
28	78.5	45.5	42.5
30	89.2	51.6	48.1
35	119.0	68.7	64.3
40	152.0	88.0	82.0
45	189.0	109.0	102.0

1¼"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID1.380"	Copper ID1.368"	Plastic ID1.380"
4	.564	.364	.304
5	.853	.545	.460
6	1.20	.765	.649
7	1.59	1.02	.860
8	2.04	1.31	1.10
10	3.08	1.98	1.67
12	4.31	2.75	2.33
14	5.73	3.64	3.10
16	7.34	4.68	3.96
18	9.13	5.81	4.93
20	11.1	7.10	6.00
25	16.8	10.7	9.06
30	23.5	15.0	12.7
35	31.2	20.0	16.9
40	40.0	25.6	21.6
50	60.4	38.7	32.6
60	84.7	54.1	45.6
70	114.0	72.2	61.5
80	144.0	92.4	77.9
90	179.0	115.0	96.6

1½"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID1.61"	Copper ID1.60"	Plastic ID1.61"
4	.267	.165	.144
6	.565	.358	.305
8	.962	.611	.520
10	1.45	.923	.785
12	2.04	1.29	1.10
14	2.71	1.71	1.46
16	3.47	2.2	1.87
18	4.31	2.75	2.33
20	5.24	3.31	2.83
25	7.90	5.00	4.26
30	11.1	7.00	6.0
35	14.7	9.35	7.94
40	18.9	12.00	10.2
45	23.4	14.9	12.63
50	28.5	18.1	15.4
55	34.0	21.5	18.35
60	40.0	25.3	21.6
65	46.4	29.0	25.1
70	53.2	33.8	28.7
75	60.4	38.0	32.6
80	68.1	43.1	36.8
85	76.2	47.6	41.2
90	84.7	53.6	45.7
95	93.6	58.8	50.5
100	103.0	65.1	56.6

2"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID2.067"	Copper ID2.062"	Plastic ID2.067"
10	.431	.268	.233
15	.916	.569	.495
20	1.55	.962	.839
25	2.35	1.45	1.27
30	3.29	2.03	1.78
35	4.37	2.71	2.36
40	5.60	3.47	3.03
45	6.96	4.31	3.76
50	8.46	5.24	4.57
55	10.1	6.22	5.46
60	11.9	7.34	6.44
70	15.8	9.78	8.53
80	20.2	12.5	10.9
90	25.1	15.6	13.6
100	30.5	18.9	16.5
110	36.4	22.5	19.7
120	42.7	26.6	23.1
130	49.6	30.7	26.8
140	56.9	35.2	30.6
150	64.7	40.1	35.0
160	72.8	45.1	39.3
170	81.4	50.5	44.0
180	90.5	56.1	48.9
190	100.	62.0	54.0
200	110.	68.0	59.4

