



---

## **Sistemas de Agua Potable y Perforación de Pozos Mecánicos en Arquitectura.**

---

**Tesis** presentada a la junta directiva de la Facultad  
de Arquitectura por:

**OSCAR RENE GONZALEZ HERNANDEZ.**

Al conferírsele el título de **ARQUITECTO.**

Guatemala, octubre del 2015.

**Universidad de San Carlos de Guatemala**



**FACULTAD DE  
ARQUITECTURA**

## **SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y PERFORACIÓN DE POZOS MECÁNICOS EN ARQUITECTURA.**

### **TESIS.**

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la Facultad de  
Arquitectura.

Por:

**Oscar René González Hernández**

Previo a optar al título de **ARQUITECTO**  
en el grado de Licenciado.

Guatemala, Octubre del 2015.

“El autor es responsable de las doctrinas sustentadas, originalidad y contenido del Proyecto de Graduación, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos”.



## **JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA.**

### **2do. SEMESTRE 2015**

<b>DECANO</b>	Mcs. Arq. Byron Alfredo Rabé Rendón.
<b>VOCAL I</b>	Arq. Gloria Ruth Lara Cordón de Corea.
<b>VOCAL II</b>	Arq. Edgar Armando López Pazos.
<b>VOCAL III</b>	Arq. Marco Vinicio Barrios Contreras.
<b>VOCAL IV</b>	Br. Héctor Adrián Ponce Ayala.
<b>VOCAL V</b>	Br. Luis Fernando Herrera Lara
<b>SECRETARIO</b>	Mcs. Arq. Publio Rodríguez Lobos.

## **TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN.**

<b>DECANO</b>	Mcs. Arq. Byron Alfredo Rabé Rendón.
<b>SECRETARIO</b>	Mcs. Arq. Publio Rodríguez Lobos.
<b>EXAMINADOR</b>	Mcs. Arq. César Anibal Córdova Anleu.
<b>EXAMINADOR</b>	Mcs. Arq. Miguel Luis Álvarez Medrano.
<b>EXAMINADOR</b>	Arq. Carlos Enrique Ralón Cajas.

### **Asesor:**

Mcs. Arq. César Anibal Córdova Anleu.

## **ACTO QUE DEDICO.**

### **A DIOS:**

Gratitud eterna por todas las bendiciones, digno de toda la honra y gloria.

### **A MIS PADRES:**

Eduardo N. González Solís (+), y Clemencia de Jesús Hernández Muñoz.

### **A MIS HERMANOS:**

Juan Carlos, Zayma Yurisa y Erick García, Karina Yesenia y José Sotuela, María Cleotilde.

### **A MIS HIJOS:**

Karen Ileana, Oscar Eduardo, Pablo Alejandro y Sofía María.

### **A MIS AMIGOS:**

Miguel Álvarez, Amílcar Barillas, Cesar Córdova.

## **AGRADECIMIENTOS:**

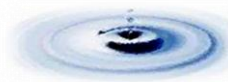
### **A MI ASESOR Y CONSULTORES.**

Mcs. Arq. César Anibal Córdova Anleu.

Mcs. Arq, Miguel Luis Alvarez Medrano.

Arq. Carlos Enrique Ralón Cajas,

### **A LA FACULTAD DE ARQUITECTURA.**



## INDICE.

---

	<b>Página</b>
<b>Introducción.</b>	5
<b>Antecedentes.</b>	6
<b>Justificación.</b>	7
<b>Objetivos.</b>	9
General	9
Específico.	9
<b>Delimitación del tema.</b>	10
<b>Metodología.</b>	10
<b>Referente Teórico-Preliminar.</b>	12
 <b>MARCO TEORICO CONCEPTUAL</b>	 15
<b>1 EL Agua.</b>	15
Agua Potable.	15
Usos del agua.	16
Suministro del agua, antecedentes.	17
Ciclo del agua	20
Características del ciclo hidrológico.	21
Propiedades físicas del agua.	22
Distribución del agua.	23
Fuentes de abastecimiento de agua.	24
Aguas superficiales.	24
<b>Aguas subterráneas.</b>	26
Aguas superficiales y subterráneas de Guatemala.	27
Mapa de potencial de las aguas subterráneas de Guatemala.	28
Distribución vertical de las aguas subterráneas.	29
<b>Acuíferos.</b>	31
Funciones de los acuíferos.	31
Tipos de acuíferos.	32
En función de su estructura.	34
En función del tipo de materiales y porosidad.	34
En función de su comportamiento dinámico.	35
Características hidrogeológicas.	35
Características hidrodinámicas.	37
Características físico-químicas del agua subterránea.	39
Contaminación del agua subterránea.	39



<b>Captación del agua subterránea.</b>	39
Manantiales.	41
Brote definido.	42
Brote difuso.	42
Los pozos.	43
<b>2 PERFORACIÓN DE POZOS MECANICOS.</b>	45
Pozos perforados.	45
Perforación por percusión.	46
Perforación rotatoria con aire comprimido.	48
<b>Perforación por rotación.</b>	49
Principios básicos de la perforación rotativa.	50
Componentes principales de equipo de perforación rotativa.	50
<b>Principales aspectos a evaluar antes de perforar un pozo mecánico.</b>	62
Estudio hidrogeológico.	62
Determinar la hidrogeología del área.	63
Sistematización del proceso para realizar un estudio hidrogeológico.	63
Características hidrológicas.	64
Geología del área de estudio.	64
Regiones hidrogeológicas de Guatemala.	66
Unidades hidrogeológicas de Guatemala.	67
Mapa geológico de Guatemala.	68
Estructura geológica.	70
Fallas geológicas de Guatemala.	71
Perfil lito - estratigráfico de un pozo.	73
Inventario de puntos de agua.	74
Recarga hídrica.	75
Selección de área para perforación de un pozo mecánico.	77
<b>Diseño de un pozo mecánico.</b>	78
Esquema del proceso de perforación de un pozo mecánico.	78
Renglones de trabajo para la perforación de un pozo mecánico.	82
Construcción de un pozo mecánico.	89
Perforación.	89
Encamisado con tubería de acero al carbón.	91
Filtro de grava.	97
Sello sanitario de cemento.	100
Toma de muestras.	102
Desarrollo y limpieza del pozo.	102



Prueba de bombeo de pozo. Aforo.	105
Análisis de la calidad del agua.	107
Desinfección del pozo.	108
Perfil litológico de un pozo mecánico.	109
<b>3 Sistemas de agua potable.</b>	<b>110</b>
Sistema de agua potable por gravedad.	111
Sistemas de agua potable por bombeo.	112
<b>Normas y datos técnicos para diseñar proyectos de agua potable.</b>	<b>112</b>
Descripción del proyecto.	113
Caudal de aforo.	114
Levantamiento topográfico.	114
Parámetros de diseño.	115
Calidad del agua.	115
Dotación de agua.	115
Censo de población.	116
<b>Parámetros de diseño.</b>	<b>116</b>
Periodos de diseño.	117
Estimación de la población de diseño.	117
Determinación de caudales.	118
Presiones mínimas y máximas.	120
Velocidades.	121
<b>4 Componentes de un sistema de agua potable.</b>	<b>122</b>
<b>Línea de conducción.</b>	
Fórmulas, coeficientes y diámetros de tubería.	125
Especificaciones para las instalaciones de tubería de agua.	131
<b>Obras hidráulicas.</b>	<b>135</b>
Válvulas de compuerta.	135
Válvulas de mariposa.	136
Válvulas de limpieza.	137
Válvulas de cheque.	140
Caja rompe presión.	140
Pasos aéreos.	141
Conexiones domiciliarias.	142
<b>Almacenamiento de agua.</b>	<b>143</b>
Tanques de distribución.	143
Diseño de tanque elevado.	146
<b>Red de distribución.</b>	<b>147</b>



Procedimiento de cálculo.	149.
Métodos para determinación de caudales.	151
Calculo de un tramo de la red de distribución.	153
<b>Diseño de equipo de bombeo.</b>	<b>156</b>
<b>5 Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la Aldea el Espino, Municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez.</b>	
Descripción del proyecto.	161
Análisis de la demanda de agua potable.	163
Resumen de datos.	166
Diseño del pozo mecánico.	167
Diseño de la línea de conducción. (línea de impulsión)	170
Diseño hidráulico de la red de distribución.	174
Resumen del cálculo hidráulico.	178
Graficas de planta general y perfiles.	179
<b>Conclusiones</b>	<b>185</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>186</b>





## **INTRODUCCION.**

En la actualidad el profesional de la arquitectura desarrolla proyectos masivos de construcción de viviendas, como urbanizaciones, lotificaciones, donde es necesario suministrarles a estos del vital líquido, en cantidades adecuadas para el consumo humano, actividades domésticas y disposición sanitaria de desechos. (El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio, suficiente, inocuo y accesible).

Asumiendo que el derecho humano al agua garantiza a todas las personas el agua en cantidad suficiente, en condiciones de seguridad y aceptabilidad, siendo físicamente accesible y asequible para usos personales y domésticos.

Esto quiere decir que se busca satisfacer los requerimientos de agua en la cantidad y calidad básica que aseguren la permanencia del servicio a todas las comunidades. El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud.

Últimamente ha adquirido creciente importancia el proveer de agua de calidad a todas las comunidades que carecen de este vital líquido, porque con esta medida se ha demostrado que ha descendido significativamente los niveles de enfermedades en todo el mundo, por lo que con frecuencia se tiene la oportunidad de ejecutar esta clase de trabajos de construcción de proyectos de infraestructura para agua potable en diferentes comunidades, como pueblos, aldeas, caseríos, etc.

**Ante esta situación se presenta el siguiente estudio que tiene la finalidad principal de proporcionarle al arquitecto o estudiante todos los elementos básicos que participan en el cálculo y diseño de un sistema de agua potable, teniendo como fuente de abastecimiento a un pozo mecánico, para que el profesional tenga los conocimientos y la capacidad técnica de planear, concebir y diseñar las estructuras necesarias para ejecutar completamente cualquier sistema de agua potable, asumiendo la premisa de que como responsable del proyecto en general es fundamental que tenga claro todos los elementos que harán que se realice de una manera eficiente la obra final.**



La presente tesis de graduación pretende integrar un documento de información práctica y sencilla sobre el “Diseño y Cálculo de sistemas de agua potable y perforación de pozos mecánicos en arquitectura.”

**Se propone de una manera simple y objetiva, un soporte teórico que plantea a través de un exposición esquemática todos los elementos básicos y variables que se deben de considerar para la formulación de un sistema de agua potable abastecido por pozos mecánicos y por un proceso de ejemplificación para que el profesional y estudiantes de arquitectura puedan concebir en su totalidad un diseño hidráulico adecuado.** Entendiéndose claramente que la función de este estudio, se enfoca únicamente como una guía orientadora, por lo que no se debe utilizar como un manual de práctica profesional.

Se enfatiza en mostrar en detalle cada elemento y renglón de trabajo que tienen participación en la perforación de pozos mecánicos ya que estos son las fuentes de agua que se utilizan con mayor frecuencia ante la escasez marcada de fuentes naturales de abastecimiento. (Nacimientos, pozos artesianos) para los proyectos de agua de las urbanizaciones, condominios, etc.

## **ANTECEDENTES.**

En el pensum actual de la carrera de arquitectura no existe un curso que se refiera específicamente al cálculo y diseño completo de sistemas de agua potable abastecidos por pozos mecánicos. además no existe mucha información, o un documento que guíe para realizar el cálculo y diseño de este tipo de proyectos.

Anteriormente siempre se recurría a un ingeniero o especialista para realizar esta clase de trabajos, pero a través de experiencias propias en la realización de estos proyectos se llega a la conclusión que a través de una guía sencilla, el arquitecto puede realizar todo el diseño, cálculo y ejecución de un sistema de agua. Entendiéndose claramente que la concepción de diseños más complejos requerirán el apoyo de profesionales y expertos en materias necesarias y complementarias en este tema.



**Se vuelve imprescindible en la actualidad que el profesional de la arquitectura maneje conceptos claros y sencillos, para que el mismo pueda tomar las decisiones y realizar todo el proceso de cálculo, diseño y construcción proyectos de abastecimiento de agua potable.** Es importante que el arquitecto se encuentre capacitado para apoyar a las diferentes comunidades en la solución de la constante demanda de servicios básicos, como el agua potable y que constituye un pilar fundamental en mejorar el nivel de vida de la población.

## **JUSTIFICACIÓN.**

En la actualidad todos los aspectos del desarrollo de los proyectos de urbanización, condominios, lotificaciones, proyectos masivos de viviendas, etc., están íntimamente ligados, por lo que se hace necesario que el estudiante y profesional de la arquitectura tengan una formación integral, con conceptos claros de todos los elementos que participan en la ejecución de estos. Este documento surge como respuesta a la necesidad de contar con un instrumento de guía que le permita al arquitecto calcular, diseñar y ejecutar de una forma integral un sistema completo de agua potable para diferentes tipos de proyectos como colonias, pueblos, aldeas, etc.

**La importancia de la guía técnica radica que se orientará al profesional de arquitectura hacia la búsqueda de soluciones de abasto de agua, permitirá aumentar su conocimiento respecto a la problemática y el mejoramiento de sus acciones donde se aplican procedimientos de diseño y selección de todos los componentes que integran un sistema completo de abastecimiento de agua potable.**

Sobre el tema de la perforación de pozos no existen normas establecidas o mucha información práctica de cómo se realizan, sino que solamente datos teóricos muy generales, por lo que con esta guía se pretende integrar conocimientos teóricos con experiencias propias sobre este campo y así con esto orientar al arquitecto y a los estudiantes en lo referente al diseño, cuantificación y obras de captación, conducción,



regularización y distribución de agua potable tanto en ciudades como en comunidades urbanas y rurales aplicando los métodos de la hidráulica, teniendo como fuente de abastecimiento a los pozos mecánicos, respetando los lineamientos que para estos fines se tienen establecidos por las instancias correspondientes.

La importancia de la presente tesis radica en que los estudiantes tengan una fuente confiable de información clara y concisa con ejemplos reales y tener la capacidad de ponerlos en práctica para elaborar sus propios proyectos arquitectónicos desarrollando los métodos de diseño y cálculo constructivo, representándolos por medio de la expresión gráfica.

La presente investigación proyecta ser un instrumento de utilidad para estudiantes de Arquitectura y una fuente de consulta para Profesionales.

### **POBLACIÓN ESTUDIANTIL FACULTAD DE ARQUITECTURA CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE.**

AÑO	TOTAL ESTUDIANTES
2008	443
2009	550
2010	632
2011	661
2012	709
2013	792

Fuente. División de arquitectura y diseño. Centro Universitario de Occidente.

Tasa de crecimiento en 5 años

$$r = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

$$r = \frac{792 - 443}{443} \times 100 = 78.78\% \text{ tasa de crecimiento en 5 años.}$$

$$78.78\% / 5 \text{ años} = 15\% \text{ tasa de crecimiento anual.}$$

Proyección futura de alumnos en la Facultad de Arquitectura del Centro Universitario de Occidente para los años 2018, 2023 y 2033.



Proyección 5 años	Proyección 10 años	Proyección 20 años
$Pt = Po (1 + r)^t$	$Pt = Po (1 + r)^t$	$Pt = Po (1 + r)^t$
$Pt = 792 (1 + 0.15)^5$	$Pt = 792 (1 + 0.15)^{10}$	$Pt = 792 (1 + 0.15)^{20}$
Pt= 1,592 alumnos	Pt= 3,204 alumnos	Pt= 12,692 alumnos

Año	Total	Proyección
2018	1,592	5 años
2023	3,204	10 año
2033	12,962	20 años

Será un apoyo para la realización de proyectos y fundamental para los estudiantes de los cursos de Instalaciones III, Practica Integrada II, que como herramienta facilite el diseño, la planificación, la evaluación, el cálculo y la cuantificación de los diferentes elementos que forman parte del sistema constructivo, y posteriormente los integre a un proyecto final.

## OBJETIVOS.

### General.

Crear una guía básica que servirá al curso de Construcción 4 del pensum de los estudiantes de arquitectura para el cálculo de suministro de agua potable abastecidos por pozos mecánicos.

### Específicos.

1. Sintetizar toda la información técnica y legal, para orientar al arquitecto y al estudiante para obtener un resultado óptimo, con todas las exigencias y antecedentes requeridos para efectuar el diseño y cálculo de los sistemas de agua potable, abastecidos por pozos mecánicos de una forma práctica y sencilla.
2. Propiciar una fuente de consulta directa y práctica para los alumnos de Construcción 4, Diseño Arquitectónico 8 y 9 de la carrera de arquitectura para la comprensión y solución de problemas en proyectos de agua potable.
3. Establecer una guía que sirva de ayuda para los estudiantes de EPS de Arquitectura para que puedan diseñar cualquier tipo de proyecto de agua



potable donde se apliquen los conceptos teóricos y prácticos de topografía, hidrología y mecánica de fluidos.

### **DELIMITACIÓN DEL TEMA.**

Se dirige al profesional de la arquitectura y estudiantes de la carrera de arquitectura como guía básica dentro del campo de la construcción para tener todos los elementos de diseño y cálculo para realizar de una manera sencilla y práctica, un sistema completo de agua potable que se abastece por medio de pozo mecánico. Proporcionar los parámetros y criterios técnicos establecidos en forma clara y concisa los elementos de cálculo y diseño suficientes para la construcción de un pozo mecánico para asegurar que los proyectos de agua se realicen en una forma correcta y completa basándose en el programa de Construcción 4 de la carrera de arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se encuentra enmarcado dentro **del área de interés del estudiante** y está basado como un documento de apoyo, donde se trata el tema lo más sencillamente posible con el fin de que sea de beneficio, no solo a los profesionales de arquitectura, sino a los estudiantes de la carrera y epesistas principalmente para que puedan dar una respuesta a los proyectos que requieran desarrollar las comunidades donde realizan su práctica.

### **METODOLOGÍA.**

Se propone utilizar una metodología sencilla con énfasis en el método científico basado en investigación, evaluaciones e interpretaciones, para tener los lineamientos claros y definir con exactitud los parámetros de extensión del documento a elaborar.

El método empleado, parte de la elaboración de un plan de investigación, consultando con fuentes especializadas en el tema y luego se continuó con la sistematización de la información, para finalmente elaborar el presente documento.

En base al tipo de estudio y al problema planteado se enfatiza el procedimiento de investigación en el Análisis y Síntesis de la información para establecer el contexto.



Se definen los siguientes aspectos, como parte de un conjunto de procedimientos lógicos a través de los cuales se plantea la problemática para realizar el presente documento:

### **Planteamiento.**

#### **Análisis de la información:**

- Es la etapa que se refiere a la recolección de material informativo de varias fuentes, obteniendo datos y organizando la información.
- Recopilación de información documental y de campo.
- Investigación bibliográfica.
- Es importante señalar que en la investigación propiamente dicha se incluyen anotaciones de experiencias personales de campo, sobre el tema de la perforación de pozos mecánicos y desarrollo de proyectos de agua potable.
- Notas propias de empresas especializadas en el tema.
- Entrevistas personales a profesionales de arquitectura e ingeniería.

#### **Síntesis de la información:**

1. En esta etapa se ordena, interpreta y evalúa toda la información.
2. Se selecciona y evalúa toda la información recolectada, para jerarquizar y desarrollar de cada fase lo más importante de esta.
3. Sistematización de la información.
4. Preparar los anexos.

#### **Elaboración de documento final:**

En esta última etapa se ordena cualitativamente y cuantitativamente.

## **Referente teórico preliminar.**

### **Agua potable.**

Es el agua que por sus características de calidad y balance químico-físico, es adecuada para el consumo humano. Es utilizada para fines domésticos y la higiene personal así como para beber y cocinar. No contienen ningún organismo tóxico o patógeno que puedan afectar al ser humano.

### **Acuíferos:**

Se define como una formación, grupo de formaciones o parte de una formación geológica que contiene suficiente material saturado y permeable para producir suficientes cantidades de agua hacia los pozos y manantiales. Se llama formación acuífera o acuífero a cualquier estrato geológico capaz de almacenar y transmitir agua. Por consiguiente, para que un pozo produzca agua se necesita que esté en contacto con una formación acuífera.

### **Aforo.**

Consiste en medir la cantidad de agua que circula en determinada área por un tiempo definido. Es la medición del caudal de agua.

### **Carga hidráulica disponible.**

Es la energía en metros de columna de agua que tienen los sistemas, al encontrarse la fuente de abastecimiento a un nivel superior respecto de un lugar sobre el trazo de conducción en dirección al área de distribución.

### **Carga de bomba.**

Es la denominada carga dinámica total CDT que se mide en metros e indica la energía suministrada al agua por la bomba, para vencer el desnivel desde la succión hasta el sitio de alimentación al tanque y las pérdidas de fricción debido a la conducción en los tubos y elementos locales.

### **Caudal de agua.**

Es la cantidad de agua que pasa en una unidad de tiempo, flujo volumétrico que pasa por un área dada en una unidad de tiempo.

### **Conducción de agua.**

Transporte de agua desde la fuente de abastecimiento hasta el sitio ubicado en una población para su posterior distribución.

### **Consumo.**

Volumen de agua requerido, consumido o gastado por determinado sujeto o población. Este varía de acuerdo a las condiciones especiales de cada comunidad.





### **Dotación.**

Volumen de agua necesario para cubrir los requerimientos de este por una unidad de consumo. Habitante, comercio, industria, animal, planta durante un periodo determinado.

### **Estudio hidrogeológico.**

Los estudios hidrogeológicos permiten determinar las variables hidráulicas del manto de agua, definir su rendimiento y calidad y los caudales óptimos de captación. Por medio de los estudios hidrogeológicos pueden definirse también la dirección del flujo subterráneo, las áreas de mayor aptitud para la captación, el adecuado distanciamiento entre pozos y se establecen las situaciones anómalas que podrían interferir sobre el recurso hídrico. De ese modo se asegura la sustentabilidad del acuífero, tanto en rendimiento como en calidad.

### **Hidrología.**

Es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza y su evolución en la superficie de la tierra y en el suelo, bajo sus tres estados físicos: gaseoso, líquido y sólido. La hidrología estudia la fase del ciclo del que comienza con la llegada del agua a la superficie de la tierra.

### **Línea de conducción.**

Se llama línea de conducción, al conjunto de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será regulada y posteriormente distribuirla.

### **Manantial.**

Lugar en donde el manto acuífero aflora en la superficie, procedente del manto acuífero, nacimiento de agua.

Son los que brotan desde los depósitos subterráneos hacia el nivel superficial. El lugar donde brota es donde el terreno se encuentra con el nivel freático, dependiendo del tamaño del manto freático y de la forma del terreno del punto del afloramiento, el manantial puede ser de;

### **Pozos.**

Es la forma tradicional para obtener agua subterránea. El agua se filtra a través de los poros de la tierra almacenándose y circulando por debajo del nivel del suelo. Dependiendo del estrato geológico a través del cual circula y de la profundidad al que lo hace, así será el trabajo que se haga para la obtención del agua; así pues un pozo puede ser simplemente excavado, clavado, perforado o barrenado.



### **Pozo mecánico.**

Obra hidrogeológica de acceso a uno o más acuíferos para la captación de agua subterránea, ejecutada con sonda perforadora en forma vertical con diámetro mínimo de 8". En función de la necesidad de extracción y de la geología local. Son todos aquellos pozos para cuya perforación se emplean maquinas o equipos especialmente diseñados, para alcanzar las formaciones acuíferas.

### **Recarga hídrica.**

Es cuando fluye el agua a la zona de saturación incrementándolo, hasta el nivel de las aguas subterráneas.

### **Red de Distribución.**

Parte del proyecto, que tiene como propósito llevar el agua desde el lugar del almacenamiento, hasta cada una de las viviendas. Conjunto de elementos compuestos por tuberías, válvulas que conducen y distribuyen al agua a cada vivienda.

### **Sistema de agua potable.**

Conjunto ordenado de elementos para lograr de una manera efectiva desarrollar un proyecto de agua potable.

### **Tanque de agua.**

Estructura ubicada generalmente al final de la conducción y diseñada para almacenar agua acorde con las extracciones de la fuente de abastecimiento y demanda de los usuarios.

### **Válvulas.**

Son dispositivos que permiten el control del flujo en la conducción, atendiendo las situaciones corte y control de flujo, acumulación de aire, por llenado y vaciado de la conducción, depresiones y sobrepresiones generadas por fenómenos transitorios y retroceso del agua por varios factores.



## 1.- MARCO TEORICO CONCEPTUAL.

### Información General.

#### EL AGUA.

---

El agua es un elemento importante en la tierra indispensable para la vida. Existe en varias formas y lugares, principalmente en los océanos y las capas polares, pero también en las nubes, lluvias, ríos y glaciares. En el planeta, el agua se mueve constantemente en su ciclo constituido por la evaporación, precipitación y escorrentía.

Todas las formas de vida conocidas necesitan agua para vivir, por lo que representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida, el agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación, circulación, de lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada.

#### Agua potable.

Se define como el agua que es segura para el consumo humano y accesible en cantidad suficiente para usos en el ámbito doméstico de consumo directo, de preparación de alimentos e higiénicos.

Es toda agua que empleada para la ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores recomendables o estándares de calidad estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos emitidos por autoridades locales e internacionales.

Es el agua libre de microorganismos, parásitos o sustancias, que son peligrosas para la salud. Porque el agua puede contener muchas sustancias diferentes, puede saber u oler de formas distintas. De hecho, hemos desarrollado nuestros sentidos para poder evaluar la potabilidad del agua.

- Las características físicas se refieren al color, olor, turbiedad y sabor del agua.
- Las características químicas a se refieren a la concentración de minerales presentes en el agua.
- Las características biológicas tienen en cuenta la presencia de organismos como bacterias, virus, hongos y parásitos, los cuales pueden producir enfermedades.

#### Cómo se usa el agua potable.

El agua potable se usa para consumo doméstico, consumo público. En la agricultura, en determinados procesos industriales y comerciales.



## Usos del agua.

### Consumo Humano



### Consumo Público.



### Recreativo



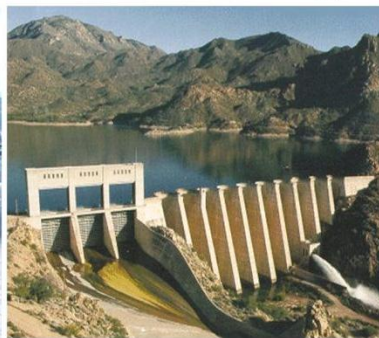
### Agricultura y ganadería



### Uso Industrial



### Generación de energía.



### Transporte.



www. Google. com gt/imágenes.



## Suministro del agua, antecedentes.

---

El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta. Todos los seres vivos somos, en mayor o menor medida, agua y necesitamos consumirla de forma continuada para vivir.

Es por ello que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes. Desde las primeras técnicas de almacenaje, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento de aguas, reciclado de aguas y depuración de aguas ha transcurrido una larga historia.

Los primeros asentamientos continuados de nuestros antepasados siempre tenían lugar en ubicaciones donde hubiese agua dulce disponible, como lagos y ríos. Y fue entorno al agua donde se originaron las primeras formas de sociedad, tal y como la concebimos hoy en día. Cuando estas formas primitivas de sociedades empezaron a evolucionar y crecer de manera extensiva surgió la necesidad de buscar otras fuentes diferentes de agua. El constante incremento de la población humana no siempre hizo posible que estas sociedades crecieran entorno a fuentes de fácil acceso como lagos y ríos, por lo que las personas se vieron obligadas a desarrollar sistemas que les permitieran aprovechar los recursos de agua subterráneos, dando origen a las primeras construcciones de pozos.

Los primeros antecedentes los encontramos en Jericó (Israel) hace aproximadamente 7.000 años, donde el agua era almacenada en los pozos para su posterior utilización. Como el agua había de ser trasladada de los pozos a otros puntos donde era necesario su uso, se empezaron a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas.

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre de la antigüedad. Ya en la Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local. En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes que recogen aguas pluviales, también los romanos lograron construir sistemas eficientes y prácticos, los famosos acueductos, para el suministro de agua en largos tramos. En América las civilizaciones antiguas desarrollaron sistemas avanzados para proveer de agua a sus ciudades, con depósitos y canales de piedra, desde lugares distantes. Años más tarde se comenzaron a utilizar tubos huecos, más parecidos a lo que son nuestras tuberías de hoy en día. Por ejemplo, en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú. Fueron precisamente los egipcios, los primeros en utilizar métodos para el tratamiento del agua. En la antigua Grecia, el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas desde épocas muy tempranas por sus ciudadanos. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados a desarrollar sistemas más eficaces para el almacenamiento y distribución del agua, lo que les llevó a la construcción de las primeras redes de distribución a gran escala que requerían de unos materiales más sofisticados, como la cerámica, la madera o el metal.<sup>1</sup>



La verdadera novedad introducida por los griegos estuvo en que ellos fueron la primera sociedad en tener un interés claro por la calidad del agua que consumían. Por ello, el agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia, y se utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Así llegamos a la época del imperio Romano. Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia.

Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su uso y aprovisionamiento. El agua recogida se transportaba a presas que permitían el almacenamiento y retención artificial de grandes cantidades de agua. Desde aquí se distribuía por toda la ciudad gracias a los sistemas de tuberías, fabricadas con materiales tan diversos como cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo.

Acueductos durante la época de la colonia en Guatemala.



Acueducto maya en Palenque.



Canales usados por los incas en Perú.



Acueductos romanos.



Imágenes: [www.ambientum](http://www.ambientum) e imágenes google.

<sup>1</sup> es [Wikipedia.org/wiki/agua potable](http://Wikipedia.org/wiki/agua_potable)



La verdadera revolución llegó con los acueductos, ya que por primera vez se podía transportar agua entre puntos separados por una gran distancia. Gracias a ellos, los romanos podían distribuir agua entre distintos puntos de su amplio imperio.

Por lo que se refiere al tratamiento de aguas, los romanos aplicaban el tratamiento por aireación para mejorar la calidad del agua. También, se utilizaban técnicas de protección contra agentes externos en aquellos lugares en que se almacenaba el agua.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Esta escasa evolución, unida a un espectacular crecimiento de la población de las ciudades, acabó desembocando la aparición de enfermedades, que en algunos casos fueron auténticas epidemias.<sup>1</sup>

Así, durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo. Lo más frecuente era abocar los residuos y excrementos directamente a las mismas aguas que se utilizaban para el consumo humano, por lo que era frecuente que la gente que bebía estas aguas acabase enfermando y muriendo. Todo lo que se hacía para evitarlo era utilizar el agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Un dato que refleja el retroceso experimentado durante estos años es que esta agua se llevaba a la ciudad utilizando la fuerza humana, mediante los llamados portadores.

Pasada esta larga etapa de estancamiento, las ciudades empiezan a desarrollarse y recuperar su esplendor en los siglos XVI y XVII. En la segunda mitad del siglo XVIII tiene lugar la revolución industrial, en la que se experimentan el mayor conjunto de transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales de la Historia de la humanidad, desde el Neolítico.

Así llegamos hasta los inicios del S XIX en el que encontramos el primer sistema de suministro de agua potable para toda una ciudad completa. Fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. Tres años más tarde se comenzó a transportar a En 1806 empieza a funcionar en París la mayor planta de tratamiento de agua conocida hasta el momento. Allí, el agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consistían en arena, carbón y tenían una capacidad de seis horas.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> [www.ambientum.com](http://www.ambientum.com)

<sup>2</sup> [es.Wikipedia.org](http://es.Wikipedia.org)



## Ciclo del agua.

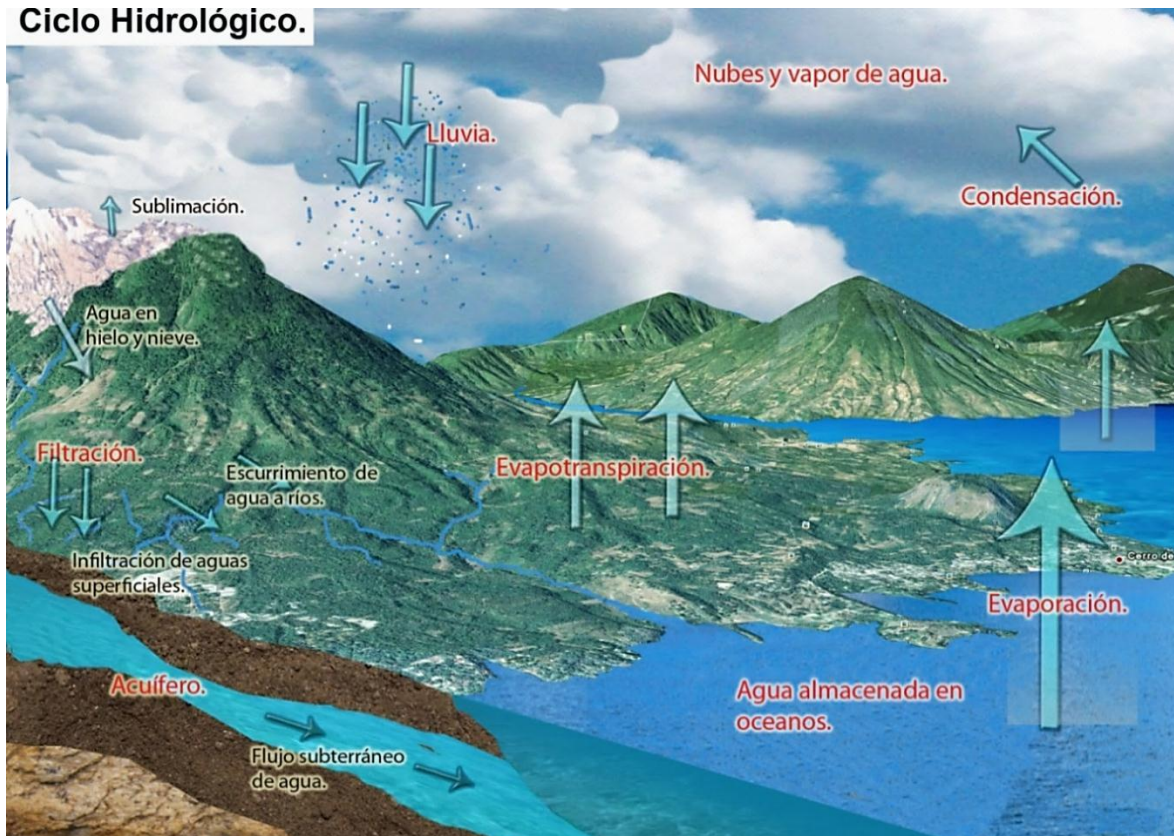
El agua toma diferentes formas en la tierra: Vapor y nubes en el cielo, masa líquida y témpanos de hielo flotante en el mar, glaciares en las montañas, acuíferos en el subsuelo, por nombrar algunos. A través de la evaporación, precipitación y escorrentía, el agua se encuentra en continuo movimiento, fluyendo de una forma a otra en lo que se llama el ciclo del agua.

### La hidrología.

Es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza y su evolución en la superficie de la tierra y en el suelo, bajo sus tres estados físicos: gaseoso, líquido y sólido. La hidrología estudia la fase del ciclo del que comienza con la llegada del agua a la superficie de la tierra.

**El ciclo hidrológico** es un proceso continuo que no tiene principio ni fin porque representa una transferencia de agua en forma líquida, sólida o gaseosa de los cuerpos de agua en la naturaleza. La energía para esta transformación proviene del calor del sol y de los esfuerzos de la gravedad y el viento. Este ciclo incluye la precipitación, interceptación, infiltración, evaporación, transpiración, percolación y escorrentía.

### Ciclo Hidrológico.



Fuente: [https:// earth google](https://earth.google.com/) + elaboración propia.





El agua pasa a la atmósfera por los procesos de evaporación y transpiración y cae a la tierra como precipitación (lluvia, nieve o granizo). Algo de esta agua cae directamente a los cuerpos de agua como mares, lagos y ríos, otra a la tierra y otra a las hojas de la vegetación. Otra parte es evaporada inmediatamente o antes de que pueda llegar a la tierra. De la parte que llega a la tierra, si la superficie tiene capacidad de captarla, se infiltrará. Pero si la superficie es de arcilla, roca u otro material muy denso o poco profundo se satura rápidamente. Si la superficie está congelada o si ha habido precipitación anterior que haya mojado el suelo, el agua no se infiltrará y formará escorrentía superficial.

### **Características del ciclo hidrológico.**<sup>1</sup>

**Precipitación:** Es la caída del agua en estado líquido o sólido sobre la superficie terrestre. Es la fuente principal de la formación de las aguas de la tierra, ríos, lagos, aguas subterráneas y glaciares. El valor de la precipitación en una cuenca o región, se obtiene a partir de registros pluviométricos.

**Evaporación:** Es el proceso por el cual el agua de la superficie terrestre pasa del estado líquido al vapor, siendo la energía solar el principal factor desencadenante del proceso.

**Evapotranspiración:** Es el agua evaporada a partir del tenor de humedad del suelo y transpiradas en el proceso de desarrollo de las plantas.

**Escorrimento superficial:** Es el proceso por el cual el agua de lluvia precipitada en la superficie de la tierra fluye por acción de la gravedad desde las partes más altas hacia las más bajas, confluyendo en ríos, arroyos y otros cuerpos de agua.

**Escorrimento sub-superficial:** Es la precipitación que llega a infiltrarse en el suelo y circula lateralmente a pequeñas profundidades, sin llegar a la zona saturada y reaparece en superficie, incorporándose al escurrimiento superficial.

**Escorrimento subterráneo:** Es parte del agua precipitada que se filtra y llega a la zona saturada, recargando los acuíferos.

**Infiltración:** es el agua de precipitación que en su descenso por el suelo, ocupa parcial o totalmente los poros o fisuras del suelo y rocas.

---

<sup>1</sup> [www.insivumeh.gob.gt/folletos](http://www.insivumeh.gob.gt/folletos). 2,010



## Propiedades físicas del Agua.

### Transición de un estado en otros:

Sólido, líquido → gaseoso = evaporación  
Gaseoso → líquido, sólido = condensación  
Líquido → sólido = congelación  
Sólido → líquido = fusión.

- Punto de ebullición: 100 °C
- Punto de congelación: 0 °C en presión atmosférica.
- Punto de densidad más alta: 4 °C
- Evaporación y condensación hay en todas las temperaturas del agua.
- Depende de la humedad relativa del aire.<sup>1</sup>

Evaporación y fusión, consumen energía.

Condensación y congelación, liberan energía.

### Estados físicos del agua en el ciclo hidrológico:

#### Agua líquida:

Precipitación; escurrimiento superficial o subterráneo.

#### Agua sólida:

Precipitación (nieve); almacenamiento (hielo).

#### Agua gaseosa:

Evaporación y evapotranspiración

### Importancia del agua del subsuelo.<sup>2</sup>

Del total de agua contenida en la Tierra, unos 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua (Shiklomanov, Igor A., 1999).

- El 97,5 % es agua salada y
- Sólo el 2,5% es agua dulce.

De ese 2,5% de agua dulce.

- 68,7% se encuentra en forma de hielo y nieve permanente, por lo que no está disponible directamente,
- 29,9% corresponde a las aguas subterráneas.  
0,26% del agua dulce se encuentra en lagos, ríos y arroyos.

<sup>1</sup> es Wikipedia.org.

<sup>2</sup> Importancia. Org/agua.php



## Distribución del agua.



Fuente: elaboración propia.

Más del 97% del agua potable en nuestro planeta se encuentra bajo tierra. Las fuentes de agua del subsuelo también representan la que está esencialmente en almacenamiento,



mientras que el agua en los ríos está generalmente en circulación, siendo reemplazada varias veces por año.

Mientras algunos depósitos de agua del suelo se vuelven a llenar año tras año por la infiltración de la precipitación pluvial, los ríos, los canales etc., otros se recuperan en grado menor o no lo hacen nunca.

La extracción del agua de estos últimos depósitos da por resultado un continuo agotamiento o explotación del agua. Por lo tanto, el uso no controlado del agua del suelo puede afectar los niveles de las corrientes y los lagos y, consecuentemente los usos a los cuales están normalmente destinados.

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

## **Fuentes de abastecimiento de agua.**

---

Son las aguas superficiales o subterráneas que se pueden usar para el consumo humano, previo tratamiento.

El agua de las precipitaciones (lluvia, nieve) puede tener distintos destinos una vez que alcanza el suelo, se reparte en tres fracciones.

Escorrentía, es la parte que se desliza por la superficie del terreno, primero como arroyada, difusa y luego como agua encausada, formando arroyos y ríos.

Otra parte del agua se evapora desde las capas superficiales del suelo o pasa a la atmósfera con la transpiración de los organismos, especialmente las plantas, nos referimos a esta parte como evapotranspiración.

Por último, otra parte se infiltra en el terreno y pasa a ser agua subterránea.

Existen básicamente dos fuentes de abastecimiento de agua;

- Agua de superficie.
- Agua subterránea.

### **Aguas superficiales.**

Se encuentran en quebradas, ríos o lagos y están sujetas a contaminación, tanto por medios naturales como por las actividades humanas. El agua superficial debe ser protegida para evitar que se convierta en un medio de transporte de agentes causantes de enfermedades. Para su utilización es necesario su tratamiento.



Es cualquier agua que permanece encima de la tierra, nosotros la vemos cada día. Esta agua viaja o se almacena encima del suelo:

## Aguas Superficiales.

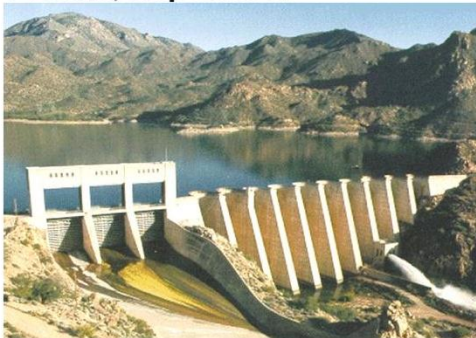
**Lagos.**



**Ríos.**



**Presas, depósitos.**



**Oceános.**



**Corrientes de lluvia.**



**Corrientes de nieve.**



La nieve puede llegar a ser agua de superficie y/o subterránea; cuando nieva en las montañas, no toda se funde entre nevadas, parte de la nieve se diluye y cae por las montañas como agua de superficie hasta alcanzar una masa de agua.

Las aguas de superficie que corren en canales de techos o sobre un estacionamiento asfaltado cuando llueve se denominan aguas de pérdidas. Las pérdidas son un problema porque llevan gasolina o aceites de los autos, o la basura hacia los abastecimientos de agua.



El agua de superficie debe ser tratada antes de llegar a ser agua para beber, ya que hojas, peces, excremento animal o combustible pueden entrar fácilmente en lagos, corrientes y ríos. Por esta razón es preferible utilizar agua subterránea más que agua de superficie porque es más limpia.

## **Aguas subterráneas.<sup>1</sup>**

---

Son las aguas que brotan o se filtran del subsuelo. Las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el terreno de agua de lluvia, lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas, denominadas acuíferos.

El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de kilómetros cuadrados. El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece a una tercera parte de la población mundial, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

**Es una creencia común que el agua subterránea llena cavidades y circula por galerías. Sin embargo, no siempre es así, pues puede encontrarse ocupando los intersticios (poros y grietas) del suelo, del sustrato rocoso o del sedimento sin consolidar, los cuales la contienen como una esponja.** La única excepción significativa la ofrecen las rocas solubles, como las calizas y los yesos, susceptibles de sufrir el proceso llamado karstificación, en el que el agua excava simas, cavernas y otras vías de circulación. A veces, el agua de superficie penetra en el suelo y llega a ser agua de suelo o agua subterránea, por eso no puede ser observada. Es la más utilizada para beber. En el ciclo de agua, parte de la precipitación se hunde en el suelo y entra en las líneas divisorias de las aguas, los acuíferos y las vertientes.

La cantidad de agua que se deposite en el suelo depende de cuánto absorba la tierra y de lo que está bajo el suelo. Por ejemplo: los lugares que tienen mucha arena absorberán más agua de los que tienen abundante piedra.

Cuando el agua fluye hacia abajo alcanza una capa del suelo, que ya contiene agua. Esta capa se denomina zona saturada, su punto más alto se llama nivel freático. El nivel freático cambia su altura dependiendo de las temporadas y la cantidad de lluvia. El agua subterránea fluye por capas de arena, arcilla, piedra y grava. Esto limpia el agua y además, por permanecer bajo la tierra, no está en contacto con contaminante superficial.

Como se desplaza el agua a través del subsuelo:

1. Movimiento del agua a través de la grava.
2. Movimiento del agua a través de la arena.
3. Movimiento del agua a través de la arcilla.

---

<sup>1</sup> María P. Collazo C Jorge Montañó X. Manual de aguas subterráneas Uruguay 2012



Entonces el agua subterránea no necesita tratamiento como el agua de superficie. Muchos acuíferos actualmente son usados como fuentes de agua potable y son capaces de satisfacer la demanda de un sistema público de suministro de agua potable.

El agua subterránea se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente a diferencia de lo que sucede con depósitos superficiales, como lagos y cursos de agua. En algunos casos la recarga es interrumpida por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores o por circunstancias climáticas por la aridez del terreno.

La velocidad a la que el agua subterránea se mueve depende del volumen de los intersticios (porosidad) y del grado de intercomunicación entre ellos.

### **Aguas Superficiales y Subterráneas de Guatemala.<sup>1</sup>**

Las aguas superficiales cubren cerca de 1,000 km<sup>2</sup> de los 108,900 km<sup>2</sup> de la superficie terrestre de Guatemala, aunque los recursos hídricos superficiales son abundantes, están distribuidos de forma desigual, altamente estacional, y en general están contaminadas.

El agua subterránea que proviene de pozos y manantiales forma un recurso esencial y una fuente importante de agua potable y se utiliza también para responder a la demanda sector agrícola, industrial, público y doméstica. El agua subterránea es generalmente abundante en los acuíferos de sedimentos de las llanuras, valles y tierras bajas del país.

Se estima que el volumen de las aguas subterráneas es de 33,699 millones de metros cúbicos por año.

**Los dos acuíferos más importantes de Guatemala son los que se sitúan en la capa de aluvión de la Llanura Costera del pacífico y el da caliza Kárstica fracturada que se extienden por debajo de la Sierra de los Cuchumatanes, la Sierra de Chamá y las tierras bajas del Petén.** Otros acuíferos más pequeños son importantes para pequeñas demandas locales.

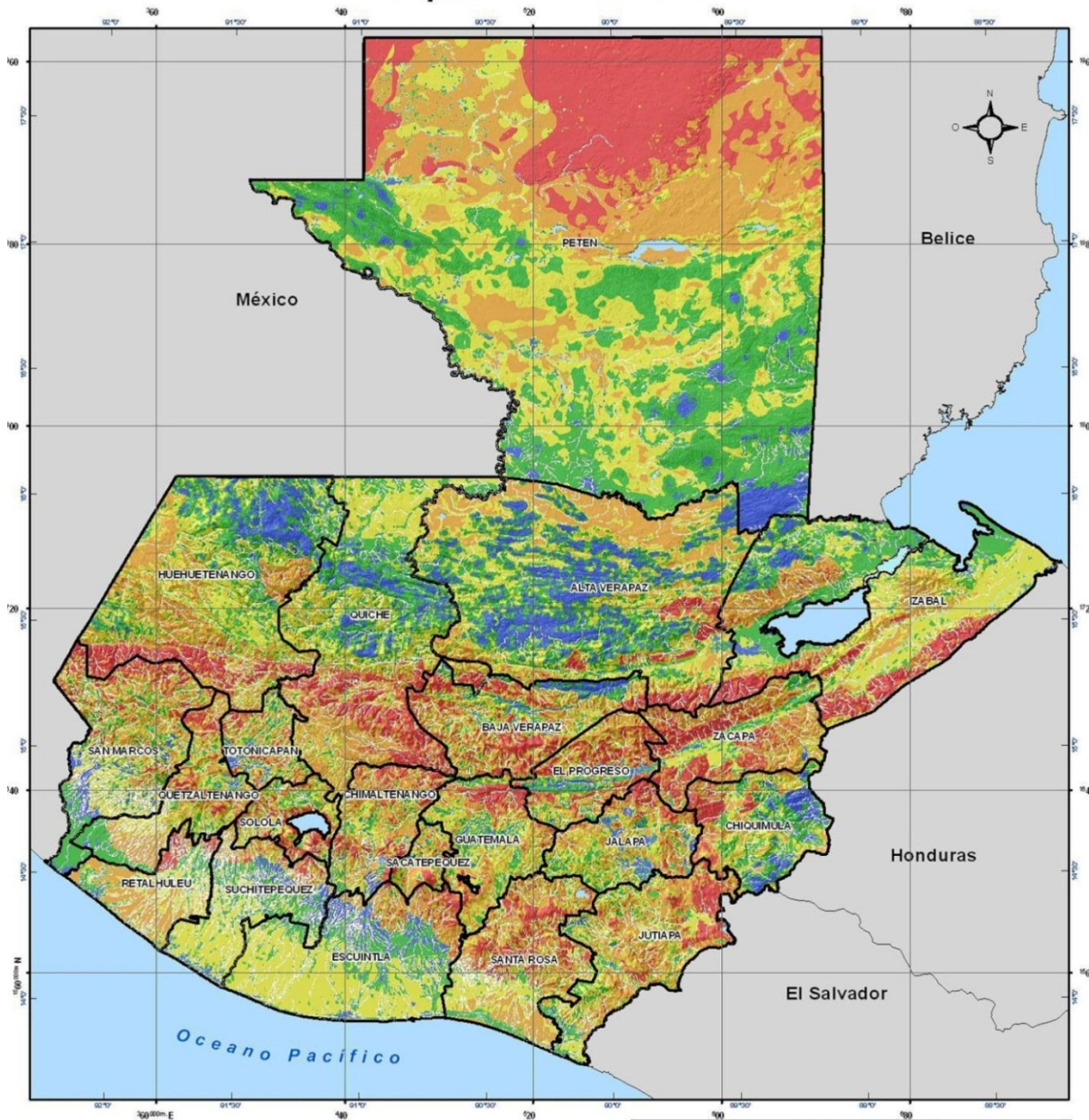
Las montañas y cerros de Guatemala contienen muchos otros tipos de acuíferos incluyendo depósitos volcánicos piroclásticos y de lava, sedimentos de baja permeabilidad.

---

<sup>1</sup> Evaluación del potencial de agua subterránea de la república de Guatemala USAID,MAGA.2004



## Potencial de Aguas Subterráneas a escala de reconocimiento (1:250,000) República de Guatemala



▭ Limite departamental  
— Ríos perennes

### POTENCIAL DE AGUAS SUBTERRANEAS

CATEGORIA		SUPERFICIE	
		Km2	%
<span style="color: red;">■</span>	MUY BAJO	18,740	17.21
<span style="color: orange;">■</span>	BAJO	28,923	26.56
<span style="color: yellow;">■</span>	MODERADO	32,107	29.49
<span style="color: green;">■</span>	ALTO	22,334	20.51
<span style="color: blue;">■</span>	MUY ALTO	5,998	5.51
<span style="color: lightblue;">■</span>	CUERPOS DE AGUA	786	0.72
<b>TOTALES</b>		<b>108,889</b>	<b>100.00</b>

DEPARTAMENTO	POTENCIAL DE AGUA SUBTERRANEA (Km2)					TOTAL DEPARTAMENTO
	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	
Alta Verapaz	556	2,695	3,171	2,614	1,559	10,694
Baja Verapaz	923	964	960	352	178	3,017
Chimaltenango	520	704	391	170	79	1,863
Chiquimula	369	521	654	599	261	2,403
El Progreso	611	542	379	247	106	1,885
Escuintla	267	454	2,298	1,079	416	4,504
Guatemala	448	725	654	333	20	2,180
Huehuetenango	852	1,996	2,417	1,484	603	7,362
Izabal	1,179	1,490	2,655	1,876	293	7,493
Jalapa	368	673	568	232	178	2,030
Jutiapa	718	1,274	917	378	40	3,317
Petén	6,965	9,392	9,790	8,638	1,145	35,927
Quetzaltenango	333	853	534	383	29	2,133
Quiché	1,161	1,507	2,507	1,640	463	7,278
Retalhuleu	170	740	531	222	38	1,701
Sacatepéquez	90	226	151	54	15	536
San Marcos	663	1,049	965	657	230	3,563
Santa Rosa	842	1,289	773	230	16	3,159
Solola	330	311	294	103	1	1,040
Suchitepéquez	159	277	1,113	618	226	2,393
Totonicapán	264	324	277	142	69	1,076
Zacapa	954	1,019	448	244	36	2,700
Cuerpo de agua						786
<b>Total General</b>	<b>18,740</b>	<b>28,923</b>	<b>32,107</b>	<b>22,334</b>	<b>5,998</b>	<b>108,889</b>

Fuente: Cordillera S.A. USAC, Cunor, USAID. Instituto Geográfico Nacional IGN





Las llanuras aluviales, valles y tierras bajas constituyen el 30% del territorio del país y contienen cerca del 20% de las reservas de agua disponible.

Las áreas aluviales constituyen aproximadamente el 20% del país y contienen el 40% de las reservas de agua subterránea disponible. Las áreas que contienen acuíferos Kársticos y de piedra caliza fracturada constituyen aproximadamente el 30% del país y se estima que contienen el 20% de las reservas subterráneas.

