

CAPÍTULO I (INTRODUCCIÓN)

1.1 Título del Proyecto:

“Diseño Hidráulico de un Sistema de Agua Potable para el Barrio 27 de Mayo”.

1.2 Problema actual

El agua potable es un servicio básico indispensable para el desarrollo de los pueblos, es considerada como la principal demanda de las urbes.

Es en este sentido; que Bolivia, un país tercermundista en proceso de desarrollo, se ha dado a la tarea de incrementar la cobertura de este servicio, aumentando considerablemente desde 1990 con altas inversiones en el sector. Sin embargo, la realidad refleja que la cobertura y la calidad de servicio siguen siendo las más bajas del continente. La inestabilidad política e institucional ha contribuido a la debilitación de las instituciones del sector a nivel nacional y de muchas organizaciones locales.

Según el Director ejecutivo de la autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y saneamiento básico (AAPS), las coberturas de agua potable en el 2010 eran:

Cuadro 1.1 - Coberturas del agua potable en Bolivia

		% total
Agua potable	población urbana	68%
	población rural	44%

Fuente: <http://www.eabolivia.com/economia>

Elaborado por: AAPS, mediante un monitoreo general (2010).

Observando el cuadro 1.1, vemos gran deficiencia entre las conexiones urbanas y rurales hecho que al pasar de los años se han ido agravando por un crecimiento poblacional desmedido y la falta de financiamiento.

No debemos olvidar que el agua potable es una necesidad, las zonas que actualmente cuentan con los servicios de agua potable ya no necesitarán que sus habitantes (principalmente mujeres y niños) caminen largas distancias para llevar a su vivienda uno o dos bidones de agua, que escasamente cubrían las necesidades de consumo y así como la preparación de alimentos de su familia. Como también podrán contrarrestar infecciones intestinales como diarrea, cólera y tifoidea, al mismo tiempo lograrán satisfacer otras necesidades como el aseo personal y lavado de ropa dentro de sus viviendas.

1.2.1 Planteamiento del problema

La falta de agua potable en el Barrio 27 de Mayo en estos últimos años ha ido incrementándose considerablemente, volviéndose un tema de preocupación de sus vecinos.

En la actualidad los pobladores del barrio, se abastecen de agua mediante piletas públicas, que actualmente no cubren la mayoría de este barrio, éstas también están sujetas a las variaciones de caudal, debidas mayormente a la época de estiaje, la cual genera molestias en la población.

1.2.2 Formulación del problema

¿Hace falta un sistema de agua potable en el barrio 27 de Mayo, que suministre agua apta para el consumo humano en la cantidad y calidad necesaria?

Un sistema de agua potable para este barrio es de evidente necesidad, que conlleva una inversión económica, de la cual están encargadas autoridades municipales y departamentales.

Mediante el diseño hidráulico de un sistema de agua potable, se pretende encarar el problema situado, ofertando a los vecinos del barrio 27 de Mayo las facilidades que conlleva el servicio, de esta manera crear conciencia en los vecinos acerca de la salud e higiene, la cual elevará su calidad de vida.

1.2.3 Sistematización del problema

¿Qué problemas conllevan la falta de un sistema de agua potable, para el barrio 27 de Mayo?

¿Qué perspectivas hacia el aprovechamiento del agua potable se creará en la población favorecida?

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

El objetivo fundamental del proyecto es de: Mejorar las condiciones de vida, bienestar y salud de los vecinos del barrio 27 de Mayo, mediante la implementación de un sistema de agua potable.

1.3.2 Objetivos específicos

La realización del presente diseño hidráulico apuntará a:

- Garantizar un suministro de agua potable, apta para el consumo humano.
- Distribuir el agua de manera domiciliaria, de tal forma que se elimine la inversión del tiempo para conseguir el líquido elemento.
- Disminuir el riesgo de enfermedades de tipo gastrointestinal y otras que se pueden propagar por la escasez de agua potable.
- Suministrar agua potable de modo permanente, sin crear molestias ni desconformidad por el sistema de agua potable.
- Realizar la elección de la bomba más apropiada, capaz de realizar la impulsión de agua desde el pozo profundo hasta el tanque de almacenamiento.

- Realizar el diseño de la línea de aducción, es decir calcular el diámetro necesario para la impulsión y seleccionar el trayecto adecuado de este.
- Diseñar el tanque de almacenamiento, con el fin de mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.
- Diseñar la red de distribución, necesaria para la conducción del líquido elemento en el área beneficiada.

1.4 Justificación del proyecto

“El saneamiento básico es considerado un importante indicador para medir la pobreza, por incluir al acceso adecuado al agua y a los servicios de saneamiento. La escasez nace de la desigualdad, la pobreza y el poder y no en la carencia de la disponibilidad física del agua”.¹

De acuerdo con el informe del Ministerio de Medio Ambiente, en el área urbana de Bolivia hay una cobertura del 68 %, y en el porcentaje del área rural, se tiene en total de 44 % de personas con acceso al agua potable en el país.

Estas cifras alarmantes, también se plasman en la realidad que vive esta zona:

- En el bajo nivel de vida, por la falta de higiene y una salud adecuada.
- La alta vulnerabilidad ante enfermedades gastrointestinales.
- El retraso económico, que incide el invertir tiempo en acarrear agua desde puntos lejanos.

1.4.1 Justificación académica

Aplicar los conocimientos adquiridos en el diseño de sistemas de agua potable, a manera de interactuar el campo teórico con la aplicación práctica que con lleva el diseño hidráulico de un sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo. Razones

¹ Página web <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/1salud/1-1salud.htm>

que argumentan el deseo de verificar, rechazar o aportar aspectos teóricos referidos al objeto del perfil.

1.4.2 Justificación técnica

Realizar el diseño hidráulico de un sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo, determinando la ubicación de los componentes del sistema como el cálculo correspondiente al dimensionamiento de los mismos, buscando que el sistema sea económico y técnicamente aceptable.

1.4.3 Justificación social

El agua potable es un servicio básico de dependencia humana, que toda población necesita para llevar un buen desarrollo de vida saludable. Es en este sentido, el “diseño hidráulico de un sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo”, servirá a la mencionada comunidad, como una propuesta técnica para buscar financiamiento.

1.4.4 Justificación institucional

Cooperar al municipio de Tarija con el diseño hidráulico del sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo, facilitando un acceso seguro de agua, con el propósito de mejorar la calidad de vida de los vecinos de este barrio.

1.5 Alcance del proyecto

El presente proyecto contemplará:

La obtención y recopilación de toda la información necesaria por parte del proponente, el diseño hidráulico de todo el sistema de agua potable desde la obra de captación, el proceso de aducción hasta la red de distribución y una planificación de

obra que nos proporcione el costo y tiempo necesarios, para invertir en la materialización de esta propuesta.

- **Recopilación de toda la información necesaria.-** Éste será el primer paso antes de entrar al diseño hidráulico, buscar una buena información que garantice buenos resultados será lo primordial, para ello se plantea conseguir:
 - **Datos de la población.-** Que nos permitirá conocer el número de habitantes de la comunidad, su edad, ocupación o actividad económica y sus más frecuentes enfermedades.
 - **Un levantamiento topográfico.-** Necesario para el diseño hidráulico, buscando el mejor trazo en consenso con la comunidad, de modo que no se tenga ningún problema para su posterior construcción.
 - **Análisis de la cantidad de agua.-** Para asegurar el suministro se contrastará el caudal de diseño requerido por el sistema, con el caudal mínimo de la fuente de captación, de esta manera se garantizará su funcionalidad en épocas de estiaje.
 - **Análisis de la calidad del agua.-** Se tomará una muestra de la fuente de captación y se la llevará a un laboratorio especializado. El mismo proporcionará datos confiables acerca de la calidad del agua y al mismo tiempo si se requiere de algún tratamiento para su consumo.
- **El diseño hidráulico.-** En base a toda la información se procederá al dimensionamiento de las estructuras comprometidas al sistema:
 - La captación de pozo.
 - El sistema de aducción y todas sus obras complementarias que se requieran en su recorrido.
 - El tanque de regulación.
 - La red de distribución.

- **La planificación de obra.-** Al ser concluida la etapa de diseño hidráulico, se procederá a la planificación de obra que comprenderá:
 - **Un presupuesto de obra.-** El mismo permitirá saber el costo que se requiere para la construcción del sistema de agua potable, presentando en detalle los precios unitarios, cálculos métricos, como un resumen de materiales necesarios.
 - **Un cronograma de actividades.-** Que mostrará el tiempo necesario para la culminación de la obra como la ruta crítica de actividades.
 - **Especificaciones técnicas.-** Este será requerido para un mejor proceso de ejecución de la obra, mostrando parámetros de construcción.

- **Documentación final.-** Todo el trabajo será debidamente documentado y representado gráficamente por planos del diseño hidráulico:
 - Planos de la aducción
 - Plano de obras complementarias
 - Planos de la red de distribución

1.6 Aspectos metodológicos

El “Diseño hidráulico de un sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo”, será realizado por fases:

- Fase I - Levantamiento y recopilación de la información
- Fase II - Procesamiento de la información (ingeniería del proyecto)

CAPÍTULO II (DESCRIPCION TECNICA DEL PROYECTO)

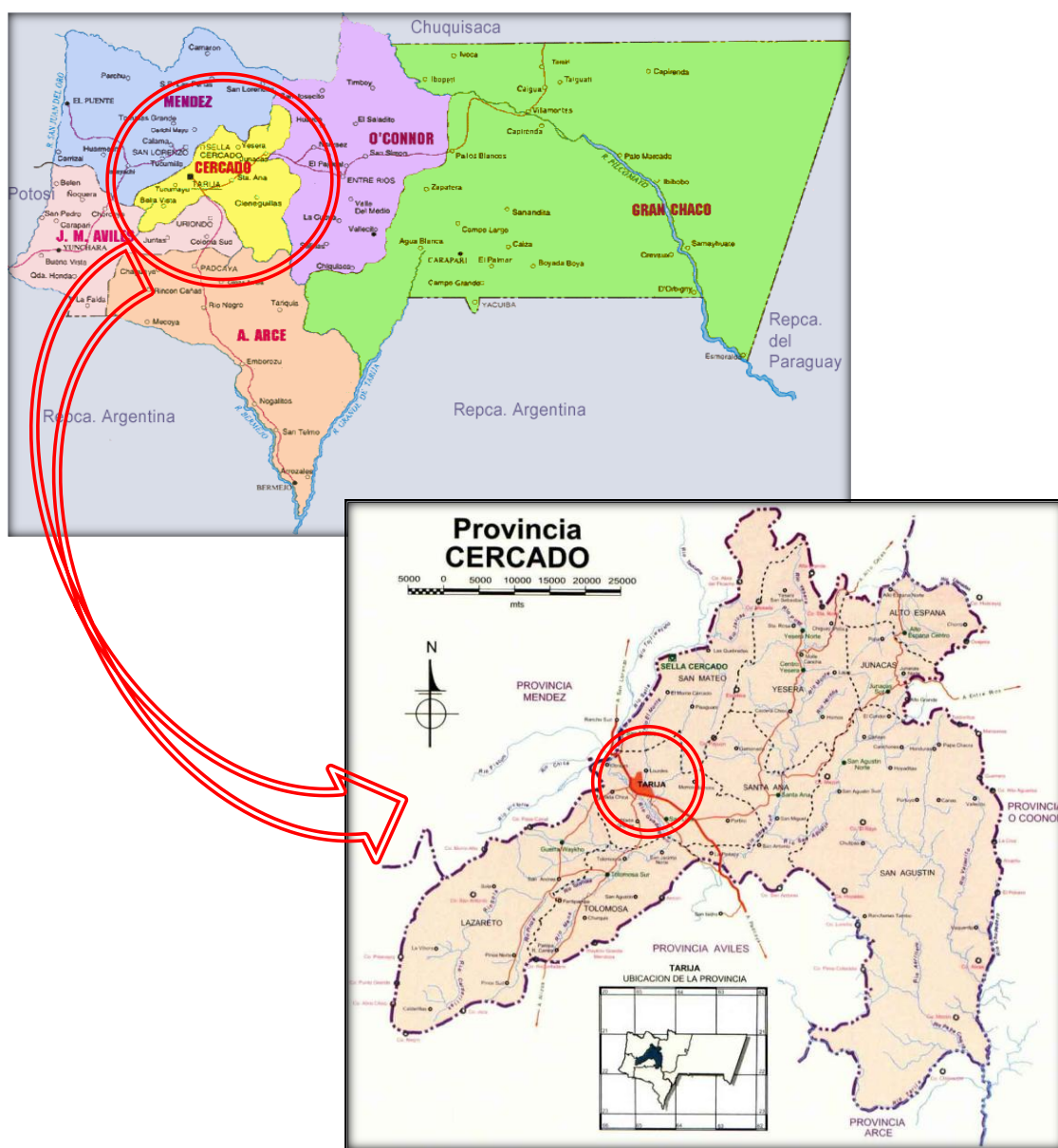
2.1. Información general

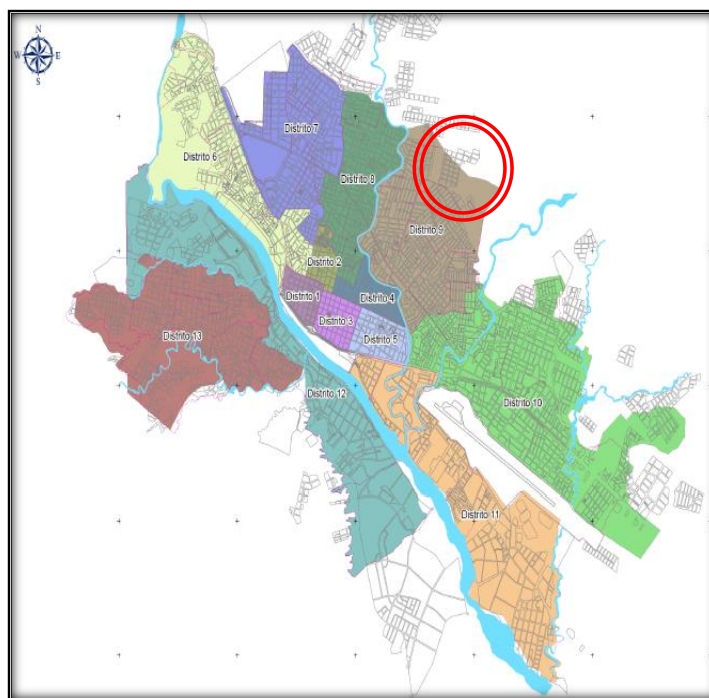
2.1.1 Ubicación geográfica del proyecto:

El barrio 27 de Mayo se halla situado en el distrito 9, zona norte de la Ciudad de Tarija, primera sección de la provincia Cercado, del departamento de Tarija.

Se encuentra entre las siguientes coordenadas:

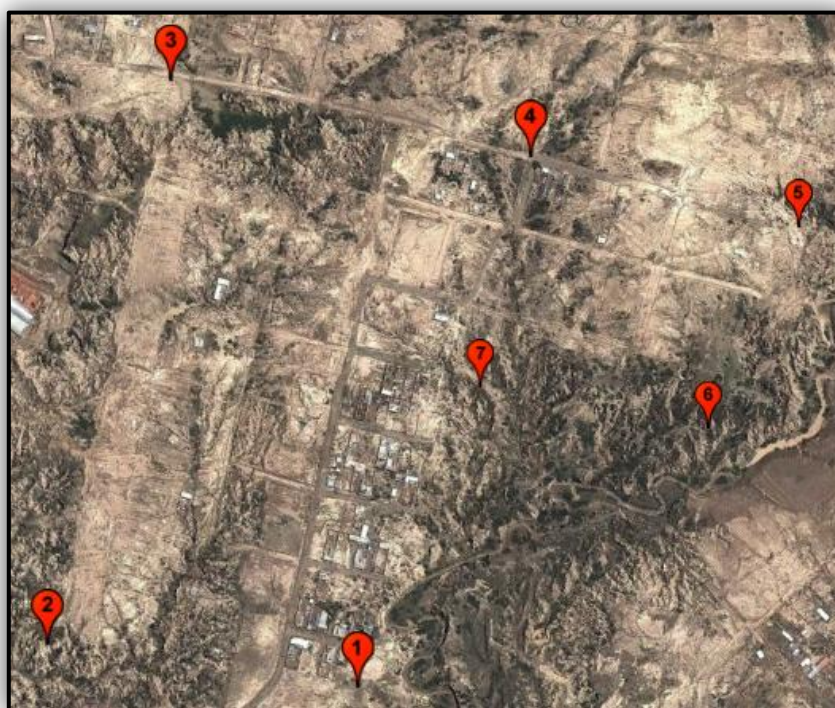
Figura 2.1 – Ubicación geográfica del proyecto





Fuente: Elaboración propia

Figura 2.2 – Coordenadas de ubicación del Barrio 27 de Mayo



Fuente: Elaboración propia mediante el software Google Earth ver. 6.2.2

Se encuentra entre las siguientes coordenadas:

Tabla 2.1 - Coordenadas de ubicación Barrio “27 de Mayo”

PUNTO	LATITUD	LONGITUD
1	21°31'6.17"S	64°42'33.58"O
2	21°31'4.58"S	64°42'44.03"O
3	21°30'46.29"S	64°42'39.35"O
4	21°30'49.09"S	64°42'27.31"O
5	21°30'51.55"S	64°42'18.44"O
6	21°30'58.00"S	64°42'21.60"O
7	21°30'56.47"S	64°42'29.21"O

Altura promedio: 1917 m.s.n.m.

2.1.2. Límites territoriales

El barrio 27 de Mayo tiene como límites a los siguientes espacios geográficos:

- Al norte con el barrio “12 de Abril”
- Al sur con el barrio “El Constructor”
- Al este con la comunidad “Pampa Galana”
- Al oeste con el barrio “2 de Mayo”

2.1.3. Extensión

El barrio 27 de Mayo tiene una superficie total de 27.16 hectáreas, las cuales están distribuidas en 33 manzanos con predios de aproximadamente una superficie de 6000 metros cuadrados, en la mayoría de éstos.

2.2 Características de la zona

2.2.1. Características climatológicas

a) Temperatura

La zona presenta un clima medio que varía entre los 13,3 a 20,7 °C según la estación “El Aeropuerto” Tarija, el cual también presenta los siguientes valores extremos.