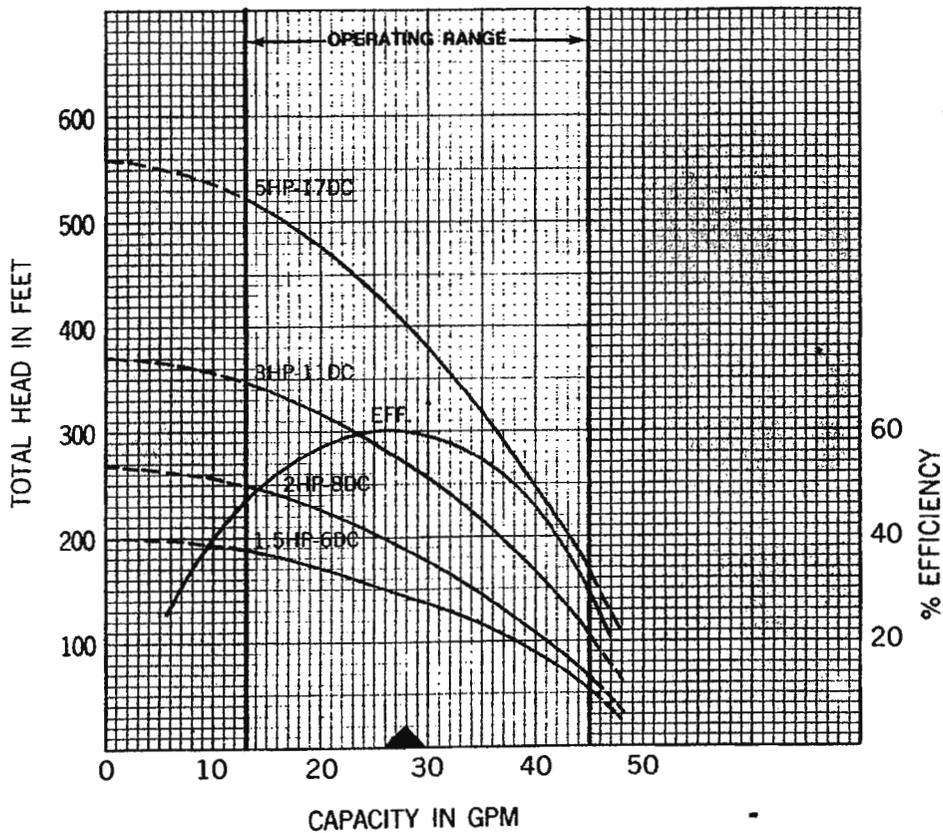
2½"			
Flow U.S.Gal. Min.	Steel ID2.469"	Copper ID2.500"	Plastic ID2.469"
20	.654	.375	.353
30	1.39	.792	.750
40	2.36	1.35	1.27
50	3.56	2.04	1.92
60	4.99	2.86	2.69
70	6.64	3.82	3.58
80	8.50	4.88	4.59
90	10.6	6.06	5.72
100	12.8	7.37	6.90
110	15.3	8.80	8.25
120	18.0	10.3	9.71
130	20.9	12.0	11.3
140	23.9	13.7	12.9
150	27.3	15.6	14.7
160	30.7	17.6	16.6
170	34.3	19.7	18.5
180	38.1	21.9	20.6
190	42.1	24.2	22.7
200	46.3	26.6	25.0
220	55.3	31.8	29.8
240	66.4	37.4	35.8
260	75.3	43.3	41.6
280	86.3	49.4	46.6
300	98.1	56.8	52.9

## 28 GPM SERIES "DC" PUMPS

### DESIGNED FOR COMMERCIAL CAPACITIES FROM WATER LEVELS TO 500 FEET

The efficient design of the 28 GPM Series allows it to pump from deeper than average wells and deliver rated capacity. Ideally suited for farms, dairies, and commercial establishments. All fit 4" wells.

#### PERFORMANCE CURVES



▲ **RATED FLOW**

MODEL 28 GPM "DC" — RPM 3450  
STAGE "DC" SERIES

GUARANTEED AS MINIMUM PERFORMANCE ONLY IF CERTIFIED

**MINIMUM WELL SIZE 4" I.D.**

Average Efficiencies and Power Factors of Electric Motors							
HP	Efficiency %			Power Factor			Full Load Current, amperes at 180V
	Full Load	$\frac{1}{2}$ Load	$\frac{1}{4}$ Load	Full Load	$\frac{1}{2}$ Load	$\frac{1}{4}$ Load	
0.75	74	73	69	0.72	0.65	0.93	2.0
1.5	79	78.5	76	0.83	0.79	0.69	3.2
3	82.5	82	80.5	0.85	0.80	0.73	6.0
5.5	84.5	84.5	83.5	0.87	0.82	0.75	10.5
7.5	85.5	85.5	84.5	0.87	0.83	0.76	14
11	87	87	85.5	0.88	0.84	0.77	20
18.5	88.5	88.5	87	0.89	0.85	0.79	33
30	90	89.5	88	0.89	0.86	0.80	52
45	91	90.5	89	0.89	0.86	0.80	77
75	92	91.5	90	0.90	0.87	0.81	126

HP Output	$\frac{1 \times E \times \text{Eff}}{746}$	$\frac{1 \times E \times \text{Eff} \times \text{PF}}{746}$	$\frac{1 \times E \times 2 \times \text{Eff} \times \text{PF}}{746}$	$\frac{1 \times E \times 1.73 \times \text{Eff} \times \text{PF}}{746}$
-----------	--	---	--	---