Las áreas que contienen acuíferos formados por depósitos volcánicos piroclásticos y flujo de lava constituyen del 10% del país y contienen el 10% de las aguas subterráneas. Los acuíferos que poseen una permeabilidad pobre constituyen el 30% del país y más o menos el 10% de las reservas de agua subterránea.

## **Distribución vertical de las aguas subterráneas.**

---

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de esta dentro de los materiales geológicos sub-superficiales o formaciones. A mayor o menor profundidad todos los materiales de la corteza terrestre, son normalmente porosos. Los poros o aberturas pueden encontrarse parcial o totalmente.

En un perfil de subsuelo, normalmente se presentan dos zonas con caracteres hidráulicos diferentes, integradas por varias franjas o fajas.

La zona más somera se denomina de **aireación o zona no saturada** y la más profunda de  **saturación o zona saturada**.

**Zona no saturada:** Es la situada entre la superficie del terreno y la superficie freática y sus poros y/o fisuras están ocupados por agua y aire. Esta zona se divide en:

- **Zona de aireación:**  
Es el estrato superior, en donde los poros o aberturas están sólo parcialmente llenos de agua. Esta zona se divide en tres franjas: La humedad del suelo. De donde las plantas extraen el agua.
- **La franja intermedia:**  
Escapa de las raíces de la mayoría de las plantas. Su espesor varía de acuerdo con los tipos de suelo y de la vegetación.
- **La franja capilar:**  
Sólo en algunos casos las raíces de las plantas alcanzan esta franja. El espesor de esta franja varía en razón inversa a la granulometría y depende del tamaño de los granos del material.



**Zona de saturación:** Se encuentra por debajo de la zona de aireación, los poros o aberturas se encuentran completamente llenos de agua. También se le llama zona de agua sostenida. Es el dominio de las aguas subterráneas pudiendo alimentar los pozos y fuentes. Las aguas de percolación se localizan en esta zona, llamaremos a esta zona de saturación Capa o Manto acuífero.

▪ **La parte superior:**

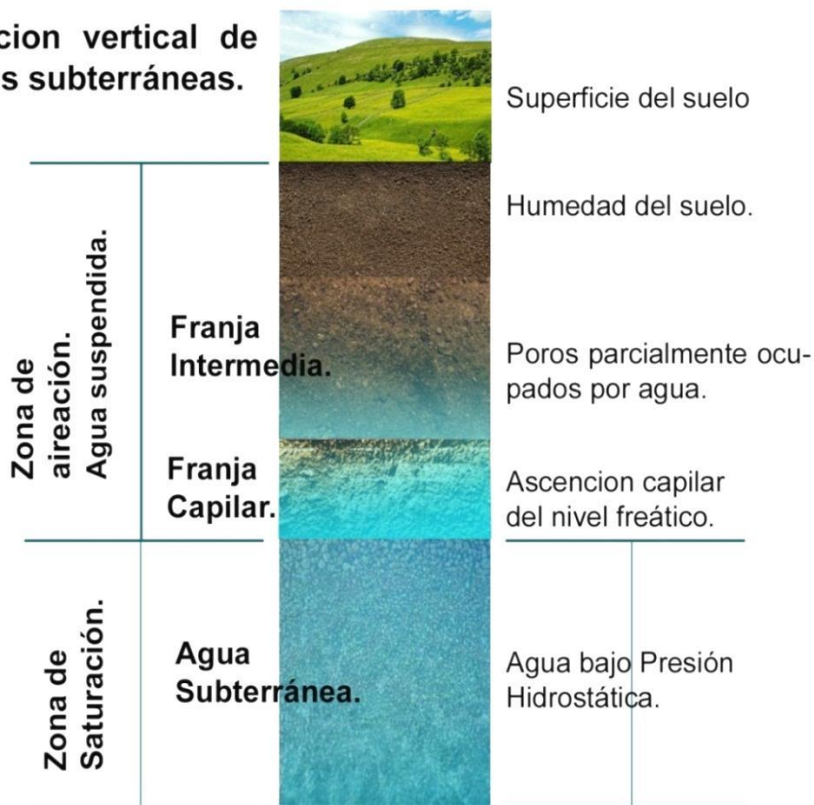
Límite de la zona de saturación es una superficie de equilibrio, la presión del agua es igual, en todos los puntos, a la presión atmosférica, es la superficie libre de las aguas subterráneas o Nivel Freático. Podemos decir entonces que la zona de saturación es aquella comprendida bajo el nivel freático.

▪ **Acuífero:**

Es el lugar donde se encuentra confinada el agua para explotarla por medio de los pozos mecánicos.

**Nivel freático:** Esta en el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre. Parte superior de un acuífero confinado; indica el nivel debajo del cual el suelo y la roca están saturados con agua. Su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua en un pozo en reposo.

**Distribución vertical de las aguas subterráneas.**



Fuente:elaboración propia.



## Acuíferos.

---

Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación como pozos, sondeos, galerías, etc.

Se define como una formación, grupo de formaciones o parte de una formación geológica que contiene suficiente material saturado y permeable para producir suficientes cantidades de agua hacia los pozos y manantiales. Por consiguiente, para que un pozo produzca agua se necesita que esté en contacto con una formación acuífera. Una definición simple de acuífero es la siguiente:

**“Formación o conjunto de formaciones geológicas capaces de almacenar y conducir cantidades significativas de agua subterránea.”**

Los acuíferos desempeñan un papel fundamental tanto como conductores de las aguas desde sus zonas de recarga hasta lagos, ríos, manantiales, pantanos, captaciones construidas por el hombre y como almacenadores de estos recursos que posteriormente pueden ser aprovechados para satisfacer las necesidades de abastecimiento de sus usuarios.

### **Funciones del acuífero.**

Las funciones más importantes que realiza un acuífero son dos:

#### **Almacenar y transmitir agua.**

Este almacena agua sirviendo como depósito y transmite agua como lo hace un conducto. Los poros o aberturas de una formación acuífera le sirven tanto de espacio de almacenamiento como de red de conductos.

El agua subterránea se mueve constantemente a través de distancias extensas y desde las áreas de recarga hacia las descargas. El desplazamiento es muy lento con velocidades que se miden en metros por día o metros por año. Como consecuencia de ello y del gran volumen que su porosidad representa, un acuífero retiene enormes cantidades de agua en almacenamiento inestable.

La superficie imaginaria a la cual se elevará el agua en los pozos localizados en una capa acuífera artesiana se llama Superficie Piezométrica. Esta superficie puede estar arriba o debajo de la superficie del suelo, en diferentes partes de la misma capa acuífera.

Donde la superficie piezométrica se encuentra sobre la superficie del suelo, un pozo para captar la capa acuífera fluirá al nivel del suelo y se conoce como pozo artesiano de flujo.

Donde la superficie piezométrica yace bajo la superficie del suelo, resulta un pozo artesiano sin flujo (semisurgente) y debe proveerse algún medio para elevar el agua (una bomba) y sacarla del pozo.



Usualmente, el agua entra a una capa acuífera artesiana en un área donde se eleva a la superficie del terreno y queda expuesta. Tal área expuesta se llama área de recarga y el manto acuífero en esa zona no estando confinado, sería del tipo de capa freática. Los mantos acuíferos artesianos también pueden recibir agua del subsuelo procedente de filtraciones, a través de las capas confinantes y en intersecciones con otras capas acuíferas cuyas aéreas de recarga están a nivel del terreno.

- **El nivel estático** es la distancia comprendida desde la superficie del terreno hasta la zona de saturación.
- **El nivel dinámico** es también llamado de bombeo.
- **Nivel freático:** Cada punto sobre la superficie de la zona de saturación se llama nivel freático.
- 

La unión de todos los niveles freáticos de los pozos se llama capa freática.

### **Tipos de acuíferos.**

---

Los acuíferos se clasifican en:

**En función de su estructura,** o de la presión hidrostática del agua contenida en ellos tenemos:

1. Acuíferos libres, no confinados o freáticos.
2. Acuíferos confinados, cautivos o a presión.
3. Acuíferos semiconfinados o semicautivos.

**En función del tipo de materiales** que constituyen el acuífero.

1. Depósitos no consolidados de materiales sueltos.
2. Rocas sedimentarias consolidadas.
3. Rocas ígneas y metamórficas.

**Según su comportamiento hidrodinámico.**

1. Acuífero.
2. Acuiclude.
3. Acuitardo.
4. Acuífugo.

**En función de su estructura.**

**Acuíferos libres o de nivel freático.**

Son los acuíferos que tienen la parte superior del agua contenida en ellos a presión atmosférica. En los pozos perforados en estos acuíferos se encuentra el agua tan pronto como se llegue a la zona saturada, constituyendo este nivel de saturación al nivel estático del agua. Son acuíferos cuyo piso es impermeable y su techo está a presión atmosférica. La recarga de este tipo de acuífero es directa y se realiza por infiltración del agua de lluvia



a través de la zona no saturada o por infiltración de ríos o lagos. Son los más afectados en caso de sequía, ya que el nivel freático oscila con los cambios climáticos. Pozos muy someros se ven afectados (se secan), cuando el nivel freático desciende hasta por debajo de la profundidad total del pozo.

### **Acuíferos artesianos o confinados.**

Son los acuíferos que tienen el agua sometida a presión por encontrarse entre dos capas impermeables que la confinan. Cuando al hacer una perforación se rompe la capa confinante superior, el agua sube hasta el nivel estático, que está determinado por un agente de recarga. (Río, lago, etc.) En contacto con el acuífero.

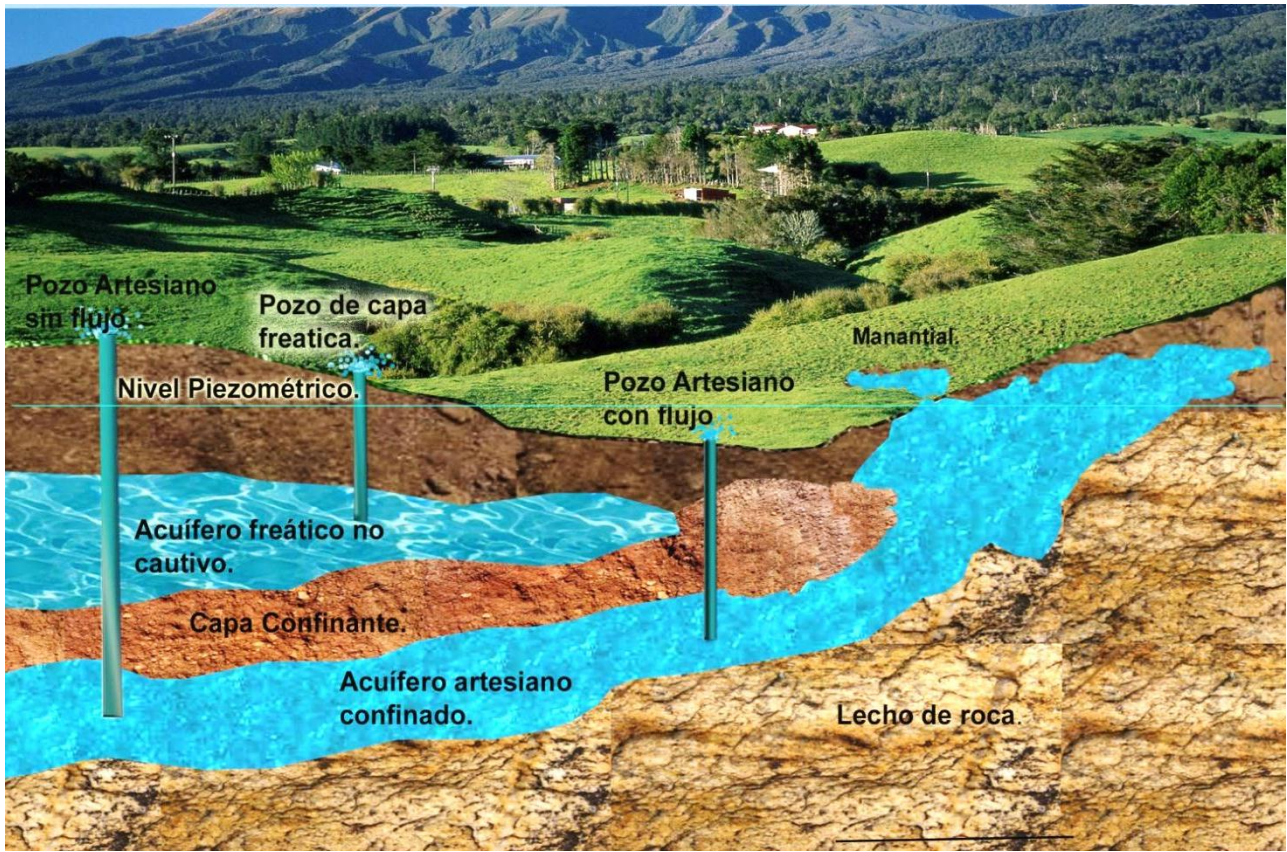
Limitados en su parte superior por una formación de baja a muy baja permeabilidad. La presión hidrostática a nivel del techo del acuífero es superior a la atmosférica y la recarga es lateral. Cuando se realiza un pozo en éste tipo de acuíferos, el agua contenida en ellos asciende rápidamente por su interior. Si el agua alcanza la superficie, al pozo se le llama surgente. Superficie potenciométrica se le denomina al nivel de agua virtual que se genera cuando se integran todos los niveles hidráulicos observados en los pozos del acuífero confinado. Se encuentra limitado por arriba y por abajo por capas no permeables que transmiten el agua de forma significativamente más lenta que el acuífero no confinado. El nivel de agua de un pozo que cubre un acuífero confinado se lleva por arriba de su parte alta, por que este se encuentra bajo presión.

### **Acuíferos semiconfinados o semicautivos:**

Son mucho más frecuentes en la naturaleza que los cautivos. En estos, el techo, el piso o ambos, están formados por capas de baja permeabilidad que si bien dificultan no impiden la circulación vertical del agua. Para que ello suceda, además de la permeabilidad deben existir diferencias de carga o potencial hidráulico entre el acuífero semiconfinado y otro superior o inferior. Los acuíferos semiconfinados se recargan y descargan a través de las unidades de baja permeabilidad denominada semiconfinante, filtrante o acuitardos.

### **Características de los pozos artesianos y freáticos.**

- Los pozos rasos en los acuíferos freáticos el agua se encuentra sujeta a la presión atmosférica.
- Los pozos artesianos o profundos en los acuíferos artesianos el agua se encuentra sujeta a una presión mayor que la atmosférica.



Fuente: elaboración propia.

### En función del tipo de materiales y porosidad se clasifican:

1. Acuíferos de porosidad primaria, porosos o sedimentarios.
2. Acuíferos de porosidad secundaria, fisurados o fracturados.
3. Acuíferos por disolución, químicos o kársticos.

### Acuíferos de porosidad primaria o poroso:

Constituidos por formaciones geológicas sedimentarias. Los materiales suelen ser gravas y principalmente arenas, que varían su composición y tamaño en función de su origen geológico (fluvial, eólico, lacustre, glacial, etc.). Estos materiales pueden estar sueltos o no consolidados (generalmente son formaciones recientes, de edad cuaternaria) o consolidados.

### Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado.

Formados por rocas “duras” de origen ígneo o metamórfico.

La porosidad en estos acuíferos viene dada por la presencia de zonas de alteración, fracturas, fallas o diaclasas, única forma que tiene el agua de almacenarse y de circular. Hay que tener en cuenta que para que el agua pueda circular, estas fracturas tienen que estar abiertas y comunicadas.



### **Acuíferos kársticos por disolución.**

Compuestos por rocas de origen carbonático (calizas, margas, dolomías), donde la porosidad (huecos y cavernas) se desarrollan en forma secundaria por disolución del carbonato. El agua en estos acuíferos circula por entre los huecos con una velocidad mayor que en los acuíferos porosos o fracturados.

### **En función de su comportamiento hidrodinámico.**

#### **Acuífero.**

Formación geológica que almacena volúmenes de agua que se mueven con facilidad a través de él (por ejemplo, arenas y gravas).

#### **Acuicluda.**

No todas las formaciones geológicas tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible extraerla, son los llamados acuicludos formación geológica que almacena volúmenes de agua que se mueve lenta e ineficientemente a través de ella (por ejemplo, limo, arcilla).

#### **Acuitardo.**

Que son formaciones semipermeables, que transmiten el agua muy lentamente y que resulta muy difícil su extracción mediante obras de captación, pero que son importantes para la recarga de acuíferos adyacentes, debido a la posible filtración vertical o drenaje formación geológica que almacena agua que prácticamente no se mueve (por ejemplo, rocas compacta limos, limos arenosos).

#### **Acuífugo.**

Otras formaciones no son capaces de almacenar ni transmitir el agua subterránea, son impermeables y a éstas se las llama acuífugos (ej. Granitos, gneiss formación geológica que no es capaz de almacenar agua).

### **Características hidrogeológicas.**

Estas dependen de las características de las formaciones geológicas donde se encuentra almacenada y en circulación el agua subterránea, ya que las porosidades de los materiales son los que regulan la capacidad de almacenamiento del agua, así como también proporcionan las condiciones favorables o desfavorables para el movimiento del agua subterránea a través de dichas formaciones.

Es preciso conocer que, desde el punto de vista geo-hidrológico, existen dos tipos grandes de rocas.

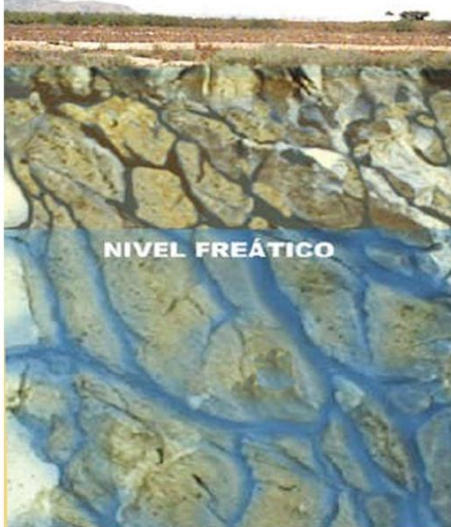
- Las rocas con permeabilidad de intersticios o de pequeña permeabilidad, como las arenas y las gravas.



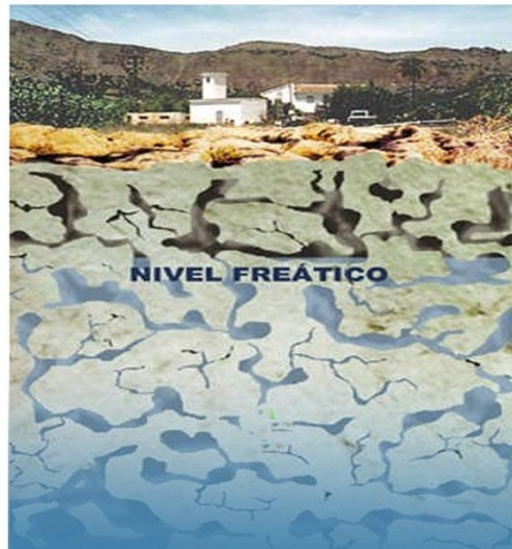
- Las de permeabilidad de fisuras o de gran permeabilidad, donde el tipo predominante es la roca calcárea.

Siendo una formación permeable aquella que además de ser porosa, tiene los poros conectados entre sí, por lo que permite que se almacene agua y se desplace a través de ella.

**Acuífero Fisurado.**



**Acuífero Kárstico.**



**Acuífero Poroso.**



**Acuífero Kárstico:** rocas de origen carbonatado. (calizas, margas, dolomitas).

**Acuífero Porosidad Primaria:** formaciones geológicas sedimentarias, gravas, arenas.

**Acuífero Porosidad Secundaria o Fisurado:** rocas duras de origen ígneo o metamórfico.

Fuente: elaboración propia.

**Rocas ígneas:** Las formaciones ígneas y metamórficas por lo general no dan paso al agua debido a que son poco permeables. Son rocas formadas a partir del enfriamiento y cristalización del magma. Estas formaciones sólo permiten el paso del agua a través de grietas o canales formados en ellas.





Pueden ser extrusivas si su enfriamiento y cristalización es en superficie (rocas volcánicas, ej. Basalto, Andesita, etc.), o intrusivas si su enfriamiento y cristalización fue en el interior de la corteza (rocas plutónicas, ej. Granito, Diorita, Gabro, etc.).

**Rocas sedimentarias:** Las rocas y formaciones de tipo sedimentario constituyen la mayoría de los acuíferos debido a que son los más porosos y las más permeables, constituidas por la acumulación y consolidación (litogénesis) de restos de rocas preexistentes, transportadas por la acción del viento, del hielo o del agua (ej. Areniscas, Loess, Arcillas) o por el resultado de precipitación de diferentes compuestos químicos (ej. Calizas, Dolomías, Margas).

### **Características hidrodinámicas, (funciones de las capas acuíferas).**

#### **Porosidad.**

Es entre los espacios vacíos de una roca y el volumen total de la misma.

La porosidad de una formación portadora de agua es el porcentaje del volumen total de la formación consistente en abertura o poros. Es la relación expresada en porcentaje, que existe entre el volumen de espacios vacíos sobre el volumen total ocupado por la masa de suelo o roca. Es la capacidad de un suelo de absorber agua.

#### **Permeabilidad.**

Se mide por la cantidad de agua gravítica que pasa por la unidad de sección y por unidad de tiempo bajo una carga determinada. Permite definir la velocidad de filtración si la porosidad de la roca es conocida. Las rocas poseen diferentes valores de porosidad y permeabilidad.

Es la capacidad de un suelo de dejar pasar agua, medida muy característica de la textura del acuífero. (m/día).

#### **Transmisividad.**

Capacidad que tiene el suelo de dejar pasar agua. Es la razón por la cual fluye el agua a través de una franja vertical de acuífero unitario de ancho y altura igual al espesor saturado del mismo cuando el gradiente hidráulico o pendiente de la superficie freática o de la superficie piezométrica es igual a la unidad.

#### **Coefficiente de almacenamiento.**

Capacidad que tiene un suelo de almacenar agua. Se definen como el volumen de agua liberado por una columna del acuífero de altura igual al espesor del mismo y de una sección unitaria, al disminuir la presión en una unidad.

En acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad efectiva y su valor suele oscilar entre 0.01 y 0.4 siendo el intervalo más frecuente de 0.1 a 0.3 en acuíferos cautivos y semiconfinados el valor del coeficiente de almacenamiento es



variable de orden de magnitud inferior al de la porosidad eficaz en general  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  es adimensional.

### **Caudal específico.**

Se define como el caudal específico de los pozos como el cociente entre el caudal de agua bombeado del descenso del nivel producido. El caudal específico de un pozo es constante para un determinado caudal, ya que con el tiempo el descenso aumenta. Sin embargo, los descensos tienden a estabilizarse y por lo tanto el caudal específico también.

### **Características Físico-químicas del Agua Subterránea.**

Conocer los componentes disueltos o en otras formas del agua subterránea es una de las características más importantes a determinar. La presencia y concentración de determinados compuestos hace que el agua subterránea se diferencie de otras.

Los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad de las aguas subterráneas pueden ser intrínsecos o extrínsecos al acuífero. En principio, el agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas a medida que se infiltra y aumenta su recorrido en los distintos acuíferos. Además de otros factores que interfieren en la composición del agua, como clima, composición del agua de recarga, tiempo de contacto del agua con el medio físico, etc., además de la contaminación causada por el hombre.

### **Características físicas.<sup>1</sup>**

**Temperatura:** poco variable y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar. En profundidad depende del gradiente geotérmico, que aumenta  $1^{\circ}$  cada 30m de profundidad.

**Conductividad eléctrica:** Es la medida de la facilidad de un agua para conducir la corriente eléctrica y su valor aumenta con el tenor de sales disueltas en forma de iones. En aguas subterráneas los valores de conductividad son del orden de  $10^{-6}$  mhos/cm, o micromho/cm (mhos/cm a  $25^{\circ}\text{C}$ ). Este parámetro aumenta con la temperatura.

**Color:** Es el resultado de las sustancias disueltas en agua, principalmente provenientes de la disolución de la materia orgánica.

**Olor y sabor:** Están íntimamente relacionados entre sí y frecuentemente lo que se llama "gusto" es realmente percibido como olor. Son parámetros subjetivos, pero en general se puede decir que aguas con más de 300 mg/l de cloruros tienen sabor salado, con más de 400 mg/l de  $\text{SO}_4^{2-}$  tienen sabor salado y amargo, etc.

**Turbidez:** es la dificultad del agua para transmitir la luz y se debe a la presencia de sólidos en suspensión (limos, arcillas, materia orgánica, etc.) que dificultan el pasaje de la luz.

<sup>1</sup> María Paula Collazo C. Jorge Montaña X. Manual de aguas subterráneas. Montevideo, Uruguay 1012.



### **Características químicas.**

**PH:** es la medida de la concentración de hidrogeniones del agua o de la solución, estando controlado por las reacciones químicas y por el equilibrio entre los iones presentes. En agua subterránea varía entre 6,5 y 8,5.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** mide la capacidad de un agua de consumir oxígeno durante procesos químicos. Los valores comunes en las aguas subterráneas se sitúan de 1 a 5 mg/l de O<sub>2</sub>.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para consumir la materia orgánica contenida en el agua mediante procesos biológicos aeróbicos. Es una medida importante de la contaminación del agua y debe referirse a un cierto tiempo (24 horas, 5 días, etc.). Valores superiores a 1 ppm de O<sub>2</sub> indican contaminación.

### **Contaminación del agua subterránea.<sup>1</sup>**

La contaminación es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua por la acción de procesos naturales o artificiales, que producen resultados indeseables. La contaminación puede ser natural o artificial y ésta última directa o inducida. El flujo a través de arena hace que el agua subterránea por lo general está libre de bacterias, sólidos suspendidos, turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno. Pero no impide el paso de sustancias disueltas que dependen de la naturaleza de los estratos.

**La Contaminación Natural:** es la producida por contacto con formaciones sedimentarias marinas y salinas o por yacimientos metalíferos, radioactivos y petrolíferos. En estos casos se incorpora al agua subterránea, las sustancias que integran estas formaciones

**La contaminación artificial:** es la más común y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana y rural) o a la actividad que la genera. (Doméstica, industrial, agropecuaria).

**Artificial urbana:** Se genera por vertidos domésticos, pérdidas en redes cloacales, lixiviados de vertederos, lixiviados de la industria, etc.

**Artificial rural:** Se genera debido al empleo indiscriminado de agroquímicos, a causa de efluentes no tratados de tambos, corrales, etc.

**Artificial inducida:** se genera por salinización de un acuífero, debido a una sobreexplotación de pozos en áreas costeras.

La contaminación de agua subterránea es más difícil de detectar que la del agua superficial debido a que no es visible, provocando mayor duración del contaminante en el medio, una vez detectada es posible que haya afectado a una gran parte del acuífero. Una vez que se determina la contaminación del agua, se debe de identificar la fuente de contaminación y por lo tanto el contaminante, su movilidad, su toxicidad y su persistencia.

---

<sup>1</sup> María Paula Collazo C. Jorge Montañó X. Manual de aguas subterráneas. Montevideo, Uruguay 1012.



En resumen el agua subterránea puede contaminarse por:

- Solución de sales del subsuelo.
- Sobrebombeo que puede provocar intrusión de agua de inferior calidad o de agua salada.
- Programas de recargas de acuíferos.
- Infiltración de aguas de riego o lluvia.
- Infiltración de aguas residuales procedentes de letrinas, drenajes de tanque sépticos o lagunas de estabilización.
- Los sistemas de alcantarillado y los emisarios evitan la contaminación, pero por otra parte, disminuyen la recarga del acuífero.
- Descarga de desechos industriales en estanques o lagunas, que den origen a la entrada de contaminantes químicos en solución.

### **Microorganismos en el agua subterránea.**

Las bacterias son los organismos más comunes que se pueden encontrar en el agua subterránea. Cumplen un rol fundamental en el ciclo de la materia orgánica. Las bacterias nitrificantes son las más frecuentes, siendo la nitrificación la oxidación del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por la acción del oxígeno atmosférico ( $\text{O}_2$ ) utilizado por las bacterias. Partiendo de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), se pasa a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (bacterias del género Nitrosomonas) y luego a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (bacterias del género Nitrobacter).

### **Contaminación por Nitratos.**

La contaminación por nitratos se ha convertido en una de las principales causas de deterioro del agua subterránea, observándose en ámbitos rurales y urbanos. En el campo deriva principalmente de la bosta y orín existentes en los tambos y corrales, y proveniente de los pozos negros. La contaminación por nitratos es generalmente puntual o localizada vinculada principalmente a tambos pero se hace difusa cuando deriva del excesivo uso de fertilizantes en grandes extensiones y con riego excesivo.

El límite superior de nitratos en el agua subterránea es de 45 mg/l, valores superiores indican contaminación. Las enfermedades relacionadas a este ión provocan la llamada enfermedad del niño azul (metahemoglobinemia), además de diarrea, cólera, hepatitis, fiebre tifoidea, etc.

### **Contaminación por materia orgánica (coliformes fecales):**

La contaminación del agua subterránea por coliformes fecales se produce cuando se introducen estas bacterias en ella. El 99,9% de las bacterias fecales desaparecen entre los 10 y 50 días de tránsito en el acuífero.

La zona no saturada es la primer barrera protectora frente a la contaminación, ya que la infiltración se inicia en esta zona, siendo los suelos más protectores los más arcillosos; posteriormente y ya en la zona saturada, el tiempo de tránsito dependerá del tipo de acuífero. La distancia entre la fuente de contaminación y el pozo es fundamental, por lo que una mayor distancia del pozo a la fuente de contaminación provocaría un mayor



tiempo de tránsito con mayor probabilidad de eliminación y menor concentración del contaminante en el agua. Pozos sin cementar favorecen la entrada de agua superficial contaminada directamente hacia el acuífero.

## **Captación del agua subterránea.**

---

La manera más antigua de utilizar el agua subterránea ha sido el aprovechamiento directo de los manantiales o fuentes, y posteriormente mediante obras de captación efectuadas a pico y pala: excavaciones de pozos y la construcción de galerías horizontales.

**Como fuente de abastecimiento:** las aguas subterráneas, se pueden explotar por medio de la perforación de pozos mecánicos, que han venido a ser una solución práctica y eficiente para obtener esa agua de los acuíferos y asegurar el abasto por bastante tiempo, una de las grandes ventajas de las aguas subterráneas es que son de buena calidad para el consumo humano por estar protegidas naturalmente, por capas de suelos o rocas que tienen la capacidad de atenuar, retardar o retener algunos contaminantes.

El agua subterránea brota de forma natural en distintas clases de lugares, en las laderas (manantiales) y a veces en fondos del relieve, siempre allí donde el nivel freático intercepta la superficie.

Como fuentes de abastecimiento las aguas subterráneas se pueden presentar en forma de:

- De manantial.
- De pozos someros, noria o profundos.
- De galería filtrante horizontales o verticales.

### **Los manantiales:**

Se puede definir un manantial como un lugar donde se produce un afloramiento natural de agua subterránea. El agua del manantial fluye por lo general a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada. En los lugares donde existen estratos impermeables, estos bloquean el flujo subterráneo del agua y permiten que aflore a la superficie.

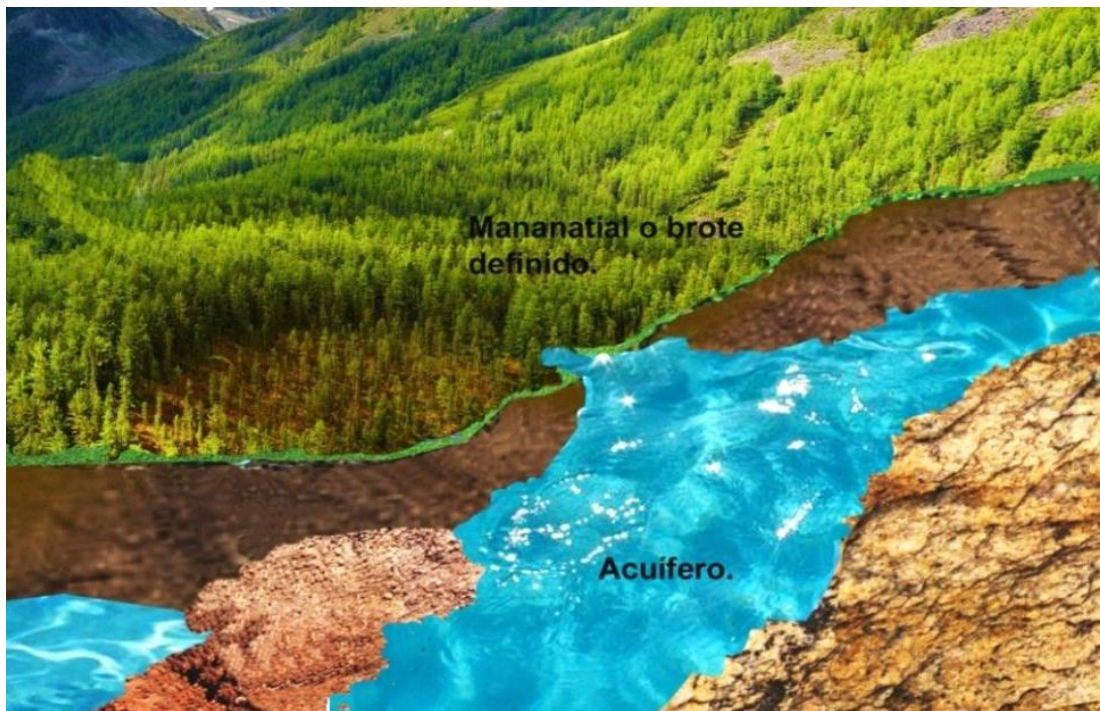
El agua del manantial es pura y, por lo general, se la puede usar sin tratamiento, a condición de que el manantial este adecuadamente protegido con una estructura que impida la contaminación del agua. Se debe asegurar que el agua provenga realmente de un acuífero y que no se trate de agua de un arroyo que se ha sumergido a corta distancia. Los manantiales generalmente se localizan en las laderas de las colinas y los valles ribereños. En los de ladera el agua aflora en forma horizontal; mientras que en los de fondo el agua aflora en forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado y cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor, es un manantial difuso.



El lugar donde brota es donde el terreno se encuentra con el nivel freático, dependiendo del tamaño del manto freático y de la forma del terreno del punto del afloramiento, el manantial puede ser de;

### **Brote definido.**

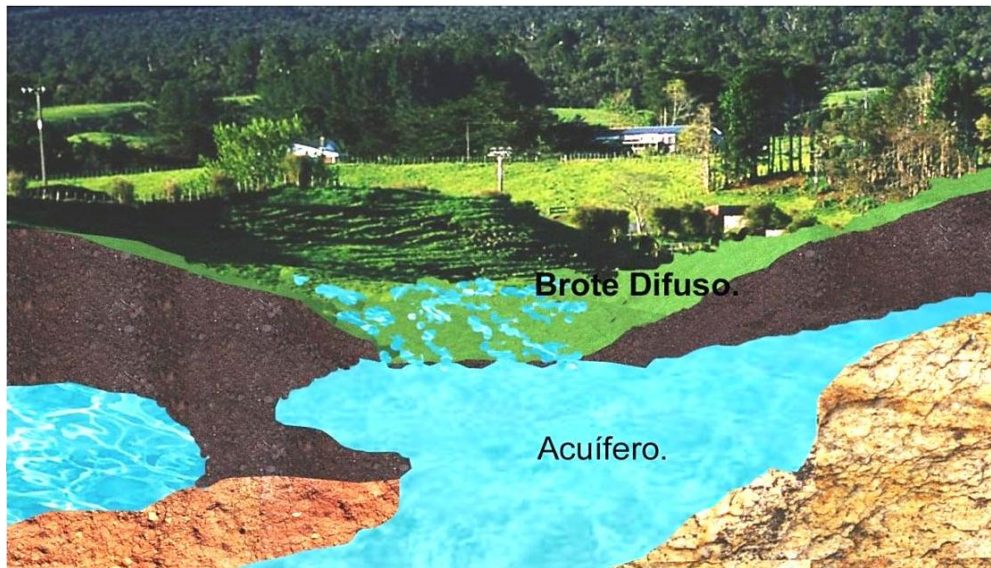
Es cuando emerge el manantial, desde el acuífero de una manera clara, identificable y bien definida. Este se debe a que el terreno se interpone en el estrato que contiene el agua, y lo corta súbitamente, produciendo el afloramiento del líquido.



Fuente. Elaboración propia.

### **Brote difuso.**

Aquí el agua brota de una manera no puntual, sino que distribuye en un área grande, donde no se puede ver e manera concreta el lugar donde brota el agua. Por ejemplo los pantanos las ciénagas. Se deben que el terreno corta únicamente de manera parcial el estrato en donde se desplaza subterráneamente el agua. El nivel del terreno es tangente al estrato acuífero, únicamente lo roza, el terreno no corta toda la sección por la que se desplaza el agua.



Fuente: Elaboración propia.

### Los pozos.

Es la forma tradicional para obtener agua subterránea. El agua se filtra a través de los poros de la tierra almacenándose y circulando por debajo del nivel del suelo. Dependiendo del estrato geológico a través del cual circula y de la profundidad a la que lo hace, así será el trabajo que se haga para la obtención del agua; así pues un pozo puede ser simplemente excavado, clavado, perforado o barrenado.

Existen varios tipos de pozos como los:

#### Pozos excavados.

Se efectúan con herramienta sencilla, de una forma artesanal, se encuentra levemente al excavar el nivel freático.



Excavación Manual.



Debido a que el pozo excavado corta el nivel el manto freático y la profundidad a la que se realiza no es muy grande, usualmente el estrato que suministra el agua es libre o sea



no confinado, es decir, es un estrato en donde se almacena el agua que se ha filtrado por los poros y aberturas del suelo. El nivel del manto freático es determinado por la capacidad de filtración del suelo, y este es el mismo nivel del pozo excavado.

### **Pozos impulsados.**

Cuando no hay brotes naturales, el agua subterránea se puede acceder a través de pozos, perforaciones que llegan hasta el acuífero y se llenan parcialmente con el agua subterránea, siempre por debajo del nivel freático, en el que provoca además una depresión local.

Es aquel que penetra y capta el agua en el manto acuífero. Se realiza de una forma utilizando medios mecánicos y a mayor profundidad que un pozo tradicional. La extracción de aguas se hace por medios mecánicos eficientes que producen un mayor caudal que los pozos tradicionales.



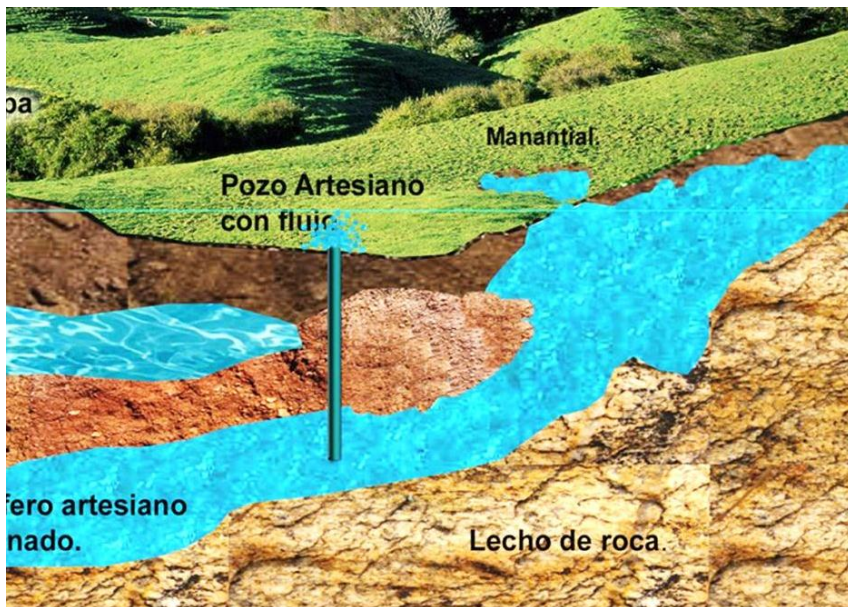
Fuente: elaboración propia.





## Pozos artesianos.

Son los pozos de que emana agua a presión. El agua que se acumula en mantos geológicos de roca cerrada, se llama agua confinada, debido a que registra una presión sobre las superficies que la confinan. Si se efectuara un agujero que atravesase el manto rocoso, el agua saldrá impulsada debido a la presión que tiene.



Fuente: elaboración propia.

El pozo que es construido con el fin de atravesar las paredes que confinan un manto de agua subterránea, se conoce como pozo artesiano, generalmente se encuentran a varios metros de profundidad por lo que para perforarlos se necesita equipo especializado ya que se busca suministrar el agua a través de la penetración en las paredes que lo confinan.

## 2.- Perforación de pozos mecánicos.

Estos se realizan con maquinaria especializada, ya se efectúa a grandes profundidades. Estos deben su nombre a la forma mecánica en que se han trabajado. Un pozo artesiano puede denominarse o considerarse un pozo perforado, pero su característica es que el agua obtenida está a presión. Un pozo perforado tiene como objetivo obtener agua de mantos acuíferos profundos y se construyen a través del lecho de roca. Para extraer el agua se usan bombas de distintas clases.

El agua antes de ser bombeada, registra un nivel, conocido como "nivel estático", que es la superficie original del agua. En el momento de ser bombeada se presenta un remolino de forma cónica, conocido como "cono de abatimiento". La sección transversal que describe este comportamiento se conoce como curva de succión de un pozo. El nivel



inferior del cono es conocido como el nivel dinámico, debido a que se presenta únicamente cuando el agua, es decir, hay succión. En el momento en que esta es suspendida, el nivel del agua vuelve a su normalidad, es decir al nivel estático.

### **Pozo Perforado.**

Obra hidrogeológica de acceso a uno o más acuíferos para la captación de agua subterránea, ejecutada con sonda perforadora en forma vertical con diámetro mínimo de 8".

Es el conjunto de operaciones que se realizan con el objeto de excavar mecánicamente un pozo. A través de la realización de este se atraviesa el suelo y formaciones adyacentes mediante una sonda perforadora. En función de la necesidad de extracción y de la geología local.

Son todos aquellos pozos para cuya perforación se emplean maquinas o equipos especialmente diseñados, para alcanzar las formaciones acuíferas. El diámetro y profundidad son funciones de la necesidad y disponibilidad hídrica de la geología presente.

Generalmente se perforan cuando no existe otra fuente disponible de tipo superficial (escorrentía o manantial), y/o cuando se necesitan caudales apreciables de agua y que ésta se encuentra a considerable profundidad.

Son conocidos y empleados varios sistemas de perforación en suelos y rocas, teniendo en cuenta los objetivos para los que se destine la obra, estos pueden ser:

- 1. Método por Percusión.**
- 2. Método de Rotación.**
- 3. Perforación rotatoria con aire comprimido.**

Los métodos más comunes y más eficientes son los perforados por rotación normal y rotatoria con aire comprimido.

En este estudio nos enfocaremos con detalle al método de perforación por rotación, con circulación directa que es el más común, y el que se utiliza en toda clase de suelos, por lo que se hará un análisis detallado de cada elemento que conforma el equipo, y su función propiamente dentro de la perforación.

### **Perforación por percusión.**

Este método funciona dejando caer con regularidad una pesada barra de acero dentro del agujero, el barrenos fractura la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos, cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados la acción de vaivén de la barra pesada entremezcla con agua las partículas formando así un lodo.



## Perforación por Percusión.



la perforación con percusión consiste en el golpeo repetido de la roca mediante un trépano hasta machacar totalmente la roca, para luego ser extraída a la superficie mediante una herramienta llamada válvula o cuchara.

Este sistema de perforación se usa especialmente para perforaciones en terrenos consolidados tales como calizas, dolomías, areniscas cementadas, etc.



Fuente: elaboración propia.

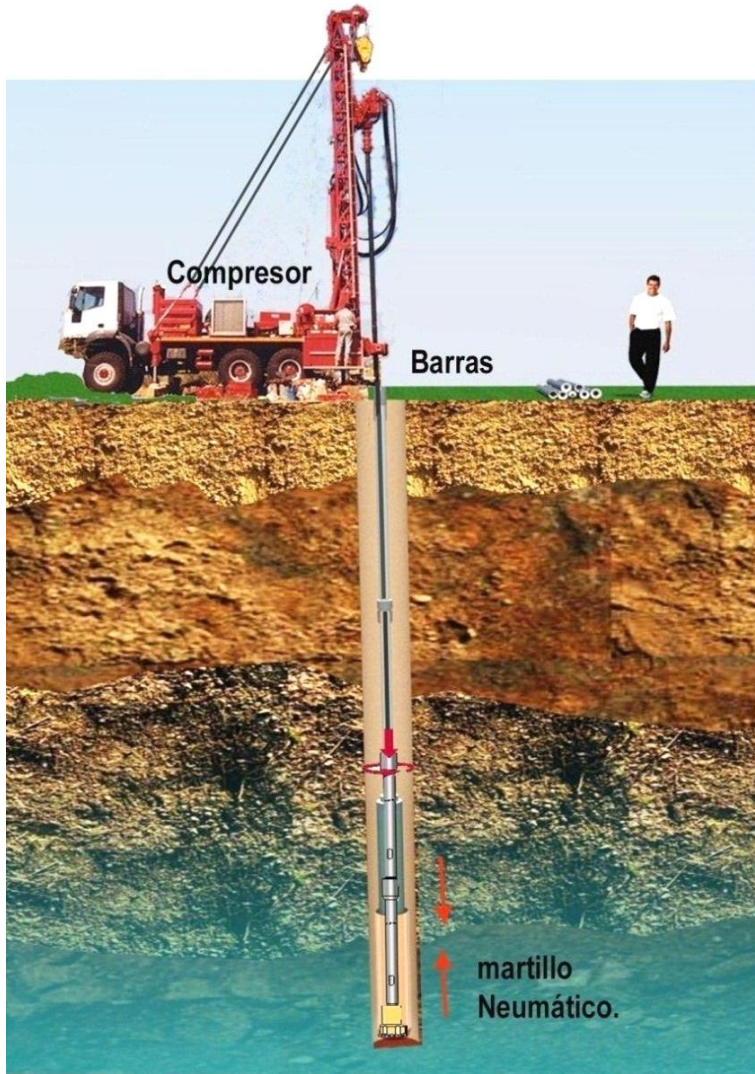
Los pozos conducidos se pueden crear muy simplemente adentro consolidando el material con un “punto bien”, que consiste en un punto endurecido y una pantalla (pipa perforada) de la impulsión. El punto se martilla simplemente en la tierra, generalmente con un trípode y un winch mecánico. El agua para formar el lodo es agregada al agujero cuando no se está perforando.

El método de percusión se prefiere en los casos en que se perfora a través de roca cavernosa, con formaciones altamente permeables y estables; así como; en los casos donde existen aglomeraciones de tipo glacial o depósitos aluviales con trozos de roca mezclados. El lodo debe ser retirando conforme se va acumulando mediante una bomba de arena o una cuchara, pero al utilizar esta forma se retarda la velocidad de la penetración.



## Perforación rotatoria con aire comprimido.

Es lo más avanzado en la actualidad en la tecnología de perforación de pozos mecánicos.



Este procedimiento de perforación sólo se puede aplicar a formaciones consolidadas, las máquinas rotatorias diseñadas para este tipo de trabajo vienen equipadas con una bomba convencional de lodo, además de un compresor de aire de gran capacidad. Los triconos utilizados para roca, del tipo de dientes, son similares a los que se utilizan cuando se perfora con lodo. La herramienta especial que utiliza este sistema es un martinete neumático que se coloca en el extremo inferior de la tubería de perforación.

Este combina el efecto percusivo de la herramienta con perforación de cable con la acción rotatoria de los equipos respectivos. El trépano consiste en un martinete con incrustaciones de carburo de tungsteno.

Fuente: elaboración propia.

Este sistema hace circular aire a presión por la tubería de perforación, el cual escapa por las aberturas del trépano subiendo luego por el espacio anular que rodea a la tubería, el aire que se desplaza a gran velocidad dentro del anillo arrastra los fragmentos hasta la superficie o y expulsa las partículas de la roca.



## Perforación por rotación.

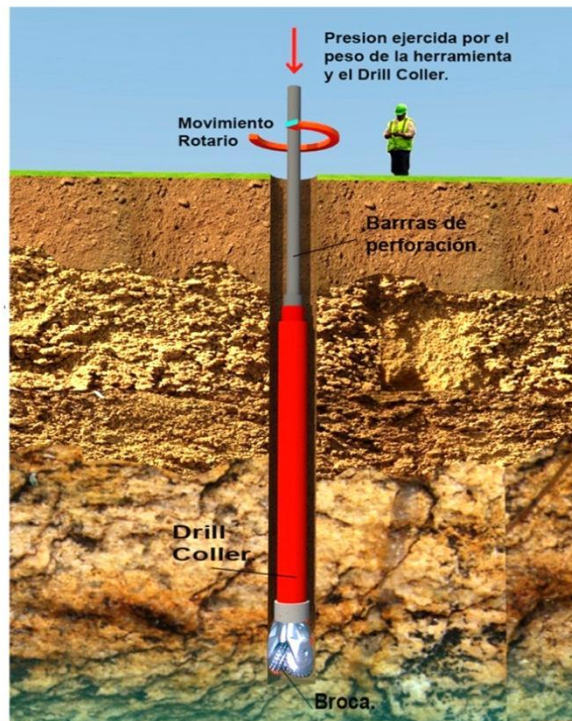
### Método de perforación por rotación.

Este método consiste en hacer un agujero mediante la acción rotatoria de un trepano y remover los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme el trepano penetra en los materiales de la formación.



El sistema rotativo de perforación combina el efecto cortante provocado por un peso sobre una broca que gira, con el de un fluido de circulación continua que remueve los dentritos cortados llevándolos hasta la superficie. Cuando el fluido de perforación es inyectado en el pozo a través de la parte interna de la columna de perforación, saliendo a través de los orificios localizados en la parte inferior de la broca.

Por la acción de una bomba de lodos, el material cortado es transportado a la superficie donde es separado por una zaranda vibratoria, retornando la parte del fluido reacondicionada al pozo, repitiéndose el proceso.



Fuente: elaboración propia.

El trepano se coloca en la punta de un grupo de tubería, el lodo de perforación es bombeado a través de la tubería expulsado por la boquillas de esta, el lodo entonces fluye verticalmente hacia la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de la tubería.



## Principio básicos de la perforación rotativa.

---

### Sistema de perforación rotativo con circulación directa.

El equipamiento de perforación, debe ser preferentemente una máquina rotativa, con capacidad de perforación y finalización de un pozo mecánico tubular profundo.

Consiste básicamente en hacer agujero mediante la acción rotatoria de una broca y remover los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme la broca penetra en los materiales de la formación. La broca se coloca en la punta de un grupo de tubería, el lodo de perforación es bombeado a través de la tubería expulsada por la boquilla de ésta, el lodo entonces fluye hacia la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de las barras de perforación.

Después el fluido es conducido a un foso de sedimentación y de ahí a otros de reserva, en este nuevamente succionado por la bomba una vez que su contenido de partículas se halla sedimentado.

El sentido de la rotación debe ser el mismo usado para la unión o enrosque de las piezas que constituyen la sarta de perforación. Todas las brocas, trépanos o triconos, son diseñados para cortar, triturar o voltear las distintas formaciones que pueden encontrarse a su paso. Estas herramientas son diseñadas para cada tipo de formación o estrato.

Desde el interior del trépano y en la parte superior de cada cojinete, se hace dirigir un chorro de fluido de perforación, que lava las superficies que han sido cortadas.

En terrenos rocosos, es necesario instalar la barra de peso, ya que esta proporciona un mayor empuje al grupo de herramientas y consecuentemente aumenta la velocidad de perforación en este tipo de terreno.

### Componentes principales del equipo de perforación rotativa.

La máquina perforadora está formada por una torre o pluma apoyada sobre la parte posterior de un camión o chasis. La perforadora desarrolla la perforación por rotación, por medio de una tubería suspendida desde la torre y conectada a su respectivo equipo de bombeo por medio de mangueras. En la parte inferior de la columna de perforación tienen una broca tipo tricónica de roles giratorios. la potencia de este perforadora es suministrado por el motor del propio vehículo o por un motor adicional, diesel o de gasolina.

El conjunto básico está formado por el chasis, la torre, winch y el motor. Completan el conjunto la columna de perforación, la mesa rotatoria, la bomba de lodos y los accesorios.

Estos elementos conforman el:

- Sistema de Elevación.
- El sistema de Rotación.
- Sistema de Circulación.



## Equipo básico de perforadora rotativa.



Fuente. Elaboración propia.

Sea cual fuere el equipamiento de la máquina de perforar, se hace necesario contar con:

- Torre de perforación de 30 pies de alto.
- Una mesa rotatoria para girar la columna, (tornamesa)
- Un cabezal rotativo (swivel),
- Una barra cuadrada, hexagonal o cilíndrica con guías laterales (Kelly),
- Bomba de lodo.
- Winchs grandes.
- Barras de perforación (drill pipes),
- Comandos de perforación para dar peso a la columna (drill collers) y
- Una broca tricónica, bicónica o tetra cónica.

