



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

## SISTEMA ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN PAUTE CON AGUA SUBTERRÁNEA

Tesis previa a la obtención

Del título de Ingeniero Civil

**AUTORAS :** DORIS ALEXANDRA ALVEAR CALLE  
LILIANA ELIZABETH GARCÍA MOLINA

**DIRECTOR :**ING. AGUSTIN RENGEL

CUENCA- ECUADOR

2010

## AUTORÍA

El estudio, diagnóstico y diseño de un Sistema alternativo de agua potable para el cantón Paute con agua subterránea, expuestos en la presente tesis de grado son de exclusiva responsabilidad de las autoras.

.....  
Doris Alexandra Alvear Calle

.....  
Liliana Elizabeth García Molina

## **DEDICATORIA**

A Hernán, mi padre por su vida ejemplar  
A Anita mi madre, por su amor y comprensión  
A Pedro y Pablo, mis hermanos compañeros de esperanza  
A Margarita y Teresita mis abuelas por su fe en mi porvenir

### **DORIS ALEXANDRA**

A Oswaldo mi padre, constructor de vida y esperanza  
A Norma mi madre, ideal de sacrificio y entrega  
A Oswaldo, mi hermano, ejemplo de superación  
A Belén mi hermana y amiga en el camino de mi realización

### **LILIANA ELEIZABETH**

## AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a la Universidad de Cuenca , la Escuela de Ingeniería Civil , por la oportunidad brindada para la culminación de una etapa dentro de las metas de nuestra formación profesional.

Un reconocimiento especial al Ingeniero Agustín Rengel, Director de Tesis, por su profesionalismo y apoyo decidido; y a la Ilustre Municipalidad del Cantón Paute en la persona del Ing. Oswaldo Rodas Director de obras Públicas, por su colaboración en la presente investigación.

Y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para el éxito de este trabajo.

.....  
Doris Alexandra Alvear Calle

.....  
Liliana Elizabeth García Molina



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad todos los esfuerzos de las instituciones públicas y privadas se encuentra centradas en mejorar la calidad de vida de los pueblos, desde este punto de vista un aspecto fundamental es dotarles de sistemas de agua potable , considerando que el agua es indispensable para la vida.

Si analizamos cuantitativamente los recursos hídricos del planeta resulta innegable que la disponibilidad de agua dulce es relativamente limitada para satisfacer las necesidades de una población que crece a un ritmo acelerado junto con el deterioro de la calidad de las fuentes superficiales y subterráneas.

Desde un punto de vista cultural y social los habitantes del lugar a beneficiarse son los llamados a proteger el entorno con mucha más dedicación que los organismos del estado, puesto que tienen una relación más directa con los recursos naturales, lo que les confiere una sensibilidad especial para descubrir cuándo y cómo dichos recursos y otros elementos del ambiente se van perdiendo, además para realizar acciones de prevención y protección.

De manera particular en la cabecera cantonal del Cantón Paute el sistema de abastecimiento de agua potable actual se abastece del río Cutilcay, ubicado en la zona noreste del cantón, en cuya zona los últimos años ha existido una tala indiscriminada de bosques y plantas silvestres, provocando una disminución considerable del caudal de esta vertiente.

Como resultado de la escasez de este recurso hídrico y a la lentitud de los procesos de mitigación debido a problemas burocráticos, se ha buscado una nueva fuente de abastecimiento aprovechando la cuenca hidrogeológica con que cuenta el cantón Paute de caudal apreciable y de buena calidad.

En base a lo mencionado, la Ilustre Municipalidad de Paute ha visto conveniente la elaboración de un “SISTEMA ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN PAUTE CON AGUA SUBTERRANEA” que ayudará a solucionar los problemas existentes y será de gran beneficio, ya que permitirá evitar perjuicios ambientales, económicos, sociales, políticos y



culturales. El objetivo planteado dentro de este trabajo fue: Proporcionar a la Ilustre Municipalidad de Paute los estudios y diseños preliminares del "Sistema alternativo de agua potable para el cantón Paute con agua subterránea".

El proyecto se ubicará en la parroquia urbana del cantón Paute, provincia del Azuay, con el fin de complementar el caudal actual abastecido por el río Cutilcay mediante un sistema con agua subterránea; beneficiando directamente los barrios: Las Peñas, 11 de Febrero y Pirincay, e indirectamente a toda la cabecera cantonal del cantón Paute.

La metodología de este proyecto comprende tres fases: I Investigación bibliográfica, consulta de estudios y datos anteriores y actuales en la zona de estudio, llegando a establecer la problemática del agua que existe en la zona de estudio. II Trabajo de campo; toma de datos procedentes de encuestas sanitarias, levantamientos topográficos, geofísica de sondeo eléctrico vertical e inventario y análisis físico – químico de la calidad del agua de los pozos existentes. III Resultados del proyecto en el cual se interpretaron los datos obtenidos en el campo, definiendo así los diseños preliminares del sistema de agua potable llegando a la culminación de este proyecto. Se establecieron las conclusiones y recomendaciones respectivas que demostraron la factibilidad del proyecto.

La tesis consta de siete capítulos, en el primero se establece una contextualización del cantón Paute; en el segundo se da cuenta de la estimación poblacional; en el tercero se describe las fuentes de agua; en el cuarto se realizan los estudios preliminares de la zona; en el quinto se presenta la demanda y consumo de agua; en el sexto el diseño de agua potable y en el capítulo siete se presenta el presupuesto total de la obra.

## Indice de contenidos

### Capitulo 1

#### CONTEXTUALIZACIÓN

1.1.	Características del cantón Paute	10
1.1.1.	Hidrología	13
1.1.2.	Clima	13
1.1.3.	Flora y fauna	13
1.1.4.	Recursos de la Comunidad	14
1.1.5.	Planes de Desarrollo Local	16
1.1.6.	Datos de la población	16
1.1.7.	Servicios públicos del cantón paute	16

### Capitulo 2

#### Estimación poblacional

	<b>Introducción</b>	19
2.1.	Factores que afectan el crecimiento poblacional	19
2.2.	Recopilación de datos existentes	19
2.3.	Encuestas sanitarias	21
2.3.1.	Resultados de encuestas sanitarias	21
2.4.	Métodos Estadísticos de Proyección	23
2.5.	Determinación de la población futura	24

### Capitulo 3

#### Fuentes de agua

3.1.	Aguas naturales	26
3.2.	Aguas Subterráneas	28
3.2.1.	Hidráulica del agua subterránea	31
3.2.2.	Características de las aguas subterráneas	34
3.3.	Enfermedades de origen hídrico	36
3.3.1.	Medidas para control de transmisión de enfermedades	37

## Capitulo 4

### Estudios preliminares

<b>Introducción</b>	<b>38</b>
4.1. Topografía	38
4.1.1. Datos de campo	38
4.2. Geología	39
4.3. Análisis Geofísico	40
4.3.1. Método Aplicado	41
4.3.2. Datos del sondeo eléctrico vertical de la zona	43
4.4. Perforaciones y pozos	44
4.4.1. Pruebas de bombeo	47
4.4.2. Datos de campo	48
4.5. Calidad del agua	49
4.5.1. Características de la calidad del agua	49
4.5.2. Normas de calidad establecidas	52
4.5.3. Toma de muestras para el análisis en laboratorio	53
4.5.4. Evaluación de resultados	54
4.5.5. Alternativas de tratamiento	55

## Capitulo 5

### Demanda y consumo de agua

5.1. Determinación de dotaciones	57
5.1.1. Dotación actual	57
5.1.2. Dotación futura	57
5.1.3. Consumo diario promedio	57
5.1.4. Consumo diario máximo	58
5.1.5. Consumo horario máximo	58
5.2. Determinación de caudales de diseño	58



**Capitulo 6**

**Diseños del sistema de agua potable**

6.1. Generalidades	59
6.1.1. Captación	59
6.1.2. Línea de conducción	69
6.1.3. Planta de Tratamiento	79
6.1.4. Almacenamiento	89
6.1.5. Red de distribución	90
6.2. Análisis del emplazamiento de las estructuras	92
6.3. Diseños	93
6.3.1. Captación	93
6.3.2. Línea de Impulsión	94
6.3.3. Planta de tratamiento	95

**Capitulo 7**

**Presupuesto de la obra**

Presupuesto de la obra	119
Conclusiones	120
Recomendaciones	122
BIBLIOGRAFÍA	123
LISTA DE ANEXOS	128
ANEXOS	139

# CAPÍTULO 1

## CONTEXTUALIZACIÓN

### 1.1. CARACTERÍSTICAS DEL CANTÓN PAUTE

El cantón Paute se encuentra ubicado en el sector nororiental de la provincia del Azuay a una altura de 2100 msnm., a la margen izquierda del río que lleva su mismo nombre. Está rodeado por las elevaciones del Ihahuarte o Palliyaru, Huintul, Chote y Vante.

Limita al norte con el cantón Azogues de la provincia del Cañar; al sur con los cantones Gualaceo y Cuenca; al este con los cantones Sevilla de Oro y Guachapala; y al oeste con el cantón Azogues. Su área territorial es de 271 km<sup>2</sup>. La misma que representa el 4,45 por ciento de la superficie de la Provincia del Azuay. Ver figura 1.1.



**Figura 1.1** División política del Azuay

Paute se divide políticamente en una parroquia urbana: Paute, y, siete parroquias rurales: Bulán, Chicán, El Cabo, Guaraynag, San Cristobal, Tomebamba y DugDug.

La parroquia urbana de Paute limita al norte, con las parroquias Bulán y DugDug; al sur, con la parroquia El Cabo; al este, con el cantón Guachapala y en parte la parroquia Chicán; al oeste, con la parroquia San Miguel de I



cantón Azogues de la provincia del Cañar. Tiene una superficie de 49,4 km<sup>2</sup> que representa aproximadamente el 18,5 por ciento del territorio cantonal. Se encuentra localizado a una distancia de 46 km. de la ciudad de Cuenca, capital de la provincia del Azuay.

Los sectores más importantes son: Plazapamba, Guatan Grande, Calvario Alto, Zhumir, Villaflor, Sadarnal, Secay, Pucaloma, Marcoloma, Guayan Grande, Guayan Chico, El Tejar, Pirincay Alto, Bante Loma, Moraspugro, Bante Grande, San José de Huacas y San Ignacio.

La etimología de su nombre Paute nos indica que proviene de la palabra quechua *pau*, que quiere decir hola, la terminación *ti* ó *te* aparece de una paulatina modificación. No obstante existe un relato en...“Las Relaciones Geográficas de Indias” que menciona:”Este pueblo se llama, en nombre de indio, Paute, que quiere decir piedra; y dicen los viejos que Inga la puso este nombre, porque estando una india un día sobre la piedra echando una cairela una manta, la vio y dijo que se llamara así este pueblo, Paute”<sup>1</sup>

En las crónicas españolas ya se menciona a Paute como una tierra fértil; existe un escrito que data de 1735, en el cual se nombra a este cantón como uno de los principales productores de frutas en el Reino de Quito. A mediados del siglo XIX Paute tiene una época de auge económico, por la extracción de la cascarilla en las márgenes del río y la creación de una ruta hacia el oriente.

Paute al igual que toda la región Austral del Ecuador, estuvo en principio habitada por la etnia de los Cañaris, que poblaron toda la provincia del Azuay, luego con la conquista Inca fueron ellos los que se asentaron en estas tierras.

Como parroquia perteneció al cantón Gualaceo, desde el 23 de mayo de 1771, hasta el 26 de febrero de 1860 año en que se instituyó como cantón y fue el tercero que se fundó dentro de la Provincia del Azuay. A partir del año 1992 se

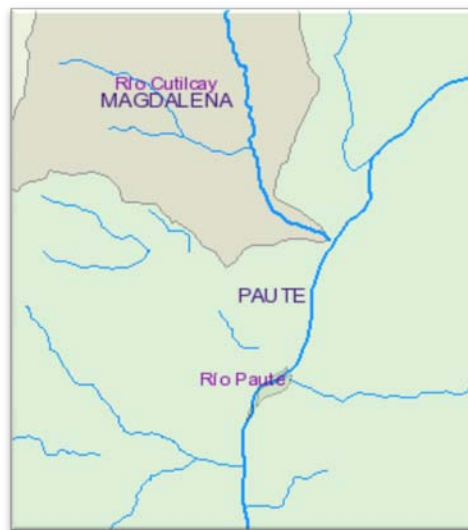
---

<sup>1</sup> Revista PAUTE, Turismo & Cultura, 2009

ha desmembrado territorialmente para dar paso a la creación de nuevos cantones: El Pan, Sevilla de Oro y Guachapala.

### 1.1.1. HIDROLOGÍA

El cantón Paute se encuentra atravesado por el río Cutilcay, actual fuente de abastecimiento de agua potable de la parroquia urbana, este se une con la quebrada Cachiyacu para desembocar al sur-este de la cabecera cantonal en el río Paute. Ver figura 1.2.



Fuente: CG Paute  
Figura 1.2 Mapa hidrológico

### 1.1.2. CLIMA

El cantón Paute tiene un clima cálido, con temperatura que varía de 15 a 26°C, gracias a su cercanía a la región amazónica.

### 1.1.3. FLORA Y FAUNA

Abundan en estos parajes plantas oriundas de la zona como: helechos, orquídeas, árboles maderables como: guagual, ishpingo, cedro, sachá capulí, nogal y sauce. Además, en cuanto a las plantas introducidas, en la parte alta del cantón se encuentran cultivos de maíz, fréjol, papas, arveja, trigo, cebada, hortalizas y huertos frutales de manzana, reina claudia y tomate de árbol; y, en

la parte baja existen cultivos de caña de azúcar, tomate riñón, floricultoras y frutícolas de clima subtropical.

En cuanto a su fauna es común en la zona observar colibríes, perdices y curiquingues.

#### **1.1.4. RECURSOS DE LA COMUNIDAD**

##### **1.1.4.1. FUENTES DE TRABAJO**

Entre las más importantes están: agricultura, floricultura, turismo, comercio especialmente de tipo gastronómico y artesanal.



**Fuente:** ablturismo  
**Figura 1.2**Trabajador cosechando rosas

El 29 de marzo de 1993 ocurrió un deslave de gran magnitud en la zona de la Josefina ubicada en la vía Cuenca - El Descanso - Paute produciendo pérdida casi absoluta de su turismo, deterioro de la actividad agrícola y falta de fuentes de trabajo, factores que contribuyeron para que se dé una fuerte corriente migratoria especialmente a la ciudad de Cuenca y al extranjero lo que introdujo favorablemente una economía sustentable, producto de las remesas de los emigrantes.



Referente al último censo realizado por el INEC en el año 2001, declararon pertenecer a la población económicamente activa un total de 2 985 personas, de éste un 38 por ciento se dedica a la agricultura y ganadería a pesar que la falta de pastizales genera que la ganadería sea escasa, su producción agrícola está representada por cultivos de flores, maíz, fréjol, caña de azúcar y variedad de frutas de la zona.

En las últimas décadas, la construcción de las represas hidroeléctricas “Daniel Palacios” y “Mazar” han constituido un importante hito en la reactivación económica del sector. Actualmente dos son los medios que directamente contribuyen económicamente con el cantón: Las floricultoras e Industrias licoreras que generan considerables plazas de trabajo.

#### **1.1.4.2.LABORES ARTESANALES**

La artesanía es limitada y se desarrolla en talleres caseros y pequeños, se destaca la confección de ropa y cestería. Históricamente Paute ha sido un cantón de artesanos hábiles, hecho que sumado a la pobreza del suelo y a la necesidad de fomentar el turismo hace que sea necesario un desarrollo artesanal.



**Fuente:** Clubvisitaecuador

**Fotografía 1.1** Trabajo y comercio de cestería

### 1.1.4.3. TURISMO

Turísticamente Paute posee atractivos naturales como el parque lineal, ubicado a orillas del río Paute, esta área verde se encuentra restaurada y cuenta con miradores para divisar el cantón. Además es un importante referente en deportes extremos como: kayak, escalada, rapel o descensos, parapente; el lugar más común para la práctica de parapente es el cerro Cabeza de Perro y el cerro Marco Loma. Dentro del cantón existen hosterías que ofrecen diversas formas de esparcimiento.



**Fuente:** Revista PAUTE, Turismo & Cultura  
**Fotografía 1.1** Parque lineal a orillas del río Paute.

### 1.1.5. PLANES DE DESARROLLO LOCAL

Actualmente no existe un plan maestro a largo ni mediana plazo; al momento se está elaborando la sectorización urbana para el control y cambio de tuberías así como una evaluación física e hidráulica de las mismas

### 1.1.6. DATOS DE LA POBLACIÓN

Este cantón posee una población estimada de 23106 habitantes de los cuales 10638 son hombres y 12468 mujeres, esto en base al último censo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) realizado en el año 2001.

### 1.1.7. SERVICIOS PÚBLICOS DEL CANTÓN PAUTE

#### A) SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA





El sistema de abastecimiento de agua potable actual Cachiyacu se abastece del río Cutilcay, está ubicado en la zona Noreste de Paute, parroquia Bulánsector Padre Hurco. Este sistema fue inaugurado en 1978 y recientemente readecuado para una duración de 15 años más.

Algunas comunidades se abastecen de manantiales y pozos, como son las comunidades de: San Cristóbal y La Estancia.

## **B) SERVICIO SANITARIO**

El sistema de alcantarillado actualmente se encuentra en un estado crítico y deficiente, además no existe ningún sistema de tratamiento de aguas residuales. En la mayoría de sectores se construyen fosas sépticas sin ningún control ambiental.

No se maneja ningún proyecto de tratamiento de desechos sólidos, los desechos son llevados a un relleno sanitario en el sector El Tablón, cuando no es posible su recolección, son enterrados en fosas o en su defecto incinerado bajo ningún control por parte de las autoridades.

## **C) SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La empresa encargada de entregar este servicio es la empresa eléctrica, actualmente proporciona el mismo a 13 500 abonados.

## **D) CENTROS DE SALUD**

Se encuentra el Hospital público cantonal de Paute y varias clínicas privadas.

## **E) SERVICIOS DE TRANSPORTE**

Como acceso principal tiene el cantón, una vía de primer orden y tres vías alternas paisajísticamente dominado por un sistema de bajas montañas que integran el anillo vial. Las vías principales de acceso al cantón se detallan en el cuadro 1.1.





VIALIDAD
Cuenca - El Tahual - Paute
Cuenca - El Descanso - San Cristóbal - Paute
Cuenca - Santa Ana - San Bartolo - Gualaceo - Paute
Cuenca - Azogues - Bulán - Paute

**Cuadro 1.1.** Accesos al cantón Paute

Dos empresas de transporte público sirven diariamente de manera directa a ese cantón: “Río Cutilcay” y “Río Paute” cuyas unidades pueden ser abordadas en la Terminal Terrestre de la ciudad de Cuenca. Cubren esta ruta también empresas de transporte que se dirigen al Oriente Ecuatoriano al sector de Guarumales como la cooperativa Azuay, Alpes Orientales y Turismo Oriental con unidades que se abordan en la Terminal Terrestre de Cuenca.

## F) CENTROS EDUCACIONALES

En el centro cantonal funcionan escuelas, jardín de infantes y colegios; y en los barrios periféricos funcionan algunas escuelas. En el cuadro 1.2 se detallan algunos de los más importantes.

CENTROS EDUCACIONALES EN EL CANTON PAUTE		
<i>Escuelas</i>	<i>Escuelas en los barrios periféricos</i>	
Isidro Ayora	Pucaloma	Marcoloma
Julio María Matovelle	Zhumir	EITEjar
Simón Bolívar	Villaflor	Bante
<i>Jardín de infantes</i>	<i>Colegios</i>	
José Félix Monsalve	Ciudad de Paute	
Francisco Alvarado	26 de Febrero	

**Cuadro 1.2** Centros Educativos

## G) CENTROS RECREACIONALES

Infraestructuras públicas como: Estadio “Eduardo Crespo Malo”, Coliseo “Luis Pezántes”, Coliseo de gallos “El Faisán”, helipuerto entre las más importantes. También se hallan varios parques recreacionales entre los más importantes: parque central “Fray Vicente Solano” y parques lineales a lo largo de la orilla del río Paute.



## H) INSTITUCIONES PÚBLICAS

Existen otras instituciones públicas como son: Consejo Municipal, Jefatura Política, Registro Civil, Notarías, Juzgados, Comisaría Nacional, Registraduría de la Propiedad, Banco de Fomento, CREA, MAG, PACIFITEL, Correos, Centro Agrícola, Mercados Públicos, Sindicato de Choferes, Cuerpo de Bomberos y Policía Nacional.

## CAPÍTULO 2

### ESTIMACIÓN POBLACIONAL

#### INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos del ser humano por mejorar su calidad de vida depende de la disponibilidad de agua, por lo que un análisis detallado de la población es indispensable para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable.

Con el fin de obtener la más amplia y representativa información de la población en estudio se realizan encuestas sanitarias y se analizan los factores que afectan al crecimiento de dicha población.

#### 2.1. FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Entre los factores más importantes que afectan al crecimiento poblacional tenemos:

- a) **Topografía**, al no ser muy accidentada da la posibilidad que se produzca una expansión considerable.
- b) **Riqueza de la zona**, los terrenos de este valle se prestan para que haya una gran productividad agrícola, frutícola y principalmente floricultora.
- c) **Fuentes de trabajo**, regidas en su mayoría a empresas agrícolas, floricultoras, licoreras y de turismo.

#### 2.2. RECOPIACIÓN DE DATOS EXISTENTES

Tomando como referencia la base de datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, INEC, la población ha crecido en el último periodo ínter censal entre los años de 1990 y 2001 a un ritmo del 2,02 por ciento de promedio anual. Ver Cuadro 2.1.

	<b>Censo 1990</b>	<b>Censo 2001</b>
<b>Población total</b>	<i>6274 habitantes</i>	<i>7831 habitantes</i>
<b>Tasa de Crecimiento anual</b>	<i>-3.60 %</i>	<i>2.02 %</i>

FUENTE: INEC, "Base de datos REDATAM de la provincia del Azuay 1990 – 2001"

**Cuadro 2.1** Índice de Crecimiento

Mediante el departamento de avalúos y catastros del Ilustre Municipalidad de Paute se obtuvo el número de viviendas de los sectores beneficiados. Ver cuadro 2.2 y figura 2.1.

<b>Sectores beneficiados</b>	<b>Número de viviendas</b>
Las Peñas	93
11 de Febrero	163
Pirincay	15
<b>Total:</b>	<b>271</b>

FUENTE: Departamento de avalúos y catastros

**Cuadro 2.2.** Registro del número de viviendas



Fuente: Google Earth.

**Fotografía aérea 2.1.** Registro del número de viviendas



Debido a la escasa información de los sectores beneficiados se tomo un valor promedio de 5 habitantes por vivienda, estimándose una población actual aproximada de 1 355 habitantes.

### 2.3. ENCUESTAS SANITARIAS

El contenido de las encuestas sanitarias debe incluir tipo de vivienda, hábitos de higiene, uso que se le da al agua, preguntas de orden económico y tipo de industria que se encuentra en el medio. El modelo de la encuesta realizada se encuentra en la sección de anexos, ver anexo 2.1.

Normalmente las encuestas se realizan por muestreo, donde el tamaño de la muestra se determina a partir de la ecuación 2.1.

$$n = \frac{Z^2 pqN}{Ne^2 + Z^2 pq} \quad (2.1)$$

Donde,

n, número de encuestas que debemos realizar.

N, grupo de personas que vamos a estudiar.

Z, nivel de confianza. 95% (1.96) o 90% (1.65).

e, grado de error, usualmente del 5% al 10%.

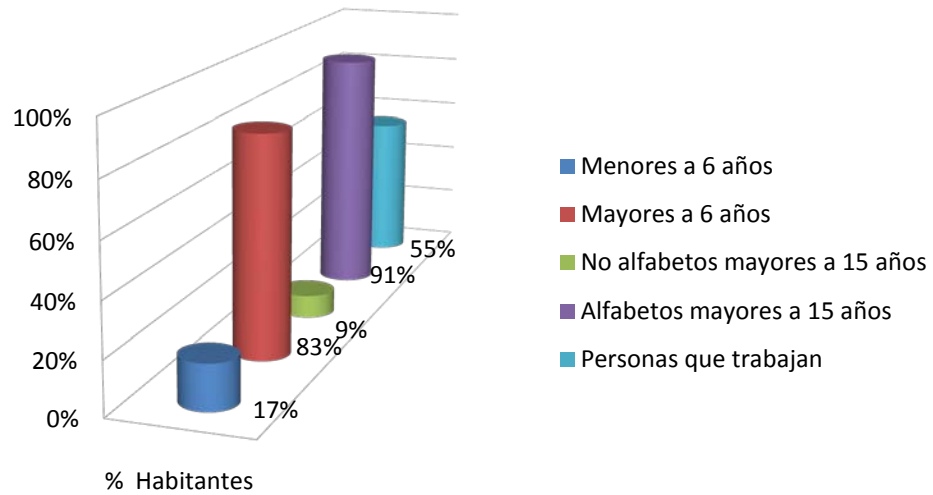
p, probabilidad de ocurrencia, generalmente del 50%.

q, probabilidad de no ocurrencia.

Aplicando los datos referentes al proyecto a la ecuación 2.1 se obtuvo un total de 126 encuestas.

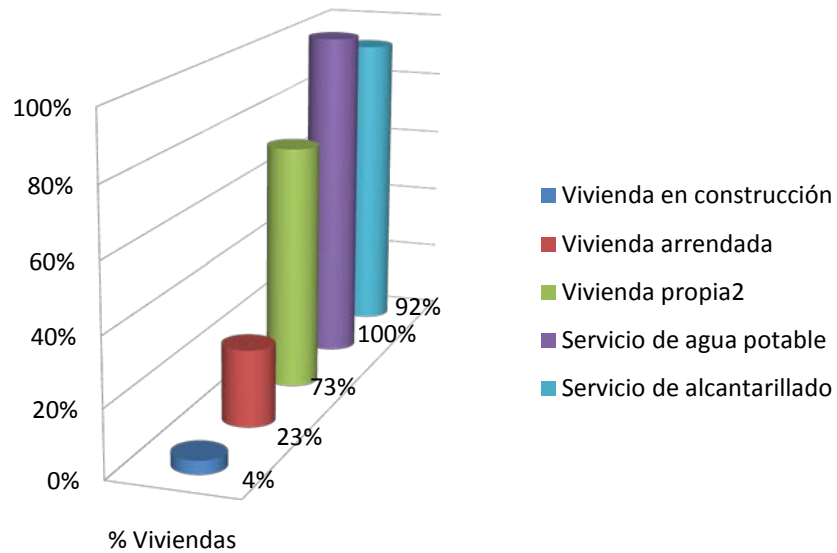
#### 2.3.1. RESULTADOS DE ENCUESTAS SANITARIAS

A través de las encuestas sanitarias se observó que el 83 por ciento de la población encuestada corresponde a personas mayores a 6 años, además que el porcentaje de analfabetismo es del 9 por ciento y el de desempleo de 45 por ciento. Ver gráfico 2.1.



**Gráfico 2.1.** Características de la población encuestada

Del total de viviendas encuestadas, gráfico 2.2, se apreció que el 73 por ciento de las mismas son propias, el 23 por ciento son arrendadas y el 4 por ciento se encuentran en construcción. Además en cuanto a servicios básicos, el servicio de agua potable cubre el 100 por ciento mientras que el servicio de alcantarillado un 92 por ciento.