## ANEXO 5



### Laboratorios Especializados en Control de Calidad

Inscrito en el Consejo Superior de Salud Pública bajo el Número 357  
Calle San Antonio Abad 1965, San Salvador, El Salvador, C. A.  
Tels.: 226-5223 • 226-7042 • Fax: (503) 226-5223  
E-mail: lecc@sal.gbm.net

#### INFORME DE ANALISIS

<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> Agua. Pozo Prop. Evelio Calderón, Caserío La Loma, Cién. Colima, J/ Suchitoto, Cuzcatlán.	<b>FUENTE</b> Pozo	<b>PROCEDENCIA</b> Fundación Río Lempa.	<b>FECHA DE EMISION:</b> 23/02/99 <b>FECHA DE INGRESO:</b> 17/02/99
--	-----------------------	---	--

<b>CONTROL</b> A - 858	<b>METODO</b> FISICOQUIMICO	<b>DATOS DE CAMPO</b> pH: Fecha: 12/01/99 Cond.: Micromhos/cm T° Amb.: °C T° Agua: °C Elev.: msnm. Hora: a.m.
<b>DESCRIPCION:</b> Líquido transparente incoloro.		

DETERMINACION	RESULTADO	LIMITES
pH	6.54	6.50 - 8.50
Turbiedad	1.90 UNT	25 UNT
Hierro Total	0.10 mg/L	0.30 mg/L
Hierro Soluble	Trazas mg/L	
Manganeso Total	0.25 mg/L	0.10 mg/L
Manganeso Soluble	0.15 mg/L	
Sólidos Totales Disueltos	200.00 mg/L	
Sólidos Suspendidos Totales	228.00 mg/L	
Sólidos Suspendidos Volátiles	224.00 mg/L	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	17.00 mg/L	

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA.  
Manganeso fuera de norma. El resto de los parámetros se encuentran dentro de la norma.

**Lic. MA. DEL PILAR RAÑEZ MONTIEL**  
 QUIMICO FARMACEUTICO - BIOLOGO  
 Insc. J. V. P. O. F. No. 906



Laboratorios Especializados en Control de Calidad

Inscrito en el Consejo Superior de Salud Pública bajo el Número 357
Calle San Antonio Abad 1965, San Salvador, El Salvador, C. A.
Tels.: 226-5223 • 226-7042 • Fax: (503) 226-5223
E-mail: lecc@sal.gbm.net

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE DE LA MUESTRA FUENTE PROCEDENCIA FECHA DE EMISION: 23/02/99
Agua. Pozo, Prop.: Evelio Calderón, Pozo Fundación Río Lempa. FECHA DE INGRESO: 17/02/99
Caserto La Loma, Cién. Colima,
./J Suchitoto, Cuzcatlán.

CONTROL METODO DATOS DE CAMPO
A - 858 BACTERIOLOGICO, NMP.
pH: Fecha: 17/02/99
Cond.: Micromhos/cm
T° Amb.: °C
T° Agua: °C
Elev.: msnm.
Hora: a.m.

DESCRIPCION:
Liquido transparente incoloro.

Table with 3 columns: DETERMINACION, RESULTADO, LIMITES. Rows include E. coli (Positivo), NUMERO MAS PROBABLE, Coliformes Totales (43 UFC/100 mL), and Coliformes Fecales (3 UFC/100 mL).