Complementando el equipo, se tienen los sustitutos, los estabilizadores y las reducciones debidas a los necesarios y diferentes tipos de roscas.



Junto al equipamiento de perforación se debe de disponer de un conjunto de bomba de lodos, el cual puede ser de tipo centrífugo (para pozos de hasta 400 metros) o alternativo de doble o triple efecto (a pistón) para pozos más profundos.

Un conjunto de tanques metálicos o mampostería, una zaranda vibratoria, un desarenador y un conjunto de válvulas que conecta las mangueras de alta presión que conducen el fluido hasta el swivel.

Las barras de perforación colocadas sobre caballetes o base de apoyo (dril pipe), barra cuadrada (Kelly), uniendo el cabezal y la mesa rotatoria, el cabezal, el tubo de conducción del fluido desde el pozo hasta los reservorios (donde se reacondicionarán los fluidos).

A continuación se hace una descripción técnica de todos los elementos principales de una perforadora rotativa.

### **Mesa Rotativa o Torna mesa.**

La mesa rotativa, consiste en una mesa giratoria ubicada al pie de la torre de perforación, esta tiene un agujero en su centro generalmente de forma hexagonal, por el cual se introduce la tubería de perforación. Dicha tubería rota junto a la mesa accionado por una conexión de diferenciales que va unido a un transfer de fuerza.



#### **Tornamesa.**

Se trata del corazón del sistema rotativo. Se compone de un conjunto que recibe la energía transmitida por una unidad matriz, permitiendo la rotación de la columna de perforación a través del Kelly.

Fuente: elaboración propia.





Su función es la de recibir la fuerza necesaria del motor para poder girar la sarta de perforación.

Estas tornamesas pueden ser accionadas por acople directo o por engranaje 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.



Tornamesa



Fuente: elaboración propia.

### Cabezal o Swivel.

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.

El Swivel tiene movimiento rotatorio libre por medio de cojinetes interiores para que se pueda mover el Kelly y con una suspensión segura a la torre de perforación.

Este componente se ubica en el extremo superior del conjunto, quedando colgados por un conjunto de poleas a la catalina (polea móvil). En el cabezal se realiza el acoplamiento con el Kelly en su parte inferior, y con la bomba de lodos en su parte superior (a través de mangueras).



Swivel.  
Va acoplado al Kelly  
y con la manguera de la  
bomba de lodos.



Fuente: elaboración propia.

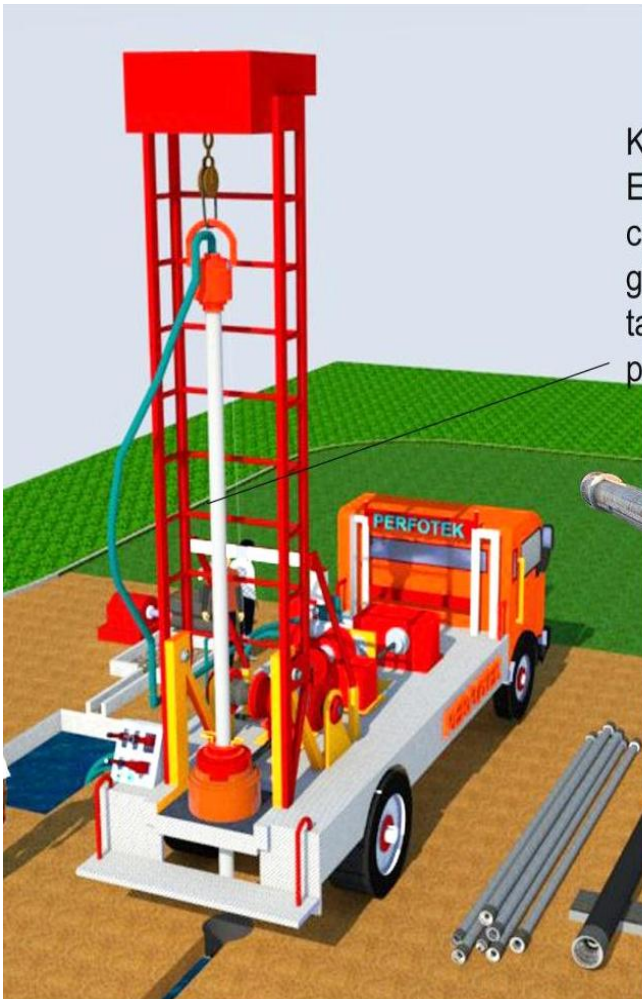
### **Kelly o Barra giratoria.**

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.

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. Generalmente es una sección tubular de sección exterior cuadrada o hexagonal, por dentro de la cual el fluido de perforación puede pasar dentro de la tubería de perforación.

Esta se conecta en la parte superior extrema de la columna de perforación. El Kelly pasa por el centro de la mesa rotatoria, donde es accionada por esta, rotado y permitiendo el avance de todo el conjunto de perforación.

El Kelly tiene movimiento vertical hacia arriba para levantar toda la columna de perforación y así mismo para abajo, para ir colocando uno a uno las barras de perforación, esto es posible por la acción del winch y cables.



### Kelly o Barra Giratoria.

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.



Fuente: elaboración propia.

### Brocas.

En el extremo inferior de la columna de perforación existe una herramienta cortante que provoca la perforación de las rocas, denominada broca. Su trabajo involucra desde la fácil penetración en las rocas blandas, hasta la difícilísima “trituration de las rocas”.

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.

Estas deben cumplir con ciertas especificaciones técnicas y geométricas que le permitan trabajar con materiales de diferente consistencia, como arenas, arcillas, conglomerados y rocas duras.

Cuando se perfora y se encuentra un estrato duro o roca es recomendable no aplicar todo el peso de la columna de perforación sobre la broca, si no levantarla apenas unos centímetros para ir cortando el terreno con solo el filo de la broca y así evitar el desgaste acelerado de las brocas, así mismo controlar la velocidad de la rotación, para evitar



fracturas en la barras de perforación por cualquier contracción que se pueda dar por el material que se está cortando.



### Brocas o Triconos.

Son las herramientas que realizan el trabajo de rotura, disgregación y mezcla de las rocas o materiales por donde va pasando la perforación.

estas herramientas deben cumplir con ciertas especificaciones técnicas y geométricas que le permitan trabajar con materiales de diferente consistencia, como arenas, arcilla, conglomerados y rocas duras.

Existen 3 clases mas comunes de triconos que son:

**De cojinetes dentados.**

**Tricono para roca.**

**Y el de arrastre que se conoce como cola de pescado o aletas.**

Las brocas más comunes son las cónicas que existen 2 tipos que son triconos con dientes de acero y triconos con insertos de carburo de tungsteno.

Las brocas con dientes de acero son las más económicas, se usan para formaciones blandas, medias y duras.

Las brocas con inserto de carburo de tungsteno son mas costosas, sin embargo duran más por su resistencia al desgaste, estas perforan formaciones medianas, roca dura y tambien terreno blando.



Broca para roca.



Broca dentada.



Broca cola de pescado.

Fuente: elaboración propia.

Usualmente las rocas son clasificadas en función de la capacidad de perforación, de acuerdo a la dureza de las rocas.

Existen brocas para:

- Formaciones no consolidadas, medias y quebradizas.
- Formaciones medias y semiduras.
- Formaciones duras.
- Formaciones abrasivas.



## Barras o Tubos de perforación.

Los tubos de perforación, conocidos como barras de perforación, o drill pipe, son columnas de tubos de acero con 6 a 9 metros de largo, provisto de punteras con roscas especiales, cónicas o doble cónicas, en distintos diámetros, con resistencia al esfuerzo de tensión, siendo que generalmente son clasificados en dos tipos reforzados internamente o reforzados externamente, se usan agregándose cada vez que se introduce el Kelly totalmente en el pozo y vuelve a sacarse, ya que de esta manera se dejó el espacio disponible para la tubería. A través de esta tubería circulan libremente los fluidos de perforación.



### Barras de Perforación.

La tubería de perforación, es una barra de acero hueca utilizadas para llevar a cabo, trabajos de perforación. se les conoce como tubería de trabajo, porque está expuesta a múltiples esfuerzos durante la perforación como tensión y torsión.

Son de espesores considerables, por el gran esfuerzo a que se ven expuestos, en el sostenimiento de toda la sarta de perforación, el diámetro mínimo de estas barras es de 2 3/4" y espesores mínimos de 3/4".

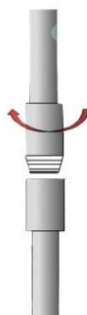
Se acoplan y se colocan uno por uno conforme se va profundizando el pozo, y son levantados con el swivel y detenidos por las cuñas, mientras se coloca otra barra.

Barra de perforación.



Roscas macho y hembra de las barras.

Fuente: elaboración propia.



Roscado de barras.

Barras de perforación.





### Comandos de perforación o Drill collers.

Es una parte de la columna que proporciona el peso necesario para que la broca avance, que el corte es hecho por "trituration". En uno de sus extremos se tiene una sub-broca y en el otro extremo otra, donde se conecta a los tubos de perforación (barras). Los comandos son también en acero especial (acero carbono 1080) de alta resistencia.

Es un conjunto de tubos de acero o de metal de espesores significativos colocados en el fondo de la sarta de perforación, encima de la broca, lo cual proporciona la rigidez y peso suficiente para producir la carga axial requerida por la broca para una penetración más efectiva en una formación geológica.

Para evitar el desgaste de estos elementos se recomienda colocarles rimadores con soldadura, alrededor de toda la circunferencia en la parte de abajo y de arriba.

#### Drill Collers.

También se conocen como barra de sobrepeso, son tubos de 6" o más y de 10' 0 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.

La columna de comandos en conjunto con los estabilizadores, permiten una mayor linealidad y verticalidad del pozo.



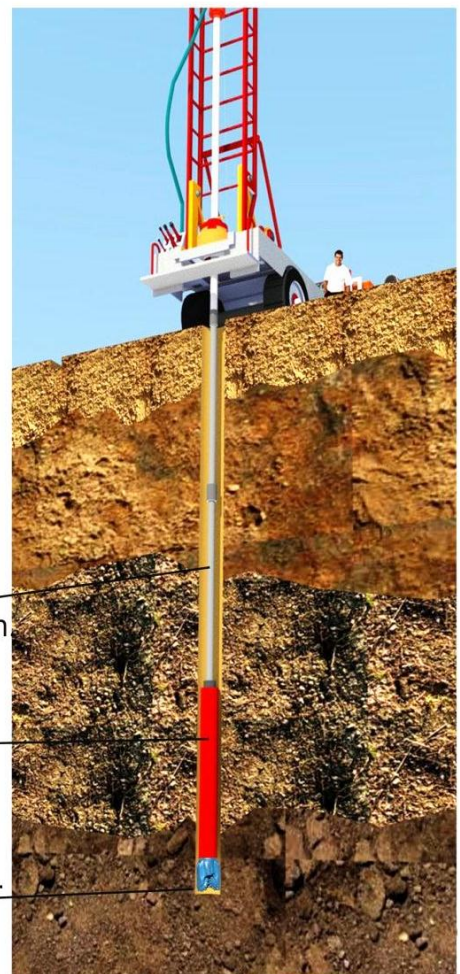
Drill Coller, peso de 500 a 700 kg.



Barra de perforación

Drill Coller.

Broca.



Fuente: elaboración propia.



### Colocacion de Drill Coller.



### Estabilizadores.

Son herramientas de pequeña extensión, normalmente de 0.70 a 1 metros de largo, provistos de aletas o extensiones (hasta 3), con lo que le confieren un mayor diámetro (próximo al diámetro de la broca).

Los estabilizadores como su nombre lo indica, dan firmeza y seguridad al ensamblaje de fondo o sarta de perforación, cuidándola del contacto con las paredes del agujero y controlando la desviación. Además incrementa la tasa de penetración al propiciar que la dirección de la fuerza resultante sobre la broca coincida con el eje del agujero.

### Estabilizadores.

Son fabricados en acero, de igual dureza y resistencia que el drill collar, e instalados en la columna de perforación, permiten que el pozo sea mantenido lo más próximo a la vertical.

Generalmente son colocados 3 de ellos en la columna de perforación, uno por encima de la broca, otro por encima del primer comando y el tercero sobre el tercer comando, confiriéndole así a la columna alta resistencia a la flexión o deformación.



Estabilizadores.





## Bombas de lodos.

La bomba es el elemento que realiza la función más importante del sistema. Debe aportar un volumen conveniente de fluido, sea cual fuere la presión necesaria para elevar hasta la superficie los detritos originados por la acción de la broca, mantener el equilibrio de presiones dentro del pozo y refrigerar la broca.

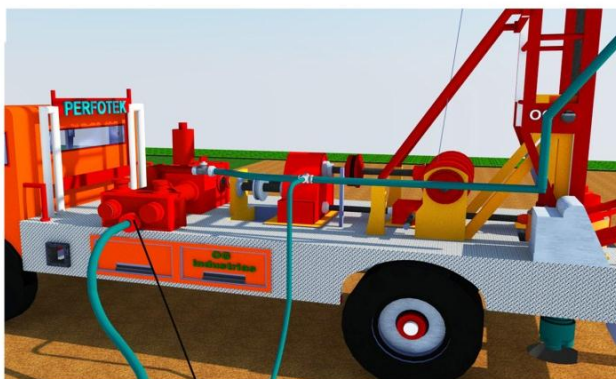
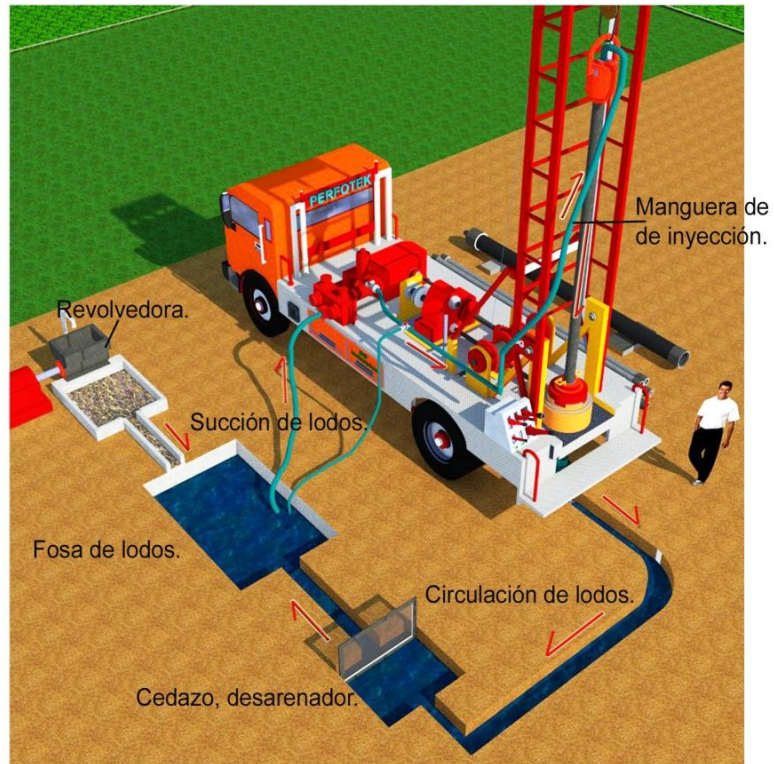
Su función principal es tomar el lodo de perforación de la fosa de lodos y llevarlas por la manguera hacia el Kelly y al fondo del pozo.

### Bomba de lodos.

Este elemento es el corazón del sistema de circulación cuya función es lubricar, refrigerar y transportar los escombros removidos por la broca a su paso por el terreno. Es de vital importancia la circulación de lodos porque sin este, la broca no lograría penetrar ni siquiera 5 metros en el suelo, debido a que la gran fricción generada elevaría la temperatura y fundiría la broca.

### Manguera de Inyección.

Es una manguera de goma reforzada y extremadamente fuerte. La característica de flexibilidad permite bajar y elevar la tubería de perforación durante las operaciones de perforación mientras el lodo se esta bombeando a través y hacia debajo de la tubería. Son por lo general de 2" y 3" y de 75 pies de largo.



Bomba de lodos



Bomba de lodos.

Fuente: elaboración propia.

El lodo asciende a la superficie llevando en suspensión el detritus de la perforación, por un canal pasa a la fosa de sedimentación donde se depositan por su propio peso partículas grandes y pesadas, arena, etc. De la fosa de sedimentación el agua con menos

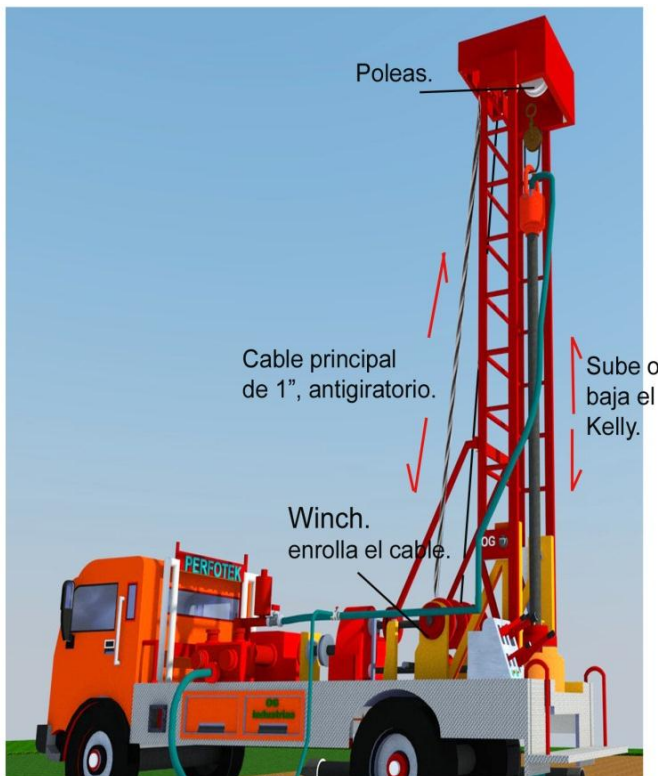




material en suspensión pasa por medio de otro canal hacia el pozo principal donde nuevamente es bombeado al pozo, cerrando su ciclo. Las bombas usadas para la circulación de fluido de perforación al pozo deberán ser preferentemente de tipo pistón o de doble efecto o doble pistón.

### Winch.

Es el sistema que realiza el levantamiento, su finalidad es proveer un medio para bajar o levantar la herramienta de perforación o de revestimiento y otros equipos del subsuelo. Los componentes del sistema de levantamiento se dividen en elementos estructurales, equipos y accesorios. Está formado por el winch, polea viajera, gancho, elevadores, cable de perforación, llaves stilson y cuñas.

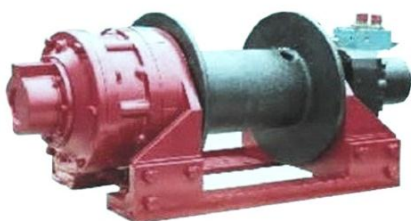


### Winchs.

Su función principal es soportar y detener el sistema de rotación, además proporciona el desplazamiento vertical necesario a la columna de perforación durante el enrosque o desenrosque de la tubería. Este es el sistema que más energía necesita pues tiene que soportar el peso de cientos de metros de tubería pesada en el proceso de elevación de la herramienta. Tiene un movimiento vertical hacia arriba y hacia abajo.



Cable de perforación.



Winch de 30 toneladas.



Pasteca o polea.



Polea viajera.



Cuñas.



## **Principales aspectos a evaluar antes de perforar un pozo mecánico.**

Antes de realizar una perforación es necesario contar con un:

### **Estudio Hidrogeológico y Proyecto de pozo.**

Que nos indique la factibilidad de obtención de agua subterránea, la ubicación del pozo y el diseño del mismo en función del objetivo buscado. Así mismo conocer a detalle las formaciones geológicas aflorantes del lugar, identificar los acuíferos existentes con todas sus características para una explotación racional.

### **Estudio hidrogeológico.**

El cual tiene como objetivo principal:

- Determinar las características del área de captación de aguas subterráneas, los acuíferos que existen en el área, así como la cantidad de agua que puede extraerse del mismo, a través de la perforación de un pozo mecánico para el abastecimiento, de agua potable.
- Así mismo es importante definir la viabilidad técnica de la captación del recurso hídrico, que se caracteriza por la elaboración de un proyecto constructivo que atienda a las dos premisas de “lo que tengo y lo que quiero”, y se adopten las normas que optimicen la exploración racional y sostenible del recurso hídrico subterráneo.
- Se investigarán las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área para la selección de un sitio adecuado para la perforación de un pozo mecánico para la explotación de aguas subterráneas, para determinado proyecto, el cual se utilizará como fuente del sistema de abastecimiento de agua potable y que satisfagan las demandas de agua requeridas.
- En el estudio hidrogeológico estarán contemplados todos los datos posibles: geológicos, hidrogeológicos, características de las aguas subterráneas y potencial de recarga hídrica natural por precipitación, materiales para la perforación como también de los materiales para completar, equipamiento de bombeo y el dato importante la restricción impuesta por el caudal requerido

La ubicación del predio y la forma de acceso de manera detallada. La ubicación del pozo, especificando las coordenadas cartográficas (x, y, z). Si es posible indicar una segunda opción.

La geología del área, indicando las formaciones encontradas. Es imprescindible contar con fotos aéreas escala 1:20.000 o imágenes satelitales con buena resolución para poder realizar la fotointerpretación del área de estudio. En el caso de acuíferos fracturados, debido a que el agua circula a través de las fracturas hay que indicar fallas y fracturas observadas.



### **Determinar la hidrogeología del área.**

Del acuífero a explotar.

Antecedentes perforaciones vecinas (indicando nombre a quien pertenece, ubicación(x e y), Profundidad total, Nivel Estático y Caudal).

Anteproyecto constructivo del pozo debe contener:

- Objetivo de la obra
- Selección del método de perforación.
- Tipo de rocas previstas a ser perforadas.
- Profundidad estimada de la obra.
- Diámetros de perforación y entubación.
- Disposición de filtros.
- Materiales que serán utilizados definitivamente en el pozo.
- Caudal previsto a extraer.
- Medidas de protección del pozo.
- Sellado de los primeros metros
- Estimación en el costo de la obra.

Consiste en preparar un mapa geológico y secciones transversales, que muestren los sitios de afloramiento de los diferentes estratos y rocas que son susceptibles de contener agua y donde se encuentran estas en el punto de perforación.

Se trazará un mapa de los contornos de igual nivel de la superficie del terreno hasta el nivel del agua en los pozos, se determinará por nivelación la altura, en relación al nivel del mar, se trazarán líneas que conecten todos los puntos en donde la elevación del nivel del agua sea la misma, para que el mapa muestre la forma de la superficie freática.

### **Sistematización del proceso para realizar un estudio hidrogeológico:**

#### **Recopilación de información existente:**

Esta es la primera etapa y la más importante, y consiste en la recopilación de los estudios y mapas geológicos, hidrogeológicos, geofísicos e informes de construcción de pozos de la zona de interés.

Se procede a visitar el área, efectuando evaluaciones técnicas de las características geomorfológicas e hidrográficas, además se han consultado mapas temáticos, geológicos, cartográficos y fotografías aéreas de la región.

Con la realización de este estudio se espera obtener los siguientes resultados:

1. Estructura geológica del área.
2. Condiciones específicas de los acuíferos.
3. Ubicación del pozo.
4. Columna litográfica prevista.
5. Accesos, suministros de agua y energía y condicionantes territoriales.
6. Estimación del caudal y rendimiento de la captación.



7. Previsión de las características hidroquímicas del agua.
8. Diseño del pozo.

Este estudio hidrogeológico está básicamente compuesto por una serie de etapas, que son las siguientes:

1. Cartografía geológica.
2. Inventario de puntos de agua.
3. Análisis piezométrico.
4. Análisis químico.
5. Reconocimientos geofísicos.

El estudio hidrogeológico comprende los siguientes aspectos, ordenados según la formulación del estudio:

#### **Descripción de la zona de estudio:**

Que comprende la ubicación, área, colindantes, localización exacta, altura sobre el nivel del mar, distancia a centros poblados principales, ocupación y número de habitantes, idiomas, costumbres, aspectos culturales, características económicas, sociales, la orografía del área.

#### **Características hidro-climáticas:**

Aquí se determina con exactitud la cantidad de precipitación que se da anualmente, los tipos de vientos predominantes de la zona de estudio, las temperaturas, se determina el balance agronómico de la cuenca para la determinación de la evapotranspiración y definir la cuenca para el área de la recarga hídrica natural.

#### **Características hidrológicas.**

##### **Hidrogeología:**

Es una rama de las ciencias geológicas que estudian las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos y humedales, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.

Aquí se determinan las cuencas, y principales masas superficiales de agua existentes en el área como ríos, lagos, etc.

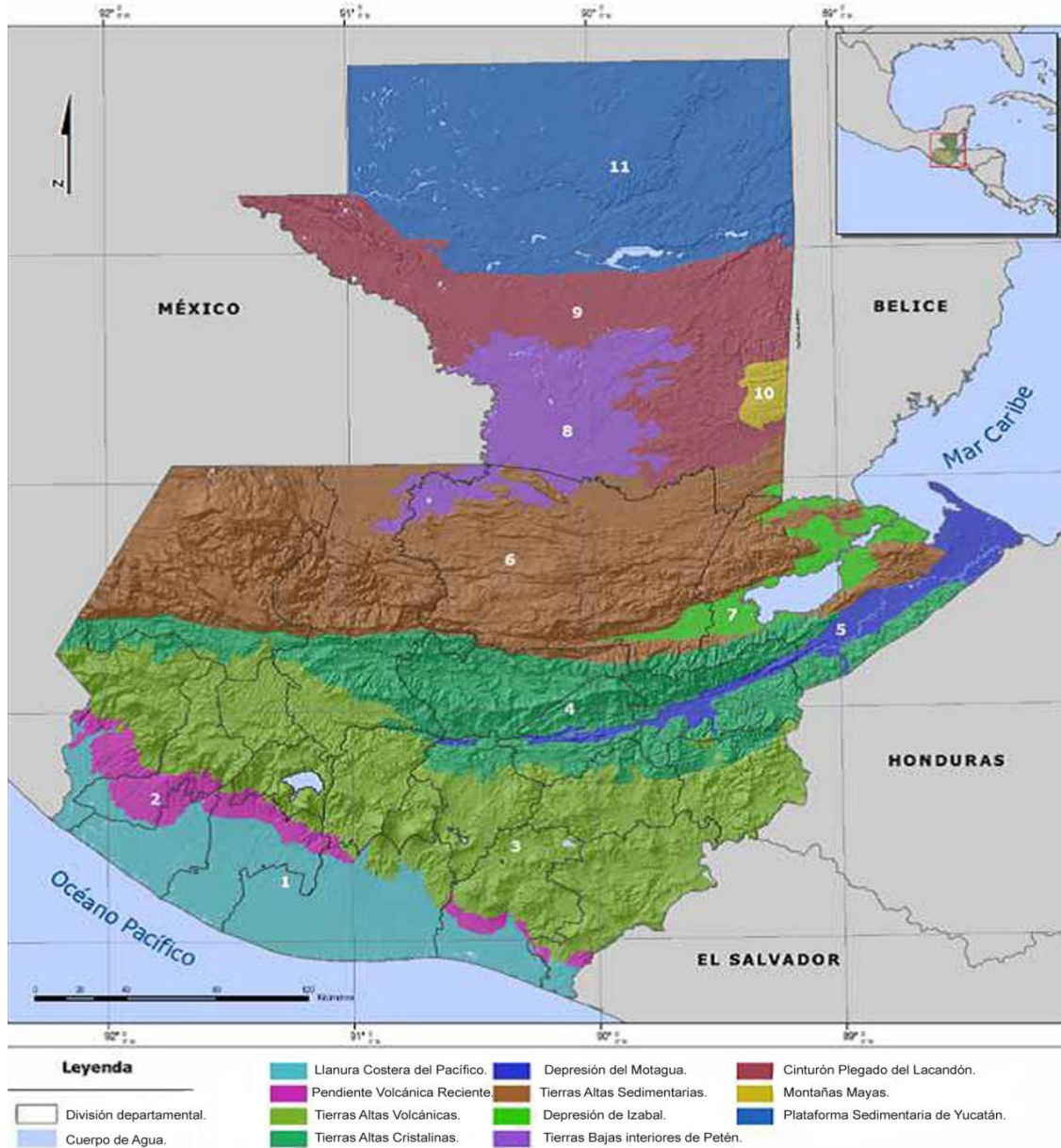
#### **Geología del área de estudio:**

##### **Características geológicas y fisiográficas del país.**

Son todas las características del terreno, como que tipo de suelos topográficos pertenece, tipo de montañas, si es volcánica y a qué región pertenece del país, que tipo de drenaje fluvial tiene, los principales tipos de suelos y rocas, que clase de clima tiene según la clasificación de suelos de Holridge.



## Regiones fisiográficas-geomorfológicas de Guatemala.



Fuente: Mapa fisiográfico/Geomorfológico República de Guatemala. Programa de emergencia por desastres naturales. IGN.

La actividad volcánica del país a ha definido las características de los materiales geológicos, con dos tipos de rocas parentales: sedimentarias (68% del territorio), con predominio en Petén, ígneas y metamórficas (32% del total) predominantes en los departamentos de la meseta central (Guatemala, Sololá, Totonicapán).

El mapa fisiográfico-geomorfológico, divide el país en 10 regiones fisiográficas-geomorfológicas que materializan las diferentes formas de la tierra, así como el origen de las mismas; Llanura Costera del Pacífico, Pendiente volcánica Reciente, Tierras Altas Volcánicas, Tierras Altas Cristalinas, Depresión del Motagua, Tierras Altas Sedimentarias,



Depresión de Izabal, Tierras Bajas Interiores del Petén, Cinturón plegado del Lacandón, Montañas Mayas y Plataforma sedimentaria de Yucatán.

### **La geomorfología:**

La geomorfología tiene por objeto la descripción y la explicación del relieve terrestre, continental y marino, como resultado de la interferencia de los agentes atmosféricos sobre la superficie terrestre. El ambiente geomorfológico se define como el conjunto de paisajes constituidos por las formas, resultado de las fuerzas tecto-dinámicas en las rocas antiguas y recientes, luego modeladas por la acción de los agentes externos.

Se puede clasificar en tres principales ramas:

- Geomorfología estructural:  
Que trata de la caracterización y génesis de las “formas del relieve”, como unidades de estudio.
- Geomorfología dinámica:  
Estudia la caracterización y explicación de los procesos de erosión y meteorización por los principales agentes (viento y agua).
- Geomorfología climática:  
Estudia la influencia del clima sobre la morfogénesis (dominios morfoclimáticos).

El análisis de la geoforma se efectúa a partir de la interpretación de la morfogénesis y su modelado actual.

Guatemala presenta cuatro unidades nombradas de sur a norte de la siguiente forma:

- Planicie costera del pacífico (litoral y fluvial).
- Cadena volcánica o altiplano volcánico occidental (morfoestructural).
- Meseta central. (morfoestructural).
- Tierras bajas del Petén o del norte (geológico-estructural).

### **Regiones Hidrogeológicas de Guatemala**

Características;

#### **Llanuras Aluviales de la Costa del Pacífico.**

Están compuestas por depósitos aluviales Cuaternarios que se extienden a lo largo de la costa del Pacífico en una longitud de 260 km y ancho entre 10 y 60 km.

#### **Altiplano Volcánico;**

Se localiza al norte de la llanura del Pacífico a lo largo de una franja de 350 km de largo con un ancho entre 60 y 90 km. Está constituido por rocas volcánicas Terciarias y Cuaternarias, incluyendo derrames de lava y piroclastos. Algunos conos volcánicos todavía están activos.



### **Tierras Altas Cristalinas;**

Esta región se localiza al norte del Altiplano Volcánico y está compuesta por una serie de cadenas montañosas (Chuacús, Las Minas, Merendón) delimitadas por la Zona de Falla del Motagua y del Polochic. Las formaciones geológicas presentes son rocas ígneas intrusivas, rocas metamórficas y algunos afloramientos pequeños de lutitas, areniscas y conglomerados.

### **Región Sedimentaria Septentrional;**

Esta zona ocupa el resto del país y se dividió en dos sub-regiones: de Chamá, y Sierra de Santa Cruz) y la región sedimentaria de Las tierras altas sedimentarias (Sierra de Los Cuchumatanes, Sierra Petén. Las formaciones geológicas consisten principalmente de calizas Cretácicas en gran parte karstificadas, calizas Pérmicas, rocas sedimentarias clásticas, y algunos intrusivos en las Montañas Mayas.

El territorio de Guatemala fue dividido en 38 cuencas hidrográficas y 3 vertientes. El mapa de Unidades Hidrogeológicas fue sobrepuesto al mapa de cuencas hidrográficas y tomando en cuenta la distribución de la precipitación media se realizó una evaluación indicativa, teórica y preliminar, del potencial de aguas subterráneas que presenta cada cuenca.

### **Unidades hidrogeológicas identificadas para Guatemala en base al mapa geológico.**

#### **Qa Aluviones Cuaternarios.**

Los depósitos más importantes se ubican en la costa del Pacífico. Están formados por gravas, arenas y arcillas provenientes de la erosión de la cadena volcánica. El espesor de los sedimentos es muy variable, alcanzando hasta 200 m en Escuintla sin haber interceptado la base. Algunos depósitos aluviales también se han desarrollado en los valles de algunos ríos del Altiplano Volcánico y de las Tierras Altas Cristalinas, con espesores de hasta 145 m.

#### **Qp Piro clásticos Cuaternarios.**

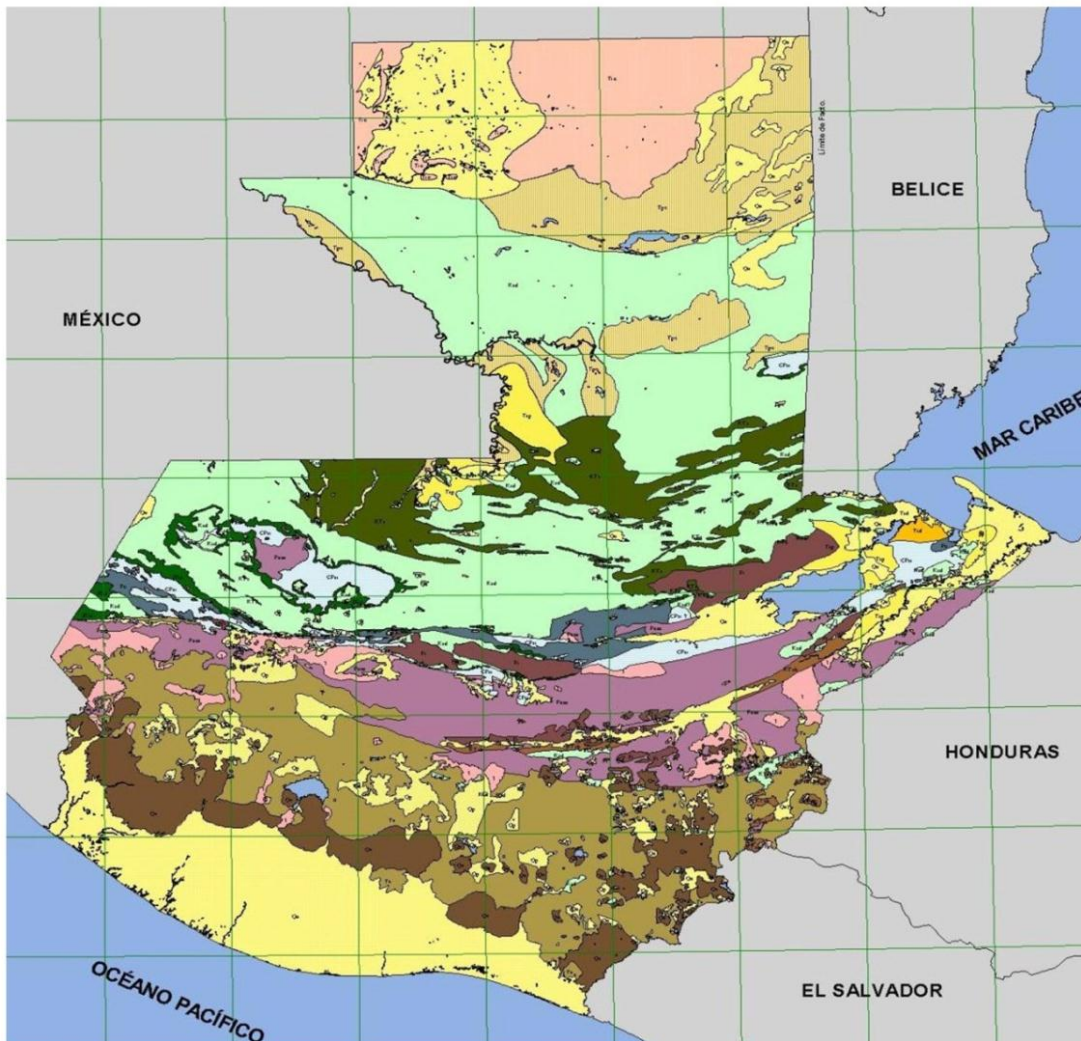
Esta unidad está compuesta principalmente por pómez, lapilli y flujos de ceniza que se han acumulado en los valles del Altiplano, rellenando depresiones tectónicas. En el valle de Guatemala se reporta un espesor que alcanza más de 250 m. Para el valle de Quetzaltenango se reporta un espesor promedio entre 300 y 400 m pudiendo alcanzar hasta 1000 m en la parte más profunda de la caldera.

#### **Qv Lavas Cuaternarias;**

Se trata de lavas de composición basáltica, andesítica y riolítica derivadas de los conos activos. El espesor de las coladas y lahares intercalados es muy variable pudiendo alcanzar hasta 500 m. El potencial de aguas subterráneas en esta unidad está relacionado directamente con el grado de fracturamiento que presentan las lavas.



## Mapa Geológico De Guatemala.



<p>Rocas Sedimentarias ALUVIONES CUATERNARIOS</p> <p>Rocas Sedimentarias Terciario Superior Oligoceno-Plioceno</p> <p>Rocas Sedimentarias Terciario Superior Oligoceno-Mioceno</p> <p>Rocas Sedimentarias Terciario Superior Oligoceno-Mioceno</p> <p>Rocas Sedimentarias Eoceno</p>	<p>Rocas Sedimentarias PALEOCENO-EOCENO Sedimentos marinos</p> <p>Rocas Sedimentarias CRETÁCICO-EOCENO Formación Subrial (capas rojas, predominantemente Terciarias)</p> <p>Rocas Sedimentarias CRETÁCICO-TERCIARIO Formación Sepur, Campaniano-Eoceno. Predominantemente sedimentos clásticos marinos. Incluye Formaciones Toledo, Reforma y Cambio, y Grupo Venapaz</p> <p>Rocas Sedimentarias CRETÁCICO Carbonatos Neocomiario-Campanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Y oja</p>	<p>Rocas Sedimentarias JURÁSICO CRETÁCICO Formación Todos Santos, Jurásico Superior-Neocomiario (capas rojas). Incluye Formación San Ricardo</p> <p>Rocas Sedimentarias PÉRMICO Formación Chóchal (carbonatos)</p> <p>Rocas Sedimentarias CARBONIFERO-PÉRMICO Grupo Santa Rosa (lutitas, areniscas, conglomerados y filitas). Formaciones Santa Rosa, Sacapulas, Tactic y Mascal</p> <p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS CUATERNARIO Rellenos y cubiertas gruesas de cerzas, pómez de origen diverso</p>	<p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS CUATERNARIO Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material láhrico, tobas y edificios volcánicos</p> <p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS Terciario Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material láhrico, y sedimentos volcánicos</p> <p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS Terciario Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario</p>	<p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS Terciario Rocas ultrabásicas de edad desconocida. Predominantemente serpentinitas. En parte pre-Mestrichiano en edad</p> <p>ROCAS IGNEAS Y METAMÓRFICAS PALEOZOICO Rocas metamórficas sin dividir. Filitas, esquistos clásticos y granulíferos, esquistos y gneises de cuarzo-mica-feldespato, mármol, y migmatitas.</p> <p>Agua</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Mapa Geológico de la república de Guatemala. Instituto geográfico nacional. IGN.

### Tv Lavas y Tobas Terciarias.

Los depósitos incluyen lavas y tobas del Terciario Superior con espesores de varios cientos de metros. Esta unidad es de las más importantes en el Altiplano Volcánico con rendimientos que varían entre 4,000 y 8,000 gpm en El Ojo de Agua al sur de Ciudad de





Guatemala. Los acuíferos frecuentemente están constituidos por andesitas con alto grado de fracturamiento.

### **Tsp, Tsd, Tic, Tpe. Depósitos Sedimentarios Terciarios.**

En este grupo se incluyen formaciones sedimentarias que afloran en la parte más septentrional de Guatemala con un espesor que puede alcanzar hasta 6,000 m. La composición litológica es muy variable incluyendo estratos de arenisca, limolitas, margas, calizas y yeso.

### **KTsb, KTs Depósitos Sedimentarios. Cretácico-Terciarios.**

Esta unidad incluye sedimentos clásticos principalmente arcillosos y de baja permeabilidad que se presentan en la parte sur de Petén y el norte de Alta Verapaz los cuales pueden alcanzar un espesor de hasta 4000 m.

### **Ksd Calizas y Dolomitas Cretácicas.**

Esta unidad considera los depósitos carbonatados con desarrollo de paisaje kárstico distribuidos en la parte central del país. La composición litológica varía de calizas arrecifales, dolomitas, brechas calcáreas y conglomerados calcáreos.

### **JKts Depósitos Clásticos Jurásico-Cretácico.**

Los depósitos incluyen la Formación Todos Santos y San Ricardo que consisten principalmente de sedimentos arcillosos y limolitas rojas con intercalaciones de calizas y conglomerados, en espesores que varían de 400 a 500 m.

### **Pc Calizas y Dolomitas Pérmicas.**

Se trata de la Formación Chochal que incluye calizas y dolomitas con intercalaciones de lutitas y un espesor que varía de 500 a 1000 m.

### **CPsr Depósitos Clásticos Permo- Carboníferos.**

Esta unidad incluye el Grupo Santa Rosa el cual está compuesto por litologías clásticas que varían de lutitas, limolitas, pasando por areniscas y conglomerados.

### **Pzm, π Rocas ígneas y metamórficas.**

Esta unidad incluye las rocas ígneas y metamórficas que forman parte de las Tierras Altas Cristalinas, incluyendo granitos, dioritas, peridotitas, gneises, esquistos, y filitas.

### **Estudio Geológico local.**

En la geología local se describen dos aspectos principales como son:

La estratigrafía y

Los rasgos estructurales del área.



Se realiza un estudio que permita conocer características de las formaciones geológicas que dan lugar a los rasgos fisiográficos de las montañas, las cuencas principales.

Según las normas establecidas este estudio debe incluir el levantamiento de columna estratigráfica representativo que identifique las formaciones geológicas, análisis granulométrico, espesores de las formaciones, localización de fallas, lineamientos, entre otros.

### **Estructura geológica.**

#### **Estratigrafía:**

Es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y le da la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas. Todas las masas de roca tienen algunos aspectos que constituyen su estructura.

El estudio de las disposiciones y significación de éstas, constituye el campo de la geología, llamada geología estructural.

Las estructuras geológicas están relacionadas con todos los accidentes tectónicos de la masa rocosa, estas son formadas por movimientos epirogénicos y movimientos orogénicos.

### **Estructura geológica.**

Es la forma en la que han sido depositadas las rocas, es decir, como están colocadas. Nos ayudan a determinar el método y el costo de la perforación del pozo mecánico.

Son los alineamientos estructurales relevantes para la prospección hidrogeológica y el aprovechamiento de las aguas subterráneas que son;

### **Tipos de estructuras.**

#### **Estructura primaria:**

Por ejemplo la estratificación de las rocas sedimentarias, son aquellas que se forman al mismo tiempo que la masa de la roca misma o durante su consolidación.

Tanto las rocas sedimentarias como las ígneas tienen estructura primaria y muchos de sus derivados metamórficos, presentan estructuras primarias que no fueron modificadas durante la alteración de la roca. A través de esta estructura, la roca es depositada horizontalmente y son afectadas por los movimientos epirogénicos y orogénicos. Las de mayor importancia son:

#### **La estratificación:**

La capa llamada estratificación o colocación en lechos, capas o estratos.



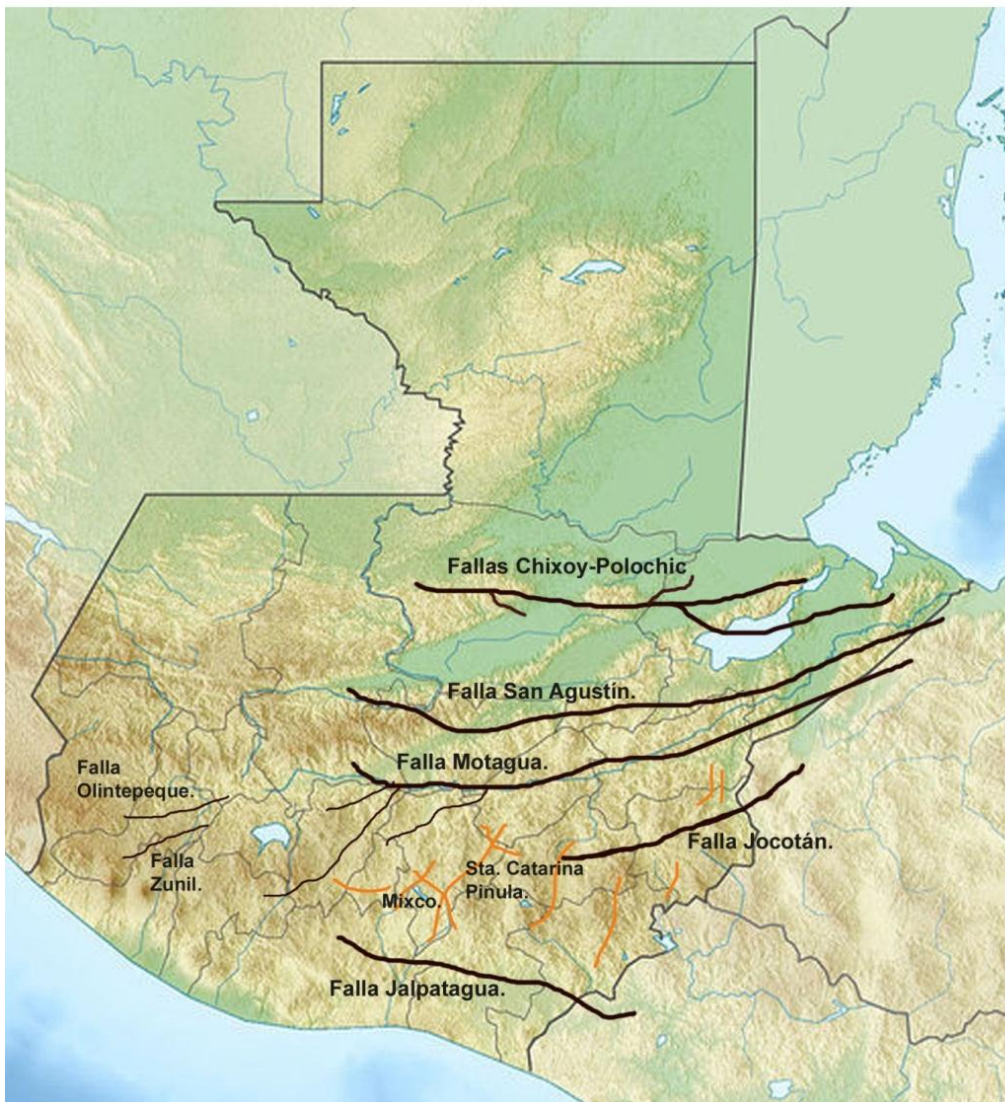
### La laminación y laminación transversal:

Dentro de los lechos o capas, puede haber unidades de menos de 1 cuarto de pulgada de espesor que se llaman láminas; un depósito que presente láminas se dice que es laminado. Las láminas pueden ser paralelas a los planos de las capas de sedimentación, o de formar un cierto ángulo con dichos planos. En este último caso, se dice que el sedimento presenta laminación transversal.

### Grietas primaria:

Dan lugar a grietas en los sedimentos no consolidados y parcialmente consolidados. Es característico que estas grietas sean cortas, irregulares y discontinúas.

### Fallas Geológicas de Guatemala.



Fuente: Mapa de Guatemala. Net. + elaboración propia de fallas.



### **Estructura secundaria:**

Se han formado después de la consolidación de la masa rocosa por la fuerzas de los movimientos epirogénicos y orogénicos a través de los cuales la roca se ha ondulado y deformado. Son de este tipo de estructura los pliegues, fracturas o fallas, fisuras, etc.

### **Movimientos epirogénicos:**

Son todas las fuerzas verticales que producen fracturamientos de las rocas y afectan a una extensión considerable, pero no causan mucha deformación.

Se producen las siguientes deformaciones:

**Fracturas:** cualquier grieta en una roca sólida es una fractura.

**Fisuras:** una fractura extensa se llama fisura que puede llegar a ser un conducto que sirva para el paso de la lava, que formará un basalto de meseta o de soluciones de que originarán vetas mineralizadas.

**Fallas:** cuando en las fracturas, fisuras o juntas se han efectuado un desplazamiento apreciable, se llaman fallas.

**Diaclasas:** las diaclasas se pueden definir como planos divisorios o superficies que dividen las rocas y a lo largo de las cuales no hubo movimiento visible paralelo a la superficie.

Ya que constituyen rutas para el flujo de agua superficial y subterránea. En este punto es necesario indicar los perfiles estratigráficos del área de estudio, como también un perfil litológico.

Se indican con precisión los diferentes estratos de material, lo que posteriormente nos servirá para identificar los diferentes tipos de acuíferos que se podrán utilizar para la explotación de caudales de agua requeridos.

### **Clasificación de las rocas.**

Las rocas se dividen, de conformidad con sus orígenes, en tres grandes grupos:

Rocas ígneas,  
Rocas sedimentarias  
Y rocas metamórficas.

#### **Rocas ígneas.**

Son rocas de formación eruptiva (ígneas) y la división de éstas se basa en las diversas condiciones de presión que actúan en el momento de la cristalización del magma. Pueden ser:

Intrusivas o plutónicas: cristalizadas en profundidad.

Hipo abisales o filonianas: cristalizadas a profundidad intermedia.

Efusivas o volcánicas: cristalizadas en superficie.



### Rocas sedimentarias.

Se han formado a base de los depósitos y recementación de productos de erosión de otras rocas. La clasificación de estas rocas se atiende al mecanismo de depósito que es el responsable de la textura y estructuración final, de la roca que al proceso de disgregación de las rocas preexistentes de las que derivan.

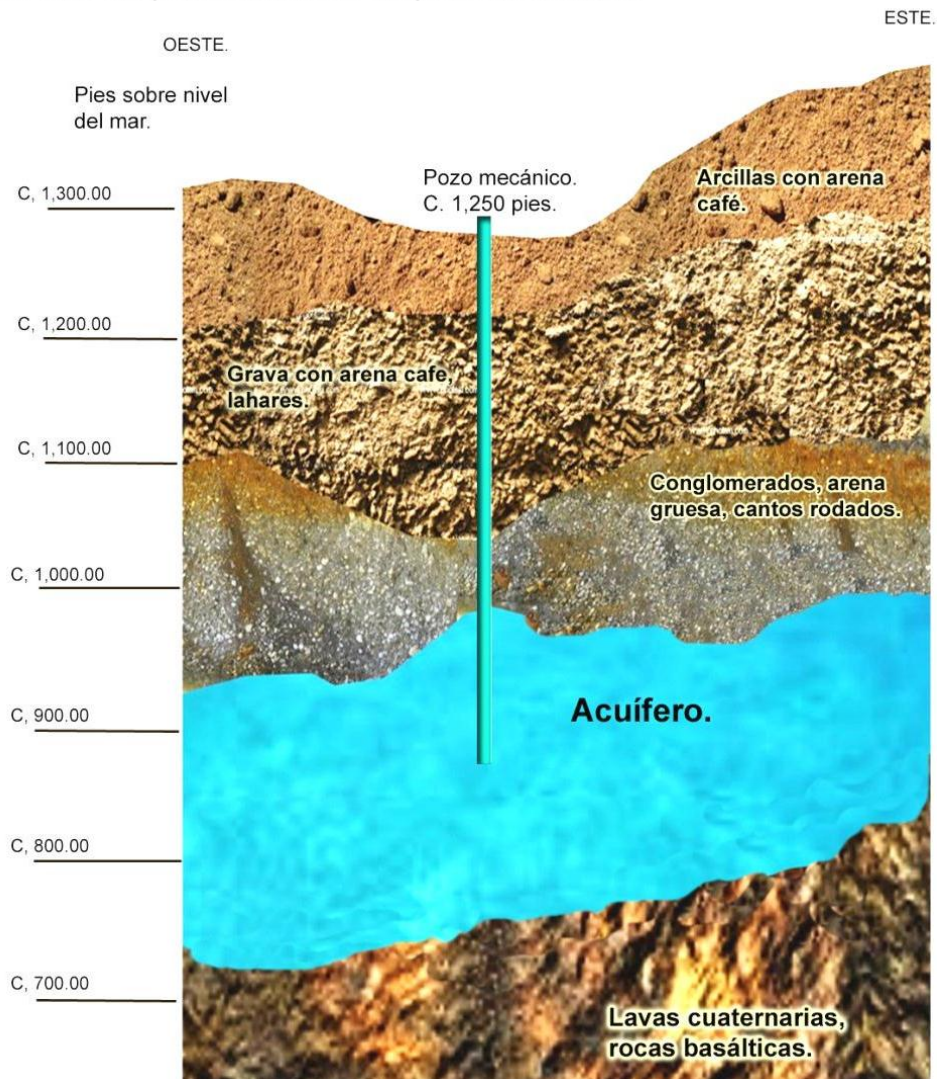
### Rocas metamórficas.

