



*Lider en Ciencia y Tecnología*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“Diseño de un Pozo para Suministro de Agua Potable en el Municipio de Nandaime departamento de Granada”**

Para Optar al Título de Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Xochil Gricell Sevilla Herrera  
Br. Yeral de Jesus Gutiérrez Jarquin  
Br. Nelson David Hurtado Mendoza

**Tutor:**

Dr. Ing. Efraín Chamorro

**Asesor:**

Ing. Aldo Alvarado

Managua, Mayo 2016



## RESUMEN

El presente trabajo está dividido en seis capítulos, los cuales a su vez se dividen en temas específicos como lo es Generalidades, Marco Teórico, Diseño Metodológico, Datos de la Zona, Cálculos y Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

Así mismo este estudio comprendió una serie de trabajo en el terreno, consultas con autoridades municipales, líderes comunales y barrios, así como investigaciones en oficinas, consultas en informes técnicos, monografías y otros.

El objetivo de este proyecto es ampliar la cobertura del servicio del agua potable ya que actualmente el 60% recibe el servicio al día con este diseño de pozo, se pretende brindar una solución técnica para un plazo de 20 años de prestación del servicio cumpliendo siempre con las normas técnicas propuestas a la fecha por el Instituto Nicaragüense de Acueducto y Alcantarillado (INAA).

La selección del sitio donde esta propuesto construir el pozo cumple con los criterios técnicos, ambientales y de salud para la exigencia de las distintas normativas a nivel nacional.

La propuesta de este sistema de agua potable está equipada de 1 Estación de Bombeo, su Línea de Conducción, 1 Tanque de Almacenamiento y la Red de Distribución.



# INDICE

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 ANTECEDENTES .....	3
1.4 JUSTIFICACION.....	4
1.5 LOCALIZACIÓN.....	5

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

2.1 Origen, Manifestación y Movimiento del Agua Subterránea.....	6
2.1.1 Humedad del Suelo y Agua Subterránea.....	6
2.1.2 Distribución Sub-superficial del Agua .....	7
2.2 Fundamentos de Hidrogeología.....	8
2.2.1 Condiciones de la Superficie Freática .....	9
2.2.2 Condiciones de Artesianismo.....	9
2.2.3 Factores de Infiltración .....	10
2.2.4 Los Procesos Geológicos Originan Acuíferos .....	10
2.2.4.1 Las Funciones de un Acuífero .....	11
2.2.4.2 Porosidad .....	12
2.2.4.3 Permeabilidad.....	12
2.2.4.4 Espesor del acuífero.....	12
2.2.4.5 Acuíferos .....	12
2.2.4.6 Acuíferos Libres .....	13
2.2.4.7 Acuíferos Confinados .....	14
2.2.4.8 Acuíferos Semiconfinados.....	14
2.3. Definiciones y Parámetros para Diseños de Pozos.....	15
2.3.1. Hidráulica de Pozos.....	15

2.3.2 Naturaleza del Flujo Convergente .....	16
2.3.3 Definición de Términos.....	17
2.3.4 Flujo Inicial desde el Acuífero al Pozo .....	18
2.3.5 Formulas del Régimen de Equilibrio .....	19
2.3.6 Determinación de la Permeabilidad del Acuífero .....	22
2.3.7 Relación entre el Diámetro del Pozo y la Descarga .....	23
2.3.8 Relación entre el Abatimiento y la Descarga.....	23
2.3.9 Formula del Régimen de No Equilibrio .....	24
2.3.9.1 Formula del No Equilibrio. ....	25
2.3.10 Recargas Provenientes de un Rio.....	25
2.4 Criterio de Diseño de Pozo .....	26
2.4.1 Diámetro del Pozo.....	26
2.4.2 Profundidad del Pozo .....	26
2.4.3 Entubación Definitiva .....	27
2.4.4 Habilitación.....	28
2.4.5 Zona de Captación.....	28
2.4.6 Longitud de las Rejillas .....	29
2.4.7 Abertura de la ranuras de la rejillas.....	30
2.4.8 Diámetro de la rejilla .....	30
2.4.9 Filtro de Grava .....	31
2.4.10 Sello sanitario .....	32
2.4.11 Limpieza y Desarrollo .....	32
2.4.12 Métodos de perforación del pozo .....	32
2.4.12.1 Perforación de percusión.....	33
2.4.12.2 Perforación de rotación.....	35
2.4.12.3 Perforación rotatoria con aire comprimido.....	36
2.5 Montaje y Sistema de Propulsión.....	37
2.5.1 Verticalidad y Alineamiento .....	38
2.5.2 Prueba de Bombeo .....	40
2.5.3 Estación de Bombeo.....	41
2.5.4 Carga Estática .....	41
2.5.6 Carga Dinámica (Fricción) .....	42

2.5.7 Tablas de Fricción.....	42
2.5.8 Demanda de la Población.....	44
2.5.9 Cálculo de Población.....	44
2.5.10 Dotación.....	44
2.5.11 Variaciones de Consumo.....	45
2.5.12 Presiones Máximas y Mínimas .....	45
2.5.13 Pérdidas de Agua en el Sistema .....	46
2.6 Estaciones de Bombeo.....	46
2.6.1 Equipo de Bombeo y Motor .....	46
2.6.1.1 Bombas Verticales.....	46
2.6.2 Almacenamiento.....	48
<b>CAPITULO III</b>	
<b>DISEÑO METODOLOGICO</b>	
3.1 Información Recopilada.....	50
3.2 Caracterizar la hidrogeología de la formación acuífera en la zona de estudio.....	50
3.2.1 Determinación de la litología de la zona de estudio.....	51
3.2.2 Determinación del Acuífero Encontrado en la Zona.....	51
3.2.3 Determinar el Espesor del Acuífero .....	51
3.2.4 Permeabilidad.....	52
3.2.5 Rendimiento Especifico.....	52
3.2.6 Porosidad.....	53
3.2.7 Transmisividad.....	53
3.3 Determinar y caracterizar los parámetros para el diseño del pozo.....	53
3.3.1 Método de perforación.....	54
3.3.2 Profundidad del Pozo .....	54
3.3.3 El Ademe .....	54
3.3.4 Diámetro de la Cámara de Bombeo o Diámetro del Ademe .....	55
3.3.5 Diámetro de los Tazones de la Bomba.....	55
3.3.6 Diámetro de la perforación .....	55
3.3.7 Filtro de Grava .....	55
3.3.8 Selección de la Rejilla .....	56
3.3.9 Determinación del Área Abierta en las Rejillas .....	57

3.3.10 Longitud de Rejilla .....	58
3.3.11 Sello Sanitario.....	58
3.3.12 Calculo del Volumen de concreto a Utilizar en el Sello Sanitario.....	58
3.3.13 Determinación del material a utilizar .....	58
3.3.14 Determinación del Equipo para la Prueba de Bombeo.....	59
3.3.15 Especificaciones Técnicas del Equipo para la Prueba de Bombeo.....	60
3.3.16 Prueba de Bombeo .....	61
3.3.17 Cronograma del tiempo de perforación en cada proceso .....	62
3.4 Diseñar y Seleccionar el Equipo de Bombeo Según Demanda y Rendimiento del Pozo. ...	62
3.4.1 Determinación del Diámetro de la Tubería de Impulsión.....	62
3.4.2 Determinación de la Carga Total Dinámica .....	63
3.4.3 Determinación del Equipo de Bombeo .....	66
3.4.4 Potencia del Equipo de Bombeo.....	66
3.4.4.1 Potencia del Motor .....	66
3.4.5 Diseño de la Estación de Bombeo .....	66
3.4.6 Demanda de la Población.....	67
3.4.6.1 Cálculo de Población.....	67
3.4.6.2 Dotación .....	68
3.4.6.3 Variaciones de Consumo.....	68
3.4.6.4 Determinación del Caudal para la Población Proyectada .....	69

## **CAPITULO IV**

### **DATOS DE LA ZONA**

4.1 Precipitación .....	70
4.2 Condiciones extremas .....	70
4.2.1 Años Secos .....	70
4.2.2 Años Húmedos .....	70
4.2.3 Escurrimiento Estimado .....	71
4.2.4 Parámetros del Balance Hídrico .....	72
4.2.5 Resultados obtenidos en el Balance Hídrico .....	73
4.2.6 Condiciones Hidrogeológicas del Área de Estudio.....	73
4.2.6.1 Geología .....	73
4.2.6.2 Aguas Subterráneas.....	74

4.2.6.3 Características Litológicas y Estructurales .....	74
4.2.6.4 El sistema Acuífero.....	75
4.2.6.5 Hidrodinámica Subterránea.....	76
4.2.6.6 Recarga y Descarga del Acuífero .....	77
4.3 Parámetros Preliminares .....	77

## **CAPITULO V**

### **CALCULOS Y RESULTADOS**

5.1 Caracterizar la Hidrogeología de la Formación Acuífera en la Zona de Estudio .....	79
5.2 Determinar y Caracterizar los Parámetros para el Diseño del Pozo.....	83
5.3 Diseñar y Seleccionar el Equipo de Bombeo según demanda y rendimiento del Pozo .....	104
5.4 Diseño Hidráulico de la Red de Distribución.....	131

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 CONCLUSIONES.....	138
6.2 RECOMENDACIONES.....	139

## **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXOS**

#### PLANOS

PLANO I Caratula

PLANO II Conjunto

PLANO III Detalle del pozo perforado

PLANO IV Lámina

PLANO V Lámina

PLANO VI Lámina

PLANO VII Lámina

PLANO VIII Lámina

PLANO IX Lámina

PLANO X Lámina

## 1.1. INTRODUCCION

Nicaragua está dividida territorialmente en departamentos y municipios y a la vez en cuencas hidrográficas que traspasan los límites políticos- administrativos de los mismos; y que están relacionadas con los recursos hídricos. De las 21 cuencas hidrográficas existentes en el país, 13 drenan a la vertiente del Mar Caribe y 8 al Pacífico. En contraposición económica los ríos que drenan al Caribe son más extensos y caudalosos y los del Pacífico son más cortos y con menos caudal. Sin embargo la población Nicaragüense se encuentra concentrada y densamente en el mismo.

Hay problemas de disponibilidad en los recursos hídricos en algunas zonas del País, por consiguiente hay sectores que no tienen acceso al abastecimiento y si lo tienen probablemente no existen condiciones excelentes en la calidad del mismo.

Debido al déficit en la oferta de aguas superficiales y la deforestación extensiva que han sufrido las cuencas en los últimos años, se ha incrementado significativamente la explotación de las aguas subterráneas, para diferentes usos. Este aprovechamiento, que en la mayoría es sin ninguna evaluación y control del recurso, ha generado en algunas áreas una serie de impactos ambientales negativos sobre este, ocasionados por su explotación intensiva. El desarrollo agrícola en Nicaragua, se ha caracterizado por la cultura del monocultivo, en las áreas potencialmente aptas para la agricultura.

En la cuenca hidrogeológica que comprende el denominado acuífero de Nandaime, se ha llevado a cabo proyectos agrícolas principalmente para los Cultivos de caña de azúcar, arroz, y algodón, para los cuales se han utilizado las aguas del río Ochomogo y subterráneas, estas últimas extraídas de aproximadamente 44 pozos perforados

La población del área ha aumentado considerablemente, teniendo como consecuencias el desarrollo de zonas urbanas que afectan la recarga del acuífero. Se conoce que no toda la población urbana posee sistema de agua potable y alcantarillado; Por lo tanto con el presente trabajo se pretende realizar un diseño de un pozo de agua potable en el municipio de Nandaime para facilitar el acceso de agua potable donde no hay servicio suministrado por ENACAL.

La mayor parte de la población de la zona rural se abastece del vital líquido a través de pozos, ríos y por medio de puestos de agua y mini acueductos.

En el área urbana existen alrededor de 1,000 viviendas y se cuentan con servicio domiciliario de agua potable 667 viviendas, o sea 66.7% del total.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Diseñar un pozo para el Suministro de Agua Potable en el Municipio de Nandaime, Departamento de Granada.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la Hidrogeología de la formación en la zona de estudio.
- Determinar y caracterizar los parámetros para el diseño del pozo para un periodo de 20 años.
- Diseñar y seleccionar el equipo de bombeo según la demanda y rendimiento del pozo.
- Diseño Hidráulico de la Red de Distribución.

### **1.3 ANTECEDENTES**

El área de estudio, ha tenido un alto nivel de desarrollo agrícola y de infraestructura desde los años 50, teniendo su auge durante la década 80-90. Actualmente, ha disminuido esta tendencia. En la mayoría de las actividades agrícolas (cultivos de arroz, caña de azúcar, cucurbitáceas, musáceos entre otros), los productores utilizan agua subterránea con fines de riego a través de pozos de bombeo y estos a la vez hacen uso del agua del río Ochomogo con canales de desvío.

El agua subterránea en el área de estudio ha sido poco estudiada, a efectos de explotar los recursos a través de proyectos específicos (agrícolas e industriales), solamente se han revisado estudios de carácter regional tales como:

En el año 1995 Krasny (INETER), realizó la Caracterización Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Pacífica, donde se incluye el acuífero de Nandaimé de forma general.

El acelerado crecimiento de la población implica mayor presión, sobre los recursos naturales. En particular, los recursos hídricos están cada vez más sujetos a la explotación a través de los diferentes usos, como: el consumo humano, la irrigación y la producción de energía eléctrica también a la contaminación que sufren los ríos por la actividad minera es de vital importancia para la población el acceso a agua que no se encuentre contaminada y de ese modo no contraigan enfermedades.

## **1.4 JUSTIFICACION**

El diseño de un pozo de agua potable pondría al alcance de la ciudadanía de Nandaime el uso de una tecnología que facilitaría el acceso al agua que para aquellos habitantes que en diversas ocasiones se le ha sido difícil obtenerla.

El proyecto contara con un equipo de bombeo que les llevara el agua a los diferentes hogares. Del punto de vista práctico y social, la planificación y realización de este proyecto ayudara a dicha población a tener una forma más de poder abastecerse de agua de gran ayudada para el resto de habitantes aledaños a este municipio que no son abastecidos por ENACAL.

Esta monografía servirá para la realización de una guía de aprendizaje sobre pozos de abastecimiento de agua o irrigación para la facultad de la construcción de la UNI, donde cualquier estudiante que desea expandir sus conocimiento de la ingeniería hidráulica, como una rama donde pondrá en práctica de enseñanza de la diferentes asignaturas relacionados con este documento.

## 1.5 LOCALIZACIÓN

Nandaime se encuentra ubicado en la Región del Pacífico, a una distancia de 67 Km de la ciudad de Managua, sus coordenadas 11° 45' latitud norte y 86° 03' longitud oeste. Los límites departamentales son: Al Norte con el Municipio de Diría y Diriomo, al Sur con los Municipios de Belén, Potosí, Buenos Aires (Dpto. de Rivas), al Este con el Lago Cocibolca y al Oeste con el municipio de Santa Teresa y la Paz de Carazo (Dpto. de Carazo).

### MACRO Y MICROLOCALIZACION



## 2.1 Origen, Manifestación y Movimiento del Agua Subterránea

El ciclo hídrico de la tierra consiste en la continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta. El ciclo no tiene principio ni fin, pero el concepto de ciclo hidrológico se origina en el agua de los océanos, los cuales cubren las tres cuartas partes de la superficie terráquea. La radiación solar lleva el agua de los océanos hasta la atmósfera por evaporación, el vapor de agua se eleva y luego se aglomera dando lugar a la formación de nubes. Bajo ciertas condiciones la humedad contenida en la nubes se condensa y se precipita en forma de lluvias o variadas forma de precipitación, las verdaderas fuentes de casi todas nuestra reserva de agua dulce la constituye la precipitación que cae sobre la área terrestre.

*Figura # 1: Ciclo Hidrológico*



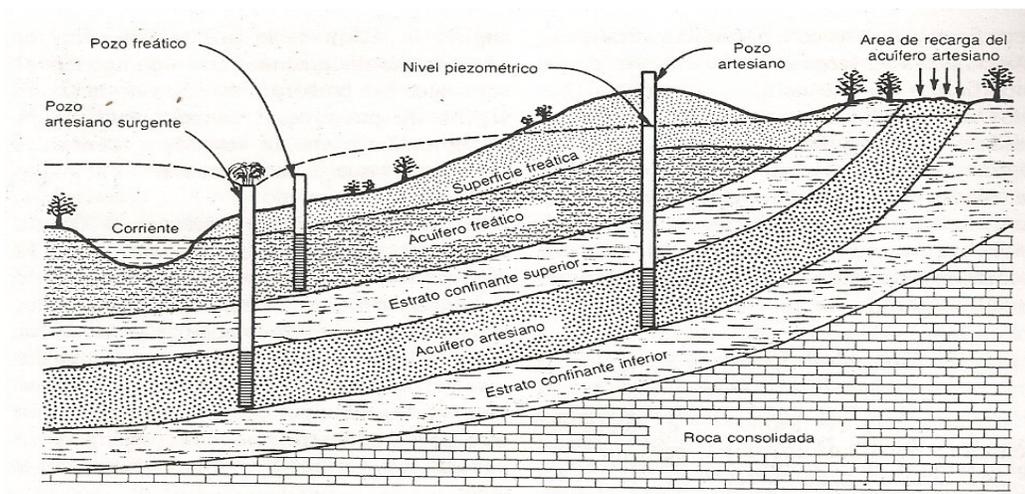
Fuente: <http://www.alexgrall.byethost9.com/Ciclo.htm>

### 2.1.1 Humedad del Suelo y Agua Subterránea

El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua sub-superficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con estas aguas.

1. Puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmosfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico.
2. Puede ser absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmosfera a través del proceso de la transpiración.
3. Que la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad, hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos.

**Figura # 2: Las fases sub-superficiales y del agua subterránea dentro del ciclo hidrológico**



Fuente: *El agua subterránea y los pozos. Johnson SCREMS*

### 2.1.2 Distribución Sub-superficial del Agua

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de esta dentro de los materiales geológicos sub-superficiales o formaciones.

Los geólogos denominan rocas a todos los materiales de la corteza terrestre ya sean no consolidados como las arenas y las arcillas o consolidados como el granito y la caliza.

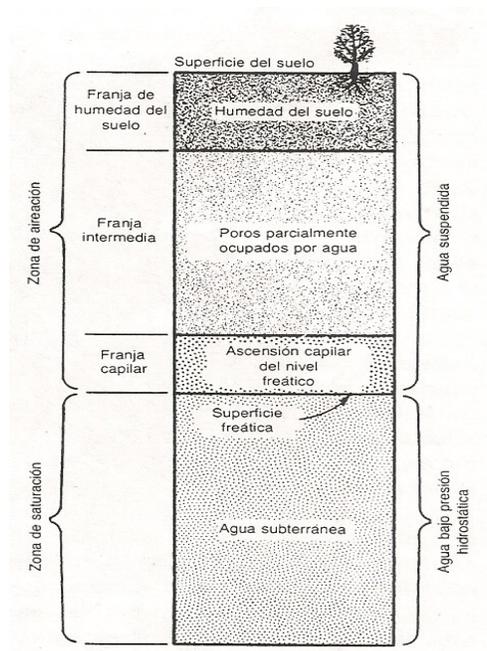
A mayor o menor profundidad, todos los materiales de la corteza terrestre son normalmente porosos, esta parte se denomina zona de fracturación. El estrato superior en donde las aberturas están solo parcialmente llenas de agua se denomina zona de

aeración, dividiéndose esta en tres franjas: la humedad del suelo, la intermedia y la franja capilar. Inmediatamente por debajo de esta y en donde estas aberturas están completamente llenas de agua, está la zona de saturación.