**Gráfico 2.2.** Características de las viviendas encuestadas

Cabe recalcar que en la zona de estudio existe un 13 por ciento del total de viviendas encuestadas que poseen tanques de reserva de agua.



## 2.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE PROYECCIÓN

Existen varios métodos estadísticos de proyección, a continuación se detallan tres de los más importantes.

- a) **Método Geométrico.-** Establece un crecimiento logarítmico de la población, viene expresado por la ecuación 2.2.

$$Pf = Pa \times (1 + r)^n \quad (2.2)$$

Donde,

Pf, Población futura.

Pa, Población actual.

r, índice de crecimiento poblacional.

n, periodo de diseño en años.

- b) **Método Aritmético.-** Establece un crecimiento lineal de la población, viene expresado por la ecuación 2.3.

$$Pf = Pa \times (1 + r \times n) \quad (2.3)$$

Donde,

Pf, Población futura.

Pa, Población actual.

r, índice de crecimiento poblacional.

n, periodo de diseño en años.

- c) **Método de Wappaus.-** Expresado por la ecuación 2.4.

$$Pf = Pa \left[ \frac{200 + i \times t}{200 - i \times t} \right] \quad (2.4)$$

Donde,

Pf, Población futura.

Pa, Población actual.

i, tasa de crecimiento.

t, periodo de diseño en años a partir del año dato para la población inicial.

Éste modelo de crecimiento es válido siempre y cuando tenga un valor positivo el término  $[200 - i \times t]$ .

## 2.5. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA

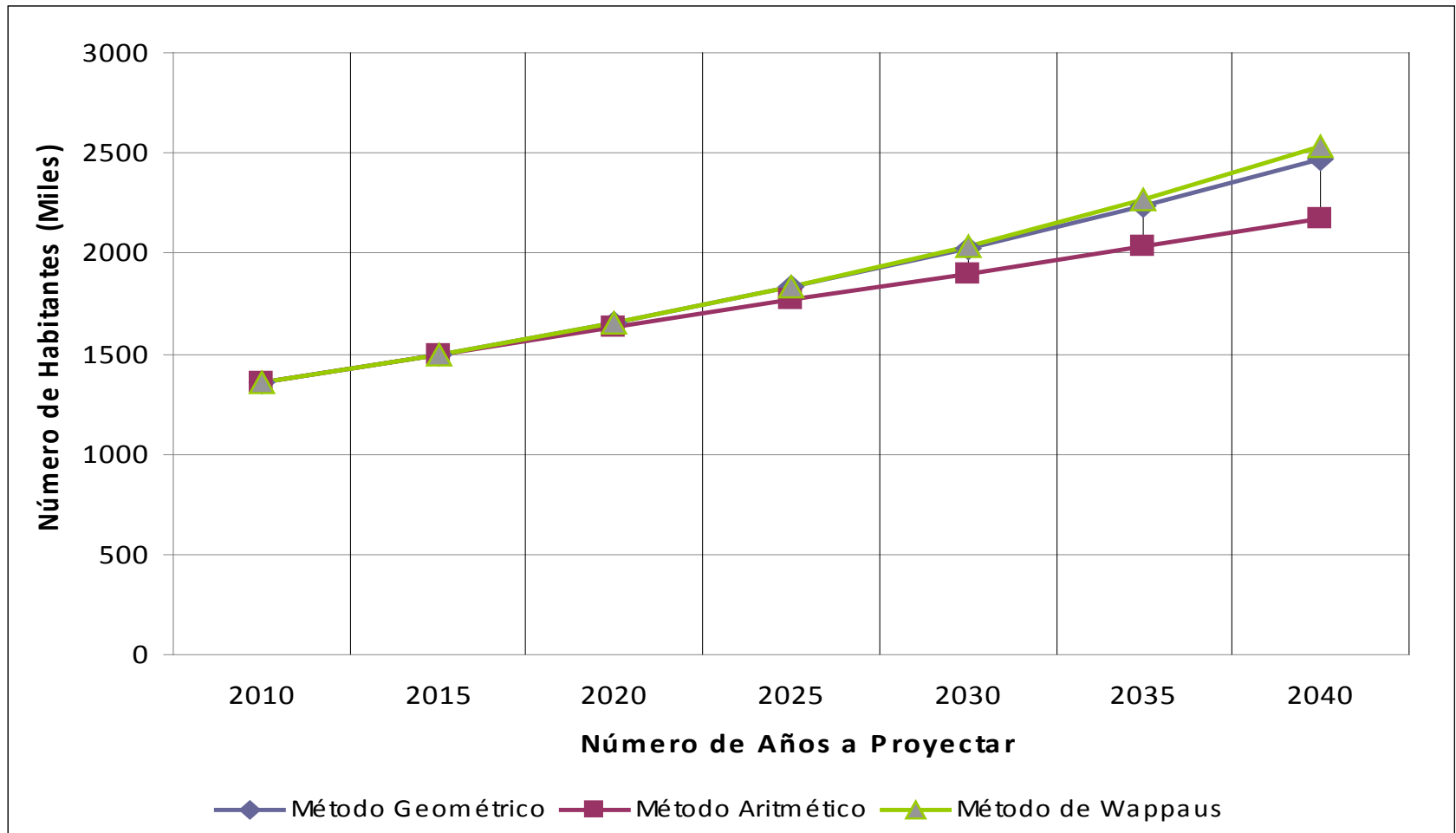
A partir de la población actual y la tasa de crecimiento anual expuestas en el literal 2.2, se determinó la población futura utilizando tres métodos estadísticos de proyección conocidos, cuadro 2.3, según lo estipula el proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601 “Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana”, norma 4.1.3.1. Ver anexo 2.2.

Año	Periodo	r (%)	Método Geométrico Pf	Método Aritmético Pf	Método de WappausPf
2010	0	2.02	1355	1355	1355
2015	5	2.02	1497	1492	1499
2020	10	2.02	1655	1629	1659
2025	15	2.02	1829	1766	1838
2030	20	2.02	2021	1902	2040
2035	25	2.02	2234	2039	2270
2040	30	2.02	2469	2176	2533

**Cuadro 2.3.** Proyecciones poblacionales

A partir del análisis de los resultados expuestos en la gráfico 2.3, se optó por el método geométrico. Éste valor de población futura asumiremos luego como la población de diseño para calcular la capacidad de los diferentes elementos del sistema.



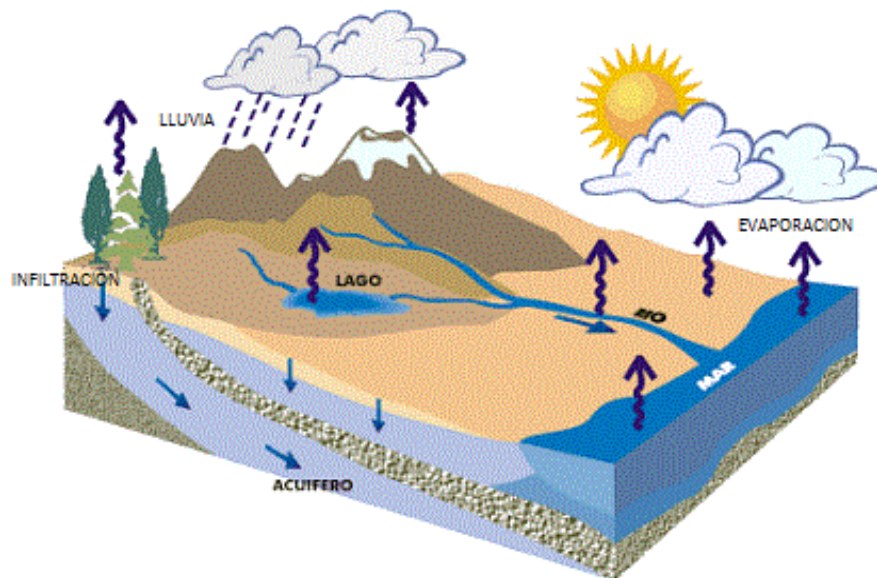


**Gráfico 2.3.** Gráfica de los métodos de proyección poblacional

## CAPÍTULO 3 FUENTES DE AGUA

### 3.1. AGUAS NATURALES

El agua se mueve constantemente a través de las distintas fases del ciclo hidrológico, conocido como el recorrido del agua que empieza en la atmósfera y pasa por varias fases hasta regresar de nuevo a ella. Se distinguen las siguientes fases: precipitación, escorrentía superficial, infiltración y evaporación. Ver figura 3.1.



**Fuente:** SEAPAL Vallarta  
**Figura 3.1.** Ciclo hidrológico

Las aguas naturales según el ciclo hidrológico se clasifican en: pluviales o meteóricas, superficiales y subterráneas.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares. Este es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación. Ver cuadro 3.1.

TIPO DE AGUA	UBICACIÓN	%	CARACTERÍSTICAS
<b>Agua salada 97,5%</b>	Océanos	94,08	Cubren el 71% de la superficie de la tierra.
	Aguas subterráneas salobres y lagos de agua salada	5,2	Incluye a los mayes interiores.
<b>Agua dulce 2,5%</b>	Hielo y nieve	69,61	En formas de glaciares y capas de nieve permanentes.
	Aguas freáticas	30,00	La mayor parte en acuíferos profundos.
	Lagos y Ríos	0,25	Los lagos representan la mayoría
	Suelos, humedales y biota	0,10	Agua contenida en lodos, humedad del suelo, pantanos, flora y fauna
	Vapor de agua en la atmósfera	0,04	Vapor y nubes, representa seis veces más que todos los ríos del mundo.

**Fuente:** Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente  
**Cuadro 3.1.** Distribución de agua en el planeta

En el ciclo hidrológico el agua por ser un excelente solvente puede contaminarse a medida que disuelve los gases en la atmosfera, en la tierra al transportar polvo o al estar en contacto con materia orgánica en descomposición, al percolarse en el suelo pudiendo disolver sales de los minerales o recibiendo aguas residuales. Por lo tanto se puede definir que la calidad del agua se relaciona con la naturaleza de esta y con la concentración de impurezas.

Las impurezas son las que determinan las características del agua, tales características se determinan mediante análisis físico, químico, bacteriológico y microscópico.

En el cuadro 3.2 se resumen las principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas.



	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRANEAS
<b>Temperatura</b>	Variables según la época del año	Relativamente constante
<b>Turbiedad</b>	Variable a veces elevada	Baja o nula
<b>Mineralización</b>	Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en la superficie de la misma región
<b>Hierro y manganeso</b>	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cuerpos de agua en estado de eutrofización	Generalmente presentes
<b>Dióxido de carbono</b>	Generalmente ausente	Normalmente presentes en gran cantidad
<b>Oxígeno disuelto</b>	Normalmente próximo a saturación	Ausencia total en la mayoría de los casos presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de continuación
<b>Amonio</b>	Presente solo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación
<b>Acido Sulfhídrico</b>	Ausente	Normalmente presente
<b>Sílice</b>	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
<b>Nitratos</b>	Poco abundante en general	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia
<b>Microorganismos</b>	Bacterias, virus, plancton	Fuentes ferrobacterias

**Cuadro 3.2.** Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas

### 3.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ciencia que estudia las aguas subterráneas es la hidrogeología, el agua que se infiltra en el suelo se denomina agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea, los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua son:

*Primero*, que puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera.

*Segundo*, que puede ser absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera, a través del proceso de la transpiración.

Tercero, que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea.

Entonces podemos concluir que la mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica que cae de precipitaciones en forma de lluvia o nieve, si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno.

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de esta dentro de los materiales geológicos subsuperficiales. Ver figura 3.2.



**Figura 3.2.** Distribución vertical de las aguas subterráneas

La zona de aireación es el estrato superior, en donde los poros o aberturas están sólo parcialmente llenos de agua. La zona de saturación se encuentra por debajo de la zona de aireación, los poros o aberturas se encuentran completamente llenos de agua. También se le llama zona de agua sostenida.

En el cuadro 3.3 y figura 3.3, se detalla los diferentes tipos de depósitos según su clasificación.

	TIPO	DESCRIPCIÓN
<b>Según su porosidad y estructura</b>	Acuíferos de nivel freático	Tienen la parte superior del agua contenida en ellos a presión atmosférica.
	Acuíferos artesianos	La presión del agua contenida supera la atmosférica, se encuentran entre dos capas impermeables.
<b>Según su textura</b>	Acuíferos porosos	El agua subterránea se encuentra dentro de unos poros intercomunicados entre sí.
	Acuíferos fisurales	El agua se encuentra ubicada sobre fisuras o diaclasas, intercomunicadas entre sí.
<b>Según su hidrodinámica</b>	Acuíferos	Buenos almacenadores y transmisores de agua subterránea.
	Acuitardos	Buenos almacenadores pero malos transmisores de agua subterránea
	Acuicludos	Pueden ser buenos almacenadores, pero nulos transmisores.
	Acluifugos	Son nulos tanto como almacenadores como transmisores

**Cuadro 3.3.** Clasificación de los tipos de depósitos



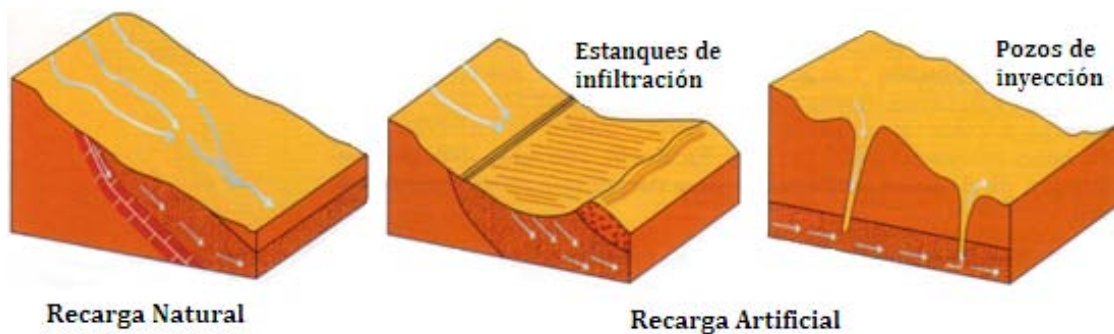
**Figura 3.3.** Tipos de depósitos

Cuando existe una extracción continua de agua en el acuífero se produce el descenso del nivel freático, sin embargo este descenso no significa que el

acuífero esté sobreexplotado, normalmente lo que sucede es que el nivel freático busca una nueva cota de equilibrio en el que se estabiliza.

La sobreexplotación se produce cuando las extracciones totales de agua superan a la recarga, de esta manera los pozos se pueden secar si el nivel freático cae por debajo de su profundidad inicial, lo que ocurre ocasionalmente en años de sequía.

A las zonas de recarga se les puede llamar zonas de alimentación, el agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales; en algunas situaciones especiales se ha logrado la recarga artificial de los acuíferos pero este no es un procedimiento común y no siempre es posible. Ver figura 3.4.



**Figura 3.4.** Recarga de acuíferos

El régimen de recarga puede alterarse por causas, como la repoblación forestal, que favorece la infiltración frente a la escorrentía, pero aún más favorece la evapotranspiración, o por el incremento de superficies impermeables, como ocurre en zonas urbanas e industriales.

Sin interferencia del ser humano el excedente de aguas subterráneas se descarga por varias rutas hasta alcanzar su estado de equilibrio que pueden ser las corrientes de efluentes que son los ríos que interceptan la capa freática, los manantiales, por evaporación directa o transpirada por plantas a partir de la franja capilar o por canales de descarga como aliviaderos.

### 3.2.1. HIDRÁULICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA





Con el fin de caracterizar cuantitativamente el flujo de agua a través de los estratos existentes en la zona saturada, se han definido algunos parámetros:

- a) **Permeabilidad.**- Denominada Conductividad Hidráulica (K). Se define como el volumen de agua que circula a través de una sección unitaria de suelo, en un tiempo unitario, bajo un gradiente hidráulico también unitario. La permeabilidad se mide en unidades de longitud por tiempo. En el cuadro 3.4 se presentan distintos valores de conductividad hidráulica según el tipo de material.

TIPO DE MATERIAL	K m/día
Grava gruesa	150
Grava media	270
Grava fina	450
Arena gruesa	45
Arena media	12
Arena fina	2,5
Limo	0,08
Arcilla	0,0002
Arenisca fina	0,2
Arenisca media	3,1
Dolomita	0,001
Arena de duna	20
Loes	0,08
Turba	5,7
Esquisto	0,2
Pizarra	0,00008
Toba	0,2
Basalto	0,01
Arena y mezcla de gravas	5-100
Arcilla, arena y mezcla de gravas	0.001-0,1

**Cuadro 3.4.** Conductividad según el tipo de material

- b) **Espesor del acuífero.**- Corresponde a la distancia que existe entre el estrato impermeable y el nivel freático en acuíferos libres. En acuíferos confinados y semi confinados, corresponde a la distancia que existe entre los estratos impermeables que lo encierran.





- c) Transmisibilidad.-** La transmisibilidad del flujo,  $T$ , es la capacidad de un acuífero para transmitir el agua a través de todo su espesor, está determinada por la ecuación 3.1.

$$T = KY \quad (3.1)$$

Donde,  $T$ , es el flujo en galones por un pie de ancho y una altura igual al espesor del acuífero; y bajo la acción de un gradiente unitario.

- d) Coeficiente de almacenamiento.-** Es el volumen de agua entregado por el acuífero en una sección de área horizontal, por cada metro de descenso en el nivel piezométrico. El coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados se encuentra normalmente en rangos de  $10^{-6} \leq S \leq 10^{-4}$ , en acuíferos no confinados sus valores se encuentran normalmente en rangos de  $0.2 \leq S \leq 0.3$ .

En acuíferos confinados el valor de  $S$  se obtiene a partir de la ecuación 3.2.

$$S = \frac{\Delta V}{A \times \Delta h} \quad (3.2)$$

Donde:

$S$ , Almacenamiento, a dimensional.

$\Delta V$ , Volumen de agua aportado,  $m^3$ .

$A$ , Área horizontal del acuífero,  $m^2$ .

$\Delta h$ , Cambios en la altura piezométrica, m.

Las investigaciones de Darcy indican que la velocidad de flujo en un medio poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga debida al gradiente hidráulico. Para poder obtener la velocidad de agua a través del terreno se utiliza la ecuación 3.3.

$$v = ks \quad (3.3)$$

Donde,

$v$ , velocidad del flujo

$s$ , pendiente del gradiente hidráulico

$k$ , coeficiente que tiene unidades de velocidad



Caudal es el área de la transversal por la velocidad, expresado por la ecuación

3.4.

$$q = kpAs \quad (3.4)$$

Donde,

A, área efectiva

p, porosidad

k, Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica

### 3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando ésta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Las características de las aguas subterráneas están netamente determinadas por su naturaleza y por los contaminantes presentes en ella, el agua subterránea tiende a ser salina puesto a que atraviesa diferentes estratos y absorbe la salinidad de los minerales, además tiende a ser potable debido a que la circulación subterránea tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos contaminantes.

Se suelen distinguir dos tipos de procesos de contaminación: contaminación puntual que afectan a zonas muy localizadas, y contaminación difusa que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal. Las actividades más importantes que suelen provocar contaminación se describen en el cuadro 3.5.



DESCRIPCION SEGÚN EL TIPO DE CONTAMINACION	
Puntual	Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
	Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.
	Pozos sépticos y acumulaciones de purines.
Difusa	Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
	Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la inter fase entre los dos tipos de aguas.

**Cuadro 3.5.** Actividades que provocan contaminación puntual y difusa

Existen diferentes formas por las que se producen los tipos de contaminación, ver figura 3.5, entre las más comunes están:

- a) **Contaminación de forma natural.**- El agua subterránea que se mueve a través de rocas y suelos sedimentarios puede contener según la geología del terreno materiales y compuestos como el Magnesio, Calcio y Cloruros. Algunos acuíferos tienen altas concentraciones naturales de constituyentes disueltos como hierro, arsénico, boro y Selenio.
- b) **Contaminación de forma agrícola.**- Los pesticidas, fertilizantes, herbicidas y residuos de animales son fuentes de contaminación, así como también que el almacenamiento de químicos agrícolas cerca de los conductos de agua subterráneas.
- c) **Contaminación de forma Industrial.**- industrias con un inadecuados sistemas de tratamiento de aguas residuales puede crear oportunidades para la contaminación de las aguas subterráneas. Además el almacenamiento y disposición inadecuado de químicos como pinturas, detergentes sintéticos, aceites solventes, medicinas, desinfectantes, químicos de piscinas, pesticidas, baterías, combustibles de gasolina y diesel puede provocar dicha contaminación.



- d) **Contaminación de forma doméstica.-** Se produce por verter en el desagüe gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos y por desechar la basura domestica en lugares inapropiados y sin control.

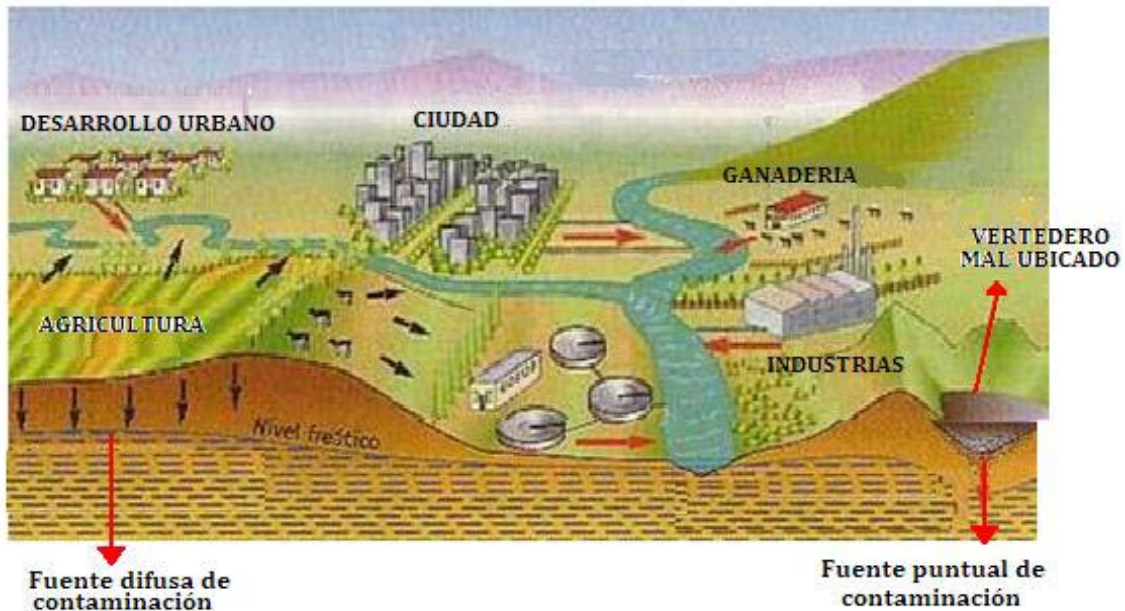


Figura 3.5. Contaminación de las aguas subterráneas

### 3.3. ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO

Las enfermedades relacionadas con el agua puede deberse a los siguientes factores: microorganismos que transporta el agua y concentraciones inadecuadas de ciertas sustancias.

- a) **Enfermedades transmitidas por microorganismos que transporta el agua,** entre estas podemos citar 2 grupos:

- Enfermedades causadas por agentes biológicos, los mismos que pueden ser transmitidas por vía oral como: Fiebre tifoidea, Fiebre paratifoidea, Cólera, Disentería, Hepatitis infecciosa, Poliomiелitis, Enfermedades entero parasitarias; y por vía cutáneo-mucosa como: Esquistosomiasis, Enfermedades relacionadas con baños en piscinas, playas y ríos, Conjuntivitis, otitis, corizas o romadizos, etc.
- Enfermedades cuyos vectores se relacionan con el aguacuya vía de contagio es una picada de mosquito: Fiebre amarilla, Dengue y fiebre



hemorrágica, Fiebre del Nilo, Encefalitis por arbovirus, Filariosis, Malaria, Enfermedad del sueño, provocada por la mosca Tsé – Tsé.

**b) Concentraciones inadecuadas de ciertas sustancias,** Las repercusiones para la salud de una determinada sustancia química dependerán de la forma química, concentración y vía por la que entra en contacto con el ser humano. Entre las más importantes se encuentran:

- **Fluoruros.-** La absorción repetida de pequeñas dosis de derivados fluorados originan intoxicaciones crónicas, manchas en los dientes, fluorosis ósea, fluorosis invalidante, pérdida de peso, fragilidad ósea, anuria, astenia, malestar general y rigidez de las articulaciones.
- **Nitratos.-** El consumo directo para lactantes a base de aguas con concentraciones elevadas puede causar metahemoglobinemia.
- **Arsénico.-** El consumo de aguas con altos contenidos de este elemento produce enfermedades como del Hacre que se caracteriza por manifestaciones cutáneas, disturbios gastrointestinales, afecciones en la circulación periférica, vómitos, diarrea, y debilidad en las extremidades hasta la parálisis.
- **Selenio.-** Ocasionan afecciones del cuero cabelludo, dermatitis y caspa.
- **Mercurio, plomo, cadmio, cromo y otros metales.-** Son altamente tóxicos y en general se acumulan. El *mercurio* produce lesiones renales trastornos neurológicos, nerviosos y psíquicos; el *plomo* produce saturnismo, origina en bebés y niños retardo en el desarrollo físico o mental y en adultos trastornos renales e hipertensión; el consumo de *cadmio* produce lesiones renales, mutaciones y deformaciones en los recién nacidos y el *cromo* ocasiona dermatitis alérgica, problemas hepáticos y renales.

### 3.3.1. MEDIDAS PARA CONTROL DE TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES

En el cuadro 3.6 se indican medidas de control para evitar la propagación de enfermedades.



MEDIDAS DE CONTROL	
<b>Abastecimiento de agua</b>	Selección de fuentes no contaminadas
	Tratamiento del agua cruda
	Reemplazo de abastecimientos contaminados por otros más confiables y seguros
	Protección de cuencas
	Control de calidad de agua
<b>Disposición sanitaria</b>	Protección de los sistemas de abastecimiento de agua
	Protección del medio ambiente
	Apoyo a las actividades de control de los sistemas de abastecimiento y agua de disposición de excretas
	Dstrucción, disposición, aislamiento o disolución de residuos fecales
<b>Educación sanitaria</b>	Higiene personal
	Protección del medio ambiente
	Apoyo a las actividades de control de los sistemas de abastecimiento de agua y de disposición de excretas

**Cuadro 3.6.** Medidas para control de transmisión de enfermedades

## CAPÍTULO 4

### ESTUDIOS PRELIMINARES

#### INTRODUCCIÓN

Antes de tomar la decisión de construir alguna obra para la captación de aguas subterráneas es recomendable realizar estudios preliminares, con el fin de tener estimaciones de los recursos existentes. Entre los estudios más importantes tenemos: topografía, geología, prospección geofísica, perforaciones, pruebas de bombeo y análisis de la calidad del agua.

#### 4.1. TOPOGRAFÍA

La topografía es una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas que requieren tener conocimiento de la superficie del terreno donde tendrá lugar el desenvolvimiento de esta actividad.

En un proyecto de agua potable es necesario tener un plano topográfico de la población, zonas de expansión futura y de las zonas en las que pueden ir localizadas las obras tales como: captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y otros.