Son las que han sido metamorfozadas o cambiadas en su forma a partir de otras rocas.

Las rocas ígneas se modifican comúnmente formando gneis y esquistos, mientras que las de origen sedimentario como areniscas y pizarras pueden metamorfozarse en cuarcitas y pizarras metamórficas respectivamente.

## PERFIL LITO-ESTRATIGRAFICO.

Del sitio de perforación de un pozo mecánico.



Fuente: elaboración propia.



### **Contexto hidrogeológico regional y local.**

El levantamiento debe iniciarse con las informaciones de estudios geológicos e hidrogeológicos regionales que caracterizan el acuífero, lo que será complementado por un registro de pozos perforados, datos geofísicos (sondeos y perfiles).

### **Perfil litoestratigráfico:**

La litoestratigrafía es la encargada de la caracterización litológica (composición y estructura) de las sucesiones estratigráficas y de la definición de las unidades litoestratigráficas, como las formaciones. Es de vital importancia la identificación de las formaciones del lugar de perforación para integrarlas a las unidades hidrogeológicas correspondientes.

### **Inventario de Puntos de Agua:**

El inventario de puntos de agua de la zona (pozos, manantiales), consiste en visitar los sitios, compilar toda la información posible sobre cada uno de ellos, que incluya la localización, la profundidad, el diámetro, el tipo de terreno, el nivel dinámico de bombeo, el nivel estático inicial, la producción, el equipo de bombeo y calidad del agua.

Esta etapa permitirá conocer las características de estas captaciones y de las aguas subterráneas en la zona y también es indispensable para evitar cercanía entre perforaciones que puedan causar interferencias y descenso localizados de los niveles de agua subterráneos. De la información recopilada, se establece el nivel estático, dinámico, caudal de explotación y caudal específico de los pozos censados.

### **Indicios en la superficie.**

Al visitar la zona se podrá evaluar con mayor detalle las características superficiales importantes, entre estos los accidentes del terreno, la estructura de la red hidrográfica, los manantiales, los lagos y la vegetación.

Es probable que el agua del suelo aparezca en mayor cantidad bajo los valles que bajo las colinas. Los rellenos del valle que contienen residuos de rocas deslavadas de las laderas de las montañas, a menudo resultan capas acuíferas muy productivas.

Cualquier indicio de agua superficial tal como corrientes, arroyos, manantiales, pantanos o lagos, puede indicar, a su vez, la presencia de alguna forma de agua del suelo, aunque no necesariamente en cantidad aprovechable. La presencia de vegetación exuberante es generalmente indicio seguro de la existencia de corrientes y otras aguas superficiales, cuyos alrededores serán sitios propicios para la búsqueda de agua del subsuelo.

Las terrazas de la costa, formadas por zonas costeras hundidas y elevadas con relación al nivel del mar en el pasado geológico, y las llanuras costeras y de los ríos son otras formaciones de tierra que indican la presencia de buenas capas acuíferas.



## **Propiedades de las unidades hidrogeológicas.**

Las unidades hidrogeológicas son las que muestran las diferentes clases de estratos que definen las características y potenciales de las aguas subterráneas en la república de Guatemala.

## **Recarga hídrica.**

Existen 2 clases de recargas:

- Recarga Natural.
- Recarga artificial.

En ambos casos fluye el agua a la zona de saturación incrementándolo, hasta el nivel de las aguas subterráneas.

## **Recarga Artificial.**

Se designa como recarga artificial a un conjunto de técnicas que permiten mediante intervención programada, la introducción directa o inducida de agua en un acuífero.

Las aplicaciones más usuales de la recarga artificial están dirigidas a:

- Almacenamiento subterráneo de escorrentías superficiales no reguladas.
- Reducción o eliminación del descenso piezométrico.
- Mantenimiento hídrico de enclaves ecológicos o medioambientales.
- Aprovechamiento de las propiedades del suelo y de la zona no saturada como elemento de filtración o tratamiento tanto para aguas potables como residuales.

## **Recarga natural y potencial hídrica de la cuenca en estudio:**

Las categorías de recarga hídrica de un lugar es de mucha importancia dentro de una cuenca, ya que de esta depende el efecto que tenga en la regulación de la escorrentía.

Cuando un área de alta recarga se degrada considerablemente, el régimen e escorrentía de una cuenca se altera, ocasionando severos daños, en especial en las partes bajas de las cuencas.

Para definir las categorías de recarga se toman en cuenta principalmente los siguientes factores:

- Geología.
- Cobertura.
- Tasa de precipitación.
- Relieve.
- Suelos.

El cálculo de recarga se efectúa utilizando el método de balance hídrico de suelos, en las cuales se toma en cuenta aspectos de suelos, como de la vegetación, y por supuesto del comportamiento de la precipitación en el área.



El modelo conceptual de la recarga hídrica natural en la zona, se basa principalmente en el cálculo de los excedentes de agua que ingresan en el perfil del suelo por fuerzas de gravedad; en el principio el agua precipita hacia la superficie de la tierra y en su camino encuentra la vegetación o bien directamente el suelo, de la parte que alcanza la vegetación, un porcentaje de esta se evapora directamente de esta superficie y no llega a alcanzar el suelo, este porcentaje varía de 12% para cultivos agrícolas a 20% para bosques, con buena cobertura, lo cual se considera una pérdida en el balance.

El resto del agua alcanza la superficie del suelo, esta parte puede tomar dos caminos, una ingresar en el perfil del suelo y otra escurrir sobre el mismo. La parte que escurre se considera una pérdida, en el balance hídrico de suelos; esto está condicionado por las características del suelo y principalmente por la capacidad de infiltración.

La porción que ingresa en el perfil del suelo, sirve a varios propósitos.

- Llenar los requerimientos de agua del suelo, según sus condiciones de textura principalmente.
- Llenar los requerimientos de la vegetación existente en el área en lo referente a evapotranspiración para mantener sus funciones metabólicas. El agua que nos es utilizada en ninguno de los procesos anteriores mencionados pasa por fuerzas de gravedad a estratos inferiores como percolación profunda y es la que se considera como recarga natural al acuífero por precipitación.

Se hace en base a las características climáticas como;

- La precipitación media del área.
- La evapotranspiración real.

De esos datos se establece que lluvia útil, es la susceptible de infiltrarse en el área de la cuenca, se considera una tasa de infiltración por lo general del 20%, de esta forma se define la recarga natural que alimenta los acuíferos de la zona.

La recarga de las aguas subterráneas para el área que se considera proviene de las precipitaciones y del flujo subterráneo provenientes de las montañas y valles de la cuenca en la zona de estudio.

Con esos datos precisos se mide la cantidad de agua de recarga del sitio, multiplicando el total del área de la recarga por metro cuadrado, dando un resultado que representa el valor total del volumen de agua.

El equilibrio hídrico se estima en base a la cantidad de agua que se explotará con la cantidad de recarga de la cuenca en condiciones de equilibrio hidrológico.

### **Nivel de las aguas subterráneas, isopiezas y dirección preferencial de flujo:**

Se determinan con base en la información obtenida del censo de pozos existentes, por medio del cual se construye el mapa de isopiezas o isolíneas de aguas subterráneas de la





zona de estudio. Por medio de este censo también se define la profundidad del nivel freático (niveles de agua subterránea).

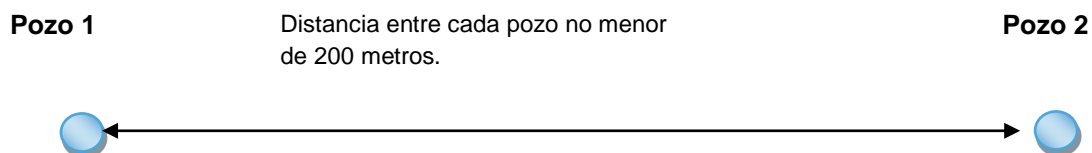
También aquí se indican las isolíneas de aguas subterráneas, en base a información de pozos mecánicos cercanos, para tener con exactitud la dirección preferencial de flujo de las corrientes de agua, que por lo general coincide con la forma de las cuencas de las partes altas a las partes bajas o valles.

### **Selección de las aéreas para perforación de los pozos.**

Se hace en base a evaluar todos los aspectos hidrogeológicos que se toman en cuenta en el estudio hidrogeológico realizado para el efecto, principalmente a que en que sitio se capta la mayor zona de recarga de las aguas subterráneas de la zona y consecuentemente mayor potencial hídrico, que nos dio las líneas de flujo preferencial de las aguas subterráneas.

Se analizan también todos los aspectos, como el acceso, la alimentación de la energía eléctrica y la facilidad de adquisición del terreno.

Los pozos no deben estar situados a menos de 200.00 metros de distancia entre cada uno.



La compilación e interpretación de estos datos es fundamental para poder diferenciar al finalizar la perforación, sí las características hidrodinámicas obtenidas reflejan las condiciones del pozo y del acuífero, ya que ellas puedan ser modificadas por las condiciones técnicas de perforación y del propio proyecto del pozo.



## Diseño de un pozo mecánico.

---

### Características.

Un pozo bien hecho es aquel pozo que este correctamente construido en todas sus fases de ejecución y que ofrece los mejores caudales que el acuífero natural ofrece.

Para ello se instala un pozo sólidamente estructurado, con la rejilla en las formaciones propicias para agua, con el filtro de grava y el sello sanitario adecuado, y medido a través de una prueba de bombeo correctamente realizada indicando la producción real del pozo. Hay que seleccionar el mejor punto posible, instalar la perforadora adecuada, para realizar el trabajo bien hecho.

Un pozo ofrece el nivel dinámico más alto (nivel de bombeo) lo que significa un equipo de bombeo de menor potencia y costo de operación más reducido.

Generalmente el objetivo del diseño es conseguir la mejor combinación posible de rendimiento, vida útil y costo razonable. En concepto simple un pozo mecánico, es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

En general a la hora de la toma de decisión sobre el diseño de un pozo mecánico, también se deben toma en cuenta el criterio de los participantes en la ejecución del proyecto, porque estos obedecen a la disponibilidad de equipos, herramientas y tuberías. La elección debe considerar:

- Tipo de pozo y profundidad.
- Características de las formaciones a perforar.
- Hidrología del acuífero que se pretende explotar.
- Caudales que se pretenden obtener.
- Disponibilidad económica del presupuesto a ejecutar.

### Calculo de la profundidad y diámetro del pozo mecánico a construir:

Tomando como referencia exacta de los parámetros de diseño, las consideraciones hidrogeológicas establecidas en el estudio y en función de la demanda requerida por el proyecto específico, en función del caudal que se desea explotar, se define el cálculo de la siguiente manera;

---

**Nivel del terreno seleccionado:** 1,500 msn

---

**Nivel estático estimado:** 200 pies

**Caudal mínimo a explotar:** 10 lts/seg.

**Transmisividad estimada:** 15 m<sup>2</sup>/día

---

Se aplica la fórmula siguiente: ley de Darcy.



$$D = 0.366 (Q/T) \log (R7r)$$

Dónde:

---

**d** = Descenso del nivel del pozo a partir del NE

---

**Q** = Caudal de explotación del pozo (m<sup>3</sup>/día)

**T** = Transmisividad del acuífero (m<sup>3</sup>/día/m)

**R** = Radio de influencia del pozo

**r** = Radio del pozo

**h** = Espesor de acuífero penetrado.

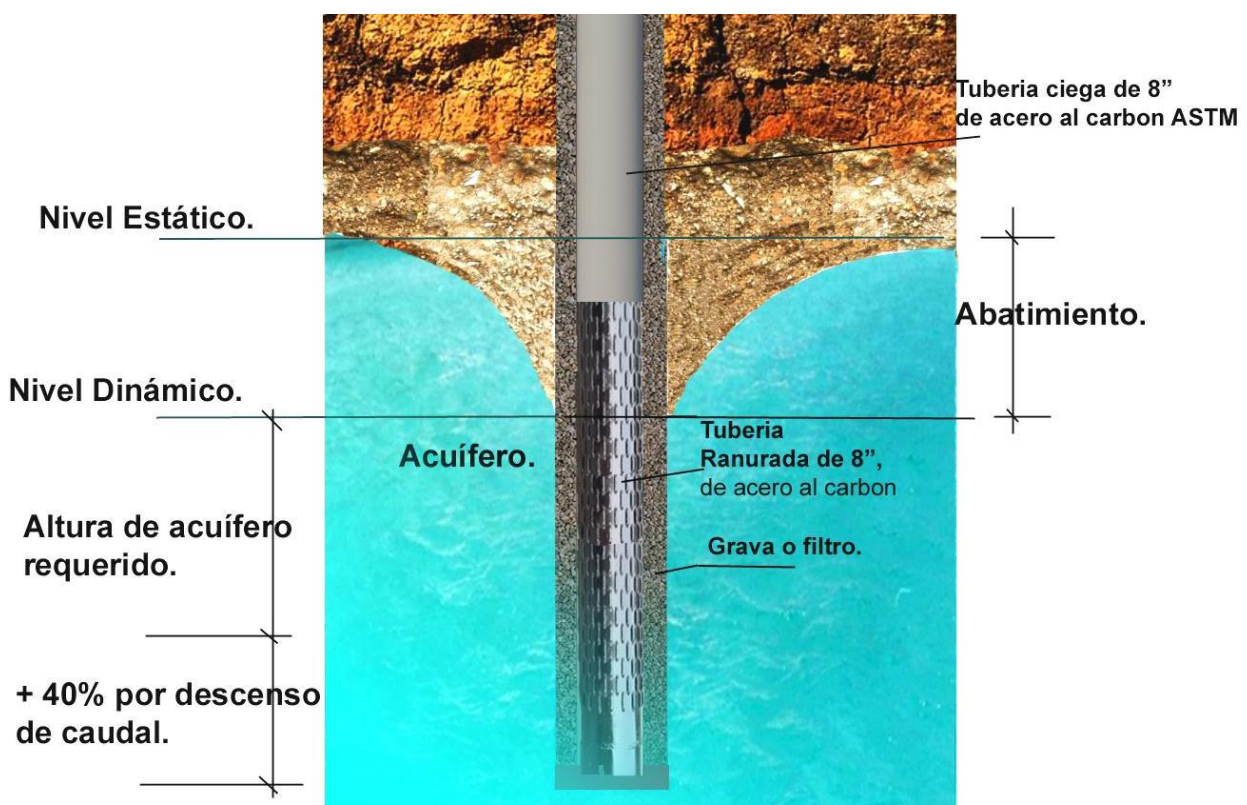
---

Considerando entonces:

Que el radio de influencia, es menor a 100 metros y el radio del pozo es igual a 6" (diámetro de 12"), se determina que el descenso estimado en el pozo de 8" de diámetro es aproximadamente:

$$d = 1.1 * (10 \text{ lts/seg} * (86,400 \text{ seg/día}) / 1000 \text{ lts/m}^3) / 15 \text{ m}^3/\text{día/m}$$

$$d = 63.36 \text{ metros de acuífero.}$$



Fuente: elaboración propia.



Sin embargo hidrogeológicamente se requiere que el descenso para un caudal determinado, represente aproximadamente el 20% al 40% del total de la columna de agua en el pozo, por consiguiente el espesor saturado mínimo que hay que penetrar deberá ser igual a:

$h = 158.4$  metros, se considera un factor del 40%.

Para el ejemplo el nivel estimado de la zona es de 65 metros, entonces

$$h = 65 + (63.36 * 40\%) = 65.00 + 25.4 = 90.40 \text{ metros.}$$

Y el acuífero saturado inicia a partir de este nivel, entonces se estima que para obtener el caudal  $d$  requerido, se necesita un pozo de profundidad total.

$$H_{\text{(total del pozo)}} = \text{Nivel estático} + d/40 = NE + h$$

Dónde:

$H_{\text{pozo}}$	=	Profundidad necesaria para explotar el caudal futura demandado.
$NE$	=	Nivel estático.
$d$	=	Espesor del acuífero requerido para cumplir con la demanda futura.
$h$	=	Total de acuífero a penetrar considerando un 40% de descenso.

Entonces:

$$H = 80 + 65.00 = 145.00 \text{ metros} = 476 \text{ pies de profundidad.}$$

Tomando en consideración los datos anteriores, entonces se propone la perforación de **467 pies de profundidad.**



## **Esquema del proceso de perforación de un pozo mecánico.**

---



### **Movimiento de tierras y adecuación.**

- Movilización y transporte; de personal, maquinaria y equipo al sitio de la perforación.
- Desmonte y descapote: remoción de la cobertura vegetal y el suelo en las áreas que se necesitarán para perforar el pozo.
- Corte y relleno: del movimiento de tierras, para la conformación de la superficie de trabajo, para las instalaciones requeridas para la perforación.
- Estabilización de taludes, para garantizar estabilidad del equipo.

### **Montaje de equipo.**

- Preparación de bases para el equipo de perforación, drenajes pluviales fosas.
- Adecuación de áreas para las instalaciones de apoyo, equipo, redes de energía eléctrica, toneles de combustible, saneamiento básico.
- Construcción y adecuación de; fosas para cortes, fosas para desechos de lodos, fosa séptica, trampa grasas.

### **Perforación.**

- Preparación del lodo; mezcla de componentes del lodo de perforación, según especificaciones.
- Tratamiento de cortes y recirculación del lodo: separación de cortes y recuperación de lodo para ser reutilizado en el proceso de perforación.
- Manejo de materiales: manejo de las barras de perforación, componentes del lodo de perforación.
- Uso de recursos naturales: agua y energía para la perforación y actividades de apoyo al proyecto. (Transporte, materiales externos.)



Una vez instalada la maquinaria, herramienta y equipos en el sitio de la obra, el supervisor específico del proyecto deberá aprobar todos estos elementos y autorizar la iniciación de los trabajos.

El agua y los sedimentos producidos durante las diversas operaciones deben ser dispuestos de modo que no produzcan inconvenientes a las propiedades cercanas.

### **Transporte de equipo y acarreo de materiales.**

Este renglón incluye tanto el transporte de maquinaria, equipo, herramientas y el suministro y transporte de los materiales necesarios para la adecuada perforación mecanizada del pozo para extracción de agua para abastecimiento de consumo humano.

El transporte de la maquinaria debe comprender el recorrido desde los talleres o desde la compañía de perforación, así como el acarreo de los materiales necesarios, tales como agua, tubería, arena grava, Piedrín, lodos de perforación, etc., desde el lugar de adquisición hasta el lugar de perforación.

### **Montaje y desmontaje del equipo.**

Este renglón de trabajo contempla todos los trabajos preliminares a la perforación tales como:

1. Instalación de la maquinaria y equipo en el sitio escogido,
2. Construcción de las fosas de lodos,
3. Mezcla de lodos de perforación;
4. Así como desmontaje de la maquinaria, equipo, bodega, evacuación y limpieza del sitio de los trabajos.

En todos los casos al completar los trabajos, se deberá restaurar el sitio ocupado a su condición original, siempre que ello sea posible, a su exclusivo costo.

El sitio donde se ejecutarán los trabajos deberá ser preparado para la instalación de la máquina perforadora y sus equipos de apoyo, así para la construcción de obras temporarias, como los reservorios de lodos y agua, etc. La disposición de los materiales y equipos debe obedecer criterios de organización y practicidad, de modo de no perjudicar a ninguna fase de la perforación del pozo.

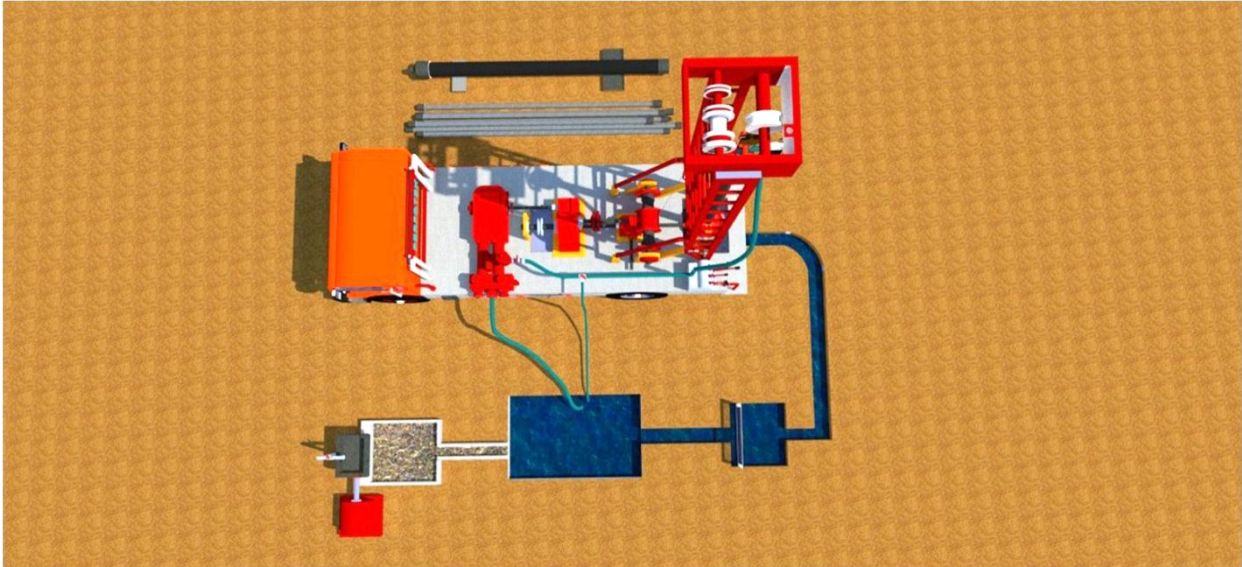
La movilización, transporte, montaje y desmontaje de la maquinaria de perforación, en este renglón de trabajo se deberán contar con todas las instalaciones temporales como almacén, bodega. El montaje y desmontaje se realizarán tan pronto como la obra haya iniciado, y al final se deberá desmontar y retirarse todas las obras, instalaciones e implementos temporales.

Ubicado el lugar para el pozo, se procede a realizar lo siguiente:

- Verificación de todas las partes principales y accesorios del equipo de perforación, usando una lista de chequeo.
- Ensamble e izada de la torre de perforación.



- Construcción de las zanjas y poza de sedimentación y la fosa principal, e instalación de la bomba de lodos.
- Conexión de la bomba de lodos a la tubería de la perforadora.
- Cuando el terreno superficial es muy permeable se puede revestir las fosas con plástico laminado, o aplicar mezcla de cal, arena y cemento como lechada en las paredes, para impermeabilizarla.
- Compactación y nivelación.



El área propiamente donde se colocará la perforadora se estabilizará el suelo, se aplanará completamente todo el terreno necesario para maniobrar las barras de perforación. Es una área relativamente pequeña, como de 10.00 x 20.00 metros será necesario compactar los bordes para evitar cualquier riesgo de erosión y deslizamiento.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la evaluación de campo, que es necesario realizar se determinan los trabajos de protección requeridos, en tal sentido se prevé la necesidad de actividades especiales de protección de las mismas. Se apoyarán directamente la carga principal de la perforadora sobre tabloncillos de madera de 2" de espesor, para darle la resistencia requerida para mantener en equilibrio y estable la torre del equipo de perforación.

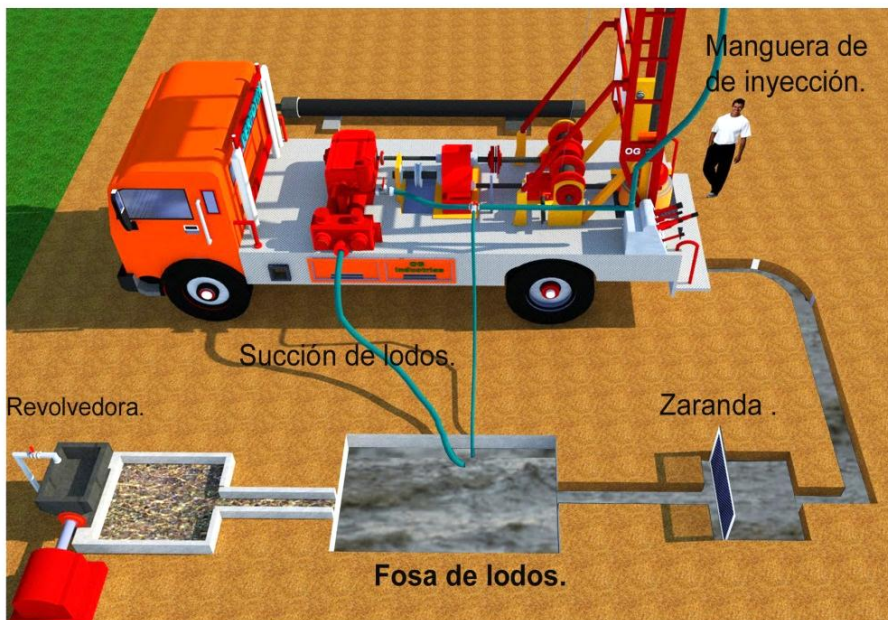
El combustible diesel se almacenará en recipientes de plástico, que almacenarán el 100% del requerido, con un consumo diario estimado de 25 galones.

Ya delimitada el área y la ubicación de la perforadora, se procederá con la limpieza general y retiro de la cobertura vegetal si es necesario, de tal manera que el área quede despejada y limpia. Si es necesario retirar la capa orgánica será almacenado en un lugar apropiado, para su uso posterior en cuando se vuelvan a restablecer las condiciones originales.



### Excavación de fosa de lodo.

Es pequeña se hará a mano de 1.00 x 1.00 x 1.00 de profundidad, y la zanja para recirculación del barro de 2.00 metros de largo x 0.40 de ancho y 0.20 metros de profundidad. En la fosa de lodo serán impermeabilizadas sus paredes y la zanja de retorno de los fluidos de perforación con arcilla compactada mecánicamente para evitar infiltración de lodos además se le colocará un techo móvil para evitar el ingreso de agua de lluvias.



### Fosa de Lodos.

El volumen de almacenamiento de la fosa de lodos para los cortes de perforación tendrá una capacidad de 1.00 m<sup>3</sup>, este diseño está basado en la cantidad esperada de corte, en donde se requiere que tenga capacidad mínima para almacenar 0.50 bls/pié perforado. La superficie de las áreas de perforación tendrá una pendiente del flujo de escorrentía superficial hacia el zanjón de drenaje.

Fuente: elaboración propia.

### Suministro de agua para la perforación.

Este renglón comprende la provisión de agua necesaria para la perforación del pozo mecánico. El agua a utilizarse debe estar libre de aceite o de otro material orgánico, siendo reemplazado el parcial o totalidad de esta para su utilización.

El abastecimiento de agua será continuo e interrumpido mientras dure la operación de perforación, teniendo un lugar de abastecimiento lo suficientemente grande y bastante caudal. Respecto al agua que se emplea en la perforación, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Para perforar en arcilla basta usar agua limpia, pero en suelos arenosos el agua debe ser muy densa para taponar los grandes poros de terreno arenoso y evitar pérdida de agua por infiltración, así como para dar estabilidad a las paredes del pozo a fin de evitar derrumbes al interior del pozo.





El agua densa debe de estar libre de materia orgánica, para evitar que esta se adhiera a las paredes y al descomponerse otorgue al agua un sabor desagradable. Por ello siempre debe limpiarse el agua de la fosa principal haciendo uso de la tela metálica.

### **Equipos y Herramienta.**

Se dispondrá de una perforadora rotativa, barras de perforación, bombas de lodos con capacidad suficiente de levantar los cortes de la profundidad a perforar, brocas para penetrar distintos tipos de materiales.

El proceso de perforación del pozo se inicia con el izamiento de la torre, la nivelación y estabilización de todo el equipo, que después de aseguramiento general, se iniciará la perforación del hueco conductor. Una vez que la broca penetre las formaciones del suelo se irán cementando las paredes del pozo con la mezcla del barro. Con el diseño apropiado del programa de lodos (fluido de perforación), se facilitará la perforación de manera eficiente y confiable. Los principales objetivos de todo lodo de perforación son obtener buenas tasas de penetración, minimizar el daño a la formación y permitir una eficiente limpieza del pozo.

Para poder iniciar la perforación del pozo, se deberá comprobar que cuenta con el equipo adecuado en buen estado de acuerdo a las siguientes características.

- Maquinaria tipo rotativa con una capacidad de perforar 0 pies a 1,500 pies
- Equipo de soldar eléctrico y autógeno con sus accesorios.
- Equipo de bombeo para pruebas.
- Herramienta para desarrollo del pozo, deberá contar con pistones sólidos y de válvula de acuerdo con el diámetro del pozo, además de cubetas.
- Sonda eléctrica para establecer niveles de agua.
- Generador con una potencia adecuada para prueba de bombeo.
- Bomba de lodo tipo pistón.
- Medidor de Flujo.

### **Lodos de perforación.**

El objetivo primordial del lodo es lubricar la broca de perforación, así como la extracción de los cortes de la perforación y conformar un empaque o recubrimiento al contorno que permitirá mayor estabilidad al agujero y evitar en mayor grado la posibilidad de derrumbes.

Es muy importante comprender las funciones esenciales del fluido o de los lodos de perforación, ya que éste debe de realizar las siguientes actividades.

- Estabilizar las paredes del agujero
- Recoger los fragmentos del fondo del pozo
- Sellar las paredes del agujero para reducir la pérdida de circulación
- Mantener los fragmentos en suspensión cuando al circulación cesa
- Enfriar y limpiar el trépano
- Lubricar los cojinetes del trépano, la bomba de lodo y la tubería de extracción.



- Controlar corrosión, garantizar una evaluación adecuada de la formación y facilitar la evaluación de los perfiles litológicos.

La circulación será hecha con lodo (bentonita sódica o arcillas limpia) y, en caso de pérdida de circulación, hay que utilizar más bentonita o polímeros que ayuden a recuperar nuevamente la circulación.

Para la perforación del pozo se diseñará un lodo a base de agua, el cual ayudará a lubricar la broca y eliminar el detritus de perforación levándola hasta la superficie, para luego pasar por un sistema de separación (zaranda) donde los sólidos húmedos son separados y llevados a una pequeña fosa, entre la fosa principal y el pozo, donde son recolectados separados en dos fases:

Sólido (recortes de perforación)

Y líquido (efluente).

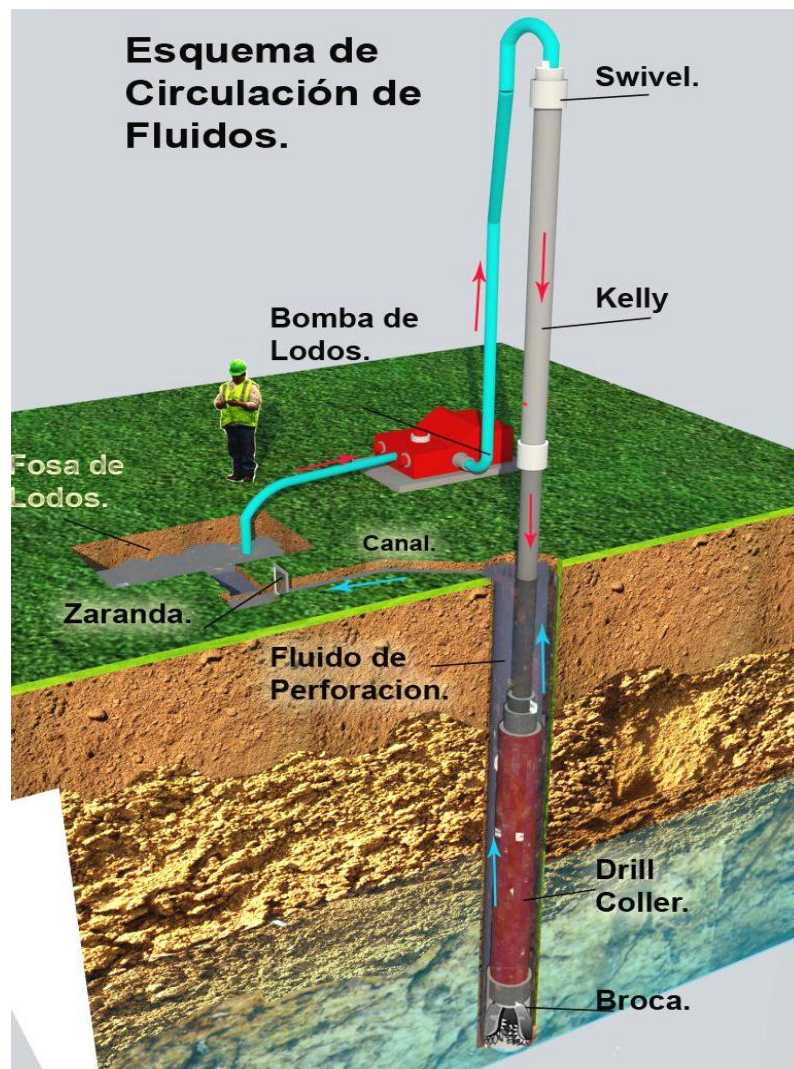
El lodo separado se reutilizará cuando cumple con las propiedades físicas para la perforación, de lo contrario el lodo no reutilizable será separado en dos fases sólida y líquida, usando un polímero de aglomeración. El líquido separado será tratado antes de su disposición. El sistema de circulación de lodos es un sistema cerrado que no permite el contacto de los lodos con el terreno natural.

El lodo está compuesto a base de agua fresca, el barro y polímeros. Se utilizarán componentes que signifiquen el menor riesgo al ambiente y por otro lado maximicen la eficiencia de la perforación. El lodo de perforación debe ser bentonítico, reuniendo todas las características necesarias, dentro de rangos adecuados, a las condiciones litológicas e hidrogeológicas en densidad, viscosidad y contenido de arena, de tal manera que garanticen la ejecución continuada de los trabajos de perforación. El depósito de los fluidos de perforación se hará en la fosa anteriormente descrita y revestida con mortero.

Los productos químicos que se usan generalmente y son compatibles con el medio ambiente son la bentonita, polímero PHPA, carbonato de calcio, fibra celulosa vegetal, cascara de nuez, bicarbonato de sodio.

De acuerdo al desarrollo de la perforación, en caso necesario, podrán incluirse aditivos al lodo, pero cuidando que los mismos sean de fácil lavado y no perjudiquen la calidad del agua ser explotada.

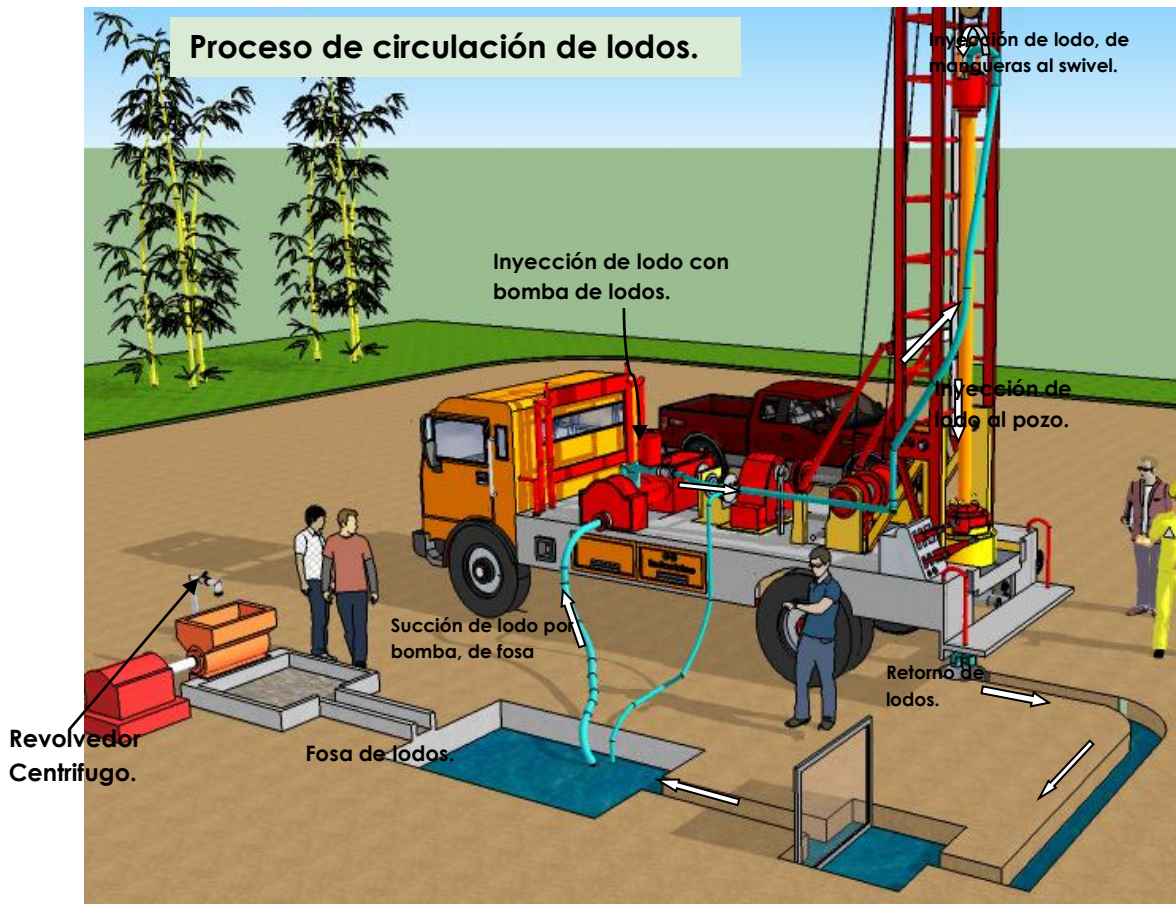
El fluido de perforación que retorna del pozo contiene perforados de arena y partículas del cual deben extraerse antes que el fluido de perforación sea recirculado nuevamente hacia el pozo.



Fuente: elaboración propia.

El proceso para extraerse los cortes de perforación, es utilizando una zaranda que se hace vibrar, los sólidos gruesos se extraen sacudiendo la malla en un recipiente acondicionado para luego transportarlas al lugar final de disposición.

Para la perforación de pozos, la viscosidad óptima suele oscilar entre 40 y 45 segundos, preferentemente alrededor de 38 (la viscosidad Marsh esa aproximadamente 26 s). La medida de la viscosidad debe de realizarse con lodo recién agitado



Fuente: elaboración propia.

Se utilizará un revolvedor centrífugo para mezclar homogéneamente el barro, con el agua y los polímeros. Con una tolva normal, que van a dar a la fosa de lodos donde se almacena y mezcla el fluido de perforación antes de ingresar al pozo por medio de bombas de lodos.



## CONSTRUCCIÓN DE UN POZO MECÁNICO.

### Generalidades:

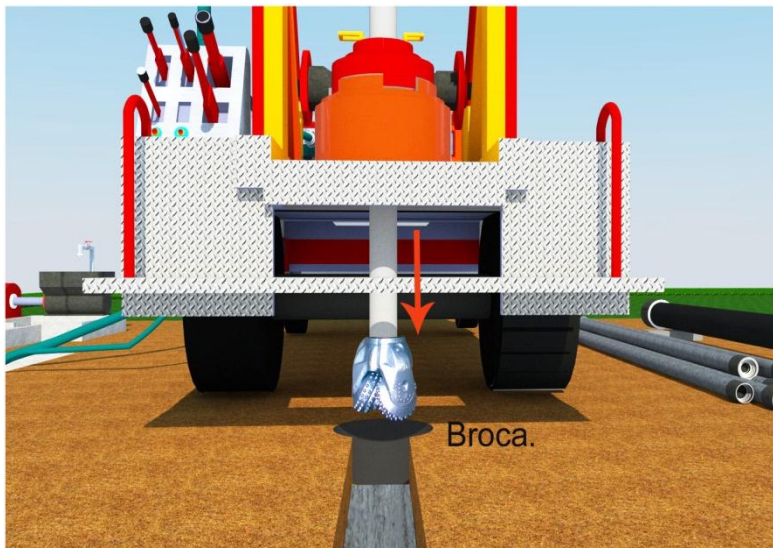
La construcción del pozo se concebirá de acuerdo a las siguientes etapas:

- Perforación:
- Instalación de la tubería,
- Instalación de la rejilla (incluye el filtro de grava),
- Sellado sanitario (cuando este es necesario para la protección sanitaria)
- Y el desarrollo del pozo para obtener un funcionamiento libre de arena a un rendimiento máximo.

Los agujeros deberán ser perforados hasta alcanzar las profundidades y características físicas señaladas en las cantidades de trabajo y especificaciones dentro del sitio de la perforación. También incluye la construcción de la fosa de lodos.

### Pre-perforación.

Se deja caer libremente el primer tubo de la barra de perforación y la huella dejada por la punta de la broca nos indica la posición exacta del pozo.



En el punto indicado se inicia la perforación en seco hasta llegar a unos 50 centímetros, este agujero nos permite la estabilidad inicial de la barra de perforación e iniciar con buen pie la verticalidad del pozo.

Fuente: elaboración propia.

### Perforación.

Se construye el canal que une el pozo con la fosa de sedimentación y la fosa principal. Se llena el pozo con agua y se le introduce la barra con la broca. Se levanta la barra unos 50 centímetros y se deja caer con fuerza para que la broca se clave en el fondo, se gira media vuelta y se vuelve a levantar a la misma altura.

- Con el impulso y el giro la broca arranca material del fondo y se disuelve con el agua inyectada.



- El agua densa sale a la superficie extrayendo el material disuelto, el que se deja sedimentar en la fosa de sedimentación.

Cuando el manubrio llega hasta el borde superior del pozo, se procede a acoplar la siguiente barra de perforación y se repiten los pasos mencionados sucesivamente.

Por lo general mientras más arcilloso sea el suelo a perforar, menos densa será la mezcla y mientras más arenoso sea el suelo a perforar más densa será la mezcla.

Es importante inyectar agua limpia al pozo a través de la barra de perforación para sacar el agua densa desde el fondo del hoyo. Una vez que ya sale el agua clara podemos retirar los tubos de perforación, tubo por tubo para evitar que caigan al fondo del pozo y se trabe toda la herramienta. La perforación será en 12 1/4" y el ademe de 8", quedando un espacio suficiente para la colocación del empaque de grava, el cual debe ser bien tamizado y analizado para no permitir el ingreso de materiales finos. Sin embargo es necesario realizar la perforación en el diámetro definido, con la finalidad de mejorar su capacidad de desarrollo.

Durante el transcurso de la perforación, se deberá prestar especial atención a la penetración de agua y a los cambios en la formación del subsuelo, los que se deben registrar adecuadamente. Cuando se pierda la circulación de bentonita y/o lodo de perforación debido a derrumbes por penetración de agua o bien por fracturas de la formación, deberá utilizarse un agente químico o algún tipo de material que bloquee la pérdida de circulación y poder continuar los trabajos de perforación con circulación adecuada.

En caso de presentarse los siguientes casos a consecuencia de la perforación, el constructor del pozo deberá consultar al Supervisor y seguir sus indicaciones:

- Cuando se perfora llegando hasta la roca madre a una profundidad menor a la profundidad de diseño.
- Cuando se ha detectado la posibilidad de tomar el volumen de agua de diseño a una profundidad menor a la profundidad de diseño.
- Cuando no existe la posibilidad de tomar el volumen de agua de diseño a la profundidad de diseño.

La perforación se realizará de tal manera que cumpla con las características contenidas en el pre-diseño del pozo.

Si se encontrarán formaciones con pérdidas de fluido durante la perforación luego que la circulación de agua o aire, deben tomarse las medidas que corresponda asegurar que la perforación pueda continuar a través de la formación con pérdidas de fluido sin afectar la zona de producción.

Cuando se llega al acuífero adecuado, se puede escuchar a través de la transmisión sonora de la barra metálica, el raspado áspero que hace las brocas en la arena gruesa que en sus poros contiene el agua que buscamos. Debe penetrarse por lo menos 5.00 metros en el acuífero encontrado, dando por terminada la perforación del pozo. Concluida



la perforación del pozo se procede al retiro de las barras de perforación, tubo por tubo y con mucho cuidado para evitar la caída de la barra al fondo del pozo.

### **Los problemas comunes que se presentan en la perforación de pozos son:**

- Derrumbe del pozo. Para disminuir este riesgo debe procurarse que el agua tenga una densidad adecuada.
- Rotura de las uniones de las barras de perforación: muchas veces causa la pérdida de la barra de perforación, se puede evitar revisando siempre las uniones de los tubos y realizando buenos ajustes al momento del acople.
- Consumo excesivo del agua densa: es posible que existan grietas en el subsuelo, por donde escapa el agua.
- Desviación del pozo: la verticalidad de los pozos es importante, pero existe herramienta especial que corrige estas desviaciones.

### **Indicaciones adicionales.**

Se deberán tomar todas las precauciones que sean necesarias durante la construcción, para evitar que aguas superficiales y/o subterráneas, que tengan características físicas o químicas indeseables contaminen el agua proveniente de los estratos que se van a aprovechar.

Se deben evitar aguas contaminadas con diesel, gasolina, u otras sustancias nocivas provenientes de la superficie que penetren al pozo directamente por el agujero o por medio de infiltración.

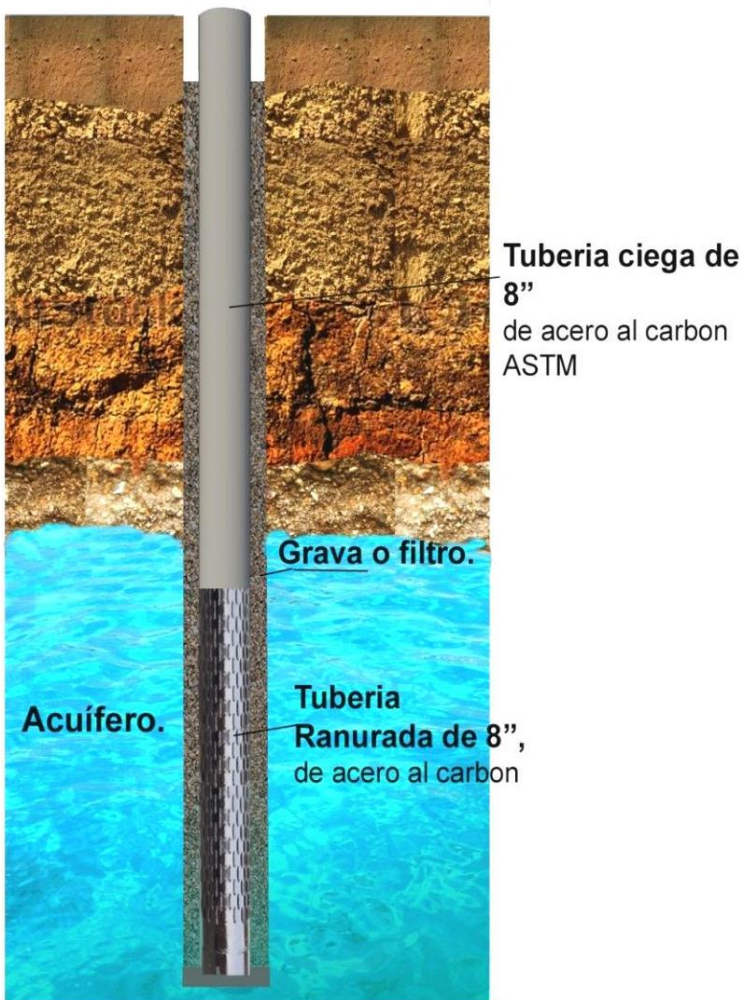
### **Encamisado con tubería de acero al carbón.**

Comprende todas las actividades necesarias para el suministro, transporte, almacenamiento e instalación de la tubería de revestimiento especificada, de los tipos ciega y ranurada, tapones, tubería de 8" de acero al carbón ASTM.

La distribución final de los tramos respectivos de tubería ciega y ranurada, será establecida luego de analizar las columnas litológicas y revisar los informes de perforación.

En el proceso de instalación del revestimiento deberá considerarse que: en los tramos de profundidad comprendida desde el nivel del terreno hasta el nivel dinámico o de bombeo esperado se instalará tubería ciega; después se podrán intercalar secciones de tubería ranurada y tramos de tubería ciega. Los tramos de tuberías ranuradas se colocarán frente a las mejores formaciones acuíferas, y de haber analizado la información hidrogeológica del pozo.

Las secciones de tubería ciega se instalarán frente a las formaciones prácticamente impermeables o bien en formaciones de material fino que no pueda ser retenido por el empaque de grava ni por las aberturas de revestimiento.



Fuente: elaboración propia.

Este renglón comprende la tubería de revestimiento del pozo de agua, cuidando de guardar una estricta relación con el diseño del pozo.

Se colocará al lado de la tubería de revestimiento, un tramo de tubería para control de grava que será de plástico y de longitud adecuada a la profundidad del empaque de grava. Esta tubería servirá para efectuar el relleno de grava seleccionada en el pozo hasta que alcance su equilibrio. Esta tubería en su parte inferior, se sujetará con alambre de amarre a la tubería de revestimiento y será fijada definitivamente cuando se realice el vaciado del sello sanitario, cuya profundidad determinará la longitud de la tubería.

La colocación de la columna de tubería y filtro deberá ser realizada de forma tal que se eviten roturas o deformación de los materiales que pudieran comprometer posteriormente la instalación del equipamiento del bombeo.

Cuando los pozos sean totalmente revestidos, la columna de tubos y filtros no deberá estar apoyada en el fondo de la perforación, sino que deberá dejar suspendida y traccionada para asegurar la verticalidad del pozo. Cuando sean soldados los tubos, la soldadura será en totalidad de la circunferencia.





El tubo para el encamisado del pozo también llamado ademe, es un tubo de acero al carbón que se introduce dentro del pozo de agua para evitar que las paredes del pozo se derrumben. Es un elemento estructural que se ve sometido a diferentes esfuerzos del terreno, por lo que este debe cumplir con todas las especificaciones indicadas.

Una vez terminada la perforación, la tubería se debe hacer descender dentro del pozo con mucho cuidado, no se debe permitir que la columna de la tubería descansa en el fondo del agujero perforado, ya que si ocurriera esto, todo el peso se aplicaría sobre la tubería ranurada, lo que puede provocar el colapso del pozo,



### Especificaciones generales de la tubería de acero.

Tubería de acero negro ranurada ASTM-53 grado B diámetro 8, serán fabricadas para este pozo con aleaciones de acero y no plasticizado bajo las normas señaladas en la tubería de revestimiento.

---

<b>Acero al carbón</b>	
Especificación:	ASTM-53-B
Longitud.:	6 M 20 pies
Diámetro exterior mm:	114.3 4.50
Espesor mm pulgadas:	6.02 .237
Peso:	11.35 libras x pié.

---

---

Especificaciones:	<b>ASTM A-53</b>
Título:	Tubería de acero negro y revestido en caliente.
Método de fabricación:	SER y sin costura.
Uso final:	Para doblado y enrollado
Deformación PSI mínimo.	Grado A
Resistencia tensional:	30,000
Carbono:	0.25 máximo.

---



Manganeso: 0.95 máximo  
Resistencia a corrosión atmosférica: Acero al carbón.

### **Instalación de tubería.**

En general, la instalación de tubería de revestimiento comprenderá todos los trabajos necesarios para lograr una correcta colocación, que incluye: arreglo de la tubería tanto en lo que corresponde a sus extremos como a su alineamiento, instalación de dispositivos de alineamiento de la tubería, colocación de una base apropiada en donde se asentará la tubería, la que deberá estar nivelada con la sección apropiada, uso de grampas adecuadas conforme el peso de la tubería, tanto para bajar la tubería, como para dejarla asentada en la base de sustentación temporal, actividades necesarias para lograr que la tubería quede vertical.

Previamente a la instalación de la tubería de revestimiento, el pozo deberá limpiarse y asegurarse que no exista ningún obstáculo que perjudique las labores de entubado.

Con la máquina perforadora, por medio de los collarines se sujeta el primer tubo, a cada tubo se le soldan dos sujetadores de hierro para poder ser levantados con el collarín, se sujeta el primer tubo y se levanta por medio de los cables y los winchs de la perforadora, se introduce en el pozo y se sostiene por medio de una plancha metálica que tiene el diámetro del tubo, se deja suspendido por medio de la plancha en la boca del pozo y luego se levanta el otro tubo. Luego este se coloca encima del primer tubo bien alineado y luego todos los demás tubos, y al último tubo se le soldan dos piezas metálicas, una en cada extremo de la boca del tubo para que se sostenga en la boca del pozo, para finalmente hacer el filtro de grava y sello de cemento.



Colocado de tubos de encamisado de pozos.