Temperatura Máxima.....27,5 °C

Temperatura Mínima.....2.3 °C

b) Precipitación Pluviométrica

Presenta también una precipitación promedio de 603 mm de lámina de lluvia, la precipitación máxima en 24 horas es de 125 mm de lámina de lluvia con un promedio de 66 días de lluvia al año y una velocidad del viento que varían entre los 6 m/s con dirección sud oeste.

c) Clima

La zona presenta un clima árido según la clasificación de Lang.

2.2.2. Orográficas

Gracias a la visita hacia el lugar donde se sitúa el proyecto, se puede definir un paisaje con pendientes ligeramente onduladas que varía aproximadamente entre 2 – 5 % (Ver figura 2.3)

2.2.3. Infraestructura

El barrio 27 de Mayo de reciente creación cuenta con espacios de área verde, la cual ocupan 4,89 hectáreas, en donde se encuentra una cancha para la actividad deportiva. Además en el barrio existe un pequeño centro utilizado como guardería. Es preciso hacer conocer que el barrio cuenta con calles pero en malas condiciones, las cuales no presentan mejoramiento en su capa de rodadura.

Figura 2.3 Zona beneficiada.



Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Vías de comunicación y transporte

La principal vía de acceso al barrio es la avenida Salinas, la cual se encuentra conectada a la avenida Luis Espinal, y esta a su vez está conectada a la avenida La Paz. La avenida Salinas y la avenida Luis Espinal forman un tramo de 773 metros desde la avenida La Paz hacia el inicio del barrio. Estas avenidas se encuentran en un estado regular, como se pudo notar.

Por las condiciones que presentan estas vías de acceso se puede afirmar que el transporte no es una dificultad permitiendo el ingreso de vehículos particulares de diferente capacidad, como también el transporte público, como ser taxis y micros.

2.2.5. Servicios básicos

El barrio 27 de Mayo al ser de reciente creación no cuenta con los servicios básicos en calidad óptima para satisfacer totalmente sus necesidades, tanto sanitarias como de confort personal, los cuales son:

- a) Agua potable: el barrio cuenta con un abastecimiento precario de piletas públicas que no satisface en su totalidad la demanda.

- b) Alcantarillado sanitario: no cuenta con una red de alcantarillado que pueda evacuar las aguas servidas, siendo su única opción la creación de pozos ciegos.
- c) Energía eléctrica: es el único servicio con el que cuenta una reducida parte de la población.

2.3. Aspectos sociales.-

2.3.1 Población beneficiaria.-

Actualmente se cuenta con una población de 346 personas en el barrio “27 de Mayo” que se distribuyen de la siguiente manera:

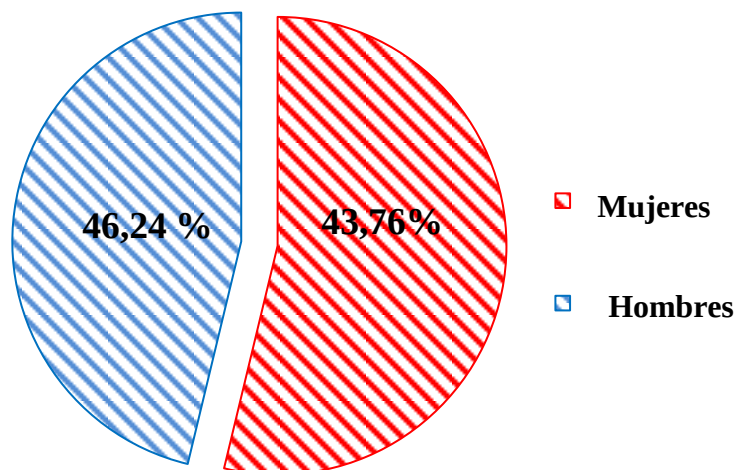
Cuadro 2.2 Número de beneficiarios según censo 2012

MUJERES	HOMBRES	TOTAL
186	160	346
53,76%	46,24%	100,00%

Fuente: Elaboración propia

Fecha del censo: Septiembre del 2012

Figura 2.4– Distribución de género



Fuente: Elaboración propia

Fecha del censo: Septiembre del 2012

2.3.2. Actividad económica de la población.-

De acuerdo a los datos recopilados se puede apreciar:

Cuadro 2.3 Actividad socioeconómica por número de familias según censo 2012

CONSTRUCCIÓN	23	38%
COMERCIO	14	23%
OTROS	23	38%
TOTALES:	60	100%

Fuente: Elaboración propia

Fecha del censo: Septiembre del 2012

Según el cuadro 2.3 se puede decir que la principal actividad del “Barrio 27 de Mayo” es la construcción, constituyéndose en su principal fuente económica.

CAPÍTULO III (FUNDAMENTO TEORICO)

3.1. Fuentes de captación de agua

3.1.1. Definición

Se consideran fuentes de agua a los cursos de agua superficial, aguas subterráneas y aguas de lluvia que son utilizados para abastecimiento público y privado.

3.1.2 Tipos de fuentes de agua

Para el desarrollo de proyectos de agua potable se deben considerar como fuentes de abastecimiento de agua, los siguientes tipos de fuentes:

- Superficial.
- Subterránea.
- De lluvia.

3.1.2.1 Fuentes de Agua superficial

El agua superficial es aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Estas masas de agua sobre la superficie de la tierra, forman ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales, y otros similares, sean naturales o artificiales. El agua superficial es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas.

Las aguas superficiales pueden estar fluyendo constantemente como los ríos o estar en reposo como los lagos y lagunas. El escurrimiento se da sobre la tierra debido a la gravedad y a la inclinación del terreno. Así cuando el agua cae del cielo (o se precipita, por ejemplo en forma de lluvia) la que no se infiltra, escurre en la dirección de la pendiente (hacia abajo) hasta que llega a los ríos y lagos.

Un **río** es una corriente natural de agua que fluye con continuidad y siempre por gravedad fluye de las partes altas hacia las bajas. Posee un caudal determinado y finalmente desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en este último caso se le denomina afluente.

Algunas veces terminan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación. Cuando el río es corto y estrecho recibe el nombre de riachuelo o arroyo.

Un **lago** es un cuerpo de agua dulce o salada sin conexión con el mar. Es un componente más del agua superficial del planeta. Un lago es un lugar en donde el agua superficial que procede de los escurrimientos de la lluvia (y posiblemente de filtraciones del agua subterránea) se ha acumulado debido a una depresión del terreno, creada normalmente por fallas geológicas.

Algunos se forman por la obstrucción de valles debido a desplomes en sus laderas. Otros lagos son de origen volcánico. En un lago las velocidades del río disminuyen, y por consiguiente se produce sedimentación, evaporación e infiltración. Dependiendo de las dimensiones del lago, su forma y profundidad especialmente, se producirán corrientes, tanto horizontales como verticales que le darán sus características especiales como ecosistemas. La mayoría de los lagos generalmente tiene un río de entrada y otro de salida. También se pueden formar lagos artificialmente por la construcción de una presa.

3.1.2.1.1 Captaciones superficiales

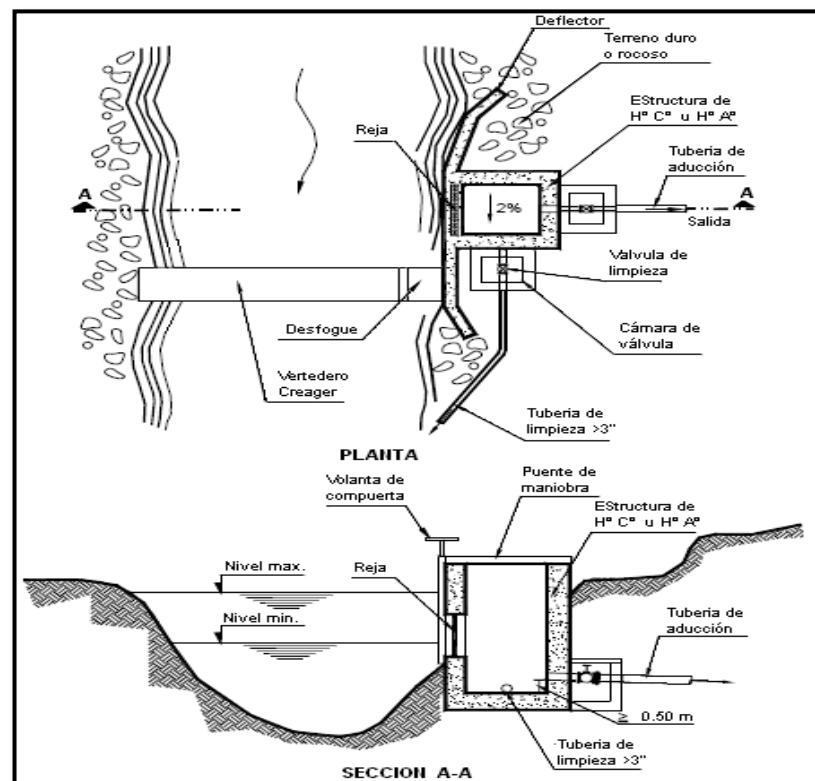
3.1.2.1.1.1 Toma lateral

La toma lateral es una obra de captación superficial y es la más empleada cuando se trata de captar el agua de un río. La forma más simple de concebir una captación lateral es como una bifurcación.

En primer lugar conviene presentar una breve descripción de los elementos constituyentes más frecuentes de una bocatoma de captación lateral, los que podrían clasificarse de la siguiente manera:

- *Elementos de encauzamiento y cierre.* Su objeto es elevar el nivel del agua para permitir su ingreso a la toma y al canal de derivación e impedir el desborde del río.
- *Elementos de descarga de avenidas.* Permiten el paso de las crecidas. Son órganos de seguridad.
- *Elementos de control de sedimentos.* Tienen por objeto el manejo de los sólidos.
- *Elementos de control del ingreso de agua.* Permiten regular la cantidad de agua que ingresa a la derivación.
- *Elementos de control de la erosión.* Permiten disminuir la erosión y la abrasión
- *Elementos estructurales.* Son los que dan estabilidad a la obra.

Figura 3.1 Toma lateral visto de planta y corte



Fuente: Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, Volumen 1 de 2

3.1.2.1.1.2 Toma de fondo o tirolesa

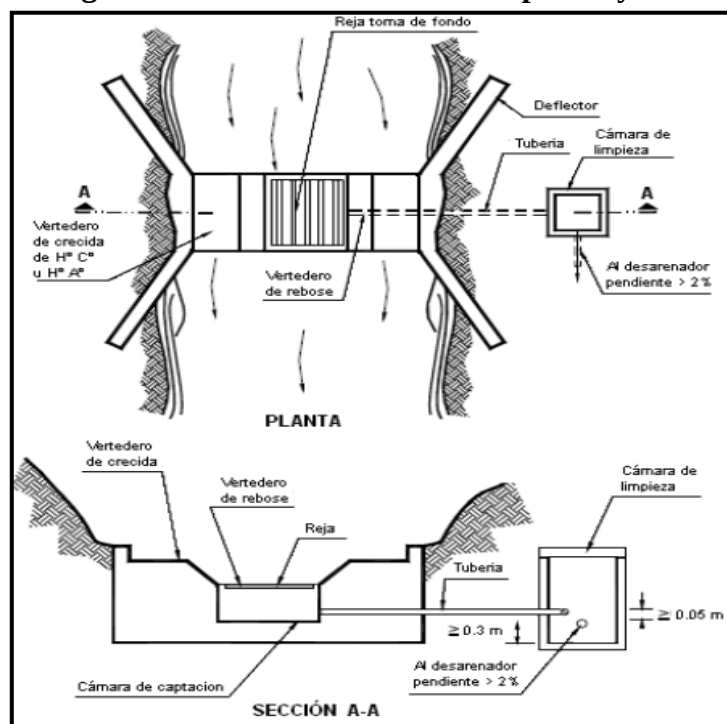
El principio de este tipo de obra de toma radica en lograr la captación en la zona inferior de escurrimiento. Las condiciones naturales de flujo serán modificadas por medio de una cámara transversal de captación.

Esta obra puede ser emplazada al mismo nivel de la solera a manera de un travesaño de fondo.

Sobre la cámara de captación se emplazará una rejilla la misma que habilitará el ingreso de los caudales de captación y limitará el ingreso de sedimento. El material que logre ingresar a la cámara será posteriormente evacuado a través de una estructura de purga.

La obra de toma en solera se denomina también azud de solera u obra de toma tipo tirolesa y puede ser empleada en cursos de agua con fuerte pendiente y sedimento compuesto por material grueso.

Figura 3.2 Toma Tirolesa vista de planta y corte



Fuente: Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable, Volumen 1 de 2

3.1.2.2 Aguas subterráneas

El agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo, en los distintos estados y relaciones de composición con la parte sólida y gaseosa, se conoce como agua subterránea. Representa una fase muy importante del ciclo hidrológico ya que la mayor parte del flujo en corrientes permanentes de agua proviene del agua subterránea. A su vez una parte del flujo en corrientes intermitentes puede filtrarse bajo la superficie

La **hidrogeología** es la ciencia que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas.

El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarca: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, figuración, su composición química, los rasgos geológicos y geotectónicos.

3.1.2.2.1 Acuíferos

Los materiales que permiten la acumulación y el movimiento del agua por debajo del suelo se denominan acuíferos, y constituyen la zona saturada.

Un acuífero es entonces aquella formación geológica que contiene agua y permite que cantidades significativas de la misma se muevan en su interior en condiciones naturales.

Los acuíferos se pueden dividir en:

- ❖ **Acuíferos libres.**-Están compuestos por un piso (roca) impermeable y el techo se encuentra en la superficie del terreno.

También son llamados freáticos o no confinados. Son acuíferos cuyo límite superior se corresponde con la superficie freática, en la cual todos los puntos se encuentran a presión atmosférica.

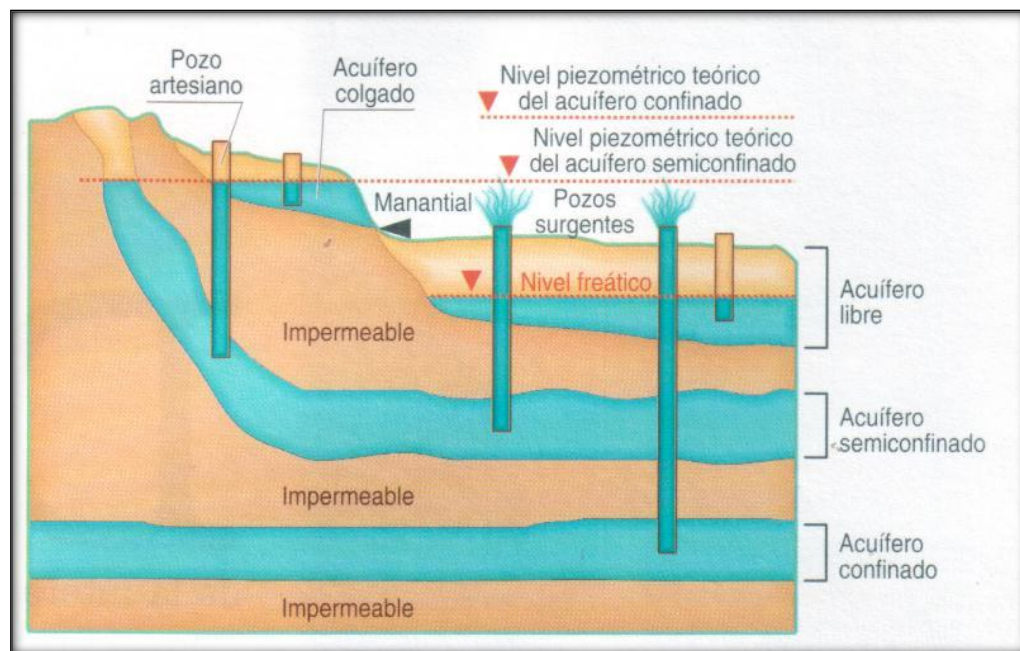
- ❖ **Acuíferos confinados.**- El acuífero se encuentra cubierto por un techo y apoyado sobre un piso, ambos impermeables. También son denominados

acuíferos “bajo presión”, dado que el agua se encuentra en ellos a mayor presión que la atmosférica. En un pozo que penetra en un acuífero de este tipo, el nivel del agua subterránea queda encima del techo del acuífero.

- ❖ **Acuíferos semi-confinados.**- Es un acuífero en el cual por lo menos una de las capas confinantes (techo o piso) es semipermeable (limos, limos arcillosos), permitiendo la entrada o salida de agua por drenaje ascendente o descendente.

En la figura 3.1. se puede observar los diferentes tipos de acuíferos.

Figura 3.3 Acuíferos libres, confinados y semiconfinados



Fuente: Página web <http://legado.inea.org>

3.1.2.2.2 Parámetros de uso general en acuíferos

Los parámetros que se tienen que tener en cuenta en un acuífero son: la porosidad, la permeabilidad o conductividad hidráulica, la transividad y el coeficiente de almacenamiento.

3.1.2.2.2.1 Porosidad

La porosidad de un material es la relación existente entre el volumen de vacíos o espacios ocupados por el agua, y el volumen total del material, expresado en porcentaje.

Algunos materiales típicos que conforman los acuíferos tienen las siguientes propiedades, como valores promedio:

Tabla 3.1- Materiales de los acuíferos

Material	Porosidad (%)	Rendimiento específico (%)	Permeabilidad ($\text{m}^3/\text{d}/\text{m}^2$)
Arcilla	45	3	0.0004
Arena	35	25	41
Grava	25	22	4100
Grava y arena	20	16	410
Arenisca	15	8	4.1
Cuarcito y granito	1	0.5	0.0004

Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

3.1.2.2.2.2 Permeabilidad o conductividad hidráulica

También llamado coeficiente de conductividad hidráulica, representa la velocidad promedio del flujo subterráneo a través del medio poroso saturado que compone el acuífero y sobre la cual influyen las propiedades del fluido, el tamaño de poros y granos del suelo, su textura y su estructura o empaquetamiento.