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea. La zona de saturación podría asimilarse a un gran embalse natural o sistemas de embalses cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que se hallan llenas de agua.

El espesor de la zona de saturación varía desde unos pocos metros hasta varios cien, esto depende de la geología local, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, la recarga y movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descargas.

**Figura # 3: El agua subterránea es aquella parte del agua sub-superficial contenida en la zona de saturación**



*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

## 2.2 Fundamentos de Hidrogeología

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.

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

### **2.2.1 Condiciones de la Superficie Freática**

En ciertos acuíferos el agua subterránea se manifiesta bajo condiciones freáticas. Ello significa que es el límite superior del acuífero queda definido por la superficie freática misma o sea el plano superior de la porción saturada en la formación geológica el agua contenida en los poros del acuífero se encuentra sometida a presión atmosférica tal como si estuviese contenida en un recipiente abierto.

En estas condiciones el acuífero mismo se denomina acuífero freático. Otros terminos sé que también se utilizan para definir este estado de agua del agua subterránea son los de acuífero no confinado y agua subterránea libre.

En cualquier nivel dentro de un acuífero freático o libre la presión hidrostática es equivalente a la profundidad media desde la superficie libre hasta el punto de cuestión y puede expresarse en metros de agua. Así por ejemplo una partícula de agua subterránea que se halle a una profundidad de 50 pies por debajo de la superficie freática está sometida a una presión estática de 50 pies.

Cuando se perfora un pozo dentro de un acuífero freático, el nivel estático dentro del pozo se halla a la misma elevación que en nivel freático.

La zona de saturación incluye tanto estratos permeables como impermeables de materiales terrestres. Los permeables constituyen acuífero. Cuando un acuífero yace entre estratos impermeables situado por encima y por debajo se dice que tanto el acuífero como el agua contenida están confinados. Debido a la presión del estrato confinante superior, el agua del acuífero no se encuentra expuesta a la presión atmosférica. Así pues el agua se halla dentro de los poros del acuífero a una mayor presión que la atmosférica.

### **2.2.2 Condiciones de Artesianismo**

Cuando el agua subterránea en una situación actual, se dice que se manifiesta en condiciones de artesianismo o artesianismo el acuífero se denomina acuífero artesianos. Los terminos de acuífero confinado y agua subterránea confinada se aplican para describir esta condición.

Cuando se perfora un pozo a través de un estrato confinante superior y se presenta dentro de un acuífero artesiano el agua ascienda dentro del pozo hasta alcanzar algún nivel cuya elevación se halla por encima del techo del acuífero. El nivel del agua dentro el pozo equivale a la presión artésiana del acuífero. La carga hidráulica expresada en pies de agua y para cualquier punto dentro del acuífero viene dada por la distancia vertical desde ese nivel al punto en cuestión.

La elevación a que ascendería el agua dentro de un pozo que penetra dentro un acuífero artesiano se define por el termino técnico “*nivel peziometrico*” la cual viene a ser una superficie imaginaria que representa la presión o carga hidráulica existente. Esta superficie imaginaria es similar a la superficie líquida real que limita a un acuífero freático.

### **2.2.3 Factores de Infiltración**

En algunos lugares, los depósitos de agua subterránea son recargados rápidamente por la lluvia. En sitio en que el nivel de agua de lagos y ríos se halla más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el depósito es recargado por esos cuerpos líquidos. Cuando una corriente o un tramo de esta brindan su contribución de agua a la zona de saturación se dice que es una corriente *afluente* respecto al agua subterránea. Si por el contrario el agua subterránea se halla a una elevación superior a la de un río y percola hacia este se dice que la corriente es *efluente* de aquella.

La razón de recarga de un depósito de agua subterránea depende del régimen de precipitación de la esorrentía superficial y del caudal de los ríos. Así mismo varía de acuerdo a la permeabilidad de los suelos.

La oportunidad de infiltrar depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad y la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca asimismo la pendiente de la superficie puesto que muy inclinada favorecen a la esorrentía superficial y si son menos fuertes retiene por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración.

### **2.2.4 Los Procesos Geológicos Originan Acuíferos**

Los procesos geológicos crean rocas y acuíferos, pero a su vez otros procesos posteriores los pueden destruir. Nuevas rocas se forman y se extienden sobre las anteriores en una sucesión de capas. Una vez que cualquier roca sedimentaria, ígnea o metamórfica queda constituida, los continuos eventos geológicos la alteran de varias maneras, lo que eventualmente mejora o daña sus propiedades acuíferas.

Las rocas que forman la corteza terrestre se han venido acumulando desde tiempos inmemorables. Su historia ha sido reunida pieza por pieza por los geólogos mediante el estudio de los fósiles que se han encontrado atrapados en su seno. La tabla 1 que sigue muestra las más importantes divisiones de tiempos y de estratigrafía que utiliza el servicio geológico.

Los acuíferos ostentan una variedad de formas y estructuras. Algunos depósitos marinos de arenisca se extienden sobre grandes áreas, son de textura uniforme y la variación de su espesor es muy poca.

Las disyunciones y las fracturas de ciertas rocas metamórficas tales como el granito, el gneis y la cuarcita, rinden algunas veces pequeñas cantidades de agua. Los acuíferos presentes en estos tipos de rocas no aparentan un tamaño o forma particulares, pero el agua subterránea generalmente tiene lugar cerca de la parte superior de la formación. La cantidad y el tamaño de las aberturas disminuyen rápidamente conforme aumenta la profundidad. Sería un desperdicio de tiempo, esfuerzo y dinero tratar de perforar más de unos cuantos metros en este tipo de materiales.

#### **2.2.4.1 Las Funciones de un Acuífero**

Dos son las funciones importantes que realizan un acuífero; almacenadora y otra transmisora. Este almacena agua, sirviendo como depósito y trasmite agua como lo hace un conducto. Las aberturas o poros de una formación acuífera sirven tanto de espacio para 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 de descarga. El desplazamiento es muy lento, con velocidades que se miden en metros por día y a veces en 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 discusión previa ha expuesto que las aberturas en las formaciones geológicas sub-superficiales son de tres clases generales:

1. Aberturas comprendidas entre las partículas individuales, como en las formaciones constituidas por arena y grava
2. Fisuras, disyunciones o facturas en las rocas duras y que se han desarrollado al quebraste estas.
3. Canales de disolución y cavernas en las calizas y aberturas resultantes de la contracción y de la evolución de los gases en las lavas.

Las dos propiedades de un acuífero que tienen relación con su capacidad de almacenar agua, son su porosidad y rendimiento específico.

#### **2.2.4.2 Porosidad**

La porosidad de un acuífero es aquella parte del su volumen que consiste de aberturas o poros o sea la proporción de su volumen no ocupado por material sólido. Es un índice que indica cuánta agua puede ser almacenada en el material saturado.

#### **2.2.4.3 Permeabilidad**

Se denomina permeabilidad a la propiedad de una formación acuífera en lo referente a su función transmisora o de conducto. La permeabilidad se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua. El movimiento de agua de un punto del material tiene lugar cuando se establece una diferencia de presión o carga entre dos puntos.

#### **2.2.4.4 Espesor del acuífero**

Corresponde a la distancia que existe entre el estrato impermeable y el nivel freático en acuíferos libres, siendo variables, en función de los cambios del nivel freático, de pocos metros a decenas de metros de magnitud. En acuíferos confinados y semi-confinados, corresponde a la distancia que existe entre los estratos impermeables que lo encierran, en este caso el valor es constante y puede variar en órdenes de magnitud de unos pocos metros, a cientos o miles de metros

#### **2.2.4.5 Acuíferos**

Un acuífero es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua a través de sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variables como grava de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementada, arena de playa, algunas formaciones volcánicas depósitos de dunas.

Un acuífero es un almacén geológico a variables profundidades en el que se deposita el agua que puede ser bombeada, el agua forma parte de un suelo que no está saturado, mientras que en el segundo los acuífero se encuentran saturados o muy cerca de saturación.

**Figura # 4**



El material presente en un acuífero puede estar compuesto de diversos depósitos como arenas, grava, limos, y arcillas, o también por formaciones geológicas tales como rocas fracturadas y/o fisuras provocadas por fallas o material calcáreo (calizas) con grietas producto de disolución.

Dependiendo del caudal y característica del estrato, las aguas subterráneas pueden generar por erosión auténticos canales subterráneos por donde circulan libremente.

En función de la presión hidrostática del agua encerrada en estos reservorios de agua es posible clasificar a los distintos tipos de acuíferos existentes. Por otro lado, reconocer el acuífero según su presión, se traduce en una circunstancia práctica muy útil que facilita el determinar el tipo de captaciones de agua subterránea. Entonces de acuerdo a lo anterior tenemos:

#### **2.2.4.6 Acuíferos Libres**

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre de agua almacenada en ellos y que se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua correspondiente al nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no. En estos acuíferos, al perforar pozos que los atraviesan total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica).

### 2.2.4.7 Acuíferos Confinados

En este tipo de acuífero, el agua que contienen está sometida a ciertas presiones, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los reservorios de la formación geológica, saturándola totalmente. Están sellados por material impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar su presión a la atmosférica. Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observara que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. Podrán darse pozos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozos artesianos si el nivel se estabiliza por debajo de la cota del terreno. De esta manera, si imaginamos una serie de pozos atravesando un acuífero de este tipo, y unimos los niveles que alcanza el agua en cada uno, obtendríamos una superficie piezometrica que no coincide con el nivel freático que tenía el acuífero en estado natural.

### 2.2.4.8 Acuíferos Semiconfinados

Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) y/o la base (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, que corresponde a un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, habrá situaciones en los que la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia de potencial.

Los acuíferos son explotados a través de varios tipos de captaciones, entre las cuales, las más comunes son:

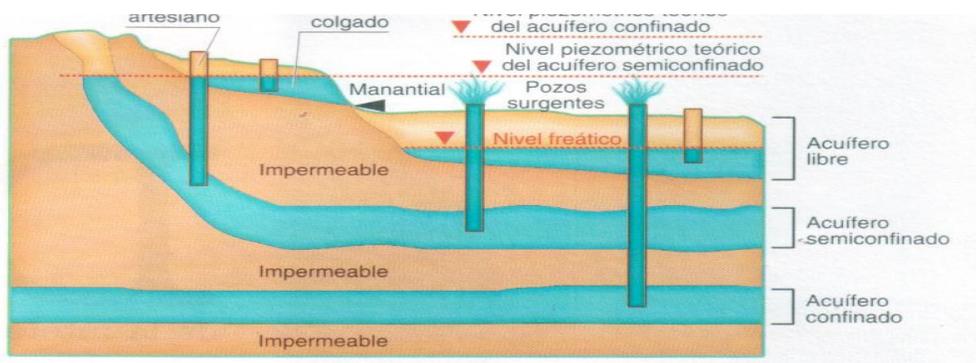
1. **Pozos profundos:** perforados a través de muchas técnicas y generalmente requieren de grandes equipos de perforación.
2. **Aljibes:** son pozos poco profundos, generalmente excavados a mano y algunas veces revestidos en piedra, ladrillo o cemento.
3. **Manantiales:** son exposiciones naturales de las aguas subterráneas en superficie y que son aprovechados directamente, sin necesidad de grandes obras.

La elección de alguna de estas formas de acceder a los acuíferos dependerá tanto de las características hidrogeológicas de la zona en particular, como de las necesidades de abastecimiento del agua y de las condiciones socioeconómicas de la región.

Una de las grandes ventajas de las aguas subterráneas es que generalmente son de buena calidad para consumo humano por estar protegidas naturalmente por capas de suelos o rocas que tienen la capacidad para atenuar, retardar o retener algunos contaminantes, además de ser menos susceptibles que las aguas superficiales a cambios climáticos.

Por otro lado, una vez contaminadas las aguas subterráneas como consecuencia de alguna actividad en la superficie (agrícola, industrial, disposición de residuos o de afluentes, etc.) será casi imposible o demasiado costosa su recuperación. Por lo anterior, cuando accedemos a estos recursos hídricos, implícitamente nos debemos comprometer con su protección y conservación para garantizar su aprovechamiento futuro (figura 1).

**Figura # 5: Tipos de acuíferos**



## 2.3. Definiciones y Parámetros para Diseños de Pozos

### 2.3.1. Hidráulica de Pozos

Un pozo es una estructura hidráulica que debidamente diseñada y construida permite efectuar la extracción económica de agua de una formación acuífera. Cuando adecuadamente se logra este propósito, es algo que depende de las siguientes tres aspectos:

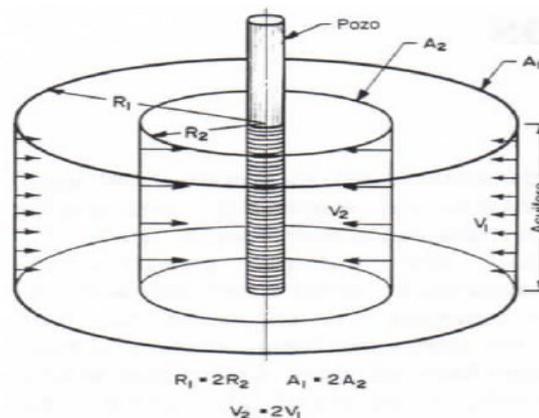
- Una aplicación inteligente de los principios de la hidráulica en el análisis del pozo y del comportamiento del acuífero.
- La destreza al perforar y construir pozos, lo que permite tomar ventaja de las condiciones geológicas.
- Una selección tal de los materiales que asegure una larga duración a la estructura.

### 2.3.2 Naturaleza del Flujo Convergente

Cuando se inicia el bombeo, el nivel del agua en la vecindad del pozo bombeado desciende. La magnitud de este descenso del nivel del agua, se denomina abatimiento. La mayor cantidad del descenso o abatimiento tiene lugar en el propio pozo. El abatimiento es menor a mayores distancias desde el pozo, y existe un punto a cierta distancia de este en que el abatimiento es casi imperceptible. Esta distancia es variable para diferentes pozos. También es variable para el mismo pozo, ya que depende del caudal de bombeo y del tiempo que se bombee.

El nivel de agua en el pozo de bombeo es más bajo que en cualquier otro lugar de la formación que rodea a este, de manera que el agua se desplaza desde la formación hacia el pozo, tratando de reponer el volumen extraído por la bomba. La fuerza o presión que impulsa el agua hacia el pozo, es la carga representada por la diferencia de niveles de agua dentro del pozo y en otro punto cualquiera fuera de aquel.

En la figura # 5: el flujo converge hacia el pozo, pasando a través de superficies cilíndricas imaginarias que van siendo menores conformes se aproximan al aquel.



*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

El agua fluye a todas direcciones desde el acuífero hacia el pozo. Conforme el agua se mueva más y más cerca de este, lo hace pasando a través de sucesivas superficies cilíndricas que cada vez van siendo menores en áreas. Consecuentemente, la velocidad del agua aumenta conforme esta se acerca al pozo.

La ley de darcy nos indica que en el flujo a través de medios porosos el gradiente hidráulico varía directamente con la velocidad. Con velocidad creciente, el gradiente hidráulico aumenta conforme el flujo converge hacia el pozo. Como resultado de lo anterior, la superficie líquida que ha descendido desarrolla una pendiente cada vez

más pronunciada hacia el pozo. La forma de esta superficie se asemeja a una depresión cónica. Cualquier pozo que se someta a un bombeo queda rodeado por un cono de depresión. Estos conos difieren de tamaños y formas dependiendo del caudal de extracción y extensión del tiempo de bombeo, características del acuífero, inclinación de la superficie freática y recarga que tenga lugar dentro de la zona de influencia del pozo.

### **2.3.3 Definición de Términos**

#### ***Radios de influencia (R):***

Es la distancia desde el centro del pozo, hasta el límite del cono de depresión. Este radio es mayor en los conos de depresión que rodean a pozos artesianos que en aquellos situados alrededor de pozos freáticos.

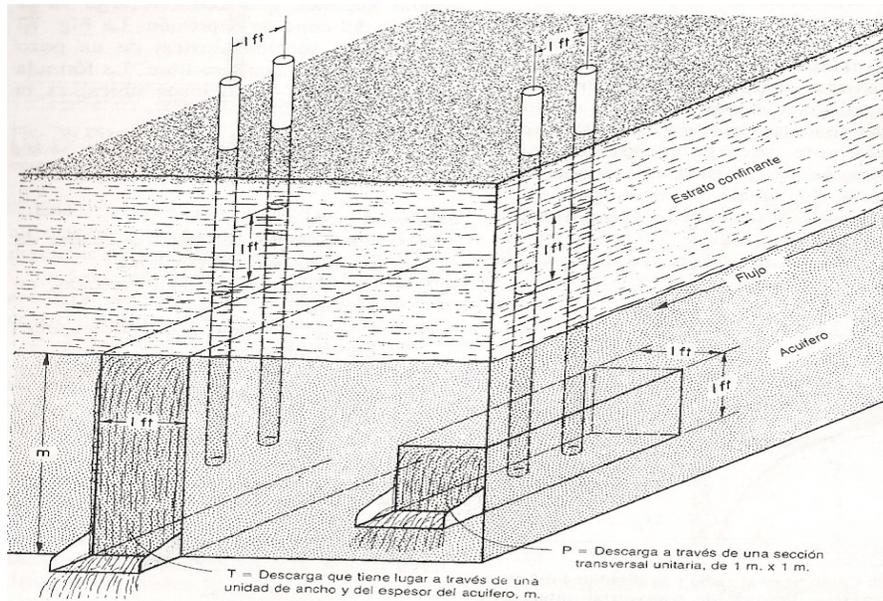
#### ***Coefficiente de almacenamiento (S) de un acuífero:***

Es el volumen de agua cedida o tomada del almacenamiento del mismo, por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de carga. En los acuíferos de nivel freático, S equivale al rendimiento específico del material desecado durante el bombeo. En los acuíferos de nivel freático, S equivale al rendimiento específico del material desecado durante el bombeo. El coeficiente de almacenamiento es un termino Adimensional el valor de s en los acuíferos libres varía desde 0.01 hasta 0.35; estos valores en un acuífero artesianos van desde 0.00001 hasta 0.001.

#### ***Coefficiente de transmisividad (T) de un acuífero:***

Es la razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a 1, o sea 100%. Los valores de transmisividad varían desde un poco menos de 0.50 hasta más de 500 m<sup>3</sup>/hora/m; estos coeficientes son especialmente importantes puesto que definen las características hidráulicas de la formación acuífera. Los coeficientes de transmisividad y de almacenamiento son especialmente importantes puesto que definen las características hidráulicas de la formación acuífera. El coeficiente de transmisividad indica cuánta agua se mueve a través de la formación y el coeficiente de almacenamiento indica que cantidad se puede ser obtenida por bombeo o drenaje.

En la **Figura # 6**. Conceptos gráficos de los coeficientes de permeabilidad y transmisividad. El coeficiente de permeabilidad, multiplicado por el espesor del acuífero es igual al coeficiente de transmisividad.



*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

### 2.3.4 Flujo Inicial desde el Acuífero al Pozo

Cuando se bombea agua de un pozo, la cantidad de agua que se obtiene inicialmente proviene de lo almacenado en el acuífero en la vecindad del mismo. Conforme continúa el bombeo, se va obteniendo más agua de la almacenada a distancias cada vez mayores del pozo de bombeo. Esto significa que la forma circular del cono de depresión se debe expandir de modo que se desplace agua hacia el pozo desde distancias cada vez mayores. El radio de influencia del pozo aumenta conforme el pozo aumenta conforme el cono continuo expandiéndose.

El abatimiento también aumenta conforme el cono se profundiza para suministrar la carga adicional necesaria, a fin de que el agua se desplace desde una distancia mayor.