Se deberán de observar los siguientes aspectos en el encamisado:



- La conexión o junta entre tubos será collar de soldar con 3 agujeros de inspección. La soldadura de las juntas, serán con electrodos adecuados al material de base de acuerdo a las Normas de la AWS. Estas conexiones son aplicadas a la tubería de revestimiento y a la de rejilla vertical ranurada.
- Es muy importante tomar las precauciones para asegurar la colocación de la tubería en el centro del pozo y fundamentalmente su verticalidad, siendo de absoluta importancia el mantener estricto este detalle en el renglón de la colocación de la tubería.



las uniones deberán ser hechas a tope con soldadura eléctrica o con acople roscado, en cuyo caso las roscas deberán ser cónicas. en caso de acople soldado, el tubo debe ser preparado biselándolo esternamente. La resistencia mecánica en las secciones de unión denerá ser, como mínimo, igual a cualquier otra sección de la tubería donde no exista soldadura. La soldadura de union entre los tubos cubrira la totalidad de la circunferencia.

Fuente: elaboración propia.

- Los tubos de acero al unirse con soldadura, la unión de las tuberías y filtros debe efectuarse preparando los extremos de los tramos, con un corte a bisel y adecuado para realizar la soldadura a tope con tres pasadas del electrodo, evitando en la unión soldada eléctricamente rebordes exteriores pero principalmente interiores.
- El borde superior de la tubería de revestimiento deberá quedar 0.30 metros por encima de la superficie del terreno y la parte inferior debe de terminar en un cono cerrado, debiendo dejar unos tres metros de tubería ciega, como mínimo, para la deposición de materiales finos.



### **Alineamiento y verticalidad.**

Se trata de 2 procedimientos de verificación de la verticalidad y alineamiento de un pozo, siendo utilizados durante o al término de la perforación.

Las condiciones de verticalidad y alineamiento son importantes en el tramo destinado a la cámara de bombeo, dado que los equipamientos de bombeo de eje vertical exigen condiciones de verticalidad y alineamiento muy rígidas. Sí el pozo fuera destinado a ser equipado con bomba sumergible estos parámetros pueden ser más flexibles.

### **Rejillas o ranuras.**

Son las estructuras empleadas para facilitar la entrada de agua de los acuíferos captados a la tubería de succión. Los resultados de examinar las muestras de los estratos (formaciones) perforados y los resultados de los registros eléctricos permitirán la ubicación óptima de las rejillas, el tipo, el ancho y ranuras, etc., según la profundidad y naturaleza de la capa acuífera.

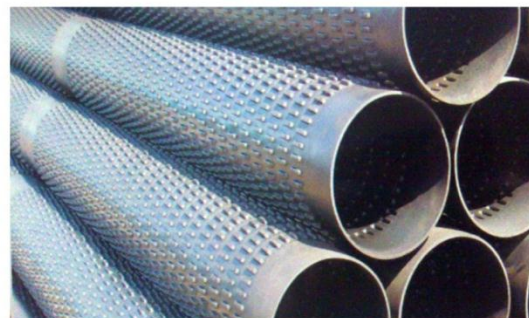


Preferentemente deberá colocarse tubería de rejilla hecha en fábrica.

El diseño de la rejilla debe ser tal, que provea un área libre máxima de acuerdo con el tamaño de las aberturas necesarias para controlar la arena del acuífero y que a la vez sea suficientemente fuerte para soportar la deformación.

La longitud y la colocación de la rejilla en el pozo, deben ser tales que eviten que la rejilla sobrepase el nivel de bombeo.

En cualquier caso, la rejilla deberá quedar cerrada en su extremo inferior.



Fuente: elaboración propia.



El ancho de las ranuras será de 0.24 – 0.28 pulgadas (6-7mm) y el área ranurada será por lo menos 15% del área total, para los tipos de cota y ancho de 0.12 – 0.04 pulgadas (5-10mm) y el área ranurada será al menos el 30% del área total.

### Distintas clases de ranuras.



Ranurado  
Recto. 1/4"



Ranurado  
Múltiple. 1/4"



Ranurado  
Interpuesto. 1/4"

Las ranuras serán perforadas a máquina, este tipo de tubería es conocido con el nombre de "ademe", las dimensiones de ranura, apertura y área abierta serán las especificadas para la tubería de diámetro de 8", según la siguiente tabla:

Tipo de ranura:	<b>III</b>
Ranuras por metro lineal:	<b>91</b>
Ranuras por pie lineal:	<b>28</b>
Área de infiltración Cm <sup>2</sup> /metro lineal de 3/16":	<b>296</b>
Área de infiltración por pie <sup>2</sup> /pie lineal de 3/16":	<b>14</b>

### Filtro de grava.

Tienen la función de permitir la entrada de agua sin el pasaje de arena, pero sin que ésta obstruya las aberturas. La elección del filtro, de sus aberturas y de la cantidad del mismo, es función de la granulometría de la arena y grava y del espesor del acuífero. Los filtros deben estar bien dimensionados ya que éstos condicionarán el caudal específico del pozo. Hay que destacar que los filtros deben ser del mismo material que la tubería ciega a la que estarán unidos.



El pre-filtro, es grava seleccionada, que se coloca entre el filtro y el acuífero. La función es retener arena muy fina, evitando que salga junto con el agua cuando se bombea el pozo. El espacio anular entre la pared del pozo perforado y la superficie exterior de la rejilla será rellenado con un filtro de grava o arena graduada desde la base del pozo perforado, hasta un nivel no menor de 3 metros arriba del nivel estático de agua.

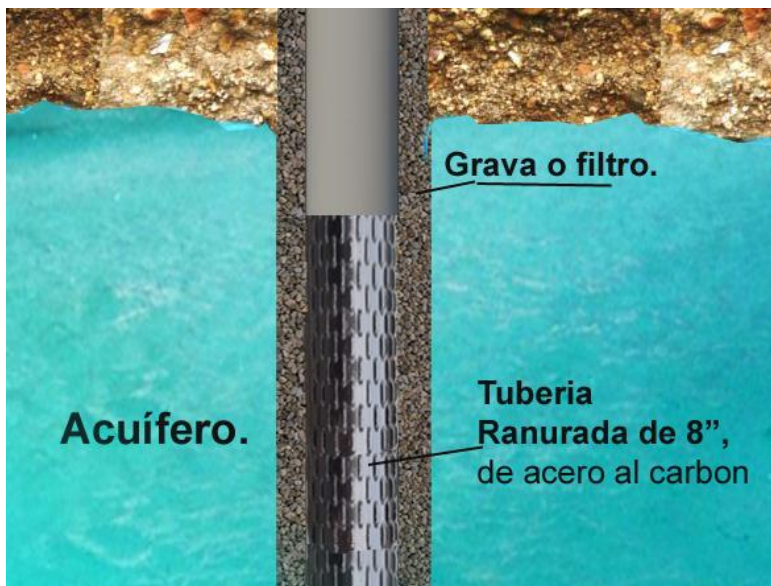
Todo el material para el filtro de grava deberá estar libre de sustancias orgánicas y estará constituido por partículas redondeadas.

El empaque de grava estará constituido por grava de río, silíceo, redondeada, lavada, limpia de arcilla o limo y que no contenga más de 5% de material calcáreo. Esta se desinfectará inmediatamente antes de colocarse, con una concentración de cloro no menor de 60 ppm. La grava de río (canto rodado), que será utilizada para el empaque deberá ser de 3/8" a 1/2" el tamaño efectivo y aplicación coeficiente de uniformidad máximo. Se deberá reponer la cantidad de grava, que por espacios vacíos se puedan producir al descender la grava por efecto del acomodamiento de la misma.

Para lograr que la grava quede uniforme y se deposite todo el material que se necesite, se coloca un embudo de 2" y se va depositando la grava en el espacio anular entre la tubería del encamisado y el pozo, conforme se deposita el material se va levantando el embudo para que el mismo se acomode y al a vez envuelva a rejilla, se le aplica agua para evitar que queden espacios vacíos entre el tubo y la grava.

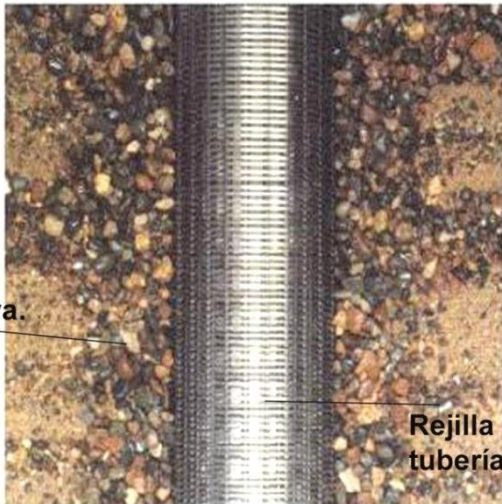
Lo fundamental del filtro de grava es que forme un encamisado, el material sirve para filtrar el agua que entra al pozo por medio de la rejilla sin partículas de regular tamaño y lodos, para lograr que el agua sea limpia y sin sólidos.

Cuando el pozo produce arena, el filtro de grava juega un papel muy importante ya que evita que la arena entre al pozo, y cuando esta es muy fina el filtro logra que la cantidad de arena que entre al pozo sea mínima, logrando con esto proteger al equipo de bombeo y principalmente, un chorro de agua sin arena.





Los filtros serán seleccionados de forma que la abertura de las ranuras (rejilla a través de la cual ingresa el agua al pozo) se la adecuada para la granulometría de la unidad acuífera impidiendo el pasaje de arena desde el acuífero hacia el pozo.



El filtro de grava tiene la función de retener material fino que pueda obstruir el paso del agua por la tubería ranurada.

Un paquete de grava seleccionado cumple perfectamente la función, además que permite rellenar el anillo existente entre el ademe y la excavación ofreciendo mayor estabilidad al pozo.

La grava se coloca en el espacio anular entre la tubería de encamisado y el límite de la excavación.



Grava de 3/8" a 1/2".

Colocado de grava.

En el caso de los acuíferos freáticos (libres) los filtros deberán ser instalados desde el fondo de la zona saturada. Para los acuíferos cautivos (confinados) la disposición de los filtros se realizará de forma que permita captar el espesor de la unidad acuífera que exija la demanda del proyecto. En caso que la unidad acuífera presente heterogeneidad se puede sustituir filtro por tubo ciego en las zonas de baja o nula productividad.

- El material para el filtro de grava podrá estar compuesto de cuarzo, basalto u otro material resistente a la acción de las aguas subterráneas. Deberá ser lavado previamente al colocarla dentro del pozo perforado. El material utilizado para los filtros deberá ser tamizado por malla # 4 y la malla # 9.

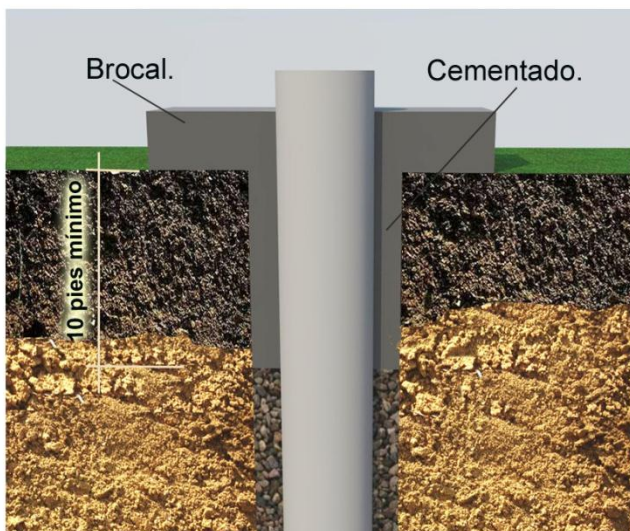


- Sobre la parte superior de éste filtro deberá colocarse un sello de arcilla no menor que 2 metros de longitud, para evitar la contaminación de la sección de la rejilla. Arriba del sello de arcilla deberá colocarse material de relleno hasta 3 metros por debajo de la superficie.
- El coeficiente de uniformidad del empaque de grava, será menor de 2.5 y la abertura de los filtros será capaz de retener el 90% del empaque. No se debe usar material con granos angulosos o laminares provenientes de grava triturada.
- Se tiene que tener la cantidad necesaria de grava en el sitio de la perforación del pozo antes del entubado, con el objeto de que pueda ser colocada inmediatamente después de terminar el entubado, durante la limpieza y desarrollo del pozo.
- Posteriormente la tubería de protección deberá instalarse en el espacio anular y unirse a la superficie con un relleno de cemento.

### Sello sanitario de cemento.

Es la unión de la tubería de revestimiento con la pared del pozo, con una pasta de cemento y arena. Los objetivos principales son evitar la entrada de aguas superficiales posiblemente contaminadas hacia el interior del pozo y aislar acuíferos superficiales contaminados.

#### Brocal de pozo y Sello sanitario.



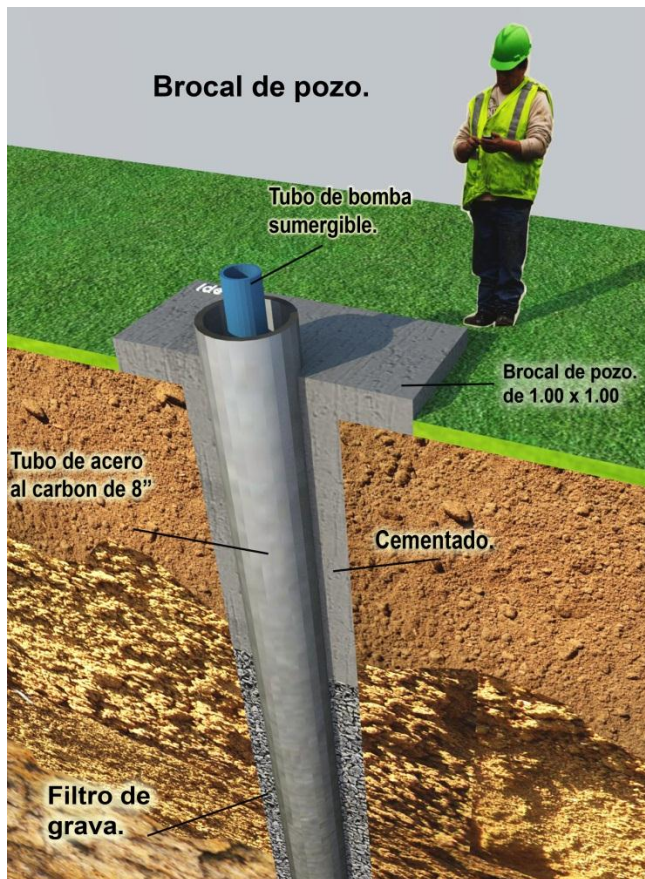
Según la norma de construcción de pozos, la cementación en pozos parcialmente revestidos alcanzará hasta el encaje del tubo de revestimiento con la roca sana, alcanzando como mínimo una longitud de 10 pies desde la superficie del terreno.

Y tiene como objetivo mantener rígida y alineada la parte superior con la verticalidad del pozo.

Este renglón comprende la provisión de todos los materiales y acciones necesarias para sellar la parte superior del pozo para evitar la contaminación de cualquier índole.

En los pozos parcialmente revestidos se cementará con una pasta de cemento y arena el espacio anular existente entre la tubería y la pared del pozo, para impedir la circulación vertical de aguas no deseadas





Se entiende por sello sanitario del pozo, a la estructura de concreto que sujeta al terreno el ademe del pozo en la parte superior y que evite posibles filtraciones indeseables del exterior que puedan contaminar el pozo, se entiende por losa de protección la estructura de concreto superficial que rodea la parte externa del ademe y que cumple la función de proteger la zona inmediata del ademe, además de servir de base para el equipo de bombeo o partes del mismo.

Fuente: Elaboración propia

La cementación alcanzará hasta el encaje del tubo de revestimiento con la roca sana alcanzando como mínimo una longitud de 10 (diez) metros desde la superficie del terreno. Para el sello se deberá utilizar, en el primer metro (desde abajo hacia arriba), una mezcla de cemento; arena y agua de relación 1:2:1 y para el resto del espacio anular una mezcla de cemento y arena de relación 1:2 con agregado de agua al solo efecto de alcanzar una mezcla homogénea.

En caso que la cementación tenga como objetivo aislar niveles no deseados, la misma se deberá realizar por medio de la inyección de una lechada de cemento.

### **Toma de muestras.**

La toma de muestras litológicas se realizará dentro de un rango de 5-10 metros de perforación, clasificándolas de acuerdo a su orden de extracción, profundidad correspondiente y otros datos adicionales que faciliten su identificación. Las muestras se tomarán de la bomba de lodos con el fin de asegurar una mayor inalterabilidad.

Cuando se presente un estrato con posibilidades acuíferas, se suspenderá la perforación y se circulara hasta que el lodo salga limpio de cualquier material hasta completar el espesor total del estrato con posibilidades acuíferas. Esto permitirá determinar el grado de uniformidad de la granulometría del estrato.



Esta distancia se podrá modificar según lo requiera el estrato del suelo a perforar o cada vez que haya cambio de material, pero reteniendo su variabilidad de muestras para la obtención del perfil estratigráfico.



El muestreo de cada nivel debe de continuar hasta obtener un kilogramo por lo menos (se tendrán dos grupos de muestras) de peso seco del material que se ha recolectado, de estas muestras una debe ser lavada y la otra no, serán colocadas en bolsas plásticas dobles, debidamente atadas e identificadas con rótulos en los que se indique la profundidad, el origen, fecha, hora y de donde procede.

Con los datos recolectados en boca del pozo, se deberá llevar los siguientes registros:

- Las profundidades de perforación que correspondan a la extracción de muestras.
- La velocidad de la perforación.
- Las características de los barros.

Toda esta información, complementada con la descripción litológica de las muestras servirá, de base para la descripción exacta del pozo. Se debe de asegurar que las muestras litológicas o los informes diarios de trabajo sean manejados cuidadosamente por el personal, garantizando que toda la información sea verídica.

### **Desarrollo y limpieza del pozo para extracción de sólidos y agitación del acuífero.**

#### **Desarrollo.**

Una vez terminado el pozo, colocación de tubería definitiva y la correspondiente cementación se procede al desarrollo del pozo, que generalmente se realiza mediante aire comprimido. El objetivo principal es extraer restos de lodo (si se trabajó con rotación), extraer restos de material y material fino y tratar de obtener el mayor caudal específico posible.

Un desarrollo insuficiente o una falta del mismo, ocasiona deterioros en el equipo de bombeo y obstrucción de filtros por la posible entrada de arena fina, que se hubiese eliminado con un desarrollo adecuado.

Cuando el desarrollo se realiza en pozos antiguos para restablecer la profundidad inicial y/o el caudal específico disminuido a causa de las incrustaciones, se está realizando una rehabilitación del pozo.

La limpieza del pozo, se procederá a realizar al finalizar el entubado, se hará durante un período de 40 horas, con bombeo de agua limpia hasta adelgazar totalmente el lodo. Los residuos que se depositen en el fondo serán extraídos con cubeta.



De ser necesario, se utilizará un químico dispersor de arcilla (sodio u otro similar) aplicándolo desde el fondo y a lo largo de los tubos, presentando las especificaciones técnicas de uso y aplicación del químico dispersor de arcilla. Se agitará con pistón y se dejará en reposo, luego de lo cual se reanudará la limpieza y desarrollo combinando pistón, cubeta y compresor de aire.

El desarrollo del pozo podrá efectuarse mediante los siguientes métodos:

- Con pistón sólido ajustado al diámetro del ademe
- Con chorro a presión.
- Combinación de pistón sólido con aire comprimido.

Durante el desarrollo se utilizará cubeta como herramienta de limpieza para extraer los residuos y dejar el pozo a la profundidad entubada. Sin embargo, la cubeta no podrá utilizarse más del 20% del tiempo utilizado en el desarrollo, se deberá tomar las debidas precauciones para asegurar que las paredes de los agujeros no colapsen durante este procedimiento.

### **Procedimiento.**

Luego de la limpieza se debe proceder al desarrollo del pozo para eliminar arrates de arena y alcanzar un rendimiento óptimo del conjunto. (Acuífero, pre filtro).

El desarrollo consistirá en producir una agitación dinámica en el interior del pozo, para la extracción de todos los residuos sólidos, y los materiales finos de las formaciones circunvecinas, permitiendo además el ordenamiento de la grava de empaque.

El desarrollo del pozo se realizará durante el tiempo necesario, realizándose en los diferentes niveles y de preferencia a la altura de los filtros y por último bombeando en forma escalonada, utilizando los métodos necesarios para su realización.

### **Agitación mecánica:**

Pistoneo, sifoneo y baldeo, complementado con la extracción de los sedimentos acumulados mediante un desarenador adecuado (cuchara).

Las operaciones de desarrollo se prolongarán hasta que el pozo produzca su máximo caudal, bombeando agua limpia libre de turbiedad y sólidos en suspensión.

Se interpretará terminado el desarrollo del pozo, cuando el agua se encuentre libre de sedimentos, su turbidez, sea mínima y la extracción de arena sea inferior a 30 mg/m<sup>3</sup> (30ppm).

Durante la labor de desarrollo del pozo deberá evaluarse rigurosamente la producción del mismo y verificarse la cota superior del pre -filtro.

### **Terminación en superficie.**

Consiste en una losa de hormigón, realizada con una mezcla de cemento, arena y grava en proporciones 1:2.3. La losa tendrá un metro de lado por 0,25 metros de altura, con una pendiente desde el centro hacia los bordes de un 3%. En la misma deberá quedar registrado el nombre de la empresa perforadora y la fecha de realización del pozo.



**Brocal de pozo.**



El cabezal de descarga (donde va la tubería). Se le llama cabezal de descarga o brocal del pozo (el lenguaje llano o no técnico), a la parte de la tubería que está en la superficie y que sirve de remate a toda la tubería instalada. En la superficie de la boca del pozo debe de apisonarse bien para evitar posteriores hundimientos. El último tubo que se coloca se suelda dos piezas metálicas, una en cada extremo de la boca del tubo para que se sostengan la boca del pozo, para hacer finalmente el filtro de grava y el sello sanitario. Una vez realizados (el filtro de grava y el sello sanitario) se procede a fundir (operación de verter cemento, arena, piedrín y agua debidamente conformado) el área alrededor del tubo de la boca del pozo, el radio y la profundidad de la fundición dependerá del análisis del suelo y de cuan compacto quede el suelo, de forma que podamos tener una superficie sólida, que pueda evitar síntomas de hundimientos, de filtración de agua por escorrentía u otras causas.





### **Profundidad del pozo y medición de niveles de agua.**

Para medir la evolución de los descensos se utilizan generalmente medidores manuales. Los medidores manuales pueden ser clasificados como: eléctricos, acústicos y manométricos. Entre ellos, los medidores eléctricos son los más difundidos y utilizados. Están constituidos básicamente por un cable eléctrico unido a una fuente, teniendo en el otro extremo un electrodo, que al tocar la superficie del agua cierra el circuito y acciona un dispositivo de alarma, normalmente basado en la emisión de una señal sonora o luminosa. El cable de la sonda debe estar marcado a centímetro.

Es aconsejable que la medición durante el ensayo la realice siempre el mismo operario a efectos de no sumar errores en la medición. Se debe también tomar las medidas de los niveles considerando siempre la misma referencia (ej. boca de tubería).

### **Prueba de bombeo. (Aforo).**

Este renglón comprende los trabajos de prueba de bombeo con el fin de estimar el caudal óptimo de producción del pozo.

Al finalizarse el desarrollo del pozo, se procederá a efectuar la prueba de bombeo con un caudal escalonado y luego con un caudal constante, estas pruebas deben sumar un tiempo estimado de 24 horas, el tiempo de esta prueba puede variar dependiendo de las características del acuífero.

El equipo de bombeo deberá de ser calculado según los datos que se obtengan después de perforado el pozo.

Se deberá colocar una válvula en la tubería de descarga para controlar el caudal de salida del pozo. El caudal bombeado del pozo durante la prueba de bombeo, se medirá con un flujometro o macromedidor apropiado, aprobado por el supervisor.

Inmediatamente después de finalizada, la prueba de caudal definitivo, se medirá el nivel de recuperación del agua en el pozo, durante un período mínimo de 3 horas, a menos que el nivel de agua haya alcanzado su nivel original. Durante la prueba de bombeo, se deberá medir la temperatura del agua, la conductividad en micro-ohms por centímetro y el ph, e informará el resultado en la hoja de información de la prueba de bombeo.

En forma preliminar se encenderá la bomba para determinar el caudal que podrá mantenerse constante, según el comportamiento observado del nivel dinámico, para medir el abatimiento del nivel de agua dentro del pozo, se instalará un piezómetro de tubería PVC de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro, que será introducido dentro de la tubería de ademe y pegado a los tubos de descarga del equipo de bombeo, de tal forma que pueda utilizarse una sonda eléctrica.

La unidad de bombeo debe contar con su propia fuente de energía para realizar la prueba en forma ininterrumpida. En caso se tenga algún inconveniente durante el desarrollo de la prueba, ésta deberá reanudarse y repetirse durante 24 horas continuas, hasta obtener el tiempo estipulado o requerido de la prueba.



### **Procedimiento:**

La prueba de bombeo deberá ser programada. Esta se desarrollará durante un tiempo mínimo de 24 horas, con una bomba adecuada, y se realizará a caudal constante, hasta que el descenso del nivel de agua llegue a su punto de estabilización.

Se deberán tomar los datos en formularios adecuados, debiendo registrarse las variaciones de caudal y abatimiento durante la prueba de bombeo, como también la subida del nivel de agua durante la recuperación del pozo.

El finalizar la prueba de bombeo, el contratista deberá finalizar la instalación del filtro de grava y colocación del sello sanitario, fundición del brocal y colocar un tapón soldado en la boca del pozo para evitar que se tiren objetos dentro de él.

Al finalizar la limpieza del área de trabajo, incluyendo el relleno de las pilas de lodos, el supervisor procederá a recibir el pozo dejando constancia por escrito, el contratista debe entregar el diseño del pozo, indicando la ubicación exacta de las tuberías de ademe y rejillas instaladas medidas a partir de la superficie del terreno, entregando la información requeridas en estas especificaciones.

En base a la prueba de bombeo se recomienda, según el caudal óptimo de producción del pozo, debiéndose adecuada a ser instalada y especificar las características de la bomba.

Deben programarse todos los trabajos necesarios para conducir, mediante tubería los productos de la prueba de bombeo a una distancia mínima de 50 metros, desde el pozo perforado, esta distancia es prudencial para que el canalizada no pueda influenciar el pozo bombeado o causar algún daño al terreno y o causar también daños a vecinos.

Se debe realizar un informe de los resultados de las pruebas de bombeo, en formas preparadas, las cuales deben incluir:

Encabezado.

- Ubicación de la prueba
- Equipo utilizado
- Operador
- Fecha
- Hora de inicio
- No. De Página.

Tabla de datos elaborada con las siguientes columnas.

- Hora
- Minutos
- Nivel de Agua (pies)



Caudal (G.P.M.)

Observaciones.

Otros datos.

Nivel estático

Nivel dinámico

Altura instalación de bomba

Producción el pozo

Etapas de la bomba y características de la bomba

Potencia del motor y características.

### **Análisis de la calidad del agua.**

Las muestras tomadas durante el proceso de perforación y durante las pruebas de bombeo, debe ser enviadas a un laboratorio de calidad del agua reconocido, para que les sean practicado análisis físico, químico y bacteriológico. La empresa que realiza la perforación deberá entregar las muestras a la mayor brevedad posible al laboratorio.

### **Los parámetros a ser analizados serán:**

Se deberá tomar una muestra de agua descargada del pozo al final de la prueba de bombeo, para efectuar análisis físico-químico y bacteriológico además de la conductividad eléctrica, temperatura y el PH de cada muestra, estas deberán ser medidas al momento de efectuar el muestreo.

### **Examen Bacteriológico.**

Cada muestra deberá ser captada, preservada y transportada, en recipientes esterilizados y de acuerdo a las normas establecidas en los protocolos normales de laboratorios, para medir los siguientes parámetros:

- Coliformes fecales.
- Coliformes totales

### **Examen físico-químico.**

Cada muestra deberá ser captada, preservada y transportada según los estándares que rigen la práctica profesional para cada uno de los parámetros a ser medidos los cuales son:

Color verdadero, temperatura, PH, cloruros, turbiedad, conductividad, amoníaco, cloro residual, calcio, magnesio, sólidos totales, nitratos, nitritos, hierro, fluoruro, cianuro, arsénico.

### **Otros dispositivos.**

Se deberá colocar un tapón al finalizarse todos los trabajos, del mismo diámetro que el tubo de revestimiento, con soldadura pero de tal forma que se debe dejar instalado de tal manera que pueda se desinstalado fácilmente para el equipamiento del pozo.



### **Desinfección del pozo.**

Después de que el pozo haya sido completamente construido, deberá limpiarse cuidadosamente de toda sustancia extraña. El revestimiento deberá ser lacado usando agentes alcalinos para la limpieza de aceites y grasas.

Posteriormente se procederá a desinfectar el pozo mediante una solución de hipoclorito de sodio en cantidad suficiente que permita obtener todo el volumen del pozo una concentración mínima de 60 ppm.

### **Registros e informes.**

Durante la perforación se deberá llevar un registro diario o bitácora de todas las actividades de perforación que se realizan.

El registro diario de la bitácora indicará lo siguiente:

- Profundidad perforada durante el día.
- Clasificación y descripción técnica de los materiales encontrados a lo largo de la perforación.
- Profundidades en las cuales ocurren cambios en la formación geológica.
- Profundidades en las cuales corren derrumbes.
- Dureza relativa de todas las formaciones encontradas durante la perforación.
- Aparición de nuevas formaciones acuíferas interceptadas y fluctuaciones de los niveles del agua.

Al final de la perforación del pozo, el ejecutor de la perforación entregará el responsable del proyecto un informe completo del pozo construido, describiendo todos los trabajos efectuados e indicando los resultados logrados y las recomendaciones para lograr una explotación adecuada del pozo.

### **El informe incluye:**

- Formulario de control diario de perforación.
- Registro estratigráficos.
- Registro de pruebas de bombeo y recuperación.
- Diseño y datos de construcción del pozo.
- Análisis de la calidad del agua.
- Toda información que la empresa de perforación considere útil a los fines del diseño y posterior operación y mantenimiento del pozo.
- Perfil litoestratigráfico del pozo final.

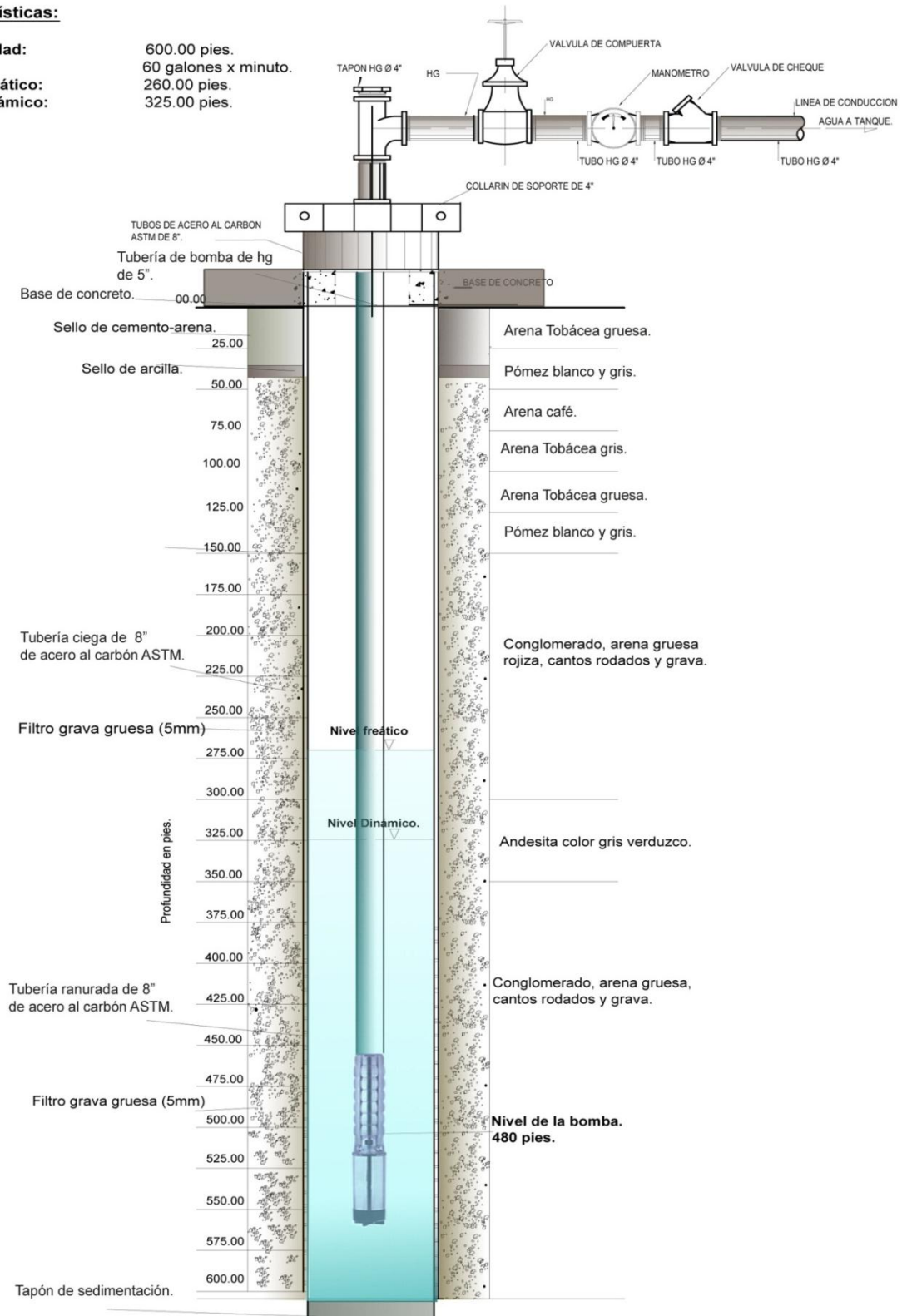




## PERFIL LITOLOGICO DE POZO MECANICO.

### Características:

**Profundidad:** 600.00 pies.  
**Caudal :** 60 galones x minuto.  
**Nivel Freático:** 260.00 pies.  
**Nivel Dinámico:** 325.00 pies.



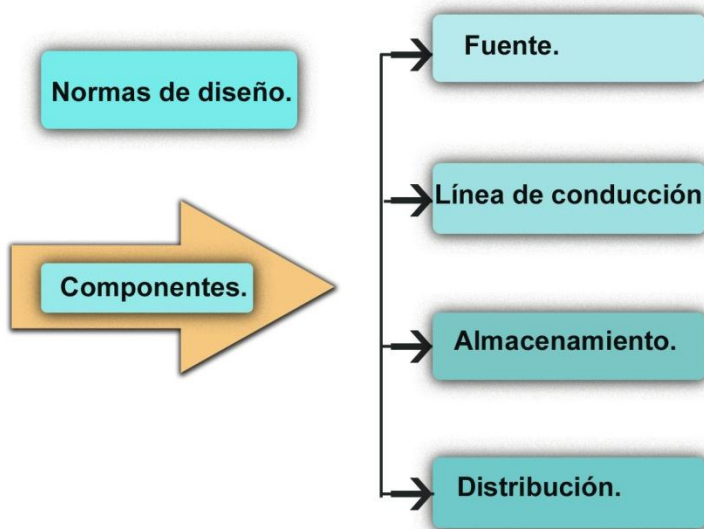
Fuente: elaboración propia.



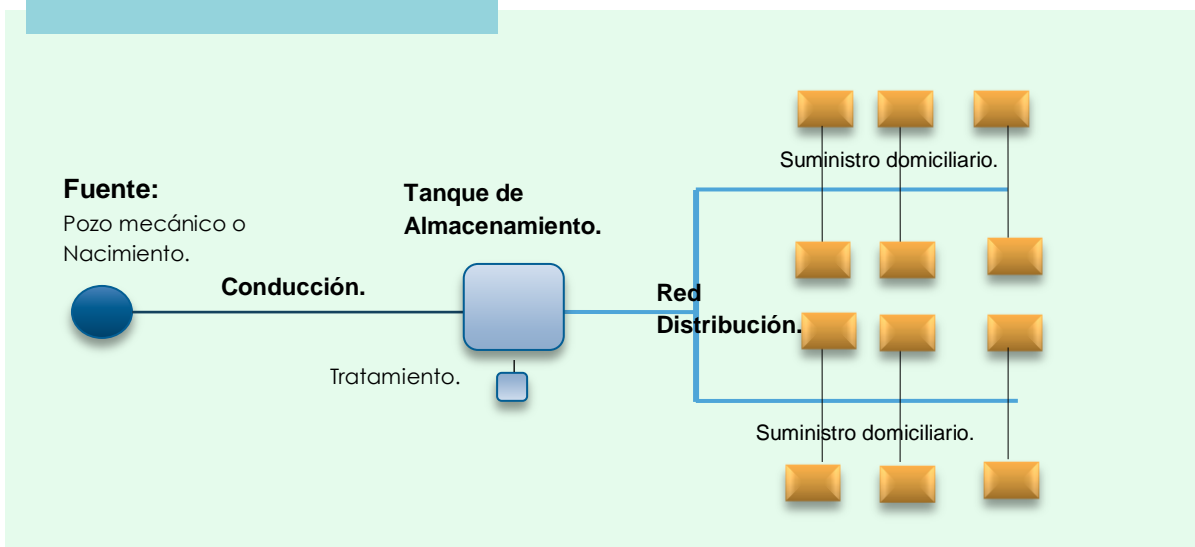
### 3.- SISTEMAS DE AGUA POTABLE.

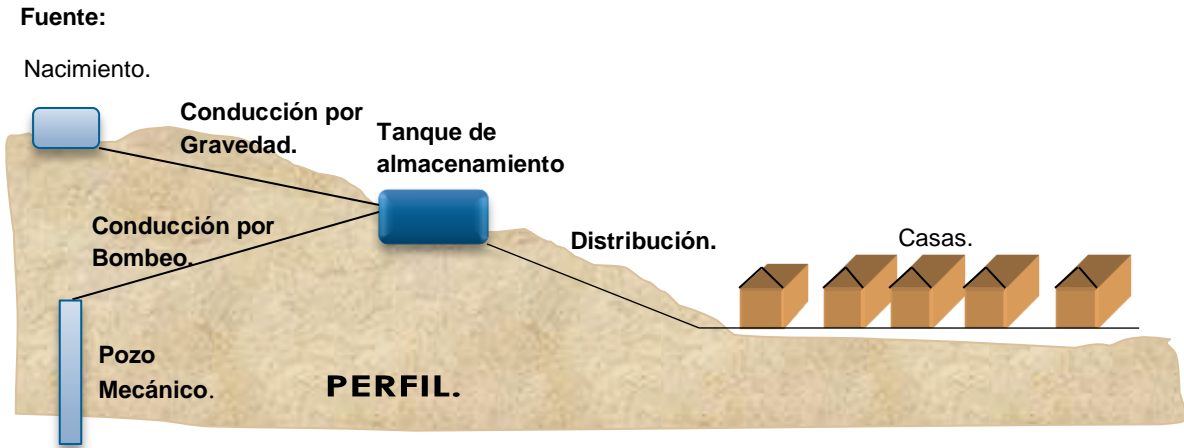
Un sistema de agua potable es el conjunto de instalaciones y equipos utilizados para abastecer de agua a una población en forma continua, en cantidad suficiente y con la calidad y la presión necesarias para garantizar un servicio adecuado a los usuarios y usuarias.

#### Componentes de un sistema de agua potable.



#### Sistema de agua.

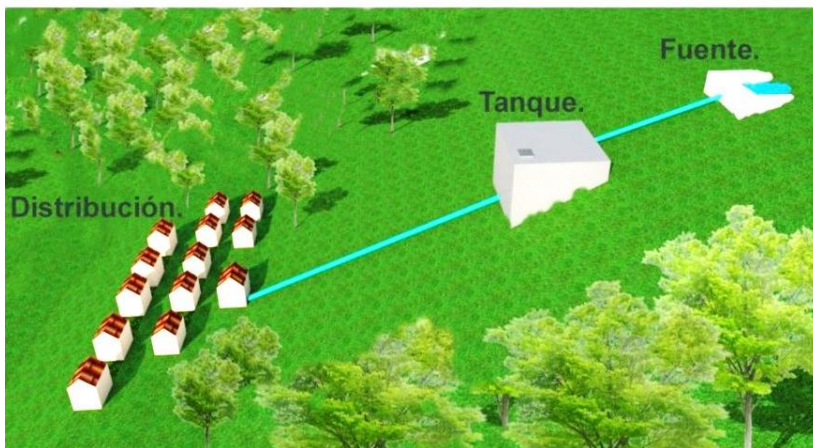




Según la topografía del terreno y la diferencia de altura entre el sitio de donde se toma. El agua y la comunidad que la va a consumir, en muchos países de Latinoamérica se puede distinguir principalmente dos tipos de sistemas de agua potable:

### **Sistemas de agua potable por gravedad.**

Se encuentran principalmente en zonas montañosas. Se aprovecha la topografía del terreno para llevar por gravedad el agua desde la captación, en la zona más alta, hasta las viviendas, en las zonas más bajas.



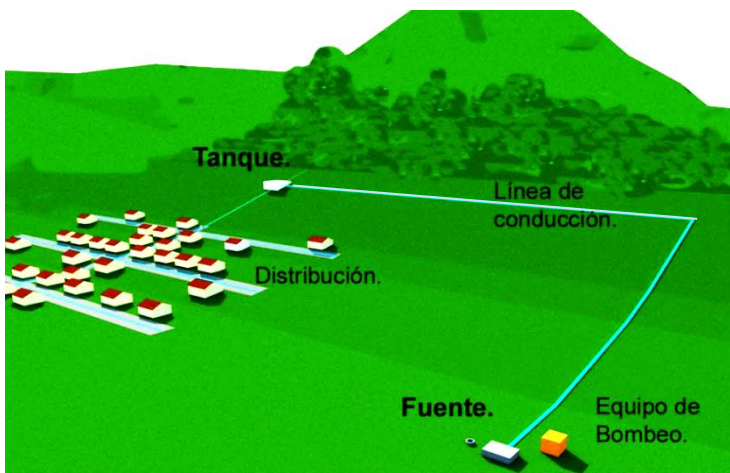
En este tipo de sistemas, la fuente de agua está a mayor altura en relación a las viviendas.

El agua es suministrada a la comunidad por gravedad. La fuente de abastecimiento generalmente, es un manantial o una galería filtrante.



## Sistemas de agua potable por bombeo.

Existen a su vez de dos tipos de captación por bombeo: aquellos que utilizan como fuente las aguas superficiales como ríos y lagos, y los que usan aguas subterráneas (pozos). Ambos emplean equipos de bombeo para elevar el agua desde la captación o desde la capa freática hasta la planta potabilizadora, así como tanques de almacenamiento o de reserva, generalmente situados en un sitio estratégico por su elevación con respecto al poblado o la comunidad a servir. Desde ese tanque, el agua llega a las viviendas por gravedad.

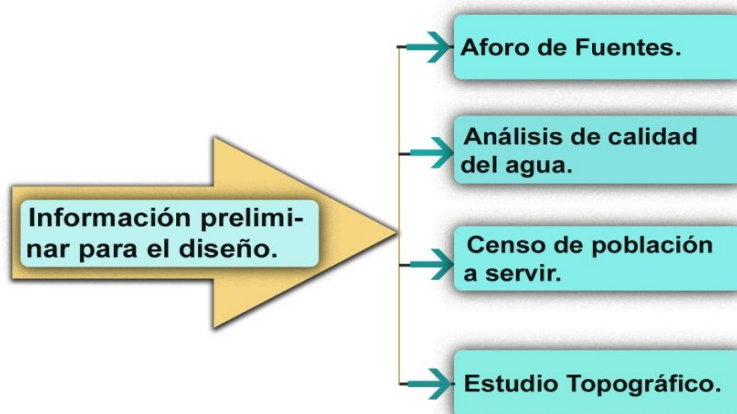


Este tipo de sistemas tienen la fuente de agua en el nivel de la parte más baja en relación a la comunidad. La fuente de abastecimiento puede ser un pozo o una galería filtrante. Se necesita un equipo de bombeo para elevar el agua al tanque aéreo de distribución.

## Normas y datos técnicos para diseñar proyectos de agua potable.

Son los factores o criterios que se utilizan como referencia para diseñar un proyecto de agua potable.

A continuación se describe paso a paso todo el proceso de diseño y cálculo con todos los elementos y datos técnicos necesarios para realizar la planificación completa de un sistema de agua potable.





### **Descripción del proyecto:**

Todo componente del sistema deberá justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto.

Se menciona que tipo de sistema se diseñará, si será por gravedad o por bombeo tanto la conducción como la distribución, que tipo de captación y qué clase de tanque distribución se usará, la clase de conexiones domiciliarias, tipo de fuente a utilizar.

### **Fuentes de agua.**

La fuente provee de agua en cantidad y calidad suficiente al sistema. Las fuentes pueden ser una o varias, de un mismo tipo o distintas. Los manantiales, los ríos, los lagos, el agua subterránea, son los tipos de fuente mayormente utilizados.

Las fuentes para abastecer de agua pueden ser las que se hacen por medio de la:

### **Captación de manantiales.**

Son las obras que se realizan para recoger la mayor cantidad posible de agua de las fuentes y conducirla a un tanque. Estas varían en su forma de construcción dependiendo del tipo de fuente. Por lo general comprenden las siguientes obras:

- Zona de infiltración.
- Caja recolectora de caudales.
- Caja de válvulas.
- Obras de protección.

### **Captación de ríos y lagos.**

Para efectuar esta captación es necesario construir una presa, con el objetivo de generar cierto volumen de almacenamiento en un embalse, que tiene en la parte superior un vertedero para drenar el agua.

El sistema recolector inicia con la colocación de una pichacha en el embalse y una rejilla, que impedirá que entre cualquier tipo de basura, sea arrastrada hacia la presa. Puede utilizarse un sistema de rejillas de o tres pantallas. Cada pantalla, conforme se aproxime a la pichacha, tendrá abertura más pequeña. Este método se conoce con el nombre de cribado.

### **Captación por pozos.**

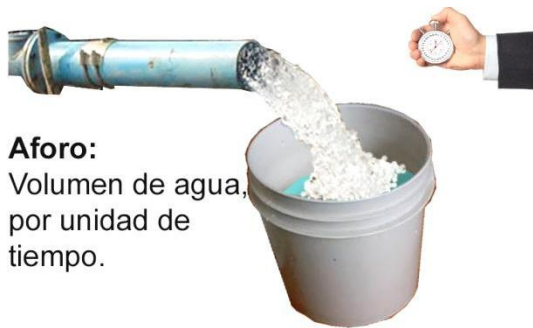
Es la captación de aguas subterráneas por medio de la perforación o excavación de pozos. El agua es extraída del subsuelo, recogida y elevada por medio de equipos mecánicos a un tanque de distribución.

### **Caudal de aforo:**

Es el volumen de agua por unidad de tiempo, que produce la fuente, cuando es de nacimientos se obtiene por el método volumétrico.



El método más común es el Método volumétrico que consiste en utilizar un recipiente de volumen conocido y cronometrar el tiempo que tarda en llenarse, luego se procede a calcular el caudal de la siguiente manera:



**Aforo:**  
Volumen de agua,  
por unidad de  
tiempo.

Aforo de  
manantiales.



$$Q = C/T.$$

Dónde:

---

**Q** = Caudal en litros \* segundo

---

**C** = Capacidad del recipiente en litros.

---

**T** = Tiempo de llenado en segundos.

---

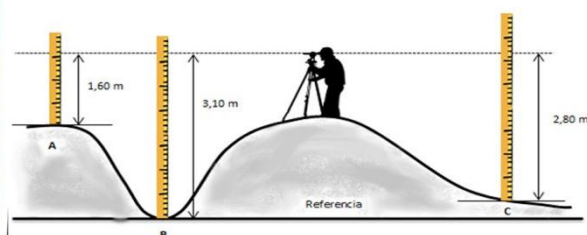
### Levantamiento topográfico.

Consiste en la planimetría y altimetría, en donde es importante conocer todas las diferencias de nivel existentes del terreno. Se utiliza generalmente para el levantamiento y posterior cálculo el método taquimétrico, el tránsito por conservación de azimut, utilizando para el efecto: un teodolito digital, un estadal, cinta métrica de metal, 2 plomadas. Es importante adjuntar la libreta topográfica.

El estudio topográfico se debe de realizar a lo largo de una ruta propuesta por donde tentativamente pasará la tubería, tomando los detalles de caminos, quebradas, cercos, ubicación de viviendas con nombre del propietario, fuentes de agua y otros que estime el proyectista.

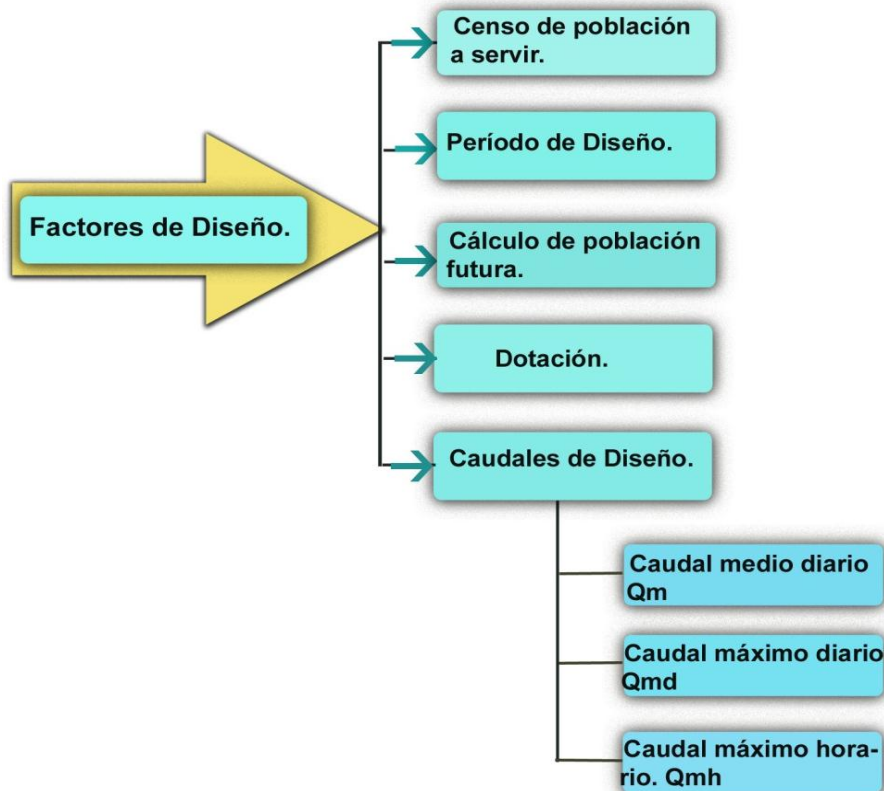


Nivelación topográfica.





## Parámetros de diseño.



### Calidad del agua.

El término “calidad del agua” está relacionado con aquellas características, físicas, químicas y bacteriológicas, por medio de las cuales puede evaluarse si el agua es apta o no para el consumo humano.

Es necesario realizar dos clases de exámenes para determinar con exactitud la potabilidad del agua, siendo estos:

- Examen bacteriológico.
- Examen físico-químico.

### Dotación.

Es la cantidad de agua que se asigna en un día a cada habitante para satisfacer sus necesidades, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas que existen en cualquier sistema de distribución.

El consumo de agua está en función de una serie de factores que son inherentes a la comunidad beneficiada, que cambia de una comunidad a otra como también cambia de un sector de distribución a otro. La dotación para una comunidad rural depende de las



costumbres de la población, del clima, del tipo y magnitud de las fuentes, de la calidad de agua, de la actividad productiva y de la medición del consumo.



**Dotación Promedio Guatemala:**

Area Rural: 100 litros x día /habitante

Area Urbana: 150 litros x día/habitante.

**Censo de población.**

Se debe de obtener un dato fidedigno de la población actual, del número de viviendas y el promedio de habitantes por vivienda como parte de la recolección de datos básicos para proyectar el diseño.



Número de viviendas.



Promedio de habitantes por vivienda.

**Parámetros de diseño.**

Se toman como referencias las normas de la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales UNEPAR y las del INFOM y a nivel internacional La OMS, que le da distintas clasificaciones dependiendo de varios factores.

Se toman en cuenta aspectos de clima, capacidad de la fuente y de la ubicación de la población, si es área rural o urbana, de las actividades comerciales o industriales, para determinar con exactitud la cantidad de agua que corresponde a cada persona por día.





### Periodo de diseño.

Para el sistema de abastecimiento de agua, el período de diseño es el tiempo durante el cual la obra construida funcionará eficientemente y dará un servicio satisfactorio a la población que la utiliza. Para determinar el período de diseño debe de tomar en cuenta la vida útil de los materiales, los costos de los mismos, costo de mantenimiento, la población de diseño la que puede tomar en cuenta posibles cambios en el desarrollo de la comunidad, con facilidad o dificultad para hacer cambios o ampliaciones a las obras planeadas.

El período de diseño que recomiendan instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (UNEPAR) es de 20 años.

### Estimación de la población de diseño.

El crecimiento de la población está determinado por factores de tipo socio-económico: crece por nacimientos, decrece por muertes, crece o decrece por migración y aumenta por anexión. Básicamente la tasa de crecimiento poblacional está definida por la diferencia entre la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad.