3.1.2.2.2.3 Transitividad

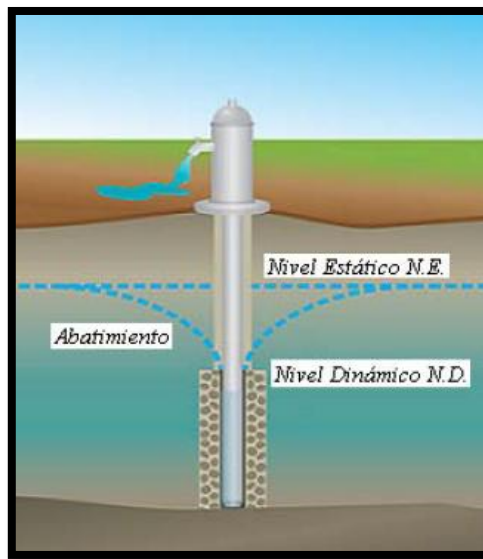
Es la capacidad de un acuífero de transmitir agua y es igual a la conductividad multiplicada por el espesor del acuífero.

3.1.2.2.3 Perforación de pozos

La obra de captación de una fuente subterránea la constituye el pozo o galería de infiltración.

A fin de lograr el mejor diseño es necesario establecer algunas definiciones y características de los pozos (Ver figura 3.2.).

Figura 3.4 Características de un pozo



Fuente: Página web [http:// ingenierocivilinfo.com](http://ingenierocivilinfo.com)

Nivel dinámico (ND): medida del nivel de agua de un pozo en producción, relativa a la superficie del terreno en el lugar.

Nivel estático (NE): medida de nivel de agua en un pozo, en reposo o estancamiento, relativo a la superficie del terreno en el lugar.

Abatimiento (m): la distancia vertical medida desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba. Con frecuencia este valor se obtiene de pruebas realizadas durante un aforo.

Un pozo para abastecimiento de agua se refiere a un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneos.

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción.

- ◆ Pozo excavado, aquel que se construye por medio de picotas, palas, etc., o equipos para excavación como cucharones de arena.
- ◆ Pozo taladrado, aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz
- ◆ Pozo a chorro, aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad.
- ◆ Pozo clavado, aquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta se clava en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados.
- ◆ Pozo perforado, la excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación.

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección contra la contaminación.

3.1.2.2.3.1 Métodos de perforación

Una perforación es un hueco que se hace en la tierra, atravesando diferentes estratos, entre los que puede haber unos acuíferos y otros no acuíferos; unos consolidados y otros no consolidados. Cada formación requiere un sistema de perforación determinado, por lo que a veces un mismo pozo que pasa por estratos diferentes obliga a usar técnicas diferentes en cada uno de los estratos.

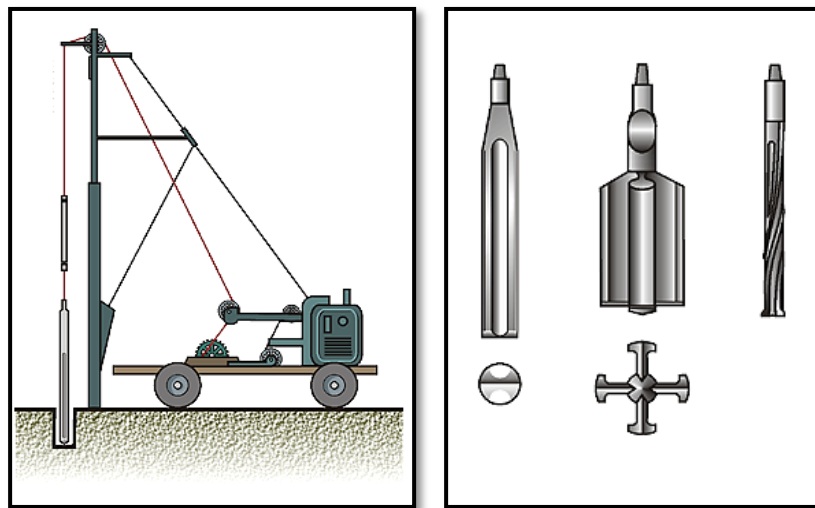
Existen métodos mecanizados y manuales para perforar pozos, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación. Así mismo, se emplea una combinación de ambas modalidades.

3.1.2.2.3.1.1 Perforación por percusión

El método se basa en la caída libre de un peso en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo. Las partes típicas de un equipo motorizado de perforación a percusión son:

- *Tren de rodaje*, estos equipos vienen generalmente montados sobre un chasis de acero sobre cuatro ruedas con neumáticos, pero también las hay montadas sobre un camión.
- *Bastidor*, es una caja de ángulos de acero y brazos articulados en donde se ubican las piezas vitales de la perforadora y soporta además a la torre.

Figura 3.5 a) Equipo motorizado de perforación y percusión **b)** El Trepano es la herramienta de rotura



Fuente: <http://www.ucm.es>

- *Mástil o Torre*, generalmente son de tipo telescópica y viene en dos tramos de 36 pies cuando está extendida y 22 pies cuando está recogida, con sus respectivos dispositivos de extensión. El largo de la torre está en función con la sarta de perforación.
- *Tiro de remolque*, es el mecanismo que va unido al tren de rodaje de la perforadora.

- *Motor*, para poder accionar todo el equipo de perforación se necesita un motor ya sea a combustión interna o con energía eléctrica como en el caso de algunos equipos soviéticos.

3.1.2.2.3.1.2 Perforación por rotación

Estos equipos se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca, trípico o trepano perforador

El trabajo de perforación se realiza mediante la ayuda del lodo de perforación el cual desempeña las siguientes funciones: evita el calentamiento de las herramientas durante la operación, transporta en suspensión el material resultante de la perforación hacia la superficie del terreno y finalmente formar una película protectora en las paredes del pozo para de esta manera impedir el desmoronamiento o el derrumbe del pozo.

Un equipo de perforación por rotación motorizado típico, tiene las siguientes partes:

- *Mesa de rotación*, Su función es la de recibir la fuerza necesaria del motor para poder girar la sarta desde perforación. Estas mesas pueden ser accionadas por acople directo o por engranajes y son redondas con tamaño de acuerdo a la magnitud del equipo de perforación. En el centro lleva una abertura que puede ser cuadrada o hexagonal por la que pasa la barra giratoria llamada Kelly.
- *Barra giratoria o Kelly*, es una barra generalmente cuadrada de 4" de lado y que pasa por el centro de la mesa rotatoria y recibe de esta el necesario movimiento giratorio para poder perforar. El extremo inferior se acopla a las brocas y el extremo superior al eslabón giratorio llamado Swivel que lo soporta conjuntamente con toda la sarta de perforación.

La barra es de acero de alta dureza y es hueca por el centro (2"), para de esta manera permitir el paso del lodo de perforación hidráulico.

El Kelly puede subir, bajar o detenerse cuantas veces lo desee el perforador mediante el accionamiento de los controles respectivos.

- *Swivel o eslabón giratorio*, es un mecanismo que va acoplado a la parte superior del Kelly, es una pieza hueca en el centro. Aquí se acopla la manguera que viene desde la bomba de lodos.
- *Drill pipe o tubería liviana de perforación*, tubería construida con acero especial y se usa agregándose cada vez que se introduce el Kelly totalmente en el pozo y vuelve a sacarse, ya que de esta manera se deja el espacio disponible para la tubería.
- *Drill collars o tubería pesada de perforación*, también conocida como Botellas o Sobrepeso. Son tubos de 6" ó más y de 10' a 20' de largo y con un peso de 500 a 700 Kg. Su finalidad es aumentar el peso de la sarta de perforación y conseguir fácilmente el corte con los triconos.
- *Triconos o brocas de perforación*, las brocas tienen la función de desagregación de las rocas durante la perforación de un pozo. Existe una amplia gama de triconos y cada uno está diseñado para determinadas desagregar rocas con determinadas características mecánicas y abrasivas.
- *Bomba de lodos*, su función principal es tomar el lodo de perforación de la poza de lodos y llevarla por la manguera hacia el Kelly y al fondo del pozo.

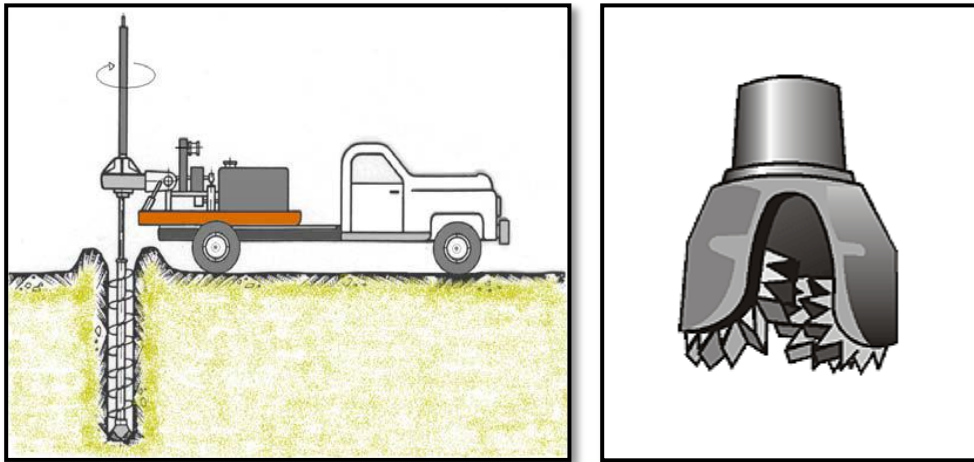
El lodo asciende a la superficie llevando en suspensión el detritus de la perforación.

Por un canal pasa a la poza de sedimentación donde se depositan por su propio peso partículas grandes y pesadas, arena, etc.

Del pozo de sedimentación el agua con menos material en suspensión pasa por medio de otro canal hacia el pozo principal donde nuevamente es bombeado al pozo, cerrando en ciclo.

- *Motor*, pueden ir acoplados al chasis del remolque o puede usarse el mismo motor del camión del equipo de perforación. La potencia depende de la magnitud del equipo de perforación.

Figura 3.6 a) Equipo motorizado de perforación por rotación. **b)** El tricono es la herramienta de perforación.



Fuente: <http://www.ucm.es>

3.1.2.2.3.1.3 Perforación manual

Existen diversos métodos de perforación manual, la mayoría de los cuales son por percusión.

Entre ellos tenemos:

Pala vizcacha, Es el modelo clásico manual para perforar pozos. Se perfora sin la inyección de líquidos, solamente escarbando en la tierra dando vuelta la broca mediante la manija. Una vez llena la broca hay que sacarla y vaciarla, sacando barra por barra afuera. Por ello es muy importante que las barras estén hechas de fácil conexión.

A golpes, Se usa en sedimentos blandos y consiste en usar tuberías de F°G° de diámetros de 1- 1/2" generalmente, y con una punta de acero que a la vez es filtro. Las piezas de tubería son de 1 a 2 m y se golpean con un combo o con aparatos especiales hasta hundirlo en el suelo y la profundidad que se puede alcanzar con este método está en los 20 m.

Los equipos de **perforación manual** con equipos artesanales tienen la ventaja de ser fáciles de construir y permiten perforar pozos de más de 70 m y a bajo costo.

Un equipo de perforación manual típico, tiene las siguientes partes:

➤ Torre de perforación:

- Dos o tres cuerpos de 1.30 m cada uno, de acero A-53
- Tres bases circulares de acero A-53
- Un ángulo L de acero A-36
- Un soporte de polea, de acero A-53
- Barras con sus respectivos pernos

➤ Tubería de perforación:

30 tubos de fierro galvanizado de 3/4" x 2 m de largo, roscados en un extremo y con una unión simple en el otro extremo, acondicionados con pestañas de fierro soldadas que encajan en la manija.

➤ Manija:

De fierro galvanizado de 1/2" x 0.50 m de largo con un dispositivo central abisagrado que permite encajar con las pestañas de los tubos de perforación, para posibilitar la acción de rotación de estos.

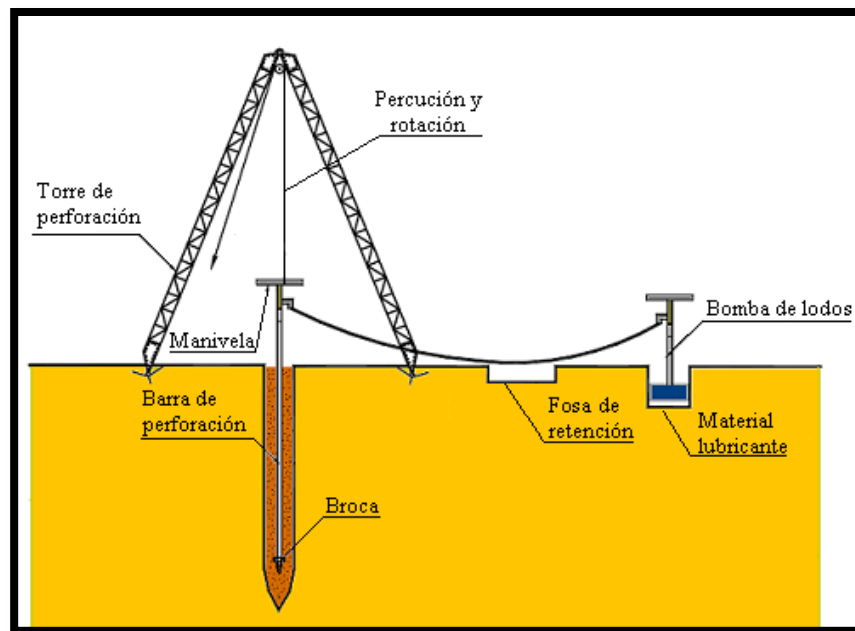
➤ Broca de perforación:

Construida con acero A-36, con diseño de acuerdo al tipo de terreno a perforar.

➤ Bomba de lodos:

De tubo galvanizado, con cilindro de 2" de diámetro, se conecta con la tubería de perforación mediante una manguera plástica de 6 m de longitud.

Figura 3.7 Equipo de perforación manual



Fuente: Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de agua potable, Volumen 1 de 2

➤ **Accesorios**

- Cuerda (soga) de 35 m de nylon para tirantes de la torre y para jalar los tubos de perforación a través de la polea.
- Cuatro estacas de acero estructural de 1" por 0.60 m, para anclar en el suelo los tirantes de la torre.
- Una plancha de acero en forma de U, para facilitar el retiro de los tubos una vez concluida la perforación del pozo.
- Un tornillo-herramienta que sirve para facilitar el armado y desarmado de los cuerpos de la torre

3.1.2.2.3.2 Perforación

En el proceso de la perforación se aumentaran barras según el avance, se cambiaran las herramientas de perforación: triconos, aletas y brocas de perforación, según al tipo de suelo y al desgaste que éstos presenten. En la figura se observa una máquina perforadora de pozos.

Figura 3.8 Maquinaria de perforación de pozos de agua



Fuente: Página web <http://www.anunico.com.bo>

➤ **Cementación de pozos**

Aparte de las cementaciones que se realizan con el objeto de formar un tapón de sellado en el fondo del pozo, o para corregir desviaciones, la principal finalidad de una cementación es la unión de la tubería de revestimiento con la pared del pozo.

➤ **Muestreo**

Se procede a un muestreo sistemático de las formaciones atravesadas a cada metro, con la descripción literal de las mismas, se anotan las anomalías en el avance de la perforación, acorde con la formación litológica hasta la finalización de la perforación, estas muestras extraídas son lavadas y analizadas, se guardan en bolsas de plástico enumerándolas para su posterior uso en el diseño de pozos por comparación de muestras.

➤ **Registro Geo-eléctrico**

Habiendo concluido el proceso de perforación del pozo piloto con un diámetro de 8 1/2" hasta la profundidad requerida se procede con el registro geoeléctrico, el cual consta de una computadora especial provista de cables, ginche, sonda corta y sonda larga, esta medirá los parámetros del suelo hasta llegar a la base del mismo, los datos son impresos en forma de gráficas.

➤ **Diseño del pozo**

Teniendo el registro geoeléctrico del pozo y las muestras del mismo, se procede a comparar metro a metro las características del subsuelo, lo cual definirá la cantidad y la longitud de los acuíferos encontrados en el mismo, de estos acuíferos se tomaran solo aquellos que presenten las mejores características hidrogeológicas, para tener por último la posición exacta de los filtros. Estos van al centro de los acuíferos con una longitud del 70 % de la longitud total del acuífero, la longitud total de filtros nos dará una relación de caudal aproximado en el pozo, esto junto con la velocidad de aporte del acuífero (conductividad del acuífero)

➤ **Entibado**

Determinada la verticalidad del pozo se procederá al entubado, este se lo arma de acuerdo al diseño en tramos de hasta 9 m de largo que es la capacidad de las torres de perforación, puede ser armado in situ o ya tenerlo listo en otro lugar, se produce a introducir todo el entubado ya preparado.

➤ **Dimensionamiento de los filtros**

El diámetro de la apertura de los filtros se calcula según al tamaño del material que se tiene en el acuífero que se está captando, de menor apertura si se tiene mucho material fino de aporte en el pozo, como ser arcilla fina, de mayor apertura para zonas en las que no se tiene material fino de aporte al pozo y la litología presenta material granular de tamaño considerable, su función es retener

el paso de limos y partículas pequeñas que puedan arruinar las bombas y las propiedades de agua como ser el color y la turbidez de la misma.

➤ **Desarrollo del pozo**

Los procedimientos diseñados para maximizar el caudal que puede ser extraído de un pozo se denomina desarrollo del pozo. El desarrollo de un pozo tiene dos objetivos principales:

Repara el daño hecho a la formación durante las operaciones de perforación, y así restaurar las propiedades hidráulicas del mismo.

Alterar las características físicas básicas del acuífero en las cercanías del hueco del pozo, de modo que el agua fluya libremente hacia el pozo.

➤ **Prueba de bombeo**

Es la última fase del pozo perforado en el cual se determina la calidad del pozo, esto es lo que pretendemos mejorar con un buen diseño y desarrollo del pozo.

Para este proceso se utiliza tubería de expulsión de 1½", bomba sumergible, esta con su respectivo tablero de control de electrodos de nivel, válvulas de no retorno en las tuberías de expulsión, llave de paso en la salida un caudalímetro conectado en la tubería de expulsión para aforar el pozo. En dicha prueba se determinará los parámetros hidráulicos del pozo:

NE: Nivel Estático

ND: Nivel Dinámico Cono de depresión o abatimiento

Q: Caudal de producción

T: Tiempo de recuperación

Qp: Caudal óptimo de producción

➤ **Desinfección**

La desinfección de la tubería de revestimiento y filtros serán tratados con cloración, terminada la prueba de bombeo durante 24 Horas, la cantidad de cloro

a utilizarse dependerá del pH y de la temperatura del agua en un tiempo y de la temperatura del agua en un cierto periodo de contacto junto con otros valores que dependerán de la zona a tratarse.