Sin embargo el cono se expande y se ahonda a una velocidad que disminuye con el tiempo, puesto que con cada metro adicional de expansión horizontal, se dispone de un volumen de agua almacenada mayor que en el precedente.

El hecho es que el cono continuo creciendo hasta que el acuífero reciba una recarga igual a la extracción. La recarga puede tener lugar en una o más de las formas siguientes:

1. El cono se extiende hasta interceptar una recarga natural del acuífero, suficiente para igualar el caudal del bombeo.
2. El cono se extenderá hasta interceptar alguna masa superficial de agua que pueda suministrar al acuífero la cantidad necesaria para igualar la descarga.
3. El cono se extenderá hasta interceptar la suficiente recarga vertical, de la precipitación que caiga dentro del radio de influencia, que iguale a la descarga.
4. El cono se extiende hasta que exista la suficiente percolación a través de las formaciones sub o sobre yacientes que iguale a la descarga.

### 2.3.5 Formulas del Régimen de Equilibrio

Varios investigadores derivaron hace varios años la fórmula de la descarga de pozos en régimen de equilibrio, Existen dos fórmulas básicas, una para condiciones libres o freáticas y otra para artesianismo. Ambas suponen que existe recarga en la periferia del cono de depresión. La fórmula para el pozo en condiciones libres es la siguiente:

$$Q = \frac{1.36 P (H^2 - h^2)}{\log \frac{R}{r}}$$

**Dónde:**

**Q:** rendimiento del pozo o caudal del bombeo, en m<sup>3</sup> por hora.

**P:** permeabilidad de la formación en m/hora

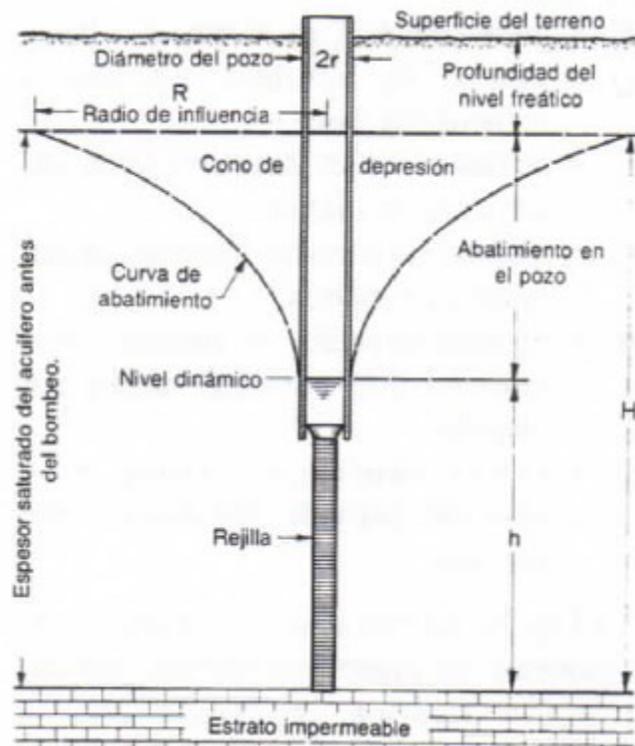
**H:** espesor saturado del acuífero, antes del bombeo en m.

**h:** profundidad del agua en el pozo, durante el bombeo en m

**R:** radio del cono de depresión, en m.

**r:** radio del pozo en m.

En la **Figura # 7** muestra una sección vertical de un pozo construido en un acuífero libre o freático en el que se muestran el significado de varios términos empleados en la fórmula del equilibrio.



*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

La fórmula para un pozo que opera en condiciones de artesianismo es la siguiente:

$$Q = \frac{2.72 P m(H - h)}{\log \frac{R}{r}}$$

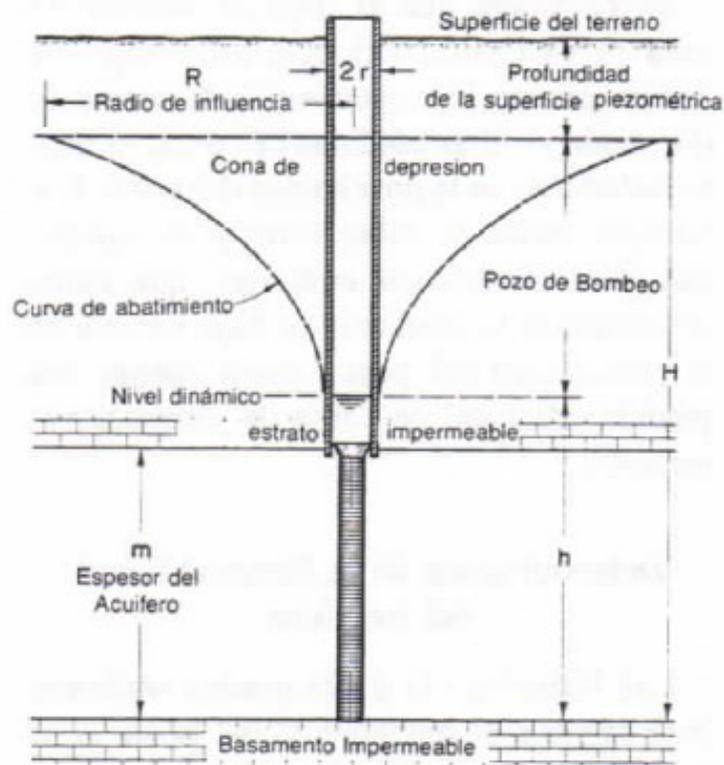
**Dónde:**

**H:** Carga estática en el fondo del acuífero.

**m:** espesor del acuífero en metro.

Todos los otros términos son tal como quedaron definidos en la ecuación anterior para condición freática.

En la **Figura # 8** diagrama de un pozo emplazado en un acuífero artesiano que muestra el sentido de los diversos términos que se usan en la fórmula de equilibrio.



*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

Las derivaciones de las formulas anteriores se basan en las siguientes premisas de simplificación:

1. Los materiales de la formación acuífera son de permeabilidad uniforme dentro del radio de influencia del pozo.
2. El acuífero no se halla estratificado.
3. En un acuífero freático, el espesor saturado es constante antes de empezar el bombeo; en un acuífero artesiano el espesor de este es constante.
4. El pozo de bombeo es 100% eficiente.
5. El pozo de bombeo penetra hasta el fondo del acuífero.
6. Las superficies freáticas y piezométrica, no tienen pendientes ambas constituyen planos horizontales.
7. A través del acuífero y dentro del radio de influencia del pozo, existe flujo laminar.

8. El cono de depresión ha alcanzado el equilibrio, de modo que tanto el abatimiento como el radio de influencia del pozo, no sufren cambio a través del tiempo en que se continúe bombeando a caudal constante.

Estas suposiciones pareciera que limitan severamente el uso de la formulas. En la realidad sin embargo, ello no es así. Una permeabilidad uniforme rara vez se encuentra en un acuífero real, pero la permeabilidad media que se encuentra que se determina mediante una prueba en el acuífero, ha demostrado ser confiable para la predicción del comportamiento de los pozos.

### 2.3.6 Determinación de la Permeabilidad del Acuífero

El registro litológico de un pozo suministra los valores de H y m; R por lo general se estima; P puede determinarse mediante ensayos de campo o de laboratorio. La fórmula para calcular P en un acuífero freático es la siguiente:

$$P = \frac{Q \cdot \log \frac{r_2}{r_1}}{1.36 (h_2^2 - h_1^2)}$$

**Dónde:**

**P:** permeabilidad, en m/h

**Q:** caudal de bombeo, en m<sup>3</sup>/h

**r<sub>1</sub>:** distancia al pozo de observación más cercano, en m.

**r<sub>2</sub>:** distancia al pozo de observación más lejano, en m.

**h<sub>2</sub>:** espesor saturado, en m, en el sitio del pozo de observación más alejado.

**h<sub>1</sub>:** espesor saturado, en m, el sitio del pozo de observación más cercano.

La fórmula para determinar la permeabilidad en condiciones artesianas mediante una prueba como la indicada, es la siguiente:

$$P = \frac{Q \log \frac{r_2}{r_1}}{2.72 m (h_2 - h_1)}$$

En el cual todos los términos siguientes son los mismos a los anteriores excepto los siguientes:

**m:** espesor del acuífero, en m.

**h<sub>2</sub>:** carga, en m, en el sitio del pozo de observación más lejano, medida desde el fondo del acuífero.

**h<sub>1</sub>:** carga, en m, en el sitio del pozo de observación más cercano, medida desde el fondo del acuífero.

Además de brindar una manera precisa de calcular la permeabilidad media del acuífero, las fórmulas de equilibrio resultan muy útiles para estudiar las relaciones existentes entre los diversos factores entre sí, y para determinar el rendimiento.

### 2.3.7 Relación entre el Diámetro del Pozo y la Descarga

Muchas personas suponen al duplicar el diámetro del pozo se duplica su rendimiento. Esto se halla bien lejos de la realidad. Con todos los otros factores contante la fórmula del régimen de equilibrio nos muestra que Q. varia conforme  $k \log R/r$  expresión en la cual k representa todos los factores constantes. De esta relación se puede calcular el incremento teórico de rendimiento del pozo. La tabla I. nos muestra los valores que se obtienen cuando R= 120 metros. Magnitud muy común en condiciones freáticas.

En la Tabla # 1: Relación entre el diámetro del pozo y la descarga en porcentaje.

DIAMETRO DE POZOS						
6"	12"	18"	24"	30"	36"	48"
100	110	117	122	127	131	137
--	100	106	111	116	119	125
--	--	100	104	108	112	117
--	--	--	100	104	107	112
--	--	--	--	100	103	108
--	--	--	--	--	100	105

*El agua subterránea y los pozos Johnson SCREMS*

### 2.3.8 Relación entre el Abatimiento y la Descarga.

Para pozos que funcionan en condiciones artesianas demuestran que la descarga es directamente proporcional al abatimiento, H-h siempre y cuando este abatimiento no sobrepase la distancia de la superficie peziometrica estática hasta el techo del acuífero. Si el abatimiento excede esta magnitud, el valor m se reducirá y esa proporcionalidad

Ya no se mantiene teóricamente, ello significa que si el abatimiento se duplica el rendimiento también lo hace. Dicho de otra manera la capacidad específica del pozo es constante para una razón constante de bombeo.

Para un pozo ubicado en un acuífero freático aquella parte de la formación comprendida dentro del cono de depresión es realmente desecada durante el bombeo esto influye en la relación que existe entre el abatimiento y la descarga. Cuando el abatimiento se duplica el rendimiento del pozo llega ser menor del doble. La capacidad específica disminuye conforme aumenta el abatimiento de hecho disminuye directamente en proporción al abatimiento.

### 2.3.9 Formula del Régimen de No Equilibrio

En 1935 Theis desarrollo la fórmula de no equilibrio que se aplica a pozos que funcionan dentro este régimen. Mediante el uso de la formula se puede predecir el abatimiento a cualquier tiempo después de iniciado el bombeo.

La transmisividad y la Permeabilidad promedio pueden determinarse desde la primera etapas de una prueba de bombeo, sin tener que esperar que los niveles en los pozos de observación se hayan virtualmente estabilizado o alcanzado el equilibrio. Los coeficientes del acuífero se pueden determinar a partir de las mediciones de tiempo abatimiento realizada en un solo pozo de observación.

$$S = \frac{Q}{4\pi T} * W(u) = \frac{0.0795}{T} * W(u)$$

**Dónde:** S = Abatimiento en m.

Q = Caudal de bombeo en, m<sup>3</sup>/día

T = transmisibilidad, en m<sup>3</sup>/día/m o m<sup>2</sup>/día

W (u) = función del pozo de u,

### 2.3.9.1 Formula del No Equilibrio.

El método es una simplificación del método del método de Theis y se usa únicamente si  $u$  es pequeña es decir:  $U < 0.01$

$$S = \frac{0.183 Q}{4\pi T} * \log \frac{2.2459 T t}{r^2 * s}$$

**Dónde:** S = Abatimiento en m.

Q = Caudal de bombeo constante en, m<sup>3</sup>/día

T = transmisibilidad, en m<sup>2</sup>/día

t = tiempo en días

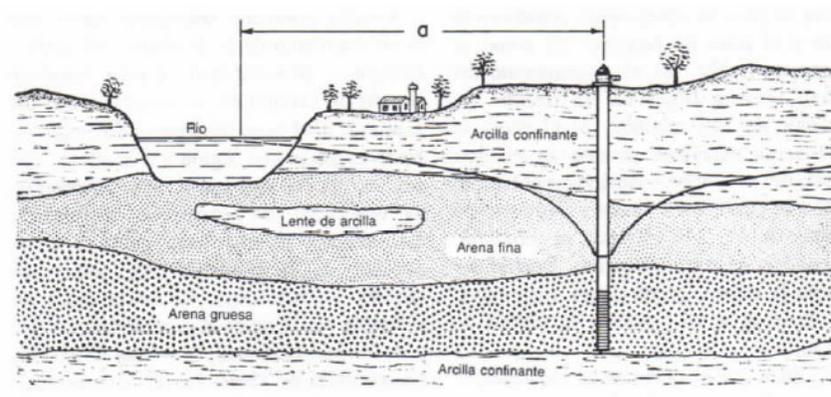
S = constante de almacenamiento

### 2.3.10 Recargas Provenientes de un Rio.

El establecimiento de las condiciones de equilibrio que estabilizan el cono de depresión en torno a un pozo que se está bombeando, puede ocurrir de diferente manera. Una de estas es cuando el acuífero es recargado por un río o por un lago.

Durante la parte inicial del periodo de bombeo el cono de depresión no se extiende hasta el río y no se manifiesta ningún efecto de recarga, el nivel dinámico del pozo sigue descendiendo conforme transcurre el periodo de bombeo. Cuando el cono de depresión se extiende por debajo de una parte del lecho del río se desarrolla un gradiente hidráulico entre el agua subterránea en el acuífero y el agua del río. De esta manera percola agua del río hacia abajo a través de un lecho permeable de este y bajo la influencia del gradiente hidráulico. De esta manera el río recarga al acuífero a una razón que aumenta conforme al cono de depresión se extiende.

Como vimos en la figura # 8 El cono de depresión al extenderse por debajo del lecho de un río, será un gradiente hidráulico entre el acuífero y el río; lo anterior da como resultado el que se induzca una recarga desde el río hacia el acuífero.



## **2.4 Criterio de Diseño de Pozo**

Los pozos municipales deben por lo general diseñarse para obtener de ellos el mayor rendimiento disponible en el acuífero y la mayor eficiencia, en términos de capacidad específica. Un buen diseño reduce el peligro del rendimiento en el acuífero, ya que logra incorporar al pozo aquellas características que le aseguren una larga vida exenta de problemas. Un diseño demanda una consideración muy cuidadosa de los factores hidráulicos que influyen en el comportamiento del pozo.

Un buen diseño exige la seguridad de una combinación óptima de comportamiento, larga vida del servicio y un costo razonable. Una sana práctica de la ingeniería demanda que estos objetos sean considerados en conjunto.

### **2.4.1 Diámetro del Pozo**

Escoger el diámetro apropiado del pozo es algo muy importante, pues éste afecta significativamente el costo de la obra. El diámetro del pozo debe escogerse de modo que se satisfagan dos requisitos:

1. El ademe debe de ser lo suficientemente amplio para que permita acomodar la bomba con la tolerancia adecuada para su instalación y eficiente funcionamiento.
2. El diámetro del intervalo de captación del pozo debe de ser tal que garantice una buena eficiencia hidráulica del mismo.

Al escoger el diámetro del ademe el factor que gobierna por lo general es el tamaño de la bomba que va necesitarse para la descarga deseada o potencial del pozo. El ademe deberá ser dos números mayor que el diámetro nominal de la bomba.

### **2.4.2 Profundidad del Pozo**

La profundidad que se espera darle al pozo se determina por lo general mediante el registro del pozo de prueba, de los registros de otros pozos cercanos en el mismo acuífero o durante la perforación del pozo de profundidad. Generalmente el pozo se termina en el fondo del acuífero. Esto es de desear, por las dos razones siguientes:

1. Se utiliza mayor espesor del acuífero como intervalo de captación del pozo, lo que mejora su capacidad específica.
2. Puede obtenerse mayor abatimiento disponible, permitiendo al pozo erogar más caudal.

Esto también estará sujeto al estudio hidrogeológico de la zona al igual que la calidad del agua que se encuentra en el acuífero.

### 2.4.3 Entubación Definitiva

La tubería de pozo debe de ser capaz de resistir presión provocada por los empujes laterales del terreno y a presión hidrostática de los acuíferos existentes, esto por posibles diferencias de nivel de agua entre el interior y exterior del pozo. La conducción de construcción de estas tuberías estaba basada en criterios que condicionan su comportamiento estructural e hidráulico, de manera que cumplan con las características de sostenimiento de las paredes del pozo y de la conducción hidráulica que conecta el acuífero con la superficie, y permita una adecuada instalación del equipo de bombeo.

La tubería que se utilizan para habilitar los pozos son hierro o acero tipo Johnson con extremos para soldar. Se ajustan a las normas ASTM – 53, ASTM – 120 Y API (las normas ASTM abarcan varios sectores clave incluido los productos de metal si hierro tecnología medio ambiental y del agua, entre otro. **Figura # 9**



En el caso de la tuberías de PVC, los estándares exigidos para su en pozos profundos son superiores a los comúnmente utilizados en el sistema de riego. Se recomienda el PVC clase 11, 12 y 21 que tolera presiones entre 572 y 3,000 Kpa.

Las entubaciones definitivas deberán quedar verticales y alineadas. Ninguna tubería, en cuyo interior haya de colocarse un equipo de bombeo, deberá desviarse de la vertical más de 7.5 cm cada 30 metros para los tubos de hasta 2" de diámetro nominal más de 10 cm para diámetros entre 8" y 12"; ni más de 15 cm para diámetros mayores de 12".

#### **2.4.4 Habilitación**

El proyecto de pozo también contempla el dimensionamiento de las componentes de la zona de Captación y los procesos de limpiezas de la obra conocido como habitación.

#### **2.4.5 Zona de Captación**

Se define como el sector vivo y activo de la obra y corresponde a aquel sector de revestimiento que enfrenta la zona filtrante por donde se produce el ingreso del agua. Este sistema permite el ingreso de agua impía al pozo, exenta de sedimentos, y debe cumplir con exigencia de orden hidráulico, de manera que el pozo sean eficiente. Que su caudal específico sea el mayor posible.

La zona de Captación está conformada por dos partes: la rejilla o tubería ranurada y el filtro de grava. Ambos elementos tienen por objeto permitir el acceso de agua libre de material fino en suspensión, impidiendo además derrumbes en la perforación. Los referidos elementos deben ser diseñados con el fin de general el mínimo de pérdidas de carga hidráulica en el pozo.

Existe una variedad de alternativas, tanto para tuberías ranurada (orificios circulares, orificios rectangulares ranuras verticales y ranuras horizontales), como para rejilla de persianas o celosía y rejilla Johnson. En cualquier caso el fundamento hidráulico para una eficiente operación es el mismo, a mayor área abierta de la rejilla menor se la altura de succión. El tamaño de la rejilla está en función de la velocidad de entrada del flujo al interior del pozo, del espesor del acuífero, del área abierta de la rejilla y del caudal. En áreas abiertas de la rejilla puede llegar a reducirse hasta un 50% producto de la presencia de arenas, gravas, elementos y crecimientos bacteriano.