##### 4.1.1. DATOS DE CAMPO

Los planos topográficos de Paute fueron proporcionados por el departamento de obras públicas del I. Municipio de Paute. Sin embargo se realizó a detalle el levantamiento topográfico de la zona de emplazamiento del sistema de agua potable. Ver anexo 4.1.

Para la elaboración del levantamiento topográfico se utilizaron los siguientes implementos:

- Teodolito marca Trimble, Eth 50 CE, modelo 25P GendaticheSistem.

- Nivel marca HEER BRUGG, modelo Wild NK2.
- Una mira
- Dos Cintas de 50 metros cada una.
- Estacas y pintura de agua para marcas.
- Herramientas de mano para maleza como: machetes.

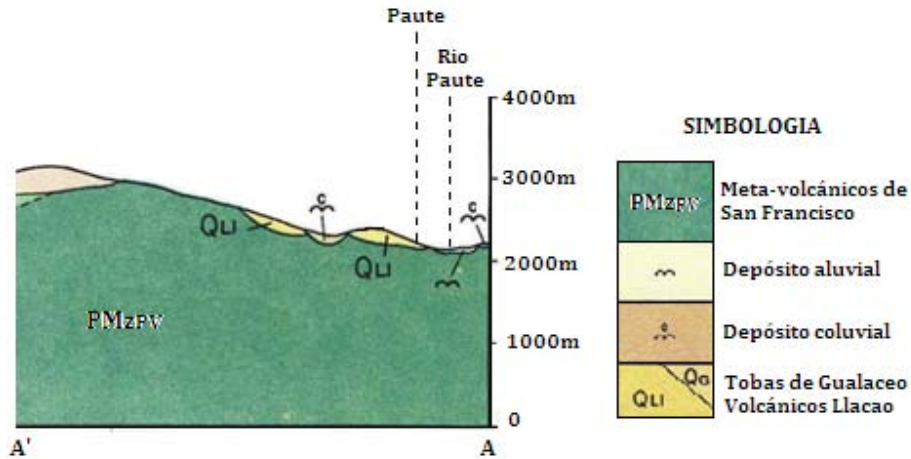


**Fotografía 4.1.** Levantamiento topográfico en la zona del proyecto

## 4.2. GEOLOGÍA

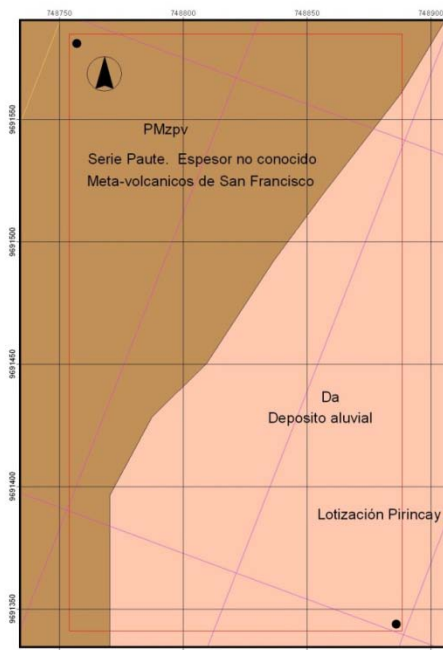
De acuerdo a la carta geológica del Instituto Geográfico Militar (IGM), hoja Azogues escala 1:100 000, ver anexo 4.2, alrededor del punto existen las formaciones Meta volcánicos de San Francisco perteneciente a la Serie Paute y Depósitos Aluviales recientes. Figura 4.1.





Fuente: IGM, hoja Azogues escala 1:100 000  
**Figura 4.1.** Corte AA' de perfil geológico

- a) **Meta volcánicos de San Francisco**, pertenecen a la serie Paute (Paleozoico o Mesozoico) y constituyen las rocas más antiguas descubiertas en la hoja Azogues. Comprende una serie de esquistos verdes, filitas negras y meta-volcánicas, posee una litología similar a los Esquistos el Pan que pertenecen a la misma serie.
- b) **Depósitos aluviales**, los depósitos aluviales (Holoceno) consisten en estratos gredosos supra yacentes a un depósito de roca gruesa.



Fuente: PROMAS  
**Figura 4.2.** Geología local

### 4.3. ANÁLISIS GEOFÍSICO

Un análisis geofísico se realiza principalmente con el propósito de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del subsuelo. Los métodos de prospección geofísica comúnmente empleados son: eléctrico, sísmico, electromagnético, gravimétrico, magnético, sísmica en sondeos, testificación geofísica. Estos métodos ofrecen una forma de obtener información detallada acerca de las condiciones del suelo y rocas del subsuelo.

#### 4.3.1. MÉTODO APLICADO

Se efectuó la prospección en la zona del proyecto utilizando el método eléctrico de tipo sondeo eléctrico vertical (SEV) utilizando la metodología de Schlumberger. A continuación se describe en breves rasgos el funcionamiento del mismo para un mayor entendimiento de los resultados obtenidos.

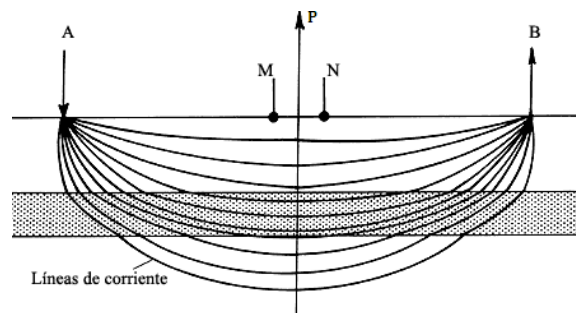
El sondeo eléctrico vertical intenta distinguir las formaciones geológicas que se encuentran en profundidades determinadas mediante algún parámetro físico como la resistividad ( $\rho$ ), el cual describe la dificultad que encuentra la corriente al atravesar las distintas formaciones y viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor. Ver cuadro 4.1.

TIPO DE MEDIO	OHMS-METRO
Granito saturado	20-100
Caliza saturada	50-20
Agua salina	1-10
Agua potable	50-300
Agua de mar	< 0,2
Agua destilada	> 500
Arcilla	10-100
Caliza y arenisca	50-3000
Pizarra	50-300
Rocas metamórficas	100-10000
Grava	100-10000
Arena	130-1000
Limo	30-500

**Cuadro 4.1.** Permeabilidad de los materiales

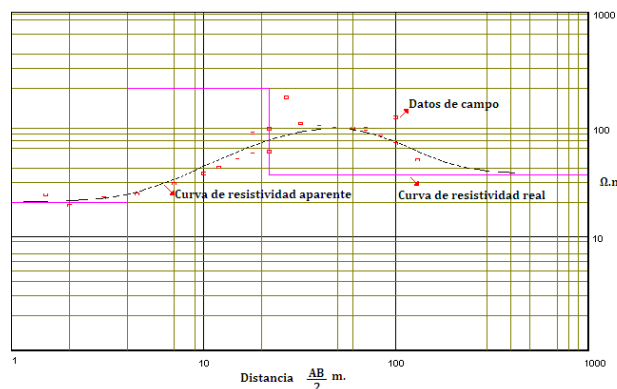
Este método es muy antiguo pero se sigue utilizando debido a su sencillez y relativa economía del equipo necesario. Para estos estudios se apoyan de dispositivos como los de Wenner y Schlumberger.

La metodología Schlumberger trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB, figura 4.3, dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P.



**Figura 4.3.** Método de Schlumberger

La curva de resistividad aparente representa los resultados de este sondeo en un gráfico logarítmico: en abscisas la distancia  $AB/2$  (m.) de cada medida, y en ordenadas la resistividad aparente de cada punto ( $\Omega \cdot m$ ), esta curva es la que se interpreta para conseguir los espesores y resistividades de las formaciones geológicas de la zona. Un SEV puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente sea interpretable, el subsuelo debe estar representado por capas horizontales y homogéneas. Ver figura 4.4



**Figura 4.4.** Curva de resistividades



#### 4.3.2. DATOS DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL DE LA ZONA

Según el informe presentado por el gobierno provincial el sondeo eléctrico vertical realizado presenta las siguientes conclusiones:

- Se presume a partir del Sondeo eléctrico vertical la presencia de:
  - Depósitos coluviales heterogéneos, con un espesor aproximado de 0 a 22 metros y con resistividad de 200 Ohm-m.
  - Terrazas fluviales, con buena probabilidad de existencia de agua subterránea, con un espesor aproximado de 22 a 80 metros y con resistividad de 35 Ohm-m.
- En la curva de resistividad se observa valores relativamente altos en la profundidad hasta 22 metros, lo que se puede tratar de Coluviales semisaturados.
- La zona del proyecto se clasifica de manera cualitativa según la posibilidad de desarrollo de aguas subterráneas como A, es decir Zona de Alta posibilidad de desarrollo de aguas subterráneas.
- De acuerdo a los resultados de la geofísica y de requerimientos de caudal, el pozo se perforará entre 50 y 70 metros.
- Para este proyecto es una buena decisión aprovechar el agua subterránea, ya que no es variable con las estaciones climáticas del año en cantidad y calidad del agua.
- Se puede tomar decisiones sobre el tratamiento necesario del agua subterránea en base a análisis de laboratorio realizados una vez ejecutada la perforación y la prueba de bombeo.

La curva de resistividad real fue obtenida a partir del programa W-GeoSoft/WinSev 5.1, Para revisar el informe emitido por el Gobierno Provincial y el registro fotográfico ver anexo 4.3.



#### 4.4. PERFORACIONES Y POZOS

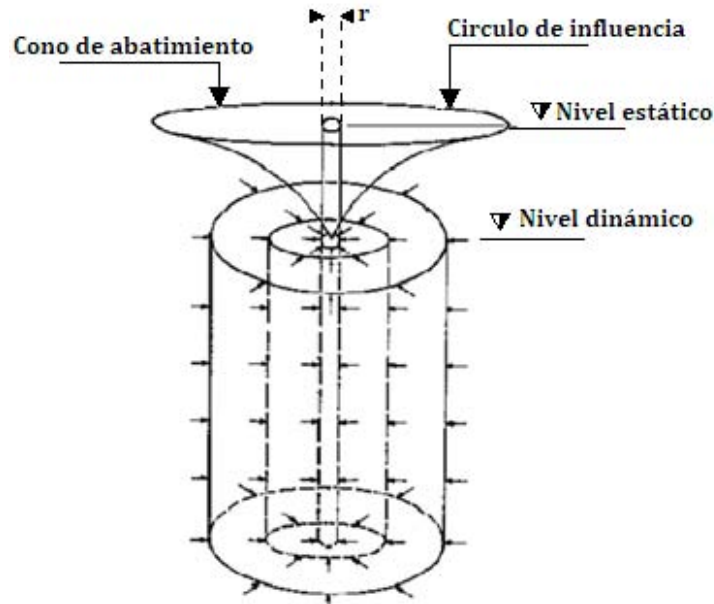
Las técnicas para llegar al agua subterránea varían desde los métodos más antiguos, tales como la simple excavación de pozos con herramientas manuales hasta las sofisticadas máquinas de perforación. Para la realización de un pozo deberá contarse con datos: hidrológicos, geológicos, prospección geofísica, pozos de prueba y prueba de bombeo.

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción:excavado, taladrado, a chorro, clavado y perforado.

- a) Pozo excavado.-** Es aquel que se construye por medio de picos, palas o equipo para excavación como cucharones de arena. Son de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie.
- b) Pozo taladrado.-**Es aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz.
- c) Pozo a chorro.-**Esaquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad.
- d) Pozo clavado.-** Esaquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta se clava en el terreno se agregan tubos.
- e) Pozo perforado.-**Son aquellos cuya excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación.
  - *Perforación por percusión*, se basa en la caída libre de un peso en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo.
  - *Perforación por rotación*, se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca perforadora.

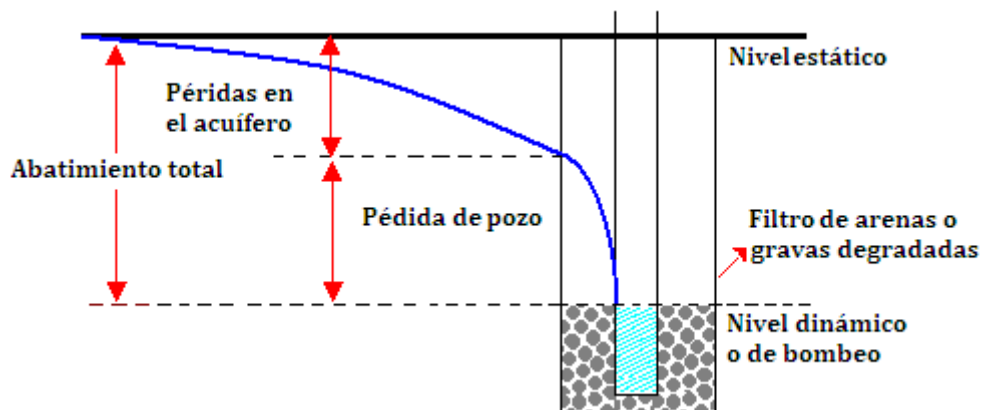
El abatimiento es un parámetro importante en el diseño de pozos, se define como la reducción del nivel del agua en un pozo debido a una extracción sostenida. El abatimiento es una función de las propiedades del acuífero y las características del pozo incluyendo su construcción.

Al efectuarse la extracción del agua de un pozo con equipo de bombeo, ocurre un abatimiento de la superficie del agua, deteniéndose hasta que ocurra el equilibrio. En el subsuelo que rodea al pozo, debido al escurrimiento del agua hacia el mismo se provoca una depresión cónica denominada “Cono de abatimiento”, figura 4.5.



**Figura 4.5.** Cono de abatimiento

Las pérdidas hidráulicas que ocurren en la obra de captación se distribuyen en dos componentes. Uno en que las pérdidas de carga ocurren en el acuífero o en el material saturado y que dependen exclusivamente de las características de este; y el segundo componente de las pérdidas hidráulicas en la obra de captación, corresponde a las pérdidas de carga ocurridas en el pozo. Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Esquema general de las pérdidas hidráulicas en un pozo.



Es un parámetro de diseño importante y es posible determinarlo con antecedentes de otros pozos en las cercanías del estudio o con estudios hidrogeológicos preliminares. La profundidad será fijada con base en los espesores, profundidades y rendimientos específicos de los acuíferos, tratando de cubrir la demanda o la necesidad para el uso que se pretende dar al agua.

Para fijar el diámetro de la tubería influyen factores hidráulicos, en los cuales se distingue: uno que va desde la superficie hasta la profundidad donde irá instalada la bomba, y se denomina cámara de bombeo; y otro que se extiende hasta el sistema de captación.

En la cámara de bombeo el diámetro recomendable para la tubería es el doble del de la bomba, aunque este valor será función de la longitud de la cámara de bombeo, ya que a mayor profundidad el riesgo de tener desviaciones en la perforación aumenta.

A continuación se presenta en el cuadro 4.2 valores de diámetros recomendados en función de caudales extraídos.

<b>DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE POZOS</b>	
<i>Diámetro de la tubería mm.</i>	<i>Caudal lt./s.</i>
100	3 a 5
150	9 a 6
200	8 a 20
250	20 a 30
300	30 a 40
400	40 a 80
500	80 a 120
600	120 a 200

**Cuadro 4.2.** Diámetros de pozos

Para la construcción del pozo existen tres situaciones típicas que se deben relacionar con las pérdidas hidráulicas asociadas.

- En el primer caso se construye en una zona de material consolidado, donde no existen riesgos de entrada de sedimentos o arenas al interior, el diámetro del pozo es similar al de la tubería definitiva.



- Una segunda situación es aquella en que el pozo se construye en una formación no consolidada, donde se hace necesario diseñar una rejilla con el fin de evitar el ingreso de arenas a su interior. También en esta situación el diámetro del pozo es similar al de la tubería.
- La tercera situación es donde se hace imprescindible incluir en el diseño del pozo un filtro de gravas para evitar el ingreso de arenas, este filtro se ubica en la zona de captación del acuífero, entre la tubería y las paredes del pozo, provocando pérdidas hidráulicas menores.

#### 4.4.1. PRUEBAS DE BOMBEO

Las pruebas de bombeo son indispensables para conocer el comportamiento de los pozos y determinar las constantes de la conductividad hidráulica ( $k$ ), transmisibilidad ( $T$ ). Las pruebas consisten básicamente en un control sistemático del caudal, de los niveles de agua y del tiempo transcurrido durante el bombeo del pozo. Estas pruebas son reconocidas como de caudal variable y caudal constante.

- a) Prueba de caudal variable o escalonado, sirve para determinar el caudal máximo a extraer del pozo y ubicación de la bomba.
- b) Prueba de caudal constante, sirve para determinar parámetros estáticos de un acuífero.

Debido a las dificultades matemáticas se desarrollaron soluciones aproximadas, para que puedan ser aplicadas sus ecuaciones o equivalentes y en este sentido, para obtener las respuestas deseadas, se propone la aplicación de tres métodos, los que son:

- a) **Método de Theis**, consiste en realizar un bombeo de ensayo en un acuífero confinado para medir sus parámetros hidráulicos y detectar su transmisibilidad. Se necesitan dos sondeos abiertos en el mismo acuífero. En uno se bombea un caudal constante y en el otro se mide los descensos para tiempos sucesivos.





**b) Método de Jacob**, se necesita dos sondeos abiertos en el mismo acuífero, en el uno se bombea un caudal constante y en el otro se mide los descensos.

**c) Método de Chow**, desarrolló un método que tiene la ventaja de evitar el ajuste de curvas y no presenta restricción para su aplicación. Se hacen medidas del abatimiento en pozos de observación, próximo a un pozo de bombeo.

#### 4.4.2. DATOS DE CAMPO

Debido a demoras burocráticas entre la I. Municipalidad de Paute y el Gobierno provincial del Azuay no se pudo realizar la perforación; por lo que se recurrió a realizar un recuento de todas las captaciones subterráneas existentes en la zona dentro del radio de influencia del pozo.

Una vez ubicada la existencia de un pozo profundo en la localidad de Zhumir, ubicado a 1.5 km de la zona de estudio, se procedió a tomar los datos de éste para el diseño del sistema de agua potable, puesto que las condiciones geológicas no presentan cambio brusco se puede suponer que se puede tratar del mismo acuífero. Cabe recalcar que una vez realizado el pozo in situ, los resultados deben ser comparados y rectificados en el diseño si el caso lo amerita. Los resultados de la perforación deben contener:

- Profundidad a la que ya se encontró agua.
- Ubicación de filtros y camisas.
- Verificación del lavado de la perforación durante 4 días.
- Prebombeo de 6 horas.
- Resultados de la prueba de bombeo escalonada.
- Resultado de la prueba de bombeo definitiva en 24 horas de duración, obteniendo el caudal y la estabilización del nivel de agua en el pozo.
- Muestras de agua para su respectivo análisis.

## 4.5. CALIDAD DEL AGUA

El agua potable debe ser totalmente libre de impurezas, básicamente deberá cumplir dos condiciones principales: no debe ser peligrosa para la salud de los consumidores y el sistema debe ser operado a un costo razonable.

### 4.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para saber en qué condiciones se encuentra un acuífero se analizan una serie de parámetros de tipo físico, químico y biológico.

**a) Características físicas.**-Las características físicas son aquellas que se pueden detectar con los sentidos, lo cual implica que tiene incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Las características se describen en el cuadro 4.3.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
<b>Color</b>	Se reconoce dos tipos de color: El color verdadero, el aquel que presenta el agua después de remover turbiedad y que es el resultado de la presencia de sustancias orgánicas, disueltas o coloidales; y el color aparente, debido a materia suspendida. El color se expresa en unidades de color [UC].
<b>Olor y sabor</b>	Se deben a compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, plancton; o a compuestos orgánicos generados por la actividad de bacterias y algas u hongos, a vegetación en putrefacción. Además en muy pequeñas concentraciones las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos y en ocasiones sin ningún olor.
<b>Temperatura</b>	Factor que retarda o acelera la actividad biológica, absorción de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera por el agua, e influye en la proliferación de algas y en la precipitación de compuestos.
<b>Materiales en suspensión</b>	Partículas como arcillas, limo y otras.
<b>Radiactividad</b>	Debidos a isótopos, algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.
<b>Espumas</b>	Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua.
<b>Conductividad</b>	Se usan como índice aproximado de concentración de solutos.
<b>Turbiedad</b>	La turbiedad es debida a partículas que están en suspensión o en estado coloidal.

**Cuadro 4.3.** Características físicas



**b) Características químicas.**-Por ser el agua un solvente universal, existe la posibilidad de que una inmensa cantidad de elementos y compuestos estén presentes en ella en forma de solución. Ver cuadro 4.4

<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>	
<b>pH</b>	Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de una solución cualquiera.
<b>Dureza</b>	La presencia de cationes de calcio y de magnesio dan origen a la dureza, ésta puede ser: dureza permanente y dureza temporal. La Dureza total es la suma de la dureza temporal y la permanente. Dificulta la cocción de legumbre, impide la formación de espuma y forma incrustaciones en las tuberías
<b>Oxígeno disuelto OD</b>	Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	Es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua.
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico.
<b>Alcalinidad</b>	Medida de la capacidad del agua para neutralizar acidez.
<b>Acidez</b>	Capacidad que tiene el agua de neutralizar alcalinidad.
<b>Nitrógeno total</b>	Hay tres formas de nitrógeno que son comúnmente medidas: Nitratos, Amoniacos y Nitritos.
<b>Fósforo total</b>	El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida.
<b>Fosfatos</b>	Indican detergentes y fertilizantes.
<b>Nitritos</b>	Indican actividad bacteriológica.
<b>Nitratos</b>	Indican contaminación agrícola.
<b>Sulfuros</b>	Indican acción bacteriológica anaerobia.
<b>Cianuros</b>	Indican contaminación de origen industrial.
<b>Fluoruros</b>	Si se excede el límite el esmalte dental puede adquirir unas manchas color marrón permanente y si es inferior ejerce protección contra la caries.
<b>Cloruros</b>	Indican salinidad debido a sales del suelo que se disuelven en el agua.

**Cuadro 4.4.**Características Químicas



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
<b>Sulfatos</b>	En cantidades apreciables tienen efectos sobre el sabor y son laxantes cuando simultáneamente están presentes el manganeso y el sodio.
<b>Sodio</b>	Indica salinidad.
<b>Calcio y magnesio</b>	Están relacionados con la dureza del agua.
<b>Amonio</b>	Contaminación con fertilizantes y heces.
<b>Hierro y manganeso</b>	La presencia de hierro en las aguas no tiene efectos de salubridad, pero afecta el sabor, produce manchas indelebiles en los aparatos sanitarios, interfiere en el lavado de ropa y se deposita en la red de distribución causando ocasionalmente obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color. El manganeso tiene prácticamente los mismos efectos del hierro.
<b>Metales pesados</b>	Produce efectos nocivos
<b>Zinc</b>	Su presencia transmite al agua un sabor astringente, opalescencia y depósitos similares a la arena.
<b>Cobre</b>	Su presencia en el agua es conveniente para el metabolismo humano y ocasionalmente es usado para controlar la proliferación de algas, sin embargo produce sabor astringente y color al agua, favorece la corrosión de tuberías, conexiones y utensilios de aluminio y Zinc y puede originar problemas de sabor.
<b>Compuestos orgánicos</b>	Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor.
<b>Sustancias Toxicas</b>	Arsénico, Bario, Cadmio, Cianuro, Mercurio, Plata, Cromo, Plomo entre otras.

**Continuación cuadro 4.4. Características Químicas**

**c) Análisis bacteriológico.**-En los cuerpos de agua habitan muchos tipos de microorganismos parásitos como bacterias, virus, protozoarios, helmintos, que se alimentan de materia orgánica. Los análisis bacteriológicos dirigen su atención a detectar las especies bacterianas cuyo origen fecal es conocido, en especial los microbios del grupo coliforme. Ver cuadro 4.5.

CARACTERISTICAS BACTERIOLÓGICAS	
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

**Cuadro 4.5.** Características Bacteriológicas

#### 4.5.2. NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS

El Proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601 “Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana”, en su cuarta parte, establece las normas requeridas para la calidad del agua de consumo humano, anexo 2.2. Estas a su vez están basadas en las normas de técnicas de calidad ecuatorianas, INEN, 1108, cuadro 4.6.

Como comparación y análisis complementario para un mejor entendimiento del grado de exigencia de las normas ecuatorianas se Incluyen las normas de la organización mundial de la salud OMS y el TULAS. Ver anexo 4.4 y anexo 4.5.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108		
Parámetro	Unidad	Límite máximo Permissible
<i>Características físicas</i>		
Color	UTC, Pt Co	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	-	No objetable
Sabor	-	No objetable
pH	-	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
<i>Inorgánicos</i>		
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, N – NO <sub>3</sub>	mg/l	10
Nitritos, N NO <sub>2</sub>	mg/l	0,0
Dureza, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr	mg/l	0,05
Cobre Cu	mg/l	1,0

**Fuente:** Instituto ecuatoriano de normalización

**Cuadro 4.6.** Normas INEN 1108



NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108		
Parámetro	Unidad	Límite máximo Permisible
<i>Inorgánicos</i>		
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
Cloro Libre Residual	mg/l	0,3 – 1,5
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, N – NH <sub>3</sub>	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo, P-PO <sub>4</sub>	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	mg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
<i>Requisitos Microbiológicos</i>		
Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2
Criptosporidium	#quistes/100 l	Ausencia
Giardia Lambia	#quistes/100 l	Ausencia

**Fuente:** Instituto ecuatoriano de normalización  
**Continuación cuadro 4.6.** Normas INEN 1108

#### 4.5.3. TOMA DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS EN LABORATORIO

Para conocer las variaciones físicas, químicas y bacteriológicas de la fuente de agua se toman muestras del agua cruda. En el caso de muestras de agua subterránea, ésta debe obtenerse después de la prueba de bombeo cuando no haya indicios de contaminación externa del agua.

Las muestras para los ensayos físicos y químicos se deben tomar en recipientes limpios, preferentemente de plástico de por lo menos dos litros de capacidad. En ningún caso deberá transcurrir más de 72 horas desde la toma de la muestra hasta la realización del análisis.



La muestra para el análisis bacteriológico se toma en recipientes de cristal esterilizado de 100ml. y provistos de un tapón esmerilado, evitando en lo posible la contaminación accidental en el momento de la toma. El tiempo transcurrido entre el momento de la toma y el inicio del análisis no deberá exceder las 24 horas.



**Fotografía 4.2.** Muestras para análisis físico, químico y bacteriológico

Para los dos casos se debe tomar datos auxiliares como: la hora exacta de la toma de la muestra, clima medio de la zona, y cualquier anomalía u observación que se pueda presentar en ese momento.

Los análisis de las muestras de agua empleados en el proyecto corresponden a los datos obtenidos de un pozo ubicado en la localidad de Zhumir, a 1.5 km de la zona de estudio, éstos fueron realizados el 6 de julio del 2007 por parte del gobierno provincial del Azuay a través del laboratorio de sanitaria de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cuenca. Anexo 4.6.

#### **4.5.4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS**

En el cuadro 4.7 se muestra una comparación entre los resultados de los análisis de agua y las normas de calidad INEN 1108, en el cual se puede identificar que los parámetros de color, turbiedad, hierro y dureza están fuera de los límites establecidos por lo que requieren tratamiento para ser eliminados



en el mejor de los casos o reducidos hasta cumplir con las normas establecidas.