Cuando se menciona la tasa de crecimiento poblacional, es proyectar por medio de pronósticos que se hacen con base de datos estadísticos de censos poblacionales que se hayan realizado en el pasado

Los métodos para estimar la población futura son: el aritmético, el exponencial y el geométrico.

Para calcular el crecimiento de una población y estimarla con cierto grado de exactitud, se utiliza el método geométrico, que es calculado según la fórmula;

$$Pf = Pa * (1+r)^n$$

Dónde:

<b>Pf</b>	=	Población futura (habitantes)
<b>Pa</b>	=	Población actual (habitantes)
<b>r</b>	=	Tasa de crecimiento poblacional. (3%)
<b>n</b>	=	Período de diseño. (20 años).

Ejemplo:

Se asumirán para efecto de ejemplo de cálculo y diseño para este documento los siguientes datos:



Viviendas: 100

Área: Rural.

Asumiendo que son 100 casas que se abastecerán de agua,

Tomando 6 persona x vivienda.

Habitantes actuales: 600 habitantes.

Sustituyendo datos en la fórmula se obtiene:

$$Pf = 600 * (1 + 0.03)^{20}$$

$$Pf = 600 * 1.806$$

$$Pf = 1,084 \text{ habitantes}$$

### Determinación de caudales.

#### Caudal Medio Diario (Qm):

Es la cantidad de agua que requiere una población durante un día, que se obtiene del promedio de consumos de un año.

Cuando no existe un registro anterior, el caudal medio diario se logra del producto de la dotación adoptada por el número de habitantes

$$Qm = \frac{\text{Dotación} * Pf}{86,400 \text{ segundos.}}$$

Dónde:

<b>Qm</b>	=	Caudal medio diario.
<b>Dotación.</b>	=	Dotación.
<b>Pf</b>	=	Población futura.

Ejemplo:

Asumiendo que se asigna una dotación de 150 litros x día x habitante.

Con Pf = 1084 habitantes.

$$Qm = \frac{150 \text{ lit.} * 1084 \text{ hab.}}{86,400 \text{ segundos.}}$$

$$Qm = 1.88 \text{ lts/seg.}$$



### **Caudal Máximo Diario (Qmd):**

Es el máximo consumo de agua durante las 24 horas observado en el período de un año. El caudal máximo diario se utiliza para diseñar la línea de conducción del proyecto.

Para compensar la variación de consumo existe un porcentaje de incremento que se le denomina “Factor de día máximo”, y su valor está en función del tamaño de la población, clima y sus costumbres.

El factor de día máximo que se utiliza depende de muchos factores que lo definen. A continuación se presenta una tabla de los factores que se aplican dependiendo de la zona.

$$Qmd = FDM * Qm.$$

Dónde:

<b>Qmd</b>	=	Caudal máximo diario o <b>caudal de conducción.</b>
<b>FDM</b>	=	Factor de día máximo.
<b>Qm</b>	=	Caudal medio diario.

Ejemplo:

$$Qmd = 1.2 * 1.88 \text{ lts.} = 2.25 \text{ lts/seg.}$$

Este dato es muy importante ya que es el caudal de aforo mínimo que tiene que proporcionar la fuente de abastecimiento de agua, para poder cubrir la demanda que se estudia.

### **Caudal Máximo Horario:**

Se utiliza para el diseño hidráulico de la red de distribución del proyecto.

Es el máximo consumo observado durante una hora de día en el período de un año. Para compensar la variación de consumo existe un porcentaje de incremento, que se le denomina “Factor de hora máximo”, y su valor está en función del tamaño de la población, clima y sus costumbres.

El factor de hora máximo que se utiliza en el área rural y urbana, según las normas de UNEPAR-INFOM es de 1.90 y 2.20 respectivamente.

$$Qmh = FHM * Qm.$$

Dónde:



<b>Qmh</b>	=	Caudal máximo horario o <b>caudal de distribución.</b>
<b>FHM</b>	=	Factor de hora máximo.
<b>Qm</b>	=	Caudal medio diario.

Ejemplo:

$$Qmh = 1.90 * 1.88 = 3.57 \text{ lts. /seg.}$$

### Presiones Máximas y Mínimas.<sup>1</sup>

La presión del agua, debe ser suficiente para que el agua pueda llegar a todas las instalaciones de las viviendas más alejadas del sistema. La presión será aquella que no origine consumos excesivos por parte de los usuarios y no produzca daños a los componentes

Las presiones en la línea de conducción no debe de exceder el 80% de la presión de trabajo de las tuberías, en las redes de distribución la presión de servicio debe de estar en el rango de 10 a 60 metros columna de agua (mca).

La presión mínima de llegada a cualquier punto y en cualquier línea será de 6 mca, así como la presión hidrostática máxima será de 90 mca. En las normas de la guía del INFOM/UNEPAR: en consideración a la menor altura de las edificaciones en los medios rurales las presiones tendrán los siguientes valores.

### Presiones.

	Mínima	=	6.00 metros (presión de servicio).
	Máxima	=	50 metros (presión de servicio)
Presión hidrostática máxima de conducción.		=	80 metros.
Presión hidrostática máxima de distribución.		=	80.00 metros.

La longitud de diseño de toda la tubería se incrementa en un 3%, que es la incertidumbre al considerar la pendiente del terreno y las condiciones de accesibilidad en el momento de ejecutar el proyecto.

### Clases de tubería.

SDR	Presión de trabajo PSI	Metros columna de agua mca
13.5	315	225
17.5	250	176
26	160	112

<sup>1</sup> Cartilla para la operación y mantenimiento de acueductos rurales. Unepar 1980



### Velocidades.<sup>1</sup>

La velocidad mínima en ningún caso será menor de 0.3 m/s y deberá garantizar la auto limpieza del sistema.

En general se recomienda un rango de velocidad de 0.5 a 5.00 m/s. Por otro lado la velocidad máxima en la red de distribución no excederá los 3m/s. El diámetro a utilizarse será aquel que asegure el caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red. Los diámetros nominales mínimos serán:

- 1" en redes principales.
- 3/4" en ramales secundarios.
- 1/2" en conexiones domiciliarias.

Se recomienda fijar valores de las velocidades del flujo en los conductos en un rango para evitar erosión interna o sedimentación en las tuberías.

Según la normas de UNEPAR e INFOM, se adoptarán las siguientes velocidades de diseño:

Línea	Velocidad mínima m/s.	Velocidad máxima l/s.
Conducción.	0.30	5.00
Distribución.	0.60	3.00

### Coefficiente de Rugosidad.

Para los diferentes tipos de materiales en las tuberías, de Hazen-Williams (c).

Material	=	Coefficiente de Rugosidad.
Tubos de HG	=	100
PVC	=	150

<sup>1</sup> Cartilla para la operación y mantenimiento de acueductos rurales. Unepar 1980



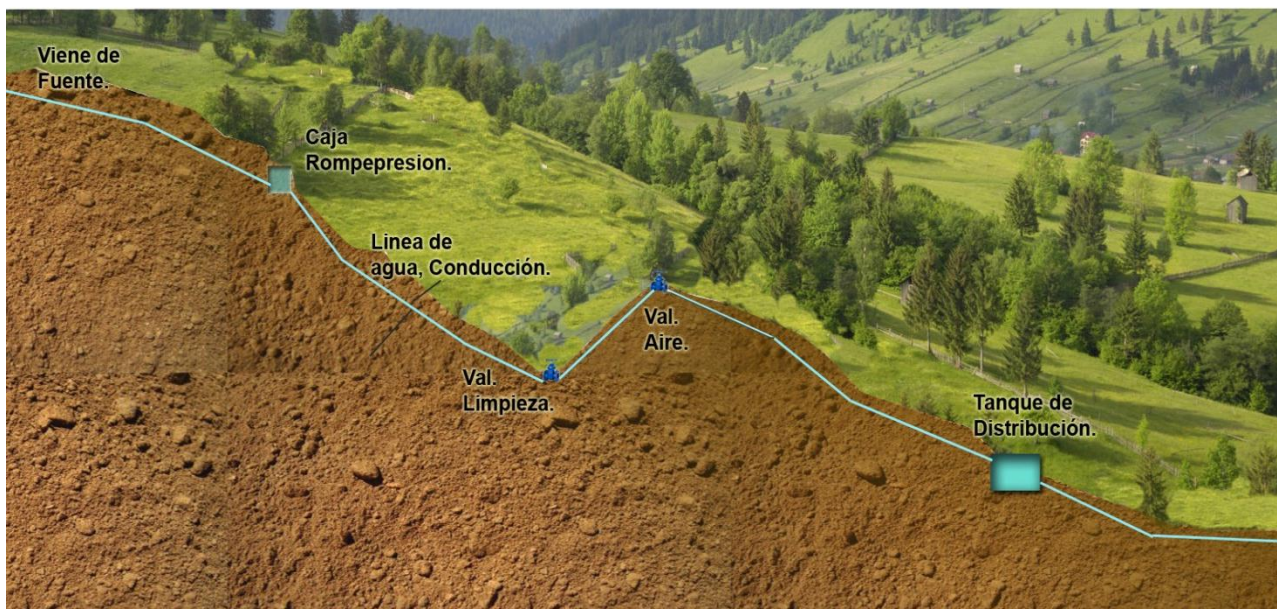
## 4.- COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE.

### Línea de Conducción.

Se llama línea de conducción, al conjunto de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será regulada y posteriormente distribuirla.

Es el componente mediante el cual se transporta “agua cruda”, ya sea a flujo libre o presión. El agua cruda es la que proviene directamente de una fuente superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento, desinfección o potabilización.

La conducción refiere a las obras o red de tuberías que permiten llevar el agua desde el lugar de tratamiento o potabilización hasta el tanque de almacenamiento o de reserva, pero también directamente hasta la red de distribución.



Fuente: Elaboración propia.

Tanto la aducción como la conducción son tuberías o canales por donde se transporta agua, pero mientras la aducción transporta agua cruda a presión o a flujo libre, la conducción transporta agua a presión ya tratada desde el lugar de tratamiento o la potabilización hasta el tanque de almacenamiento o de reserva o directamente hasta la red de distribución.

Será diseñada para conducir el gasto máximo diario. Es la tubería que puede ser de pvc o de hg, que sale desde la captación o de una caja reunidora de caudales, o en este caso específico que nos interesa desde un pozo mecánico hacia el tanque de distribución. De



acuerdo a su función, la red de distribución puede dividirse en: red primaria y red secundaria.

La línea de conducción Incluye también las siguientes obras hidráulicas:

- Válvulas de limpieza.
- Válvulas de aire.
- Válvulas de compuerta.
- Pasos de zanjón.
- Pasos aéreos.
- Anclajes.
- Conexiones domiciliarias.

Una línea de conducción debe de aprovechar al máximo la energía disponible para conducir el caudal deseable, por lo cual en la mayoría de los casos, se determinará el diámetro mínimo que satisfaga las condiciones tanto topográficas como hidráulicas.

Existen 3 tipos de líneas de conducción:

- Conducción por gravedad.
- Conducción por bombeo.
- Conducción mixta.

### **Conducción por gravedad:**

La conducción por gravedad se utiliza cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica mayor a la requerida en el punto de entrega, es decir se encuentra en un nivel superior al del tanque de distribución o la red de distribución.

### **Conducción por bombeo.**

La conducción por bombeo se utiliza cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica menor a la requerida en el punto de entrega, es decir se encuentra en un nivel inferior al del tanque de regulación o la red de distribución. Es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener la carga dinámica asociada con el gasto de diseño.

### **Conducción mixta:**

Es una combinación de conducción por bombeo en una primera parte y una conducción por gravedad en una segunda parte.



## **DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.**

### **Conceptos a considerar para el diseño, de la línea de conducción.**

Aquí se hará una explicación solamente de la línea de conducción con presión entre la fuente y el tanque de distribución del proyecto a abastecer.

Las tuberías de conducción deberán de cumplir con los siguientes requisitos:

- Contar con el perfil y trazo del terreno donde se ubicará la línea.
- No cruzar terrenos particulares.
- Dejar pasillos de servicio entre terrenos para ubicar la línea de conducción, con acceso libre de construcciones y obstáculos.
- Buscar el recorrido más corto entre la fuente de abastecimiento y el tanque de distribución.
- Cuando sea una instalación urbana se instará en zanjas de acuerdo a las secciones definidas en los lineamientos técnicos.
- Deberá de ubicarse la línea de conducción en zanjas separadas de las redes de distribución.
- En la conducción nunca deberá de conectarse tomas domiciliarias.
- Se instalarán válvulas de admisión y expulsión de aire (combinadas) en los sitios más elevados del perfil, en las zonas sensiblemente planas a distancias entre 400 y 800 metros, para así eliminar el aire presente en el agua y permitir la correcta operación de la línea durante el llenado y vaciado de la misma.
- En los puntos más bajos del perfil deberán de colocarse válvulas de limpieza.

La línea de conducción es la tubería que sale de desde la captación o caja reunidora de caudales hacia el tanque de distribución.

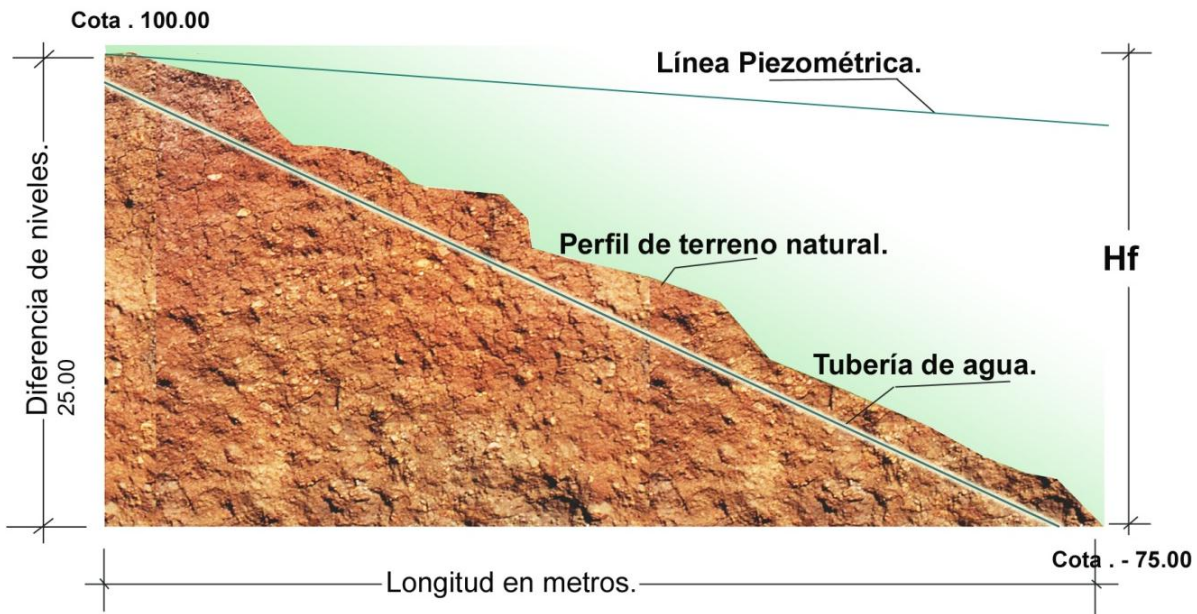
Para fines de diseño de este proyecto, se usará pvc siempre y cuando las presiones no sobrepasen los límites estimados por sus fabricantes, y sólo se usará tubería de hg donde existan pasos aéreos o pasos de zanjón.

Todo este sistema de agua potable funcionará por gravedad. Una línea de conducción debe de aprovechar al máximo la energía disponible para conducir el caudal deseable, por lo cual en la mayoría de los casos, se determinará el diámetro mínimo que satisfaga las condiciones tanto topográficas como hidráulicas.

Para la línea de conducción por gravedad se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Carga disponible o diferencia de altura entre captación y el tanque de distribución.
- Capacidad para transportar el caudal día máximo.
- Que la clase de tubería sea capaz de soportar las presiones hidrostáticas.
- Considerar los diámetros mínimos para la optimización de los recursos del proyecto.
- Cuando el agua fluye por una tubería se genera una caída o pérdida de carga por fricción en función el diámetro del conducto, longitud y material del conducto.
- Cuando el agua no fluye por una tubería se dice que el agua está en equilibrio estático.
- Línea de gradiente hidráulica representa nuevos niveles de energía en cada punto de la tubería, se puede decir que esta línea describe la presión existente.





Fuente: Elaboración Propia.

### Formulas, coeficientes y diámetros de tubería.

Para el cálculo de la línea de conducción y red de distribución se utilizaron las ecuaciones de conservación de energía, de continuidad, y la fórmula empírica para fluidos de agua de Hazen Williams, con la que se determinan de las pérdidas de carga en tuberías cerradas a presión, la cual es:

#### Pérdida de carga $H_f$ .

$$H_f = \frac{1,743.81141 * L * Q_c^{1.852}}{D_i^{4.87} * C^{1.852}}$$

#### Dónde:

- $H_f$  = Pérdida de carga por fricción en metros.
- $L$  = Longitud del tramo en metros.
- $Q$  = Caudal conducido en litros/segundo
- $C$  = Coeficiente de fricción interna, que depende de la rugosidad del material para tubería pvc se adoptará 150 y para hg 100, datos conservadores de los fabricantes. (Valores adimensionales.)
- $D$  = Diámetro de la tubería en pulgadas, se trabaja con diámetros internos reales y no los comerciales.



Luego de haber conocido la energía disponible para mover el agua de un punto (A) a un punto (B) o diferencia de cotas, se asume como  $H_f$  disponible, con lo cual es posible encontrar el diámetro teórico.

Luego se despeja la fórmula para encontrar los diámetros.

Al despejar de la fórmula de Hazen Williams, queda la siguiente expresión:

**Esta fórmula se utiliza para sacar el diámetro de la tubería del tramo indicado.**

### Diámetro.

$$D = \left( \frac{1,743.81141 * L * Qc^{1.852}}{Hf * C^{1.852}} \right)^{1/4.87}$$

$H_f$  = Pérdida de carga por fricción en metros.

$L$  = Longitud del tramo en metros.

$Q$  = Caudal conducido en litros/segundo.

$C$  = Coeficiente de fricción interna, que depende de la rugosidad del material para tubería pvc se adoptará 150 y para hg 100, datos conservadores de los fabricantes. (Valores adimensionales.)

$D$  = Diámetro de la tubería en pulgadas, se trabaja con diámetros internos reales y no los comerciales.

### Ejemplo del diseño de un tramo. (Ver esquema)

Tramo

De E - 0, a E - 1.

Datos del tramo:

Longitud (L): 178.37 metros  
Caudal (Q): 1.50 lts/seg.  
Tubería pvc: 150 Coeficiente C  
Cota E - 0: 1000.00  
Cota E - 1: 9992.62

### Primero:

Se calcula la pérdida de carga disponible, o diferencia de nivel entre puntos.

$H_f \text{ disp: } 1000.00 - 9992.62 = 7.38 \text{ metros}$

**Segundo:**

**Cálculo de diámetro** teórico con la carga disponible, despejando de la fórmula Hazen Williams, y sustituyendo los datos se obtiene lo siguiente:

$$D = \left\{ \frac{1,743.811141 * C * Q^{1.852}}{150^{1.852} * H_f \text{ disponible.}} \right\}^{1/4.87}$$

$$D = \left\{ \frac{1,743.811141 * 178.37 * 1.5^{1.852}}{1.50^{1.852} * 7.38} \right\}^{1/4.87}$$

$$D = \left\{ \frac{659086.22}{79100.162} \right\}^{1/4.87} = (8.332)^{0.2053} = 1.54''$$

Con el diámetro teórico, se aproxima a un diámetro comercial superior e inferior, calculando para cada diámetro la pérdida de carga, seleccionando el que de un mejor resultado al diseño hidráulico.

$$1.54'' = \rightarrow 2''$$

**Selección de diámetros:**

Diámetro mayor = 2.00''

Se utiliza el diámetro interno verdadero de 2'' según tablas es 2.19''

Verificando las pérdidas de los diámetros comerciales:

**Tercero:**

**Con el diámetro se encuentra la pérdida de carga.**

Se aplica la fórmula Hazen Williams, la cual es.

$$H_f = \frac{1,743.811 * L * Q_c^{1.85}}{D_i^{4.87} * C^{1.85}}$$

Verificando las pérdidas de los diámetros comerciales,

$$H_f \text{ diám. } 2.193'' = \frac{1,743.81141 * 178.37 * 1.50^{1.852}}{2.193^{4.87} * 150^{1.852}} = 1.34 \text{ m.c.a.}$$



Con diámetro de 2", da una pérdida de 1.34m.c.a (metros columna de agua).

### Perdida de presión de agua, en el tramo.

En el tramo de 178.37 metros hay una pérdida de carga de **1.34 mca**.

### Calculo de la línea piezometrica.

Cota piezométrica de salida = cota inicial del terreno

Cota piezométrica de llegada = cota inicial – Hf.

### Calculo de la presión dinámica.

Presión de llegada = cota piezométrica de llegada – cota final de tramo.

Por ejemplo en cota de llegada: con 30.00 mca

Luego: 30.00 mca – 1.34 = **28.66 mca**

Luego de haber conocido la energía disponible para mover el agua de un punto A, a un punto B o diferencia de cotas, se asume como Hf disponible, con lo cual es posible encontrar el diámetro teórico.

Al despejar de la fórmula de Hazen Williams, queda la siguiente expresión:

#### Diámetro.

$$D = \left( \frac{1,743.81141 * L * Qc^{1.852}}{Hf * C^{1.852}} \right)^{1/4.87}$$

Luego de encontrar **Hf**, ordenando y despejando la fórmula para el diámetro.

Con el diámetro teórico, se aproxima a un diámetro comercial superior e inferior, calculando para cada diámetro la pérdida de carga, seleccionando el que de un mejor resultado al diseño hidráulico.

En cuanto a la clase y presión de trabajo de las tuberías se tiene que todas tienen 3 características: diámetro, clase y tipo.

Con relación al diámetro de debe mencionar que, comercialmente las tuberías se asignan por un diámetro nominal que difiere del diámetro interno del conducto. La clase se refiere a la norma de su fabricación, íntimamente relacionada con la presión de trabajo y la relación entre diámetro externo y espesor de la pared de la tubería.



### Ejemplo del diseño de un tramo:

Diseñar la línea de conducción de E- 1 a E-2.

Tramo de la captación al tanque de distribución.

Asumiendo que los datos del tramo son los siguientes:

Longitud. (L): 1.500 metros \* 3% = 1,545.00 metros.  
Caudal. (Q): 2.25 lts/seg.  
Coeficiente de PVC: 150  
Cota E-1: 1000.00  
Cota E-2 890.00

Cálculo de la carga disponible o diferencia de niveles entre las estaciones:

Hf disp. = cota E-1 – cota E-2.

Hf disp. = 1000.00 – 890.00 = 110.00 m

Cálculo de diámetro teórico con la carga disponible, despejando de la fórmula Hazen Williams, sustituyendo los datos se obtiene lo siguiente:

$$D = \frac{(1,743.81141 * L * Q^{1.852})^{1/4.87}}{H_f * C^{1.852}}$$

$$D = \frac{(1,743.811141 * 1,545.00 \text{ m} * 2.25^{1.852})^{1/4.87}}{110.00 * 150.00^{1.852}}$$

$$D = 2.41''$$

Este resultado se aproxima a un diámetro comercial superior e inferior, se verifican las pérdidas para cada diámetro seleccionado.

### Selección de diámetros:

Diámetro menor = 2" = 2.193".

Diámetro mayor = 3" = 3.18".

Luego se verifican las pérdidas de los diámetros comerciales.

Se aplica la fórmula de Hazen Williams.

$$H_f = \frac{1,743.811 * L * Q_c^{1.85}}{D_i^{4.87} * C^{1.85}}$$



Dónde:

---

**Hf:** Pérdida de carga.

---

**V:** Velocidad de tubería.

**L:** Longitud de la tubería + 3% por la topografía del terreno.

**Qc:** Caudal de día máximo o caudal de conducción.

**Di:** Diámetro interno de tubería.

**C:** Calidad de la tubería (para pvc C:150)

---

### Verificando las pérdidas de los diámetros comerciales:

$$H_f \text{ diám. } 3.18'' = \frac{1743.811 * 1,545 * 2.25^{1.85}}{3.18^{4.87} * 150^{1.85}}$$

$$H_f \text{ diám. } 3.18'' = 4.00 \text{ metros.}$$

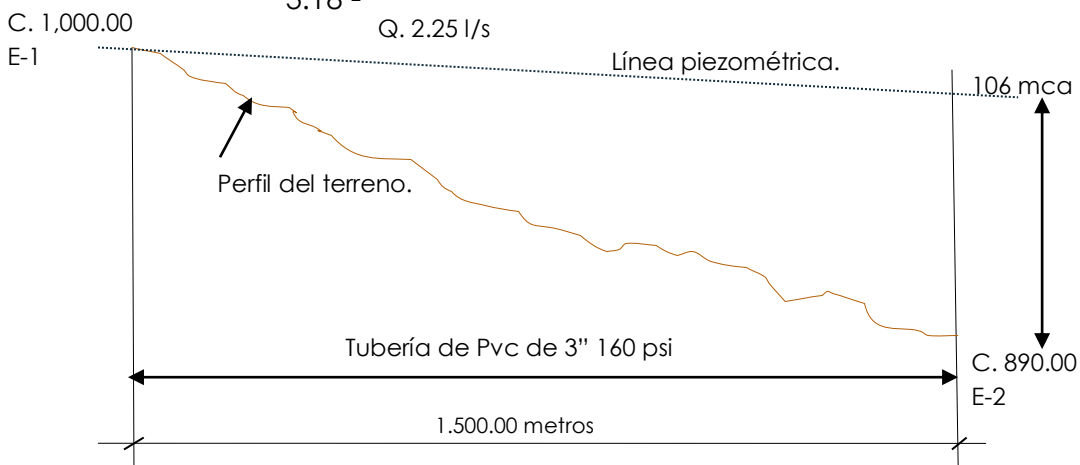
$$H_f \text{ diám. } 2.70'' = 9.00 \text{ metros.}$$

### Verificación de la velocidad:

$$V = \frac{1.97352524 * Q_c}{D_i^2}$$

$$V = \frac{1.97352524 * Q_c}{D_i^2}$$

$$V = \frac{1.97352524 * 2.25}{3.18^2} = 0.4392 \text{ mayor que } 0.3$$





## **Recomendaciones para la instalación de la tubería.**

### **Almacenamiento:**

- El apilado de tubos debe hacerse sobre terrenos nivelados hasta una altura máxima de 3.00 metros.
- Los tubos no deben estar expuestos al sol.
- Las campanas de los tubos no deben recibir sobrepeso, lo cual se logra cruzando los tubos alternativamente en el apilado.

### **Instalación.**

#### Excavación de la zanja:

- Es recomendable no abrir con demasiada anticipación para evitar derrumbes, inundaciones, problemas de tránsito y accidentes.
- La altura de recubrimiento (sobre el tubo) debe ser como mínimo 0.80 m en zonas sin tránsito vehicular. En zonas de tránsito vehicular ligero la altura mínima debe ser de 1.00 m y en zonas de tránsito pesado 1.20 m.

Para el ancho de la zanja deberá considerarse las medidas siguientes:

- Hasta 2" de 0.35 m
- De 2.5" a 3" de 0.40 m
- Mayor de 3" de 0.50 m.

El fondo de la zanja deberá ser recortado cuidadosamente para permitir un apoyo uniforme de la tubería. En los casos de los suelos que contengan piedras y pedruscos, se deberá remover todas las que aparezcan en el fondo de la zanja llenando los espacios con material suelto compactado para uniformar el fondo de la zanja.

En los suelos con poca estabilidad, se deberá apuntalar la zanja para evitar desplomes de las paredes. Se deberá tomar las medidas necesarias para vaciar la zanja de agua proveniente de infiltración o lluvia por medio de desagüe en los puntos bajos por bombeo o por tablestacados según convenga el caso manteniéndola seca hasta que se llene.

En los casos en que la tubería deba ser colocada en zanja cortada en roca, deberá excavarse la roca hasta un mínimo de 0.15 mts por debajo del nivel de la instalación de la tubería rellenándola posteriormente con material adecuado compactado para formar apoyo uniforme.

Si los materiales que se encuentran a la profundidad de instalación de la tubería no son satisfactorios, porque pueden causar asentamientos desiguales o, ser agresivos a la tubería, se deberá remover en todo el ancho de la zanja con una profundidad de 0.20 mts. O más si lo indica el supervisor, reponiéndolo con material satisfactorio debidamente compactado.

El ancho de la zanja, deberá ser suficiente para la correcta instalación de la tubería así como para permitir una adecuada compactación del relleno a los lados de la misma.



Según el tipo de tubería, que se use, podrá ser necesario hacer ampliaciones de la misma zanja en los puntos de unión de instalación de accesorios, para permitir una adecuada instalación de accesorios de las uniones.

El ancho de la zanja, así como las dimensiones de las ampliaciones, deberá ser aprobadas por el supervisor, tomando en cuenta el método de zanjeo y el tipo de tubería a instalarse. En general, el ancho de la zanja a ser cortada por métodos manuales deberá ser de 0.40 mts. Mas el diámetro exterior de la tubería.



Se deberá cortar las zanjas simétricamente al eje de instalación de tubería dejando los siguientes recubrimientos sobre el diámetro del tubo; a menos que las bases especiales indiquen algo distinto:

En terrenos cultivados, caminos o áreas de tránsito liviano, 0.80 mts.  
En camino de tránsito pesado, 1.00 mts.

Donde no exista posibilidad de tránsito o cultivo, 0.60 mts



El material de zanjeo deberá colocarse a un costado de la misma, a una distancia no menor de 0.60 mts a y a una altura no mayor de 1.25 mts. Para evitar que la carga sobre los bordes produzca derrumbes en la zanja. Como regla general no debe excavar la zanja con mucha anticipación a la colocación de la tubería.

Deberá tomarse en cuenta que una zanja muy angosta, hace muy difícil el ensamble y la correcta instalación de tubería, además la poca amplitud limita la buena compactación del terreno alrededor de la tubería.

Fuente: elaboración propia.

### **Relleno de zanjas.**

#### **Relleno y compactación por capas.**

En cualquier caso, el relleno se hará inicialmente en el cuerpo de la tubería, dejando libre las uniones, hasta realizar la prueba hidráulica.





**Cama de apoyo:** Para brindar un soporte firme, estable y uniforme a la tubería, se colocará una cama nivelada de 10.00 centímetros de espesor (máximo 15 cms en terrenos rocosos) con material granular (suelo gravo-arenosos), con tamaño máximo de 2.00 cms.

**Primer relleno:** Colocada la tubería, se procederá al relleno, con el mismo material de la cama. En caso el material sea con alto contenido de limo o arcilla se compactará con apisonadores manuales d en capas de 15 cms al 95% de proctor modificado, con una humedad óptima de compactación (aproximadamente al 10%).

**Segundo relleno:** Luego del nivel antes indicado, se proseguirá el relleno con terreno no seleccionado con piedras de 15 cms de diámetro. El relleno se hará en capas de hasta 20 centímetros y compactados al 95% proctor modificado.

### **Instalación de tubería de pvc**

Se cortara el tubo a escuadra utilizando guías y luego se quitara la rebaba del recorte y se limpiara el tubo de viruta interna y externa. El tubo debe de penetrar en el accesorio o campana se otro tubo sin forzarlo por lo menos un tercio de la longitud de la longitud de la copla, si no es posible debe afilarse o lijarse la punta del tubo.

Se aplicará el cemento solvente que debe estar completamente fluido y si el cemento empieza a endurecerse en el frasco, deberá desecharse.

Antes de aplicarse en cemento solvente, se debe quitar toda clase de suciedad que se encuentre en la parte que se va a aplicar tanto en el interior del tubo como en la superficie interior del accesorio, por medio de un trapo seco.

El cemento solvente debe ser aplica do en una capa delgada y uniforme, pude usase cepillo o brocha. Se deberá hacerse rápidamente ya que el cemento seca en dos minutos aproximadamente. No se deberá exagerar el uso del solvente sino que solo darle un revestimiento a las dos piezas.

Para el ensamble se deberá hacer una rotación de 1--4 de vuelta, presionando el tubo cuando la superficie todavía este húmeda, debiéndose dejar fija la unión por lo menos 30 minutos.

La tubería deberá colocarse cuidadosamente en la zanja y tener el cuidado al trabajarla que los operarios no se paren en ella.

La tubería se colocara zigzagueándola en la zanja y se cubrirá dejando expuesta las uniones para hacer la prueba que más adelante se especifica.

Esta tubería deberá cubrirse en las primeras horas de la semana cuando este fría y no dilatada por la acción del calor.

Por la instalación de productos PVC en longitudes de 20 pies (6.10 mts) es frecuente el corte de tubería para alcanzar las longitudes correctas en los diferentes tipos de construcciones. La forma de efectuar estos cortes es la siguiente:



**Corte:** Para efectuar esta operación, se utiliza una sierra. Los cortes deben hacerse lo más recto posible, a escuadra, con el fin de facilitar luego la inserción de las piezas que se van a unir.

**Eliminación de rebordes:** Se deben eliminar todos los rebordes que pudieren quedar al realizarse el corte. Esto se puede lograr con una cuchilla afilada o una lima.

Un corte recto y libre de rebordes asegura una unión bien hecha. Es recomendable hacer un chaflán en el tubo para lograr una mejor inserción.

En el manejo de tuberías PVC, pueden presentarse tres tipos de unión:

Unión cementada.

Unión con empaque de hule (junta rápida)

Unión de PVC con otros materiales.

### **Recomendaciones:**

Además de seguir cuidadosamente el procedimiento señalado anteriormente es conveniente tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pruebe al unión entre espigas y campanas, debe penetrar fácilmente los 2/3 de longitud de la campana, luego ajustara diámetro con diámetro.
- No haga la junta si alguna o ambas partes están húmedas.
- No trabaje bajo la lluvia.
- El envase del pegamento debe permanecer cerrado mientras no se use y de preferencia en la sombra.
- No añada solvente al pegamento.
- Limpie las brochas con acetona.

Efectué las pruebas de la tubería antes de efectuar el relleno, al fin de corregir cualquier fuga fácilmente.

### **Prueba de tuberías**

Toda instalación de tubería deberá ser probada para resistencia y estanqueidad, sometiéndolas a presión interna por agua antes de hacer el relleno total de las zanjas. Se deberá rellenar previamente solo aquellas partes en donde se necesita un soporte del suelo como anclaje de la tubería.

La tubería será sometida a la prueba de presión con agua, después de llenada totalmente hasta expulsar todo el aire por los puntos altos. Los tramos a probar deberán ser de preferencia aislados por las válvulas instaladas y en tramos no mayores de 400 mts. A menos que lo autorice el supervisor. La presión a aplicar será tal que se consiga 99% psi o la presión máxima de trabajo determinada por la presión estática más 20% ) según la que sea mayor y por un periodo mínimo de 2 horas, no debiendo fallar ninguna de las partes.



## **OBRAS HIDRÁULICAS.**

### **Válvulas.**

Las válvulas son los dispositivos mecánicos empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos. En redes de distribución son más frecuentes las válvulas que se operan manualmente, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales.

Las válvulas permiten el aislamiento de ciertos tramos de tubería para realizar reparaciones o mantenimientos. O simplemente evitar el flujo o cambio de dirección. También permiten drenar o vaciar una línea, controlar el gasto, regular los niveles en los tanques de almacenamiento, evitar o disminuir los efectos del golpe de ariete (cambios de presión que pueden colapsar una tubería), la salida o entrada del aire, así como evitar contraflujos, es decir no permitir el flujo en dirección contraria a la del diseño.

Las válvulas se pueden dividir en dos clases según su función:

#### **Seccionamiento:**

- Compuerta.
- Mariposa.

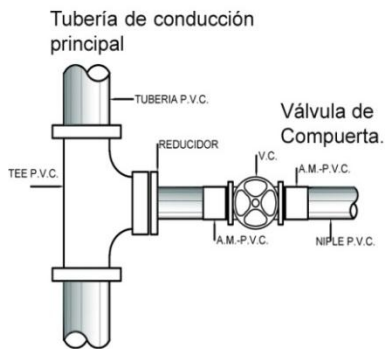
#### **Control:**

- Nivel de tanque.
- Admisión y expulsión de aire.
- Reguladora de presión.
- De retención. (check).
- Válvula de limpieza.

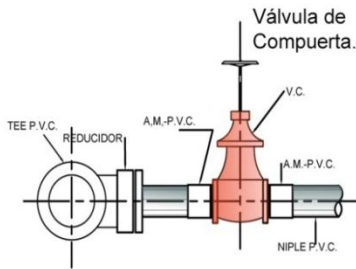
En redes de distribución las válvulas de compuerta son las más empleadas, para seccionar tramos de tubería, ya sea para su revisión o reparación. Estando completamente abiertas tienen bajas pérdidas por fricción.

### **Válvulas de compuerta;**

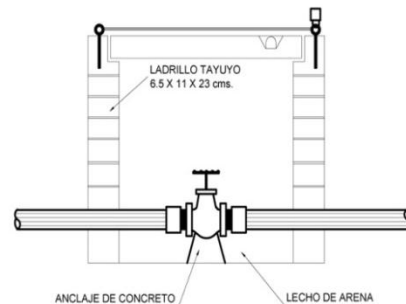
Este tipo de válvulas funciona con una placa que se mueve verticalmente a través del cuerpo de la válvula perpendicular al flujo. El tipo más empleado es el de vástago fijo para aplicaciones enterradas y el de vástago saliente para aplicaciones sobre superficie, teniendo la ventaja de que el operador puede saber si está abierta o cerrada.



**Planta.**



**Elevación.**



**Sección.**

Caja de protección de llave de Compuerta.



La válvula de compuerta debe ser empleada cuando se requiera un cierre o apertura total, no se recomienda para ser usada como reguladora de gasto, debido a las altas pérdidas de carga que provoca y que puede cavitarse. Los diámetros recomendados de 2" a 10", para diámetros mayores de deberán usar válvulas de mariposa.

### Válvulas de mariposa;

Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.



Esta válvulas operan por medio de una flecha que acciona un disco y lo hace girar centrado en el cuerpo de la válvula.

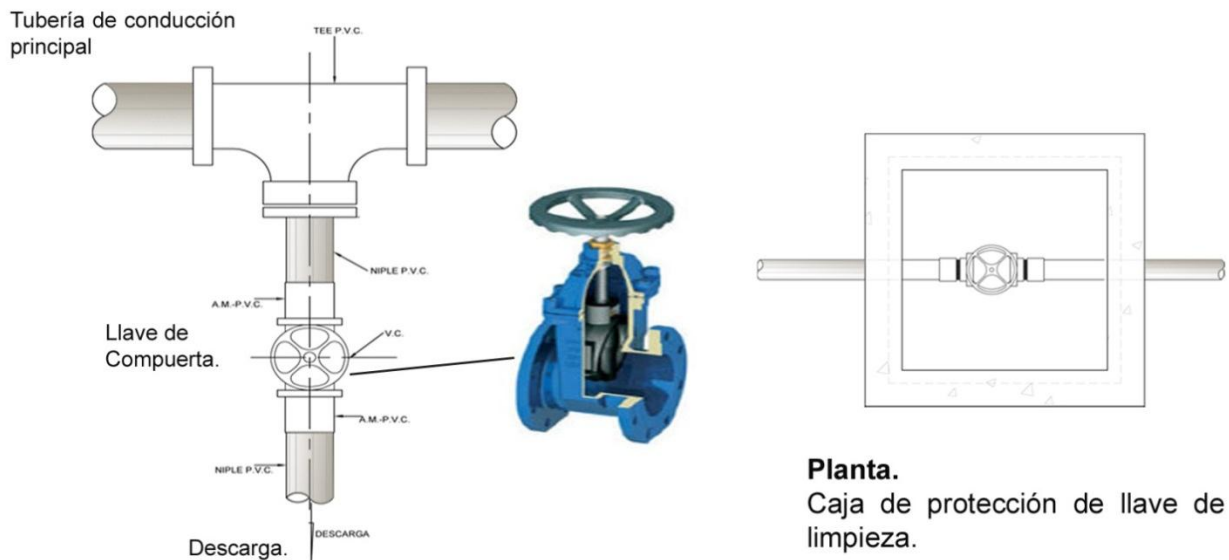
Se puede usar como reguladora de gasto en presiones bajas, así como estrangular la descarga de una bomba.

Las válvulas de mariposa pueden sustituir a las de compuerta cuando se tienen diámetros grandes y presiones bajas en línea.



### Válvulas de limpieza:

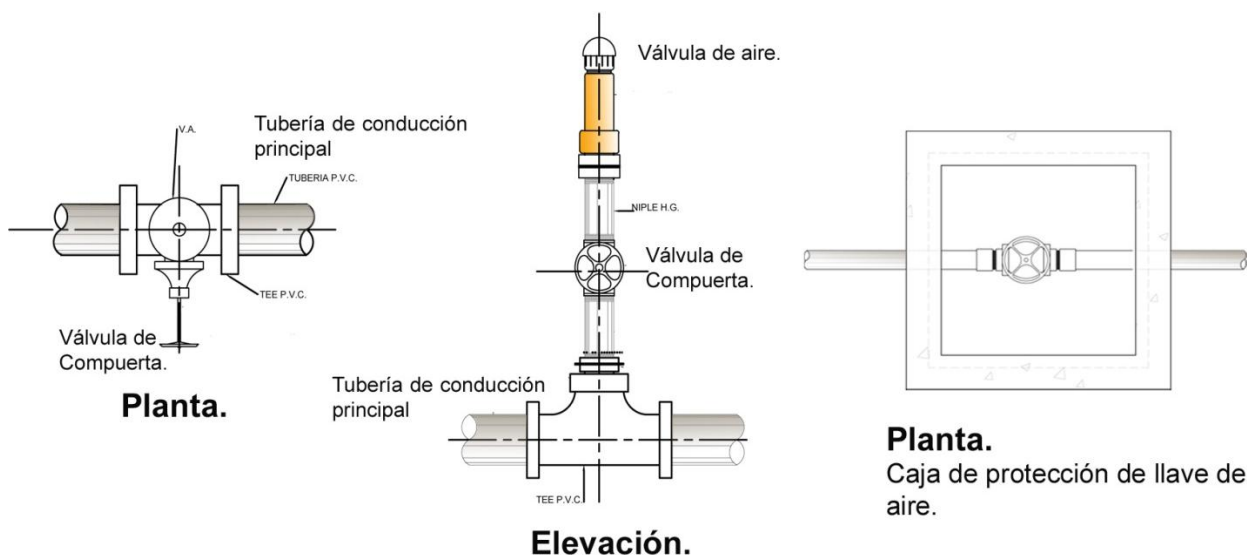
Son utilizadas para extraer los sedimentos acumulados en los puntos más bajos o cóncavos de la línea de conducción, cuidando que al hacer uso de ellas, los caudales que afloran deberán ser conducidos a algún desagüe o zanjón, sin que provoquen daño o inundación. Como se expuso, la válvula de limpieza consiste simplemente en la colocación de una válvula de paso. No se necesita regular un caudal, por lo tanto, no se utiliza la válvula de globo. De igual manera que todas las válvulas, debe estar protegida por una caja que en la parte inferior permita la filtración del agua. La válvula de limpieza permite el mantenimiento preventivo del sistema. No es una válvula automática, por lo que requiere de un operador. A diferencia de las válvulas de aire, cuando se realiza el mantenimiento, sí se puede operar únicamente una válvula a la vez. No es necesario que todas las válvulas del sistema estén abiertas o funcionando. Debido a que el objetivo principal es la evacuación de sólidos sedimentados, la válvula de limpieza es un poco más grande que la válvula de aire.



Se recomienda como mínimo que el diámetro de la válvula de limpieza sea mayor a 1/4 del diámetro de la tubería de conducción. Se utilizan las llaves de compuerta para esta función. En la red de distribución los grifos son los que realizan esta función.

### Válvulas de admisión y expulsión del aire;

Este tipo de válvulas se instalan para permitir la entrada o salida de aire a la línea. Tienen la función de permitir el escape automático del aire acumulado en la tubería, evitando la formación de cámaras de aire comprimido que obstaculizan el paso de agua.



Lo anterior puede expresarse durante las operaciones de llenado y vaciado de la línea. La ubicación de estas válvulas estará en función del análisis de transitorios de la línea, localizándose en forma general en los puntos altos que se presenten a lo largo del trazo (también se deberán emplear en tramos de pendientes suaves largos de tuberías a una separación no mayor de 500 metros entre cada válvula), así como en los puntos altos de las líneas donde suele acumularse aire, el cual bloquea o reduce la capacidad de conducción



Válvulas de aeración son dispositivos que se instalan para controlar de forma automática la presencia de aire en las conducciones.

Evacuación de aire en el llenado o puesta en servicio de la conducción.

Admisión de aire, para evitar la depresión o vacío, en las operaciones de descarga o rotura de la conducción.

Purgado o expulsión continua de las bolsas y burbujas de aire que se forman en la conducción, procedentes de la desgasificación del agua.

También evitan la formación de vacíos parciales en la línea durante su vaciado, que pudiera causar el colapso o aplastamiento de la tubería. Son más empleadas en las líneas de conducción y alimentación colocándose en los puntos altos. Poseen orificios de diámetro pequeño para conexión con la atmósfera.



La abertura del orificio a la atmósfera se produce por medio de un dispositivo activado mediante un flotador, el cual se abre cuando se acumula el aire o se genera el vacío.

### Válvula reguladora de presión.

La válvula reguladora de presión es una válvula automática que reduce una presión de entrada alta a una presión de salida menor y variable de acuerdo a los requerimientos del sistema distribución, y constante (de acuerdo con la nueva tecnología se visualiza la ventaja de las auto reguladoras que entregan una presión variable en función de la demanda), cualquiera que sea la variación en el caudal y en la presión de entrada. La válvula deberá ser capaz de soportar una presión nominal de trabajo de 1,38 MPa (200 psi) y estar controlada por válvulas auxiliares como válvulas piloto y aguja. La válvula reguladora operará con agua potable, con una temperatura promedio de 18 °C. Y deberán estar diseñadas para operar a la intemperie, inundadas, enterradas o localizadas en cámaras subterráneas sin afectarse su normal funcionamiento.



La presión directa del suministro de agua puede ser excesiva y normalmente varía según los horarios (mayor o menor consumo general), de una localidad a otra o por otros motivos. Para evitar daños y dar una regulación homogénea se utiliza un manorreductor previo a la instalación de suministro.

### Válvulas de control de nivel o guarda nivel:

Se emplean para controlar el nivel del agua en un tanque en sistemas de distribución con excedentes a tanques. Existen dos tipos de una sola acción (en un solo sentido del flujo) y de doble acción (en dos sentidos del flujo).

La válvula de doble acción realiza el proceso anterior sin tener una válvula de paso (bypass). También se le llama válvulas de altitud a aquellas que están previstas con un piloto, el cual actúa para el cierre o apertura de la cámara de la válvula, dependiendo de la carga hidráulica a la cual se haya calibrado previamente para llenar los tanques hasta un nivel determinado, modulando la apertura para mantener el nivel de agua constante, ajustando el gasto del suministro.



La válvula de una sola acción permite el llenado del tanque hasta un nivel determinado. El tanque abastece a la red por medio de una tubería de paso con una válvula de retención, la cual se abre cuando la presión de la red es menor a la prevista por el tanque.



### Válvula de retención o Cheque.

Las válvulas de retención (check) son mecánicas y se emplean para evitar contraflujos (unidireccionales), es decir flujos en dirección contraria a la de diseño. Se instalan en tuberías donde el agua contenida en la tubería puede revertir su dirección de flujo durante el paro de una bomba o el fallo de la energía eléctrica y evitar el daño de las instalaciones hidráulicas tales como bombas y sus motores, además impiden el vaciado de la línea.



Las válvulas antirretorno, también llamadas válvulas de retención, válvulas uniflujo o válvulas check, tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación -bien sea gaseoso o líquido- en un sentido y dejar paso libre en el contrario. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total.

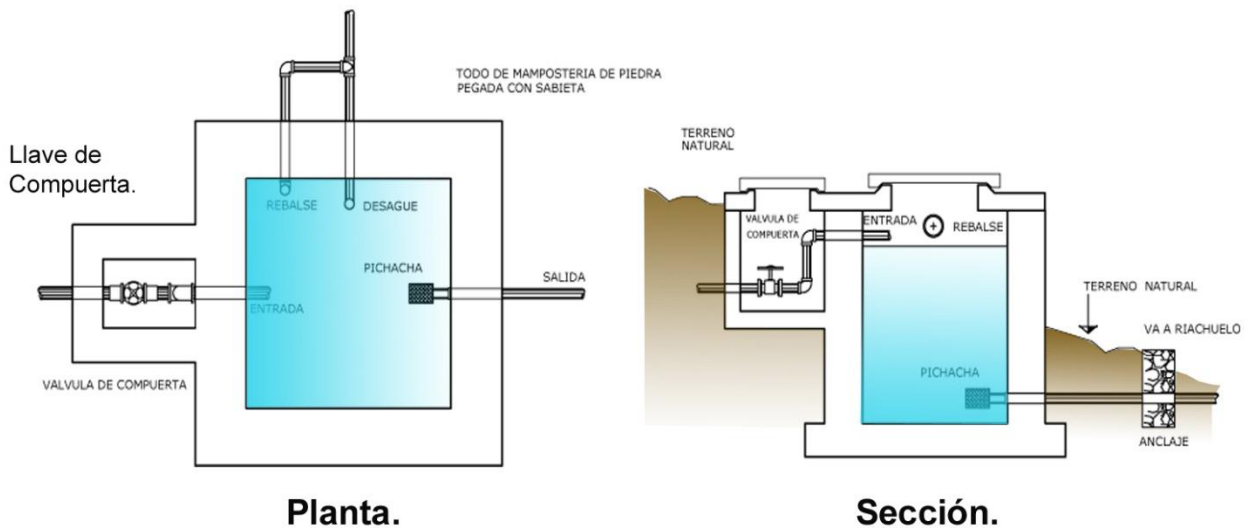
### Cajas Rompe-presión.

Mantiene un control de la presión aguas abajo a un valor establecido, independiente de los cambios de presión, gastos o ambos aguas arriba. Se utiliza para controlar la presión interna de la tubería, rompiendo o aliviando la presión en la línea de conducción o distribución.

La caja disipa la presión en el instante en que el agua tiene contacto con la atmósfera y disminuye súbitamente su velocidad, al haber un cambio drástico de sección hidráulica. La caja rompe-presión se coloca antes de que la presión estática sobrepase los 80.00 mca en la línea de conducción y los 60.00 mca en la red de distribución.

Es un depósito pequeño de concreto, en el cual se descarga la tubería mediante una válvula de flotador o de altitud. Esto permite establecer un nuevo nivel estático aguas abajo reduciendo la presión original a la atmosférica.

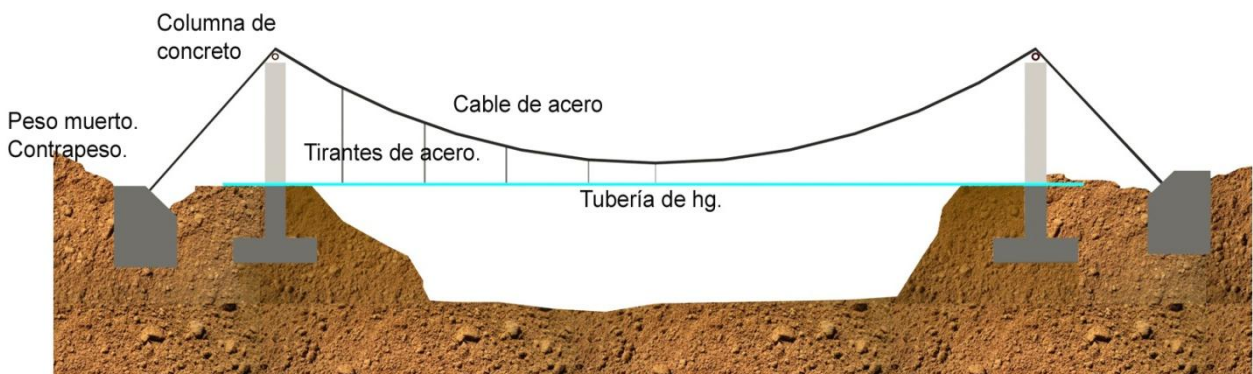




Para localizar las cajas rompe-presión en una línea de conducción, se recomienda colocarlas a menos de 90 mca. (Metros columna de agua) de presión estática. Y para la línea de distribución, la localización se rige por el hecho de que los empaques de las válvulas de flotador se arruinan cuando se someten a presiones altas, por lo que no deberán ser sometidas a una carga estática de 60 mca. La diferencia entre ambas es que la caja de rompe-presión solamente tiene válvula de flote cuando distribuye.

### Pasos aéreos.

Sirven para salvar distancias considerables, para superar obstáculos naturales como barrancos, zanjones, ríos, quebradas. Están constituidos por dos torres de concreto reforzado debidamente cementadas que sostienen un cable de acero, el cual va sujetado a dos pesos muertos que están enterrados uno a cada lado, esto con la finalidad de que este cable cuelgue, por medio de péndolas. (Estas serán estructuras en donde la tubería de hg quedará horizontalmente sostenida con cables tirantes y de suspensión, los cuales a su vez se apoyarán sobre columnas de concreto).