La velocidad de entrada del flujo a través de las rejillas es un parámetro que se puede manejar para impedir el problema de reducción de su área. Los aumentos en velocidad y reducción de presión del agua que ingresa al pozo a través de la rejilla favorecen la formación de precipitados. Valores de velocidad de entrada del flujo recomendados en función de la conductividad hidráulica o permeabilidad del acuífero.

Valores recomendados de la velocidad de entrada recomendada según la conductividad hidráulica. Tabla # 2

K (m/día)	Velocidad de entrada (cm/s)
< 20	1,0
20	1,5
40	2,0
80	3,0
120	4,0
160	4,5
200	5,0
240	5,5
> 240	6,0

#### 2.4.6 Longitud de las Rejillas

La longitud de la rejilla debe escogerse con relación al espesor del acuífero, abatimiento disponible, y estratificación de la formación.

Las reglas que siguen se pueden aplicar a cuatro situaciones siguientes:

**Acuífero artesiano homogéneo:** En este acuífero deberá enrejillarse el 70 a un 80 por ciento del espesor del material acuífero suponiendo que el nivel del agua no descienda por debajo del techo de este. Una buena práctica de diseño nos indica que el máximo abatimiento debe ser igual al distancia entre el nivel estático hasta el techo del acuífero.

**Acuífero artesiano heterogéneo:** En este tipo de formación acuífera obviamente lo mejor es enrejillar el estrato más permeable. Este se pueden determinar mediante laboratorio, prueba de permeabilidad, análisis granulométrico, inspección visual y una comparación de los materiales que representa cada estrato. La confiabilidad depende de los factores económicos que gobiernan la obra son los mismos que indican cuanto gasto está justificado hacer para determinar con mayor precisión los intervalos favorable del acuífero.

**Acuífero freático homogéneo:** tanto la teoría como la experiencia han demostrado que al enrejillar el tercio inferior del acuífero se obtiene el mejor diseño para esta condición.

En algunos pozos se puede enrejillar la mitad inferior del acuífero para obtener una mayor capacidad específica.

**Acuífero de nivel freático heterogéneo:** los principios de diseños que se aplican a los acuíferos artesianos heterogéneo se utilizan también en los diseños de pozos perforados en acuífero freático heterogéneo.

La única variación en el caso de un acuífero freático es la posición de la rejilla o tramos de esta, que esta vez deben de colocarse en los intervalos inferiores permeables, para disponer así del máximo abatimiento.

#### **2.4.7 Abertura de la ranuras de la rejillas**

En aquellos pozos desarrollados de forma natural las aberturas de la rejillas se deben escoger mediante un análisis granulométrico la abertura se escoge en la curva granulométrica como aquel que retendrá un 40 0 50 por ciento de la arena.

En la naturaleza se presenta por lo general las formaciones heterogéneas o acuíferos estratificados. Cuando se trate de una formación de este tipo la abertura de la ranura de los diversos tramos de una rejilla de pozo se escogen de modo que se ajusten a la gradación de los materiales de todos los estratos.

#### **2.4.8 Diámetro de la rejilla**

El diámetro de la rejilla se escoge con miras a cumplir con un principio básico y que consiste en proveer suficiente área de entrada para que la velocidad del agua al pozo no exceda un cierto valor estipulado. El diámetro de la rejilla constituye un factor que podría variarse una vez que la longitud y el tamaño de la ranura queda definido. En gran medida son las características naturales del acuífero la que establecen estas dimensiones.

Las pruebas de laboratorio y la experiencia en el campo demuestran que si la velocidad de entrada del agua a través de la rejilla es de un valor igual o menor de 3 Centímetro por segundo se obtendrán los siguientes resultados.

- Las pérdidas por fricción en las aberturas de las rejillas serán de un valor despreciables.
- La velocidad de incrustación será mínima.
- La velocidad de corrosión será también mínima.

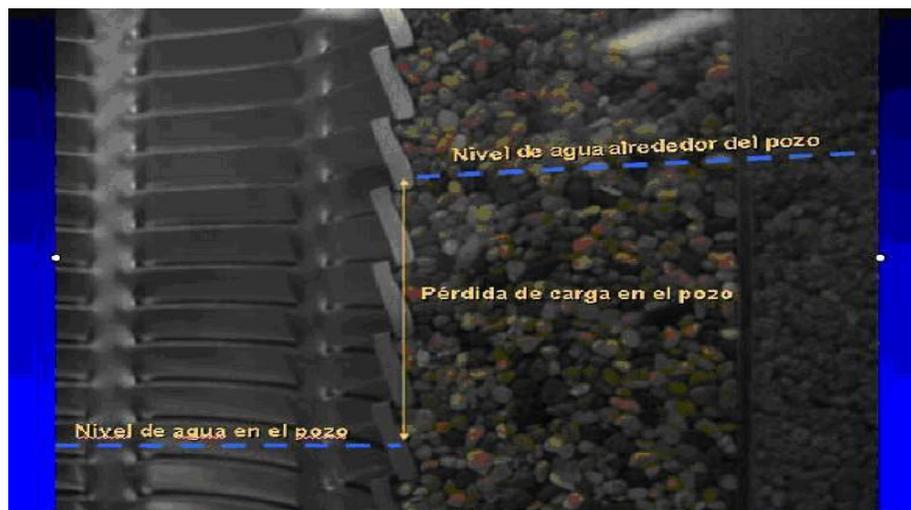
Un valor comúnmente utilizado es el recomendado por National Water Well Association que indica que la velocidad máxima permitidas es de 3 cm/s o 0.03 m/s.

## 2.4.9 Filtro de Grava

Puesto que la teoría de diseño de la gradación de los filtros de grava se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, lo único que se necesitara es un espesor de filtro de solamente dos o tres tamaño de granos, para que el filtro retuviese y controlase la arena de la formación.

Los materiales para filtro deberán estar limpios y contener granos bien redondeados que sean lisos y uniformes estas características aumenta la permeabilidad y porosidad del material del filtro. En un material uniforme tiene lugar a una menor separación hidráulica de las partículas, cuando este se está colocando o dejando que se asiente a una profundidad considerable dentro del agua.

**Figura # 10 Perdidas de carga de una rejilla y filtro de grava.**



Fuente: [http://www.aguamarket.com/sql/temas\\_interes/138.asp](http://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/138.asp)

Es fundamental una prolija selección de la grava, pues la permeabilidad del filtro debe ser mayor que la del acuífero. Se requiere de un trabajo minucioso y prudente en la colocación del filtro procurando que no se pierda la graduación de la grava elegida. El espesor del filtro deberá de ser de 7 0 20 cm (3 a 8") dependiendo del valor de la profundidad del pozo y de lo regular de la construcción de la perforación.

En muchas ocasiones, las características del subsuelo posibilitan la creación de la pared de grava con las propias partículas que constituyen la formación. Al respecto se sugiere la siguiente receta para un buen diseño de estos filtros: "cualquier clase de material, por fino que sean, se pueden controlar con un filtro construido por grava graduada, con partículas limitadas entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro.

#### **2.4.10 Sello sanitario**

Finalmente durante el funcionamiento del pozo también será necesario adoptar las medidas correspondientes para evitar la entrada en el pozo de aguas contaminadas, para ello se instala una protección superior que consiste en:

- Prolongar el revestimiento hasta 50 cm. por encima del nivel del suelo.
- Cubrimiento de concreto en la entrada al pozo, con pendientes hacia la periferia.
- Protección a base de material arcilloso en un radio dependiente de las condiciones locales.
- Cierre sanitario de la boca de pozo a base de chapas atornilladas con juntas estancas de goma.
- Cementación del trasdós del revestimiento al menos en los primeros tres metros

#### **2.4.11 Limpieza y Desarrollo**

Ese proceso consiste en un conjunto de operaciones, realizadas una vez colocada la rejilla, destinada a extraer los residuos de la perforación (lodos); logrando un arreglo y mejoramiento en la granulometría; a aumentar la permeabilidad del acuífero al nivel que tenía previo a la Perforación, y que se va reducida por la perforación misma al compactar las paredes del pozo; al extraer la presencia de lodos que recubren las paredes de este; y finalmente prolongar la vida útil del pozo.

Una vez terminado el pozo debería realizarse operaciones de limpieza que tienen como objeto desalojar la bentonita o en forma general los lodos de perforación utilizados durante la construcción. Los métodos de desarrollo son básicamente vaivén y pistón, chorros de agua a altas velocidades, aire comprimido bombeo intermitente o agitación y sobre bombeo.

#### **2.4.12 Métodos de perforación del pozo**

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

Existen métodos mecanizados y manuales para perforar pozos, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación.

### **2.4.12.1 Perforación de percusión**

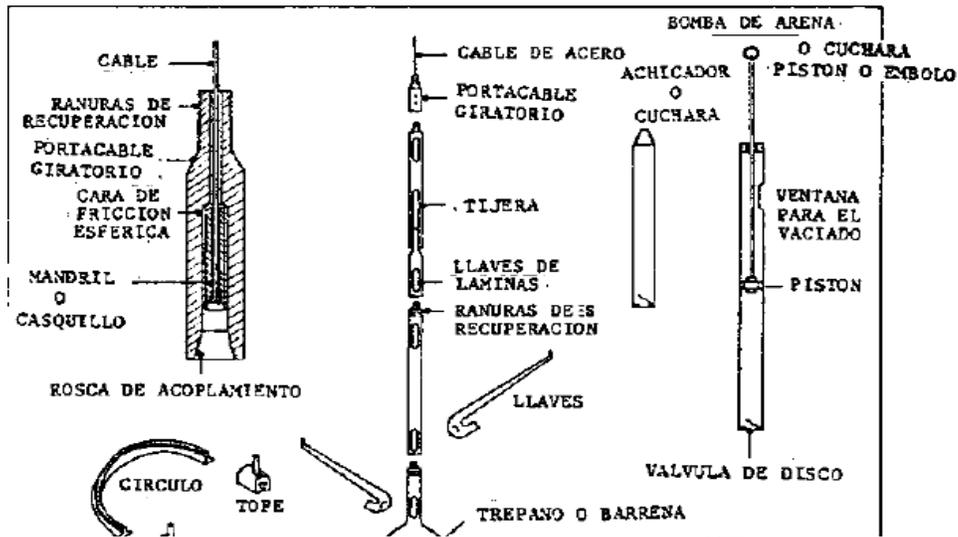
El método se basa en la caída libre de un peso en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo en perforación. Dejando caer con regularidad una pesada sarta de herramientas dentro del agujero que se va abriendo. El barreno fractura o desmorona la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos. Cuando se está perforando en material suave o consolidado el barreno afloja el material. En ambos casos la acción del vaivén de las herramientas entremezcla con agua las partículas fracturadas y desprendidas, formando así un lodo. El lodo resultante debe ser retirado del agujero de tiempo en tiempo mediante una bomba de arena o una cuchara. Cuando se acumula mucha columna de lodo esta amortigua la caída de las herramientas y retarda la velocidad de penetración. Tal circunstancia es la que determina con cuánta frecuencia debería extraerse el lodo.

Una sarta completa de herramientas de Perforación se halla completa constituida por cuatro elementos, estos son: el barreno, la barra de peso adicional al barreno y el efecto de su longitud ayuda a mantener un agujero recto cuando se perfora en roca dura. Las tijeras consisten de un par de barras de aceros articuladas. Cuando se perfora en aquellos materiales en los que el barreno está propenso a quedar aprisionado, se utiliza las tijeras para aflojar las herramientas, estas es la única función que desempeñan.

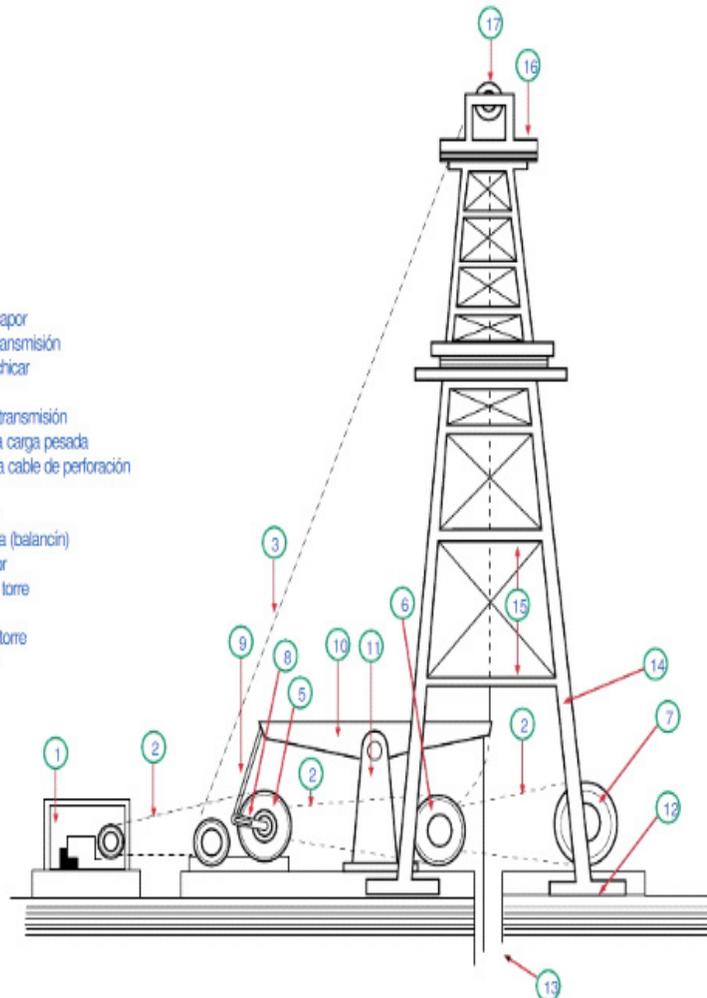
El portacable giratorio establece la conexión de herramientas al cable además su peso suministra parte de la energía de los golpes ascendentes dados por las tijeras cuando se necesita usar estas. También permite que las herramientas giren ligeramente con respecto al cable. Los elementos de la sarta de herramientas se acoplan entre sí mediante extremos roscados.

El cable de alambre que soporta las herramientas de perforar se denomina comúnmente las líneas de perforar. Por lo general varía entre 5/8 y 1" de diámetro y su torcido en su sentido izquierdo. La línea de perforar se hace pasar por una polea de coronamiento que se halla situada en la cumbre del mástil o torres, de donde desciende hacia el cabrestante llegando al tambor principal de arrollado. La cuchara está formada por un tramo de tubo con válvula de retención en el fondo. La bomba de arena es una cuchara dotada de un embolo el cual, al desplazarse hacia arriba produce un vacío que abre la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos haciéndolo penetrar al tubo.

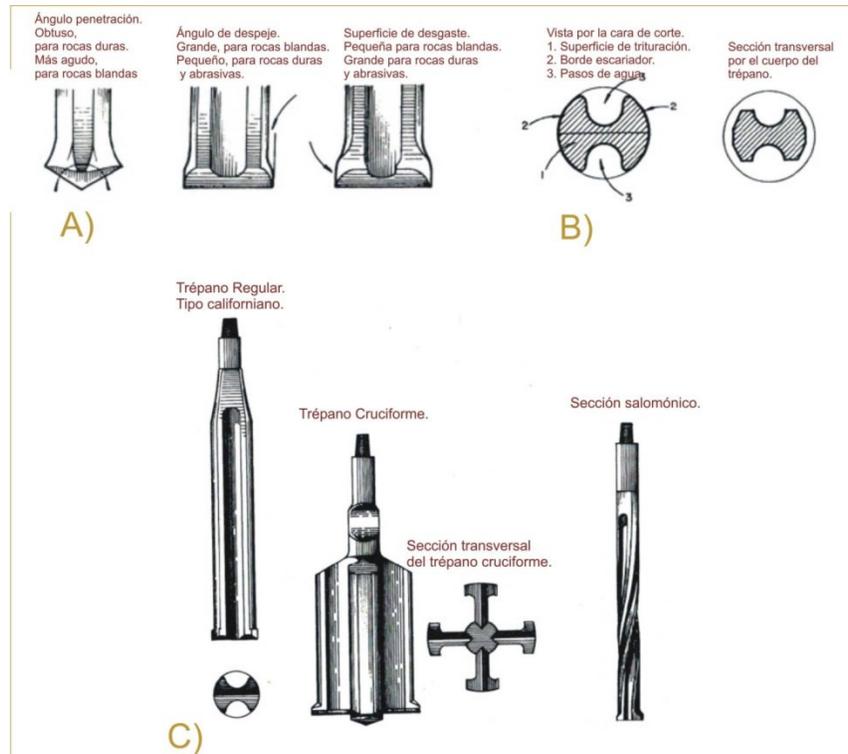
Herramientas de una sarta por el método de percusión **Figura # 11**



1. Máquina de vapor
2. Correas de transmisión
3. Cable para achicar
4. Malacate
5. Malacate de transmisión
6. Malacate para carga pesada
7. Malacate para cable de perforación
8. Biela
9. Eje conector
10. Viga maestra (balancin)
11. Puntal mayor
12. Bases de la torre
13. Sólano
14. Patas de la torre
15. Travosaños
16. Cornisa
17. Poleas



Trépanos: independientemente de todos el conjunto de herramientas que forma la “sarta” se encuentra como parte esencial el trepano o herramienta de corte. Se puede decir que dé el, sobre todo depende la construcción de pozos.



#### 2.4.12.2 Perforación de rotación

Estos equipos se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca, trícono o trépano perforador. 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 tríconos, 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 terreno.

El método hidráulico de Perforación por rotación consiste en oradar un agujeró mediante la acción rotativa de un trepano y remover los fragmento que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme el trepano penetra en los materiales de la formación.

### **2.4.12.3 Perforación rotatoria con aire comprimido.**

El equipo rotatorio de perforación que se utiliza aire comprimido como fluido de perforar, en lugar de lodo, constituye un avance muy moderno en la industria de la perforación de pozos en este sistema se hace circular aire a presión por la tubería de perforación, el cual escapa por las aberturas del trepano, subiendo luego por el espacio anular que rodea la tubería. El aire que se desplaza a gran velocidad dentro el anillo arrastra los fragmentos hasta la superficie o los expulsa de las fisuras de las rocas. Este procedimiento solo se puede aplicar a formaciones consolidadas.