PARÁMETRO	AGUA CRUDA	NORMA INEN 1108 LIMITE PERMISIBLE	OBSERVACIÓN
Turbiedad	6,13 NTU	5 NTU	No Cumple
Color	18 UTC, Pt Co	15 UTC, Pt Co	No Cumple
Sólidos Disueltos	390,7 mg/l	1000 mg/l	Cumple
PH	7,5	6,5 – 8,5	Cumple
Dureza Total	340 mg/l, CaCo3	300 mg/l, CaCo3	No Cumple
Hierro Total	1,1 mg/l	0,3 mg/l	No cumple
Manganeso	Trazas	0,1 mg/l	Cumple
Cloruros	16 mg/l	250 mg/l	Cumple
Sulfatos	85 mg/l	200 mg/l	Cumple
Nitratos	0,1 mg/l	10 mg/l	Cumple

**Cuadro 4.7.** Comparación de resultados de análisis físico, químico del agua cruda

#### 4.5.5. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

La aeración puede ser utilizada en aguas subterráneas, con el objetivo de originar la oxidación del hierro y del manganeso, existen varios métodos de aireación entre los más discutidos para su ejecución son: de bandejas perforadas con lechos de zeolita y aireadores de cascada.

En investigaciones realizadas se determinó que el color y la turbiedad pueden ser fácilmente removidos aproximadamente en un 45% y 70% respectivamente mediante la implementación de filtros gruesos ascendentes que pueden ser en capas o en serie.

El proceso de ablandamiento del agua implica una reducción de la dureza de la misma, para ello existen algunos métodos, poniendo en consideración los aspectos económicos y de sostenibilidad que generan, y su efecto se seleccionaron los siguientes: tratamiento combinado y filtros de resinas de intercambio iónico.





## CAPÍTULO 5

### DEMANDA Y CONSUMO DEL AGUA

La demanda de agua es la cantidad de agua que requiere una población determinada para satisfacer sus necesidades, se expresa en términos de volumen por habitante y por día. El consumo y demanda del agua depende del tipo de consumo que puede ser clasificado como: doméstico, industrial, público, por pérdidas y por incendio.

- a) *Consumo Doméstico*, constituido por el consumo familiar de agua bebida, lavado de ropa, baño, aseo personal, cocina, limpieza, riego de jardín. Representa el consumo predominante en el diseño.
- b) *Consumo Industrial y Comercial*, puede ser un gasto significativo en caso donde las áreas a desarrollar tengan una vinculación industrial o comercial.
- c) *Consumo Público*, constituido por el agua destinada a riego de zonas verdes, parques y jardines públicos, a la limpieza de calles y edificios públicos como escuelas, colegios, plazas.
- d) *Consumo por pérdida en la red*, es motivado por juntas de mal estado, tuberías rotas, empaques malos, válvulas, conexiones e instalaciones defectuosas, falta de cuidado.
- e) *Consumo por incendio*, en términos generales, un sistema de abastecimiento de agua representa el más valioso medio para combatir incendio.

Los factores que afectan la demanda de agua en una población entre los más importantes están: tipo de población, factores económico-sociales, meteorológicos, tamaño de la comunidad.

- a) *Tipo de la población*, la zona a desarrollarse está constituida por sectores residenciales, comerciales, industriales y recreacionales, cuya composición nos permite fijar el tipo de consumo de agua predominante y orientar en tal sentido.



- b) *Factores económico–sociales*, las características económicas sociales de una población pueden evidenciarse a través del tipo de vivienda que permite evaluar y analizar los diversos consumos de agua.
- c) *Factores meteorológicos*, los consumos de agua de una región varían a lo largo del año de acuerdo a la temperatura ambiental y a la distribución de las lluvias.
- d) *Tamaño de la comunidad*, los consumos per cápita pueden aumentar con el tamaño de la comunidad.
- e) Otros factores, se considera en los consumos factores como: calidad y precio del agua, eficiencia del servicio, utilización de medidas de control y medición del agua.

## **5.1. DETERMINACIÓN DE DOTACIONES**

### **5.1.1. DOTACIÓN ACTUAL**

En el Ecuador la dotación domiciliaria recomendada se encuentra establecida bajo ciertas normativas, según el proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601 “Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana”, en su quinta parte, establece la dotación en litros por habitante y por día según el número de habitantes y el clima de la zona. Ver anexo 2.2, norma 4.1.4.2.

### **5.1.2. DOTACIÓN FUTURA**

Esta cantidad de agua que se requerirá para satisfacer las necesidades de la población dentro de un tiempo determinado.

### **5.1.3. CONSUMO DIARIO PROMEDIO**

Es el consumo durante 24 horas, obtenido como promedio de los consumos diarios en el periodo de un año.

#### 5.1.4. CONSUMO DIARIO MÁXIMO

Es el consumo máximo durante 24 horas observado en el periodo de un año, sin tener en cuenta los gastos causados por incendios. Por no disponer de registros estadísticos de consumo, se adopta como factor de mayoración al consumo día promedio el valor entre 1,3 y 1,5. Ver anexo 2.2, norma 4.1.5.1.

#### 5.1.5. CONSUMO HORARIO MÁXIMO

Es el valor máximo tomado hora a hora y representa la hora de máximo consumo de ese día. Por no disponer de registros estadísticos de consumo, se adopta como factor de mayoración al consumo día promedio el valor entre 2 y 2,3. Ver anexo 2.2, norma 4.1.5.1.

### 5.2. DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO

En la quinta parte del proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601, se establece las fórmulas a utilizar para a determinación de: caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario. Ver anexo 2.2, norma 4.1.5.1. Los valores obtenidos en base a estas normas se encuentran en el cuadro 5.1.

DATOS INICIALES	UNIDADES		OBSERVACIONES
Número de hab. por casa	5	Habitantes	Literal 2.3.1.1
Total Población actual	1355	Habitantes	Literal 2.3.2
Periodo de Diseño en años	20	Años	Norma 4.1.2.6 Cap. IV SSA
Tasa de Crecimiento	2.02	%	Norma 4.1.3.2 Cap. IV SSA
Total Población Futura	2021	Habitantes	Norma 4.1.3.1 Cap. IV SSA
Dotación recomendada	170	lts./hab./día	Norma 4.1.4.2 Cap. IV SSA
DETERMINACIÓN DE CAUDALES	m³/S.	lt./s.	OBSERVACIONES
Caudal medio	0.004	3.98	Norma 4.1.5.1 Cap. IV SSA
Caudal máximo diario	0.005	5.17	Norma 4.1.5.1 Cap. IV SSA
Caudal máximo Horario	0.008	7.95	Norma 4.1.5.1 Cap. IV SSA

**Cuadro 5.1.** Caudales de diseño

## CAPÍTULO 6 DISEÑOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

### INTRODUCCIÓN

Un sistema de tratamiento de agua es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de las características no deseables de las aguas.

### 6.1. GENERALIDADES

Entre los diferentes procesos unitarios para potabilizar el agua están:

#### 6.1.1. CAPTACIÓN

- a) **Estación de bombeo**, son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. Los componentes básicos de una estación de bombeo se detallan en el cuadro 6.1

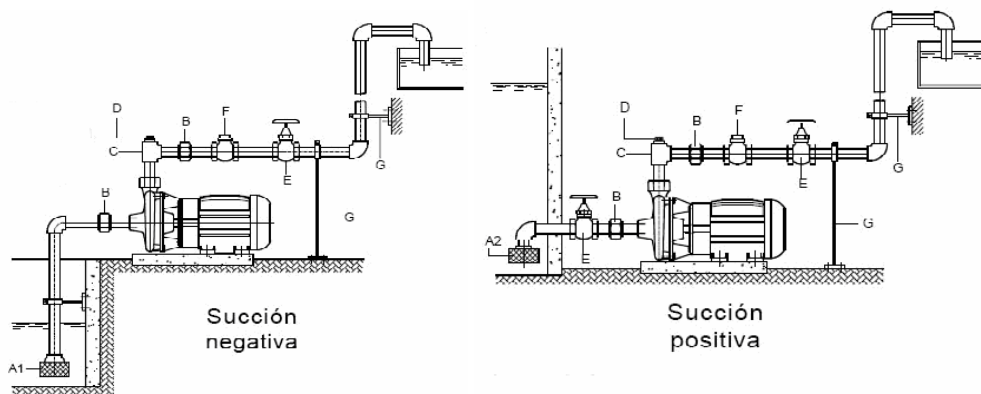
COMPONENTES BASICOS DE UNA ESTACION DE BOMBEO
Caseta de bombeo
Cisterna de bombeo
Equipo de bombeo
Grupo generador de energía y fuerza motriz
Tubería de succión
Tubería de impulsión
Válvulas de regulación y control
Interruptores de máximo y mínimo nivel
Tableros de protección y control eléctrico
Sistema de ventilación natural o mediante equipos
Área para el personal de operación
Cerco de protección

**Cuadro 6.1** Componentes de una estación de bombeo



b) **Tipos de Bombas**, se determinará el modelo de bomba en base a la consulta del catálogo del fabricante, que informa también la curva de rendimiento de la bomba y la potencia del motor. Las bombas más utilizadas en los abastecimientos de agua son las centrífugas horizontales y verticales; y sumergibles.

- **Bombas centrífugas horizontales**, el eje de transmisión es horizontal y tienen la ventaja de poder ser ubicadas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, bajo costo de operación y mantenimiento y son apropiadas para el medio rural. Se emplean en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Su clasificación va de acuerdo a la posición del eje de la bomba, si la posición del eje está sobre la superficie del agua, la succión es positiva y en la situación inversa la succión es negativa. Ver figura 6.1.

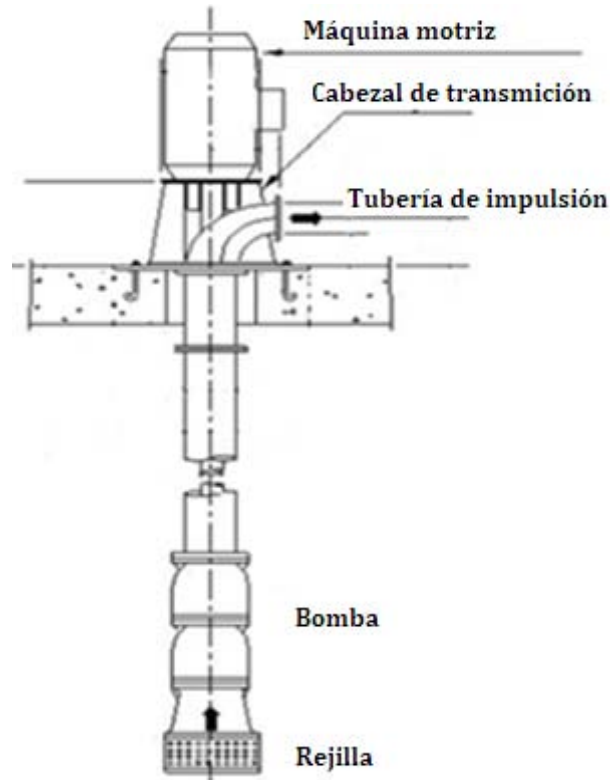


**Figura 6.1** Clasificación según el tipo de Bomba Centrífuga Horizontal

- **Bombas centrífugas verticales**, son bombas centrífugas cuyo eje es vertical y sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su utilización.

La ventaja principal es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están los ruidos que son y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación.

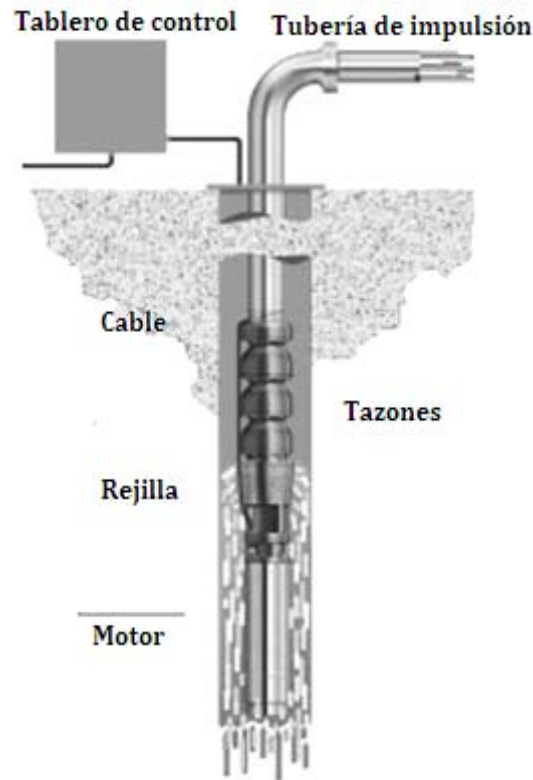
Una unidad de bombeo de un pozo consta seis partes principales, que son: a) la máquina motriz, b) el cabezal de transmisión, c) eje de transmisión, d) la columna o tubería de impulsión, e) la bomba, y f) la tubería de succión. Ver figura 6.2.



**Figura 6.2** Bomba centrífuga vertical

- *Bombas sumergibles*, son bombas exclusivamente utilizadas en pozos profundos y su denominación obedece a que tanto la bomba como el motor se sumergen en la fuente misma. En el caso de pozos profundos, con niveles de bombeo muy bajos, se dificulta o encarece su utilización.

El motor debe estar ubicado de forma que el agua que penetra permita su enfriamiento, por tanto no debe ubicarse el motor debajo del acuífero, tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente baja y que al estar el sumergida no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados. Ver figura 6.3.



**Figura 6.3**Bomba sumergible

**c) Tipos de motores,** en sistemas de abastecimiento de agua deben proveerse dos fuentes independientes de energía, bien sea los motores eléctricos o los motores de combustión.

- *Motores eléctricos,* utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía, no requieren gran mantenimiento, son de sencilla construcción y de menor costo comparado con los motores de combustión. Hay dos tipos: motores al aire y motores sumergidos.
- *Motores de combustión interna,* la potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor, estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos y el empleo es recomendable para lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable.



- d) **Potencia del equipo**, el cálculo de la potencia de la bomba y del motor debe realizarse con la ecuación 6.1.

$$P_b = \frac{Q_b \cdot H_b}{76\eta} \quad (6.1)$$

Donde,

$P_b$ , Potencia de la bomba y del motor (HP).

$Q_b$ , Caudal de bombeo (l/s).

$H_b$ , Altura manométrica total (m).

$\eta$ , Eficiencia del sistema de bombeo,  $\eta = \eta_{\text{motor}} \eta_{\text{bomba}}$

A continuación se explicara cada termino de la ecuación 6.1 de la potencia del equipo

- **Caudal de bombeo**, la ubicación de la estación de bombeo debe ser de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo. Cuando se incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad de la tubería de succión, el equipo de bombeo y la tubería de impulsión deben ser calculadas en base al caudal máximo diario y al número de horas de bombeo, ecuación 6.2

$$Q_b = k \times Q_{\text{max.d}} \frac{24}{N} \quad (6.2)$$

Donde,

$Q_b$ , Caudal de bombeo, (l/s)

$Q_{\text{max.d}}$ , Caudal máximo diario, (l/s)

$N$ , Número de horas de bombeo.

$K$ , factor de seguridad x lo general se considera 1,5

Cuando no se incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo. La capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red de distribución.





- **Eficiencia del equipo**, se basa en consultar al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia  $\eta$  mayor a 70%. El número de unidades de bombeo depende del caudal de bombeo y de sus variaciones, además, de la necesidad de contar de equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

- **Altura manométrica dinámica**, ( $H_b$ ), es el incremento total de la carga del flujo a través de la bomba. Es la suma de la carga de succión más la carga de impulsión, ecuación 6.3.

$$H_b = H_s + H_i \quad (6.3)$$

Donde,

$H_b$ , Altura dinámica o altura de bombeo, (m)

$H_s$ , Carga de succión, (m)

$H_i$ , Carga de impulsión, (m)

La *Carga de succión* ( $H_s$ ), es la diferencia de elevación entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la captación, ecuación 6.4

$$H_s = h_s + \Delta h_s \quad (6.4)$$

Donde,

$H_s$ , Altura de succión, (m)

$\Delta h_s$ , Pérdida de carga en las succión, (m)

La carga de succión está limitada por la *Carga neta de succión positiva* (*NPSH*), que es la diferencia entre la presión existente a la entrada de la bomba y la presión del vapor del líquido que se bombea.



Esta diferencia es la necesaria para evitar la cavitación, para lo cual se destacan dos valores de NPSH, el NPSH disponible y el NPSH requerido.

*El NPSH requerido*, está en función del diseño de fábrica de la bomba, su valor es determinado experimentalmente y es proporcionado por el fabricante.

*El NPSH disponible*, está en función del sistema de succión de la bomba, se calcula en metros de agua, mediante la ecuación 6.5.

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = H_{\text{atm}} - (H_{\text{vap}} + h_s + \Delta H_s) \quad (6.5)$$

Donde,

NPSH disponible, Carga neta de succión positiva disponible, (m)

H<sub>atm</sub>, Presión atmosférica, (m)

H<sub>vap</sub>, Presión de vapor, (m)

H<sub>s</sub>, Altura estática de succión, (m)

ΔH<sub>s</sub>, Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería, (m)

La **cavitación** se produce cuando las fuerzas ejercidas por el líquido aplastan la cavidad dejada por el vapor originando presiones localizadas muy altas, erosiones en la superficie y causando esfuerzos que pueden provocar su destrucción.

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina, además de producir daños físicos y ruidos molestos, puede llegar a reducir de manera considerable el caudal y rendimiento de la bomba.

Para evitar el riesgo de la cavitación por presión de succión, se debe cumplir que, ecuación 6.6

$$NPHS_{disponible} > NPHS_{requerido} \quad (6.6)$$

Los valores de las presiones atmosféricas y de vapor se toman según las siguientes tablas, ver cuadro 6.2 y 6.3

DISMINUCIÓN DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA			
Altura sobre nivel del mar		Presión atmosférica	
m	Ft	m	Pa
0	0	10,33	14,69
250	820	10,03	14,26
500	1640	9,73	13,83
750	2640	9,43	13,41
1000	3280	9,13	12,98
1250	4101	8,83	12,55
1500	4291	8,53	12,13
1750	5741	8,25	11,73
2000	6561	8	11,38
2250	7381	7,75	11,02
2500	8202	7,57	10,68

**Cuadro 6.2** Presión atmosférica.

PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA				
Temperatura		Peso específico	Presión de vapor	
C°	F°	Kg/dm <sup>3</sup>	M.Abs.	P.SI.Abs
0	32	0,9998	0,062	0,088
5	41	1	0,089	0,127
10	50	0,9996	0,125	0,1781
5	59	0,999	0,174	0,247
20	68	0,9982	0,238	0,338
25	77	0,997	0,323	0,459
30	86	0,9955	0,432	0,614
35	95	0,9939	0,573	0,815
40	104	0,9921	0,752	1,07
45	113	0,99	0,977	1,389
50	122	0,988	1,258	1,789
100	212	0,9583	10,332	14,696

**Cuadro 6.3** Presión de vapor de agua

La *Sumergencia mínima* ( $\Delta H$ ), es la altura del agua entre el nivel mínimo y la boca de entrada a la tubería, debe ser igual o superior a los límites siguientes:

1. Para dar cumplimiento a requerimientos hidráulicos. Considerando la velocidad para el caudal de bombeo requerido, ecuación 6.7

$$\Delta H = \frac{v^2}{2g} + 0,20 \quad (6.7)$$

2. Para impedir ingreso de aire, de acuerdo al diámetro de la tubería de succión (d), ecuación 6.8

$$\Delta H = 2,5d + 0,10 \quad (6.8)$$

3. Se seleccionará el valor mayor.

La *Carga de impulsión*, es la diferencia de elevación entre el nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada y el eje de las, ecuación 6.9

$$H_i = h_i + \Delta h_i \quad (6.9)$$

Donde,

$h_i$ , Altura de impulsión, (m)

$\Delta h_i$ , Pérdida de carga en la tubería de impulsión, (m)

Reemplazando las ecuaciones de carga de succión (6.4) y de carga de impulsión (6.9) en la ecuación de altura manométrica total (6.3) se tienen las siguientes relaciones, ecuaciones 6.10 y 6.11.

Bombeo con bombas de eje horizontal y de eje vertical:

$$H_b = h_s + h_i + \Delta h_s + \Delta h_i \quad (6.10)$$

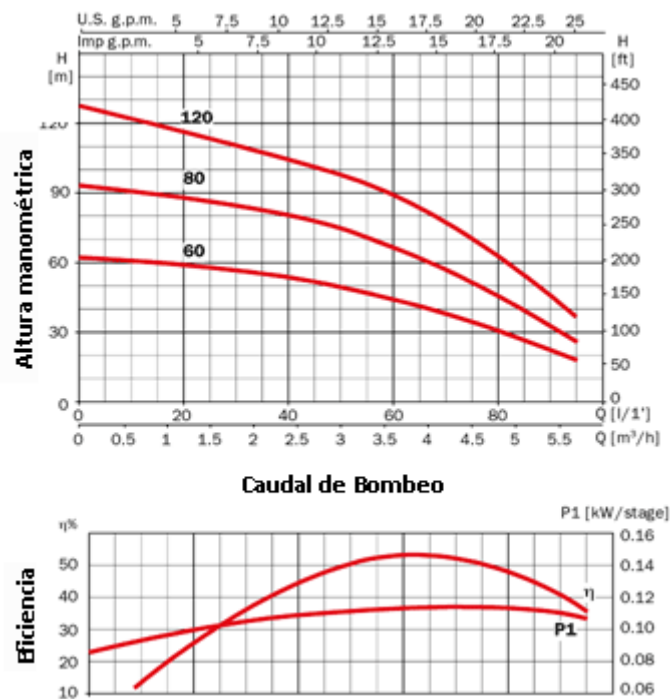
Bombeo con bombas sumergibles:

$$H_b = h_i + \Delta h_i \quad (6.11)$$

- e) **Curvas Características**, la curva característica más importante de una bomba es la que indica la altura de impulsión en función del caudal impulsado, otras curvas características importantes son: potencia consumida y rendimiento de transferencia de energía, ambas en función del caudal.

La interpretación sirve para especificar el tipo de bomba, así como también para determinar si una bomba que ya ha sido instalada está rindiendo al nivel de su capacidad.

Para seleccionar una bomba se calcula la presión dinámica requerida y el flujo necesario, se traza una línea desde el punto en el eje vertical Y que muestra la presión requerida paralela al eje horizontal X; luego se selecciona el flujo necesario y se traza una línea desde ese punto, paralelo al eje vertical, es decir, al eje Y. La bomba requerida es aquella cuya línea está por encima del punto de intersección de esas dos líneas en la figura 6.4.



**Fuente:** CODIFER CIA. LTDA, Chile  
**Figura 6.4** Ejemplo de una curva característica

Aun cuando el fabricante proporciona una tabla con características hidráulicas formada por la elección de ciertos puntos de las curvas características, las curvas de comportamiento dan una imagen mucho más claras de las características de la unidad a una velocidad dada.

En algunos casos se añade una gráfica de eficiencia a la tabla y cuando se ha seleccionado una bomba que satisface los requisitos mínimos se observa dónde queda en términos de eficiencia. Observando las



eficiencias, al igual que los flujos de la bomba y las presiones hidrostáticas se puede maximizar el rendimiento de bombeo.

En el caso de las bombas de superficie se añade otra línea a la gráfica y se conoce como carga neta de succión positiva o NPSH.

El flujo de agua es causado por dos fuerzas: la presión atmosférica sobre el agua, y la elevación del agua en sí. Si ésta alcanza un nivel mínimo, el agua que entra al centro de la bomba y se vaporiza haciendo que la bomba cavite.

### 6.1.2. LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Está constituida por un conjunto de conductos, obras de arte y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento desde el lugar de la captación hasta la planta potabilizadora, para luego ser distribuida a los usuarios.

El criterio para el trazado es la de conseguir la mayor eficiencia y seguridad de las obras con el menor costo posible. El trazo definitivo se encuentra mediante el proceso de proponer varias alternativas de trazos, considerando la negociación de las afectaciones a terceros por el derecho de paso de la conducción y el costo total del sistema incluyendo las estructuras necesarias para la operación, mantenimiento y buen funcionamiento hidráulico.



**Fotografía 6.1** Línea de conducción

Las consideraciones que deben tener en cuenta para que se precisen el buen funcionamiento del sistema son: Ver cuadro 6.4

CONSIDERACIONES PARA LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
Carga disponible o diferencia de elevación
Capacidad para transportar el caudal máximo diario
Clase de tubería capaz de soportar las presiones hidrostáticas
Clase de tubería en función del material requerido
Diámetros
Estructuras complementarias

**Cuadro 6.4** Consideraciones para la línea de conducción

A continuación se detallan las consideraciones más importantes.

- **Carga disponible**, es la diferencia de elevación entre la obra de captación y el nivel máximo de aguas en el tanque de almacenamiento.
- **Clase de la tubería a función de la presiones hidrostáticas**, la tubería a emplearse estará definida por la máxima presión que ocurra en la línea, la cual ira representada por la línea de carga estática.
- **Clase de tubería en función del material requerido**, va de acuerdo a la naturaleza del terreno, para la selección de los materiales de las tuberías se deberá tomar en cuenta los siguientes factores: resistencia a la corrosión y agresividad del suelo, resistencia a los esfuerzos mecánicos, características de comportamiento hidráulico del proyecto, condiciones de instalación adecuadas al terreno, resistencia contra la tuberculización e incrustación, vida útil de acuerdo a la previsión del proyecto.

Los materiales más comunes son: policloruro de vinilo (PCV), polietileno, fierro galvanizado, fierro fundido, fierro dúctil y acero.

El *policloruro de vinilo (PVC)* es un material que por sus características especiales es el más utilizado en conducciones de agua potable, en el cuadro 6.5 se detallan sus ventajas principales.



VENTAJAS		
Es de bajo peso	Por lo tanto	Facilita el transporte
Puede ser cortado fácilmente		Facilita el trabajo de instalación
Posee paredes lisas		Mayor caudal transportable
Su sección hidráulica es constante		No se produce incrustaciones
Su elasticidad es alta		Excelente comportamiento a la carga
Su resistencia química es baja		Facilita la desinfección y no altera sabor ni olor
Reparaciones fáciles		Menor costo de mantenimiento

**Cuadro 6.5** Características del PVC



**Fuente:** Las investigadoras  
**Figura 1.2** Prueba de resistencia de tubería de PVC Biax.

- **Diámetro**, el más conveniente será para la combinación que aproveche al máximo el desnivel. Para ello se tomó un pre dimensionado en base a la formula de Bresse, ecuación 6.12.

$$D = 1,3 \lambda^{\frac{1}{4}} \sqrt{Q} \quad (6.12)$$

Donde,

D, Diámetro en metros.

Q, Gasto en m<sup>3</sup>/seg.

N, Numero de horas de bombeo, para N < 24 horas

λ, relación entre el número de horas de bombeo y las 24 horas del día. ecuación 6.13.

$$\lambda = \frac{N}{24} \quad (6.13)$$



Determinado un diámetro se escogen 3 o 4 diámetros comerciales en torno al valor de Bresse y se determina el más económico.