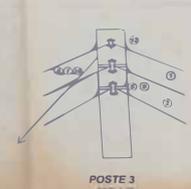
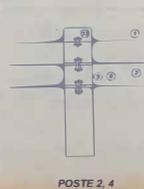
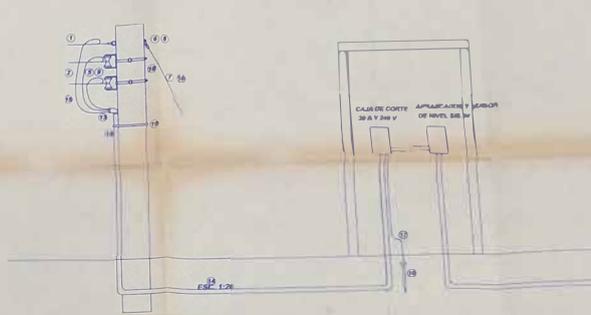
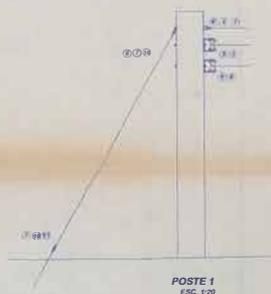
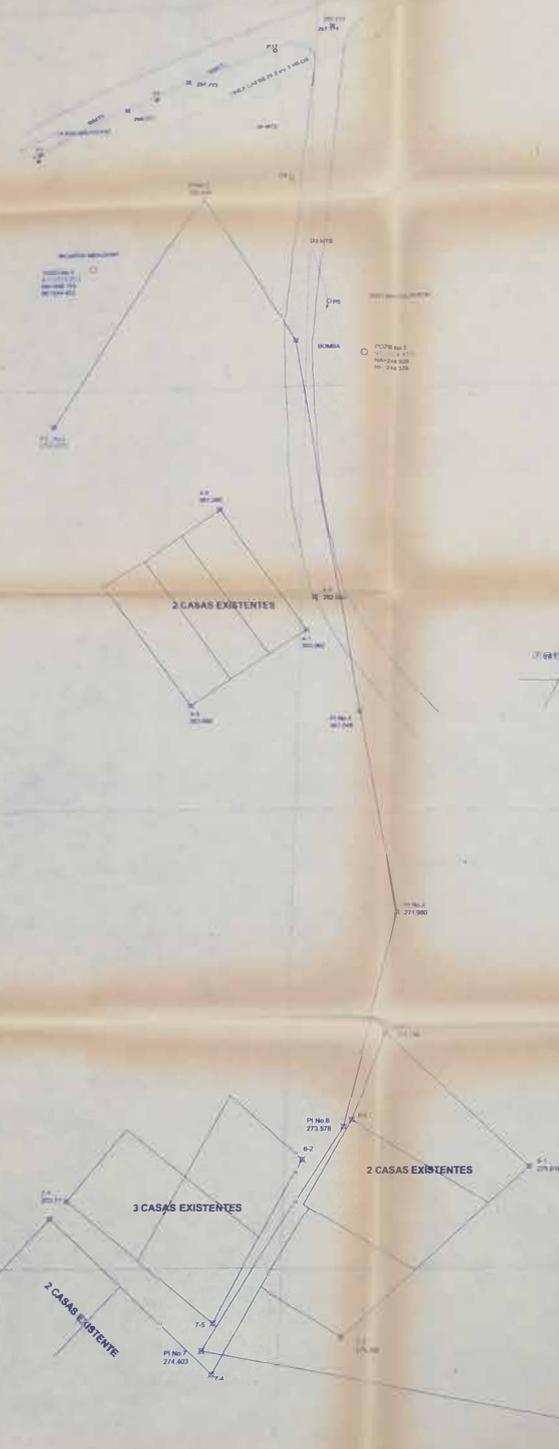
EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA.
Necesita tratamiento.

Signature and circular stamp of LECC (Laboratorio Especializado en Control de Calidad) with address: San Salvador, El Salvador, C. A.

Lic. MA. DEL PILAR RA GIBEZ MONTEBRON
QUINCO FARMACEUTICO-BIOLONG
Insc. J. V. P. D. F. No. 906



●	Poste existente
○	Poste nuevo
○	Poste de corte
○	Poste de almacenamiento
○	Poste de distribución



1	Poste de corte
2	Poste de almacenamiento
3	Poste de distribución
4	Poste de transformación
5	Poste de regulación de tensión
6	Poste de protección
7	Poste de medición
8	Poste de control
9	Poste de señalización
10	Poste de iluminación
11	Poste de calefacción
12	Poste de refrigeración
13	Poste de ventilación
14	Poste de extracción de vapor
15	Poste de extracción de gases
16	Poste de extracción de polvo
17	Poste de extracción de ruido
18	Poste de extracción de vibración
19	Poste de extracción de radiación
20	Poste de extracción de contaminación