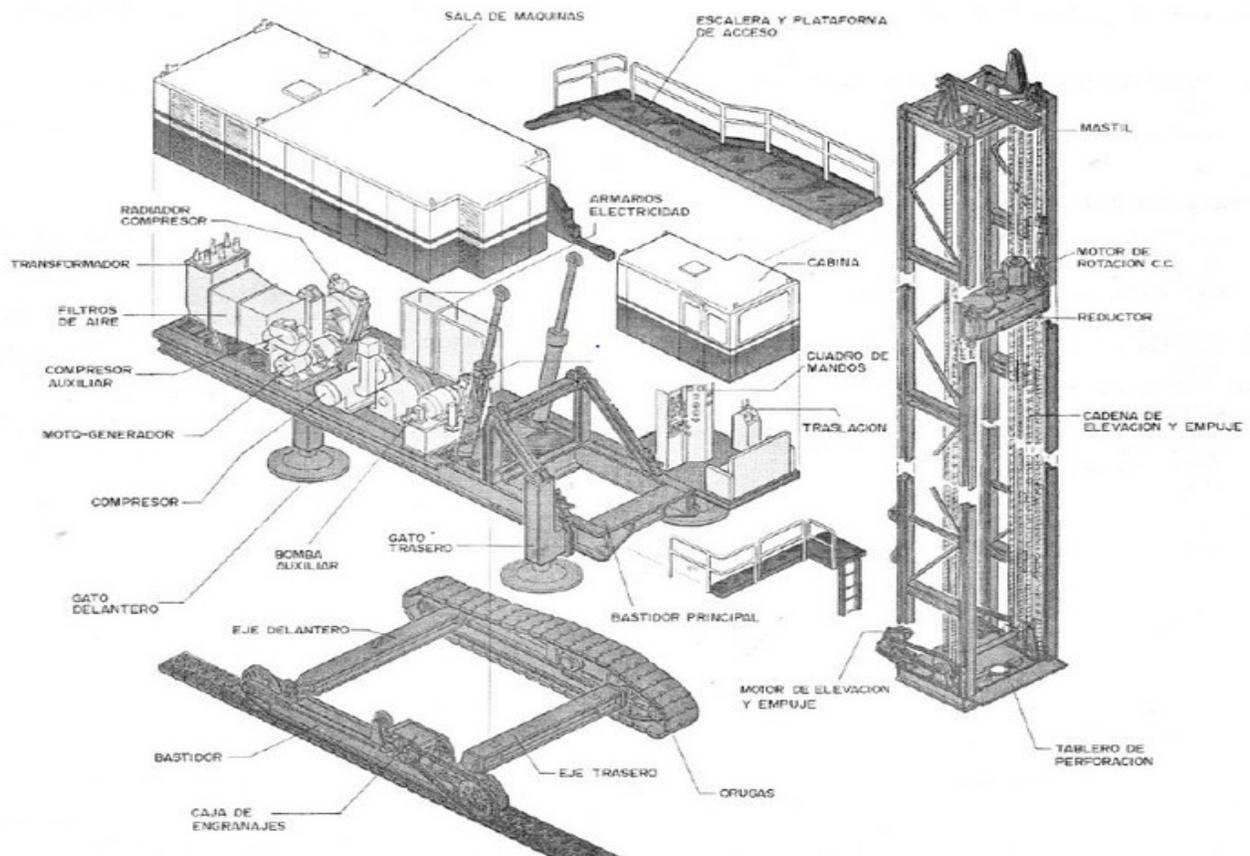
Las máquinas de perforar rotatorias diseñadas para estos tipos de trabajo, vienen por lo general equipada con una bomba convencional de lodos además de un compresor de aire de gran capacidad. Es posible que para evitar derrumbes se haga necesario instalar ademe dentro del relleno superior al pasar la circulación de aire.

Los trépanos para rocas del tipo rodete, similares al os que se diseñan para la perforación a base de lodos puede también utilizarse cuando se perfora con aire. El tipo que se conoce como trepano incrustado resulta de conveniente aplicación de ciertas aéreas. Este trepano se fabrica con incrustaciones de tungsteno fijadas a la periferia de los rodetes de acero. Los trépanos trícono en diámetro alrededor de 30 cm; también se utilizan corrientemente, asimismo se dispone de diámetros mayores. El otro tipo de herramienta y trepano, que se utiliza en el sistema rotatorio con aire comprimido, consiste en esencia de un martinete neumático que se halla colocado en el extremo interior de la tubería. El trepano consiste de un martinete con incrustaciones resistente de carburo de tungsteno, que son los que proveen la superficie de corte. A esta herramienta se le puede llamar martinete descendente, este combina el efecto percusivo y la acción rotativa a este también se le denomina como martillo a fondo.

El carburo de tungsteno es extremadamente resistente a la abrasión pero los trépanos siempre se desgastan por el uso continuo.

El aire comprimido deberá suministrar a una presión de 7 a 7.7 kg/cm<sup>2</sup>. Algunas herramientas necesitan hasta 14 kg/cm<sup>2</sup> para extraer los fragmentos con efectividad la velocidad ascendente del aire.

Una de las ventajas práctica de la perforación de pozos por este método consiste en que el perforar puede observar, conforme avanza la perforación cuánta agua es expulsada del pozo junto con fragmento. En esta forma estará en la capacidad de juzgar si el pozo ha alcanzado la suficiente profundidad como para producir el rendimiento que se desea obtener.



En esta **Figura # 12**: se observa una máquina perforadora rotativa con sus componentes principales de accionamiento eléctrico.

## 2.5 Montaje y Sistema de Propulsión

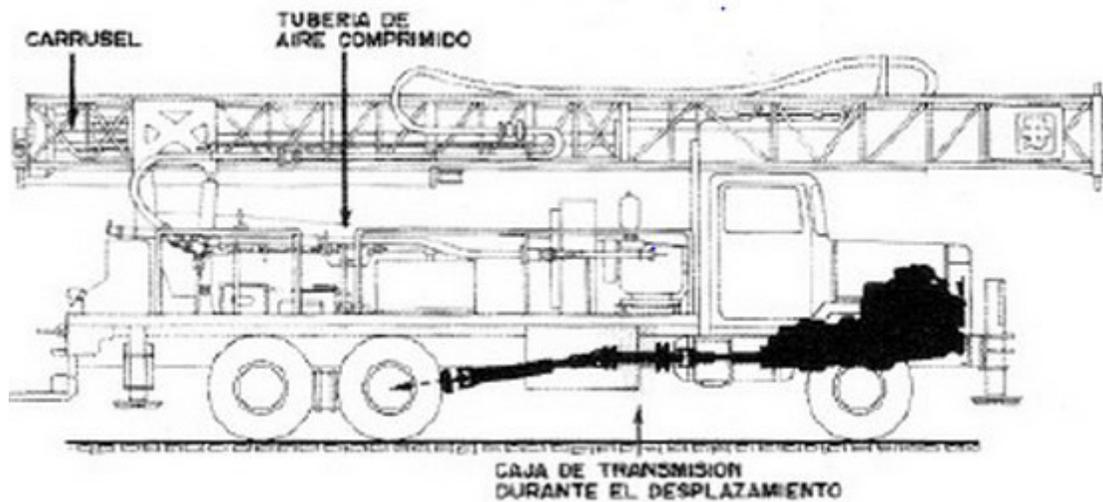
Existen dos sistemas de montaje para perforadoras rotativas:

1. Sobre orugas
2. Sobre neumáticos

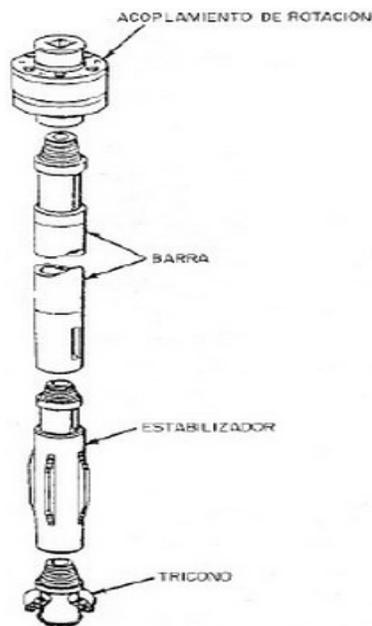
Los factores que influyen en la elección de un tipo sobre otro son las condiciones del terreno y el grado de movilidad requerido. Si la superficie de trabajo presenta fuertes pendientes desniveles o baja capacidad portante.

También existen perforadoras diesel – eléctricas diseñadas para gran producción son infraestructuras eléctricas.

En la **Figura # 13**: observara un esquema de accionamiento de una máquina perforadora diesel dotado de compresor, muy común en nuestro país.



La sarta de perforación está formada por el acoplamiento de rotación, las barras, el estabilizador, el trícono o broca dependiendo del terreno.



### 2.5.1 Verticalidad y Alineamiento

Cualquier persona estará de acuerdo que un pozo debe hallarse tanto recto como a plomo. Al mismo tiempo todos comprendemos que no es posible garantizar que un agujero perforado dentro de la tierra a una profundidad apreciable sea completamente recto y se halle perfectamente a plomo.

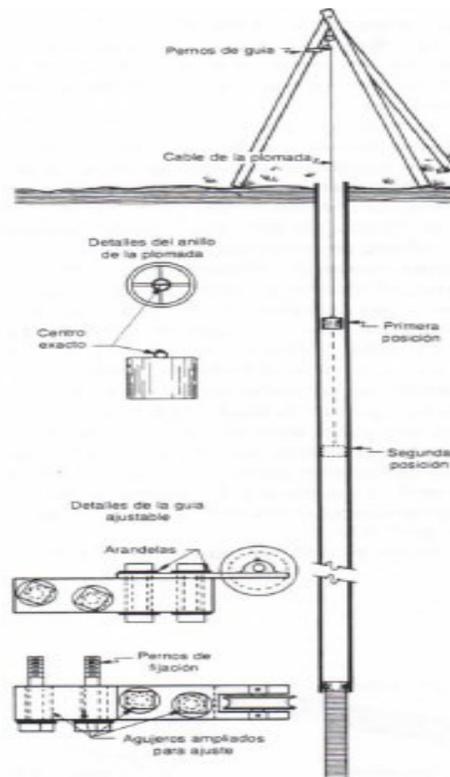
En la práctica deberán permitirse algunas tolerancias o desviaciones. En el mayor caso el contratista de la perforación puede mantener el alineamiento del pozo dentro de ciertos límites prácticos que ejerce un cuidado razonable.

Algunas especificaciones exigen que la verticalidad sea verificada con plomada especial y que la rectitud sea constante con un equilibrador cilíndrico de 12 metros de longitud y de un diámetro ligeramente menor que el ademe del pozo.

Sin embargo es posible medir tanto la desviación de la vertical como la rectitud mediante el solo uso de una plomada. De las mediciones la rectitud del pozo es la de mayor importancia puesto que es la que determina si una bomba puede o no instalarse en el pozo hasta a la profundidad deseada.

En un pozo que no sea recto aunque se halle fuera de plomo, puede instalarse sin dificultad cualquier bomba. Cuando la desviación de la vertical es mucha, ello puede afectar la operación y acortar la duración de ciertas bombas por lo que la verticalidad no debe de salirse de los límites razonables.

En la figura # 13: se puede apreciar un esquema de cómo realiza la medición de verticalidad y alineamiento de un pozo.

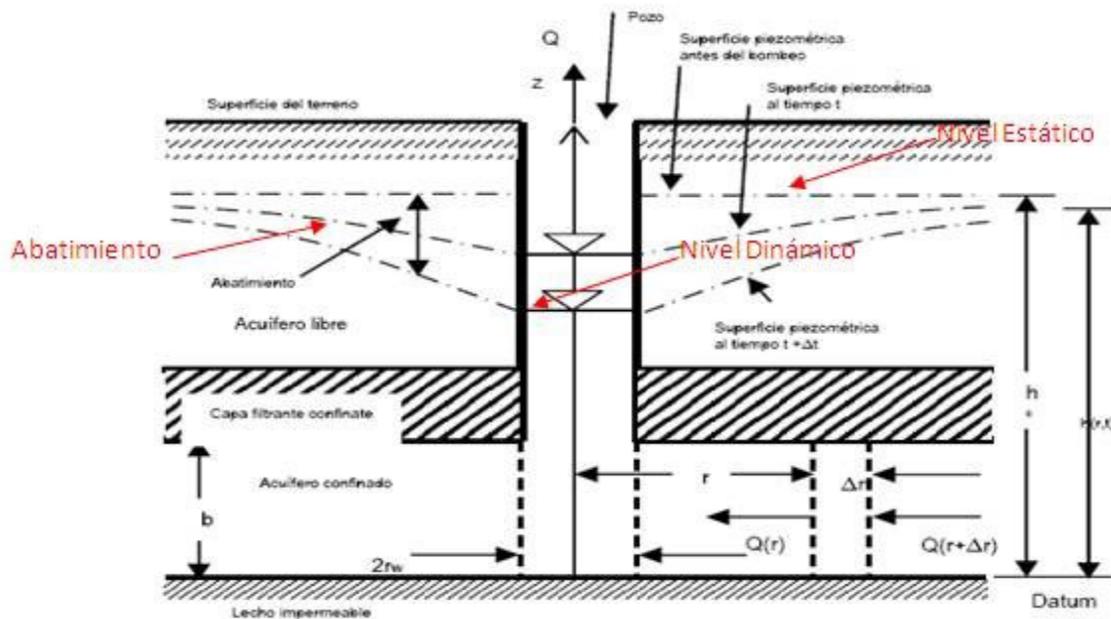


## 2.5.2 Prueba de Bombeo

Es de suma importancia la realización de prueba de bombeo o Aforo al pozo recién construido o a los pozos ya existentes, con el propósito de saber los rendimientos de los pozos, esto es, el volumen de la descarga y el abatimiento.

El objetivo de esta prueba es para conocer el caudal del pozo, es decir, el caudal óptimo de explotación donde el pozo tenga un rendimiento máximo, en cuanto a los niveles de bombeo o descenso del agua, ya sea en invierno o verano y no afecte la eficiencia de los pozos durante la operación definitiva del equipo sumergible a instalar.

**Figura # 14: Esquema de prueba de bombeo**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos75/hidraulica-captaciones-agua-subterranea/hidraulica-captaciones-agua-subterranea2.shtml>

Con esta finalidad, existen dos tipos de prueba de bombeo para caudal extraído:

**Prueba a caudal variable o escalonada:** La finalidad de esta prueba de extracción de agua, es para determinar el comportamiento del pozo en cuanto al descenso de los niveles de bombeo en la unidad de tiempo, esta prueba se realiza con diferente caudales y se pasa al siguiente caudal cuando se logra mantener el nivel dinámico de bombeo con respecto al tiempo constante para un mismo caudal de explotación y puede tener hasta cuatro caudales diferentes.

**Prueba a caudal constante:** Esta es la prueba definitiva y es de larga duración, se realiza con un solo caudal y puede durar 72 o más horas continua de bombeo.

### 2.5.3 Estación de Bombeo

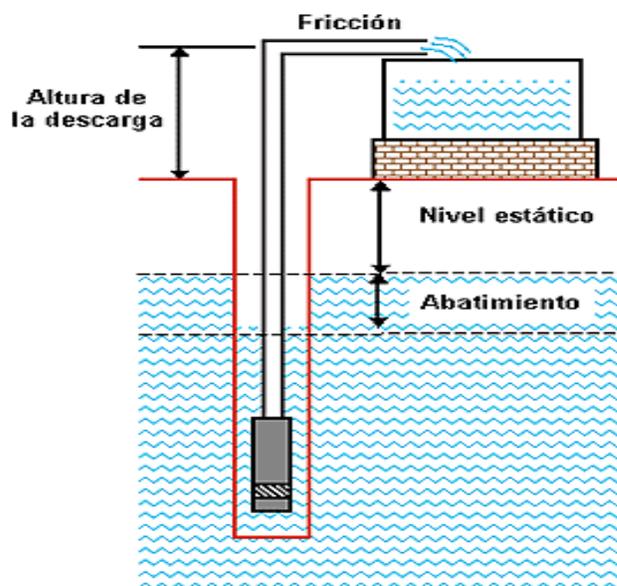
Antes de determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. Como se mencionó anteriormente, el tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la carga dinámica total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD):

$$CDT = CE + CD = \text{Nivel estático} + \text{abatimiento} + \text{altura de la descarga} + \text{fricción}$$

### 2.5.4 Carga Estática

La carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea agua.

**Figura # 15 Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua**



Fuente: [http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/hidraulica.html](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/hidraulica.html)

## 2.5.6 Carga Dinámica (Fricción)

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plásticos PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción mientras más estrechos mayor resistencia producida.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras.

## 2.5.7 Tablas de Fricción

Existen tablas publicadas por diferentes fabricantes que indican el porcentaje de fricción que debe añadirse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

En este apéndice podemos apreciar unas tablas de fricción para tuberías de plásticos PVC y acero galvanizado. Estas tablas proporcionan un valor más cercano a la fricción verdadera

El método de Hazen Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5°C – 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad “C” no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tubería para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero.

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{(C^{1,852} * D^{4,871})} \right\} * L$$

### Dónde:

H: pérdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

C: coeficiente de rugosidad (Adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen - Williams para diferentes materiales.

**Tabla # 3 Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales**

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/57468533/Hazen-Williams>

Una vez determinado el rendimiento del pozo, longitud de la línea de conducción donde descargara agua el pozo, Niveles topográficos, pérdidas de carga, se determinara la carga total dinámica, con estos parámetros se procederá a la selección del sistema de bombeo del pozo, para lo que se tomara en consideración los siguientes elementos:

- Tubería de succión
- Tubería de Impulsión
- Equipo de bombeo
- Válvulas de regulación y control
- Equipo para cloración
- Grupo generador de energía y fuerza motriz
- Interruptores de máximo y mínimo nivel
- Tablero de protección y control eléctrico
- Caseta de bombeo

### 2.5.8 Demanda de la Población

Para el diseño de un Sistema de Agua Potable en la zona rural se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector urbano, debido a que existen diferencias en ambos medios, considerando dentro de esas diferencias los factores culturales, económicos y sociales.

### 2.5.9 Cálculo de Población

Para el cálculo de las poblaciones futuras se usará el método geométrico expresado por la fórmula siguiente:

$$P_n = P_o (1+r)^n$$

**Dónde:**

**P<sub>n</sub>** = Población del año “n”

**P<sub>o</sub>** = Población al inicio del período de diseño

**r** = Tasa de crecimiento en el periodo de diseño expresado en notación decimal.

**n** = Número de años que comprende el período de diseño.

Si no se dispone de datos de población al inicio del período de diseño, deberá efectuarse un censo poblacional por medio de los representantes comunitarios o promotores sociales, previamente entrenados. Conviene conocer la tasa de crecimiento histórico nacional, para compararla con la obtenida en cada caso particular. Los valores anuales varían de 2.5% a 4%. El proyectista deberá justificar la adopción de tasas de crecimiento diferente a los valores indicados.

### 2.5.10 Dotación

La dotación de agua, expresada como la cantidad de agua por persona por día está en dependencia de:

- 1- Nivel de Servicio adoptado
  - 2- Factores geográficos
  - 3- Factores culturales
  - 4- Uso del agua.
- a) Para Sistemas de abastecimiento de agua potable, por medio de puestos públicos, se asignará un caudal de 30 a 40 lppd.

- b) Para sistemas de abastecimiento de agua potable por medio de conexiones domiciliarias de patio, se asignará un caudal de 50 a 60 lppd.
- c) Para los pozos excavados a mano y pozos perforados se asignará una dotación de 20 a 30 lppd.

### 2.5.11 Variaciones de Consumo

Las variaciones de consumo estarán expresadas como factores de la demanda promedio diario, y sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de: obras de captación, línea de conducción y red de distribución, etc.

Estos valores son los siguientes:

Consumo máximo día (CMD)= 1.5 CPD (Consumo promedio diario)

Consumo máximo hora (CMH)= 2.5 CPD (Consumo promedio diario)

A continuación se indican los períodos de diseños económicos de los elementos componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable.

**Tabla # 4**

TIPOS DE COMPONENTES	PERIODO DE DISEÑO
Pozos excavados	10 años
Pozos perforados	15 años
Captaciones superficiales y manantiales	20 años
Desarenador	20 años
Filtro lento	20 años
Líneas de conducción	15 años
Tanque de almacenamiento	20 años
Red de distribución	15 años

### 2.5.12 Presiones Máximas y Mínimas

Para brindar presiones adecuadas en el funcionamiento del sistema de abastecimiento se recomienda que éstas se cumplan dentro de un rango permisible, en los valores siguientes:

Presión Mínima: 5.0 metros

Presión Máxima: 50.0 metros

Coeficiente de Rugosidad (C) de Hazen -Williams para los diferentes tipos de materiales en los conductos.

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

Los valores permisibles son los siguientes:

Velocidad mínima = 0.4 m/s

Velocidad máxima = 2.0 m/s

### **2.5.13 Pérdidas de Agua en el Sistema**

Cuando se proyectan Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, es necesario considerar las pérdidas que se presentan en cada uno de sus componentes, la cantidad total de agua perdida se fija como un porcentaje del consumo promedio diario cuyo valor no deberá ser mayor del 20%.