- **Instalaciones especiales**, cuando la tubería va a estar expuesta a la radiación solar, debe cubrirse con un techo opaco o protegerse con una pintura que debe tener un componente reflectivo, como el aluminio.
- **Ensamble de la tubería**, debe tomarse en cuenta la preparación de la tubería, la aplicación lubricante, alineación de la tubería.

### 6.1.2.1. PÉRDIDAS DE ENERGÍA

Para un sistema de bombeo las tuberías, válvulas y accesorios son muy importantes puesto que son la unión de la bomba con el tanque de almacenamiento o la red de distribución, su principal problema es poder evaluar las pérdidas que se originan en ella. Las pérdidas de energía en una conducción se clasifican en pérdidas menores y pérdidas mayores

- **Pérdidas menores o locales**, son aquellas que ocurren en una zona definida de la conducción. ecuación 6.14.

$$hf = k \frac{V^2}{2g} \quad (6.14)$$

El coeficiente  $K$  dependerá del tipo de pérdida, algunos de los cuales se muestran en cuadro 6.6.

PERDIDAS MENORES
Pérdida por entrada
Pérdida por ampliación brusca o gradual
Pérdida por reducción
Pérdida por cambio de dirección brusco o gradual
Pérdida por obstrucción
Pérdida por válvulas
Pérdida por bifurcación
Pérdida por salida

**Cuadro 6.6** Pérdidas menores

En la figura 6.5 se muestran algunos tipos de válvulas de cierre utilizados comúnmente en los sistemas de conducción de agua.



**Cuadro 6.5**Tipos de válvulas de cierre

Además existen tipos de válvulas con funciones específicas como: válvulas de purga, válvulas de retención, válvulas reveladoras de presión y válvulas de impulsión y expulsión de aire.

*Válvulas de purga*, se colocan en la parte baja de la conducción y sirven para limpiarla de las obstrucciones que se hayan acumulado. Se instalan si la conducción es larga y en general se usan de tipo compuerta.

*Válvulas de retención*, esta impide que el líquido en la tubería fluya en los dos sentidos. Debe instalarse en la tubería de descarga de la bomba para evitar que las ondas del golpe de ariete al cerrar una válvula lleguen hasta la bomba, también debe instalarse en la tubería de succión de la bomba para evitar pérdida de agua al parar la bomba y mantener el cebado.

*Válvulas reductoras de presión*, Se usan para disminuir el efecto del golpe de ariete, ya que cuando la presión interior de la tubería sobrepasa la resistencia del resorte, estas se abren permitiendo la salida del agua.

*Válvulas de inclusión y expulsión del aire*, sirven para expulsar el aire que pueda haber entrado en la tubería mezclado con el agua o también para que al producirse el vacío en la tubería dejen que el aire entre en la misma y eviten que la tubería se aplaste debido a la presión atmosférica, por lo general se colocan en las partes altas de la conducción.

- **Pérdidas mayores o de fricción**, crecen linealmente con el desarrollo de la conducción, y se deben al rozamiento de las partículas de agua entre sí o con

las paredes de la tubería.

Existen varios métodos para su cálculo como Darcy–Weishbach y Hazen-Williams, ecuación 6.15.

$$hf = \frac{10,668 \times L \times Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}} \quad (6.15)$$

Donde,

*L*, Longitud de la tubería, m.

*Q*, Caudal en la tubería, l/s.

*C*, coeficiente según el tipo de material de la tubería.

*D*, Diámetro interno de la tubería

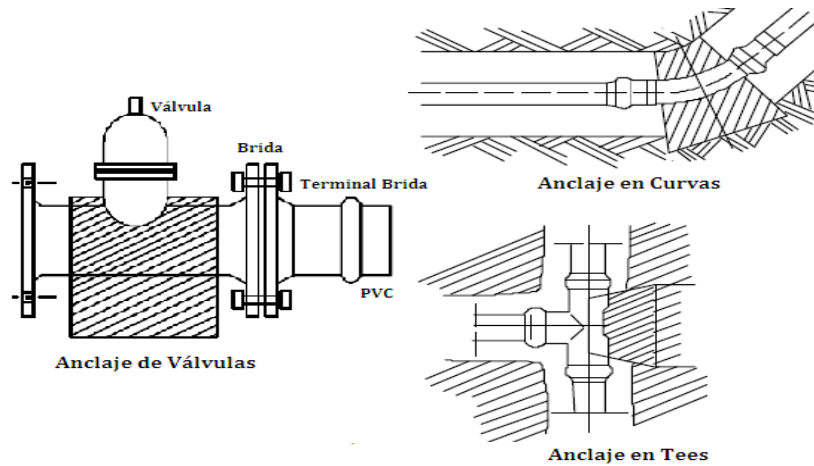
Algunos valores del parámetro *C* se presentan en el cuadro 6.7.

MATERIAL	VALORES DE C
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido dúctil con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno	150
Policloruro de vinilo(PVC)	140

**Cuadro 6.7** Coeficiente para la fórmula de Hazen Williams

### 6.1.2.2. DISEÑO DE ANCLAJES DE SEGURIDAD

Se instalarán anclajes de seguridad de hormigón simple, ciclópeo en los siguientes casos: en tuberías expuestas a la intemperie que requieran estar apoyadas en soportes o adosadas a formaciones naturales de roca, en los cambios de dirección tanto horizontales como verticales de tramos enterrados o expuestos, en tuberías colocadas en pendiente mayores a 60 grados respecto a la horizontal. Ver figura 6.6.



**Figura 6.6** Anclajes comunes

Los bloques deben calcularse considerando el esfuerzo producido por la máxima presión que se pueda generar, las dimensiones del bloque dependen de la presión interna, del diámetro del tubo y de la capacidad de soporte del terreno natural. Para el cálculo del empuje se puede utilizar la ecuación 6.16.

$$E = 2AP \text{sen} \frac{\theta}{2} \quad (6.16)$$

Donde,

A, Área de la sección transversal del tubo

P, Presión interna

$\theta$ , Ángulo de deflexión

E, Empuje

En cuanto al cálculo del bloque de anclaje, el empuje se transmite al suelo, ya sea en forma horizontal a la pared de la excavación, o verticalmente al fondo de la excavación, a través de un bloque de mampostería o de concreto, que tenga un área de contacto tal que haya distribución suficiente. La expresión que da el área está dada por la ecuación 6.17.

$$A = \frac{E}{\sigma_{adm}} \quad (6.17)$$

Donde,

E, Empuje en Kg.

$\sigma_{adm}$ , Fatiga admisible del terreno en Kg/cm<sup>2</sup>.

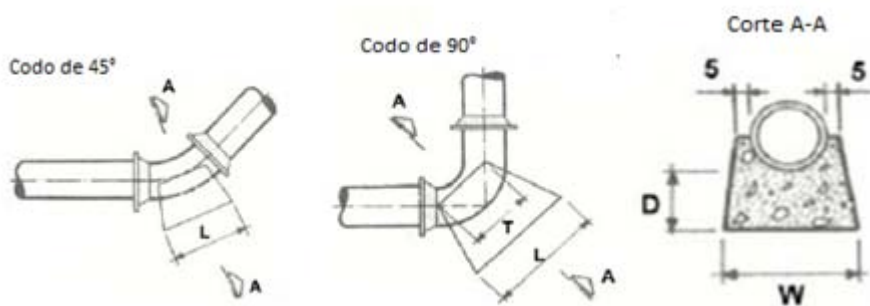
En el caso de anclaje horizontal es conveniente que el bloque esté por lo menos a 60 a cm bajo la superficie del terreno.

En el cuadro 6.8 se presentan valores para la fatiga admisible en la vertical para diferentes tipos de suelo, la fatiga admisible en la horizontal es la mitad de la admitida en la vertical.

Debido a que la magnitud de las presiones en la red son relativamente bajas, los anclajes no revisten mucha importancia por lo cual no precisan de cálculos individuales y pueden normalizarse adoptando los anclajes que se indican en la figura 6.7.

FATIGA ADMISIBLE EN LA VERTICAL	KG/CM <sup>2</sup>
Roca, conforme su naturaleza y estado	20
Roca alterada, manteniéndose la estructura original y	10
Necesitándose martillete neumático o dinamita para disgregación	
Roca alterada que necesita cuando mucho pica para excavación	3
Cantera o arena gruesa compacta, que necesita pica para la excavación	4
Arcilla rígida, que no puede ser moldeada con los dedos	4
Arcilla dura, difícilmente moldeada con los dedos	2
Arcilla gruesa medianamente compacta	2
Arena fina compacta	2
Arena fofo o arcilla blanda, excavación con pala	menor que 1

**Cuadro 6.8** Fatiga admisible en la vertical para diferentes tipos de suelo



**Figura 6.7** Anclajes normalizado

En el cuadro 6.9 indica las dimensiones del bloque tomadas del manual de hidráulica J.M Azevedo Netto, Guillermo acosta Álvarez.

ANCLAJES MÍNIMOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA										
Curvas de 90°										
Diámetro	mm.	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	Pulg.	6	8	10	12	14	16	18	20	24
D		30	30	30	30	30	30	40	50	50
L		45	60	75	85	105	125	135	135	175
W		30	40	50	60	70	70	85	100	110
T		25	35	45	55	75	90	95	110	125
Curvas de 45°										
Diámetro	mm.	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	Pulg.	6	8	10	12	14	16	18	20	24
D		15	15	15	15	20	20	25	25	40
L		30	40	50	60	70	85	100	115	140
W		30	35	40	45	50	55	65	70	80
T		25	35	40	50	55	65	70	80	90

**Cuadro 6.9** Dimensiones del bloque de anclaje

### 6.1.2.3. CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE

El fenómeno golpe de ariete es el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas, se produce cuando el flujo de agua se detiene rápidamente en la tubería, por ejemplo al cerrar bruscamente una válvula, donde las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento provocando así una inercia del flujo que origina un incremento de presión.

Esta fuerza es directamente proporcional a la longitud del conducto, ya que las ondas de sobrepresión se cargarán de más energía; e inversamente proporcional al tiempo durante el cual se cierra la llave: cuanto menos dura el cierre, más fuerte será el golpe. Tiene dos efectos.

*Primero*, comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata la tubería; cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse.

*Segundo*, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal.

Este fenómeno es muy peligroso, ya que la sobrepresión generada puede llegar entre 60 y 100 veces la presión normal de la tubería, ocasionando roturas en cualquier tipo de tubería y accesorios instalados en los extremos. Ver fotografía 6.2



**Fotografía 6.2** Material destruido por un golpe de Ariete

Las principales causas de este fenómeno son: apertura y cierre rápidos de una válvula, arranque y parada de una bomba; y acumulación y movimiento de bolsas de aire dentro de las tuberías.

Al cerrar una válvula, la sobrepresión máxima que se puede esperar se calcula mediante la ecuación 6.18.

$$P = \frac{aV}{g} \quad (6.18)$$

Siendo a:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{K}{E}\right) (RDE - 2)}}$$

Donde,

P, Sobrepresión máxima en metros de columna de agua, al cerrar bruscamente la válvula.

a, Velocidad de la onda (m/s).

V, Cambio de velocidad del agua (m/s).

g, Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>



K, Módulo de compresión del agua =  $2.06 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$

E, Módulo de elasticidad de la Tubería  $27.580 \text{ k/cm}^2$

RDE, Relación diámetro exterior/espesor mínimo.

Para disminuir este riesgo se deben tomar las siguientes precauciones:

- Mantener siempre baja velocidad, especialmente en diámetros grandes. Durante el llenado de la Tubería, la velocidad no debe ser mayor de  $0.3 \text{ m/seg.}$ , hasta que todo el aire salga y la presión llegue a su valor nominal.
- Instalar ventosas de doble efecto, en los puntos altos, bajos y a lo largo de tramos rectos, muy largos, para purgar el aire, y permitir su entrada cuando se interrumpe el servicio.
- Durante la operación de la línea, prevenir la entrada del aire en las bocatomas, rejillas, etc., de manera que el flujo de agua sea continuo.

### **6.1.3. PLANTA DE TRATAMIENTO**

Se define como planta de tratamiento al conjunto de instalaciones, estructuras y edificaciones que constituyen una unidad de servicio destinada a hacer pasar el agua proveniente de la fuente a una serie de procesos mecánicos, físicos y químicos, de modo que el agua afluyente proveniente de la planta, cumpla con las normas de calidad.

La planta se diseña procurando que el conjunto de unidades que la componen tengan la mayor compacidad y simplicidad posible de manera que el personal de mantenimiento requerido no sea de nivel superior.

#### **6.1.3.1. AIREACIÓN**

Es el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto con el aire, con la finalidad de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella, por lo general se emplea para oxidar el hierro y el manganeso.





La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. En el cuadro 6.10 se indican las funciones mas importantes que los aireadores.

FUNCIONES DE LOS AIREADORES
Transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto
Disminuir las concentraciones de CO <sub>2</sub>
Disminuir las concentraciones de H <sub>2</sub> S
Remover gases como el metano, cloro y amoníaco
Oxidar Hierro y Manganeseo
Remover compuestos orgánicos volátiles
Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

**Cuadro 6.10** Funciones de aireadores

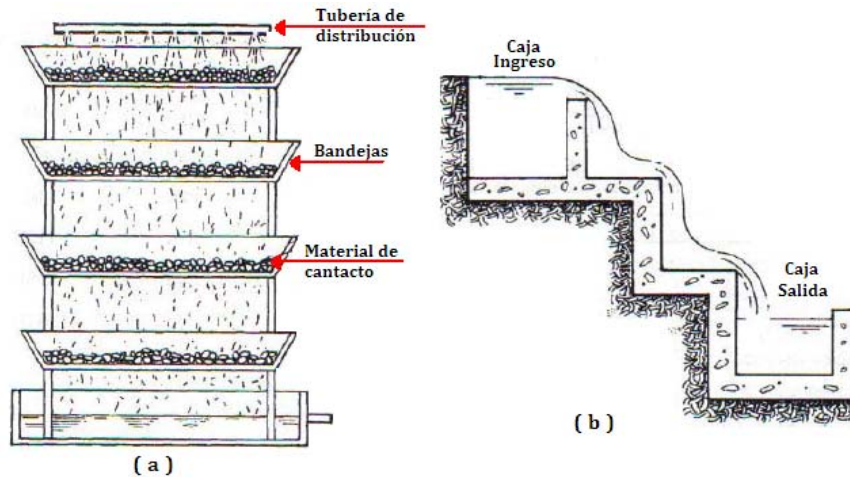
Los principales aireadores utilizados en purificación de aguas de pozos son: los surtidores, los de bandejas múltiples, los de cascadas y vertederos.

**a) Aireadores de fuentes o Surtidores**, consisten en una serie de toberas fijas, sobre una malla de tuberías las cuales dirigen el agua de tal manera que se rompe en gotas pequeñas. Este tipo ha sido usado para la remoción de CO<sub>2</sub> y la adición de oxígeno, tiene gran valor estético pero requieren un área grande.

**b) Aireadores de Bandejas múltiples**, consiste en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base, generalmente se usan de 3 a 9 bandejas. Ver figura 6.8.

**c) Aireadores de cascadas**, el agua se deja caer en láminas o capas delgadas sobre uno o más escalones de concreto, este se diseña como una escalera entre más grande sea el área horizontal, más completa es la aireación. Ver figura 6.8.

**d) Aireadores de vertederos**, es factible cuando existe suficiente energía disponible en ese caso el sistema es económico porque no se requiere energía adicional y el mantenimiento es sencillo.



**Figura 6.8** (a) Aireador de bandeja, (b) Aireador de cascada

### 6.1.3.2. FILTRACIÓN

El proceso de filtración consiste en separar un sólido de un líquido por un método físico. Los filtros gruesos o sistemas de filtración en gravas trabajan por el paso del agua a través de un medio filtrante de diferente tamaño el cual decrece sucesivamente en la dirección del flujo. El material filtrante es de mayor tamaño que el empleado en la filtración lenta o rápida.

La eficiencia de los filtros gruesos se fundamenta en la enorme área superficial disponible en los lechos de material granular que posibilita la existencia de mecanismos de remoción de naturaleza física, química y biológica.

Los filtros se pueden clasificar según su forma y según su sentido de filtración. Ver cuadro 6.11

CLASIFICACION DE FILTROS	
<b>Según la forma de filtración</b>	Superficial o filtro grueso dinámico
	Profunda
<b>Según el sentido del flujo</b>	Ascendente
	Descendente
	Horizontal

**Cuadro 6.11** Tipo de filtros

En los filtros gruesos de flujo ascendente, el agua fluye de manera ascendente a través de una serie de lechos de grava de tamaño decreciente en la dirección



del flujo. Su principal ventaja constituye en presentar acumulación de sólidos en el fondo de la estructura donde se encuentra el sistema de drenaje el cual evacua el agua de lavado en sentido descendente mediante descargas de fondo.

Existen dos variantes de filtros gruesos ascendentes, estos pueden ser en capas o en serie.

- a) **Filtración gruesa ascendente en capas**, cuando los lechos de grava son instalados en una misma unidad de filtración.
- b) **Filtración gruesa ascendente en serie**, cuando los lechos de grava son instalados en dos o tres unidades de filtración, cada una con un tamaño predominante de grava diferente, cuyo tamaño decrece en el sentido del flujo.

Los sistemas de filtración gruesa están compuestos por los siguientes elementos:

- **Cámara de filtro**, su altura está basada de acuerdo a la altura del lecho de grava, de la capa soporte y sistema de drenaje, de la sobrenadante y del borde libre. Sus paredes pueden ser verticales o parcialmente inclinadas.
- **Lecho filtrante**, consiste en cinco capas de grava de tamaño diferente, las cuales son distribuidas y seleccionadas cuidadosamente con el fin de optimizar la capacidad de almacenamiento de lodo, la eficiencia de remoción y facilitar el lavado. En el cuadro 6.12 se presentan las recomendaciones preliminares, granulometría y espesores de grava para el sistema de filtración gruesa ascendente.
- **Sistema de drenaje**, consiste en una tubería principal, a lado y lado de la cual se le pegan una serie de tubos laterales perforados, el inconveniente mayor es la alta pérdida de carga. Debe cumplir tres propósitos, distribuir uniformemente el agua en toda el área del lecho filtrante, soportar el lecho filtrante, y, facilitar una distribución uniforme del agua durante el lavado del filtro. El cuadro 6.13 presenta algunos sistemas de drenaje.

TAMAÑO DE LA GRAVA (mm)	FGAC		FGAS			Observaciones
	Altura de capa (m)	Altura de capa por compartimiento (m)				
		1	2	3		
19.0 - 25.0	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30	0.15			Soporte Fondo
13.0 - 19.0	0.20 - 0.30	0.90 - 1.25	0.15	0.15		
6.0 - 13.0	0.20 - 0.30		0.80 - 1.25	0.15		Tope
3.0 - 6.0	0.20 - 0.30			0.40 - 0.60		
1.6 - 3.0	0.20 - 0.35			0.40 - 0.65		
<i>Altura total del lecho de grava</i>	<b>1.00 - 1.55</b>	<b>1.00 - 1.55</b>	<b>1.00 - 1.55</b>	<b>1.10 - 1.55</b>		

Fuente: CINARA, IRC. Colombia 1993

**Cuadro 6.12** Recomendaciones preliminares para lecho filtrante

TIPO	CLASE O NOMBRE	SE USA PARA
<b>Tuberías perforadas</b>	Para trabajo con grava	Agua sola (alta rata)
	Bloques Wagner	Agua sola (alta rata)
	Boquillas Patterson-Candy	Agua y aire (baja rata)
<b>Falsos Fondos</b>	Fondo Weeler	Agua sola (alta rata)
	Fondo Leopold (cerámico)	Agua sola (alta rata)
	Fondo Leopold (plástico)	Agua y aire (alta rata)
	Boquillas	Agua y aire (baja, alta rata)
	Prefabricados	Agua o agua y aire (alta rata)
<b>Placas porosas</b>	Bloques carborundum	Agua sola (alta rata)
	Concreto poroso	Agua o agua y aire (alta rata)

Fuente: Arboleda Valencia, J. Teoría y práctica de la purificación del agua

**Cuadro 6.13** Sistemas de drenaje

- **Accesorios de control**, comprende válvulas de regulación de caudal, válvulas de apertura rápida, vertederos de aforo, reglas de aforo y otros.

El CINARA, IRC Colombia 1993, ha realizado algunas pruebas y ha determinado que las eficiencias de remoción de los filtros gruesos ascendente en capas (FGAC) se encuentran entre los siguientes rangos:

Turbiedad	46,0 al 71,0 %
Color real	10,0 al 46,0 %
Coliformes fecales	73,3 al 98,4 %



Además, en base a experiencias se obtuvieron criterios generales de diseño para filtros gruesos ascendentes, en los cuales la velocidad de filtración y profundidades del lecho filtrante dependen del riesgo sanitario existente en el agua cruda. Ver cuadro 6.14.

CRITERIO	VALORES RECOMENDADOS
Periodo de diseño	10 a 15 años
Periodo de operación horas/día	24
Velocidad de filtración	0,3 - 0,75 m/h
Número de unidades es serie	1 a 3
<b>Lecho filtrante</b>	
Longitud	0,85 - 1,25 m
Tamaño de grava	16 - 19 mm
<b>Lecho de soporte</b>	
Longitud	0,20 - 0,30 m
Tamaño de grava	19 - 25 mm
Altura sobrenadante de agua	0,20 m
Carga estática de agua lavado contra flujo	2- 2,25 m
Área de filtración por unidad	15 -25 m <sup>2</sup>

**Cuadro 6.14** Criterios Generales

### 6.1.3.3. ABLANDAMIENTO

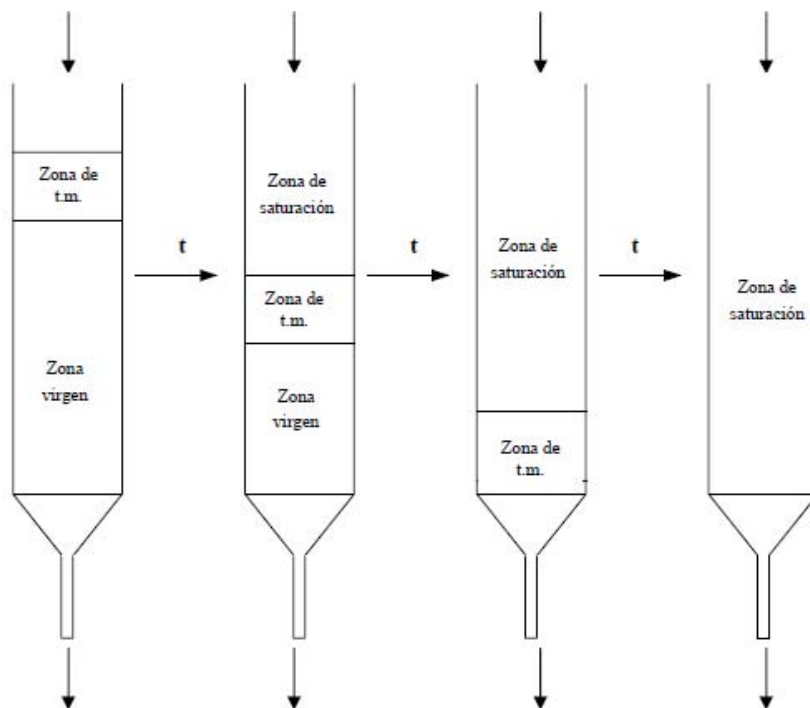
La remoción de la dureza o ablandamiento puede efectuarse por dos procedimientos: Cal Sosa o por Intercambio Catiónico.

- a) **Ablandamiento con carbonato de sodio cal.**-En éste se agrega cal y carbonato de sodio para reducir los niveles de calcio y magnesio para obtener sales insolubles que se sedimentan según el agua y su calidad, tiene la ventaja de ser bactericida, remover hierro, algunos metales pesados, compuestos orgánicos y mejora la calidad del agua evitando la corrosión de las tuberías.
- b) **Ablandamiento por exceso de cal.**- Se emplea para remover el calcio y magnesio, posteriormente el agua debe ser floculada.
- c) **Ablandamiento mediante un tratamiento por partes.**- Consiste en dividir al flujo de agua en dos porciones, la porción mayor es tratada con un exceso de cal y la otra parte se le añade carbonato de sodio.

d) **Intercambio iónico.**-Son sustancias granuladas insolubles las cuales tienen en su estructura molecular radicales ácidos o básicos que pueden ser intercambiados, los iones positivos o negativos serán reemplazados por iones del mismo signo en solución en el líquido en contacto con ellos, son usados para la separación de sales del agua.

### INSTALACIONES CON INTERCAMBIO IÓNICO

Las instalaciones constan generalmente de dos lechos idénticos, de forma que si por uno de ellos circula la disolución que contiene los iones que se desea intercambiar, el otro se está regenerando.



**Figura 6.9** Evolución de la concentración en un lecho de intercambio iónico

Al inicio de la operación de un lecho, la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar cerca de la entrada del lecho donde el fluido se pone en contacto con intercambiador fresco. A medida que transcurre el tiempo, el sólido próximo a la entrada se encuentra prácticamente saturado y la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar lejos de la entrada.

Debido a la resistencia que opone el sistema a la transferencia de iones desde el seno del líquido a los centros de intercambio, se establece un gradiente de concentración en el lecho. La región donde ocurre la mayor parte del cambio de concentración es la llamada zona de transferencia de materia, esta zona separa la zona virgen de la resina y la de saturación.

A medida que progresa el intercambio iónico la zona de transferencia de materia se traslada en el lecho hasta alcanzar su extremo inferior, ver figura 6.9, instante a partir del cual la disolución de salida contendrá cantidades crecientes de los iones que se desea intercambiar.

El tiempo transcurrido desde el comienzo de la operación en el lecho hasta que los iones de la disolución aparecen en la corriente de salida o más concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina Tiempo de ruptura ( $t_R$ ). En este momento, la corriente se desviaría a un segundo lecho, iniciando el proceso de regeneración del primero.



**Fotografía 6.2** Ejemplo de filtros ablandadores con intercambio iónico



La capacidad de la resina es un parámetro fundamental para la selección del intercambiador ya que generalmente se requieren capacidades altas para la separación o purificación a realizar.

Para la realización del cálculo de volumen de resina necesaria para el ablandamiento del agua se procede:

*Primero*, a obtener datos como: dureza del agua, flujo de agua, tiempo de operación.

*Segundo*, a calcularlos granos de dureza totales a ser retenidos, la dureza compensada, los granos de dureza a ser retenidos por día de operación, los pies cúbicos de resina, el volumen de agua utilizado en la regeneración y el ciclo de regeneración.

#### **6.1.3.4. DESINFECCIÓN**

Aunque la carga microbiana puede haber quedado retenida en el proceso de filtración, es necesario desinfectar el agua, la finalidad de la desinfección es destruir los gérmenes peligrosos para la salud mediante la aplicación directa de medios físicos o químicos. El desinfectante utilizado casi universalmente es el cloro.

Las ventajas que presenta el cloro como desinfectante es que es de fácil aplicación, bajo costo, su efecto es inocuo para el hombre en las dosis adecuadas, la facilidad de mantener un cloro residual en la red y su acción efectiva. Además es posible su aplicación en distintas etapas del proceso de potabilización.

Los factores que influyen en la desinfección del agua son: tiempo de contacto y concentración del desinfectante, tipo de microorganismo, edad de los microorganismos, tipo de agua que requiere tratamiento y temperatura.