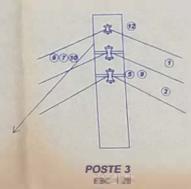
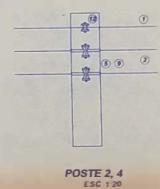
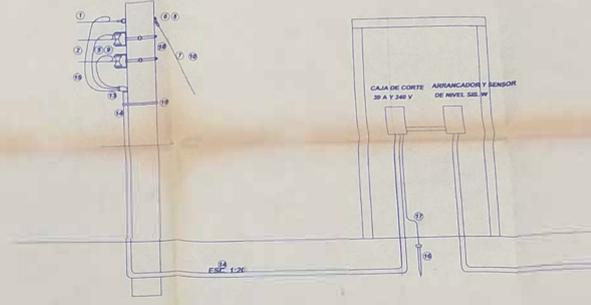
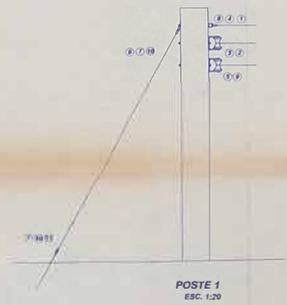
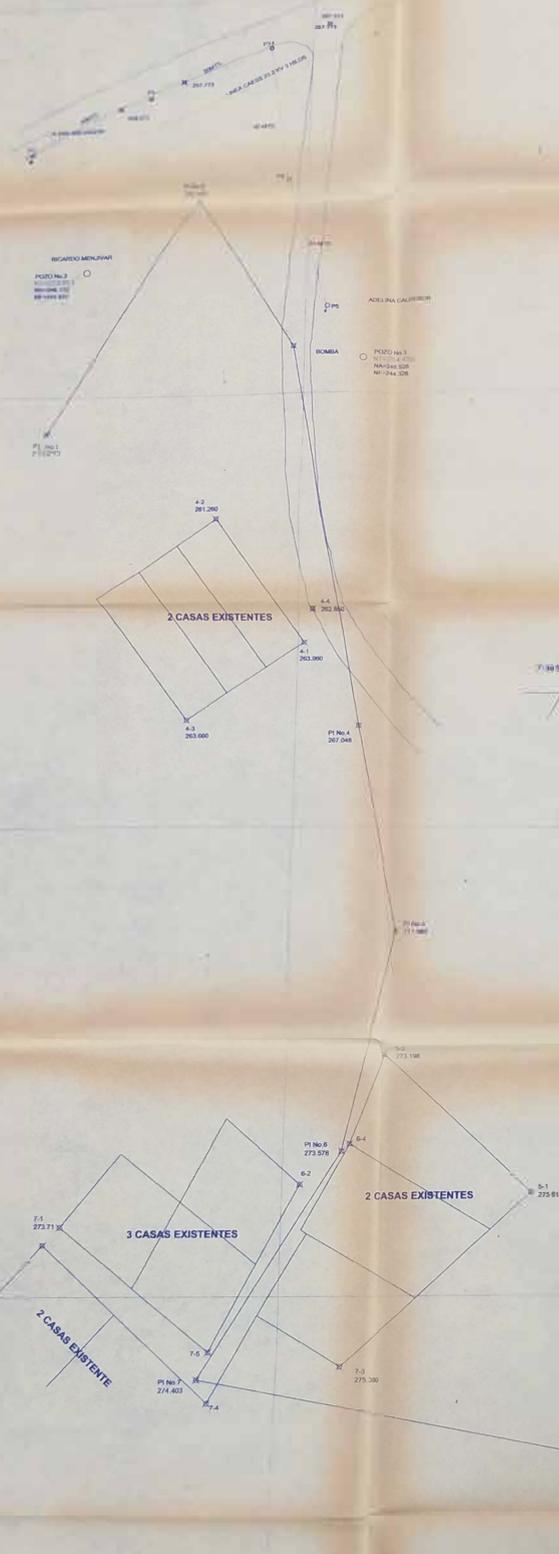
ESPACIO PARA SELLOS