## **2.6 Estaciones de Bombeo**

En las estaciones de bombeo para pozos perforados deben considerarse los elementos que la forman lo que consiste en; caseta de protección de conexiones eléctricas, o mecánicas, conexión de bomba o sarta, fundación y equipo de bombeo (bomba y motor) y el tipo de energía.

### **2.6.1 Equipo de Bombeo y Motor**

#### **2.6.1.1 Bombas Verticales**

Los equipos de bombeo que generalmente se emplean para pozos perforados son los de turbina de eje vertical y sumergible, para su selección deben tomarse en cuenta los factores siguientes:

- Nivel de bombeo de acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo efectuado al pozo.
- Variaciones estacionales o niveles naturales del agua subterránea en las estaciones seca y lluviosa.

- El diámetro del ademe del pozo, el cual debe estar relacionado al caudal a extraerse según el cuadro siguiente:

**Tabla # 5 Relación Diámetro Interno del Pozo y Caudal de Bombeo.**

Diámetro interno Ademe del pozo		Caudal del bombeo	
Pulg	mm	Gpm	Lps
6	150	160	10
8	200	240	15
10	250	400	25

El diámetro de la columna de bombeo dentro del pozo acoplada a la bomba, será diseñada para una pérdida de fricción no mayor del 5% de su longitud, por lo cual se recomiendan los diámetros para columnas de bombeo en relación al caudal, en el cuadro siguiente se reflejan estos valores.

**Tabla # 6 Relación diámetro columna de bombeo y caudal de bombeo**

Diámetro de columna de bombeo		Caudal del bombeo	
Pulg	mm	Gpm	Lps
3	75	50	3.15
4	100	100	6.3
6	150	600	37.8

- Calidad del Eje
- Tipo de impulsores
- Característica del arranque y puesta en marcha
- Flexibilidad de Operación
- Curvas características de las bombas
- Golpe de ariete
- Tuberías en succión y descarga de equipos de bombeo.

El diámetro de la tubería de succión y de impulsión no deberán ser menores que las admitidas por las bombas, en caso de que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la admisión de la bomba (bombas horizontales), se debe conectar una reducción excéntrica.

En la tubería de descarga se deberá efectuar un estudio económico-comparativo de diversos diámetros para seleccionar el más apropiado.

De acuerdo al tipo de bomba a instalarse se tienen motores eléctricos verticales que se emplean para bombas centrifugas en pozos profundos, motores eléctricos sumergibles y motores para bombas horizontales con capacidad de uso corriente dados por los fabricantes que oscilan desde los 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125 hasta 200 HP, y de mayor capacidad.

Se tiene que considerar como norma emplear un factor de 1.15 para calcular los HP del motor en base a los HP de la bomba, debido a la pérdida mecánica.

Las velocidades de operación de los motores eléctricos varían de acuerdo a la capacidad o caudal del equipo de bombeo. De acuerdo a la capacidad de los motores eléctricos se recomienda los tipos de energía siguiente:

Para motores de 3 a 5 HP, emplear 1/60/110 energía monofásica.

Para motores mayores de 5 HP y menores de 50 HP se usará 3/60/220 y mayores de 50 HP se empleará 3/60/440, energía trifásica.

## **2.6.2 Almacenamiento**

Debido a que las Normas actuales de diseño de abastecimiento y potabilización de agua (NTON 09003 – 99) tienen como objetivo el establecimiento de las principales directrices para el propósito indicado (ver el prólogo del documento de Normas de diseño) y tomando en consideración que cuando el acueducto opera bajo el esquema de FUENTE – RED DE DISTRIBUCIÓN – TANQUE, existe el riesgo de que los tanque de almacenamiento en un buen número de casos no logren ser llenados, debido por lo general a la falta de una buena micro medición en la red de distribución y a excesos de fugas en las tuberías u otros componentes del acueducto.

Debido a las condiciones y características propias de este Proyecto y a los riesgos señalados con anterioridad, el volumen de almacenamiento será proyectado para el cumplimiento de las condiciones que a continuación se describen.

A) Garantizar un abastecimiento suficiente y continuo de agua a la población mediante un volumen equivalentes al 25% del Consumo Promedio Diario para compensación de las demandas de máximo consumo horario, más un volumen equivalente al 15% del Consumo Promedio Diario para garantizar el abastecimiento de agua a la población durante un período de tiempo en que se interrumpa el suministro de agua procedente de la fuente por razones que estén fuera del control del personal operativo.

B) El volumen de almacenamiento total será mayor a la sumatoria del 25% de consumo promedio diario más el volumen necesario para atender un incendio de dos de duración. Esto conforme a los criterios expresados en el libro “DISEÑO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS”, RICARDO ALFREDO LOPEZ CUALLA, SEGUNDA EDICION, EDITORIAL ALFA OMEGA.

Cuando las condiciones de altitud del área del proyecto y sus alrededores sean llanas y para evitar la necesidad de construir un tanque sobre torre de gran volumen y excesivamente elevado, el volumen de almacenamiento total podrá dividirse en dos partes, uno sobre torre cuyo volumen será de entre un 10% y un 20 % del volumen total de diseño; mediante el cual se proveerá las presiones de servicio mínimas en los sectores más desfavorables de la Red de Distribución, el segundo volumen de almacenamiento será sobre el suelo y podrá estar contenido en uno o dos tanques que contendrán entre el 80% y el 90% del volumen total de diseño.

Para la realización del trabajo monográfico sobre el diseño de un pozo de agua potable en el municipio de Nandaimé se realizó la primera etapa que consistió en la obtención de la información, la cual consiste en lo siguiente:

- Recopilación Bibliográfica.
- Exploración en INTERNET
- Visita a instituciones. (INETER, ALCADLIA, INIDE )
- Consulta a la empresa Proyectos y Sistema de Agua (PRYSA)
- Solicitud de datos obtenidos de la alcaldía municipal de Nandaimé y ENACAL, para la caracterización de factores sociales, económicos y ambientales del municipio.

### **3.1 Información Recopilada**

La información recopilada, ha sido procesada y analizada, donde está se indagaron temas relacionados con la geología, litología, hidrología, hidrogeología, hidráulica, topografía, y otros factores como datos para el diseño, construcción del pozo e instalaciones de equipo de bombeo. En esta primera fase de la metrología consistió en recopilar información documental que se logró obtener en el campo, para su revisión, selección e interpretación, esto se llevó a cabo en diferentes instituciones privadas y públicas, así también como consulta a especialista en la materia.

Se realizaron visitas de campo para la obtención de una base de datos actualizada, para obtener el modelo conceptual, y comparar la información ya existente del área de estudio con la recopilada en campo. Se hará un estudio sobre la litología del suelo en el sitio de construcción del pozo. Serán tomados en cuenta los parámetros más importantes que debe de llevar un diseño de pozo para el abastecimiento de agua potable, con sus ecuaciones y pasos para un cálculo adecuado.

### **3.2 Caracterizar la hidrogeología de la formación acuífera en la zona de estudio.**

Para lograr la caracterización hidrogeológica de la formación acuífera de la zona de estudio está basado en la recopilación de la información hidrológica, hidrogeológica e hidroquímica existente y determinada mediante investigación del área. Para determinar los parámetros hidrogeológicos como rendimientos específico permeabilidad, transiividad, conductividad hidráulica entre otros, estarán ligadas al tipo de acuífero que se encontrara en zona de estudio de igual modo a la prueba de bombeo realizada

al pozo si este pertenece a condiciones de equilibrio y de no equilibrio. Una vez ya obtenidos los parámetros de campo podemos utilizar un serie de fórmula de régimen de equilibrio y de los régimen de no equilibrio utilizadas en la hidráulica de pozo.

### **3.2.1 Determinación de la litología de la zona de estudio.**

Para cumplir con este parámetro se recolectara la muestra de la perforación identificando los materiales encontrado durante la perforación del pozo, donde esta determinara el tipo de material del acuífero que se encuentre en esta zona.

### **3.2.2 Determinación del Acuífero Encontrado en la Zona.**

Determinar el tipo de acuífero encontrado en la zona, esto se determinar en el campo realizando comparaciones de las teorías del comportamiento de estos y según el material que lo compone (Consolidado y no consolidado).

### **3.2.3 Determinar el Espesor del Acuífero**

Se determinará mediante el perfil litológico, que se irá registrando conforme aumente la perforación, posterior a encontrar el nivel estático. En cuanto al material de formación, se obtendrá mediante la recolección de muestreos de material de la formación acuífera. Realizando una resta en la área de inicio del acuífero y límite del acuífero dentro la formación.

Esta se realizara mediante la ecuación, siempre y cuando se cuente con los datos de necesarios.

Profundidad Inicial – Profundidad Final

$$m = Pf - Pi$$

**Dónde:**

Espesor del acuífero (m)

Profundidad donde da inicio el espesor.

Profundidad del límite o final del espesor.

### 3.2.4 Permeabilidad

Para la determinación de la permeabilidad se usaran las ecuaciones presentada en el marco teórico. En relación del tipo de acuífero encontrado durante la perforación del pozo en dependencia de su régimen, Acuíferos confinados y no confinados, claro esto estará en dependencia de la litología encontrada en la zona del proyecto y el espesor de saturación del acuífero. Para el cálculo directo se despeja P de la ecuación de la fórmula del equilibrio.

$$Q = \frac{2.72 P m(H - h)}{\log \frac{R}{r}}$$

#### Dónde:

Q: rendimiento del pozo o caudal del bombeo, en m<sup>3</sup> por hora.

P: permeabilidad de la formación en m/hora

H: espesor saturado del acuífero, antes del bombeo en m.

h: profundidad del agua en el pozo, durante el bombeo en m

R: radio del cono de depresión, en m.

r: radio del pozo en m.

### 3.2.5 Rendimiento Especifico

Para determinar el rendimiento específico estará en dependencia del caudal de explotación en la prueba de bombeo y del abatimiento que se produce a la hora de determinar el caudal del pozo. Por medio de la expresión:

$$\text{Rendimiento específico} = \frac{Q}{s}$$

Q: Caudal de explotación, en m<sup>3</sup>/hr.

s: Abatimiento, en m.

### 3.2.6 Porosidad

La porosidad estará en dependencia de la formación hidrogeológica que encontremos durante la perforación y de la litología del acuífero que se determine en la zona, si este concierne a la familia de los materiales consolidado o no consolidado, por lo cual se utilizaran tablas.

Tabla # 7 Los materiales pertenecientes a los materiales descritos son.

<i>Materiales no consolidado</i>	<i>Materiales consolidados</i>
Grava gruesa	Arenisca
Grava media	Caliza y dolomia
Grava fina	Caliza cárstica
Arena con grava	Pizarras y lutitas
Arena gruesa	<u>Basalto fracturado</u>
Arena media	Roca cristalina fracturada
Arena fina	Roca cristalina densa
Arcilla arenosa	Granito alterado

### 3.2.7 Transmisividad

Esta se puede determinar de dos forma multiplicando la permeabilidad del acuífero por espesor saturado de la formación. Para la realización de este cálculo se utilizara la siguiente expresión.

$$T = P * E$$

**Dónde:**

T = Transmisividad del acuífero.

P = Permeabilidad del acuífero.

E = Espesor del acuífero.

### 3.3 Determinar y caracterizar los parámetros para el diseño del pozo.

Para cumplir con este objetivo se tomaran las coordenadas de ubicación del pozo siguiendo la siguiente metodología.

### **3.3.1 Método de perforación**

Para la perforación del pozo ya localizado el punto a perforar y teniendo un diseño preliminar de este mismo según la información de la hidrogeología de la zona de estudio, se seleccionara el método de Perforación, realizando un análisis para seleccionar el método de perforación como otros parámetros para perforar un pozo.

1. Ventajas del método a perforar.
2. Limpieza del terreno.
3. Medidas ambientales
4. Nivelación de la maquinas
5. Profundidad del pozo

### **3.3.2 Profundidad del Pozo**

La profundidad total de un pozo se rige fundamentalmente por:

- Espesor y niveles relativos del acuífero o acuíferos que se vayan a explota. El pozo se perforará a una profundidad que garantice un caudal específico alto, y el mayor abatimiento disponible, que permita incrementar la producción razonablemente.
- La profundidad a que se encuentra el nivel freático más profundo por explotar, cuando existen varios.
- La calidad del agua, factor que en ocasiones limita la profundidad y otras la propicia.
- El caudal a extraer.

### **3.3.3 El Ademe**

El ademe o encamisado de protección del pozo se determina de una manera que evite los derrumbes de los estratos geológicos. La tubería de ademe suele estar forrada por una parte de tubo ciego o liso, que forma la cámara de bombeo y por el cedazo, malla o tubo filtro, que constituye la tubería de producción. Esta puede ser de material en PVC, o en Hierro Fundido.

### 3.3.4 Diámetro de la Cámara de Bombeo o Diámetro del Ademe

Éste queda definido por el caudal que se va extraer, ya que de éste depende el diámetro de los tazones de la bomba. Generalmente el ademe ciego que formará la cámara de bombeo, se le asigna un diámetro mínimo de 3" (75 mm) mayor que el diámetro de los tazones de la bomba.

$$D \text{ ademe} = D \text{ tazones} + 2.00 \text{ plg}$$

### 3.3.5 Diámetro de los Tazones de la Bomba

El diámetro de los tazones (pulgadas) en términos generales; es igual a la raíz cuadrada del caudal máximo (litros por segundo), más una pulgada.

$$D \text{ tazones} = (Q)^{1/2} + 2.54$$

D tazones. Diámetro exterior de los tazones o cuerpo de la bomba en plg.

Q. Caudal de bombeo en Gpm

### 3.3.6 Diámetro de la perforación

El diámetro de la perforación corresponde al diámetro del ademe más un espacio adicional para el filtro anular de grava cuando requiera:

$$D \text{ perforacion} = D \text{ ademe} + 3 \text{ plg}$$

### 3.3.7 Filtro de Grava

La selección del filtro de grava estará en dependencia del tipo de material de la formación acuífera, de las ranuras de las rejillas; manteniendo una velocidad adecuada para evitar la entrada de material al pozo y así evitar la sedimentación del mismo. Para esto se usaran datos de valores comparativos. También podemos aplicar la siguiente regla muy utilizada, Para elegir la grava esta se realizara de manera empírica donde el Ingeniero Mexicano Vicente Vargas (1976) sugiere lo siguiente para los buenos diseños de estos filtros, cualquier clase de material. Por finos que sean, se pueden controlar con un filtro constituido por grava graduada con partículas limitada entre ¼ y ½" de diámetro.

Para determinar la cantidad de grava necesaria para rellenar el vacío anular exterior del encamisado o ademe del pozo y el interior de la perforación procede de la siguiente manera

$$V_{gr} = [(D_p)^2 - (D_e)^2 - (D_i)^2] * \pi * h$$

V<sub>gr</sub> = volumen de grava para rellenar el vacío anular según medidas empleadas

D<sub>p</sub> = diámetro de Perforación en m

D<sub>e</sub> = diámetro de encamisado en m

D<sub>i</sub> = diámetro interno del encamisado

h = profundidad del pozo en m

$\pi = 3.1416$

### 3.3.8 Selección de la Rejilla

La selección de la rejilla estará en dependencia de la litología y distancia de los acuíferos encontrados en la diferentes zona del pozo al igual de dos reglas la primera si el material fino descansa sobre el grueso debe extenderse la rejilla que tiene su abertura diseñada para el material fino dentro del material más grueso que se halle por debajo. La segunda regla converge si el material fino reposa sobre un material grueso, el tamaño de la ranura del tramo de la rejilla que va instalarse en el estrato de granometría gruesa no debería ser mayor que el doble de la abertura que se emplea para el material fino también estará en dependencia tipo de material de la formación acuífera y manteniendo una velocidad máxima de entrada del flujo al pozo, para evitar la entrada de material y así evitar la sedimentación del mismo. La velocidad se calcula dividiendo la descarga deseada o que se espera obtener por el área total abierta de las ranuras de la rejilla.

Esta también dependerá del tipo de material a utilizar y en las diferencia de costo entre estos material.

### 3.3.9 Determinación del Área Abierta en las Rejillas

Esta la brindara el fabricante donde se realice en enrejillado de la tubería. Donde se calculara los siguientes.

1. Velocidad de entrada del flujo.
2. Caudal de entrada.
3. Área neta de ranura por tubos ranurada.
4. % de área abierta de la rejilla.

Esto se analizara en dependencia del material a utilizar para enrejillar el pozo. Donde las especificaciones de tubería podemos determinar la apertura de rejilla con las siguientes expresiones.

Área neta de ranura en plg<sup>2</sup> por pie de tubo ranurado (An)

Caudal de entrada en Gpm por pie de tubo ranurado (Qe)

$Qe = An * 0.31 =$  caudal de entrada/pie a una velocidad de 0.1 pies/s

- Numero de filas de ranuras (Slot) presente en la rejilla (Fr)
- Ancho de ranura (Slot en inglés), pulgadas (SI)
- Espaciamiento entre ranuras, pulgadas (ER)

Longitud interna de la ranura, en pulgadas para efectos prácticos, se considera una longitud mínima de ranurado de 205"(52mm) en diámetros de 6"a 12"(150 a 300 mm) (LI)

Números de ranuras por filas por pies de tubo ranurado (Teórico)

$$Rfp = 12" / (SL + ER)$$

$$An = RFP * Fr * SI * li$$

Área superficial interna por pies en pulgadas cuadradas. (ASI)

$$ASI = DI * 3.1416 * 12$$

$(An + Asi) * 100 +$  % de área de ranurado para un tubo dado.

### 3.3.10 Longitud de Rejilla

Para determinar la longitud de tubería con rejilla se hará uso de la siguiente ecuación.

$$L_r = Q/4.37pd * 2$$

$L_r$  = Longitud de rejilla (m)

$Q$  = Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/h

$p$  = Apertura de rejilla en %

$d$  = Diámetro de rejilla en pulgadas

### 3.3.11 Sello Sanitario

El sello sanitario se seleccionara en dependencia a los primeros estratos encontrados en el terreno, los cuales estarán reflejados en el perfil litológico. El sello se debe de construir de concreto con una resistencia de 3,500 PSI (246.13 Kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.3.12 Calculo del Volumen de concreto a Utilizar en el Sello Sanitario

Para esto se determinara las dimensiones del cubo o Los bordes de un sólido rectangular.

La fórmula de volumen para el sólido rectangular es:

$$V = B * h$$

**Dónde:**

B. Base del solido rectangular. (Largo x Ancho)

h. altura del solido rectangular.

### 3.3.13 Determinación del material a utilizar

Calculando nuestro volumen de concreto y determinando la resistencia a construir nuestro sello sanitario procedemos a calcular la cantidad necesaria para cumplir con la resistencia de 246.13 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.3.14 Determinación del Equipo para la Prueba de Bombeo

Para realizar la prueba de bombeo se debe de realizar una selección del equipo a utilizar en dicha prueba. Esta debe vencer la carga que dinámica y estática del pozo, por lo que se determinara la carga total dinámica en el pozo, tubería a utilizar en la columna de bombeo, pérdidas de carga a continuación ecuaciones a utilizar.

$$CTD = CARGA ESTATICA + CARGA DINAMICA$$

En este caso la carga estática estará definida por:

- Nivel instalación de la bomba.
- Nivel del terreno donde descargara la bomba.

$$Carga\ estatica = Nivel\ de\ instalacion + nivel\ de\ descarga$$

La carga Dinámica esta se determinara las pérdidas de carga de la tubería por la ecuación de Hazen Williams.