**a) Tiempo de contacto y concentración del desinfectante**, el tiempo de contacto entre el agente desinfectante, los microorganismos y la





concentración del agente desinfectante son factores importantes de la desinfección del agua, cuando se añade un desinfectante al agua no solo reacciona con microorganismos patógenos, sino también con otras sustancias presentes en el agua como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica y otros microorganismos.

- b) Tipo de microorganismo**, los desinfectantes pueden matar de manera efectiva muchos microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos. Los parásitos como la Giardia y algunas bacterias como los E.Coli son resistentes y por lo tanto se utilizan como organismos indicadores.
- c) Edad de los microorganismos**, las bacterias jóvenes son más fáciles de matar que las más adultas, esto es debido a que las bacterias desarrollan una capa protectora en la pared celular que las hace más resistentes a los desinfectantes.
- d) Agua que requiere tratamiento**, las características químicas y físicas del agua influyen en la desinfección. Por ejemplo, la presencia de hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno y nitratos normalmente reaccionan con los desinfectantes y suponen un impedimento para la desinfección; la turbidez del agua también reduce la efectividad de desinfección.
- e) Temperatura**, influye en la efectividad de los desinfectantes el aumento de la temperatura produce un aumento de la velocidad de las reacciones y la desinfección.

En una unidad de desinfección se requiere primordialmente de: tanque de mezcla y caseta de cloración

*a) Tanque de mezcla*, su función es realizar una mezcla eficiente del desinfectante con el agua, lo cual se consigue mediante la instalación de una pantalla que produzca flujo turbulento.

*b) Caseta de Cloración*, su construcción tendrá como objetivo la instalación del hipoclorador, esta unidad está destinada a producir una solución de

hipoclorito de sodio por electrolisis de sal muera común que es preparada en un tanque de producción.

La cantidad de Cloro a utilizarse se establece mediante la ecuación 6.19.

$$G = \frac{(C \times V \times d)}{0,7} \quad (6.19)$$

Donde,

*G, gramos de hipoclorito necesarios.*

*C, Concentración deseada.*

*V, Volumen de agua a tratarse.*

*d, Numero de días que durara la solución.*

Con mayor frecuencia se usan hipocloradores, diseñados para entregar un promedio determinado de gramos por día del químico desinfectante, en la fotografía 6.3 se muestra un ejemplo de hipoclorador distribuido por Clorid Cia Ltda.



**Fotografía 6.3** Ejemplo de filtros ablandadores con intercambio iónico

#### 6.1.4. ALMACENAMIENTO

Se dispone de una unidad de almacenamiento después de que el agua abandone la estructura de desinfección. Es importante en el diseño de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico como por su



importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente. Los tanques de almacenamiento se llenan en las horas de mínimo consumo y satisfacen las demandas en las horas de máximo uso.

El almacenamiento deberá: compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día, mantener las presiones de servicios en la red de distribución y mantener almacenada una cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia como incendios e interrupciones por daños de tuberías de aducción

Los tanques de almacenamientos pueden ser construidos con diferentes tipos de materiales como: hormigón armado, ferrocemento, mampostería de ladrillo, según el tipo de terreno y los esfuerzos a los que esté sometida la estructura.

### **6.1.5. RED DE DISTRIBUCIÓN**

La red de distribución es un trazado de cañerías que permite distribuir agua potable desde un tanque elevado, para el diseño se debe tener claro la fuente de abastecimiento y la ubicación del estanque de almacenamiento. La importancia está en poder asegurar a la población el suministro eficiente y continuo de agua tanto en cantidad como en presión adecuada durante todo el periodo.

Las presiones en la red deben satisfacer ciertas condiciones mínimas y máximas para las diferentes situaciones de análisis que puedan ocurrir, debe mantener presiones de servicio mínimo que sean capaz de llevar agua al interior de la vivienda, así como también debe existir limitaciones de presiones máximas tales que no provoquen daños en las conexiones y que permitan el servicio sin mayores inconvenientes de uso.

Las redes de distribución dependen de la topografía, vialidad, la ubicación de las fuentes de abastecimiento y del estanque; se pueden clasificar en: tipo ramificado y tipo mallado.

a) *Tipo ramificado o abiertas*, son redes de distribución constituidas por un ramal troncal y una serie de ramales que pueden constituir pequeñas mallas,

este tipo de red es utilizado cuando la topografía es tal que dificulta o no permite la interconexión entre ramales.

b) *Tipo mallado o cerradas*, son aquellas redes constituidas por tuberías interconectadas formando mallas, este tipo de red de distribución es el más conveniente y tratara siempre de la interconexión de las tuberías a fin de crear un circuito cerrado que permita un servicio más eficiente y permanente. Con este tipo de red se trata de encontrar los gastos de circulación de cada tramo.

Para el diseño de redes de distribución se deben considerar los criterios detallados en el cuadro 6.15.

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LA RED
Deberá diseñarse para el caudal máximo
Identificar las zonas a servir
Realizar levantamientos topográficos con detalles
Realizar el reconocimiento general del terreno
Características de la capa de rodadura

**Cuadro 6.15** Criterios para el diseño de la red

Para asignar los gastos en los tramos q constituyen las mallas se empleó el *método de las áreas* que consiste en determinar el gasto o consumo medio para toda la zona a proyectar y las áreas de influencia para cada nodo con su peso respectivo a fin de definir la demanda unitaria.

El peso de un nodo es la rata de ocupación o desarrollo del sector en el periodo de diseño, se numeran los nodos que configuran la malla y se determinan las áreas de influencia de cada nodo trazando las mediatrices de los tramos, con el fin de definir una demanda unitaria. Ver ecuación 6.20.

$$Demanada\ unitaria = \frac{Q_{max\ horario}}{\sum(Peso \times area\ de\ influencia)} \quad (6.20)$$

En la distribución de gastos se llena una tabla con los siguientes datos: número de nodos, área en porcentaje, peso en porcentaje, peso por área de influencia y gasto por nodo. Donde nodo es la intersección de dos tuberías principales y todo punto de alimentación.

Para llenar la columna del gasto por nodo, es necesario conocer: caudal medio, caudal máximo horario y demanda unitaria.

Presión estática es la presión existente entre la cota del punto de abastecimiento y la cota de cada punto en la red. Se considera como presión mínima la presión que garantiza el suministro domiciliario y como presión máxima la presión límite para evitar daños en las conexiones. La normativa de presiones admisibles en la red de distribución se presenta en el cuadro 6.16.

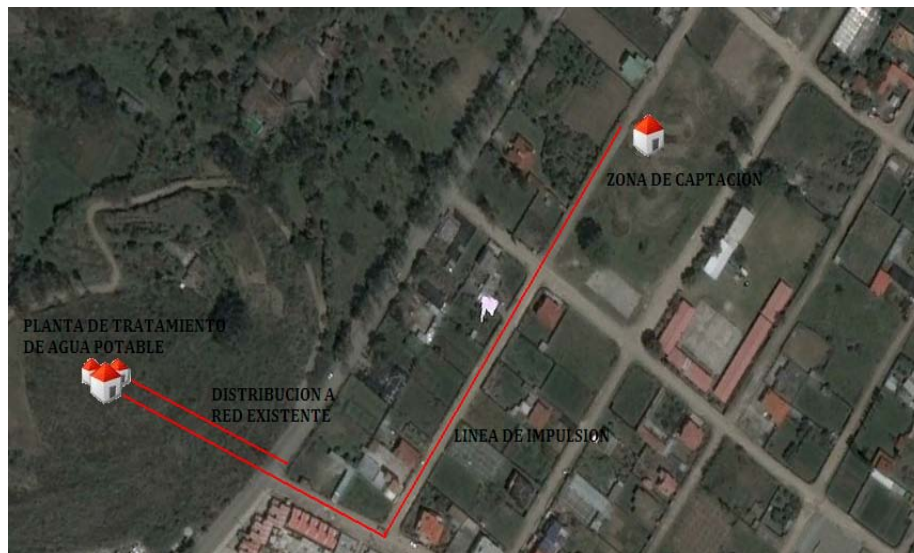
ZONA	P <sub>estática</sub> (mH2O)	P <sub>Dinámica</sub> (mH2O)
Urbana	70	50

Fuente: MIDUVI

**Cuadro 6.16** Presiones estáticas máximas y mínimas

## 6.2. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

El diseño del sistema de agua potable consta de las siguientes unidades: captación, línea de impulsión, planta de tratamiento y conexión a la red de distribución existente. Ver fotografía aérea 6.1.



**Fotografía aérea 6.1.** Emplazamiento del sistema

La captación estará ubicada en el barrio las Peñas, en la calle Ricardo Márquez Tapia entre las calles Gonzalo Cobos y Alejandro Ordoñez, con coordenadas 9691035 m N y 748539 m E a una altura de 2175 m.s.n.m.

La planta de tratamiento Pirincay, se emplazará en las coordenadas 9690948 m N y 748276 m E a una altura de 2232 m.s.n.m., con un área aproximada de 648 metros cuadrados. Tiene un desnivel aproximado con respecto al lugar de captación de 57 metros y se encuentra a 463 metros de distancia de la misma.

### 6.3. DISEÑOS

#### 6.3.1. CAPTACIÓN

La captación se realizará mediante un sistema de bombeo; la estación de bombeo consta de un pozo profundo de aproximadamente 60 metros de profundidad y de 200 milímetros de diámetro en el cual se instalará una bomba sumergible. Las fórmulas implementadas para el cálculo del caudal de bombeo y la potencia del equipo de bombeo se encuentran en el literal 6.1.1.

El cálculo utilizado para la obtención del caudal de bombeo se muestra en el cuadro 6.17.

CAUDAL DE BOMBEO				OBSERVACIONES	
$Q_b = K \times Q_{max.d} \times \frac{24}{N}$	K	N	Q <sub>max.d</sub>	Q <sub>b</sub>	Criterio basado en: Simón Arrocha
	1.05	18	5.17 lt./s.	7.24lt./s.	

**Cuadro 6.17** Caudal de bombeo

Para el cálculo de la potencia del equipo se realizó un análisis de las pérdidas de carga debido a la fricción interna de la tubería y las pérdidas locales producto de los accesorios colocados en la tubería. En el cuadro 6.18, se encuentran los coeficientes de las pérdidas debidas a los accesorios colocados para el cálculo de las pérdidas locales. El cálculo de la potencia del equipo de bombeo se encuentra en el cuadro 6.19.

TIPO	K	NÚMERO
Válvula de cierre	0.14	1
Salida de Tubería	1.00	1
codo 90°	1.00	2
codo 45°	0.40	4

**Cuadro 6.18** Valor del coeficiente según el tipo de accesorio



ANÁLISIS DEL EQUIPO DE BOMBEO				OBSERVACIONES
Pérdida por fricción	$\Delta hf$	$hf = \frac{10.668 \times Q_d^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.87}}$	19.492 m.	Criterio basado en: Hazen - Williams
Pérdidas locales	$\Delta hf$	$hl = \sum ki \times \frac{V_t^2}{2g}$	0.1715 m.	
Altura de Impulsión	<b>Hi</b>	$Hi = Altura_{final} - Altura_{inicial}$	54.935 m.	
Altura manométrica total	<b>Hb</b>	$Hb = hf + hl + Hi$	74.598 m.	Criterio para bombas sumergibles
Eficiencia del sistema de bombeo	$\eta$	$\eta = \eta_{motor} \times \eta_{bomba}$	70 %	
Potencia del equipo de bombeo	<b>Pb</b>	$Pb = \frac{Qb \times Hb}{76 \times \eta}$	10 HP	

**Cuadro 6.19** Cálculo de la potencia del equipo de bombeo

En base al caudal necesitado y a la altura manométrica se buscó una curva característica dentro del catálogo de electro bombas sumergibles semi axiales de 6", proporcionada por la empresa SAER, ELECTROPOMPE, seleccionándose así una bomba tipo XS – 151 A/4" con una potencia de 10hp cumpliendo con los requerimientos para el óptimo funcionamiento del sistema. El catalogo respectivo se encuentra en anexo 6.2.

### 6.3.2. LÍNEA DE IMPULSIÓN

Para el diseño de la Línea de Impulsión se examinaron 2 alternativas, el trazado de la primera alternativa recorre aproximadamente 270 metros a partir de la captación por la calle Ricardo Márquez Tapia, gira hacia la derecha mediante la implementación de 2 codos de 45° hasta lograr un recorrido total de aproximadamente 470 metros hasta llegar al punto más alto donde se implantará la planta de Tratamiento.

La segunda alternativa utiliza el trazado similar de la primera durante aproximadamente los 100 metros iniciales donde cambia su curso hacia la derecha mediante un codo de 90°, continúa por la calle Gonzalo Cobos hasta a



travesar la vía Cuenca - Paute donde cambia de trayectoria a una orientación noroeste hasta llegar al mismo punto que la primera alternativa con un recorrido total de aproximadamente de 457 metros. Ver figura 6.10



**Figura 6.10** Alternativas de la línea de impulsión

Debido a las facilidades constructivas y topográficas que presenta la primera alternativa se realizaron los diseños en base a ella, a pesar de que su longitud presenta desventaja.

Para la obtención del diámetro de la tubería se utilizó la fórmula de Bresse presentada en el literal 6.1.2 – Ecuación 6.12, obteniéndose un diámetro de 103 mm., considerando que se debe elegir un diámetro comercial se optó por un diámetro de 110 mm.

En el anexo 6.1 se encuentra el perfil de la línea de impulsión en base al cual se calculó y verificó la presión de trabajo de la tubería, dicha verificación se detalla a continuación en el cuadro 6.20.

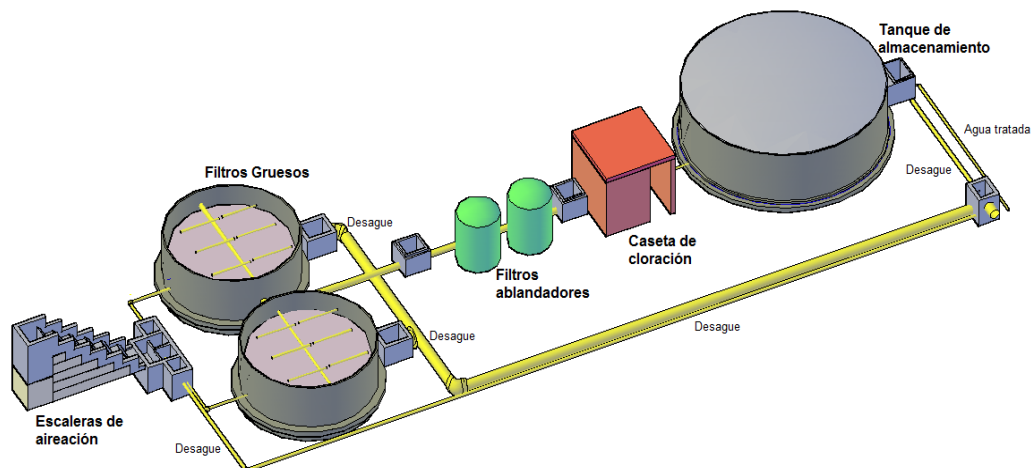
### **6.3.3. PLANTA DE TRATAMIENTO**

#### **6.3.3.1. AIREACIÓN**

Esta unidad consta de: caja de llegada del agua cruda, escaleras de aireación y caja de repartición hacia los filtros gruesos, cuyos cálculos se presentan a continuación:



ABSCISA	COTAS		CORTE m.	LONGITUD		DIAMETRO EXTERIOR mm.	PRESION Mpa	ESPOSOR mm.	DIAMETRO INTERIOR mm.	VELOCIDAD m/s.	PERDIDAS		PRESION	PRESION DINAMICA			GOLPE DE ARIETE			PRESION DE TRABAJO	OBSERVACIONES		
	TERRENO	PROYECTO		PARCIAL	ACUMULADA						PARCIAL	ACUMULADA	Metros	MPa	Metros	MPa	Psi	Metros	Mpa			20% Mpa	
	ALTERNATIVA 1																						
0+000	2175,40	2235,5	1,1	63	63	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,46	0,46	61,94	0,63	61,48	0,63	87,26	26,50	0,27	0,05	0,68	Cumplido	Colocación de válvula de cierre
0+010	2174,66	2173,6	1,1	10	73	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,53	61,94	0,63	61,41	0,63	87,16	26,50	0,27	0,05	0,68	Cumplido	Colocación de válvula de limpieza
0+020	2174,66	2173,6	1,1	10	83	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,61	61,93	0,63	61,32	0,63	87,04	26,50	0,27	0,05	0,68	Cumplido	Colocación de un codo de 90°
0+030	2174,67	2173,6	1,1	10	93	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,68	61,84	0,63	61,16	0,62	86,81	26,50	0,27	0,05	0,68	Cumplido	
0+040	2174,76	2173,7	1,1	10	103	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,75	61,62	0,63	60,87	0,62	86,40	26,50	0,27	0,05	0,68	Cumplido	
0+050	2174,98	2173,9	1,1	10	113	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,83	60,60	0,62	59,78	0,61	84,84	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+060	2176,00	2174,9	1,1	10	123	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,90	61,50	0,63	60,60	0,62	86,01	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+070	2175,10	2174,0	1,1	10	133	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	0,97	61,37	0,63	60,40	0,62	85,72	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+080	2175,23	2174,1	1,1	10	143	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,05	61,27	0,63	60,23	0,61	85,49	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+090	2175,33	2174,2	1,1	10	153	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,12	61,24	0,62	60,12	0,61	85,33	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+100	2175,36	2174,3	1,1	10	163	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,19	61,11	0,62	59,92	0,61	85,05	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+110	2175,49	2174,4	1,1	10	173	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,26	61,23	0,62	59,96	0,61	85,11	26,50	0,27	0,05	0,67	Cumplido	
0+120	2175,37	2174,3	1,1	10	183	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,34	61,19	0,62	59,85	0,61	84,95	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+130	2175,41	2174,3	1,1	10	193	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,41	61,12	0,62	59,71	0,61	84,74	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+140	2175,48	2174,4	1,1	10	203	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,48	61,04	0,62	59,55	0,61	84,52	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+150	2175,56	2174,5	1,1	10	213	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,56	61,03	0,62	59,47	0,61	84,42	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+160	2175,57	2174,5	1,1	10	223	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,63	60,98	0,62	59,35	0,61	84,24	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+170	2175,62	2174,5	1,1	10	233	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,70	60,98	0,62	59,28	0,60	84,14	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+180	2175,62	2174,5	1,1	10	243	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,78	60,92	0,62	59,14	0,60	83,94	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+190	2175,68	2174,6	1,1	10	253	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,85	60,79	0,62	58,94	0,60	83,66	26,50	0,27	0,05	0,66	Cumplido	
0+200	2175,81	2174,7	1,1	10	263	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	1,92	60,69	0,62	58,77	0,60	83,41	26,50	0,27	0,05	0,65	Cumplido	
0+210	2175,91	2174,8	1,1	10	273	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,00	59,68	0,61	57,69	0,59	81,88	26,50	0,27	0,05	0,64	Cumplido	
0+220	2176,92	2175,8	1,1	10	283	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,07	60,58	0,62	58,51	0,60	83,04	26,50	0,27	0,05	0,65	Cumplido	
0+230	2176,02	2174,9	1,1	10	293	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,14	60,52	0,62	58,38	0,60	82,86	26,50	0,27	0,05	0,65	Cumplido	
0+240	2176,08	2175,0	1,1	10	303	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,22	60,36	0,62	58,14	0,59	82,53	26,50	0,27	0,05	0,65	Cumplido	
0+250	2176,24	2175,1	1,1	10	313	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,29	60,29	0,62	58,00	0,59	82,33	26,50	0,27	0,05	0,65	Cumplido	
0+260	2176,31	2175,2	1,1	10	323	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,07	2,36	60,10	0,61	57,73	0,59	81,94	26,50	0,27	0,05	0,64	Cumplido	
0+270	2176,50	2175,4	1,1	6	329	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,04	2,41	59,94	0,61	57,53	0,59	81,65	26,50	0,27	0,05	0,64	Cumplido	
0+276	2176,66	2175,6	1,1	15	343	110	0,8	3,4	104,60	0,84	0,11	2,51	59,55	0,61	57,04	0,58	80,95	26,50	0,27	0,05	0,64	Cumplido	Colocación de un codo de 45°
0+290,5	2177,05	2176,0	1,1	10	353	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,07	2,59	59,41	0,61	56,82	0,58	80,65	27,39	0,28	0,06	0,64	Cumplido	Colocación de un codo de 45°
0+300	2177,19	2176,1	1,1	10	363	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,08	2,67	59,33	0,61	56,66	0,58	80,42	27,39	0,28	0,06	0,63	Cumplido	Colocación de válvula de limpieza
0+310	2177,27	2176,2	1,1	10	373	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,08	2,74	59,16	0,60	56,42	0,58	80,07	27,39	0,28	0,06	0,63	Cumplido	
0+320	2177,44	2176,3	1,1	10	383	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,08	2,82	58,92	0,60	56,09	0,57	79,62	27,39	0,28	0,06	0,63	Cumplido	
0+330	2177,68	2176,6	1,1	10	393	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,08	2,90	58,41	0,60	55,51	0,57	78,78	27,39	0,28	0,06	0,62	Cumplido	
0+340	2178,19	2177,1	1,1	10	403	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,08	2,98	57,50	0,59	54,52	0,56	77,38	27,39	0,28	0,06	0,61	Cumplido	
0+350	2179,10	2178,0	1,1	4	407	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,03	3,01	57,26	0,58	54,25	0,55	77,01	27,39	0,28	0,06	0,61	Cumplido	
0+354,1	2179,34	2178,2	1,1	8	415	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,07	3,08	57,39	0,59	54,31	0,55	77,09	27,39	0,28	0,06	0,61	Cumplido	
0+362,5	2179,21	2178,1	1,1	2	418	110	0,8	3,4	103,20	0,87	0,02	3,09	57,08	0,58	53,98	0,55	76,62	27,39	0,28	0,06	0,61	Cumplido	Colocación de válvula de limpieza
0+364,5	2179,52	2178,4	1,1	2	420	110	0,8	2,7	103,20	0,87	0,02	3,11	55,40	0,57	52,29	0,53	74,22	24,53	0,25	0,05	0,58	Cumplido	Colocación de un codo de 45°
0+365,9	2181,00	2180,1	0,9	12	429	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,09	3,19	46,50	0,47	43,31	0,44	61,48	24,53	0,25	0,05	0,49	Cumplido	Cambio de espesor de tubería
0+370	2189,90	2189,0	0,9	10	440	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,08	3,27	43,55	0,44	40,28	0,41	57,17	24,53	0,25	0,05	0,46	Cumplido	
0+380	2192,85	2192,0	0,9	12	451	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,09	3,36	37,73	0,38	34,37	0,35	48,79	24,53	0,25	0,05	0,40	Cumplido	
0+390	2198,67	2197,8	0,9	12	463	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,09	3,45	31,74	0,32	28,29	0,29	40,15	24,53	0,25	0,05	0,34	Cumplido	
0+400	2204,67	2203,8	0,9	12	475	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,09	3,54	25,79	0,26	22,25	0,23	31,58	24,53	0,25	0,05	0,28	Cumplido	
0+410	2210,61	2209,7	0,9	10	485	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,08	3,62	23,72	0,24	20,10	0,21	28,53	24,53	0,25	0,05	0,26	Cumplido	
0+420	2212,68	2211,8	0,9	11	496	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,09	3,71	18,27	0,19	14,56	0,15	20,67	24,53	0,25	0,05	0,20	Cumplido	
0+430	2218,13	2217,2	0,9	14	510	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,11	3,82	8,71	0,09	4,89	0,05	6,94	24,53	0,25	0,05	0,10	Cumplido	
0+440	2227,89	2226,8	1,1	10	520	110	0,63	2,7	103,20	0,87	0,08	3,89	8,55	0,09	4,66	0,05	6,61	24,53	0,25	0,05	0,10	Cumplido	Colocación de un codo de 45°
0+450	2228,05	2226,9	1,1	10	530	110	0,63	2,7	103,20	0,87													



**Figura 6.11** Planta de tratamiento

El agua cruda ingresa a una caja de llegada cuyo diseño se presenta cuadro 6.21

CAJA DE LLEGADA			
Caudal de Diseño	<b>Q<sub>d</sub></b>	7.24	lt./s.
		0.007	m <sup>3</sup> /s.
Ancho	<b>b</b>	1.00	m.
Largo	<b>L</b>	0.80	m.
Altura	<b>h</b>	1.50	m.
Área Horizontal	<b>A<sub>h</sub></b>	0.8	m <sup>2</sup> .
Velocidad de ascenso	<b>V<sub>as</sub></b>	0.009	m/s.
Tiempo de retención	<b>TRH1</b>	2.8	mín.

**Cuadro 6.21.** Diseño de la caja de llegada

La velocidad de ascenso está calculada con la ecuación 6.21:

$$V_{as} = \frac{Q_d}{A_h} \quad (6.21)$$

Donde,

$Q_d$ , Caudal de diseño

$A_h$ , Área horizontal, ecuación 6.22.

$$A_h = \text{Ancho} \times \text{Largo} = b \times L \quad (6.22)$$

El tiempo de retención en base a la ecuación 6.23:

$$TRH1 = \frac{b \times L \times h}{60 \times Q_d} \quad (6.23)$$

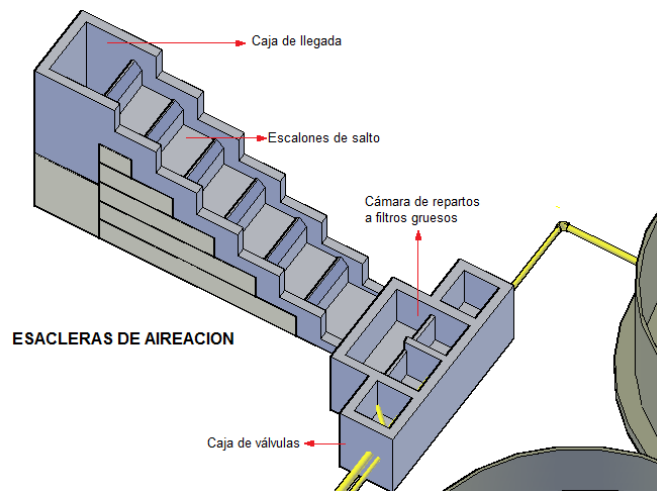
Donde,

b, ancho de la caja de llegada.

L, largo de la caja de llegada.

h, altura de la caja de llegada.

$Q_d$ , caudal de diseño.



**Figura 6.12** Escaleras de aireación

Para el análisis hidráulico de las escaleras de aireación se consideran dos secciones por separado: los escalones de salto y el último escalón.

Los datos iniciales para el cálculo de los escalones de salto se encuentran en el cuadro 6.22

DATOS INICIALES		
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	0.007 m <sup>3</sup> /s.
Ancho del vertedero 1 Mezcla rápida	<b>bMR1</b>	1.00 m.
Ancho Canal Mezcla rápida	<b>bMR</b>	1.00 m.
Altura Pala del Vertedero Mezcla rápida	<b>PMR</b>	0.5 m.
Peso específico del Agua T50°C	<b>γagua</b>	9798 N/m <sup>3</sup> .
Viscosidad cinemática del Agua T50°C	<b>δ</b>	0.00000114 m <sup>2</sup> /s.
Viscosidad del Agua T50°C	<b>μ</b>	0.00114 Ns/m <sup>2</sup>
Gravedad	<b>g</b>	9.807 m <sup>2</sup> /s.