### Pasos de zanjón.

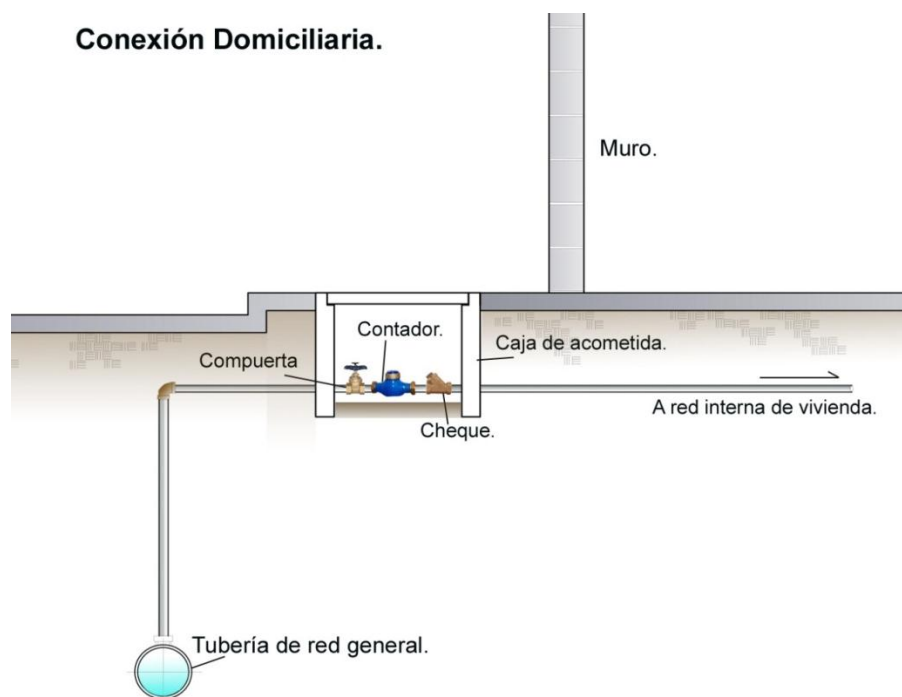
En lugares donde existen depresiones o riachuelos, se colocarán los pasos de zanjón, que son estructuras con columnas cortas y tubos de hg, cubrirán distancias relativamente cortas.

### Conexiones domiciliarias.

Lo componen las tuberías y accesorios para llevar el servicio de agua e la red distribución al interior de la vivienda. Las conexiones nacen en la red y terminan en el medidor domiciliario, que se denomina acometida y corresponde a la instalación de una tubería "estándar" de 1/2". Es la parte final del sistema de abastecimiento, consta de un tramo de tubería con una llave de dentro de los límites de las viviendas.

Para edificios de condominios o vivienda multifamiliar vertical, la toma domiciliaria deberá ajustarse a la cantidad de usuarios a abastecer. Para este tipo de toma podrán instalarse conexiones para más de una vivienda en base al diámetro de la toma, conforme a la siguiente tabla:

Número de viviendas.	Diámetro de la toma.
2	3/4"
3-5	1"



Las conexiones domiciliarias están compuestas por una llave de compuerta, el contador y un llave de cheque, tubería de 1/2" y los accesorios necesarios, que se ubicarán en el límite de cada predio.



## **ALMACENAMIENTO DE AGUA.**

---

### **Tanque de distribución.**

El objetivo del tanque de almacenamiento y distribución, es almacenar y regular el suministro del agua, su ubicación estará en función del nivel más desfavorable de la población, dependiendo de este nivel.

A través del tanque se da la regularización que tiene por objeto lograr la transformación de un régimen de aportaciones (de la conducción) que normalmente es constante, en un régimen de consumos o demandas (de la red de distribución) que siempre es variable.

### **Generalidades**

Los depósitos para el almacenamiento en los sistemas de abastecimiento de agua, tienen como objetivos; suplir la cantidad necesaria para compensar las máximas demandas que se presenten durante su vida útil, brindar presiones adecuadas en la red de distribución y disponer de reserva ante eventualidades e interrupciones en el suministro de agua.

### **Capacidad.**

La capacidad del tanque de almacenamiento deberá de satisfacer las condiciones siguientes:

#### **Volumen Compensador.**

El volumen necesario para compensar las variaciones horarias del consumo, se estimará en 15% del consumo promedio diario.

#### **Volumen de reserva.**

El volumen de reserva para atender eventualidades en caso de emergencia, reparaciones en línea de conducción u obras de captación, se estimará igual al 20 % del consumo promedio diario.

De tal manera que la capacidad del tanque de almacenamiento se estimará igual al 35% del consumo promedio diario.

### **Localización.**

Los tanques de almacenamiento deberán estar localizados en zonas próximas al poblado y tomándose en cuenta la topografía del terreno, de tal manera que brinden presiones de servicios aceptables en los puntos de distribución.

### **Clase y Tipos de Tanques.**

#### **Clases de Tanques.**

Las clases de tanque de acuerdo a los materiales de construcción se clasifican en:



### **Mampostería.**

Se recomienda construir tanque de este material en aquellas localidades donde se disponga de piedra bola o piedra cantera. No deberá tener altura mayor de 2.5 metros.

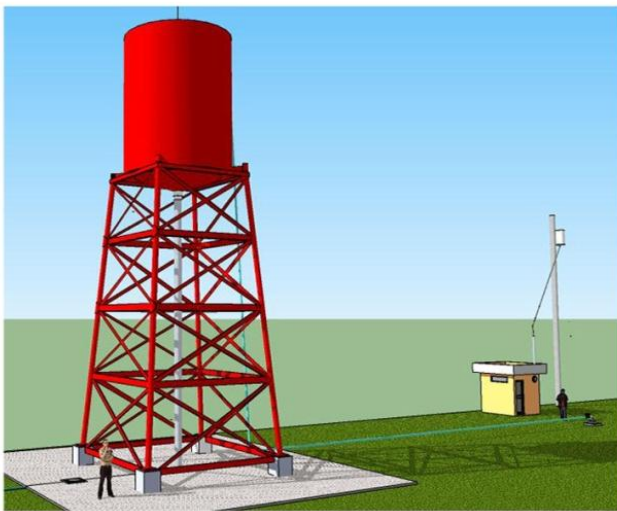
### **Hormigón Armado.**

En la construcción de tanque con este material se debe de considerar la permeabilidad del terreno y no deberá tener altura mayores de 3.0 metros.

### **Acero.**

Se propone construir tanque de acero cuando en la localidad no se disponga de materiales locales como en los casos anteriores y por razones de requerimiento de presiones de servicios.

### **Tanque elevado de metal.**



### **Tanque de concreto.**



### **Tanque de mampostería.**



Fuente:elaboración propia.



## **Tipos de Tanques.**

Los tipos de tanque que se han recomendado construir en el país son los siguientes:

### **Tanque sobre el suelo.**

Se recomienda este tipo de tanque en los casos siguientes:

Cuando la topografía del terreno lo permita y en comunidades rurales que dispongan localmente de materiales de construcción como piedra bolón o cantera.

En el diseño de los tanques sobre el suelo debe de considerarse lo siguiente:

- Cuando la entrada y salida de agua es por medio de tuberías separadas, estas se ubicarán en los lados opuestos con la finalidad de permitir la circulación del agua.
- Debe considerarse un paso directo y el tanque conectado tipo puente (by-pass), de tal manera que permita mantener el Servicio mientras se efectúe el lavado o reparación del tanque.
- La tubería de rebose descargará libremente sobre una plancha de concreto para evitar la erosión del suelo.
- Se instalarán válvulas de compuerta en todas las tuberías, limpieza, entrada y salida con excepción de la de rebose, y se recomienda que las válvulas y accesorios sean tipo brida.
- Se debe de considerar los demás accesorios como; escaleras, respiraderos, indicador de niveles y acceso con su tapadera.
- Se recomienda que los tanques tengan una altura máxima de 3.0 metros, con un borde libre de 0.50 metros y deberán estar cubiertos con una losa de concreto. En casos especiales se construirán tanques de acero sobre el suelo.

### **Tanques Elevados.**

En el diseño de tanques elevados que generalmente son de acero debe de considerarse lo siguiente:

- El nivel mínimo del agua en el tanque debe ser capaz de lograr presiones adecuadas en la Red de distribución.
- Se debe emplear la misma tubería de entrada y salida del agua, en el caso que el sistema fuese del tipo Fuente-Red-Tanque.
- La tubería de rebose descargará libremente sobre una plancha de concreto para evitar la erosión del suelo.
- Se instalarán válvulas de compuertas en todas las tuberías, exceptuando la de rebose y se recomienda que todas las válvulas y accesorios sean tipo brida.
- Debe considerarse los demás accesorios como; escaleras, dispositivos de ventilación, acceso con su tapadera indicador de niveles y en caso especiales una luz roja para prevenir accidentes aéreos en vuelos nocturnos.
- Las escaleras exteriores deben tener protección adecuada y se diseñarán dispositivos que permitan controlar el nivel máximo y mínimo del agua en el tanque.



## Tipo Cisterna

Este tipo de almacenamiento se recomienda en pequeñas granjas o comunidades rurales donde se carece de aguas superficiales, o subterráneas, por lo tanto el agua de lluvia es la fuente disponible de abastecimiento local.

El agua de lluvia que escurre en los sistemas de techos se conduce a través de canales y ductos de bajantes a las cisternas de almacenamiento situado sobre el piso o soterrado.

La cisterna puede ser construida de mampostería u hormigón armado, en ella se puede emplazar una bomba de mano de acción directa o de mecate para la distribución de agua.

## Diseño del tanque elevado.

Para diseñar un tanque se toman en cuenta aspectos importantes como la capacidad, la ubicación y la forma de construcción.

Para el volumen del tanque, según las normas de diseño de UNEPAR, se debe tomar un porcentaje del caudal máximo diario. (Caudal de conducción), oscilando este porcentaje entre el 25% y el 40%.

**Volumen:  $0.30 * Q_{md}$ .**

Ejemplo;

Tomando el caudal que hemos manejado como ejemplo desde el inicio:

$$Q_{md} = 2.25 \text{ lts/seg} * 86,400\text{seg.} = 194,400 \text{ m}^3$$

$$V = 0.30 * 194,400 \text{ m}^3 = \mathbf{58.00 \text{ m}^3}.$$



## RED DE DISTRIBUCIÓN.

---

La red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua potable desde los tanques de almacenamiento, hasta las tomas domiciliarias, enterradas a una determinada profundidad, su diámetro y presión disponible está establecida de acuerdo a los requerimientos de la población y bajo las normas de diseño.

Es un sistema de tuberías unidas entre sí, que conducen el agua desde el tanque de distribución hasta el consumidor. Su función sanitaria es brindar un servicio en forma continua, en cantidad suficiente y de calidad aceptable.

De acuerdo a su función, la red de distribución puede dividirse en:

- Red primaria.
- Red secundaria.

A la tubería que conduce el agua desde el tanque de regulación, hasta el punto donde se inicia la distribución se le denomina línea de alimentación y se le considera como parte de la red primaria, sujetándose a los mismos criterios de diseño que la red de distribución en general.

Para el diseño de redes de distribución se deben de considerar los siguientes criterios:

- La red de distribución se deberá diseñar para el caudal máximo horario.
- Identificar las zonas a servir y de expansión de la población.
- Realizar el levantamiento topográfico incluyendo detalles sobre la ubicación de construcciones domiciliarias, públicas e industriales; así también anchos de vías, aéreas de equipamiento y aéreas de inestabilidad geológica y otros peligros potenciales.
- Considerar el tipo de terreno y las características de la capa de rodadura en calles y en vías de acceso.

Para el cálculo hidráulico de las tuberías se utilizarán fórmulas racionales, como la fórmula de Hazen Williams donde se utilizarán los coeficientes de fricción establecidos que son:

- Para hierro galvanizado = 100
- PVC = 150.

El diámetro a utilizarse será aquel que asegure el caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red. Los diámetros nominales mínimos serán: 1" en redes principales, ¾" en ramales y de ½" en conexiones domiciliarias.

En todos los casos las tuberías de agua potable debe ir por encima del alcantarillado de aguas negras a una distancia de 1.00 metro horizontalmente y 0.30 metros verticalmente. No se permitirá por ningún motivo el contacto de las tuberías de agua potable con líneas de gas, polductos, teléfonos, cable u otras.



En cuanto a la presión del agua, debe ser suficiente para que el agua pueda llegar a todas las instalaciones de las viviendas más alejadas del sistema. La presión máxima será aquella que no origine consumos excesivos por parte de los usuarios y no produzca daños a los componentes del sistema, por lo que la presión dinámica en cualquier punto de la red no será menor de 5.00 metros y la presión estática no será mayor de 60.00 metros.

La velocidad mínima en ningún caso será menor de 0.3 m/s y deberá garantizar la auto-limpieza del sistema. En general se recomienda un rango de velocidad de 0.5 – 1.00 m/s, por otro lado, la velocidad máxima en la red de distribución no excederá los 3 m/s.

A fin de que no se produzcan pérdidas de cargas excesivas, puede aplicarse la fórmula de Mougny para la determinación de las velocidades ideales para cada diámetro.

Dicha fórmula aplicable a presiones a la red de distribución de 20 a 60 mca está dada por:

$$V = 1.5 * (D+0.05)^{0.5}$$

Dónde:

$V =$  Velocidad (m/s)

$D =$  Diámetro de la tubería.

**El número de válvulas** será el mínimo que permita una adecuada sectorización y garantice el buen funcionamiento de la red.

Las válvulas permitirán realizar las maniobras de reparación del sistema de distribución de agua sin perjudicar el normal funcionamiento de otros sectores.

### **Materiales.**

Para la selección de los materiales de las tuberías se deberá tomar en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas, tanto externas como internas.
- Características de comportamiento hidráulico del proyecto (presiones de trabajo, golpe de ariete).
- Condiciones de instalación adecuada al terreno.
- Resistencia útil de acuerdo a la previsión del proyecto.

Los materiales más comunes son:

- Pvc.
- Polietileno.
- Hierro galvanizado.
- Hierro fundido.





- Hierro dúctil.
- Acero.

Por otro lado existen dos tipos de tuberías: las tuberías de unión flexible y las de unión rígida.

Tuberías de unión rígida;

A simple presión, con espiga y campana, las uniones son ensambladas con pegamento.

Tubería de unión flexible:

A causa de las características especiales del anillo y campana de la unión flexible, se minimiza las operaciones de ensamble, esto facilita el centrado y conexión de los tubos, sin recurrir a mucha fuerza.

### **Procedimiento de cálculo.**

El diseño hidráulico podrá realizarse como:

- Redes abiertas.
- Redes cerradas.
- Redes combinadas.

Los cálculos deben realizarse tomando en cuenta los diámetros internos reales de las tuberías.

### **Redes abiertas.**

El dimensionamiento de las redes abiertas o ramificadas se realizará de acuerdo con los siguientes criterios:

- Se admitirá que la distribución del caudal sea uniforme a lo largo de la longitud de cada tramo.
- La pérdida de carga en el ramal será determinada para un caudal igual al que se verifica en su extremo.
- Cuando por las características de la población se produzca algún gasto significativo en la longitud de la tubería, éste deberá ser considerado como un nudo más.
- Se recomienda el uso de un caudal mínimo de 0.10 lps para el diseño de los ramales.
- El diseño hidráulico se realizará teniendo en cuenta los criterios de las formulas Hazen Williams.



## Red de Distribución Abierta.



Fuente: elaboración propia.

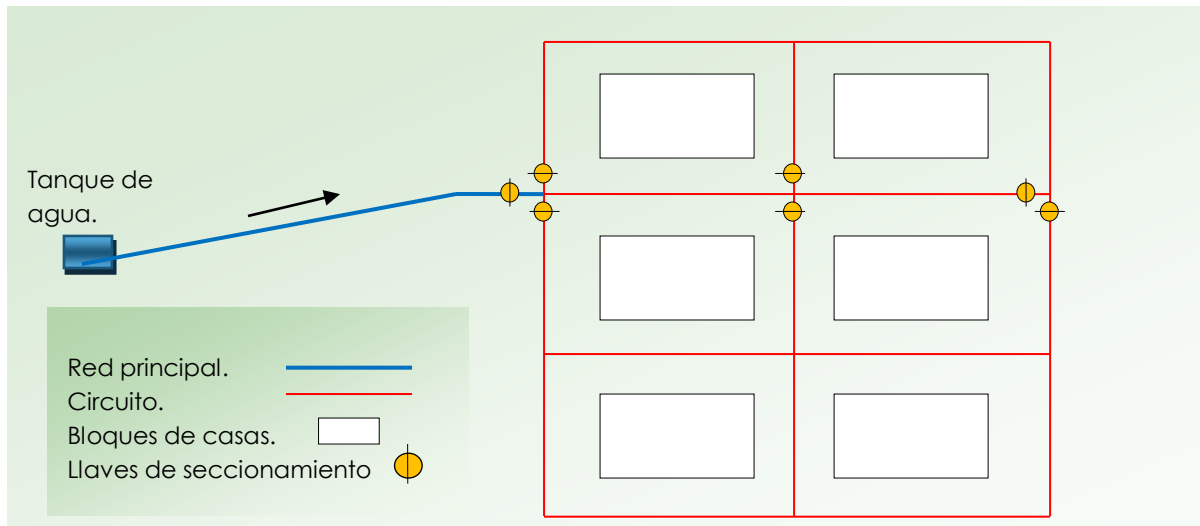
## Redes cerradas.

- El flujo del agua a través de ellas estará controlado por dos condiciones:
- El flujo total que llega a un nudo es igual al que sale.
- La pérdida de carga entre dos puntos a lo largo de cualquier camino, es siempre la misma.

Estas condiciones junto con las relaciones de flujo y pérdida de carga, nos dan sistemas de ecuaciones, los cuales pueden ser resueltos por cualquiera de los métodos matemáticos de balanceo.

En sistemas anillados se admitirán errores máximos de cierre:

- De 0.10 mca de pérdida de presión como máximo en cada malla y/o simultáneamente debe cumplirse en todas las mallas.
- De 0.01 lps como máximo en cada malla y/o simultáneamente en todas las mallas.
- Se recomienda el uso de un caudal mínimo de 0.10 lps para el diseño de los ramales.
- Las redes cerradas no tendrán anillos mayores a 1 km por lado.



## Métodos para determinación de caudales.

### Redes Abiertas y Cerradas.

Para el cálculo de caudales se puede disponer de los siguientes métodos:

#### Método de las áreas:

Consiste en la determinación del caudal en cada nudo considerando su área de influencia. Este método es recomendable en localidades con densidad poblacional uniforme en toda la extensión del proyecto.

#### Método de Densidad Poblacional:

Este método considera la población por área de influencia de cada nudo. Para la aplicación de este método se deberá definir la población en cada sector del área del proyecto.

#### Método de Longitud Unitaria:

Por este método se calcula el caudal unitario, dividiendo el caudal máximo horario entre la longitud total de la red. Para obtener el caudal en cada tramo, se debe multiplicar el caudal unitario por la longitud del tramo correspondiente.

#### Método de Repartición Media:

Consiste en la determinación de los caudales en cada tramo del sistema, repartiéndolos en partes iguales a los nudos de sus extremos. Por tanto el caudal en un nudo, será la suma de los caudales de los tramos medios adyacentes. El caudal de cada tramo puede ser calculado por el método de longitud unitaria.



### Método del Número de viviendas:

Por este método se calcula un caudal unitario, dividiendo el caudal máximo horario entre el número total de casas de la comunidad.

El caudal en el nudo, será el número de familias en su área de influencia, multiplicado por el caudal unitario.

Este es el más utilizado por su exactitud y simplicidad:

$$Q_n = q_u * N_{fn}.$$

Donde;

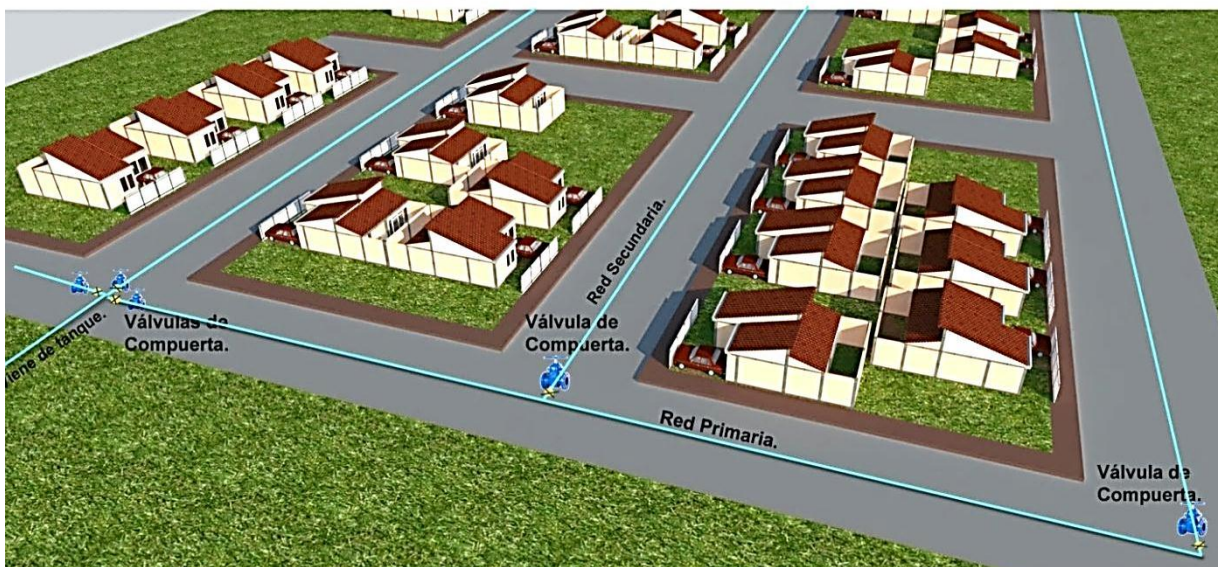
$$Q_u = Q_{mh}/N_f$$

<b>Qu</b>	=	Caudal unitario (L/s/casa)
<b>Qn</b>	=	Caudal en el nudo "n" (l/s).
<b>Qmh</b>	=	Caudal máximo horario (l/s).
<b>Nf</b>	=	Número total de casas.
<b>Nfn</b>	=	Número de familias en el área de influencia del ramal.

### Consideraciones sobre las válvulas de seccionamiento:

La ubicación y cantidad de válvulas de seccionamiento en una red de distribución se determinan con la finalidad de poder aislar un tramo o parte de la red en caso de reparaciones o ampliaciones, manteniendo el servicio en el resto de esta. Mientras mayor número de válvulas se tengan en la red, menor será la parte sin servicio en caso de una reparación, pero más costoso el proyecto. En poblaciones concentradas deben proveerse de válvula de ingreso a la red y en los puntos donde exista un ramal de derivación importante.

#### Válvulas de Seccionamiento, en Red de Distribución.



Fuente. Elaboración propia.



### Cálculo de un tramo de la red de distribución.

Número de casas total: 100

Cálculo de caudal:

$$Q_v = Q_d / \text{Número de casas.}$$

Dónde:

**Q<sub>v</sub>** = Caudal de viviendas en litros /segundo.

**Q<sub>d</sub>** = Caudal de distribución en litros/segundo.

**Número casas** = Viviendas totales actuales.

Número de casas totales actuales: 100 viviendas.

Caudal de viviendas =  $3.57 / 100 = 0.035$  ls/seg.

Para determinar el caudal de diseño de un tramo de la red, se multiplica el caudal de vivienda por el número de viviendas que hay en el sector.

Para el cálculo de la tubería se utilizan los siguientes datos y fórmulas:

**L** = Longitud del tramo.

**Q<sub>d</sub>** = Caudal de distribución.

**C<sub>pvc</sub>** = 150

**N** = Número de viviendas.

**C<sub>s</sub>** = Cota de salida.

**C<sub>II</sub>** = Cota de llegada.

Cálculo de la carga disponible o diferencia del nivel entre dos puntos.

$H_f \text{ disponible} = \text{cota de salida} - \text{cota de llegada} = \text{mca.}$

Cálculo del diámetro teórico con la carga disponible despejando de la fórmula Hazen Williams.

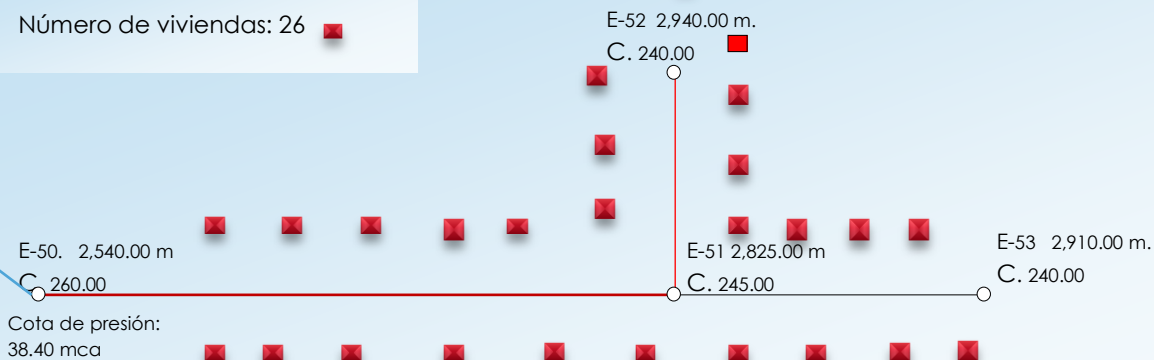
$$H_f = \frac{1743.811 * L * (Q_d)^{1.85}}{D^{4.87} * C^{1.85}}$$



### Diseñar tramo de E-50 a E-51

Caudal de viviendas: 0.035 litros

Número de viviendas: 26



### Caudal total del tramo:

0.035 x 26 casas = 0.91 litros.

### Cálculo de la carga disponible o diferencia de nivel entre estaciones.

HF disponible = cota E-50 – cota E-51 = 260.00 – 245.00 = 15.00m.

**Calculo del diámetro teórico** con la carga disponible, despejando de la fórmula Hazen Williams, y sustituyendo los datos se obtiene:

$$D = \frac{(1,743.81141 * 285.00 * 0.91^{1.852})^{1/4.87}}{15.00 * 150.00^{1.852}} = 1.21" \text{ se aproxima } 1 \frac{1}{2}."$$

Se verifican las pérdidas para el diámetro seleccionado.

Diámetro seleccionado: 1 ½" = 1.75"

$$H_f = \frac{1743.811 * L * (Qd)^{1.85}}{D^{4.87} * C^{1.85}}$$

$$H_f 1 \frac{1}{2}" = \frac{1743.811 * 285 * 0.91^{1.852}}{1.75^{4.87} * 150^{1.852}} = 2.55 \text{ mca}$$

Del cálculo anterior se determina que la pérdida de carga es de 2.55 m.

**Calculo de la velocidad** por medio de la fórmula siguiente:

$$V = \frac{1.97352524 * Q}{D_i^2}$$



$$V = \frac{1.97352 * 0.91}{1.75^2} = 0.5864 \text{ m/s.}$$

Es mayor que la velocidad mínima en red de distribución.

### Cálculo de la cota piezométrica.

$$CpE-51 = CpE-38 - hf_{\text{encontrada.}}$$

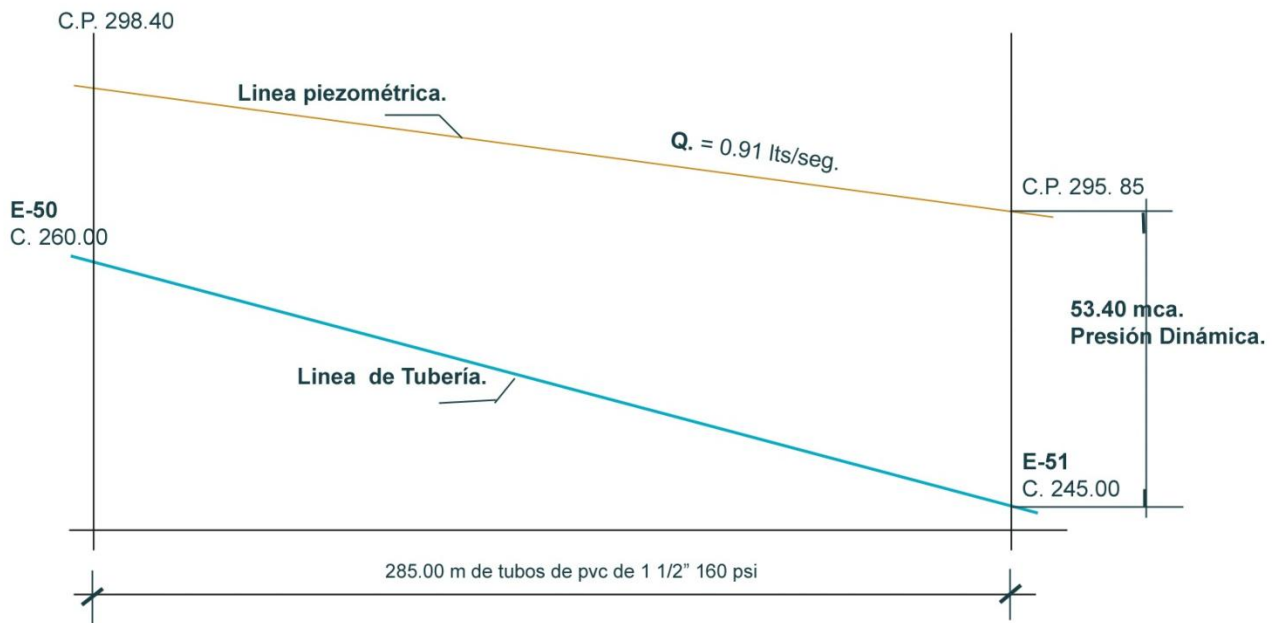
$$CpE-51 = 298.40 - 2.55 = 295.85 \text{ mca.}$$

### Calculo de la presión dinámica.

$$PdE-51 = Cp E-51 - CT E-51.$$

$$PdE-51 = 298.40 - 245.00 = 53.40 \text{ mca.}$$

### PERFIL CALCULADO.





## Diseño del equipo de bombeo.

Para dimensionar el equipo de bombeo es necesario tomar en cuenta aspectos importantes al finalizar completamente la perforación del pozo mecánico.

Se toma en cuenta el tamaño final del pozo, la profundidad del nivel de bombeo de agua, el abatimiento. Si el aforo del pozo es suficiente para proporcionar el caudal requerido.

El tamaño final del pozo sí es de 8", sirve para determinar el diámetro de la bomba que se escogerá, ya que existen equipos de bombeo de la misma capacidad en 4" y 6" de diámetro.

Para calcular la carga del sistema, las dimensiones deben de ser constantes.

Presión (en psi) x 2.31 = carga en pies.

Carga (en pies) x 0.433 = presión en psi.

La carga del sistema se refiere a la carga total de bombeo que incluye a los siguientes componentes:

- La elevación de succión total o elevación del pozo.
- La carga estática del sistema de descarga.
- Las pérdidas por fricción del sistema de descarga.

## Carga dinámica total.

Equivale a la carga total de bombeo más la carga de velocidad.

## Elevación total.

La elevación de succión total se calcula sumando los siguientes datos.

**Nivel estático del agua:** es la distancia vertical desde la parte superior del pozo, hasta el nivel natural del agua dentro del pozo.

**El abatimiento:** es la reducción del nivel del agua estático durante la operación de la bomba, varía según el rendimiento del pozo y la capacidad de la bomba.

**Pérdidas por fricción dentro del pozo:** resulta del tubo de descenso más cualquier válvula o accesorio instalado en el tubo de descenso.

## Carga estática en el sistema de descarga.

La carga estática de descarga. En cualquier sistema de descarga abierta es la elevación al nivel máximo de agua en el tanque por encima de la parte superior del pozo

## Pérdida por fricción.

La fricción del tubo es la resistencia al flujo, creada por la superficie interior del tubo a través del cual se transporta el agua. La fricción aumenta conforme disminuye el diámetro del tubo o conforma aumenta la velocidad del flujo.





La pérdida por fricción se expresa en pies de carga por cada 100 pies de tubo y varía según el material del cual está hecho el tubo.

Para el cálculo se deben conocer datos de la tubería como: largo, diámetro, tipos de todas las tuberías, válvulas y conexiones.

Es importante elegir el tamaño del tubo, para la operación eficiente del sistema. Tubos de mayor diámetro causan menores pérdidas por fricción y podrían permitir la selección de una bomba más pequeña y económica, pero el costo inicial es más caro y se debe balancear contra el ahorro de una bomba más pequeña.

Con toda la información anterior, se puede calcular la carga dinámica total del sistema y con este dato se observan las curvas de rendimiento de las bombas, para calcular la bomba adecuada para el sistema.

### **Calculo de la potencia del motor (HP) del motor sumergible:**

Con la carga dinámica total del sistema conocida y el caudal requerido, se analizan las curvas de rendimiento donde; verticalmente aparece la carga en pies, horizontalmente los galones por minuto, se cruzan las líneas de carga dinámica total y de galones por minuto y en la intersección de la curva de rendimiento de bombas nos indica el modelo de la bomba y el caballaje de la misma, seleccionando el motor sumergible.

### **Para seleccionar el diámetro de la tubería:**

Que se va a utilizar existen tablas para tubería en acero SCH 40 y tubería de PVC, las cuales indican las pérdidas por fricción, en los diferentes diámetros dependiendo del caudal en galones por minuto que se va a conducir.

### **Pérdida de flujo y fricción.**

El flujo se mide como el volumen de agua que se transporta dentro de un tiempo definido. Por lo general los flujos mayores, se miden en galones x minuto (GPM) y para flujos menores, se mide en galones x hora (GPH), cuando el agua fluye dentro de un tubo, debe superar la resistencia causada por su propia turbulencia. En conjunto estas pérdidas se llaman pérdidas x fricción.

Ejemplo de;

Calculo del equipo sumergible (bomba, motor, cables y tubería).

Datos:

Caudal requerido:	2.25 lts/segundo = 36 galones x minuto.
Nivel estático de pozo:	200 pies.
Nivel dinámico:	350 pies.



### **Línea de Bombeo.**

Es la combinación de motor, bomba y tubería y su uso se hace necesario cuando la fuente de agua a utilizar se encuentra a un nivel más bajo que el de la población a abastecer.

Los factores que intervienen en su diseño son: pérdida de carga por fricción, presión estática, nivel dinámico y otras pérdidas, que sumadas constituyen la carga dinámica total (CDT), el caudal de bombeo y el diámetro de la tubería.

### **Caudal de Bombeo.**

El caudal de bombeo depende del período de bombeo que se adopte, este período está comprendido entre 8 y 12 horas diarias. Normalmente se estiman 8 horas diarias de bombeo.

Se calcula con la fórmula siguiente:

$$Q_b = (24 \text{ hrs}/T) * Q_c.$$

Donde;  $Q_c$  = caudal de día máximo.  
 $T$  = Número de horas de Bombeo.

$$Q_b = (24\text{hrs}/8\text{hrs}) * 2.25 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_b = 6.75 \text{ lts/seg.} = 107 \text{ galones x minuto.}$$

Se calcula inicialmente la Carga Dinámica Total:

$$CDT = ND + \text{carga pozo al tanque} + \text{carga de fricción.}$$

$CDT$  = Carga dinámica total.  
 $ND$  = Nivel dinámico.

- Carga del pozo al tanque = Diferencia de altura entre la boca del pozo y la boca del tanque.
- Carga de fricción = Fricción de la tubería y accesorios (ver tabla).

$$CDT = 350' + 120' + 34'$$

$$CDT = 504 \text{ pies.}$$

Con esta carga se busca en la siguiente tabla las curvas de rendimiento y los galones por minuto que produce el pozo, para calcular la bomba.



Calculo de presiones:

Diferencia entre la boca del pozo y la descarga: 120 pies.  
Pérdidas por conducción: 25 pies.  
Carga por Velocidad: .3 pies.  
Pérdidas menores: 1.6 pies.  
Sobrepresión: 12.50  
Altura total:: 159.40 pies

$$159.40 / 3.28 = 48.59 \text{ metros: } 48.59 * 1.42 = 69.00 \text{ PSI}$$

En base a este dato se determina la tubería a utilizar que tiene que resistir más de de 69.00 PSI. En pvc puede ser tubería de 160 PSI.

### Calculo del motor sumergible.

Para determinar la potencia de la bomba se requieren los datos siguientes:

- Nivel dinámico del pozo.
- Altura entre el sello sanitario y el tanque de distribución.
- Chequeo por velocidad.

$$V = Qb/A = 4 * Qb / \pi * D^2 = 1.974 * Qb/D^2$$

Dónde: Qb = Caudal de bombeo en lts/seg.  
D = Diámetro en pulgadas.

### Pérdidas por conducción, velocidad y menores.

**Pérdida de carga Hf.**

$$Hf = \frac{1,743.81141 * L * Qc^{1.852}}{Di^{4.87} * C^{1.852}}$$

**Pérdidas por velocidad = (V<sup>2</sup>)/ (2\*g).**

Donde; V = Velocidad (m x seg).  
G = Gravedad (9,81 m/seg<sup>2</sup>)

**Pérdidas menores = (8.2 V<sup>2</sup>)/ (2\*g).**

Donde; V = Velocidad (m/seg).



$G = \text{Gravedad (9.81 m/seg)}$ .

**Datos para la potencia:**

Diferencia entre la boca del pozo y la descarga: 120 pies.

Pérdidas por conducción: 25 pies.

Carga por Velocidad: .3 pies.

Pérdidas menores: 1.6 pies.

Sobrepresión: 12.50

Nivel dinámico: 350 pies.

Altura total: 509.40 pies

$509.40 / 3.28 = 155.30$  metros:  $155.30 * 1.42 = 220.00$  PSI presión final.

Con la carga dinámica total, el caudal de bombeo y la eficiencia se puede calcular la potencia de la bomba:

$$P = (Q_b * CDT) / (75 * e)$$

Dónde:

P = Potencia (HP).

$Q_b$  = Caudal de bombeo (lts/seg.)

CDT = Carga dinámica total. (m)

e = Eficiencia 75%

$$P = \frac{(6.75 \times 155.30)}{75 * e (0.70)} = 19.96 = 20.00 \text{ HP}$$

Las tablas que nos indican el tipo de bomba a utilizar, también nos muestra el motor a usar.

Una fórmula también que se puede utilizar el tamaño y caballaje del motor es la siguiente:

$$HP = \frac{GPM \times CDT \times 100}{3,960 \times \text{eficiencia bomba.}}$$

$$HP = \frac{107 \times 509.40 \times 100}{3960 \times 60} = 22.9 \text{ hp} = 20 \text{ HP}$$

El motor puede ser de mayor caballos que la bomba, ya que en estas circunstancias, el motor trabaja con menos carga y se alarga su tiempo de servicio.

La bomba no puede ser de mayor caballaje que el motor porque en estas circunstancias el motor trabaja forzado y tiende a calentarse y se puede dañar.



## 5.- DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA ALDEA EL ESPINO, MUNICIPIO DE SAN LORENZO, SUCHITEPEQUEZ.

### Descripción del proyecto:

La Aldea el Espino, no cuenta con un sistema de agua potable, por lo que la Municipalidad de San Lorenzo, ante la función de satisfacer las necesidades del Municipio ha tomado la decisión de construir el proyecto de sistema de agua potable para proveer de agua a esta comunidad.

Actualmente los habitantes de la ALDEA EL ESPINO se abastecen de pozos excavados manualmente, pero se tiene el inconveniente que por ser agua superficial de lluvia que se filtra trae consigo contaminantes y además en los meses de verano desciende el nivel creándoles problemas al secarse prácticamente los pozos.

En el área no existen fuentes de agua comunes, por lo que se recurre como alternativa la **perforación de un pozo mecánico** para utilizar el agua subterránea como fuente de abastecimiento para el sistema de agua para la comunidad.

El proyecto consiste en la perforación de un pozo mecánico de 400 pies de profundidad con un equipo de bombeo de 7.5 hp monofásico para producir el caudal necesario para abastecer de agua a la aldea El Espino, y luego bombear el agua a un tanque de distribución elevado de 50.00 m<sup>3</sup>, ubicado en uno de los puntos más altos de la comunidad para que el agua llegue por gravedad a todos los sectores con suficiente presión, Con una línea de conducción, y red de distribución con ramales abiertos, conexiones domiciliarias y obras hidráulicas necesarias para el proyecto

### Ubicación y localización geográfica de la aldea El Espino.

La aldea el espino, se localiza en la parte baja (sur), del municipio de San Lorenzo, en la zona adyacente a la costa del departamento de Suchitepéquez.

Se encuentra a una distancia de 18 kilómetros de la cabecera municipal de San Lorenzo, comunicada por medio de una carreta balastrada, transitable en cualquier época del año. la elevación promedio de la aldea el espino, es de 268 pies ó 82.00 metros sobre el nivel del mar.

Se proyecta perforar el pozo mecánico en la parte más alta de la aldea El Espino, que corresponde a la zona norte de este poblado.

El punto exacto de la perforación se localiza en las siguientes coordenadas:

Coordenadas		
	Longitud Norte	Latitud Oeste.
<b>Geográficas.</b>	<b>N 14° 21' 51.24"</b>	<b>O 91° 31' 51"</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>



---

<b>UTM</b>	<b>15 P 658407.30 m. E</b>	<b>1588511.96 m. N</b>
<b>DATUM</b>	<b>1601948</b>	<b>660309 15P</b>

---

### **Población.**

De acuerdo a la información proporcionada por el Presidente del COCODE y datos recientes del último Censo indican que existen actualmente 130 viviendas en la ALDEA EL ESPINO con un promedio de 5 habitantes por casa lo que da una población de 650 habitantes.

**130 viviendas**  
**650 habitantes.**

Los habitantes en su mayoría se dedican a la agricultura y a la ganadería. Los cultivos principales de aldea EL ESPINO son la Palma de Aceite, la caña y el maíz. Los habitantes hablan el idioma español y una pequeña mayoría habla el idioma Quiché. Existe 1 escuela primaria completa y 1 escuela de párvulos.

### **Municipio de San Lorenzo.**

Se encuentra a una distancia de 6 kilómetros de la cabecera departamental Mazatenango. Es un municipio que se encuentra en la parte sur del departamento de Suchitepequez., colinda al norte con el municipio de San Gabriel, al este se encuentra Santo Domingo, la oeste se encuentra el municipio de Cuyotenango y al sur el Océano Pacífico.

- Tiene una extensión de 60.00 km<sup>2</sup>.
- Tiene una población aproximada de 11,869 habitantes con una densidad de 197 personas por km<sup>2</sup>.
- Fue fundado en el año de 1,896.
- Cuenta con un total de 5 aldeas, 8 cantones, 2 parcelamientos y 21 fincas.
- Se encuentra a un altitud de 220 msnm.
- Se hablan dos idiomas: el quiché y el español.
- Tiene clima cálido.



### **Análisis de la demanda de agua potable.**

Para poder diseñar el pozo mecánico es necesario conocer con exactitud el caudal requerido para satisfacer la demanda de agua potable.

La población actual de la ALDEA EL ESPINO, es de:

**650 habitantes y tiene 130 casas.**

### **Parámetros de Diseño.**

Se toman como referencias las normas de Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales UNEPAR y las del INFOM, que la clasifica como un área de:

Clima de cálido y clasificación rural asignándoles una dotación de:

**100 lts/seg a 125 lts/seg.**

### **Período de Diseño.**

Para el sistema de abastecimiento de agua, el período de diseño es el tiempo durante el cual la obra construida funcionará eficientemente y dará un servicio satisfactorio a la población que la utiliza. Para determinar el período de diseño se debe de tomar en cuenta la vida útil de los materiales, los costos de los mismos, costo de mantenimiento, la población de diseño.

El período de diseño que recomiendan instituciones como la OMS y UNEPAR es de 20 años, el cual es el que se adoptará para este proyecto, el cual es el más recomendable para acueductos rurales.

### **Tasa de Crecimiento Poblacional.**

La tasa de crecimiento poblacional es la diferencia entre la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad. Cuando se menciona de tasa de crecimiento poblacional, es proyectar por medio de pronósticos que se hacen con base de datos estadísticos de censos poblacionales, que se hayan realizado en el pasado. Para estimar la población futura, existen diversos métodos siendo estos los siguientes: el aritmético, el exponencial y el geométrico.

Para este proyecto se aplicó la tasa de crecimiento del 3%, que es la que utiliza el INE para la zona específica en estudio.

### **Estimación de la Población de Diseño.**

Se entiende así mismo por período de diseño, al tiempo durante el cual, el proyecto debe funcionar en óptimas condiciones, por lo que deben considerarse los siguientes factores: el tiempo durante el cual la obra dará servicio a la población, durabilidad del material a utilizar, crecimiento de la población, incluyendo posibles cambios en los desarrollos de la



comunidad, facilidad o dificultad para hacer ampliaciones a las obras existentes o planeada.

Para calcular el crecimiento de una población y estimarla con cierto grado de exactitud, se utiliza el método geométrico, que es calculado según la fórmula;

$$P_f = P_a * (1+r)^n$$

Donde;

- P<sub>f</sub> = población futura (habitantes)
- P<sub>a</sub> = población actual (habitantes)
- r = tasa de crecimiento poblacional (3%)
- n = Período de diseño (20años).

Sustituyendo datos en la fórmula se tiene:

$$P_f = 650 (1 + 0.03)^{20}$$

$$P_f = \mathbf{1,170 \text{ habitantes.}}$$

### **Dotación.**

Es la cantidad de agua asignada en un día a cada habitante para satisfacer sus necesidades.

El consumo de agua está en función de una serie de factores que son inherentes de la comunidad beneficiada, que cambia de una comunidad a otra como también cambia de un sector de distribución a otro. La dotación para una comunidad rural depende de las costumbres de la población, del clima, del tipo y magnitud de las fuentes, de la calidad del agua, de la actividad productiva y de la medición del consumo.

Conexiones prediales fuera de la vivienda: 60 a 120 lts/día.

Se asignó la dotación de 100 lts/hab/día.

### **Determinación de caudales.**

#### **Caudal Medio Diario (Q<sub>m</sub>).**

Es la cantidad de agua que requiere una población durante un día, que se obtiene del promedio de consumos de un año.

En la comunidad no se conoce el registro, por lo que el caudal medio diario se logra del producto de la dotación adoptada por el número de habitantes:

$$Q_m = \text{Dot.} * P_f.$$

$$Q_m = 86,400 \text{ seg.}$$

Dónde:





$Q_m$  = Caudal Medio diario.

Dot. = Dotación.

$P_f$  = Población futura

Sustituyendo valores:

$$Q_m = 100 * 1,170 = 1.85 \text{ lts/seg.}$$

$$Q_m = 86,400 \text{ seg.}$$

### **Caudal Máximo Diario (Qmd).**

Es el máximo consumo de agua durante las 24 horas observado en el período de un año. El caudal máximo diario se utiliza para diseñar la línea de conducción del proyecto.

Para compensar la variación de consumo existe un porcentaje de incremento, se le denomina "Factor de día máximo", y su valor está en función del tamaño de la población, clima y sus costumbres.

El factor de día máximo que se utiliza en el área rural y con una población como la de las dos comunidades es de 1.2 a 1.5, tomando como referencia las normas de UNEPAR-INFOM. En este proyecto es de clima frío por lo que se utilizó 1.2.

$$Q_{md} = FDM * Q_m$$

De donde:

$$\begin{aligned} Q_{md} &= \text{Caudal máximo diario o caudal de conducción.} \\ FDM &= \text{Factor de día máximo.} \\ Q_m &= \text{Caudal medio diario.} \\ Q_{md} &= 1.2 * 1.85 = 2.20 \text{ lts /seg.} \end{aligned}$$

El caudal requerido es 2.20 lts. /seg

### **Caudal Máximo Horario.**

Se utiliza para el diseño hidráulico de la red de distribución del proyecto.

Es el máximo consumo observado durante una hora de día en el período de un año.

Para compensar la variación de consumo existe un porcentaje de incremento, se le denomina "Factor de hora máximo", y su valor está también en función del tamaño de la población, clima y sus costumbres.

El factor de hora máximo que se utiliza en el área rural y con una población como la de las dos comunidades, según las normas de UNEPAR-INFOM es de 1.90.

$$Q_{mh} = FHM * Q_m$$

Dónde:

$$\begin{aligned} Q_{mh} &= \text{Caudal máximo horario o caudal de distribución.} \\ FHM &= \text{Factor de hora máximo} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Q_m &= \text{Caudal medio día.} \\ Q_{mh} &= 1.90 * 1.85 = 3.52 \text{ lts/seg.} \end{aligned}$$

### Parámetros finales de diseño.

Los parámetros de diseño, se relacionan con la población futura, dotación, velocidades máximas y mínimas así como las presiones máximas y mínimas.

### Resumen de datos:

---

<b>Caudal requerido:</b>	2.20 lts/seg.
<b>Fuente:</b>	Pozo Mecánico.
<b>Sistema:</b>	Bombeo.
<b>Tipo de servicio:</b>	Domiciliares
<b>Población actual:</b>	650 habitantes
<b>Tasa de crecimiento:</b>	3% anual
<b>Período de diseño:</b>	20 años
<b>Población Futura:</b>	1, 170 habitantes
<b>Dotación:</b>	100 lts/ seg.
<b>Caudal Medio:</b>	1.85 lts/seg.
<b>Factor de Día Máximo:</b>	1.5
<b>Caudal Máximo diario (Qmd):</b>	2.52 lts/seg.
<b>Factor de Hora Máximo:</b>	1.9
<b>Caudal Máximo Horario (Qmh):</b>	3.52 lts/seg.

---

**Caudal requerido:** 2.52 litros x segundo.  
38 galones x minuto.



## DISEÑO DEL POZO MECANICO.

Teniendo el dato final del caudal requerido para el proyecto de agua potable para la ALDEA EL ESPINO, del Municipio de San Lorenzo, y en base a las consideraciones geológicas establecidas, referidas en el estudio realizado se calcula la profundidad requerida:

<b>Nivel del terreno:</b>		27.00 msn
<b>Nivel estático estimado:</b>	<b>N.E</b>	30.00 m.
<b>Caudal mínimo a explotar:</b>	<b>Q.</b>	2.52 litros x segundo.
<b>Transmisividad estimada.</b>	<b>T</b>	20.00 m <sup>3</sup> x día.

Utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Des.} = 0.366 (Q/T) \log(R/r) \quad (\text{ley de Darcy})$$

Dónde:

<b>Des:</b>	Descenso de nivel del pozo a partir del NE
<b>Q:</b>	Caudal de explotación del pozo (m <sup>3</sup> /día)
<b>T:</b>	Transmisividad del acuífero (m <sup>3</sup> /día)
<b>R:</b>	Radio del influencia el pozo.
<b>r:</b>	Radio del pozo.
<b>h:</b>	Espesor del acuífero penetrado.

Asumiendo:

Que el radio de influencia, es de 100 metros y el radio del pozo es de 12" (0.25 m), se determina que el descenso estimado en el pozo de 8" es de:

$$\text{Des.} = 1.1 (Q/T) \log(R/r) \quad (\text{ley de Darcy}).$$

$$\text{Des.} = 1.1 (3.52 \text{ lts/seg} * (86,400 \text{ seg/día} / 1,000 \text{ lts/m}^3)) / 20 \text{ m}^3/\text{día}.$$

$$\text{Des.} = 18.96 \text{ metros de acuífero.}$$

Se requiere que el descenso para el caudal represente aproximadamente el 20% al 40% del total de la columna de agua en el pozo, por consiguiente, el acuífero que hay que penetrar es igual a:



**$h = 80.00 \text{ m.}$**

El nivel estático del sitio de la perforación es de 30.00 metros.

El acuífero saturado inicia a partir de este nivel, entonces se calcula que para obtener el caudal requerido, se necesita un pozo de una profundidad total de:

$H \text{ pozo} = N. E. + h.$

**$H \text{ pozo} = 30.00\text{m} + 80.00\text{m.} = 110.00 \text{ metros equivalente } 330 \text{ pies.}$**

Por lo que la profundidad recomendable es **de 400 pies**, para garantizar el caudal y aprovechar al máximo el acuífero.

Generalmente el objetivo del diseño es conseguir la mejor combinación posible de rendimiento, vida útil y costo razonable. En concepto simple un pozo mecánico, es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

- La hidrología del acuífero que se explotará es de muy buenas condiciones y la transmisividad media es del orden de 323 m<sup>2</sup>/día. El caudal que se pretende obtener será en función del equipo de bombeo a instalarse.
- El abatimiento del pozo se calcula, explotando con un caudal de 150 a 200 galones x minuto, en un día de producción acuífera es de aproximadamente 8 pies.



## DISEÑO DE LINEA DE CONDUCCIÓN. (Línea de impulsión).

### Diseño del tramo de E-0 a E-1.

Para el diseño del tramo, que va desde el pozo mecánico en E-0, hasta el tanque de distribución ubicado en E-1, se toman en cuenta algunos criterios como los siguientes:

En una línea de conducción por bombeo, la diferencia de elevación es la carga a vencer y se verá incrementada en función de la selección de los diámetros menores, y consecuentemente, ocasionará mayores costos de equipo y energía. Por tanto, cuando se tiene que bombear agua mediante una línea directa al tanque de distribución, existirá una relación inversa entre potencia requerida y diámetros de la tubería.