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right\} * L$$

**Dónde:**

H: perdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (Adimensional)

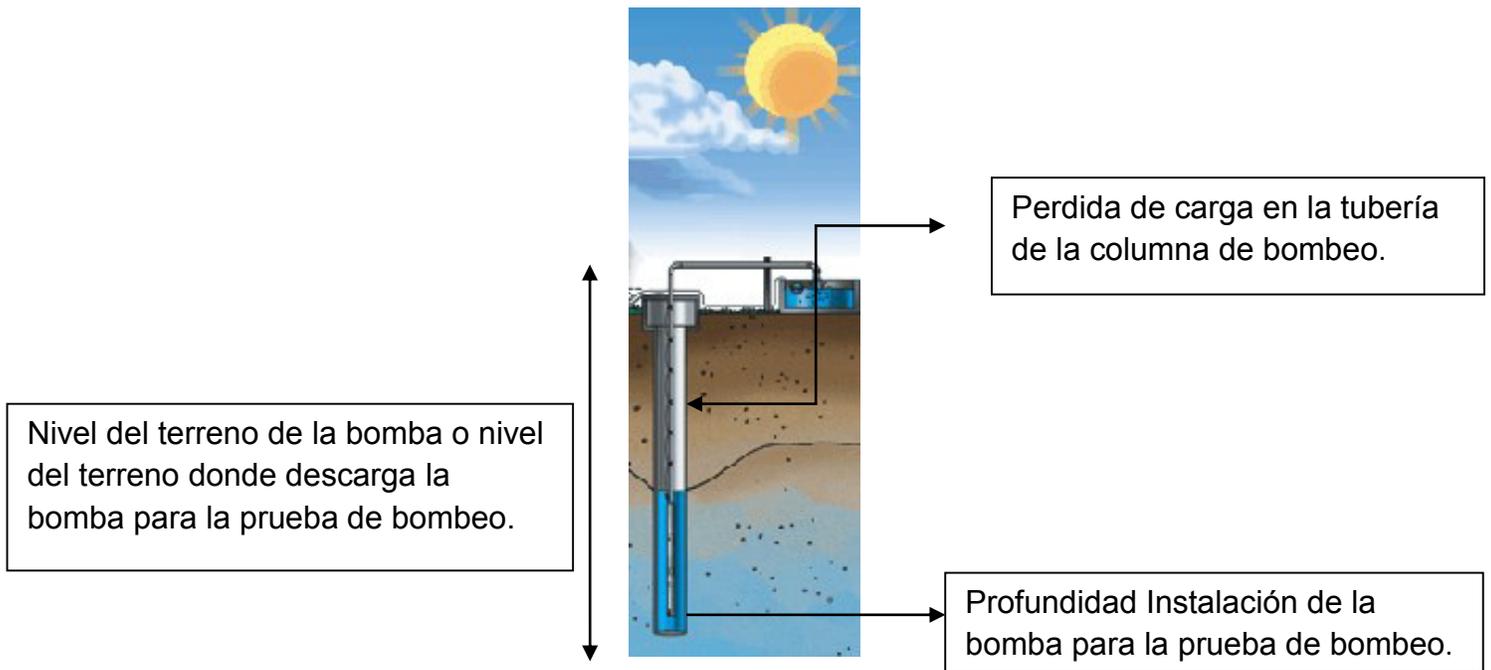
D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

El coeficiente de rugosidad estará en dependencia del tipo de material para la prueba de bombeo se utilizara el material de Hierro Galvanizado para que este soporte el peso de la Zarta. Tabla # 8

Material	C	Material	C
Hierro galvanizado	120	Plástico (PE, PVC)	140-150

A continuación una Imagen para ilustrar el cálculo, Figura # 16



Una vez determinada la carga dinámica se calculará la potencia del equipo con la siguiente fórmula.

$$HP = \frac{Q * CTD}{3960 * EF}$$

**Dónde:**

Para calcular la potencia del motor se realizara con la siguiente relación.

$$HP m = \frac{HPb}{90 \%}$$

### 3.3.15 Especificaciones Técnicas del Equipo para la Prueba de Bombeo

Se analizarán las especificaciones técnicas del equipo de bombeo a utilizar durante la prueba de bombeo.

- Caudal de la bomba.
- Potencia de bomba y motor.
- Modelo y marca a utilizar en la prueba de bombeo.
- Tipo de energía de trabajo.
- Revoluciones por minuto del equipo.
- Curva característica de esta.

### **3.3.16 Prueba de Bombeo**

La prueba de bombeo se realizara de manera escalonada en un periodo de 24.00 horas, monitoreando los niveles de abatimientos con una sonda a través de un tubo piezométrico.

El caudal se obtendrá utilizando el método volumétrico, que consiste en llenar un recipiente en un determinado tiempo, empleando la expresión siguiente:

$$Q = V/T$$

#### **Dónde:**

Q: Caudal aforado del acuífero

V: Volumen del recipiente

T: Tiempo de llenado del recipiente

Obtenido nuestro caudal del pozo, se realizara una tabla donde se ilustre los siguientes resultados de la prueba de bombeo.

- Nivel estático del Agua (NEA).
- Nivel de instalación del Equipo.
- Nivel dinámico o abatimiento del pozo.
- Profundidad del pozo.
- Diámetro de la tubería para la prueba de bombeo y tipo de material.
- Diámetro del ademe y tipo de material.
- Fecha de inicio y fecha de finalización
- Hora de inicio y hora de finalización

- Diámetro de la perforación de pozo.
- Tiempos de Aforo de los caudales variables hasta que el pozo se estabilice.
- Niveles de recuperación del pozo.

### **3.3.17 Cronograma del tiempo de perforación en cada proceso**

Se realizara una tabla donde se indique cada actividad realizada por día en esta se deberá apuntar cada movimiento que se realice en el pozo. Para esto se estará presente una tabla de guía en el punto para tener un control del tiempo de perforación.

### **3.4 Diseñar y Seleccionar el Equipo de Bombeo Según Demanda y Rendimiento del Pozo.**

Para realizar el diseño se deberá de tomar las coordenadas del lugar donde se bombeara el agua del pozo, determinando:

- Altura o cota.
- Longitud de la tubería de bombeo.
- A que profundidad se instalara el equipo de bombeo.
- Topografía de la zona.
- Altura de descarga de la tubería del pozo.

#### **3.4.1 Determinación del Diámetro de la Tubería de Impulsión**

La velocidad más recomendada para las tuberías de impulsión es de 1.5 m/s, permitiéndose velocidades máximas de 2 m/s, la cual permite controlar el golpe de ariete que se pueda presentar en el sistema de bombeo.

Debido a que esta conducción puede ser bastante larga, se debe efectuar el estudio del diámetro más económico. El método más preciso consiste en utilizar las ecuaciones de tuberías forzadas para varios diámetros calculando las cargas requeridas.

Con este método se contabilizan al valor presente los costos de las tuberías y accesorios para los diferentes y el costo de energía, seleccionando el diámetro de la opción más económica. Para estimaciones preliminares o para distancias cortas se utiliza la fórmula de Bresse.

Para instalaciones que sean operadas de manera continua, se tiene:

$$D (m) = K \sqrt{Q} (m^3/s)$$

$$K = 0.7 - 1.6 (K \text{ prom} = 1.2)$$

Para instalaciones no operada en forma continua:

$$D (m) = 1.3 X^{1/4} \sqrt{Q} (m^3/s)$$

$$X = \text{Número de horas de bombeo por día} / 24$$

### 3.4.2 Determinación de la Carga Total Dinámica

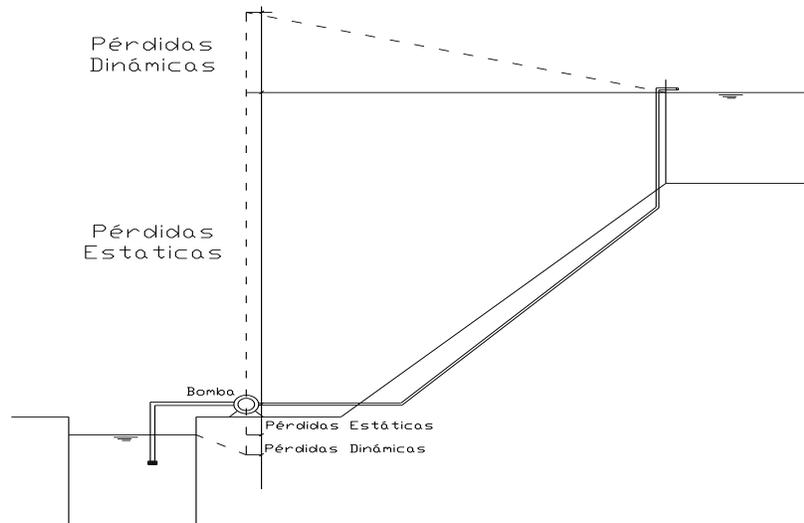
Para determinar este valor se utilizara la siguiente expresión.

$$CTD = \text{Carga Estatica} + \text{Carga Dinamica}$$

Para determinar este valor necesitamos encontrar.

#### Carga Estática Total.

Carga Estática Total (CET): Es la altura total para la cual debe trabajar la bomba. Determinándose mediante la topografía del lugar, Nivel estático, abatimiento y la cota de la descarga del agua del pozo. Nivel estático + abatimiento + altura de la descarga



$$\text{Carga Estatica} = \text{Nivel Estatico} + \text{Abatimiento} + \text{Altura de descrga del pozo}$$

## Carga Dinámica Total

Esta se determinara mediante la ecuación de Hazen Williams para la tubería de conducción o impulsión, también se determinara las perdidas singulares o perdidas en los accesorios.

**Perdidas de fricción (hf):** Es la altura adicional que debe ser suministrada para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión Pueden ser calculadas mediante la ecuación de Hazen Williams.

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right\} * L$$

### Dónde:

H: pérdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

C: coeficiente de rugosidad (Adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

En dependencia del tipo de material los más comunes encontrados, es Hierro galvanizado y PVC. Tabla # 9

Material	C	Material	C
Hierro galvanizado	120	Plástico (PE, PVC)	140-150

**Perdidas Singulares:** Es la altura de agua adicional para vencer las pérdidas debidas a los accesorios, estas pérdidas singulares son originadas en las entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de diámetro, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas por fricción.

Estas pueden ser calculadas por la siguiente expresión

$$Hf = K * V^2 / 2g$$

### Dónde:

K: Valor de accesorios adimensional

V: Velocidad del flujo en el sistema en m/s o pies/ s

G: valor de la gravedad.

Para determinar la velocidad en el sistema se utilizara la siguiente expresión

$$V = \frac{Q}{A}$$

**Dónde:**

Q: Caudal en m3/h o Gpm

V: Velocidad del flujo en el sistema en m/s

A: área de la tubería de impulsión en m<sup>2</sup>

Con la cantidad de accesorios a instalar en el pozo y la tabla de valores rápidos tenemos el cuadro con las cantidades y valor aproximado de K.

Se muestra Tabla # 10 de los valores de los accesorios usuales en una tubería de bombeo. Fuente. <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

### 3.4.3 Determinación del Equipo de Bombeo

Este equipo de bombeo se calculara teniendo la carga total dinámica total, hasta el punto donde se almacenara el agua del pozo de ser bombeada.

### 3.4.4 Potencia del Equipo de Bombeo

Para calcular la potencia de los equipos de bombeo se realizara con la siguiente expresión

$$H \text{ Bomba} = \frac{Qb * CTD}{3960 * EF}$$

#### Dónde:

Qb: Caudal de Bombeo en Gpm

CTD: Carga Total dinámica en pies

EF: Eficiencia del equipo 70%

### 3.4.4.1 Potencia del Motor

Para calcular la potencia del motor se realizara con la siguiente relación.

$$P \text{ motor} = \frac{HP \text{ bomba}}{0.90}$$

#### Dónde:

P bomba: Potencia de la bomba en caballos de fuerzas (HP)

Eficiencia para el motor: (90%) que es 0.90

### 3.4.5 Diseño de la Estación de Bombeo

El diseño hidráulica del bombeo debe tener siempre en cuenta el esquema de bombeo utilizado, el tipo de succión, la presión de descarga y el caudal de diseño.

Por lo general se deben tener en cuenta los siguientes términos:

- Tubería de Impulsión
- Equipo de bombeo
- Válvulas de regulación y control
- Equipo para cloración
- Grupo generador de energía y fuerza motriz
- Interruptores de máximo y mínimo nivel
- Tablero de protección y control eléctrico
- Caseta de bombeo

Esto termino se determinara hasta cuando se tenga los resultados hidráulico del diseño del pozo, se realizara, cálculos, comparaciones en tablas entre otros métodos.

### **3.4.6 Demanda de la Población**

Para el diseño de un Sistema de Agua Potable en la zona rural se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector urbano, debido a que existen diferencias en ambos medios, considerando dentro de esas diferencias los factores culturales, económicos y sociales.

#### **3.4.6.1 Cálculo de Población**

Para el cálculo de las poblaciones futuras se usará el método geométrico expresado por la fórmula siguiente:

$$P_n = P_o (1+r)^n$$

**Dónde:**

$P_n$  = Población del año “n”

$P_o$  = Población al inicio del período de diseño

r = Tasa de crecimiento en el periodo de diseño expresado en notación decimal.

n = Número de años que comprende el período de diseño.

### 3.4.6.2 Dotación

La dotación de agua, expresada como la cantidad de agua por persona por día está en dependencia de:

- Nivel de Servicio adoptado
- Factores geográficos
- Factores culturales
- Uso del agua.

Se hará uso de la Tabla # 11 en dependencia de la población futura proyectada en la formula anterior.

DOTACIONES DE AGUA		
Rango de población	Dotación	
	gl/hab/día	lt/hab/día
0 - 5.000	20	75
5.000 - 10.000	25	95
10.000 - 15.000	30	113
15.000 - 20.000	35	132
20.000 - 30.000	40	151
30.000 - 50.000	45	170
50.000 - 100.000 y más	50	189

### 3.4.6.3 Variaciones de Consumo

Las variaciones de consumo estarán expresadas como factores de la demanda promedio diario, y sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de: obras de captación, línea de conducción y red de distribución, etc.

Estos valores son los siguientes:

Consumo máximo día (CMD)= 1.5 CPD (Consumo promedio diario)

Consumo máximo hora (CMH)= 2.5 CPD (Consumo promedio diario)

#### **3.4.6.4 Determinación del Caudal para la Población Proyectada**

Para determinar el caudal de diseño para el periodo de 20 años (2012 – 2032), es necesario determinar los siguientes factores.

Consumo Promedio Diario (CPD)

Consumo promedio Diario Total (CPDT)

Consumo máximo día. (CMD)

Consumo máximo Hora. (CMH)

Para lograr caracterizar la zona de estudio se realizaron una serie de procedimiento tanto investigativo como datos de campo que se describen a continuación.

## 4.1 Precipitación

El régimen pluviométrico del área de estudio presenta una variación estacional con dos periodos bien marcados:

- La temporada de lluvias, comprendida en los meses de Mayo a Octubre, concentra más del 90% de las lluvias ocurridas en el año que equivale a 1585.0 mm.
- La temporada seca, comprendida en los meses entre Noviembre y Abril, registra 10% de las lluvias anuales.

## 4.2 Condiciones extremas

### 4.2.1 Años Secos

Los años secos se definen como el exceso de demanda de agua, con relación a la cantidad disponible después de la evaporación, en un área específica. En este caso, se definirá con los valores inferiores al módulo de precipitación en la estación Santa Teresa, en Nandaime. Serie tomada desde el año 1980 hasta el año 2010.

### 4.2.2 Años Húmedos

Las avenidas son el exceso de agua de escorrentía de lluvias y drenaje en los cursos de agua de una cuenca. En los registros de precipitación de la estación Santa Teresa, se han detectado años húmedos a partir del año 2005. Precipitación típica registrada en la estación Santa Teresa localizada en la ladera oeste del volcán Mombacho. Tabla # 12

PROMEDIO	PRECIPITACION (mm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Mínima	8	0	0	0	0	25	139	125	27	65	16	32	1,397
Media	94	49	25	32	145	273	304	266	225	212	140	105	1,869
Máxima	325	175	142	142	385	502	575	576	398	544	366	229	2,594

Fuente: INETER

### 4.2.3 Escurrimiento Estimado

El método utilizado para estimar la evaporación, infiltración y humedad es a través del balance hídrico empleando los datos meteorológicos de la estación Santa Teresa y las características fisiográficas de la zona del proyecto donde estará ubicado el pozo. Primero se estimó la evapotranspiración potencial en base al método thornthwaite, considerando las temperaturas medias mensuales, la evapotranspiración se presenta en el cuadro.

**Tabla # 13 Evaporacion Calculada, Infiltracion y Humedad**

Meses del Año	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
T (°C)	28.30	28.60	29.20	30.10	30.10	29.50	29.50	29.70	29.40	29.50	29.00	28.40	25.10
I	13.80	14.02	14.47	15.15	15.15	14.69	14.69	14.84	14.62	14.69	14.32	13.87	174.29
a	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	4.85	
Ka	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99	1.00	0.91	1.03	1.03	
ETP (mm)	83.25	89.15	86.25	79.23	75.53	79.41	76.30	75.79	78.52	70.85	83.68	88.15	1,334.00
Precipitación	145.20	273.10	304.20	265.60	224.50	211.90	139.60	105.30	93.90	48.80	25.30	31.80	976.11
Diferencia	51.95	183.95	217.95	186.37	148.97	132.49	63.30	29.51	15.38	-22.05	-58.38	-56.35	
Infiltración	130.68	245.79	273.78	239.04	202.05	190.71	125.64	94.77	84.51	43.92	22.77	28.62	
Escorrentía	25.98	91.98	108.97	93.19	74.49	66.24	31.65	14.75	7.69	0.00	0.00	0.00	
Humedad %	83.30	79.90	75.00	71.30	77.10	86.30	88.00	87.60	87.10	87.40	85.70	85.50	

Fuente: Propia

Luego estimaremos el escurrimiento el cual se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca, Para medir esas aportaciones en la salida de la cuenca o sitio de interés es ideal disponer de una estación medidora de caudales, sin embargo cuando no se dispone de un registro continuo, se hace necesario recurrir a métodos indirectos que simulan el escurrimiento en la cuenca a partir de datos climatológicos y características fisiográficas de la misma.

Para determinar este escurrimiento el método a utilizar es el Balance Hídrico, el cual puede ser usado para estimar la evapotranspiración  $E_t$  cuando pueden medirse los valores de la precipitación  $P$  (flujo afluente), el flujo de Escorrentía  $Q$ , la infiltración profunda  $Q_{ss}$  del área vertiente (flujo efluente), así como la variación en el almacenamiento  $\Delta S$ .

La ecuación que define el balance es la siguiente:

$$ET = P - Q - QSS + \Delta S$$

En el Balance Hídrico, se utilizaron los siguientes criterios

ETP: Valor de la evapotranspiración potencial calculado por el método de Thornthwaite, con valores de temperatura media del aire.

La expresión que calcula la ETP, es la siguiente:

$$ETP = 1.6 k_a (10T / I)^a$$

**Dónde:**

ETP: Evapotranspiración Potencial en mm /mes

T: Temperatura media del período en °C

I: Índice de calor, que es la suma de 12 índices mensuales

I:  $i_e + i_f + i_m + \dots + i_d$

$$I: (Tt/5)^{1.514}$$

a:  $675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0.492$

Ka: Factor de corrección de latitud

#### 4.2.4 Parámetros del Balance Hídrico

**Almacenamiento de Agua:** El almacenamiento muestra la cantidad de agua almacenada en la sección del suelo aprovechado por las raíces de las plantas que cubren éste, al final del mes que se estudia. Como se sabe, la capacidad que el suelo tiene de almacenar agua, varía mucho según su estructura, porosidad, profundidad, inclinación, etc. Así se ha decidido suponer como hipótesis de trabajo que existe una capacidad de 100 mm de agua útil, que corresponde a un valor medio. Por consiguiente, las tablas del balance hídrico y las sucesivas deducciones han sido establecidas de acuerdo con esta hipótesis.