➤ **Sello sanitario**

El sello sanitario propuesto en un núcleo impermeable de arcilla compactada alrededor de la tubería del pozo la cual sirve para evitar el ingreso de las aguas superficiales por infiltración al pre-filtro natural constituido por el empaque de grava, para proceder armar encima de este, una superficie rectangular de hormigón ciclópeo de 1m^3 en el cual se empotran los engravilladores los cuales tienen 2 metros de largo con un empotre de un 1m por debajo del sello sanitario conectado con la grava del pozo, los cuales sirven para aumentar grava a medida que esta baje en el pozo (asentamiento del empaque de grava).

Por seguridad se fabrica una tapa para el pozo la cual es del mismo diámetro que la tubería utilizada en el entubado, esta se la coloca enroscada en la tubería para evitar que pueda entrar en el pozo cualquier objeto que pueda dañar la bomba o los filtros de este.

3.1.2.3 Aguas de lluvia

La fuente de abastecimiento pluvial puede considerarse como:

- Fuente principal de consumo todo el año.
- Fuente complementaria a otra fuente para suministro de agua durante periodos limitados.

3.1.2.3.1 Información necesaria

- a) Determinación de la demanda.
- b) Determinación de la oferta.
- c) Datos de precipitación pluvial.

d) Tipo de superficie de recolección.

3.1.2.3 Captación de aguas de lluvia para consumo humano

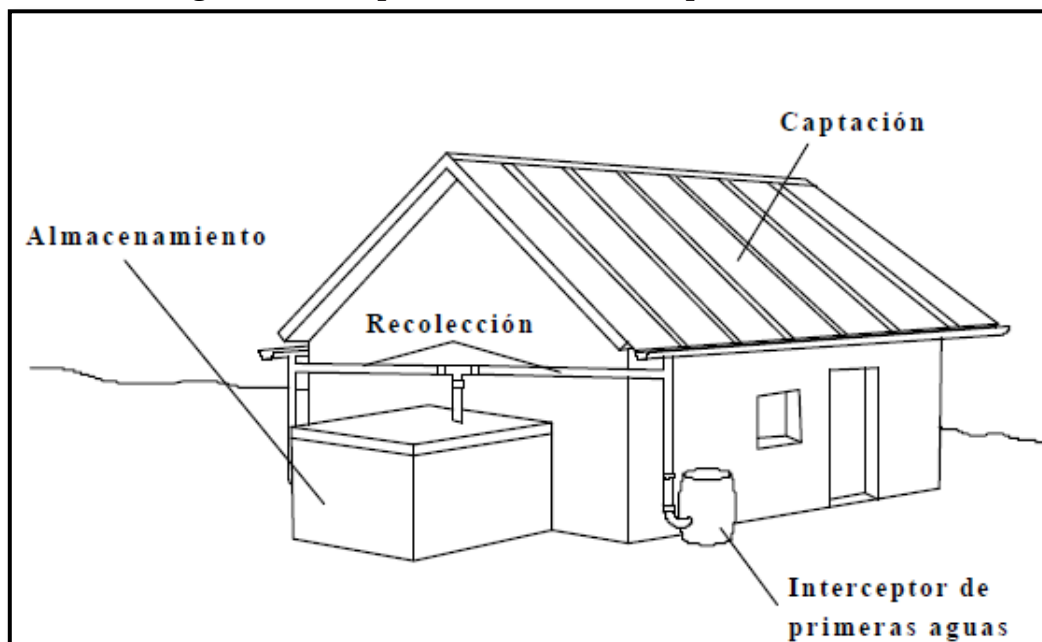
El sistema de captación de aguas de lluvia se aplica a las zonas rurales o urbanas marginales, donde la captación de aguas superficiales o subterráneas no es factible, resulta insuficiente o la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas no son aptas para consumo.

El diseño del sistema de captación de agua de lluvia, debe estar basado en los datos de precipitación mensual de por lo menos 10 años.

La demanda de agua para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia debe considerar un mínimo de 4 (cuatro) litros de agua por persona – por día, para ser destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene personal.

El sistema de captación de agua de lluvia para consumo humano se compone de: Captación, recolección, sistema interceptora, almacenamiento, tratamiento.

Figura 3.9 Componentes sistema de captación de lluvia



Fuente: “Guía de diseño para captación del agua de lluvia”, Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural.

3.1.2.3.1 Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.

3.1.2.3.2 Recolección y Conducción.

Este componente es una parte esencial, ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

3.1.2.3.3 Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo.

3.1.2.3.4 Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones.
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

3.1.3 Selección de fuentes de agua

Para la selección se deben considerar alternativas técnico-económicas factibles, tomando en cuenta lo siguiente:

- a) La cantidad del agua.
- b) La calidad del agua.
- c) Ubicación respecto al centro de la población a ser abastecida (distancia y altura).
- d) Posibilidad de construir una obra de captación.
- e) Adicionalmente, se deben considerar eventuales efectos ambientales.

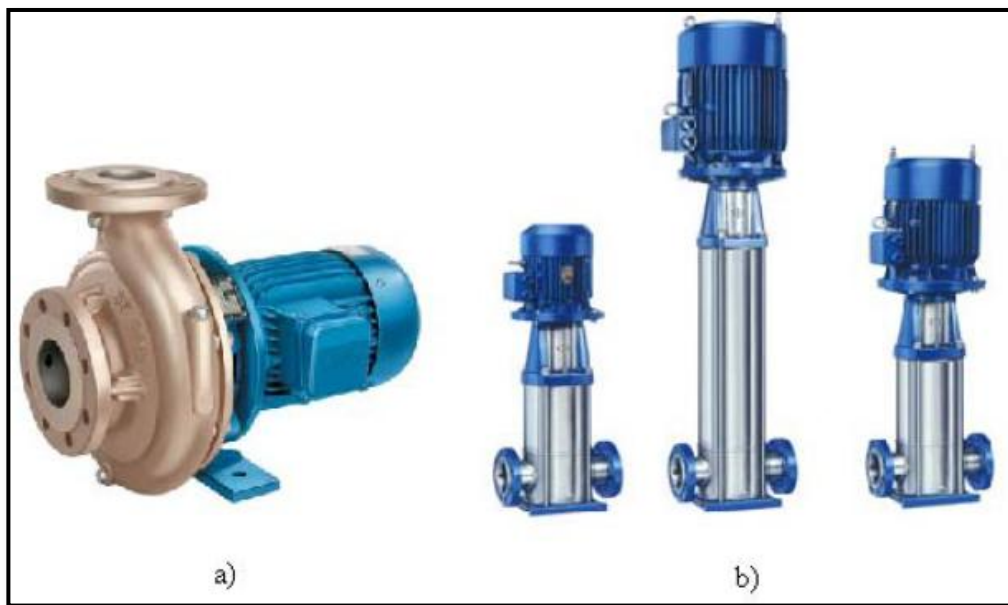
3.2 Tipos de bombas

Las bombas roto dinámicas se clasifican de acuerdo a la forma de sus rotores (impulsores).

3.2.1 Bombas centrífugas

Están constituidas por una caja dentro de la cual rota un rodete que le imprime gran velocidad al líquido. La altura de velocidad se transforma en presión.

Figura 3.10 a) Bomba centrífuga b) Bombas centrífugas verticales



Fuente: Página web <http://www.speck-pumpen.net>

3.2.1 Bombas axiales

Se constituyen cuando la carga de la bomba debe ser aún menor en relación con el caudal, que en los casos anteriores. El impelente de este tipo de bombas está provisto de paletas que inducen el flujo del líquido bombeado en dirección axial

En este tipo de bombas las paletas directrices se colocan en muchas ocasiones antes del impelente. Estas bombas se usan para manejar grandes caudales del líquido contra

cargas de bombeo relativamente pequeñas, y en ellas, no se puede hablar de fuerza centrífuga en la transmisión de energía a la corriente.

Figura 3.11 a) Bomba axial b) Corte esquemático de una bomba axial

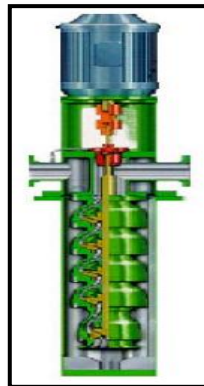


Fuente: Página web [http:// www.aguamarket.com](http://www.aguamarket.com)

3.2.2 Bombas mixtas

Se construyen dándole al impelente una forma tal que las paletas ya no quedan dispuestas en forma radial, esto se hace, sobre todo, cuando el caudal de la bomba es grande y el diámetro del tubo de succión también es grande, en relación con el diámetro que debe darse al impelente para producir la carga requerida. Cuando con un impelente de flujo diagonal o mixto se quiere obtener un caudal mayor, en relación con la carga suministrada al fluido, el diseño de impelente se modifica y se produce lo que se conoce como rodete de tipo helicoidal

Figura 3.12 Bomba mixta



Fuente: Página web [http:// www.aquasistemas.com](http://www.aquasistemas.com)

3.2.3 Bombas sumergibles

Son bombas que tiene un motor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido

La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Figura 3.13 Bomba Sumergible



Fuente: Página web [http:// www.pumpsgp.com](http://www.pumpsgp.com)

3.3 Redes de distribución

Ahora bien, el diseño de una red de distribución incluye la determinación de los diámetros de las tuberías, las dimensiones y el emplazamiento de los tanques de regularización y almacenamiento, las características y la ubicación de los dispositivos de bombeo y control de presión. Estos deben seleccionarse de forma que se garanticen las demandas de agua con las presiones mínimas y máximas permisibles, asegurando así que no deterioren la operación de la red. Se considera que su diseño es

óptimo cuando se asegura el costo de construcción, operación y mantenimiento de la red. Además de contemplar el costo de tuberías, tanques, bombas, debe considerarse el de la energía eléctrica para su operación.

3.3.1 Tipos de red

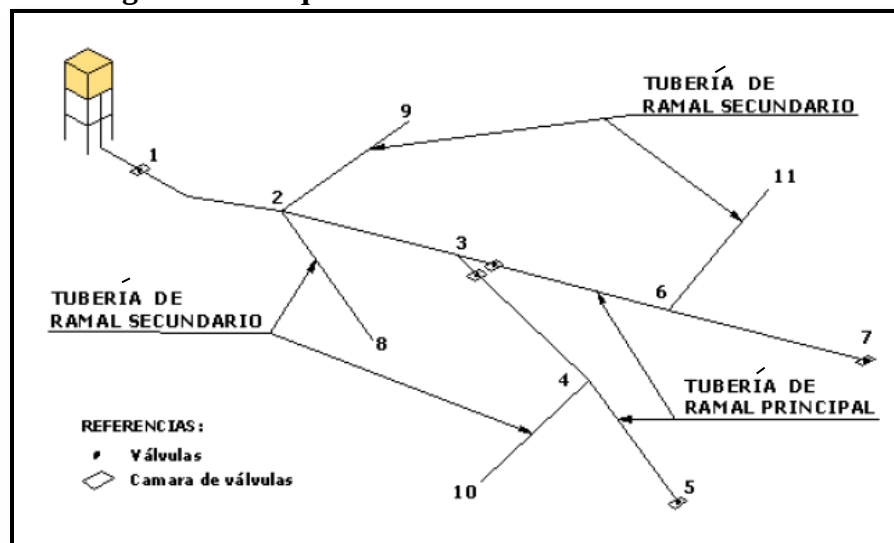
Básicamente existen tres tipos de redes de agua potable:

- Red abierta o ramificada
- Red cerrada o anillada
- Red mixta o combinada

3.3.1.1 Red abierta o ramificada

La red abierta está constituida por tuberías que tienen la forma ramificada a partir de una línea principal; puede emplearse en poblaciones semi-dispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado (Ver figura 3.14).

Figura 3.14 Esquema de una red abierta o ramificada

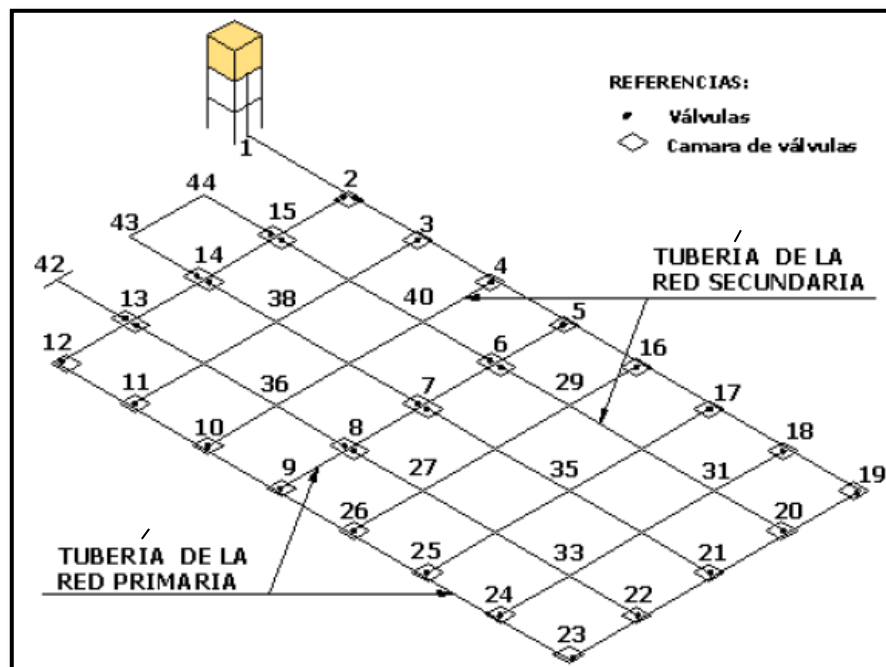


Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

3.3.1.2 Red cerrada o anillada

Son también conocidas como sistemas de circuitos cerrados. Su característica primordial es tener algún tipo de circuito cerrado (*loop*, en inglés) en el sistema. El objeto es tener un sistema redundante de tuberías: cualquier zona dentro del área cubierta por el sistema puede ser alcanzada simultáneamente por más de una tubería, aumentando así la confiabilidad del abastecimiento. Este tipo de red que usualmente conforma el sistema de distribución de agua potable de una zona urbana o rural.

Figura 3.15 Esquema de una red cerrada con tuberías secundarias interconectadas



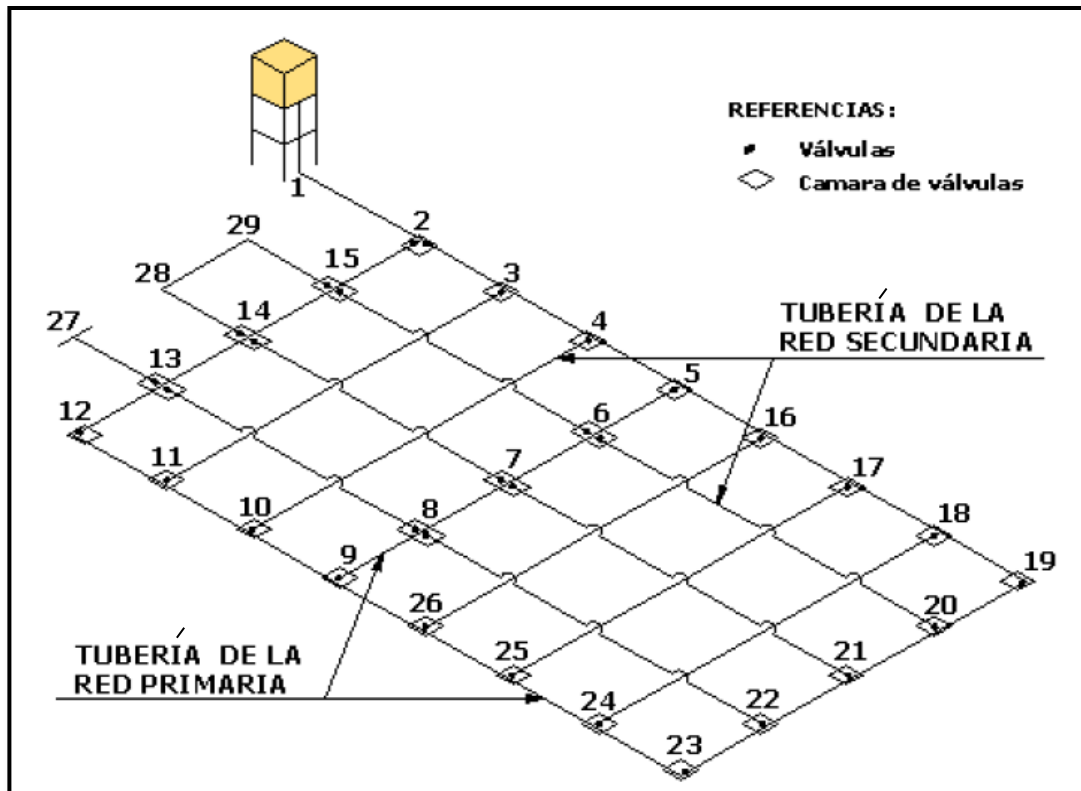
Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

En la figura anterior se muestra, según la norma Colombiana, que con esta disposición de válvulas y tuberías se pueden aislar algunas tuberías secundarias sin interrumpir el servicio en el resto de la zona. Este esquema original adoptado en muchas ciudades de Bolivia.

En la figura 3.16 se muestra una red de distribución de acuerdo norma brasileña. El sistema está compuesto por tuberías de relleno sin interconexión, lo cual determina

una gran economía en accesorios, y algunas tuberías secundarias sin conexión en el sistema de la red cerrada.

Figura 3.16 Esquema de una red cerrada con tuberías secundarias sin conexión



Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

En general, las redes matrices son redes abiertas mientras que las redes secundarias son redes cerradas en el sentido de que están conformadas por circuitos. Sin embargo, puede haber casos en que las redes matrices contengan circuitos y que parcialmente las redes de distribución sean abiertas. Pero la tradición en ingeniería hidráulica y sanitaria ha sido conformar las redes menores siguiendo el trazado de las manzanas de las ciudades, constituyendo así redes con circuitos y aumentando la confiabilidad del suministro ya que el agua pueda llegar a un sitio por diferentes caminos.