**Cuadro 6.22.** Datos iniciales para el diseño de los escalones de salto

En el cuadro 6.23 se presentan las fórmulas utilizadas para el análisis hidráulico con su respectiva referencia según el criterio utilizado y el valor obtenido a partir de ella. En base a estos cálculos se obtienen las dimensiones de los escalones de salto.

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS ESCALONES DE SALTO				OBSERVACIONES
Caudal Nominal por unidad de longitud	<b>QMR1</b>	$\frac{Qd}{b_{MR1}}$	0.007 m <sup>3</sup> /m/s.	
Altura sobre el vertedero Mezcla rápida	<b>HMR1</b>	$\left(\frac{Qd}{1.838 * b_{MR1}}\right)^{2/3}$	0.024 m.	Criterio basado en: Francis.
Calado crítico en el canal	<b>YMRc</b>	$y_{MRc} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2}{b_{MR}^2 \cdot g}}$	0.017 m.	
<b>Caso súper crítico</b>				
Calado súper crítico en el canal	<b>Y1MR</b>	$y_{1MR} = \frac{1.414 \cdot y_{MRc}}{\sqrt{2.56 + \frac{P_{MR}}{y_{MRc}}}}$	0.004 m.	Criterio basado en: L. Di Bernardo.
Velocidad súper crítica en el canal	<b>V1MR</b>	$v_{1MR} = \frac{Q_d}{b_{MR1} \cdot y_{1MR}}$	1.63 m/s.	
Número de Froude Mezcla Rápida	<b>Fr1MR</b>	$F_{r1MR} = \frac{v_{1MR}}{\sqrt{g \cdot y_{1MR}}}$	7.84	Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Froude 4,5 - 9
Calado sub crítico en el canal	<b>Y2MR</b>	$y_{2MR} = \frac{y_{1MR}}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot F_{1MR}^2} - 1 \right)$	0.047 m.	Criterio basado en: Bellanger y Breese.
Velocidad Sub crítica en el canal	<b>V2MR</b>	$v_{2MR} = \frac{Qd}{b_{MR1} \cdot y_{2MR}}$	0.15 m/s.	

**Cuadro 6.23.** Análisis hidráulico de los escalones de salto

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS ESCALONES DE SALTO				OBSERVACIONES
<b>Caso sub crítico</b>				
Pérdida de Energía Mezcla rápida	<b>EMR</b>	$E_{MR} = \frac{(y_{2MR} - y_{1MR})^3}{4 \cdot y_{1MR} \cdot y_{2MR}}$	0.0925 m.	
Longitud del Resalto Hidráulico	<b>LrMR</b>	$L_{rMR} = 2.5(1.9Y_{2MR} - Y_{1MR})$	0.2120 m.	Criterio basado en: Pavlovski, se toma el mayor valor.
		$L_{rMR} = 9.75 \times Y_{1MR} (Fr_{1MR} - 1)^{1.01}$	0.3012 m.	
Distancia entre el vertedero y sección inicial del resalto hidráulico (longitud del chorro)	<b>LchMR</b>	$L_{mMR} = 1.45 \cdot H_{MRL} \cdot \left( \frac{P_{MR}}{H_{MRL}} \right)^{0.54}$	0.1825 m.	
Longitud mínima del escalón	<b>Lesc</b>	$L_{esc} = L_{rMR} + L_{chMR}$	0.48 m.	
Tiempo de Mezcla	<b>TMRRH</b>	$t_{MRRH} = \frac{L_{rMR}}{\left( (v_{1MR} + v_{2MR}) / 2 \right)}$	0.20 s.	Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Tiempo de retención menor a 1 s.
Gradiente de Velocidad	<b>GMRRH</b>	$G_{MR} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot E_{MR}}{\mu_{MR} \cdot t_{MR}}}$	1973.49 s <sup>-1</sup> .	Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Gradiente de velocidad entre 1000 y 2000 s <sup>-1</sup> .
<b>Longitud del escalón adoptada</b>			0.55 m.	

**Continuación cuadro 6.23.** Análisis hidráulico de los escalones de salto

En el cuadro 6.24 se encuentran los datos iniciales para el cálculo del último escalón.

El análisis hidráulico del último escalón se muestra en el cuadro 6.25, en éste se presentan las fórmulas utilizadas con su respectiva referencia según el criterio utilizado y el valor obtenido a partir de ella. En base a estos cálculos se

obtienen las dimensiones del último escalón y la altura del vertedero de la caja de repartición.

DATOS INICIALES ÚLTMO ESCALÓN		
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	0.007 m <sup>3</sup> /s.
Ancho del vertedero 1 Mezcla rápida	<b>bMR1</b>	1.00 m.
Ancho Canal Mezcla rápida	<b>bMR</b>	1.00 m.
Altura Pala del Vertedero Mezcla rápida	<b>PMR</b>	0.55 m.
Peso específico del Agua T50°C	<b>γ agua</b>	9798 N/m <sup>3</sup> .
Viscosidad cinemática del Agua T50°C	<b>δ</b>	0.00000114 m <sup>2</sup> /s.
Viscosidad del Agua T50°C	<b>μ</b>	0.00114 Ns/m <sup>2</sup>
Gravedad	<b>g</b>	9.807 m <sup>2</sup> /s.
Número de descensos	<b>n</b>	6 u
Carga disponible	<b>H</b>	3 m.

**Cuadro 6.24** Datos iniciales para el diseño del último escalón de salto

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL ÚLTIMO ESCALÓN			OBSERVACIONES
Caudal Nominal por unidad de longitud	<b>QMR1</b>	$\frac{Qd}{b_{MR1}}$	0.007 m <sup>3</sup> /m/s.
Altura sobre el vertedero Mezcla rápida	<b>HMR1</b>	$\left( \frac{Qd}{1.838 * b_{MR1}} \right)^{2/3}$	0.024 m. Criterio basado en: Francis.
Calado crítico en el canal	<b>YMRc</b>	$y_{MRc} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2}{b_{MR}^2 \cdot 9.8}}$	0.017 m.
<b>Caso súper crítico</b>			
Calado súper crítico en el canal	<b>Y1MR</b>	$y_{1MR} = \frac{1.414 \cdot y_{MRc}}{\sqrt{2.56 + \frac{P_{MR}}{y_{MRc}}}}$	0.004 m. Criterio basado en: L. Di Bernardo.
Velocidad Súper crítica en el canal	<b>V1MR</b>	$v_{1MR} = \frac{Q_d}{b_{MR1} \cdot y_{1MR}}$	1.71 m/s.

**Cuadro 6.25** Análisis hidráulico del último escalón

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL ÚLTIMO ESCALÓN				OBSERVACIONES
Número de Froude Mezcla Rápida	<b>Fr<sub>1MR</sub></b>	$F_{r1MR} = \frac{v_{1MR}}{\sqrt{g \cdot y_{1MR}}}$	8.38	Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Froude 4,5 - 9
<b>Caso sub crítico</b>				
Calado sub crítico en el canal	<b>Y<sub>2MR</sub></b>	$y_{2MR} = \frac{y_{1MR}}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot F_{1MR}^2} - 1 \right)$	0.048 m.	Criterio basado en: Bellanger y Breese.
Velocidad Sub crítica en el canal	<b>V<sub>2MR</sub></b>	$v_{2MR} = \frac{Qd}{b_{MR1} \cdot y_{2MR}}$	0.150 m/s.	
Pérdida de Energía Mezcla rápida	<b>EMR</b>	$E_{MR} = \frac{(y_{2MR} - y_{1MR})^3}{4 \cdot y_{1MR} \cdot y_{2MR}}$	0.103 m.	
Longitud del Resalto Hidráulico	<b>L<sub>rMR</sub></b>	$L_{rMR} = 2.5(1.9Y_{2MR} - Y_{1MR})$	0.218 m.	Criterio basado en: Pavlovski, se toma el mayor valor.
		$L_{rMR} = 9.75 \times Y_{1MR} (Fr_{1MR} - 1)^{1.01}$	0.311 m.	
Distancia entre el vertedero y sección inicial del resalto hidráulico (longitud del chorro)	<b>L<sub>chMR</sub></b>	$L_{mMR} = 1.45 \cdot H_{MRI} \cdot \left( \frac{P_{MR}}{H_{MRI}} \right)^{0.54}$	0.192 m.	
Longitud mínima del escalón	<b>L<sub>esc</sub></b>	$L_{esc} = L_{rMR} + L_{chMR}$	0.50 m.	
Tiempo de Mezcla	<b>TMRRH</b>	$t_{MRRH} = \frac{L_{rMR}}{((v_{1MR} + v_{2MR})/2)}$	0.21 s.	Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Tiempo de retención menor a 1 s.

**Cuadro 6.25** Análisis hidráulico del último escalón

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL ÚLTIMO ESCALÓN			OBSERVACIONES
Gradiente de Velocidad	<b>GMRRH</b>	$G_{MR} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot E_{MR}}{\mu_{MR} \cdot t_{MR}}}$	2075 s <sup>-1</sup> . Norma 5.6.2.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Gradiente de velocidad entre 1000 y 2000 s <sup>-1</sup> .
Tiempo de exposición del agua	<b>t</b>	$t = \sqrt{\frac{2 \times n \times H}{g}}$	1.92 s.
Área de Aireación	<b>Aa</b>	$Aa = Qd \times Ar$	0.72 m <sup>2</sup> . Norma 5.5.1 Cap. VI <b>SSA</b> . Área recomendada Ar =0,1 m <sup>2</sup> /l/s.
<b>Longitud del último escalón adoptada</b>			0.60 m.

**Continuación cuadro 6.25** Análisis hidráulico del último escalón

A partir del diseño hidráulico de la escalera de aireación el flujo de agua es dirigido a una cámara de reparto hacia los filtros gruesos. Los datos iniciales para el diseño hidráulico de la caja de reparto se presentan en el cuadro 6.26.

DATOS INICIALES	
Caudal de diseño	<b>Qd</b> 0.007 m <sup>3</sup> /s.
Número de filtros	<b>n</b> 2 u
Tipo de vertedero	Triangular
Angulo del vertedero	<b>θ</b> 90 °
Diámetro del tubo de salida	<b>f</b> 110 mm
Coeficiente Hierro galvanizado (HG)	<b>C</b> 130
Longitud total tubería HG	<b>L</b> 3.70 m.
<i>Coeficiente de perdidas</i>	
Entrada a la tubería	0.5
Codo 90°	0.9
Tee	1.8
Válvula de compuerta	0.07
Entrada al deposito	1

**Cuadro 6.26** Datos iniciales para la cámara de reparto

En el cuadro 6.27 se expone el análisis hidráulico de la caja de repartición hacia los filtros gruesos. El cuadro posee las fórmulas y criterios utilizados, así



mismo presenta los resultados obtenidos a partir de las mismas que dimensionan la caja y la tubería de salida.

ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA CÁMARA DE REPARTO				OBSERVACIONES
Caudal por Filtro	<b>Q<sub>f</sub></b>	$Q_f = \frac{Q_d}{n}$	0.003 m <sup>3</sup> /s.	Norma 5.9.2 - literal (g) Cap. VI <b>SSA</b> Mínimo 2 filtros, cada uno toma el 50% del Caudal de diseño.
ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA CÁMARA DE REPARTO				OBSERVACIONES
Altura sobre vertedero	<b>H<sub>v</sub></b>	$H_v = \left( \frac{Q}{1.4 \times \tan(\theta/2)} \right)^{2/5}$	9.23 cm	Criterio basado en: Tomson, ecuación del vertedero con $\theta=90^\circ$ Co=0,578.
Área del tubo de salida	<b>A<sub>t</sub></b>	$A_T = \frac{\pi D^2}{4}$	0.01 m <sup>2</sup>	
Velocidad en la tubería	<b>V<sub>t</sub></b>	$V_T = \frac{Q_f}{A_t}$	0.4 m/s.	<b>CINARA</b> establece una velocidad entre 0.3 y 5 m/s.
Pérdidas por fricción en la tubería	<b>H<sub>ft</sub></b>	$h_f = 10.643Q^{1.85} C^{-1.85} D^{-4.87} L$	0.0069 m.	
Pérdidas locales	<b>HL</b>	$h_f = K_i \frac{V_T^2}{2g}$	0.0316 m.	
Pérdida total en la entrada del depósito	<b>H</b>	$H = h_f + \sum K_L \frac{V_T^2}{2g}$	0.0384 m.	

**Cuadro 6.27** Análisis hidráulico de la cámara de reparto

### 6.2.1.1. FILTRACIÓN

La etapa de filtración está compuesta de dos filtros gruesos en cuyo interior el flujo de agua tiene un comportamiento ascendente. El interior de los filtros está relleno de capas consecutivas de grava de diferentes tamaños indicados en el cuadro 6.28.

TAMAÑO DE GRAVA	ALTURA DE LA CAPA	OBSERVACIONES
19 - 25 mm.	0.30 m.	Soporte - Fondo
13 - 19 mm.	0.25 m.	
6 - 13 mm.	0.25 m.	
3 - 6 mm.	0.25 m.	
1,6 - 3 mm.	0.30 m.	Tope
<b>Altura total:</b>		1.35 metros.

**Fuente:** CINARA, IRC. Colombia 1993  
**Cuadro 6.28** Características del lecho filtrante

En el cuadro 6.29 se muestran los datos iniciales necesarios para el análisis hidráulico de los filtros gruesos.

DATOS INICIALES		
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	26.06 m <sup>3</sup> /h.
Velocidad de filtración adoptada	<b>Vfa</b>	0.57 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Número de unidades	<b>n</b>	2 u
Altura de seguridad	<b>hs</b>	0.30 m.
Altura de sobrenadante de agua	<b>hs</b>	0.25 m.
Altura máxima del agua	<b>Ha</b>	1.60 m.
Altura del filtro	<b>h</b>	1.90 m.
Caudal de diseño al 65%	<b>Qd65</b>	16.94 m <sup>3</sup> /h.

**Cuadro 6.29** Datos iniciales para el diseño de FGAC

En diseño hidráulico de los filtros gruesos ascendentes en capas se determina el diámetro requerido por cada filtro según los datos iniciales impuestos, estos resultados se presentan en el cuadro 6.30 así como las fórmulas utilizadas para obtener los mismos.

ANÁLISIS HIDRAULICO PARA LOS FILTROS GRUESOS				OBSERVACIONES
Área de Filtración	<b>Af</b>	$A_f = \frac{Q_{df}}{v_{fa}}$	42.72 m <sup>2</sup> .	
Área por filtro	<b>A</b>	$A = \frac{A_f}{n}$	22.86 m <sup>2</sup> .	
Diámetro del filtro	<b>Df</b>	$D_f = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	5.39 m.	
<b>Diámetro adoptado</b>			5.40 m.	

**Cuadro 6.30** Diseño hidráulico de FGAC

ANÁLISIS HIDRAULICO PARA LOS FILTROS GRUESOS				OBSERVACIONES
Área de Filtración adoptada	<b>Afa</b>	$A_{fa} = \frac{\pi \times Da^2}{4} \times n$	45.80 m <sup>2</sup> .	Área total de los filtros
<b>Área por filtro</b>			22.90 m <sup>2</sup> .	
Velocidad de filtración	<b>Vfd</b>	$v_{fd} = \frac{Q_{fd}}{A_{fa}}$	0.57 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	
Velocidad de filtración al 65% de Caudal de Diseño por cada filtro	<b>VfL</b>	$v_{fL} = \frac{Q_{f65}}{A_{fa}}$	0.74 m/h.	<b>CINARA</b> establece una velocidad entre 0.3 y 0,75 m/h

**Continuación cuadro 6.30** Diseño hidráulico de FGAC

El diseño de filtración presentado requiere de un sistema de drenaje y de un sistema de filtración. Estos sistemas están compuestos por una serie de tuberías perforadas integradas por tuberías laterales conectadas a un colector central. Para este diseño se requieren los siguientes datos iniciales. Ver cuadro 6.31.

DATOS INICIALES		
<b>Sistema de drenaje</b>		
Velocidad de lavado	<b>Vlav</b>	20 m/h
Número de laterales	<b>nL</b>	10 u
Área de recolección para cada lateral	<b>AL</b>	1/9 m <sup>2</sup>
Diámetro del orificio	<b>Dorf</b>	0.0127 m.
Velocidad recomendada (orificio)	<b>Vorf</b>	5.00 m/s.
<b>Sistema de filtración</b>		
Número de laterales	<b>nL</b>	6 u
Área de recolección para cada lateral	<b>AL</b>	1/5 m <sup>2</sup>
Diámetro del orificio	<b>Dorf</b>	0.009 m.
Velocidad recomendada (orificio)	<b>Vorf</b>	0.50 m/s.

**Cuadro 6.31** Datos iniciales para el diseño del sistema de drenaje y filtración.

El diseño hidráulico de estos sistemas consiste en la determinación del diámetro del colector central y de las tuberías laterales, además, el cálculo del

diámetro y del número de perforaciones que se realizan en las mismas. Los resultados del diseño hidráulico del sistema de drenaje y del sistema de filtración se encuentran en el cuadro 6.32.

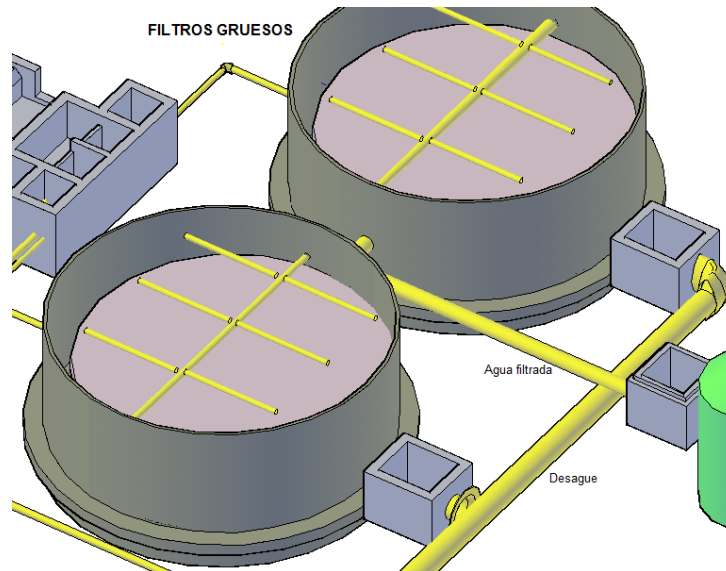


Figura 6.13 Filtros de ablandamiento

ANÁLISIS HIDRÁULICO			OBSERVACIONES	
<b>Sistema de drenaje</b>				
Caudal de lavado	$Q_{lavado}$	$Q_{lavado} = v_{lavado} \times A_{c/lateral}$	50.8 m <sup>3</sup> /h	Criterio basado en: Hudson
Caudal del orificio	$Q_{orf}$	$Q_{orf} = v_{orf} \times A_{orf}$	2.28 m <sup>3</sup> /h	
Número de orificios por cada lateral	$n$	$n = Q_{lavado} / Q_{orf}$	24 u	Se colocan en dos hileras con un ángulo central de 60°
Separación entre orificios	$Sep.$	$L_{lateral} = n \times D_{orf} + (n - 1) \times sep$	14 cm.	Se establece una separación entre 10 y 30 cm.
			18 cm.	
			19 cm.	

Cuadro 6.32 Análisis hidráulico del sistema de drenaje y filtración

ANÁLISIS HIDRÁULICO			OBSERVACIONES	
Diámetro de los laterales	DL	$D_L = \sqrt{\frac{n \times D_{orf}^2}{0.5}}$	88 mm.	CINARA recomienda la siguiente relación: $n \times A_{orf}/A_{lat}=0,5$
Diámetro lateral adoptado			90 mm.	
Diámetro del colector central	Dc	$D_{colector} = \sqrt{\frac{n \times D_L^2}{0.5}}$	402 mm.	
Diámetro del Colector central adoptado			400 mm.	
Sistema de filtración				
Caudal de filtración	Qf		2.61 m³/h	
Caudal del orificio	Qorf	$Q_{orf} = v_{orf} \times A_{orf}$	0.11 m³/h	
Número de orificios por cada lateral	n	$n = \frac{Q_d}{Q_{orf}}$	24 u	se colocan en dos hileras con un ángulo central de 60°
Separación entre orificios	Sep.	$L_{lateral} = n \times D_{orf} + (n-1) \times sep$	16,5 cm.	Se establece una separación entre 10 y 30 cm.
			19 cm.	
Diámetro de los laterales	DL	$D_L = \sqrt{\frac{n \times D_{orf}^2}{0.5}}$	62 mm.	CINARA recomienda la siguiente relación: $n \times A_{orf}/A_{lateral}=0,5$
Diámetro lateral adoptado			63 mm.	63
Diámetro del colector central	Dc	$D_{colector} = \sqrt{\frac{n \times D_L^2}{0.5}}$	218 mm.	
Diámetro del Colector central adoptado			250 mm.	

Continuación cuadro 6.32 Análisis hidráulico del sistema de drenaje y filtración

### 6.2.1.2. ABLANDAMIENTO

La empresa INTAL encargada de la construcción de plantas purificadoras de agua proporcionó sus servicios para la obtención del sistema de ablandamiento adecuado a utilizarse en la planta en base a los análisis físicos y químicos del agua a tratarse y al caudal operarse en la misma. El cuadro 6.33 presenta 3 opciones para el funcionamiento de los filtros de ablandamiento según el número de horas de operación y el número de ablandadores.

OPCIÓN	HORAS DE OPERACIÓN	PIES CÚBICOS DE RESINA NECESARIO	NUMERO DE ABLANDADORES
A	12	68	2
B	16	102	3
C	24	170	5

**Fuente:** INTAL CIA. LTDA.  
**Cuadro 6.33** Sistemas de Ablandamiento

En la planta de tratamiento se colocarán 2 ablandadores debido al espacio requerido para su emplazamiento. Estos estarán fabricados en acero naval de 4 mm. de espesor, cada uno con 34 pies de resina catiónica, con un volumen interno de 5,66 m<sup>3</sup> y con sistema de regeneración de resina.

Los filtros deberán ser pintados en el interior con pintura epóxica aprobado por la FDA para tratamiento de agua y en el exterior pintura poliuretánica para exteriores.

En el cuadro 6.34 se presentan características de los filtros ablandadores

CARACTERISTICAS	
Alto	2.5 m.
Diámetro	1.75 m.
Tubería de conexión a filtros	3"
Tubería de acometida	4-3"
Presión de alimentación de agua en los filtros	140 psi

**Cuadro 6.34** Características de los filtros ablandadores

### 6.2.1.3. DESINFECCIÓN

El proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601 “Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el Área Urbana”, en su sexta parte, norma 5.10.1.1 a), ver anexo 2.2, establece que para plantas de potabilización pequeñas se puede usar como sustancia desinfectante el Hipoclorito de calcio HClO, para ello se requiere conocer la cantidad necesaria para el caudal suministrado por la planta.

El código recomienda que la cloración se la realice donde se produce un resalto hidráulico para garantizar una mezcla homogénea entre el químico desinfectante y el agua tratada, en base a esto se diseñoun sistema compuesto por un vertedero y una compuerta de pared delgada. Los datos iniciales requeridos para el diseño de esta etapa se encuentran en el cuadro 6.35.

DATOS INICIALES		
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	0.0072 m³/s.
Concentración deseada	<b>C</b>	1 mg/l.
Volumen de agua a tratarse	<b>V</b>	625 m³.
Días de duración	<b>d</b>	1 día
Tiempo de retención	<b>t</b>	1 min.
Tipo de vertedero	Rectangular	
número de contracciones	<b>n</b>	0
Altura de la pala	<b>P</b>	0.50 m

**Cuadro 6.35**Datos iniciales para el diseño del proceso de desinfección.

En primera instancia en el proceso de desinfección se debe determinar la cantidad necesaria de químico desinfectante, en este caso, hipoclorito de calcio, el cuadro 6.36, presenta los resultados obtenidos.

CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO			
Gramos de hipoclorito de Calcio (HClO)	<b>G</b>	$G = \frac{C \times V \times d}{0.7}$	893.45 gr/día

**Cuadro 6.36**Cantidad de Hipoclorito de calcio necesaria.

El diseño hidráulico de las estructuras que conforman la etapa de desinfección: cajón de mezcla y vertedero, compuerta y cajón de salida, se muestra en el cuadro 6.37.

CÁLCULO HIDRÁULICO DEL CAJÓN DE MEZCLA				OBSERVACIONES
Volumen de mezcla	<b>V</b>	$V = Q \times t$	0.43 m <sup>3</sup>	
Dimensiones del tanque	<b>L</b>	Largo	1.00 m.	
	<b>b</b>	Ancho	1.00 m.	
	<b>h</b>	Altura	0.43 m.	
Altura sobre vertedero	<b>Hv</b>	$\left( \frac{Qd}{1.838 * b_{MR1}} \right)^{2/3}$	0.025 m.	Criterio basado en: Francis.
Calado crítico en el canal	<b>YMRc</b>	$y_{MRc} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2}{b_{MR}^2 \cdot g}}$	0.017 m.	
<i>Caso súper crítico</i>				
Calado súper crítico en el canal	<b>Y1MR</b>	$y_{1MR} = \frac{1.414 \cdot y_{MRc}}{\sqrt{2.56 + \frac{p_{MR}}{y_{MRc}}}}$	0.004 m.	Criterio basado en: L. Di Bernardo.
Velocidad súper crítica en el canal	<b>V1MR</b>	$v_{1MR} = \frac{Q_d}{b_{MR1} \cdot y_{1MR}}$	1.63 m/s.	
Número de Froude Mezcla Rápida	<b>Fr1MR</b>	$F_{r1MR} = \frac{v_{1MR}}{\sqrt{g \cdot y_{1MR}}}$	7.84	Norma 5.6.2.1 Cap. IV <b>SSA</b> . Froude 4,5 -9
<i>Caso sub crítico</i>				
Calado sub crítico en el canal	<b>Y2MR</b>	$y_{2MR} = \frac{y_{1MR}}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot F_{1MR}^2} - 1 \right)$	0.047 m.	Criterio basado en: Bellanger y Breese.