De estas consideraciones se tendrá en cuenta dos muy importantes:

- Diámetros pequeños y equipos de bombeo grandes, con lo cual se tiene un costo mínimo para la tubería, pero máximo por los equipos de bombeo y su operación;
- Diámetros grandes y un equipo de bombeo de baja potencia, resultando costos para la tubería y bajos para los equipos y su operación.

Entre estas dos opciones, existe una gama de soluciones de acuerdo a los diferentes diámetros comerciales, de cuyo análisis económico se selecciona el más conveniente.

Datos del tramo:

Longitud (L):  $718.30 \times 3\% = 739.84 = 740.00$  metros.

Caudal (Q): **2.52 litros x segundo.**

Coefficiente de rugosidad: 150 (adimensional). PVC.

Cota E-0: 82.50

Cota E-1: 100.00.

Hf:  $17.50$  metros + alto del tanque. =  $17.50 + 12.00 = 29.50$  metros.

Luego de haberse definido el caudal de bombeo, se procede a calcular el diámetro teórico de bombeo cumpliendo con la velocidad de flujo, y la fórmula es la siguiente:

$$D_{\text{bombeo}} = 1,8675 \times \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

$D_{\text{bombeo}}$  = Diámetro teórico de bombeo.

$Q_b$  = Caudal de bombeo en litros/segundo.

1,8675 = Factor de conversión de metros a pulgadas.



Al sustituir los datos se obtiene:

$$D_{\text{bombeo}} = 1,8675 \times \sqrt{2.52}$$

$$D_{\text{bombeo}} = 2.96'' \rightarrow \text{Diámetro comercial} = 3''.$$

A continuación se procede a calcular, con los rangos de velocidad de  $0,60 \text{ m/s} < V < 3 \text{ m/s}$ , los diámetros mínimos y máximos que se pueden utilizar para el diseño:

Analizando con velocidad de 0,60 metros/segundo para obtener el diámetro mínimo y la fórmula es la siguiente:

$$D_{\text{tmáx}} = \frac{\sqrt{1,974 \times Q_b}}{v}$$

Dónde:

$D_{\text{tmáx}}$  = Diámetro teórico máximo.

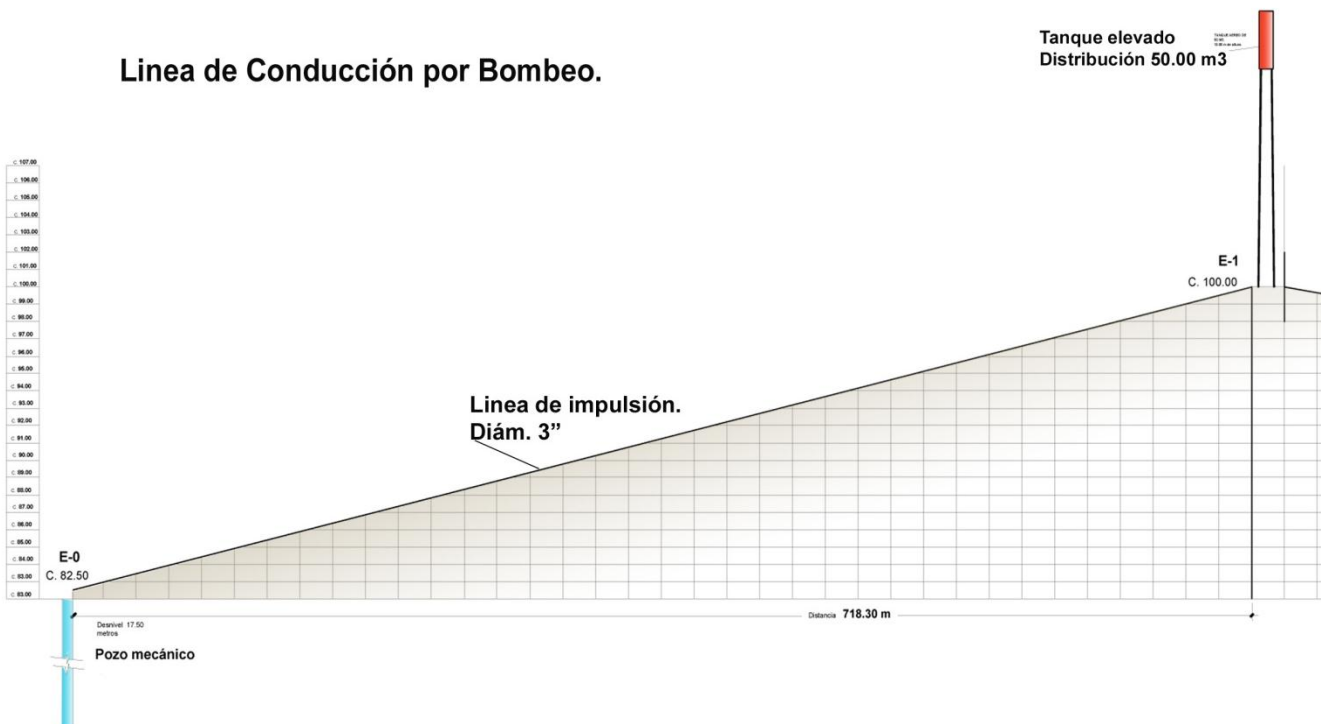
$Q_b$  = Caudal de bombeo.

$v$  = Velocidad mínima del flujo.

Al sustituir los datos se obtiene:

$$D_{\text{tmáx}} = \frac{\sqrt{1,974 \times 2.52}}{0,60} = 2.87 \text{ pulgadas.}$$

### Línea de Conducción por Bombeo.





Después de obtener los resultados de diámetros teóricos máximos y mínimos, se procede a analizar la pérdida de carga de los diferentes diámetros comerciales en este rango, eligiendo el que mejor resultado se obtenga para el diseño hidráulico. Para este caso se seleccionó el de 3 pulgadas SDR 17 de 250 PSI.

A continuación se sustituye el diámetro obtenido obteniendo el siguiente resultado de pérdida:

#### **Pérdida de carga Hf.**

$$H_f = \frac{1,743.81141 * L * Q_c^{1.852}}{D_i^{4.87} * C^{1.852}}$$

$$H_f 3'' = \frac{1743.811 * 740.00 * 2.52^{1.852}}{3^{4.87} * 150^{1.852}} = 3.16 \text{ mca}$$

Luego se procede a calcular la velocidad que se obtiene utilizando el diámetro seleccionado:

$$V = \frac{(1.974 * Q_b)}{D_b^2}$$

Dónde:

- v = Velocidad en metros/segundo.
- Qb = Caudal de bombeo en litros/segundo.
- Db = Diámetro en tubería de bombeo.

$$V = \frac{(1.974 * 2.52)}{3^2} = 0.55 \text{ metros/segundo.}$$

#### **Carga dinámica total**

Es la unificación de todas las pérdidas que afectan la subida del agua al tanque de distribución.

#### **Pérdidas por altura en la conducción.**

Es la diferencia de altura entre la cota de captación en este caso el tanque de almacenamiento y la cota de descarga el tanque de distribución:

$$H_{f1} (\text{pérdida por altura en la conducción}) = \text{Cota E-0} - \text{Cota E-1.}$$



$$Hf_1 = 100.00 - 82.50 = 17.50 \text{ metros} + \text{alto del tanque.}$$

$$Hf_1 = 17.50 + 17.00 = 34.50 \text{ metros.}$$

### Pérdidas en la tubería de impulsión.

De la ecuación de Hazen Williams se calcula las pérdidas por fricción en la tubería, utilizando la siguiente fórmula:

#### Pérdida de carga $H_f$ .

$$H_f = \frac{1,743.81141 * L * Qc^{1.852}}{D_i^{4.87} * C^{1.852}}$$

Dónde:

$H_f$  = Pérdida de carga por fricción en metros.

$L$  = Longitud del tramo en metros.

$Q$  = Caudal conducido en litros/segundos.

$C$  = Coeficiente de fricción de Hazen Williams, que depende de la rugosidad del material, para tubería pvc se adoptará un valor de 150 adimensional.

$D$  = Diámetro interno de la tubería en pulgadas.

Al sustituir los datos se obtiene el siguiente resultado:

$$H_f \text{ 3"} = \frac{1743.811 * 740.00 * 2.52^{1.852}}{3^{4.87} * 150^{1.852}} = 3.16 \text{ mca}$$

### Pérdidas por velocidad.

Las pérdidas por velocidad se deben principalmente por la velocidad y la gravedad que actúa sobre el líquido. Se determina con la fórmula siguiente:

$$H_{fv} = \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

$H_{fv}$  = Pérdida por velocidad.

$g$  = Gravedad =  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

Al sustituir los datos se obtiene el siguiente resultado:

$$H_{fv} = \frac{0.55^2}{2 * 9.8} = 0.015 \text{ mca}$$





### **Pérdidas menores.**

Las pérdidas menores se atribuyen a pérdidas en accesorios que se utilizan en la línea de conducción, para el presente proyecto no existen muchos accesorios utilizados que signifiquen una pérdida significativa, por lo que se asume un 10 % de las pérdidas por fricción en la tubería de impulsión.

$$H_{fm} = 0.10 \times H_f$$

Dónde:

$H_{fm}$  = Pérdidas menores.

$H_f$  = Pérdidas por fricción en tubería de impulsión.

$$H_{fm} = 0.10 \times 3.16$$

$$H_{fm} = 0.316 \text{ mca.}$$

### **Altura de reserva.**

Se considera una altura de reserva de 5 metros debido a que el tanque se puede construir en otro lugar del sector con una cota de terreno diferente a la proyectada.

### **Carga dinámica total (CDT).**

Al haber calculado todas las pérdidas disponibles en la línea de impulsión se proceden a realizar los cálculos de la carga dinámica total:

$$CDT = H_{f1} + H_{fi} + H_{fv} + H_{fm} + \text{Altura de reserva.}$$

$$CDT = 34.50 \text{ m} + 3.16 \text{ m} + 0.015 \text{ m} + 0.316 \text{ m} + 5$$

$$CDT = 42.91 \text{ mca} + \text{profundidad del nivel estático.}$$

$$CDT = 42.91 + 72.00 = 114.91 \text{ metros.}$$

### **Potencia del equipo de bombeo.**

La potencia de la bomba debe garantizar el buen funcionamiento del sistema, ya que es parte esencial de éste.

Para obtener la potencia de la bomba se utiliza la fórmula siguiente:

$$Pot = \frac{(CDT \times Q_b)}{(76 \times e)}$$

Dónde:

Pot	=	Potencia de la bomba
$Q_b$	=	Caudal de bombeo = 1,44 litros/segundo
e	=	Eficiencia de la bomba = 60 %
CDT	=	Carga dinámica total más sobre presión.



$$\text{Pot} = \frac{(114.91 \text{ mca} \times 2.52\text{ts/segundo})}{(76 \times 0.60)} = 6.35 \text{ HP} = \mathbf{7.5 \text{ HP.}}$$

Entonces para poder satisfacer las condiciones requeridas se necesita utilizar una bomba sumergible monofásico de 6 etapas con motor de 7.5 HP, debido a las características de funcionamiento y capacidad del equipo de bombeo.

## DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

El diseño de la red de distribución se efectuará por medio de ramales abiertos, debido a lo disperso de las viviendas y a las condiciones topográficas del lugar.

El caudal de diseño para la red de distribución será el caudal máximo horario.

Para el diseño se determina el caudal unitario de vivienda, el cual se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Qu} = \frac{Qd}{Tv}$$

Dónde:

Qu = Caudal unitario de vivienda en litros/segundo/vivienda

Qd = Caudal de distribución litros/segundo. De caudal máximo horario.

Tv = Total de viviendas actuales.

Al sustituir los datos en la fórmula se obtiene:

$$\mathbf{Qu} = \frac{3.52 \text{ litros/segundo}}{130 \text{ viviendas}} = \mathbf{0.027 \text{ litros/segundo/vivienda}}$$

Para determinar el caudal de diseño de un tramo de la red de distribución, se suma el caudal de vivienda del tramo más los caudales de vivienda que llegan a ese tramo. El caudal de vivienda es igual al producto del caudal unitario por el número de viviendas en el tramo.

A continuación se presenta el diseño del tramo No. 1 (E-1 a E-3) y los datos son los siguientes:

Longitud = 256.40 metros (incluye un factor de 5 % de ondulación)

Cota E-1 = 112.00 m

Cota E-0 = 94.30 m

Número de viviendas en el tramo = 130 viviendas.



Teniendo en cuenta los datos anteriores, el caudal de vivienda se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$Q_v = Q_u \times N_{viv}$$

Dónde:

$Q_v$  = Caudal de vivienda litros/segundo

$Q_u$  = Caudal unitario en litros/segundo/vivienda

$N_{viv}$  = Número de viviendas del tramo.

Al sustituir datos se obtiene el siguiente resultado:

$$Q_v = 0.027 \text{ litros/segundo/vivienda} \times 130 \text{ viviendas}$$

$$Q_v = 3.51 \text{ litros/segundo.}$$

Entonces el caudal de diseño será:

$$Q_d = 3.51 \text{ lts/segundo.}$$

Para el diseño del tramo primero se calculará la carga disponible o la diferencia de nivel entre las dos estaciones:

$$H_f \text{ disponible} = \text{Cota E-1} - \text{Cota E-3}$$

$$H_f \text{ disponible} = 112.00 \text{ m} - 94.30 \text{ m} = 17.70 \text{ metros}$$

Para esta pérdida de carga disponible se determina el **diámetro teórico**:

**Diámetro.**

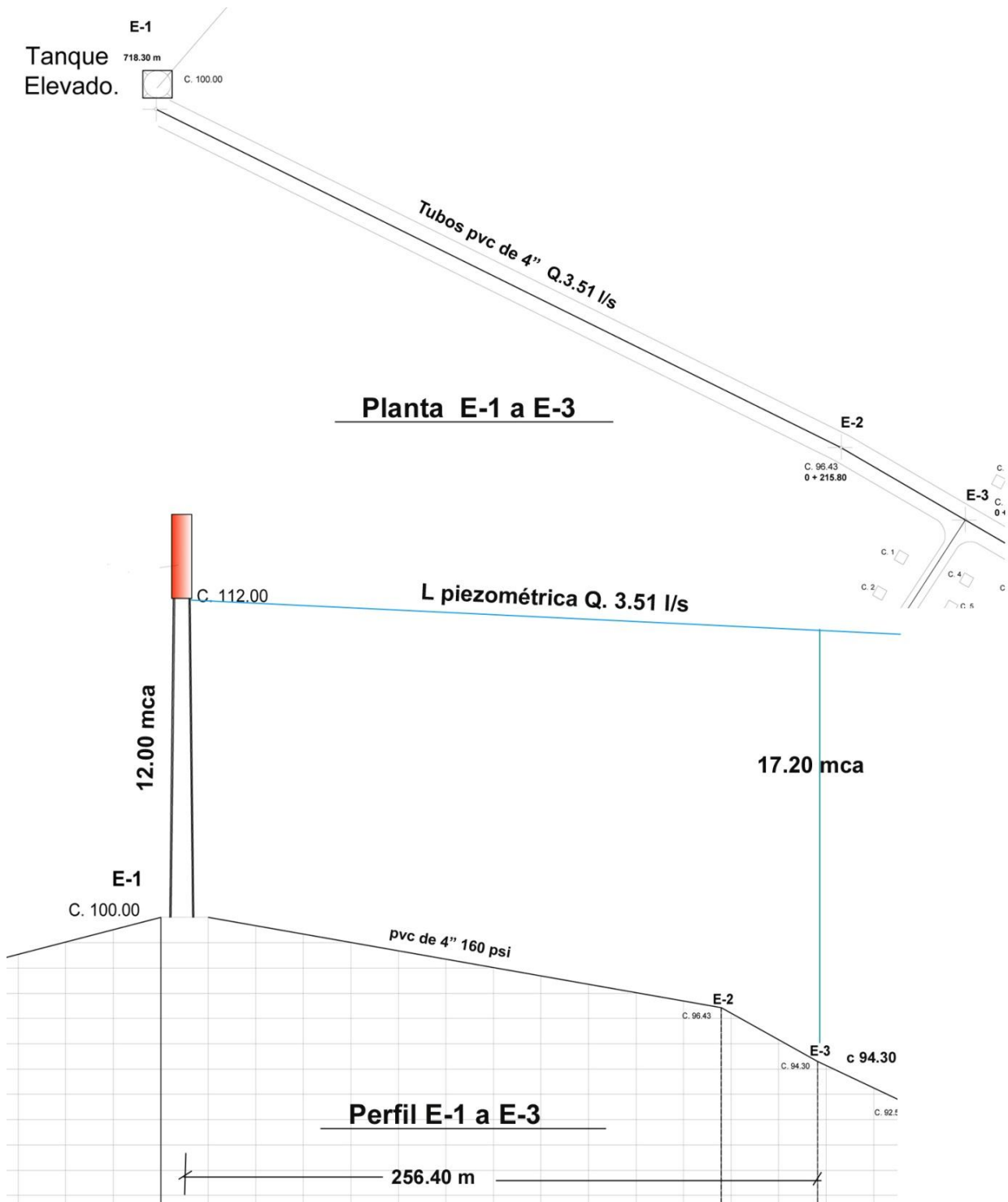
$$D = \left( \frac{1,743.81141 * L * Q_c^{1.852}}{H_f * C^{1.852}} \right)^{1/4.87}$$

$$D_{teórico} = \left[ \frac{1,743.811 * 256.40 * 3.51^{1.852}}{150^{1.852} * 17.70} \right]^{1/4.87}$$

$$D_{teórico} = 3.46 \text{ pulgadas.} = 4''$$

Este resultado se aproxima a un diámetro comercial inferior y superior. Al calcular para cada diámetro la pérdida de carga se selecciona el diámetro que de mejor resultado al diseño hidráulico.

Para este tramo el diámetro que mejor se adaptó al diseño hidráulico es 4" SDR 26.



Para realizar todos los cálculos es recomendable utilizar y programar las fórmulas en Excel, para efectuarlos de una manera exacta y rápida.



### Pérdida de carga Hf.

$$H_f = \frac{1,743.81141 * L * Q_c^{1.852}}{D_i^{4.87} * C^{1.852}}$$

$$H_f = \frac{1743.811 \times 256.40 \times 3.51^{1.852}}{150^{4.87} \times 4^{1.852}} = 0.50 \text{ mca}$$

**La presión estática** en este tramo será igual a la carga disponible, es decir 17.70 mca (metros columna de agua). El 80% de la presión de trabajo de la tubería propuesta es de 90 mca, el cual es superior a la presión estática lo cual asegura que la tubería propuesta resistirá la presión de diseño.

**La presión dinámica** en E-3 será la resta de la presión estática menos la pérdida de carga concentrada en ese punto.

$$17.70 \text{ mca} - 0.50 \text{ mca} = 17.20 \text{ mca.}$$

**La cota piezométrica** en E-3 se calcula con la siguiente fórmula:

$$CP \text{ E-3} = (\text{Cota E-1} - H_f \text{ E-1 a E-3}) = 112 \text{ mca} - 0.50 \text{ mca} = 111.50 \text{ mca.}$$

Se comprueba la velocidad

$$V = \frac{1.97352524 * Q_c}{D_i^2}$$

$$V = \frac{1.97352524 * 3.51}{4^2} = 0.53 \text{ ms/segundo.}$$

El resultado obtenido se encuentra dentro del rango de

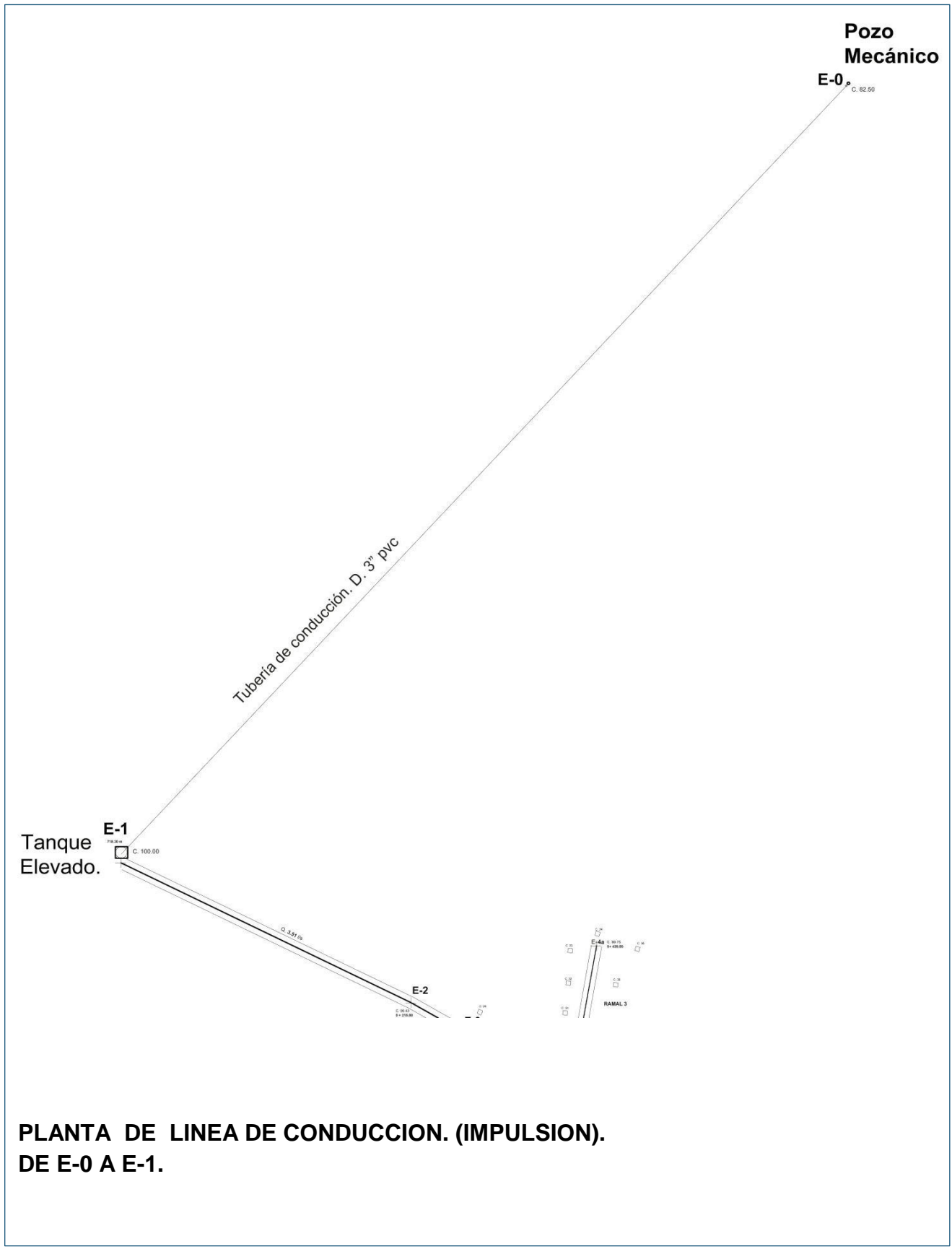
0.50 metros/segundo < Velocidad < 3 metros/segundo.

Con un resultado de 0.53 metros/segundo, no existe problema ya que el líquido no presenta sedimentos pudiendo llegar hasta 0.4 metros/segundo.

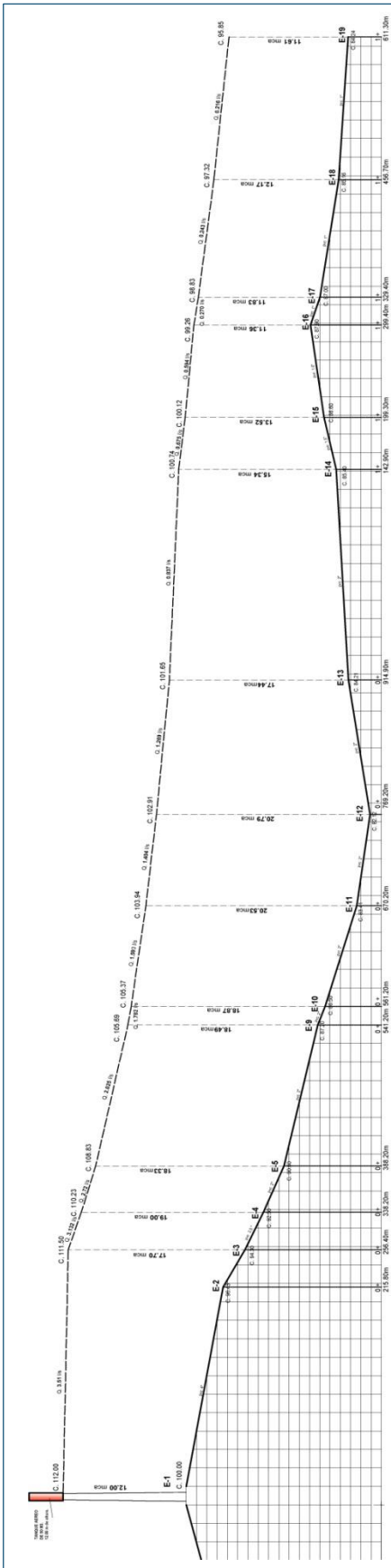


### Resumen de cálculo hidráulico.

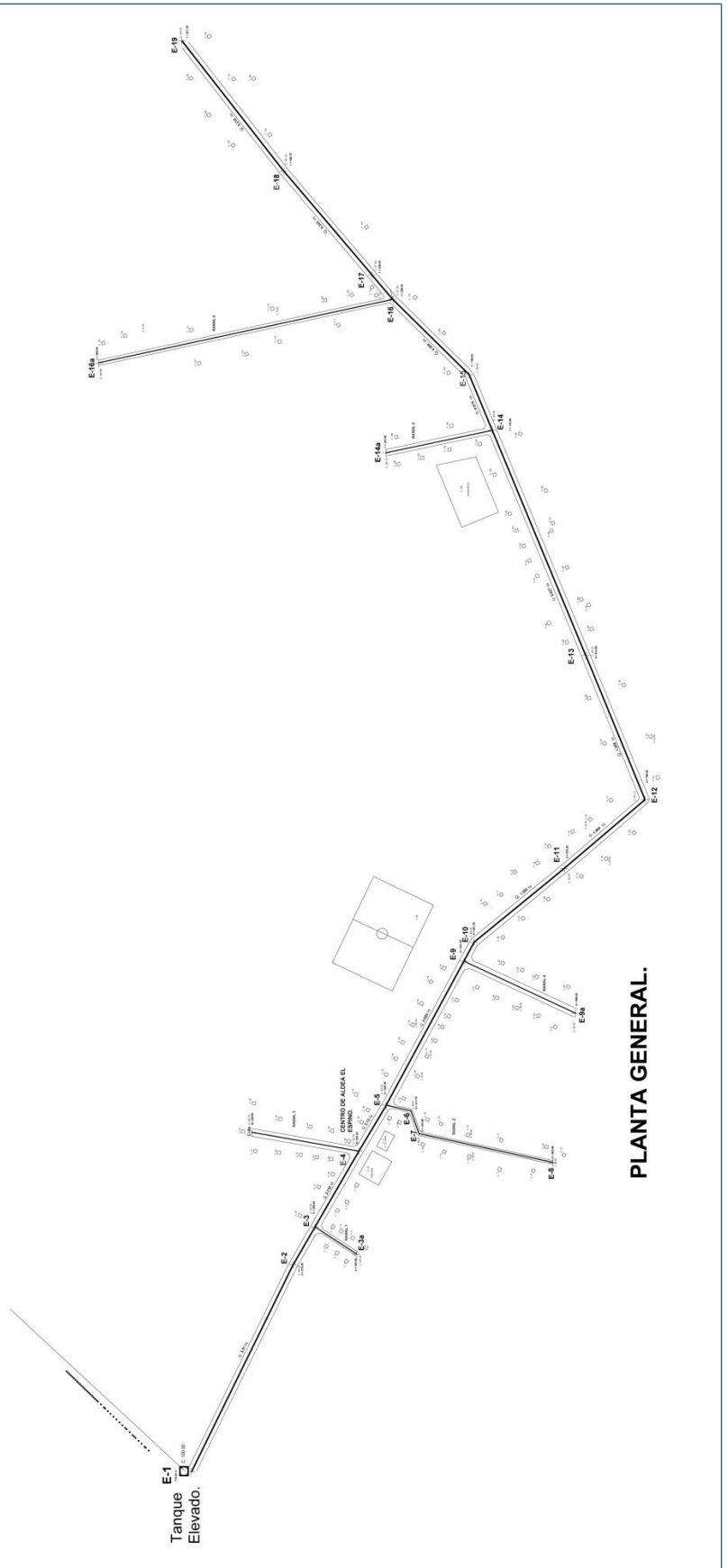
Tramo	Diamet	clase	Q.	Vel.	Hf	Cota d terre		Cota piezo		Presión Dispon		Dist
	Nom	psi	l/s	m/s	m	Inicial.	Final	Inicial.	Final	Inicial	Final	m
<b>0 - 1</b>	3"	160										<b>718.30</b>
<b>1 - 3</b>	4"	160	<b>3.510</b>	0.53	<b>0.50</b>	100.00	94.30	112.00	111.50	12.00	17.70	<b>256.40</b>
<b>3 - 4</b>	2.5"	160	<b>3.132</b>	0.98	<b>1.27</b>	94.30	92.50	111.50	110.23	17.70	19.00	<b>81.80</b>
<b>4 - 5</b>	2"	160	<b>2.727</b>	1.34	<b>1.40</b>	92.50	90.50	110,23	108.83	19.00	18.33	<b>50.00</b>
<b>5 - 9</b>	2"	160	<b>2.025</b>	0.99	<b>3.14</b>	90.50	87.20	108.83	105.69	18.33	18.49	<b>153.00</b>
<b>9 - 10</b>	2"	160	<b>1.782</b>	0.87	<b>0.32</b>	87.20	86.50	105.69	105.37	18.49	18.87	<b>20.00</b>
<b>10 - 11</b>	2"	160	<b>1.593</b>	0.78	<b>1.43</b>	86.50	83.41	105.37	103.94	18.87	20.53	<b>109.00</b>
<b>11 - 12</b>	2"	160	<b>1.404</b>	0.70	<b>1.03</b>	83.41	82.12	103.94	102.91	20.53	20.79	<b>99.00</b>
<b>12 - 13</b>	2"	160	<b>1.269</b>	0.62	<b>1.26</b>	82.12	84.21	102.91	101.65	20.79	17.44	<b>145.70</b>
<b>13 - 14</b>	2"	160	<b>0.837</b>	0.51	<b>0.91</b>	84.21	85.40	101.65	100.74	17.44	15.34	<b>228.00</b>
<b>14 - 15</b>	1.5"	160	<b>0.675</b>	0.60	<b>0.62</b>	85.40	86.60	100.74	100.12	15.34	13.52	<b>56.40</b>
<b>15 - 16</b>	1.5"	160	<b>0.594</b>	1.17	<b>0.86</b>	86.60	87.90	100.12	99.26	13.52	11.36	<b>100.10</b>
<b>16 - 17</b>	1"	160	<b>0.270</b>	0.54	<b>0.43</b>	87.90	87.00	99.26	98.83	11.36	11.83	<b>30.00</b>
<b>17 - 18</b>	1"	160	<b>0.243</b>	0.48	<b>1.51</b>	87.00	85.16	98.83	97.32	11.83	12.17	<b>127.30</b>
<b>18 - 19</b>	1"	160	<b>0.216</b>	0.48	<b>1.47</b>	85.16	84.24	97.32	95.85	12.17	11.61	<b>154.60</b>



**PLANTA DE LINEA DE CONDUCCION. (IMPULSION).  
DE E-0 A E-1.**

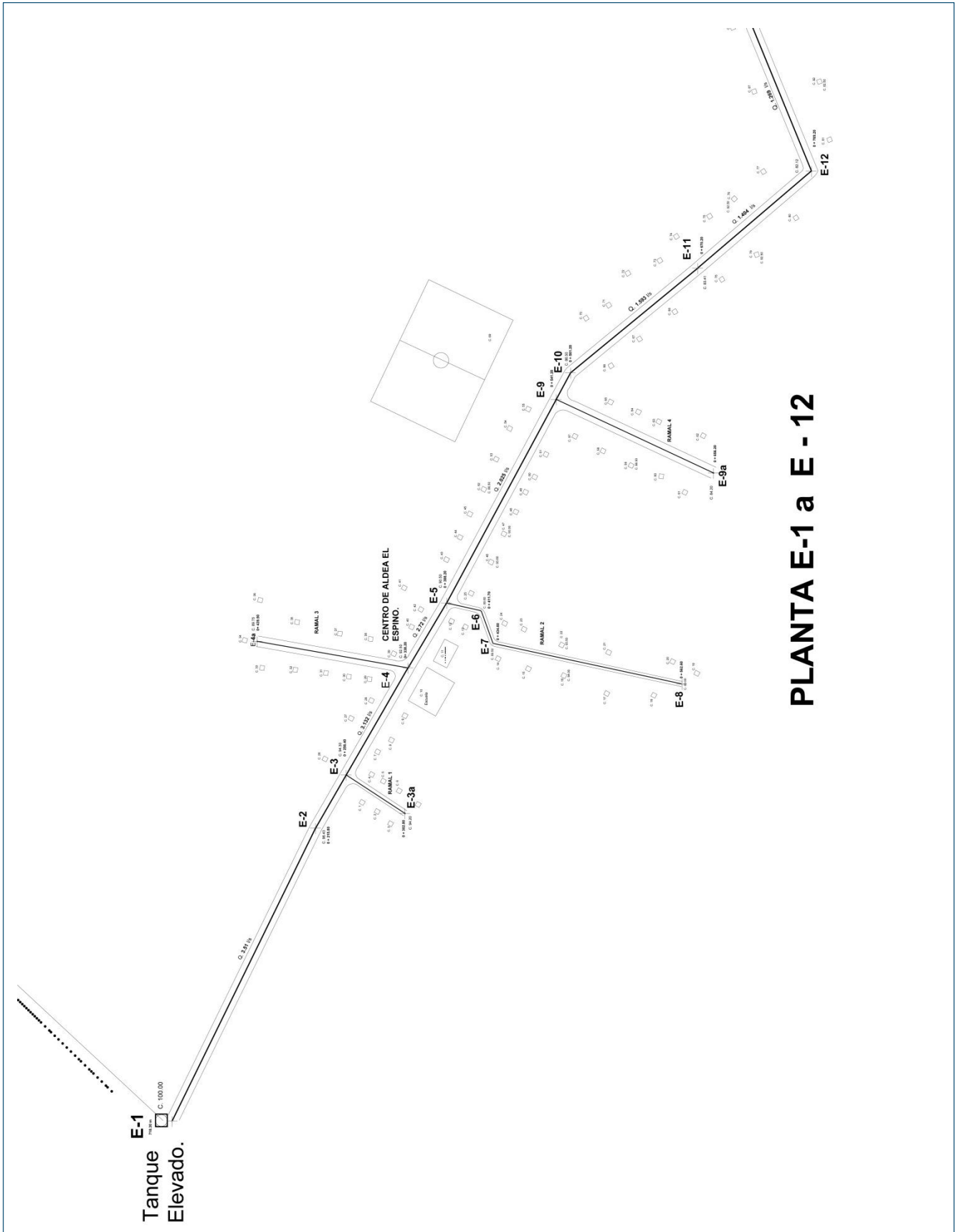


PERFIL DE LINEA GENERAL.

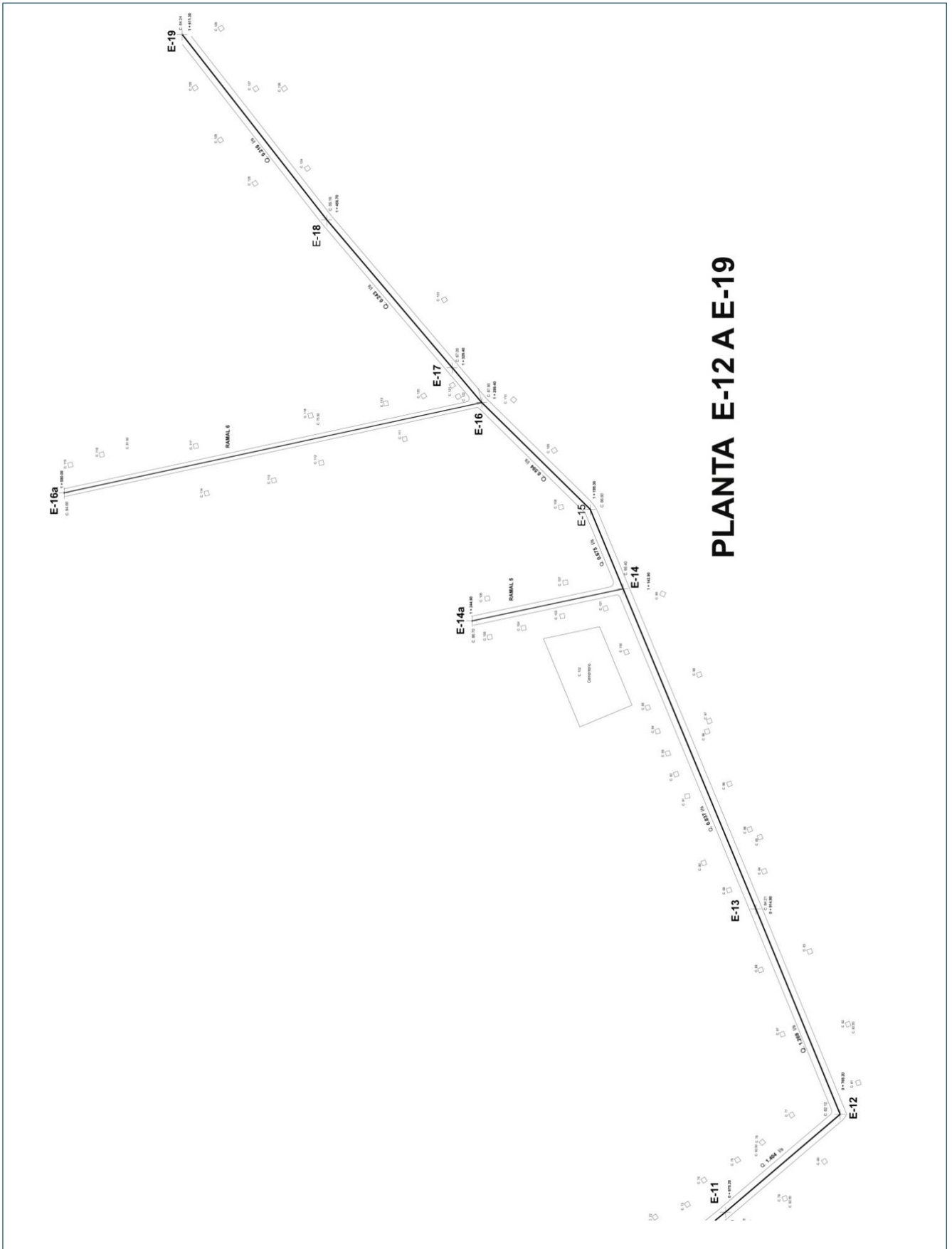


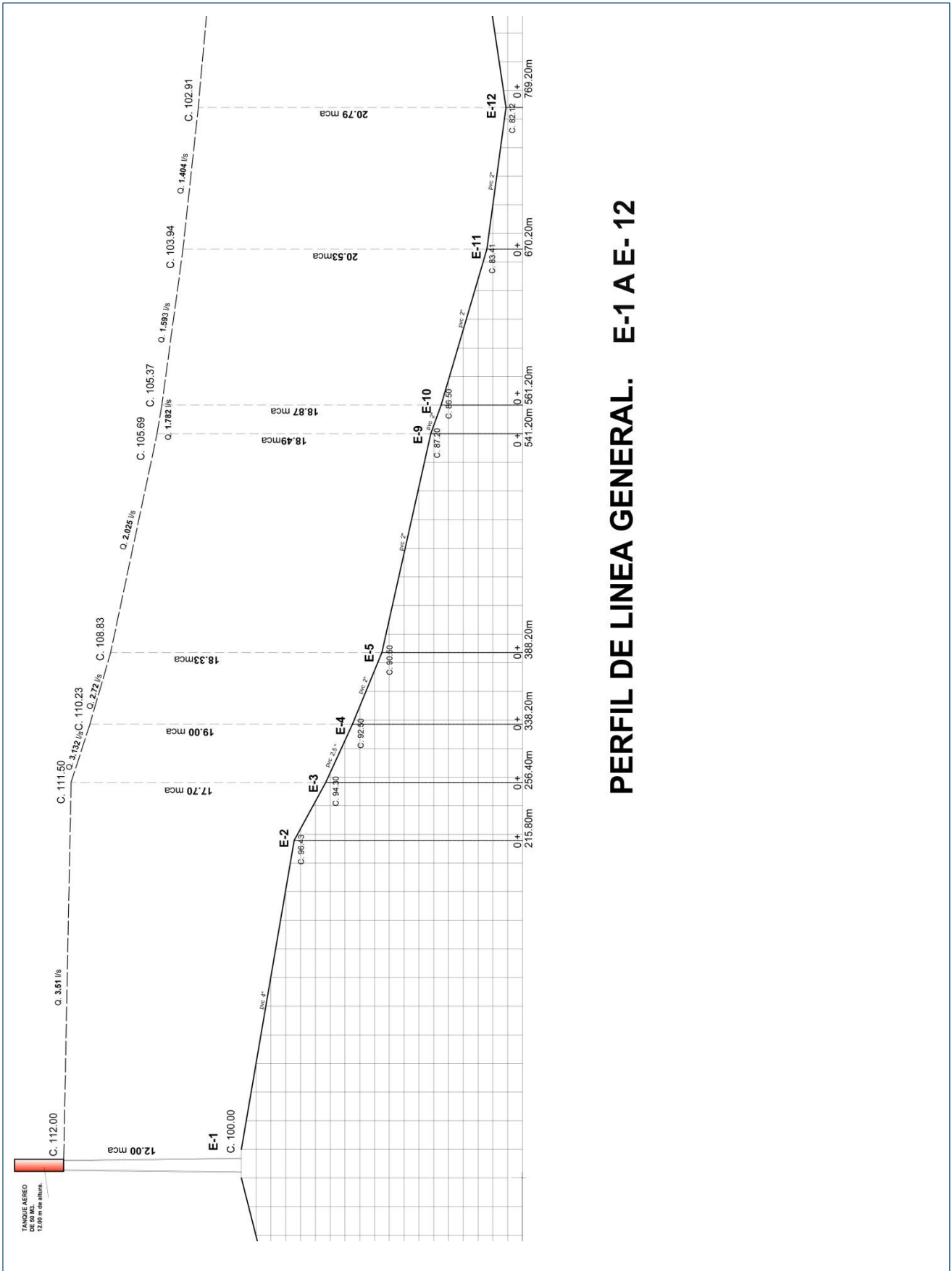
PLANTA GENERAL.

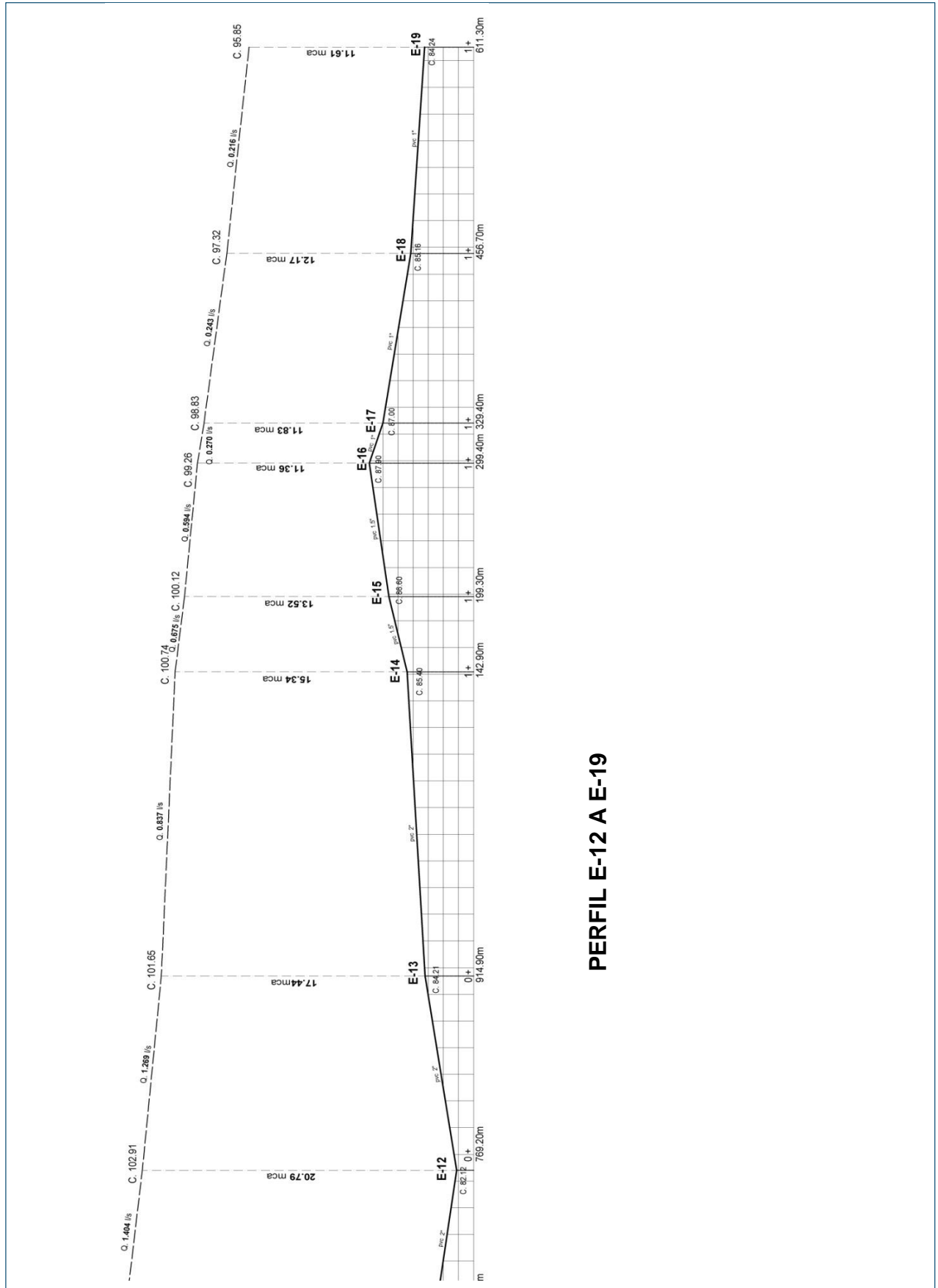




**PLANTA E-1 a E - 12**







**PERFIL E-12 A E-19**



## **CONCLUSIONES.**

Que el estudiante de arquitectura y epesistas realicen el cálculo y diseño completo de proyectos de agua potable, solamente ordenando los datos y utilizando fórmulas y procedimientos de cálculo sencillos que no tienen mayor complejidad para efectuarlos.

Que puedan tener con claridad los conceptos básicos para poder definir un proyecto de agua potable que sea abastecido por medio de la perforación de pozos mecánicos.

Se concluye que la perforación de pozos mecánicos es una solución eficaz al problema de la escasez de fuentes de abastecimiento de agua, por lo que resulta ser una solución económica, el agua está casi totalmente libre de contaminantes y su mantenimiento es bajo.

Que las comunidades tendrán un apoyo eficiente en los estudiantes de eps para poder realizar los proyectos de agua que requieran, de una manera técnica y exacta, ya que la mayoría de comunidades e instituciones encargadas no cuentan con el personal calificado para efectuar los proyectos de agua potable.

## **RECOMENDACIONES.**

Es importante implementar cursos en la carrera de arquitectura que desarrollen a profundidad el tema del diseño de sistemas de agua potable, para poder tener el conocimiento completo para el desarrollo de estos proyectos durante el desarrollo del eps y durante el ejercicio de la vida profesional.

Se plantea para realizar los cálculos de sistema de agua utilizar la fórmula hidráulica Hazen-Williams, se recomienda usarlo por su sencillez y es el que más se utiliza en todas las instituciones de estado relacionados con el ramo.

Que al momento de efectuar los cálculos se ordenen de una manera sistematizada todos los datos involucrados, para realizar un diseño óptimo sin ningún tipo de error que pueda significar problemas en el proyecto, por lo que se recomienda revisar con especial cuidado todo el procedimiento

Que antes de tomar la decisión de perforar un pozo mecánico, se agoten todas las posibilidades de analizar y usar sistemas de agua por gravedad, ya que estos son mucho más económicos, ya que no se usa ningún tipo de energía para obtener el agua.



## **BIBLIOGRAFÍA y FUENTES DE CONSULTA**

### **Bibliografía:**

- 1.- Tesis: Hubert Alid González Sandoval. Guía para la elaboración de Documentos de Graduación, para la facultad de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, USAC. 2008.
- 2.- Emilio Lentini. Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Guatemala. Beneficios Potenciales y Determinantes de éxito. Cepal, Gtz, Guatemala 2010.
- 3.- Marcelo Andrés Saravia Gallardo. Orientación metodológica para la elaboración de proyectos e informes de investigación. Enero del 2006. Barcelona España.
- 4.- Johnson División, UOP Inc. El Agua Subterránea y Los Pozos, Saint Paul, Minnesota 1975.
- 5.- Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua. Organización Panamericana de Salud, Lima Perú 2005.
- 6.- Dirección General de Obras Públicas. Normas de Diseño de Acueductos. Guatemala, 1987.
- 7.- INFOM – UNEPAR. (Instituto de fomento municipal). Unidad Ejecutora del programa de acueductos rurales.
- 8.- Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zonas rurales. 2ª. Edición, Guatemala, año 2000.
- 9.- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guía para la preparación, construcción y supervisión de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Guatemala 2000.

### **Fuentes de consulta:**

- 1.- Ingeniero Edgar Tobías. Geólogo. PERFOSONDA, Guatemala.
- 2.- PERFOTEK. Anotaciones personales de perforación de 50 pozos en distintos lugares y condiciones. Quetzaltenango.
- 3.- Ingeniero Juan Antonio Castillo. CHUIKABAL. Quetzaltenango.
- 4.- Ingeniero: Guillermo Schwartz. CONSTROC. Guatemala.
- 5.- Ingeniero Julio Velásquez. Consultor Ambiental.. DURMAN ESQUIVEL. Guatemala.



Guatemala, septiembre 30 de 2015.

Señor Decano  
Facultad de Arquitectura  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Msc. Arq. Byron Alfredo Rabé Rendón  
Presente.

Señor Decano:

Atentamente, hago de su conocimiento que con base en el requerimiento del estudiante de la Facultad de Arquitectura: **OSCAR RENÉ GONZÁLEZ HERNÁNDEZ**, Carné universitario No. **8314186**, realicé la Revisión de Estilo de su proyecto de graduación titulado: **SISTEMAS DE AGUA Y PERFORACIÓN DE POZOS MECÁNICOS EN ARQUITECTURA**, previamente a conferírsele el título de Arquitecto en el grado académico de Licenciado.

Y, habiéndosele efectuado al trabajo referido, las adecuaciones y correcciones que se consideraron pertinentes en el campo lingüístico, considero que el proyecto de graduación que se presenta, cumple con la calidad técnica y científica que exige la Universidad.

Al agradecer la atención que se sirva brindar a la presente, me suscribo respetuosamente,



*Lic. Maricella Saravia  
Colegiada 10804*

Lic. Maricella Saravia de Ramírez  
Colegiada 10,804

Maricella Saravia de Ramírez  
Licenciada en la Enseñanza del Idioma Español y de la Literatura  
Especialidad en corrección de textos científicos universitarios

Teléfonos: **3122 6600** - 5828 7092 - 2232 9859 - 2232 5452 - maricellasaravia@hotmail.com




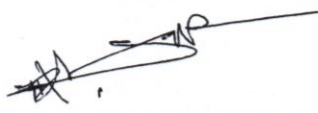
## “SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y PERFORACIÓN DE POZOS MECANICOS EN ARQUITECTURA”

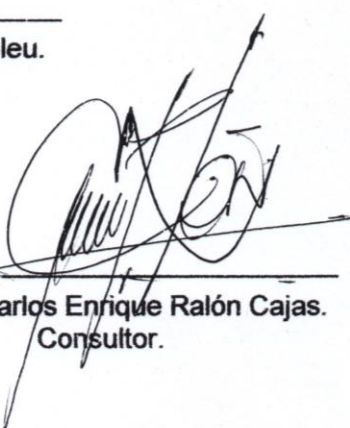
Proyecto de Graduación desarrollado por:

  
Oscar René González Hernández.  
Sustentante.

Asesorado por:

  
Mcs. Arq. César Anibal Córdova Anleu.  
Asesor.

  
Mcs. Arq. Miguel Luis Álvarez Medrano.  
Consultor.

  
Arq. Carlos Enrique Ralón Cajas.  
Consultor.

**IMPRÍMASE:**

**“¡D Y ENSEÑAD A TODOS.”**

  
Mcs. Arq. Byron Alfredo Rabé Rendón  
Decano