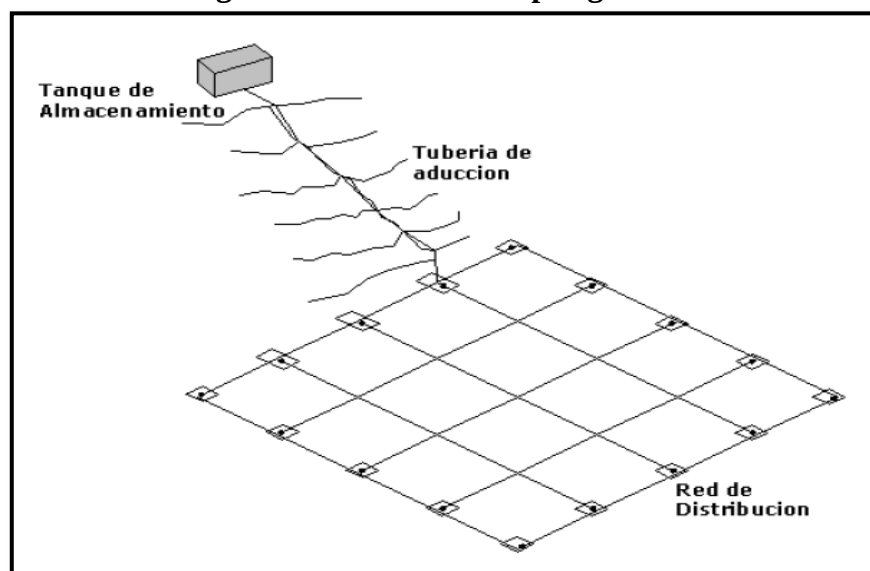
3.4 Formas de distribución

De acuerdo a condiciones topográficas, la ubicación de la fuente respecto a la red y al tanque de almacenamiento, motivará diversas formas de suministro de agua a la red de agua potable.

3.4.1 Distribución por gravedad

La distribución por gravedad se aplica cuando la obra de captación y/o tanque de almacenamiento se encuentra en un nivel superior a la red de distribución y se garantice presión suficiente en toda la red (Ver figura 3.17).

Figura 3.17 Distribución por gravedad



Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

3.4.2 Distribución por bombeo directo a la red

La distribución por bombeo puede aplicarse cuando la ubicación de la obra de captación o tanque de almacenamiento no garantiza presión suficiente en toda la red, por lo que es necesario utilizar dispositivos y equipos que impulsen el agua a través de la red.

CAPÍTULO IV (INGENIERÍA DEL PROYECTO)

4.1 Parámetros de diseño

4.1.1 Índice de crecimiento poblacional

El Índice de Crecimiento Poblacional, se determinará para la localidad beneficiada, según información obtenida del último Censo Nacional del INE.

Según el censo nacional realizado en 2.001 se tiene para la ciudad de Tarija un índice de 3,77 %.

4.1.2 Periodo de diseño

Los factores que intervienen en la selección del periodo de diseño son:

- Vida útil de las estructuras y equipos tomando en cuenta la obsolescencia, desgaste y daños.
- Ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto.
- Cambios en el desarrollo social y económico de la población.
- Comportamiento hidráulico de las obras cuando estas no estén funcionando a su plena capacidad.

El periodo de diseño debe ser adoptado en función del componente del sistema y la característica de la población, según lo indicado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 - Periodo de diseño (años)

Componentes del sistema	Población menor a 20.000 habitantes	Población mayor a 2.0000 habitantes
Obra de captación	10 a 20	30
Aducción	20	30
Pozos profundos	10	15 a 20
Estaciones de bombeo	20	30

Plantas de tratamiento	15 a 20	20 a 30
Tanques de almacenamiento	20	20 a 30
Redes de distribución	20	30
Equipamiento		
Equipos eléctricos	5 a 10	5 a 10
Equipos de combustión interna	5	5

Fuente: Norma Boliviana NB -689

Según las características de la población y los componentes del sistema, se adopta 20 años para el periodo de diseño.

4.1.3 Población del proyecto

4.1.3.1 Población futura

Es el número de habitantes que ha de ser servido por el proyecto para el período de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial¹.

El barrio 27 de Mayo, en la actualidad tiene una población de 346 habitantes distribuidos en 33 manzanos de los cuales 3 son áreas verdes.

Para obtener la población beneficiaria del proyecto la Norma Boliviana para el Diseño de Sistemas de agua potable (NB-689), ofrece al proyectista una variedad de métodos de crecimiento, tales como: el método aritmético, geométrico y exponencial.

Para el cálculo de la población futura es necesario:

Datos:

Población inicial **P₀** = 346 habitantes

Índice de crecimiento poblacional anual **i** = 3,77 %

Periodo de diseño: **t** = 20 años

¹ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

De los que obtenemos los siguientes resultados:

Método Aritmético. $Pf = Po * \left(1 + \frac{i * t}{100}\right) = 607 \text{ hab.}$

Método Geométrico. $Pf = Po * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t = 726 \text{ hab.}$

Método Exponencial. $Pf = Po * e^{\left(\frac{i * t}{100}\right)} = 736 \text{ hab.}$

4.1.3.1.1 Aplicaciones de los métodos

Los métodos de crecimiento a emplearse deben ser aplicados en función al tamaño de la población de acuerdo a lo especificado en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Aplicación de los métodos

Método	Población habitantes			
	Hasta 5000	De 5.001 a 20.000	De 20.001 a 10.0000	Mayores a 100.000
Aritmético	x	x		
Geométrico	x	x	x	x
Exponencial	x	x	x	x

Fuente: NB -689, Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable

Tabla 4.3 Resultados población futura

Método	Población Futura (Hab.)
Aritmético	607
Geométrico	726
Exponencial	736

Fuente: Elaboración propia

Se utiliza el resultado del método exponencial, ya que con este método podemos obtener una población futura mayor que los demás métodos utilizados.

Algunos de los factores más relevantes para el cálculo de la población futura por el método exponencial, es el índice de crecimiento poblacional el cual es igual al índice de crecimiento de la ciudad de Tarija.

4.1.4 Consumo de agua

Para la determinación de los consumos per cápita se han utilizado las dotaciones recomendadas por la Norma Boliviana para el diseño de sistemas de agua potable (NB-689), las cuales se reflejan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Dotación media diaria (l/hab-d)

Zona	Dotación Media diaria (l/ hab - d)					
	Población (habitantes)					
	Hasta 500	501- 2.000	2001- 5.000	5001- 2.0000	20001- 10.0000	>10.0000
Altiplano	30-50	30-70	50-80	80-100	100-150	150-200
Valles	50-70	50-90	70-100	100-140	150-200	200-300
Llanos	70-90	70-110	90-120	120-180	200-250	250-350

Fuente: NB -689, Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable

Considerando el rango de dotación de 50 – 90 l / hab – d, carácter valido para una población comprendida entre 500 a 2000 habitantes en una zona de valles, se adopta para el proyecto una dotación de 90 l/ hab – d, considerando la disponibilidad de agua.

Se incrementó la dotación media diaria de acuerdo a los factores que afectan el consumo, aplicando una variación anual en la dotación del 2%, justificando tal con la necesidad de realizar el mayor aprovechamiento de agua.

Se calculó una dotación futura para un periodo de diseño de 20 años, el mismo es recomendado por la Norma Boliviana (NB – 689), obteniendo:

Dotación media diaria **Di** = 90 l / hab-d

Variación anual de la dotación **d** = 2 %

Periodo de diseño **t** = 20 años

$$Df = Di * \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t = 134 \text{ l / hab-d}$$

4.1.5 Caudales de diseño

Los caudales de diseño deben ser estimados para el dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de agua potable ². Para ello se debe considerar un caudal medio diario, un caudal máximo diario y un caudal máximo horario, aplicando los respectivos coeficientes de variación en función a las características de la población beneficiada con el proyecto.

Caudal medio diario

Datos:

Población futura **Pf** = 736 hab.

Dotación futura **Df** = 134 l / hab-d

$$Q_{med} = \frac{Pf * Df}{86400} = 1,14 \text{ l / s}$$

Caudal máximo diario

Datos:

Caudal medio diario: **Qmed** = 1,14 l / s

Coeficiente de variación diaria: **k₁** = 1,20 – 1,50 = 1,50

$$Q_{max. d} = k_1 * Q_{med} = 1,71 \text{ l / s}$$

² Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Caudal máximo horario

Datos:

Caudal máximo diario $Q_{\max.d} = 1,71 \text{ l/s}$

Coefficiente de variación horario $k_2 = 2,20$

Tabla 4.5 Valores del coeficiente k_2

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2.000	2,20 – 2,00
De 2.001 a 10.000	2,00 – 1,80
De 10.001 a 100.000	1,80 – 1,50
Más de 100.000	1,5

Fuente: NB -689, Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable

$$Q_{\max.h} = k_2 * Q_{\max.d} = 3,77 \text{ l/s}$$

4.2 Calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico y fisicoquímico, fue realizada de manera comparativa con los parámetros de control establecidos en la Norma Boliviana, Agua Potable Requisitos y Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, (NB-512).

Los estudios y ensayos necesarios para determinar la calidad del agua fueron efectuados por el laboratorio de PRODASUT, la muestra fue obtenida directamente del agua bombeada desde el pozo.

Los resultados fueron en la mayoría favorables para el proyecto, los valores obtenidos son menores a los valores máximos establecidos por la Norma Boliviana (NB-512), excepto los parámetros de turbiedad y color aparente.

Tabla 4.6 Análisis físico – químico

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	Valor Máximo permitido
Análisis físico			
Color Aparente	UCV	64	15
Olor		Ninguno	Ninguno
Sabor		Ninguno	Ninguno
Turbiedad	UNT	6,78	5
Sólidos disueltos Totales	mg/l	14	1.000
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	65,4	500
pH(23.3 °C)		7,5	6,5 – 9,0
Análisis químico			
Amonio	mg/l NH ₄	0,01	4
Amoniaco	mg/l NH ₃	0,01	0.5
Calcio Total	mg/l Ca	13,43	200
Cloruros	mg/l Cl	4,5	250
Cobre	mg/l Cu	0	1
Cromo total (Hexavalente)	mg/l Cr ⁺⁶	0	0.05
Fluoruros	mg/l F	0	1,5
Hierro Total	mg/l Fe	0,31	0.3
Magnesio Total	mg/l Mg	7.78	150
Manganeso	mg/l Mn	0,1	0,1
Nitritos	mg/l NO ₂	0,006	0,1
Nitratos	mg/l NO ₃	1,9	45
Parámetros de control			
Conductividad (23.9 °C)	µS/cm	254	1.500
Alcalinidad Total	mg/l CaCO ₃	72	370

Fuente: PRODASUT

4.3 Captación de agua

Según las características hidrológicas y geográficas que presenta la zona, tratándose de un sistema urbano, se tienen dos alternativas de captación,

1. La conexión al sistema general de la ciudad.
2. La captación de aguas subterráneas profundas.

Siendo la segunda opción la alternativa técnica óptima para el proyecto. La conexión al sistema general significa requerir de mayores caudales para el abastecimiento de esta zona, y además de cumplir otros requisitos previos a su construcción. Por el contrario dentro de esta zona existe un pozo perforado con características hidrogeológicas favorables para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

A continuación se presenta una tabla de los resultados técnicos del pozo y la prueba de bombeo realizada por PRODASUT.

Tabla 4.7 Resultados técnicos del pozo

Tipo de fuente de abastecimiento	Aguas subterráneas
Caudal de prueba(l/s)	6,7
Nivel estático (N.E.)(m)	58,03
Nivel dinámico (N.D.) (m)	64,16
Diámetro entubado	6"
Profundidad perforada (m)	156,5
Ubicación de la bomba (m)	96

Fuente: PRODASUT

De donde se confirmó que el caudal de producción del pozo es de 8 litros por segundo (28.800 litros por hora de bombeo)

Con la finalidad de prolongar la vida útil del pozo se recomienda realizar la explotación del pozo con un caudal de hasta 6 litros por segundo con lo que se tendría un nivel dinámico de 64 m, pudiendo ubicar la bomba a una profundidad de 70 m.

4.4 Estación de bombeo

La estación de bombeo deberá ser ubicada en el mismo sector donde esta perforado el pozo, deberá contar con todo el equipamiento necesario para el funcionamiento como ser: caseta de bombeo, bomba, válvulas de regulación y control, interruptores de

máximo y mínimo nivel, tableros de protección y control eléctrico, equipo de montaje y mantenimiento, sistema de ventilación y cerco de protección.

En la Tabla 4.8 se presentan las posibles alternativas de empleo de bombas respecto al tipo de fuente.

Tabla 4.8 Tipos de bombas eléctricas recomendables por tipos de fuente

Tipos de fuente	Tipo de bomba recomendable
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba neumática o jet
Pozo excavado y cámara de bombeo	Bomba centrífuga vertical sumergible Bomba axial vertical sumergible Si $h_s < 4$ m (h_s = altura de succión) - Bomba centrífuga horizontal, no sumergible - Bomba centrífuga vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil) Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil)

Fuente: Norma Boliviana NB – 689

Se empleará en el proyecto una bomba centrífuga vertical sumergible, debido a que la profundidad del pozo es mayor a 30 metros, tal distancia no permite el funcionamiento de un sistema de bombeo horizontal.

4.4.1 Caudal de bombeo

Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye tanque de almacenamiento posterior a la estación de bombeo la capacidad de la tubería de succión (si

corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo³.

Datos:

Caudal máximo diario: **$Q_{\max.d} = 1,71 \text{ l/s}$**

Número de horas de bombeo: **$N = 7 \text{ horas}$**

$$Q_b = Q_{\max.d} * \frac{24}{N} = 5,87 \text{ l/s}$$

4.4.2 Cálculo de diámetro de la tubería de impulsión

Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que no son operadas continuamente, debe emplearse la siguiente fórmula:

Datos:

Número de horas de bombeo **$N = 7 \text{ hr}$**

Caudal de bombeo **$Q_b = 5,87 \text{ l/s} = 0,0059 \text{ m}^3/\text{s}$**

$$d = 1.30 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Q_b} = 0,073 \text{ m} = 2,88 \text{ plg.}$$

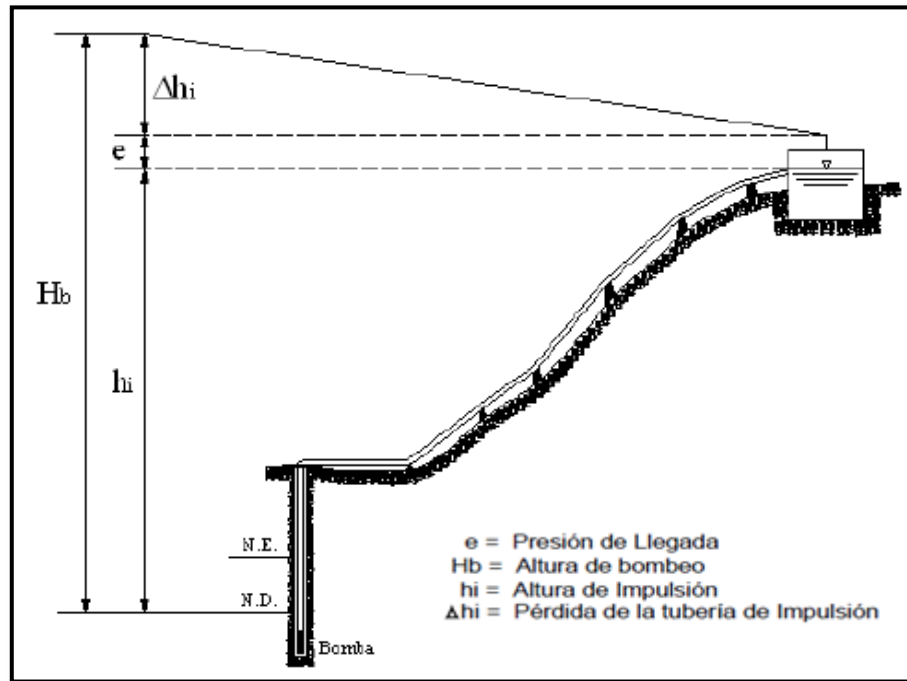
Utilizando un diámetro comercial de 3 pulgadas (0,0762 m).

4.4.3 Altura total de bombeo de bombeo

Para este se debe tomar en cuenta la altura geométrica de impulsión, la pérdida de carga en la tubería de impulsión y la presión de llegada. Estos factores se diagraman en la siguiente figura.

³ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Figura 4.1 Altura de bombeo, bomba sumergible



Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

Datos:

Altura geométrica de impulsión $h_i = 95,04\text{m}$

Altura de pérdida de carga en tubería $\Delta h_i = 14,63\text{ m}$

Altura mínima de llegada al tanque $e = 2\text{ m}$

$$H_b = h_i + \Delta h_i + e = 111,66\text{ m}$$

El detalle del cálculo de la altura de pérdida de carga en la tubería se muestra a continuación:

Datos:

Longitud total de impulsión $L_{\text{total}} = 506,67\text{ m}$

Coeficiente de Hazen Williams $C_{\text{HW}} = 120$ (Coeficiente para acero galvanizado)

Caudal de bombeo $Q_b = 5,87\text{ l/s} = 0,00587\text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro de impulsión

$$d = 3 \text{ plg.} = 0,0762$$

$$h_f = \frac{10,668 Q_b L}{C_{HW}^{1,852} d^{4,87}} = 14,63 \text{ m}$$

El coeficiente C_{HW} es función del material y la antigüedad de la tubería. En la Tabla 4.8 se presentan los valores más empleados.