**Cuadro 6.37** Diseño hidráulico del cajón de mezcla, compuerta y cajón de salida.



CÁLCULO HIDRÁULICO DEL CAJÓN DE MEZCLA				OBSERVACIONES
Velocidad Sub crítica en el canal	<b>V<sub>2MR</sub></b>	$v_{2MR} = \frac{Qd}{b_{MR1} \cdot y_{2MR}}$	0.15 m/s.	
Pérdida de Energía Mezcla rápida	<b>EMR</b>	$E_{MR} = \frac{(y_{2MR} - y_{1MR})^3}{4 \cdot y_{1MR} \cdot y_{2MR}}$	0.092 m.	
Longitud del Resalto Hidráulico	<b>L<sub>rMR</sub></b>	$L_{rMR} = 2.5(1.9Y_{2MR} - Y_{1MR})$	0.212 m.	Criterio basado en: Pavlovski se toma el mayor valor.
		$L_{rMR} = 9.75 \times Y_{1MR} (Fr_{1MR} - 1)^{1.01}$	0.301 m.	
Distancia entre el vertedero y sección inicial del resalto hidráulico (longitud del chorro)	<b>L<sub>chMR</sub></b>	$L_{mMR} = 1.45 \cdot H_{MR1} \cdot \left( \frac{P_{MR}}{H_{MR1}} \right)^{0.54}$	0.182 m.	
Longitud mínima del escalón	<b>L<sub>esc</sub></b>	$L_{esc} = L_{rMR} + L_{chMR}$	0.48 m.	
Tiempo de Mezcla	<b>T<sub>MRRH</sub></b>	$t_{MRRH} = \frac{L_{rMR}}{((v_{1MR} + v_{2MR})/2)}$	0.20 s.	Norma 5.6.2.1 Cap. IV <b>SSA</b> . Tiempo de retención menor a 1 s.
CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA COMPUERTA				OBSERVACIONES
Altura de la compuerta	<b>a</b>		2.00 cm	Altura impuesta.
Coefficiente de velocidad	<b>C<sub>v</sub></b>	0,94 - 0,98	0.96	Coefficiente Impuesto.
Coefficiente de contracción	<b>C<sub>c</sub></b>	Si $0,1 < a/H < 0,95$ $C_c = 0.245 \times \left( \frac{a}{H} \right)^{3.74} + 0.62$	0.63	
Coefficiente de gasto	<b>C<sub>a</sub></b>	$C_a = C_c \times C_v$	0.60	Criterio basado en: Smith y Walker.

Continuación cuadro 6.37 Diseño hidráulico del cajón de mezcla, compuerta y cajón de salida.

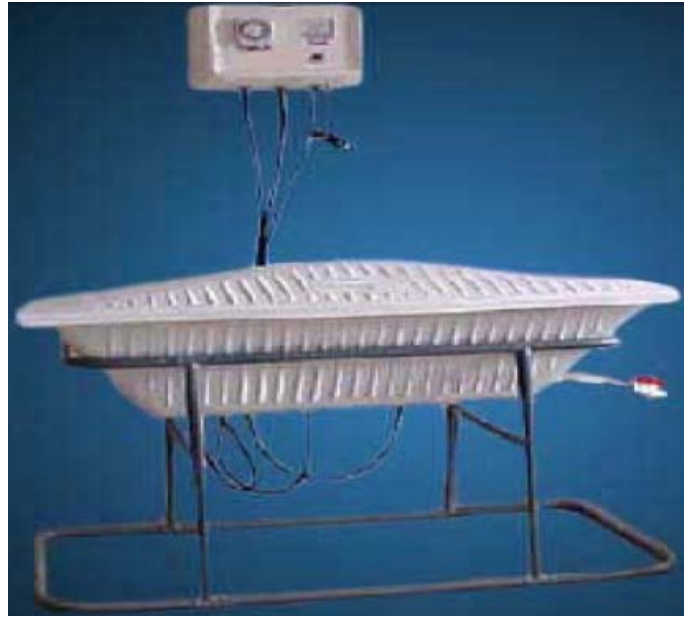
CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA COMPUERTA			OBSERVACIONES	
Caudal bajo la compuerta	<b>Qc</b>	$Q_c = C_a \times A \times \sqrt{2 \times g \times \left( H + \frac{V_o^2}{2g} - h \right)}$	0.011 4 m <sup>3</sup> /s	Vo <sup>2</sup> /2g despreciable.
Velocidad en la compuerta	<b>v1</b>	$v_{1MR} = \frac{Q_d}{b_{MR1} \cdot y_{1MR}}$	0.57 m/s	
Número de Froude	<b>Fr</b>	$F_{r1MR} = \frac{v_{1MR}}{\sqrt{g \cdot y_{1MR}}}$	1.29	
Altura del agua aguas debajo de la compuerta	<b>h</b>	$y_{2MR} = \frac{y_{1MR}}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \cdot F_{1MR}^2} - 1 \right)$	0.03 m.	
Diámetro de la tubería de salida	<b>Dtubsalida</b>	$D_{tubsalida} = \sqrt{\frac{4 \times Q_c}{\pi \times V}}$	53.9 6 mm.	Velocidad asumida por orificio de 5m/s.
<b>Diámetro adoptado</b>			63 mm.	

**Continuación cuadro 6.37** Diseño hidráulico del cajón de mezcla, compuerta y cajón de salida.

El químico desinfectante será puesto por un hipoclorador automático, L-90, cuyos datos básicos se presentan en el cuadro 6.38.

DATOS BÁSICOS DEL HIPOCLORADOR	
Modo de producción	Bacheo en 24 horas
Capacidad de producción	Variable en función de poder modificar la corriente
Rango de control de generación	20 – 100 %
Fuente de corriente continua	5.2 V / 45 A
<i>Condiciones ambientales</i>	
Temperatura	Máximo 45 ° C
Unidad	Máximo 95 %
Clima	Tropical
Clasificación de riesgo	No clasificada
Instalación	Albergado
Calidad de sal	Sal grado 3 KG/día
Consumo teórico	3 KG de sal / Kg. de cloro activo – 1 Kg / día (para una operación de 24 horas en plena carga del equipo)
Tensión de alimentación	110 V / 60 HZ
Tensión de salida	5,2 V
Corriente de salida	45 A

**Cuadro 6.38** Hipoclorador L-90



**Fuente:** CLORID Cia. Ltda.  
**Fotografía 6.4** Clorador L-90

#### **6.2.1.4. ALMACENAMIENTO**

Para determinar el volumen de almacenamiento de agua tratada el proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias Co 10.07 – 601 “Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana”, en su quinta parte, normas 4.1.7.1, 4.1.7.2 a), 4.1.7.3, 4.1.7.5, ver anexo 2.2, establece que el volumen total es igual a la suma del volumen de regulación, volumen contra incendios y volumen de emergencia, al igual que indica que para poblaciones menores a 5000 habitantes en la sierra los volúmenes de incendio y emergencias es nulo por lo que se concluye que el volumen total de almacenamiento es igual al volumen de regulación y este a su vez es igual al 30 por ciento del consumo máximo diario futuro. *Ver cuadro 6.39*

DATOS INICIALES		OBSERVACIONES	
Caudal medio diario	<b>Qmd</b>	0.004 m <sup>3</sup> /s	Caudal máximo horario futuro
Volumen de Regulación	<b>Vr</b>	103.0 m <sup>3</sup>	Norma 4.1.7.1 Cap. IV SSA
Volumen contra incendio	<b>Vci</b>	0 m <sup>3</sup>	Norma 4.1.7.2 a) Cap. IV SSA
Volumen para emergencias	<b>Vemg</b>	0 m <sup>3</sup>	Norma 4.1.7.3 Cap. IV SSA
Volumen total	<b>Vt</b>	100 m <sup>3</sup>	Norma 4.1.7.5 Cap. IV SSA
Altura del tanque	<b>H</b>	2.1 m.	
Borde libre	<b>bl</b>	0.2 m.	
Altura total del tanque	<b>Ht</b>	2.3 m.	

**Cuadro 6.39** Datos iniciales para el cálculo del tanque de Almacenamiento

El volumen almacenado es de 100 m<sup>3</sup>, deberá construirse en ferrocemento, el tanque tendrá una tapa que proteja el agua tratada y una compuerta de vigilancia. Se colocará sistemas de drenaje para evacuar el agua del tanque y para posibles infiltraciones de agua en el terreno con una pendiente mínima del 1% para direccionar el agua.

La tubería de salida hacia la distribución será de 40 mm. Ver cuadro 6.40.

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO			
<b>Diámetro del tanque de almacenamiento</b>	DTA	$D_{TA} = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times H}}$	7.94 m.
<i>Diámetro adoptado en base a tuberías comerciales</i>			8.00 m.
<b>Diámetro de la tubería de salida</b>	Dtubs	$D_{tub\ salida} = \sqrt{\frac{4 \times Qc}{\pi \times V}}$	31.82 mm.
<i>Diámetro adoptado en base a tuberías comerciales</i>			40 mm.

**Cuadro 6.40.** Dimensionamiento del tanque de Almacenamiento

### 6.2.1.5. CONEXIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTE

Se requiere la comprobación de las presiones en las tuberías existentes para prevenir posibles daños una vez que funcione el sistema. Para la comprobación se procedió a utilizar el programa EPANET 2.vE,

Inicialmente para poder ingresar los datos al programa se debe realizar un cateo con todas las tuberías del sistema, a partir de esos datos se procede a elaborar el plano con las tuberías y sus respectivas longitudes.

Una vez importado el plano a EPANET se asigna a cada tubería el diámetro y rugosidad respectiva; y en cada nodo las cotas según la topografía del sector y los respectivos gastos obtenidos a partir de la tabla de distribución de gastos en los nodos indicada en el literal 6.1.5. ver cuadro 6.41.

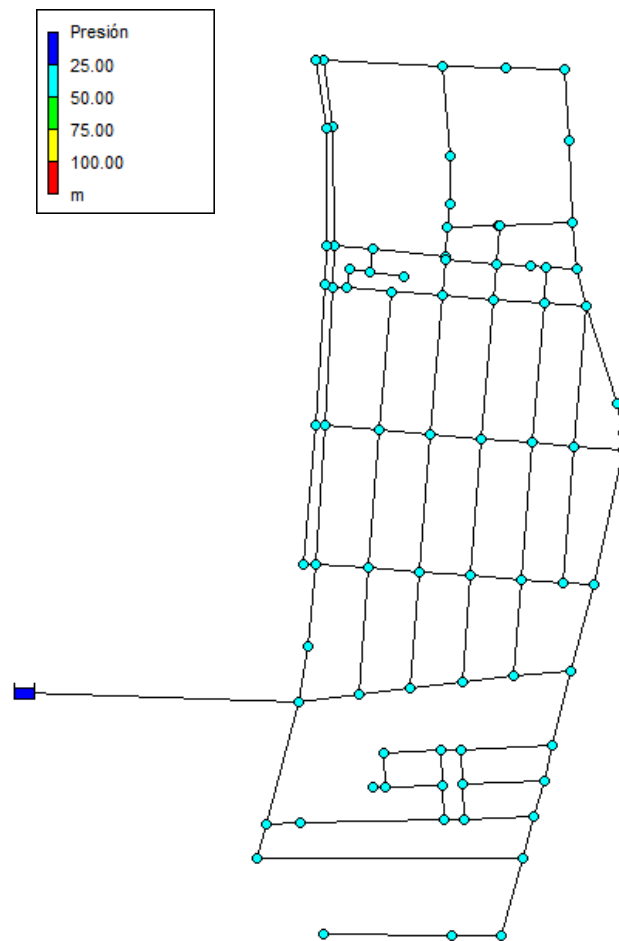
DISTRIBUCIÓN DE GASTOS EN LOS NODOS				
Nodo	Área de Influencia (%)	Peso (%)	Peso por área de influencia	Gasto de Nodo
1	932.82	50	46641	0.170029245
2	1772.82	75	132961.5	0.484709664
3	799.2	50	39960	0.145673734
4	1217.29	80	97383.2	0.355009369
5	1002.76	80	80220.8	0.292444031
6	595.31	60	35718.6	0.130211758
7	1066.75	70	74672.5	0.272217765
8	389.09	100	38909	0.141842325
10	257.64	100	25764	0.093922374
11	220.46	70	15432.2	0.056257913
12	84.45	50	4222.5	0.015393077
13	391.16	60	23469.6	0.085558165
14	744.08	70	52085.6	0.189877473
15	684.47	100	68447	0.249522775
16	664.51	100	66451	0.242246379
17	593.15	100	59315	0.21623217
18	260.3	50	13015	0.047446037
19	588.62	60	35317.2	0.128748458
20	1127.99	100	112799	0.411207496
21	1044.87	100	104487	0.380906192
22	1079.51	100	107951	0.393534166
23	968.54	100	96854	0.353080176
24	865.69	100	86569	0.315586323
25	439.08	50	21954	0.080033062
26	546.33	60	32779.8	0.119498395
27	1072.87	70	75100.9	0.273779493
28	988.88	100	98888	0.3604951
29	942.85	100	94285	0.343714915

30	836.41	100	83641	0.304912332
31	630.37	80	50429.6	0.183840544
32	255.07	50	12753.5	0.046492742
33	615.33	60	36919.8	0.134590719
34	977.45	100	97745	0.356328307
35	661.56	100	66156	0.24117096
36	648.92	100	64892	0.236563062
37	642.58	100	64258	0.234251822
38	323.71	50	16185.5	0.05900406
39	433.94	50	21697	0.079096171
40	293.35	50	14667.5	0.053470208

**Cuadro 6.41** Dimensionamiento del tanque de Almacenamiento

DISTRIBUCIÓN DE GASTOS EN LOS NODOS				
Nodo	Área de Influencia (%)	Peso (%)	Peso por área de influencia	Gasto de Nodo
41	338.7	50	16935	0.061736353
42	327.94	50	16397	0.05977508
43	547.8	50	27390	0.099849939
44	160.4	50	8020	0.02923682
45	207.34	50	10367	0.037792783
46	207.34	46	9537.64	0.03476936
47	339.58	50	16979	0.061896755
48	253.34	50	12667	0.046177407
49	199.07	50	9953.5	0.036285373
50	587.17	70	41101.9	0.149836518
51	347.18	70	24302.6	0.088594857
52	395.85	75	29688.75	0.108230007
53	458.34	80	36667.2	0.133669868
54	2452.99	80	196239.2	0.715387813
<b>Total</b>			<b>2180777.49</b>	<b>7.95</b>

**Continuación cuadro 6.41** Dimensionamiento del tanque de Almacenamiento



**Figura 6.14** Distribución de malla utilizada en el programa

Finalmente se ejecuta el programa, figura 6.14 y se realiza una comparación entre los resultados de las presiones obtenidas y las presiones especificadas en norma, dando como resultado la verificación de que las presiones en las tuberías existentes cumplen con las presiones requeridas una vez que se haya construido el “Sistema alternativo de agua potable para el cantón Paute con agua subterránea”. Los planos se encuentran en el anexo 6.3.

## CAPÍTULO 7

### PRESUPUESTO DE LA OBRA

Un presupuesto de obra es aquel que por medio de mediciones y valoraciones nos da una estimación económica de la obra a construir, aunque el costo final pueda variar del presupuesto de obra inicial.

Considerando los diseños definitivos del proyecto se determinan las cantidades de obra para todos los rubros que intervienen en cada unidad del mismo. En continuidad se debe elaborar un análisis de precios unitarios a fin de obtener el precio unitario por rubro, finalmente una vez determinado el precio unitario se multiplica por la cantidad de obra respectiva obteniéndose el valor total del rubro considerado. Existen varios métodos para desarrollar la metodología expuesta, ya sea mediante la utilización de programas comerciales como es el caso de INTER-PRO o mediante formularios programados en hojas electrónicas; todos tienen la característica común que trabajan con una base de datos determinada y que necesariamente debe estar actualizada cada año. En este caso particular se empleó una hoja electrónica utilizando la base de datos manejada por la empresa ETAPA correspondiente al año en curso.

El presupuesto referencial obtenido para la construcción del “Sistema alternativo de agua potable para el cantón Paute con agua subterránea” es de USD/ 143.341,83 (CIENTO CUARENTA Y TRES MIL TRECIENTOS CUARENTA Y UNO CON 80/100) dólares de Estados Unidos de Norte América, incluido el IVA. Para ver el desglose del presupuesto ver anexo 6.4.





## CONCLUSIONES

Finalizado el proceso de estudios y diseños preliminares para un sistema alternativo de agua potable para el cantón Paute, con agua subterránea, nos permitimos establecer a las siguientes conclusiones:

- Las características que presenta el acuífero en estudio, ubicado en el sector de Pirincay, Paute, posibilita la extracción y tratamiento de las aguas subterráneas a un bajo costo.
- El diseño elaborado por las investigadoras tomó en cuenta variables de facilidad constructiva, mantenimiento y costo.
- Las estructuras que conforman el sistema no presentarán impacto visual ni molestias a los habitantes del sector.
- El sector donde se sugiere el emplazamiento del sistema de agua potable, al momento no es utilizado como terreno de producción agrícola, su ubicación es estratégica con respecto a los barrios beneficiados y es de fácil acceso.
- El sistema tendrá una vida útil de 20 años a partir del año en curso y servirá a un total de 2021 habitantes.
- El diseño del sistema de agua potable constará de las siguientes unidades: captación, línea de impulsión, planta de tratamiento y conexión a la red de distribución existente.
- La planta de tratamiento Pirincay tendrá un área aproximada de 648 metros cuadrados, un desnivel aproximado con respecto al lugar de captación de 57 metros y se encontrará a 463 metros de distancia de la misma.



- Se requerirá un caudal de 7,24 litros por segundo de agua subterránea que será captado mediante un pozo profundo, ubicado en el barrio las Peñas, en la calle Ricardo Márquez Tapia entre las calles Gonzalo Cobos y Alejandro Ordoñez.
- La perforación requerida para el pozo de captación, no pudo realizarse por la carencia de los equipos necesarios.
- La perforación requerida será de aproximadamente 60 metros de profundidad y de 200 milímetros de diámetro en el cual se instalará una bomba sumergible, con una potencia de 10 hp.
- Para el diseño de la Línea de Impulsión se examinaron 2 alternativas Debido a las facilidades constructivas y topográficas que presenta la primera alternativa se realizaron los diseños en base a ella, a pesar de que su longitud presenta desventaja.
- La red de distribución existente, soportará la presión estimada una vez habilitado el nuevo sistema.
- La calidad del agua tratada a través del diseño sugerido, cumplirá con las normas establecidas para el consumo humano en el Ecuador.



## RECOMENDACIONES

- Realizar la perforación in situ para verificar las características del agua y rectificar los diseños si el caso amerita.
- Se recomienda que exista control en el área de captación para evitar contaminación por la cercanía de industrias donde se utiliza productos químicos.
- El I. Municipio de Paute deberá comprometerse a realizar un buen mantenimiento de la planta de tratamiento para que exista un buen funcionamiento de la misma durante su periodo de vida útil.
- En lo posible utilizar tubería BIAx ( casa comercial PLASTIGAMA) por la calidad de producto de última tecnología.
- Los filtros ablandadores sean adquiridos a través de la empresa INTAL por su experiencia en el diseño de plantas de agua potable y porque los estudios tienen como base diseños proporcionados por esta empresa.
- Se recomienda la instalación de dos ablandadores, tomando en consideración el área disponible para el emplazamiento.
- Para el proceso de desinfección se recomienda el empleo del hipoclorador L-90, distribuido por la empresa CLORID.
- Por otra parte se recomienda que se proceda a la actualización de las normativas técnicas de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable con la participación de universidades e instituciones que trabajan en obras de agua potable y saneamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. (2000) Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Editorial McGRAW-HILL. Bogotá – Colombia.

AROCHA RAVELO, Simón. (1977) Abastecimientos de agua: Teoría y diseño. Ediciones Vega. Caracas- Venezuela.

BELLIDO, Abel. (1984) Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales Segunda edición Bogotá - Colombia

BENITEZ, Alberto (1972) Captación de aguas subterráneas. Editorial DossatElica – España

BRATER, King (1981) Manual de Hidráulica. Primera edición. Editorial Uteha México

CASTRO, M L. (1996) Programa sobre monitoreo y evaluación global de la calidad del agua. Reunión Regional sobre la Calidad del Agua Potable. Lima, CEPIS/OPS. Documento.

GILES V. Ranald y otros (1994) Mecánica de los fluidos e hidráulica. Tercera Edición. Editorial McGRAW-HILL. Madrid – España.

GONZALES DE VALLEJO, Luis. (1996) Ingeniería Geológica Tercera Edición Editorial Universitaria Quito – Ecuador.

GORDON M. Fair. (1968) Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales Tomo 1 y 2. Primera edición. Editorial Limusa México.

HERNANDEZ, DAVID (2003) Manual de Practicas de hidrología subterránea Cuarta edición México.

HINOJOSA RANGEL Roberto E. (1992) Definición de la estratigrafía y geometría del acuífero de Chapingo, utilizando prospección geoelectrica. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo.

KROCHIN, Sviatoslab (1968) Diseño Hidráulico. Primera edición. Editorial Universitaria Quito – Ecuador

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto (2006) Purificación del Agua. Segunda edición Bogotá – Colombia



SÁNCHEZ SAN ROMAN, JAVIER (1990) Prospección Geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales España

VIEJO ZUBICARAY, Manuel (1983) Bombas: teoría, diseño y aplicaciones. Segunda edición. Editorial Limusa. México.

VISSCHER, J T. y otros.(1993) Filtración lenta en arena , tratamiento de agua para comunidades. GRUPO CINARA. Cali – Colombia

Azuay por Dentro (2005) Instituto nacional de estadística y censos INEC, a través de la dirección regional del sur.

Intercambio Iónico, Área de Ingeniería Química Universidad autónoma de Madrid

Normas de diseño para sistemas de agua potable y eliminación de residuos líquidos, poblaciones con más de 1000 habitantes. (1988.) Instituto ecuatoriano de obras sanitarias, IEOS Universidad Central – facultad de Ingeniería

Normas de la subsecretaría de saneamiento ambiental (SSA) MIDUVI.

Norma técnica ecuatoriana INEN 1108 (1983.) Instituto ecuatoriano de normalización, Quito.

Manual de Hidráulica J.M (1998) Azevedo Netto & Guillermo Acosta Álvarez.

Manual de flujo de tuberías a presión RIVAL.

Manual del usuario, EPANET 2.vE. Grupo multidisciplinario de modelación de fluidos, Universidad Politécnica de Valencia.

ORDOÑEZ E, Galo (1992) Apuntes de clase, Universidad Estatal de Cuenca

PAUTA CALLE, Guillermina (1998) Manual de Teoría y prácticas de análisis de agua Cuenca - Ecuador

PAUTA CALLE, Guillermina (1999) Química General Cuenca – Ecuador

Proyecto de código ecuatoriano (1988). Normas de diseño para sistema de agua potable y eliminación de residuos líquidos Universidad central

Purificación de agua, tratamiento y remoción de aguas residuales (1971) Primera edición, Editorial Limusa México

Redes de distribución Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión nacional del agua – México.

INTERNET: [www.ame.gov.ec/frontEnd/main.php](http://www.ame.gov.ec/frontEnd/main.php)

INTERNET: [www.monografias.com/trabajos15/estadistica/](http://www.monografias.com/trabajos15/estadistica/)

INTERNET: [www.toodoc.com/problematika-del-agua-ebook.html](http://www.toodoc.com/problematika-del-agua-ebook.html)

INTERNET: [www.lenntech.es](http://www.lenntech.es)

INTERNET: [www.slideshare.net/.../unidad-iii-redes-de-distribución](http://www.slideshare.net/.../unidad-iii-redes-de-distribucion)

INTERNET: [www.geofisica.com](http://www.geofisica.com)

## LISTA DE CUADROS

### CAPÍTULO 1

**Cuadro 1.1** Accesos al cantón Paute

**Cuadro 1.2** Centros Educativos

### CAPÍTULO 2

**Cuadro 2.1** Índice de Crecimiento

**Cuadro 2.2** Registro del número de viviendas

**Cuadro 2.3** Proyecciones poblacionales

### CAPÍTULO 3

**Cuadro 3.1** Distribución de agua en el planeta

**Cuadro 3.2** Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas

**Cuadro 3.3** Clasificación de los tipos de depósitos

**Cuadro 3.4** Conductividad según el tipo de material

**Cuadro 3.5** Actividades que provocan contaminación puntual y difusa

**Cuadro 3.6** Medidas para control de transmisión de enfermedades

### CAPÍTULO 4

**Cuadro 4.1** Permeabilidad de los materiales

**Cuadro 4.2** Diámetros de pozos

**Cuadro 4.3** Características físicas

**Cuadro 4.4** Características Químicas

**Cuadro 4.5** Características Bacteriológicas

**Cuadro 4.6** Normas INEN 1108

**Cuadro 4.7** Comparación de resultados de análisis físico, químico del agua cruda

### CAPÍTULO 5

**Cuadro 5.1** Caudales de diseño

### CAPÍTULO 6

**Cuadro 6.1** Componentes de una estación de bombeo

**Cuadro 6.2** Presión atmosférica.

**Cuadro 6.3** Presión de vapor de agua

**Cuadro 6.4** Consideraciones para la línea de conducción

**Cuadro 6.5** Características del PVC

**Cuadro 6.6** Pérdidas menores

- Cuadro 6.7** Coeficiente para la fórmula de Hazen Williams
- Cuadro 6.8** Fatiga admisible en la vertical para diferentes tipos de suelo
- Cuadro 6.9** Dimensiones del bloque de anclaje
- Cuadro 6.10** Funciones de aireadores
- Cuadro 6.11** Tipo de filtros
- Cuadro 6.12** Recomendaciones preliminares para lecho filtrante
- Cuadro 6.13** Sistemas de drenaje
- Cuadro 6.14** Criterios Generales
- Cuadro 6.15** Criterios para el diseño de la red
- Cuadro 6.16** Presiones estáticas máximas y mínimas
- Cuadro 6.17** Caudal de bombeo
- Cuadro 6.18** Valor del coeficiente según el tipo de accesorio
- Cuadro 6.19** Cálculo de la potencia del equipo de bombeo
- Cuadro 6.20** Diseño de la Línea de impulsión
- Cuadro 6.21** Diseño de la caja de llegada
- Cuadro 6.22** Datos iniciales para el diseño de los escalones de salto
- Cuadro 6.23** Análisis hidráulico de los escalones de salto
- Cuadro 6.24** Datos iniciales para el diseño del último escalón de salto
- Cuadro 6.25** Análisis hidráulico del último escalón
- Cuadro 6.26** Datos iniciales para la cámara de reparto
- Cuadro 6.27** Análisis hidráulico de la cámara de reparto
- Cuadro 6.28** Características del lecho filtrante
- Cuadro 6.29** Datos iniciales para el diseño de FGAC
- Cuadro 6.30** Diseño hidráulico de FGAC
- Cuadro 6.31** Datos iniciales para el diseño del sistema de drenaje y filtración.
- Cuadro 6.32** Análisis hidráulico del sistema de drenaje y filtración
- Cuadro 6.33** Sistemas de Ablandamiento
- Cuadro 6.34** Características de los filtros ablandadores
- Cuadro 6.35** Datos iniciales para el diseño del proceso de desinfección.
- Cuadro 6.36** Cantidad de Hipoclorito de calcio necesaria.
- Cuadro 6.37** Diseño hidráulico del cajón de mezcla, compuerta y cajón de salida.
- Cuadro 6.38** Hipoclorador L-90
- Cuadro 6.39** Datos iniciales para el cálculo del tanque de Almacenamiento
- Cuadro 6.40** Dimensionamiento del tanque de Almacenamiento
- Cuadro 6.41** Dimensionamiento del tanque de Almacenamiento



## **LISTA DE ANEXOS**

### **CAPÍTULO 2**

**Anexo 2.1** Modelo de la encuesta.

**Anexo 2.2** Normas del código de MIDUVI.

### **CAPÍTULO 4**

**Anexo 4.1** Topografía.

**Anexo 4.2** Cartas geológicas.

**Anexo 4.3** Informe del (SEV).

**Anexo 4.4** Organización mundial de la salud (OMS).

**Anexo 4.5** Tulas.

**Anexo 4.6** Resultados del pozo Zhumir.

### **CAPÍTULO 6**

**Anexo 6.1** Perfil de la línea de impulsión.

**Anexo 6.2** Curva característica.

**Anexo 6.3** Planos del sistema.

**Anexo 6.4** Presupuesto.

# ANEXOS