7.6  
300.00  
NOTA: PLANTO SOBRE CERRO

PLANTA DE DISTRIBUCION ELECTRICA  
ESC. 1:500

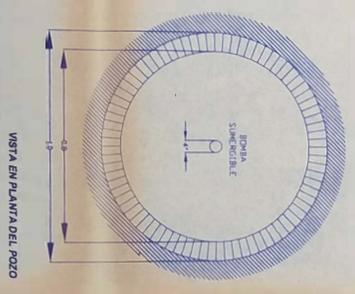
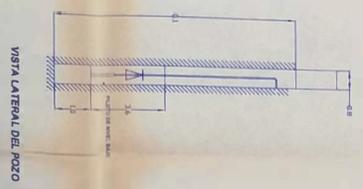
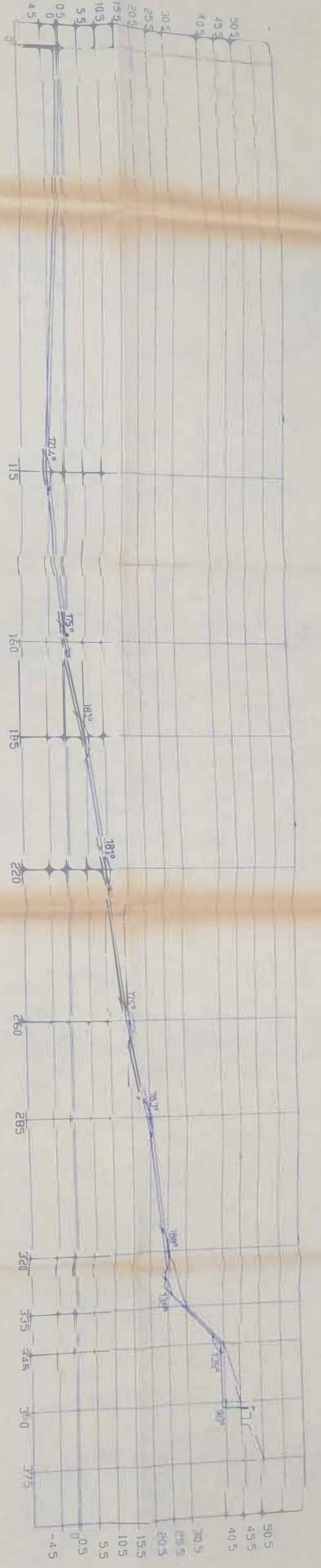


LEYENDA	DESCRIPCION
●	Poste de distribución
○	Poste de alumbrado
▲	Poste de señalización
◇	Poste de transformación



- | ITEM | DESCRIPCION             |
|------|-------------------------|
| 1    | Poste de distribución   |
| 2    | Poste de alumbrado      |
| 3    | Poste de señalización   |
| 4    | Poste de transformación |
| 5    | Poste de distribución   |
| 6    | Poste de alumbrado      |
| 7    | Poste de señalización   |
| 8    | Poste de transformación |
| 9    | Poste de distribución   |
| 10   | Poste de alumbrado      |
| 11   | Poste de señalización   |
| 12   | Poste de transformación |
| 13   | Poste de distribución   |
| 14   | Poste de alumbrado      |
| 15   | Poste de señalización   |
| 16   | Poste de transformación |
| 17   | Poste de distribución   |
| 18   | Poste de alumbrado      |
| 19   | Poste de señalización   |
| 20   | Poste de transformación |

PLANTA DE DISTRIBUCION ELECTRICA  
ESC. 1:500



ESPACIO PARA SELLOS

UNIVERSIDAD  
**DON BOSCO**

TRUJILLO  
**DISENO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO, DISTRIBUCION Y ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL CASERIO LA LOMA, SUCHITOTO**

PROFESOR  
**ENRIQUE ABRIGO ROLANDO MORALES PEDRO VIDES**

ASESOR  
**ING. ALVARO ESCALA, INDICADA**