Tabla 4.10 Valores del coeficiente C_{HW} de Hazen Williams

Material	Condición	Diámetro	CHW
Hierro dulce	Nuevo	Todos	130
	5 años de edad	$d \geq 300$	120
		$200 \leq d \leq 250$	119
		$100 \leq d \leq 150$	118
	10 años de edad	$d \geq 600$	113
		$300 \leq d \leq 500$	111
		$100 \leq d \leq 250$	107
	20 años de edad	$d \geq 600$	100
		$300 \leq d \leq 500$	96
		$100 \leq d \leq 250$	89
	30 años de edad	$d \geq 760$	90
		$400 \leq d \leq 500$	87
		$100 \leq d \leq 350$	75
	40 años de edad	$d \geq 760$	83
		$400 \leq d \leq 600$	80
		$100 \leq d \leq 350$	64
	50 años de edad	$d \geq 1000$	77
		$600 \leq d \leq 900$	74
		$100 \leq d \leq 500$	55
Acero soldado	Constante	$d \geq 300$	120
		$200 \leq d \leq 250$	119
		$100 \leq d \leq 150$	118
Acero brido	Constante	$d \geq 600$	113
		$300 \leq d \leq 500$	111
		$100 \leq d \leq 250$	107
Madera	Constante	Todos	120
Concreto	Formaleta de acero	Todos	140
	Formaleta de madera	Todos	120

	Centrifugado	Todos	135
Arcilla vitrificada	Buenas condiciones	Todos	100
PVC	Constante	Todos	150
Asbesto-cemento	Constante	Todos	140
Mampostería	Constante	Todos	100
Cobre	Constante	Todos	130-140
Hierro galvanizado	Constante	Todos	120
Latón	Constante	Todos	130
Vidrio	Constante	Todos	140

Fuente: Hidráulica de tuberías, Juan Saldarriaga

4.4.4 Potencia del equipo de bombeo

Tomando las anteriores consideraciones tenemos:

Datos:

Caudal de bombeo $Q_b = 5,87 \text{ l/s} = 0,0058 \text{ m}^3/\text{s}$

Altura manométrica total $H_b = 111,67 \text{ m}$

Eficiencia del sistema de bombeo $\eta = 75 \%$

Peso específico del agua $\gamma = 1.000 \text{ kgf/m}^3$

$$P_b = \frac{Q_b * H_b * \gamma}{75 * \eta} = 11,65 \text{ CV} = 11,49 \text{ HP}$$

4.4.5 Cálculo del golpe de ariete

El golpe de ariete se produce al cortar repentinamente el flujo de agua en la tubería transformando la energía cinética del líquido en energía elástica que es absorbida por la masa de agua y la tubería⁴.

Datos:

Material Fierro galvanizado

Módulo de elasticidad del agua $K = 2 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$

⁴ Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10.000 habitantes, 2005

Diámetro interno de la tubería	d = 0,076 m
Espesor de la paredes de la tubería	e = 0,005 m
Módulo de elasticidad de la tubería	E = 2,1 x 10 ¹⁰ kg / m ²
Peso específico del agua	w = 1000 kfg / m ³
Velocidad de bombeo	Vb = 1.29 m / s
Aceleración de la gravedad	g = 9,81 m / s ²

Velocidad de propagación de la onda de agua

$$V_w = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K * d}{e * E}}} = 1326.96 \text{ m / s}$$

Golpe de ariete

$$P = \frac{w * V_w * V_b}{g} = 174.125,75 \text{ kgf /m}^2$$

La sobrepresión generada por el golpe de ariete es: P = 174,12 m.c.a.

Aplicando las fórmulas recomendadas por la Norma Boliviana (NB – 689) se realiza el dimensionamiento de la tubería de impulsión, del cual resulta un diámetro de 3” , dicha tubería tiene que ser de una material que soporte presiones altas producidas por el golpe de ariete, de tal manera es recomendable utilizar un tubería de hierro galvanizado.

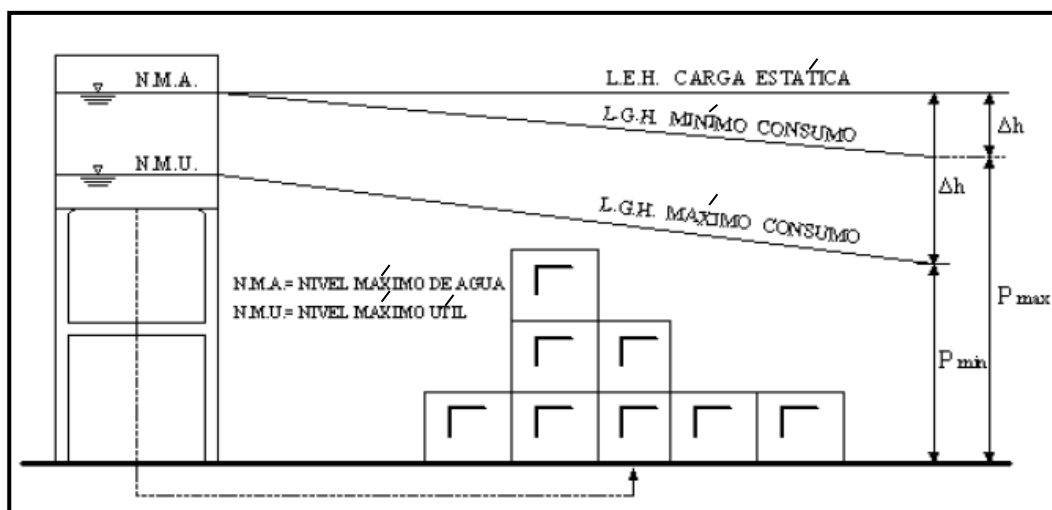
4.5 Diseño del tanque de almacenamiento

El diseño del tanque de almacenamiento tiene como objetivo mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua⁵.

4.5.1 Ubicación del tanque

La ubicación y nivel del tanque de almacenamiento deben ser fijados para garantizar que las presiones dinámicas en la red de distribución se encuentren dentro de los límites de servicio. El nivel mínimo de ubicación viene fijado por la necesidad de que se obtengan las presiones mínimas y el nivel máximo viene impuesto por la resistencia de las tuberías de la red de distribución. La presión dinámica en la red debe estar referida al nivel de agua mínimo del tanque, mientras que la presión estática al nivel de agua máximo (Ver figura 4.2)

Figura 4.2 Ubicación del tanque



Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

Por razones económicas, sería recomendable ubicar el tanque próximo a la fuente de abastecimiento o de la planta de tratamiento y dentro o en la cercanía de la zona de mayores consumos⁶.

⁵ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

⁶ Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I, 2008.

El área para el emplazamiento del reservorio no debe situarse en lugares que constituyan escurrimiento natural de aguas de lluvia.

Cuando una zona de emplazamiento para un tanque de almacenamiento no presente cota suficiente para garantizar las condiciones de presión necesarias para el funcionamiento de la red, la distribución debe ser realizada a partir de un tanque elevado.

4.5.2 Capacidad del tanque de almacenamiento

4.5.2.1 Volumen de regulación

Para sistemas por bombeo, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15 a 25% del consumo máximo diario, dependiendo del número y duración de las horas de bombeo⁷.

Datos:

Caudal máximo diario **$Q_{\max.d} = 147,94 \text{ m}^3 / \text{día}$**

Coeficiente de regulación **$C = 0,25$**

Tiempo de regulación **$t = 1 \text{ día}$**

$$V_r = C * Q_{\max.d} * t = 36,98 \text{ m}^3$$

4.5.2.2 Volumen contra incendios

Este volumen está destinado a garantizar un abastecimiento de emergencia para combatir incendios.

El volumen contra incendios debe ser determinado en función de la importancia, densidad de la zona a servir y tiempo de duración del incendio.

Se debe considerar los siguientes casos:

⁷ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Tabla 4.11 Caudal contra incendios

Densidad poblacional (hab. /ha)	Qi (l/s)
< 100	10
100 - 300	16
> 300	32

Fuente: NB -689, Instalaciones de agua - Diseño para sistemas de agua potable

La densidad poblacional es igual a 63 habitantes por hectárea ya que la zona pertenece al distrito 9 de la ciudad de Tarija, esto se observa en el siguiente cuadro:

Tabla 4.12 Densidad poblacional de la ciudad de Tarija, por distritos año 2.006

Distritos	Área (Has.)	Habitantes	Densidad Hab/Ha
Distrito 1	46	3.804	83
Distrito 2	37	7.074	191
Distrito 3	53	6.083	114
Distrito 4	56	6.441	115
Distrito 5	66	8.086	122
Distrito 6	414	17.612	43
Distrito 7	341	18.432	54
Distrito 8	248	24.713	100
Distrito 9	392	24.596	63
Distrito 10	688	20.114	29
Distrito 11	558	10.543	19
Distrito 12	612	4.871	8
Distrito 13	591	19.120	32
Área Total	4.101	171.489	42

Fuente: SIC S.R.L. (2008)

El volumen de almacenamiento para atender la demanda contra incendio debe calcularse para un tiempo de duración del incendio entre 2 horas y 4 horas⁸.

Datos:

Caudal contra incendios $Q_i = 10 \text{ l/s}$

Tiempo de duración del incendio $t = 2 \text{ horas}$

$$V_r = 3.6 * Q_i * t = 72 \text{ m}^3$$

⁸ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

4.5.2.3 Volumen de reserva

Este volumen, prevé el abastecimiento de agua durante las interrupciones accidentales de funcionamiento de los componentes del sistema situados antes del tanque de almacenamiento, o durante periodos de reparaciones y mantenimiento de obras de captación, conducción, tratamiento y/o en casos de falla en el sistema de bombeo.

Se recomienda considerar un volumen equivalente a 4 horas de consumo correspondiente al caudal máximo diario⁹.

Datos:

Caudal máximo diario: $Q_{\max.d} = 1,71 \text{ m}^3 / \text{día}$

Tiempo de reserva: $t = 4 \text{ hr}$

$$V_{re} = 3,6 * Q_{\max.d} * t = 24,66 \text{ m}^3$$

De acuerdo a recomendaciones de la Norma Boliviana (NB – 689) para diseño de sistemas de agua potable, la capacidad del tanque deberá ser igual al volumen que resulte mayor de las siguientes consideraciones.

Volumen de regulación: $36,98 \text{ m}^3$

Volumen contra incendios: 72 m^3

Volumen de reserva: $24,66 \text{ m}^3$

De donde se descarta tomar el volumen contra incendios debido a su valor exagerado.

Por el cual el volumen del tanque de almacenamiento será $36,98 \text{ m}^3$, pero por fines constructivos el volumen será de 40 m^3 .

⁹ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

4.5.4 Cálculo de accesorios del tanque

4.5.4.1 Tubería de entrada

La entrada de agua en cada una de las unidades, cuando tienen salida independiente, debe ser dimensionada para un caudal máximo diario que alimenta al conjunto de tanques de almacenamiento, dividida por el número de unidades menos uno, tomando en cuenta que por razones de mantenimiento una de las unidades este fuera de servicio.

La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante válvula y será maniobrada mediante dispositivo situado en la parte externa del tanque.

La distancia entre la generatriz inferior de la tubería de ingreso y la generatriz superior de la tubería de rebose no debe ser inferior a 0,05 m.¹⁰

4.5.4.2 Tubería de paso directo (by-pass)

En tanques de un solo compartimiento, debe colocarse un paso directo (by-pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración de la sobre presión que pueda presentarse, en caso que el tanque trabaje como cámara rompe presión.

Se debe considerar el uso de by-pass cuando el volumen del tanque de almacenamiento sea mayor a 50 m³. Para volúmenes menores el proyectista justificará la necesidad del by-pass.

La tubería de paso directo estará provista de una válvula compuerta.¹¹

4.5.4.3 Tubería de rebose

La tubería de rebose debe ser dimensionada para posibilitar la descarga del caudal de bombeo que alimenta al reservorio.

El diámetro de la tubería de rebose estará determinado por la altura de la cámara de aire en el reservorio, evitándose presionar la tapa del mismo. En todo caso, es aconsejable que el diámetro de la tubería de rebose no sea menor que el diámetro de la tubería de llegada.¹²

^{10,11,12} Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Para el cálculo debe emplearse la fórmula general de orificios:

Datos:

Caudal máximo diario o caudal de bombeo $Q = 0,0059 \text{ m}^3 / \text{s}$

Coeficiente de contracción $C_d = 0,60$

Area del orificio de desagüe $A = \text{m}^2$

Aceleración de la gravedad $g = 9,81 \text{ m} / \text{s}^2$

Carga hidráulica sobre la tubería de desagüe $h = 0,20 \text{ m}$

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * h * g}$$

El área del orificio es $A = 0,0049 \text{ m}^2$. De este se puede obtener el diámetro de la tubería, la cual es $d_r = 0,079 \text{ m} = 3,12 \text{ plg}$. Pero se utilizará un diámetro de 4 plg.

4.5.4.4 Tubería de limpieza

Se deberá ubicar en el fondo del reservorio el cual deberá contar con una pendiente no menor a 1% hacia la tubería de limpieza. El diámetro de la tubería de limpieza será diseñado para permitir el vaciado del tanque en tiempo no mayor a 4 horas.¹³

Para el cálculo del área del orificio de la tubería de limpieza debe utilizarse la fórmula siguiente:

Datos:

Tiempo de vaciado $T = 4 \text{ hr.} = 14.400 \text{ seg.}$

Área superficial del tanque $S = 24,01 \text{ m}^2$

Carga hidráulica sobre la tubería $h = 1,80 \text{ m}$

Coeficiente de contracción $C_d = 0,60 \text{ a } 0,65 = 0,60$

Aceleración de la gravedad $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$A_o = \frac{2 * S * \sqrt{h}}{C_d * T * \sqrt{2g}} = 0,00168 \text{ m}^2$$

¹³ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

El diámetro de la tubería es $d = 0,0462 \text{ m}^2 = 1,82 \text{ plg.}$ Pero se utilizará un diámetro de 2 plg.

4.6 Diseño de la red de distribución

La red de distribución de agua está constituida por un conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua hasta las conexiones domiciliarias o hidrantes públicos. A los usuarios (domésticos, públicos, industriales, comerciales) la red deberá proporcionarles el servicio constante, en las cantidades adecuadas, calidad adecuada y con una presión apropiada.¹⁴

4.6.1 Definición del área de la red

El área del proyecto debe comprender la población de proyecto y las áreas industriales y comerciales, presentes y resultantes de la expansión futura.

El área de proyecto debe ser definida mediante la interrelación de caminos, calles, ríos y otros accidentes geográficos y demarcada en planos cuya escala permita mostrar los accidentes geográficos utilizados para la demarcación.

4.6.2 Trazado de la red

Preferentemente deben proyectarse redes cerradas cuando las posibilidades técnicas y económicas lo permitan. La forma y longitud de las mismas debe ceñirse a las características topográficas de la localidad, densidad poblacional y ubicación del tanque de almacenamiento.

Se debe contemplar el desarrollo de la localidad para prever las futuras ampliaciones.

La red abierta sólo debe aplicarse en poblaciones dispersas y/o nucleadas que presentan desarrollo a lo largo de las vías de acceso a la población, donde los tramos de tuberías para cerrar circuitos resulten muy largos o de escasa utilización.

¹⁴ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

La red mixta debe ser aplicada en poblaciones nucleadas y que además presentan un desarrollo a lo largo de las vías de acceso.¹⁵

4.6.3 Determinación de caudales en redes cerradas

En redes cerradas la determinación de caudales en los nudos de la red principal se realizará por el método de área unitaria.

4.6.3.1 Método de área unitaria

Se debe calcular el caudal unitario de cada nudo de la red, dividiendo el caudal máximo horario con el área total de influencia de la zona a proyectar de la red de distribución.¹⁶

Datos:

Caudal máximo horario

$$Q_{\max .h} = 3,77 \text{ l/s}$$

Area total de influencia del proyecto en

$$A_{\text{total}} = 27,16 \text{ ha}$$

$$Q_u = \frac{Q_{\max .h}}{A_{\text{total}}} = 0,14 \text{ l / s-ha}$$

Para el uso de este método se determinan las áreas de influencia de cada nudo de la red, trazando mediatrices en los tramos, formándose figuras geométricas alrededor del nudo y estas se multiplican por el caudal unitario, así obteniendo el caudal de demanda en cada nudo de la red de distribución.

El caudal en el nudo es calculado de la siguiente manera:

Datos:

$Q_{\text{nudo } i}$ = Caudal en el nudo “i” en l /s

Q_u = Caudal unitario superficial en l/s – ha

A_i = Área de influencia del nudo “i” en ha

$$Q_{\text{nudo } i} = Q_u * A_i$$

¹⁵ Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I, 2008.

¹⁶ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

En el siguiente cuadro se aprecian las áreas de influencia por nudo y los caudales respectivos.

Tabla 4.13 Áreas de influencia y caudales por nudo

Nudo	Nº de Área	Área (ha)	Qnudo (l / s)
n1	1	0,399	0,0553
n2	2	0,598	0,0830
n3	5	0,485	0,0673
n4	6	0,487	0,0676
n5	9	0,487	0,0676
n6	10	0,488	0,0676
n7	15	0,533	0,0740
n8	16	0,504	0,0699
n9	19	0,220	0,0305
n10	4	0,561	0,0778
n11	3	1,032	0,1431
n12	8	0,810	0,1123
n13	7	0,808	0,1121
n14	13	0,809	0,1122
n15	11	0,809	0,1123
n16	18	0,883	0,1224
n17	17	0,885	0,1227
n18	20	0,396	0,0550
n20	41	0,523	0,0725
n21	37	0,729	0,1011
n22	34	0,734	0,1018
n23	32	0,740	0,1026
n24	27	0,746	0,1034
n25	29	0,752	0,1042
n26	25	0,826	0,1145
n27	21	0,834	0,1156
n28	22	0,384	0,0533
n29	39	0,194	0,0269
n30	36	0,405	0,0561
n31	35	0,410	0,0569
n32	31	0,416	0,0577

n33	28	0,422	0,0585
n34	30	0,570	0,0791
n35	26	0,772	0,1070
n36	24	0,775	0,1075
n37	23	0,354	0,0491
n38	48	0,269	0,0373
n39	47	0,582	0,0807
n40	49	0,580	0,0805
n41	50	0,263	0,0365
n42	43	0,300	0,0416
n43	44	0,712	0,0987
n44	45	0,585	0,0812
n45	46	0,294	0,0407
n46	42	0,239	0,0331
n47	51	0,503	0,0698
n48	52	0,283	0,0392
n49	55	0,424	0,0587
n50	56	0,214	0,0297
n51	57	0,133	0,0184
Total		27,16	3,77

Fuente: Propia

4.6.4 Presiones de servicio

Durante el período de la demanda máxima horaria, la presión dinámica mínima en cualquier punto de la red no debe ser menor a:

- Poblaciones iguales o menores a 2.000 habitantes 5,00 m.c.a.
- Poblaciones entre 2.001 y 10.000 habitantes 10,00 m.c.a.
- Poblaciones mayores a 10.000 habitantes 13,00 m.c.a.

Las presiones arriba mencionadas podrán incrementarse observando disposiciones municipales o locales de políticas de desarrollo urbano y según las características técnicas del sistema de distribución. En el caso de sistemas con tanques de almacenamiento, las presiones deben estar referidas al nivel de agua considerando el nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento.

La presión estática máxima en la red, no debe ser superior a los 70 m.c.a. La presión debe estar referida al nivel máximo de agua.¹⁷

Debido a que la población es menor a 2.000 habitantes podemos admitir una presión mínima por nudo de 5 m.c.a.

4.6.5 Velocidades de diseño

La velocidad mínima en la red de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar la auto-limpieza del sistema.

Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales secundarios. La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2,00 m/s.¹⁸

4.6.6 Diámetros mínimos

Los diámetros mínimos de las tuberías principales para redes cerradas deben ser:

- En poblaciones menores a 2.000 habitantes 1”
- En poblaciones de 2.001 a 20.000 habitantes 1 1/2”
- En poblaciones mayores a 20.000 habitantes 2”

En redes abiertas, el diámetro mínimo de la tubería principal debe ser de 1”, aceptándose, en poblaciones menores a 2.000 habitantes, un diámetro de 3/4” para ramales.¹⁹

Ya que la población es menor a 2.000 habitantes el diámetro mínimo para la red de agua potable será de 1”.

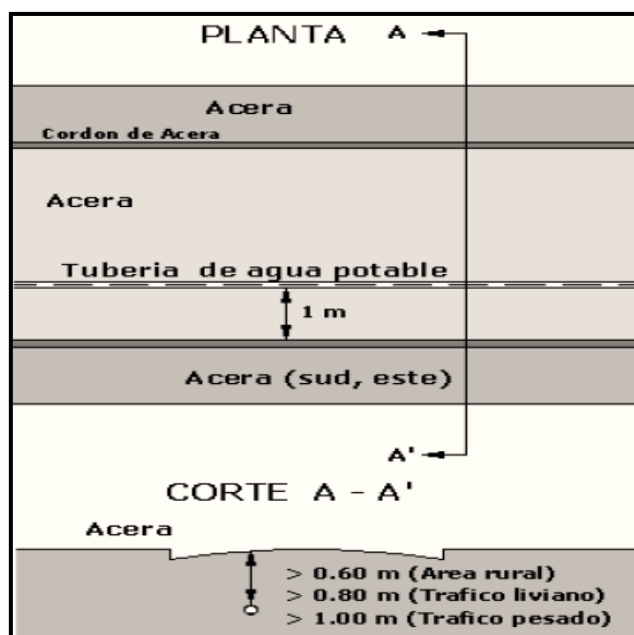
4.6.7 Ubicación y profundidades de las tuberías

La ubicación de las tuberías en poblaciones dispersas no urbanizadas, la red de distribución debe ubicarse, en lo posible, lo más próxima a las viviendas para facilitar

^{17,18,19} Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

la conexión. Las tuberías en zonas urbanizadas, la red de distribución pueden ubicarse en los costados Sur y Este de las calles a 1,00 m del cordón de la acera o a un tercio de la calzada (Ver figura 4.2).²⁰

Figura 4.3 Ubicación y profundidad de las tuberías



Fuente: “Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”

La longitud máxima de las tuberías secundarias debe ser de 300 m cuando son alimentadas por un solo extremo y de 600 m cuando son alimentadas por dos extremos.

Las tuberías secundarias podrán formar una red en malla, mediante la unión de las mismas en los puntos de cruce, o podrán ser independientes entre sí, sin unión en los puntos de cruce, cuando su alimentación fuera prevista a través de ambas extremidades.

La profundidad mínima a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución debe ser 0,80 m medida desde la rasante del terreno hasta la clave de la tubería.

La profundidad a la cual debe instalarse la tubería de la red de distribución debe ser realizada de acuerdo a lo especificado en la Tabla 4.14.²¹

^{20,21} Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Tabla 4.14 Profundidad y ancho de zanja

Zona	Profundidad de zanja (m) (1)	Ancho de zanja (m)		Recomendación
		$\Phi=12.7$ a 76 mm (2)	$\Phi=100$ a 200 mm (2)	
Calles área rural	0,60	0,40	0,50	En lugares donde la temperatura del ambiente es menor a 5 °C debe incrementarse a profundidad según la cota del nivel freático
Áreas de cultivo y calles con tráfico liviano	0,80	0,60	0,70	
Calles con tráfico pesado	1	0,60	0,70	

(1) Profundidad medida desde la clave de la tubería

(2) El diámetro de la tubería corresponde a diámetro nominal

Fuente: Norma Boliviana NB – 689

4.6.8 Diseño hidráulico de redes cerradas

Para el diseño hidráulico de las tuberías de redes cerradas se deben considerar los siguientes aspectos:

- El caudal total que llega al nudo debe ser igual al caudal que sale del mismo.
- La pérdida de carga entre dos puntos por cualquier camino es siempre la misma.

En las redes cerradas se podrán considerar los siguientes errores máximos:

- 0,10 m.c.a. de pérdida de presión como máximo en cada malla y/o simultáneamente debe cumplirse en todas las mallas.
 - 0,10 l/s como máximo en cada malla y/o simultáneamente en todas las mallas.
- Las redes cerradas no deben tener anillos mayores a 1 km por lado.
- Preferentemente las pérdidas de carga en tuberías principales y secundarias deben estar alrededor de 10 m/km.

Las redes cerradas no deben tener anillos mayores a 1 km por lado.

Preferentemente las pérdidas de carga en tuberías principales y secundarias deben estar alrededor de 10 m/km.²³

Para el análisis hidráulico de la red de distribución cerrada se utilizarán métodos computacionales.

4.6.8.1 Métodos computacionales

Para el diseño de la red se implementó el programa EPANET versión 2.0 español, para el cual se requieren los siguientes datos, por nudo y tubería, además del tanque.

Para nudos se requiere la cota y la demanda, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4.4 Datos de entrada para Nudos



Propiedad	Valor
*ID Conexión	n1
Coordenada-X	322647.64
Coordenada-Y	7617069.69
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	1907.07
Demanda Base	0.0553

Fuente: Propia

Para tuberías es necesaria la identificación de nudo inicial, identificación de nudo final la longitud de tubería en metros, el diámetro de tubería en milímetros y la rugosidad absoluta en milímetros, como se muestra a continuación.

²³ Instalaciones de agua – diseño para sistemas de agua potable (NB 689), 2004

Figura 4.5 Datos de entrada para tuberías

Propiedad	Valor
*ID Tubería	p83
*Nudo Inicial	n48
*Nudo Final	n51
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	67.91
*Diámetro	28.75
*Rugosidad	0.0025

Fuente: Propia

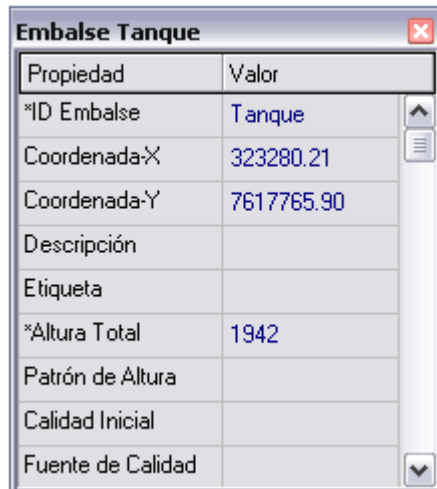
Para la determinación de la pérdida de carga en las tuberías se hizo uso de la ecuación de Darcy-Weisbach, para las cuales la rugosidad está en función del material:

Tabla 4.16 Rugosidad para diferentes materiales

Material	ε (mm)
PVC y PE	0,0025
Fibrocemento	0,025
Fundición revestida	0,03
Fundición no revestida	0,15
Hormigón armado	0,10
Hormigón liso	0,025

Fuente: Manual de usuario EPANET versión 2.0 español, U.S. Environmental Protection Agency (Traducción: Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos Universidad Politécnica de Valencia)

Para el tanque es necesario tener el nivel o cota la cual será la cota mínima, debido a que las presiones de los nudos deben estar referidas al nivel de agua considerando el nivel de agua mínimo del tanque de almacenamiento.

Figura 4.6 Datos de entra para el tanque de almacenamiento

Propiedad	Valor
*ID Embalse	Tanque
Coordenada-X	323280.21
Coordenada-Y	7617765.90
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	1942
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Fuente: Propia

Los resultados de este análisis se encuentran en el Anexo 5 del presente documento.

CAPÍTULO V (PRESUPUESTO)

5.1 Presupuesto por análisis de precios Unitarios

En el caso en que el presupuesto significa el compromiso de la ejecución, es necesario determinar el costo con la máxima aproximación, en este caso es recomendable el sistema analítico por el cual el calculista en base a los pliegos de condiciones y especificaciones y a los planos a diseño final, calcula los precios unitarios de cada una de las actividades que forman parte de la obra como asimismo los correspondientes volúmenes de obra. Este método permite establecer el costo total de la obra como resultado de la suma de los costos parciales por ítems, además de facilitar la determinación de las cantidades de materiales y mano de obra a emplearse en la obra.

5.1.1 Actividades y/o Ítems de Obra

Un ítem es una unidad de obra, parte de un proyecto con carácter propio, tanto de materiales como mano de obra, siendo su cantidad proporcional a la magnitud de la obra, cada ítem deberá ser hecho con criterio de separar todas las partes que sean susceptibles de costo distinto, no solo para facilitar la formación del presupuesto, sino también porque este es un documento de contrato y sirve como lista indicativa de los trabajos a ejecutar.

Forma un conjunto de actividades valoradas en unidades determinadas a través de la unidad que puede apreciarse al efectuar el presupuesto, las mismas pueden ser de longitud (m), superficie (m^2), volumen (m^3), peso (Kg), pieza (pza.) punto (Pto), existiendo algunas de ellas que por su naturaleza o complejidad solamente pueden medirse en forma global.

5.1.2 Cómputo Métrico.-

Por medio del cómputo métrico, se miden las estructuras que forman parte de una obra de ingeniería, con el objeto de:

- a.- establecer el costo de la misma, o de una de sus partes.
- b.- determinar la cantidad de materiales necesarios para ejecutarla.

El cómputo métrico es un problema de medición de longitudes, áreas y volúmenes, que requiere el manejo de fórmulas geométricas, computar es entonces medir, computo, medición y cubicación son palabras equivalentes.

El cómputo métrico supone el conocimiento de los procedimientos constructivos de la práctica y su éxito depende en gran medida de una experiencia sólida. El trabajo de medición puede ser ejecutado de dos maneras que son: sobre la obra misma, o sobre los planos.

- Cómputo en plano.-

Significa realizar los trabajos de medición en los planos del proyecto con la ayuda de un escalímetro teniendo mucho cuidado en la observación de las escalas.

- Cómputo en obra

Este trabajo se lo efectúa en el lugar de la obra, cuando esta se encuentra en ejecución con la ayuda de una cinta métrica un flexómetro de acuerdo a las normas establecidas.

- Normas de Cómputo

En nuestro País no existen normas definidas para el cómputo ya que el ministerio de Urbanismo y Vivienda tanto como la dirección de Normas no cuentan con las mismas hasta la fecha.

Mientras ellas no existan, cada institución se rige por normas propias las que pueden variar de acuerdo a la experiencia de su personal técnico, el mismo que debe conocer perfectamente el proyecto y las especificaciones técnicas con el fin de tener una idea global de la misma.

Generalmente el ingeniero que efectúa los cálculos es la última persona que revisa el proyecto, por lo cual es muy frecuente que encuentre errores arquitectónicos o de cálculo, los mismos que necesariamente deben ser corregidos antes de su licitación.

5.2 Análisis de Precios Unitarios

5.2.1 Definición

El precio Unitario puede definirse como el importe de la remuneración o pago total, que debe cubrirse al contratista por unidad de obra de cada uno de los conceptos de trabajo que realice. Así mismo, unidad de obra puede definirse como la unidad de medición que se señala en las especificaciones técnicas, como base para cuantificar cada concepto de trabajo para fines de medición y pago. El concepto de trabajo o concepto de obra, podrá quedar definido como el conjunto de operaciones y materiales que, de acuerdo con las especificaciones respectivas, integran cada una de las partes de una obra en que esta se divide convencionalmente para fines de medición y pago.

Resumiendo en un sola expresión los conceptos tratados anteriormente, se puede establecer en una forma más amplia que el precio unitario es la remuneración que recibe el contratista por las operaciones que realiza y los materiales que emplea en la ejecución de las distintas partes de una obra, considerando la unidad que de acuerdo con las especificaciones respectivas, se fija para efectos de medición de la ejecución.

Lo anterior, lógicamente, coincide con lo que tradicionalmente se ha considerado como precio unitario y además, cabe hacer notar que se ha establecido una liga íntima entre el precio unitario y la especificación, pues esta última es preponderante en él , aun cuando no sea lo único que lo determina.

Generalmente, cuando se realiza un presupuesto, se tiene un tiempo definido para realizarlo y desde el punto de vista de una empresa constructora, se tiene que cumplir con una serie de aspectos técnicos para la presentación de la propuesta, por lo tanto se deben tomar los siguientes aspectos:

Se debe analizar el calendario para la presentación de la propuesta, es decir tomar en cuenta cuando se terminará el análisis de los precios de los materiales, el tiempo en que se terminará de elaborar los aspectos técnicos de la propuesta, tiempo que se requerirá la compaginación de la propuesta, etc.

Posteriormente se debe realizar un exhaustivo análisis de las bases de la licitación plasmado en el pliego de condiciones otorgado por la empresa contratante.

Se debe preparar un listado de cotizaciones de los materiales a utilizar en la obra, para esto se debe tener claramente identificadas las exigencias y especificaciones técnicas que pide la entidad contratante. En el caso de cotizaciones de subcontratos se debe procurar entregar el máximo de información disponible al cotizador.

Una vez tomado un conocimiento cabal del trabajo a ejecutar y las condiciones impuestas por la entidad contratante es siempre recomendable una visita al lugar, que generalmente es exigida por la entidad contratante en el pliego de condiciones. En esta visita al lugar se debe detectar las condiciones en que se deberá efectuar la obra, los accesos, sitios de instalación de faenas, restricciones de paso en puentes y caminos, calidad del terreno, disponibilidad de materiales, maderas, combustible, agua potable, medios de transporte del personal, verificar el mercado de los materiales a utilizar, climatología, etc.

Otro paso importante en el estudio del presupuesto es el de proveerse de un listado de precios actualizado de mano de obra y maquinarias. En el caso de las maquinarias se debe tomar en cuenta el costo del combustible o la fluctuación que tendrá este durante el transcurso de la realización de la obra, mantenimiento, desgaste de neumáticos, etc.

5.2.1.1 Materiales

Este primer componente tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

Los materiales son los recursos que se utilizan en cada una de las actividades o ítems de la obra. Los materiales están determinados por las especificaciones técnicas, donde

se define la calidad, cantidad, marca, procedencia, color, forma, o cualquier otra característica necesaria para su identificación.

El costo de los materiales consiste en una cotización adecuada de los materiales a utilizar en una determinada actividad o ítem, esta cotización debe ser diferenciada por el tipo de material y buscando al proveedor más conveniente. El precio a considerar debe ser el puesto en obra, por lo tanto, este proceso puede ser afectado por varios factores tales como: costo de transporte, formas de pago, volúmenes de compra, ofertas del momento, etc.

El costo de los materiales tiene una gran importancia en el cálculo del presupuesto, debido a que en el caso de que se cometa errores en esta parte, trae como consecuencia un resultado muy alejado de la realidad, y por lo tanto una total distorsión en el costo total de la obra, que en caso de ser una licitación elimina directamente al contratista que se presenta a esta.

Por otra parte, se deberá tener conocimiento de toda la diversidad del mercado, en cuanto a los materiales a utilizar, una diferencia de precio mínima podrá incidir en los volúmenes grandes de material a comprar que se necesita en la construcción de una obra.

Se deberá cotizar con el precio del material puesto en obra incluyendo los gastos de carguío, manipuleo y transporte como también seguros, pago de internación, peaje, etc., es importante que se obtenga por la compra de materiales, la factura correspondiente con el número de identificación tributaria (NIT) del vendedor para el descargo del pago de impuestos, el mismo que nos otorga crédito fiscal.

Otro factor que deberá ser considerado para definir el rendimiento de los insumos, es la experiencia de los técnicos e ingenieros de la empresa, la misma que se refleja en la metodología de trabajo y la aplicación de tecnologías apropiadas para el proyecto específico, el esquema siguiente nos permite interpretar de manera objetiva estos conceptos.

5.2.1.2 Mano de Obra

Este componente presenta una dicotomía en su aplicación, siendo la primera el tiempo de ejecución de la unidad de obra expresada en rendimiento, factor este difícil de determinarse, el mismo que se halla ligado a la experiencia de la empresa, la metodología de trabajo y la parte más importante, la educación de los obreros en el campo constructivo.

La segunda corresponde a los salarios a pagar a los obreros que ejecutan un ítem, que deberá ser calculada considerando todas las incidencias conforme demandan las leyes vigentes en nuestro país.

El rendimiento de la mano de obra se puede definir como la cantidad de unidades iguales que un obrero puede hacer en un periodo fijo o alternativamente el tiempo que se requiere de un obrero para hacer una unidad de obra; dicho en forma resumida, el rendimiento es:

- La cantidad de obra hecha en la unidad de tiempo, o
- El tiempo necesario para hacer una unidad de obra.

Para hacer un análisis del rendimiento de la mano de obra, se debe tomar en cuenta el tiempo total de permanencia de un trabajador en una obra se aprovecha sólo parcialmente, pudiendo hacerse una subdivisión de su trabajo de la siguiente manera:

- **Trabajo productivo:** actividad que aporta directamente a la producción, por ejemplo: la colocación de encofrado, hormigonado, vibrado, etc.
- **Trabajo contributorio:** actividades de apoyo que deben ser realizadas para que el trabajo productivo se pueda hacer, por ejemplo: traslado del encofrado a su lugar, limpieza de superficies para el hormigonado, etc.
- **Trabajo no contributorio:** son todas las demás acciones que no se encuentran dentro las mencionadas anteriormente y que representan

tiempos desaprovechados, por ejemplo: espera de materiales faltantes, conversación entre trabajadores, etc.

Por otra parte, el rendimiento de la mano de obra, varía de acuerdo a la experiencia del obrero, es decir, mientras más experimentado sea el obrero, los rendimientos serán más altos. Otro de los factores que influyen en el rendimiento de la mano de obra, es el sistema de trabajo al cual se realizará la obra; estos sistemas de trabajo son por contrato y por jornal.

El sistema de jornal, es aquel por el cual se paga un determinado valor por jornada diaria de trabajo, en el cual se obtienen rendimientos bajos pero la calidad del trabajo es buena. Por el otro lado, el sistema de contrato es aquel por el cual se paga una determinada suma por la unidad de obra ejecutada; en este sistema se obtiene una disminución de la calidad en la ejecución de la obra, pero se obtiene rendimientos más altos.

El cálculo del rendimiento de la mano de obra es muy complicado, pero la determinación de éste factor puede hacerse de dos formas, una de las cuales es el cronometrado de tiempos empleados por diferentes obreros para la ejecución de un mismo tipo de ítem, tomando como rendimiento el término medio de éstos. Y el segundo método será resultado de los valores invertidos en mano de obra de la construcción terminada.

Por ejemplo, en el caso de que se tenga que cumplir en un determinado tiempo una construcción, es decir que se tenga un plazo fijo en la realización de la obra, se puede obtener un rendimiento de mano de obra adecuado, o mejor dicho un rendimiento teórico el cual permitirá la conclusión de la obra en dicho tiempo, como se muestra a continuación.

5.2.1.2.1 Cargas Sociales.-

A objeto de que el otorgamiento de los subsidios correspondientes al régimen de asignaciones familiares no tropiece con problemas interpretativos se ha consultado a los organismos respectivos su aplicación, debiendo tomar en cuenta la empresa el cumplimiento a las previsiones contenidas en el artículo 25 del decreto Supremo 21637 del 25 de junio de 1987 y el artículo 2do del decreto supremo N° 23410 del 16 de febrero de 1993 y la ley de pensiones (ley 1732) de fecha 29 de noviembre de 1996 decreto supremo N° 24586 de 29 de abril de 1997, decreto supremo N° 24646 de 12 de junio de 1997.

a.- Incidencia de Inactividad y Beneficios.- La incidencia de inactividad se calcula de acuerdo al tipo de obra..

El cuadro siguiente nos demuestra los días que componen el año calendario, con sus respectivos días ociosos o días que no se ejecutan labor alguna.

De acuerdo al D.S. 21060 Art. 67 del capítulo III, en el país existen 10 feriados, incluyendo las efemérides departamentales.

Tabla 5.1 Incidencia de inactividad

DESCRIPCIÓN	DÍAS SIN PRODUCCIÓN	JORNALES PAGADOS
Domingos	52	52
Feriados	10	10
Días de Lluvia y otros	10	10
Enfermedad	3	3
Ausencias justificadas	2	2
Ausencias Injustificadas	2	-
Día del constructor (26 de Abril)	1	1
TOTAL	80	78

Fuente: D.S. 21060 Art. 67 del capítulo III

Datos con los que se deberá calcular la incidencia de inactividad:

Días efectivos de trabajo (12 meses)	$365 - 80 = 285$ días
Jornales Abonados	$285 + 78 = 363$ días
Incidencia por inactividad	$463/285 = 1.274$

INACTIVIDAD = 27.37

Tabla 5.2 Incidencia de beneficios

DESCRIPCIÓN	DÍAS SIN PRODUCCIÓN	JORNALES PAGADOS
Vacación	-	15
Aguinaldo	-	30
Indemnización Anual	-	30
TOTAL	-	75

Incidencia por beneficios	$75/365 = 0.2055$
---------------------------	-------------------

BENEFICIOS = 20.55 %

b.- Incidencia de Subsidios.- A partir del 1^a de enero de 1993, en cumplimiento a las previsiones contenidas en el artículo 2do del DS N° 23410 del 16 de febrero de 1993, que modifica la cuantía del salario mínimo nacional, los subsidios, prenatal, natalidad, lactancia y sepelio, cuya obligación está a cargo de la empresa o los empleadores, según lo dispuesto por el D.S. 21637 en su artículo 25 del 25 de junio de 1987, deben considerarse dentro de la estructura de costos. Asimismo amerita la explicación sobre la importancia de cada uno de los subsidios citados.

b.1.- Subsidio Pre Natal.- Consiste en la entrega por intermedio del asegurado a la madre gestante o beneficiaria de un pago único equivalente a un salario mínimo nacional durante los cinco últimos meses de embarazo, independientemente del subsidio de incapacidad temporal

b.2.- Subsidio de Natalidad.- Consiste en la entrega por intermedio del asegurado a la madre gestante de un pago único equivalente a un salario mínimo nacional por el nacimiento de cada hijo.

b.3.- Subsidio de Lactancia.- Consiste en la entrega mensual de leche entera y yodada equivalente a un salario mínimo nacional por cada hijo durante doce meses de vida.

b.4.- Subsidio de Sepelio.- Consiste en el pago de un salario mínimo nacional por el fallecimiento de cada hijo menor de 19 años.

El incumplimiento por parte de la empresa en el otorgamiento de cualquiera de los cuatro subsidios, será sancionado de conformidad a las previsiones contenidas en el inciso n) del artículo 592 y 593 del reglamento del código de seguridad social en la forma siguiente:

- * Por primera vez, con una suma equivalente al doble del subsidio pagado.
- * En caso de reincidencia con el apremio del ejecutivo de la entidad empleadora, hasta el cumplimiento de la obligación, más la multa.
- * En caso de recepción continua, se sancionara con la intervención o cierre de la empresa.

Siendo las cajas de salud, las encargadas de los sistemas de control, así como la de aplicar las sanciones, para efectos de control las empresas o empleadores tienen la obligación de fraccionar planillas con la nómina de los empleados y los beneficiarios que tienen derechos a las asignaciones familiares. En caso de transgresión de esta ley, los empleadores están obligados sin perjuicio de las sanciones correspondientes a continuar otorgando la totalidad de los subsidios familiares, por los periodos establecidos, aunque el trabajador hubiese sido retirado ilegalmente.

Tabla 5.3 Resumen de subsidios

SUBSIDIO	MONTO Bs.	PERIODO MES	TOTAL Bs.
Pre-Natal	647.00	5	3235.00
Natalidad	647.00	1	647.00
Lactancia	647.00	12	7764.00
Sepelio	647.00	1	647.00
TOTALES			12293.00

Nota: Se consideró el salario mínimo nacional de Bs. 647.00 (gestión 2009)

Para el análisis de la incidencia de los beneficios, es necesario determinar el costo mensual promedio de la mano de obra, para dicho efecto determinamos el jornal o salario promedio ponderado mensual, en base a los precios vigentes en el mercado y los pesos ponderados establecidos en el decreto Supremo 18958 de fecha 17 de mayo de 1982 en actual vigencia.

c.- Aporte a Entidades.- Según disposiciones que regulan los aportes son:

Tabla 5.4 Aporte a entidades

APORTES A ENTIDADES	PATRONAL
Caja de Salud	10 %
INFOCAL	1 %
PROVIVIENDA	2 %
A.F.P.	1.71 %
TOTAL	14.71%

d.- Incidencia de la antigüedad.-

De acuerdo a lo establecido por el decreto ley N° 21060, se considera la antigüedad sobre el salario mínimo nacional de acuerdo al siguiente detalle:

Años	%
2 – 4	5
5 – 7	11
8 – 10	18
11 – 14	26
15 – 19	34
20 – 24	42
25 o más años	50

Tabla 5.5 Resumen de incidencias por cargas sociales

DESCRIPCION	%
Incidencia por Inactividad	27.37
Beneficios	20.55
Subsidios	2.66
Aportes	14.71
Antigüedad	0.26
Seguridad Industrial e Higiene	4.37
TOTAL CARGAS SOCIALES	69.92 %

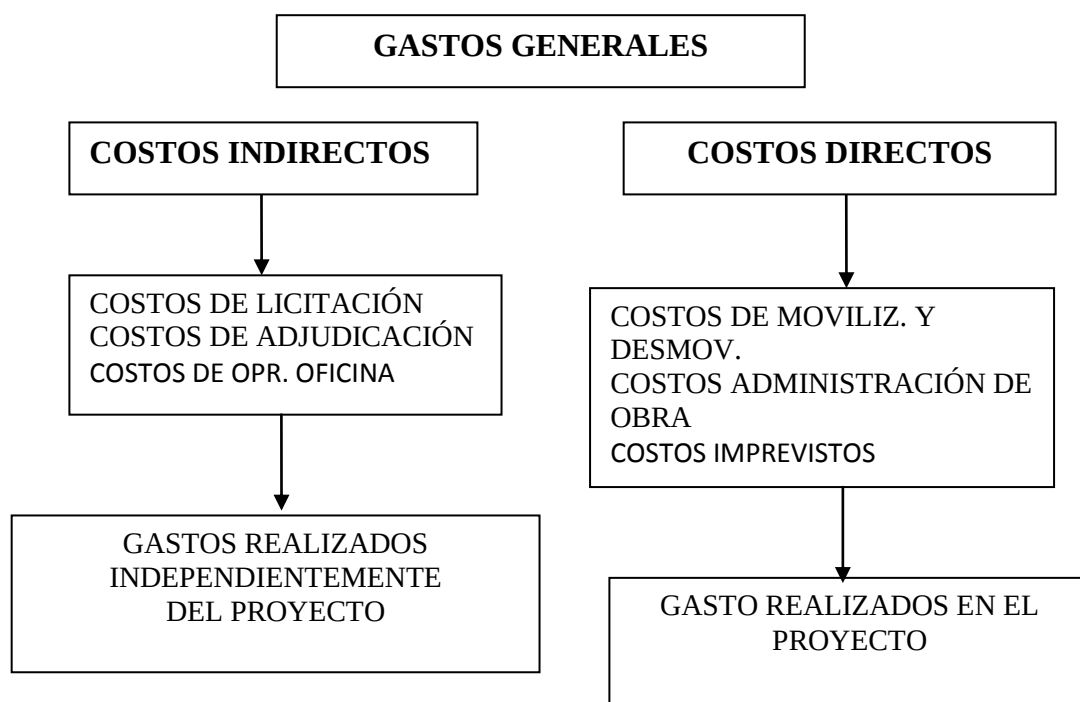
5.2.1.3 Herramientas y Equipo Menor

En este rubro recalcula el porcentaje de las herramientas que se utilizan en la obra.

5.2.1.4 Gastos Generales

En este rubro existen los gastos directos e indirectos, deberá tomarse con sumo cuidado que los gastos generales no es un porcentaje, se expresa como tal, solamente

como un artificio matemático para distribuir el gasto en cada uno de los ítemes que compone el proyecto. Su explicación es válida, porque en la certificación del avance del proyecto se realiza a través de la medición de volúmenes de cada ítem multiplicado por su precio unitario:



Son gastos no incluidos en los costos directos y son muy variables, dependiendo de aspectos como el lugar donde se debe realizar la obra. Así por ejemplo, las obras locales tienen gastos generales más bajos que los que están ubicados en el campo y también es obvio que una empresa constructora grande tiene gastos generales mayores que la de una pequeña.

También tiene influencia el tipo de garantía (boletas bancarias o pólizas de seguro). El monto de contratos anuales y la magnitud de la empresa constructora. Por otra parte, existen dentro de los gastos generales costos fijos que representan un

porcentaje permanente del costo total de la mano de obra como son los aportes a entidades.

Depende entonces de cada empresa constructora determinar el porcentaje de gastos generales para cada una de sus obras

Tabla 5.6 Resumen de Incidencias por Gastos Generales.

Incidencia por documentación de pliego	0.06%
Incidencia de preparación de propuesta	0.48%
Incidencia por documentos legales	0.19%
Incidencia por garantías y seguros	2.04%
Incidencia por preparación de oficina	6.18%
Incidencia por administración de obras	3.91%
Incidencia por movilización y desmovilización	1.06%
Incidencia por gestión de riesgos	1.98%
TOTAL GASTOS GENERALES	15.90%

5.2.1.5 Utilidad.

Las utilidades deben ser calculadas en base a la política empresarial de cada empresa, al mercado de la construcción, a la dificultad de ejecución de la obra y a su ubicación geográfica (urbana o rural).

Para fines de cálculo se toma como base el **5-10% del costo sub total**, que resulta de la suma del costo directo más los gastos generales.

5.2.1.6 Impuestos.

En lo que se refiere a los impuestos, se toma el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto a las Transacciones (IT). El impuesto IVA grava sobre toda compra de bienes, muebles y servicios, estando dentro de estos últimos la construcción, su costo es el del 13% sobre el costo total neto de la obra y debe ser aplicado sobre los componentes de la estructura de costos.

El IT grava sobre ingresos brutos obtenidos por el ejercicio de cualquier actividad lucrativa, su valor es el **del 3% sobre el monto de la transacción** del contrato de obra, pero el IT puede ser compensado con el importe pagado por el impuesto sobre las utilidades de las empresas (IUE) en la gestión anterior. Para fines de cálculo se presenta el siguiente análisis:

Impuesto del Valor Agregado:

$$\text{Costo de la mano de obra utilizada} = A$$

$$\text{Impuesto al valor agregado IVA} = B$$

$$\text{Costo Total de la mano de Obra} = C$$

$$\text{Es decir} \quad C = A + B$$

$$\text{Pero} \quad B = \text{IVA}(13\%) \text{ del costo de la mano de obra}$$

$$B = 0.13 * C$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$C = A + 0.13 * C$$

Despejando:

$$A = 0.87 * C$$

Teniendo en cuenta que el costo de la mano de obra utilizada:

$$A = 100\% \quad \text{reemplazando en la ecuación}$$

$$100 = 0.87 * C$$

Despejando:

$$C = 100/0.87 \quad C = 114.94$$

5.3 Presupuesto general

Un resumen del presupuesto general de la obra se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 5.7 Presupuesto general

Mod.	Descripción	Total presupuesto
1	ACTIVIDADES GENERALES	5.787,91
2	CASETA DE BOMBEO	211.779,20
3	ADUCCION	134.118,48
4	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	183.508,27
5	RED DE DISTRIBUCIÓN	945.059,81
TOTAL		1.480.253,67

Fuente: Elaboración propia

El costo de la obra depende básicamente del costo de los materiales y su disponibilidad en nuestro medio.

Los parámetros utilizados para el análisis de precios unitarios son: se utilizó las cargas sociales igual a 55% del subtotal de la mano de obra. El impuesto al valor agregado es igual al 14,94 % de la suma del valor de cargas sociales y el subtotal de la mano de obra.

Para herramientas menores igual a 5% del total de la mano de obra.

Los gastos generales y administrativos toman un valor del 10 % de la suma del valor total de materiales, el total de mano de obra y el total de herramientas y equipo.

La utilidad es el 10% de la suma del subtotal del total de materiales, total de la mano de obra, y total de herramientas más los gastos generales y administrativos.

El impuesto a las transacciones es igual al 3,09 % de la suma entre total de materiales, total de mano de obra, total de herramientas y equipo, gastos generales y administrativos y la utilidad.

Estos porcentajes fueron adoptados de acuerdo a los parámetros mostrados párrafos arriba.

CAPÍTULO VI (CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES)

6.1 CONCLUSIONES

- ♦ Con el diseño hidráulico de un sistema de agua potable para el barrio 27 de Mayo se mejorará las condiciones de vida y salud de los vecinos de esta zona, ya que se garantizará el suministro de agua potable, reduciendo así el riesgo a enfermedades gastrointestinales debidas a la escasez del líquido elemento.
- ♦ El bombeo es realizado por una bomba con motor Franklin, la cual cumple con la potencia requerida para el transporte de agua, desde el pozo hasta el tanque de almacenamiento.
- ♦ La tubería de aducción se trazó siguiendo las direcciones de las calles, ya que éste no debe de cruzar por lotes pertenecientes a terceros.

La tubería de aducción de diámetro 3 pulgadas, será de fierro galvanizado, debido principalmente a la resistencia que tiene este material a presiones altas, las cuales se pueden generar por el encendido o apagado brusco que tenga la bomba.

- ♦ El tanque de almacenamiento se ubicó en la zona alta de la zona. Esto debido esencialmente al cumplimiento de presiones que debe tener cada nudo en la red de distribución, las cuales se encuentran establecidos por norma (NB 689, 2004: 74).

Este se diseñó en función del volumen de regulación, calculándose una capacidad de $36,98 \text{ m}^3$, pero por razones constructivas la capacidad será de 40 m^3 , con el cual se hizo uso de planos tipo para su dimensionamiento.

- ♦ La red de distribución es de tipo cerrado, la cual consta de tuberías con diámetros que varían de 1", 1 ½", 2", 2 ½" y 3", con resistencias de 60,90, 120, y 150 m.c.a.
- ♦ Las presiones en los nudos de la red están dentro de los límites establecidos por la norma Boliviana (NB 689). Pero las velocidades de autolimpieza no se cumplen en gran mayoría de las tuberías, esto debido al bajo caudal que circula por éstas y el diámetro utilizado.

6.2 RECOMENDACIONES

- ♦ Con el fin de aprovechar racionalmente el agua y disminuir los costos de consumo de energía eléctrica por la bomba, se recomienda explotar el acuífero gradualmente en los periodos de bombeo en función a la demanda real del sistema.
- ♦ Los sistemas de abastecimiento de agua potable aunque sean diseñados para un periodo de 20 o 25 años, es necesario revisar la demanda cada cierto tiempo para comparar si está de acuerdo a lo proyectado.
- ♦ Capacitar a una persona para que funcione como operador de la bomba, válvulas y otros accesorios, esto permitirá que el sistema esté regulado y opere eficientemente.
- ♦ La participación de la población durante la ejecución del proyecto, a través de sus autoridades locales, es indispensable para lograr un incremento del beneficio.

- ♦ Se recomienda hacer uso de un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada, para aquellas tuberías de la red que no cumplen con la velocidad de auto-limpieza (0,30 m/s), lográndose así el aumento de las velocidades de flujo.