**Variación de Almacenamiento:** Representa la evolución del almacenamiento de agua desde un mínimo de 0 mm, que significa que no hay agua disponible para las plantas, hasta un máximo de 100 mm. Esta variación es consecuencia del balance mensual entre las precipitaciones y la evapotranspiración real.

**ETR:** Es la cantidad en milímetros de agua evaporada y transpirada por unidad de superficie de un suelo, en base a la disponibilidad hídrica proporcionada por las Precipitaciones y las reservas del suelo. En este caso se contabiliza toda el agua que ha pasado a la atmósfera, pudiendo ocurrir que de la superficie evaporante haya sido bastante superior a la del suelo, principalmente por efecto de la vegetación.

**DA:** Deficiencia de agua. Expresa la diferencia de la ETP y la P, cuando la primera es mayor que la segunda, entonces el almacenaje en el suelo es cero.

**EA:** Exceso de agua, se presenta cuando la lluvia es mayor que la evapotranspiración potencial y el suelo se encuentra saturado.

#### **4.2.5 Resultados obtenidos en el Balance Hídrico**

A lo largo del año las precipitaciones superaron a la evapotranspiración potencial a excepción de los meses de marzo y abril, manteniéndose saturada la capacidad de retención de los suelos. En los meses de marzo y abril, los valores de las precipitaciones fueron mínimos lo que obligó a que se utilizara la reserva de agua en el suelo para dar respuesta a la ETP. Durante el año no se presenta déficit de humedad dado el régimen pluviométrico prevaleciente en la zona. Mediante el balance hídrico, se determina también que el flujo subterráneo de recarga equivale a una lámina de 76 mm/año.

#### **4.2.6 Condiciones Hidrogeológicas del Área de Estudio**

##### **4.2.6.1 Geología**

En general, el área de estudio presenta mayormente materiales rocosos volcánicos compuestos principalmente de andesitas, basaltos, tobas, aglomerados y brechas de flujo lávico. Se tiene zonas con presencia de rocas ignimbríticas. Estos materiales rocosos pre-existentes, debido a la ocurrencia de alteración hidrotermal en las cabeceras de los cerros, ha incrementado los espesores de los materiales arcillosos residuales, y conjuntamente con la acción meteórica, ha dado origen a la formación de saprolitas. Los depósitos cuaternarios aluviales, tienen una gran distribución y cubren el

Fondo de los cauces de las numerosas quebradas con claro drenaje rectangular. El marco estructural está dado fundamentalmente por la presencia de fallas, fracturas y alineamientos que atraviesan el área de estudio, y que constituyen los conductos Potenciales de recarga y circulación del agua subterránea.

#### **4.2.6.2 Aguas Subterráneas**

El agua subterránea está presente en toda el área de estudio estando condicionada y evidenciada por lo siguiente:

1. La presencia de abundantes lluvias que ocasionan la recarga de agua.
2. La presencia de extensos estratos de rocas volcánicas figuradas que facilitan la infiltración y el almacenamiento del agua.
3. La descarga de agua desde el túnel Azul, cuyo caudal se mantiene inclusive (Fuente Actual de Nandaime) durante los períodos más severos de sequía.
4. La ausencia de usuarios que aprovechen el agua para otros fines.

Para reconocer las principales características físicas del medio volcánico fracturado y el comportamiento hidrogeológico de la napa freática que se extiende en la zona de influencia del proyecto se ha realizado un reconocimiento hidrogeológico preliminar y una evaluación expeditiva sobre las aguas subterráneas presentes en el medio acuífero.

El comportamiento hidrogeológico del sistema acuífero del área de estudio, se obtendrá posteriormente sobre la base de las características del medio físico y la dinámica del agua subterránea, reconocidas a través del análisis e interpretación de los datos existentes y de las investigaciones que se vienen realizando.

Momentáneamente se plantea un modelo único de acuífero volcánico con napa libre a confinado pero pobre, que aprovecha principalmente las grandes estructuras geológicas como las fallas y estructuras mineralizadas para la percolación de los aportes hídricos generados por la precipitación y cuyas área de recarga se ubican principalmente en las zonas altas.

#### **4.2.6.3 Características Litológicas y Estructurales**

La hidrogeología en el área de proyecto está controlada principalmente por las estructuras de fractura y por la disposición errática de los tipos litológicos. Las discontinuidades menores y superficiales fueron originadas por enfriamiento de las rocas volcánicas y las estructuras mayores, por posteriores eventos tectónicos que ocurrieron en toda la región. Los materiales de cobertura son depósitos cuaternarios, los cuales están constituidos por suelos arcillosos a limosos hasta gravas arcillosas, que se encuentran recubriendo como regolito a saprolitas a las rocas que componen el sistema acuífero. En estos depósitos, la predominancia de unos u otros componentes, condiciona la existencia de sectores más o menos permeables a impermeables, que permiten o no la recarga o descarga del acuífero.

El macizo rocoso volcánico presenta diversos grados de fracturación, lo cual favorece la infiltración del agua hacia la zona acuífera. La estructura geológica del acuífero queda Enmarcada por los pseudoestratos de las formaciones geológicas a los que acompañan estructuras mineralizadas y fallas de diverso orden. Los afloramientos de los estratos rocosos volcánicos correspondientes a las unidades hidrogeológicas de derrames de lavas, presenta permeabilidad y porosidad secundaria y actúan como acuíferos pobres a regulares mientras que el conjunto errático, de lavas y piroclásticos de posición intermedia es poco permeable y actúa también como acuífero.

Los volcánicos profundos se consideran esencialmente acuífugos en toda su masa, salvo en las fallas y estructuras mineralizadas, donde son esencialmente acuíferos pobres. En consecuencia, en el área del proyecto existen 2 tipos de acuíferos donde la geología de superficie y del subsuelo, son diferentes. Estos son:

1. Acuífero Fisurado.-Conformado por el propio macizo rocoso volcánico que alberga a un acuífero poco profundo a profundo, es del tipo fracturado, en algunos casos confinado y es el de mayor importancia para el proyecto debido a su extensión. Es el que ocasiona la presencia de agua subterránea que aflora por el túnel Jabalí.
2. Acuífero Detrítico.- Conformado por delgados depósitos cuaternarios aluviales que generalmente se ubican en el fondo de quebradas y alberga a un acuífero somero, constituido por materiales granulares, de poca a regular permeabilidad, es del tipo granular, libre y debido a su poca extensión, no es de importancia para el proyecto.

#### **4.2.6.4 El sistema Acuífero**

De acuerdo a las investigaciones realizadas hasta el momento, las rocas volcánicas presentes en la mina constituyen un acuífero volcánico fracturado, conformado por derrames de lavas y depósitos piroclásticos, que se encuentra condicionado principalmente por factores como estructura de las rocas, la acción tectónica posterior y el emplazamiento de las estructuras mineralizadas.

La estructura general de las formaciones volcánicas consiste de un apilamiento de materiales rocosos que pueden ser acuíferos, almacenes y conductores de agua en fallas, vetas-falla, estructuras mineralizadas, zonas de fractura específicas, es decir, se trata de un macizo rocoso con porosidad y permeabilidad secundaria.

En general, en la zona de estudio, el acuífero está dentro de un medio discreto fracturado, constituido de materiales que presentan alta heterogeneidad y anisotropía, con un sistema de recarga alimentado por agua de precipitación pluvial y por la escorrentía superficial de las pequeñas quebradas, que se canalizan preferentemente por los escasos materiales más permeables ubicados en superficie.

Las fallas, zonas fracturadas y estructuras mineralizadas, presentan propiedades hidrogeológicas muy distintas del resto, lo que se puede considerar como acuíferos diferentes con cierto grado de conexión en sus bordes.

El flujo de agua en superficie es mayor por los cauces de la red fluvial y más variado que en profundidad. La alta capacidad de transmisión del agua en las discontinuidades de estos materiales volcánicos fracturados, provoca la existencia de manantiales de escaso a moderado caudal, originados a partir de niveles saturados ubicados en las cotas más altas.

El sistema acuífero constituye una unidad hidrogeológica con disposición compleja de unidades de naturaleza lávica y piroclásticas, que se extienden de forma errática en unidades pseudo-estratificadas por varios kilómetros lineales en esta parte de la región.

Este sistema se puede considerar como un acuífero volcánico fisurado, libre confinado, caracterizado por presentar unidades hidrogeológicas menores en derrames de lava andesítica, piroclásticos interdigitados hasta brechas de flujo volcánico, de baja a moderada permeabilidad por fractura. El sistema acuífero volcánico en la región se caracteriza por presentarse a manera de pseudo estratos sub horizontales a inclinados, de escasos kilómetros de longitud.

Sus cotas en el área, respecto al proyecto, oscilan entre los 500 a 600 msnm en las altas cumbres de las diversas microcuencas de menor orden presentes en la región.

#### **4.2.6.5 Hidrodinámica Subterránea**

En general, los acuíferos volcánicos presentes en el área de estudio no responden a las características típicas de los acuíferos fracturados, dado que en este modelo las aguas circulan preferentemente por las grandes estructuras geológicas y fracturas mayores, siendo la masa rocosa prácticamente impermeable.

En los afloramientos del macizo volcánico se observa en superficie fracturas abiertas, pero a mayores profundidades el macizo tiene mejor calidad y la fracturación es menor y más cerrada, por tanto, el flujo de agua se presenta sólo en las estructuras mayores.

En este contexto, la determinación de los parámetros hidráulicos en el sistema acuífero se realizará a través de pruebas hidráulicas como:

Ensayos Lugeon o de permeabilidad in situ, así como ensayos Air Lift o de aire comprimido. Los métodos de interpretación de estas pruebas son los clásicos de Theis y Jacob para acuíferos no confinados y el método de Gringarten y Witherspoon para acuíferos fracturados con condiciones de fractura vertical. El rango de valores de transmisividad (T) se considera que es variable y se estimará a partir del análisis de las pruebas hidráulicas Air Lift. La transmisividad está relacionada no con el espesor de los acuíferos ensayados, sino con las características litológicas y estructurales de la zona atravesada en evaluación. Los valores estimados estarían entre 10 a 90 m<sup>2</sup>/día.

#### **4.2.6.6 Recarga y Descarga del Acuífero**

La recarga se encuentra asociada a la infiltración de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales que han sido identificadas a partir de las condiciones hidro-meteorológicas de la zona. La recarga cae sobre los depósitos cuaternarios de poca permeabilidad y se infiltra lentamente por los afloramientos volcánicos y alcanza las formaciones inferiores recorriendo moderadas distancias, alimentando de esta manera a la napa freática poco profunda a profunda.

En los escasos afloramientos, el macizo rocoso está fuertemente fracturado superficialmente y este hecho, favorece la infiltración. La recarga principal del sistema acuífero tiene lugar en los afloramientos de la zona de altas cumbres, particularmente en las laderas de los cerros y sus alrededores, que conforma la márgenes de las microcuencas, de escasos kilómetros de longitud y varias decenas a centenas de metros de ancho. Con respecto a la descarga del acuífero volcánico fracturado, en la actualidad existen niveles de la mina antigua Jabalí, que drenan por el túnel 500 aproximadamente 60 L/s de agua. Pero, en toda la zona existen diversos manantiales con escaso a moderado caudal.

Durante el proceso de caracterización de la zona hidrogeológica se realizaron varias visitas a lo sitio de estudio para verificar los pozos pero solamente en algunos lugares pedimos visitar debido a los costos de transporte y otros por el permiso que no se podían conseguir a continuación datos de los pozos:

### **4.3 Parámetros Preliminares**

La perforación de los pozos tubulares puede ejecutarse por percusión o rotación. La selección del método dependerá de ciertos factores, tales como el diámetro y profundidad del pozo, además de los estratos geológicos a atravesar.

Debido a que las aguas subterráneas provienen del acuífero volcánico fracturado, es muy probable que la calidad sea buena y que no requerirá tratamiento alguno para ser usada como agua potable (sedimentación, filtrado, desinfección con cloro), porque normalmente son física, química y microbiológicamente apropiadas.

Para conectar el agua al sistema de abastecimiento de Nandaime, será necesario bombear el agua desde el referido pozo tubular ubicado en la cota 48.9 msnm.

Este pozo estará ubicado en Nandaime, tendrá una profundidad aproximada de 150 m. El agua de esta perforación seleccionada se conectará al actual sistema de conducción de agua de Nandaime, por medio de tuberías de polietileno de 4" de 335 m de longitud y una bomba de Sumergible a un caudal estimado de 17 L/s desde la salida del pozo (48.9 msnm) hasta el Tanque de Almacenamiento que abastecerá el actual sistema de agua potable. Tabla # 14

POZO A PERFORAR	COORDENADAS UTM WGS84		ELEVACION m.s.n.m	UBICACION	PROFUNDIDAD ESTIMADA (M)	CAUDAL POTENCIAL (L/S)	VOLUMEN ANNUAL APROVECHABEL (M³)
	ESTE	NORTE					
1	601,755	1'298,783	48.9	Nandaime	150	17	536,112.00
TANQUE	COORDENADAS UTM WGS84		ELEVACION m.s.n.m	UBICACION	VOLUMEN (M³)		
	ESTE	NORTE					
1	603,539	1'298,901	168.0	Nandaime	1,500		

## 5.1 Caracterizar la Hidrogeología de la Formación Acuífera en la Zona de Estudio

Para caracterizar la zona hidrogeológica de la formación acuífera se realiza un análisis a la litología encontrada durante la perforación del pozo apreciándose en la siguiente tabla.

**Cuadro # 1**

<b>DE (Pies)</b>	<b>HASTA (Pies)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
0	10	Se encontró arcilla con arenas grisees.
10	20	Se encontró arcilla con arenas grisees y bolones.
20	30	Se encontró gravas finas a gruesas
30	40	Predominan gravas guresas a finas
40	50	Encontramos basalto
50	60	Sigue predominando el basalto
60	70	Predomina el basalto
70	80	Basalto masivo, una formación madre.
80	120	predominante basalto masivo
120	180	basalto con presencia de dolomita
200	300	Basalto con presencia de cuarzo
<b>330</b>	<b>350</b>	<b>Basalto Fracturado (Inicio del espesor del acuífero)</b>
350	380	Basalto fracturado (Acuífero frisado)
<b>380</b>	<b>430</b>	<b>Basalto fracturado (Limite del espesor del acuífero)</b>
430	450	basalto con presencia de dolomita
450	500	Basalto masivo con presencia de cuarzo
500	565	se encuentra basalto con presencia de pirita

*Fuente: SIECO*

La estructura del pozo se encuentra en una formación masiva de basalto donde el acuífero encontrado pertenece a los materiales no consolidado por ser basalto fracturado.

### Acuífero

Según los datos de la litología presente en el terreno se encontró un acuifero presente en la formación es de orden fracturado, este pertenece a un acuífero artesiano o confinado este contiene capas impermeables y no permeable donde contiene agua sometida a presión.

## Espesor del acuífero

Según los datos de litología se encontró un acuífero fracturado a la profundidad de 350 pies y termina el límite o espesor de este a los 430 pies.

Espesor del acuífero se determina restando las profundidades siendo el resultado.

Espesor del acuífero (m) = Profundidad Inicial – Profundidad Final

$$m = Pf - Pi$$

### Dónde:

Espesor del acuífero (m)

Profundidad donde da inicio el espesor ( $Pi$ ) = 350 pies

Profundidad del límite o final del espesor ( $Pf$ ) = 430 pies

**Dónde** tenemos un resultado del espesor del acuífero:

$$m = 430 \text{ pies} - 350 \text{ pies}$$

$$m = 80 \text{ pies}$$

Este valor lo convertimos a metro para efecto de cálculo más adelante, donde:

$$1 \text{ metro es igual a } 3.28 \text{ pies.}$$

Convirtiendo tenemos un valor de:

$$24.4 \text{ metros de espesor para nuestro acuífero.}$$

## Permeabilidad.

Para encontrar la permeabilidad esta se determinara mediante la ecuación del régimen de equilibrio en la tabla # 13 se aprecian los datos para el cálculo del método.

$$Q = \frac{2.72 * P * m * (H - h)}{\log \frac{R}{r}}$$

Expresión en la cual:

**Cuadro # 2**

<b>DATOS DE ECUACION</b>		
<b>REGIMEN DE EQUILIBRIO</b>		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Profundidad saturada del acuífero, antes del bombeo <b>H =</b>	106.7	m
Profundidad del agua en el pozo, durante el bombeo <b>h =</b>	121.9	m
Radio del cono de depresión <b>R =</b>	350.00	m
Radio del pozo <b>r =</b>	0.36	m
Permeabilidad de la formación <b>P =</b>	?	m/h
Espesor del Acuífero <b>m =</b>	24.4	m
Rendimiento del pozo o caudal del bombeo, <b>Q =</b>	43.64	m3/h

*Fuente: SIECO - datos de la prueba de bombeo.*

Nuestra variable desconocida es la permeabilidad (P).

Realizando el despeje obtenemos:

$$P = \frac{Q * \text{Log } R/r}{2.72 * m * (H - h)}$$

Sustituyendo los valores:

$$P = \frac{43.64 * \text{Log } 350/0.36}{2.72 * 24.4 * (121.90 - 106.7)}$$

Calculando obtenemos

$$P = 0.30 \text{ m/h}$$

**Nota.** El radio se midió a una distancia del pozo de observación a los 350 metros este presento un rebajamiento de 0.10 cm. *Fuente: SIECO*

### **Rendimiento Especifico**

Para determinar el rendimiento especifico se utilizar la formula según la norma de ENACAL.

$$\text{Rendimiento especifico} = \frac{Q}{s}$$

Los datos para el cálculo en el **Cuadro # 3**

DATOS DE ECUACION		
RENDIMIENTO ESPECIFICO EN METROS		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Rendimiento del pozo o caudal del bombeo, <b>Q</b> =	43.64	m <sup>3</sup> /h
Abatimiento del pozo en prueba de bombeo <b>s</b> =	121.9	m

$$s = 121.9 - 106.7 = 15.2$$

Sustituyendo valores:

$$\text{Rendimiento especifico} = \frac{43.64}{15.2}$$

Calculando obtenemos

$$\text{Rendimiento especifico} = 2.87 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

### Porosidad

Como el acuífero encontrado en el pozo pertenece basalto fracturado este se encuentra en la lista de materiales consolidados con una porosidad que se muestra a continuación. **Cuadro # 4**

<i>Materiales no consolidado</i>	Porosidad (%)	<i>Materiales consolidados</i>	Porosidad (%)
Grava gruesa	28-12	Arenisca	5-30
Grava media	32-13	Caliza y dolomia	0-40
Grava fina	34-21	Caliza cárstica	0-40
Arena con grava	39-20	Pizarras y lutitas	0-10
Arena gruesa	35-20	<b>Basalto fracturado</b>	<b>5-50</b>
Arena media	39-15	Roca cristalina fracturada	0-10
Arena fina	43-10	Roca cristalina densa	0-5
Arcilla arenosa	12-3	Granito alterado	34-57

Fuente: SIECO

### Transmisividad.

Para determinar este parámetro hidrogeológico se realizara mediante la fórmula que consiste en multiplicar la permeabilidad determinada anteriormente por el espesor del acuífero según la litología del terreno.

$$T = p * m$$

Datos de la ecuación de la Transmisividad. **Cuadro # 5**

DATOS DE ECUACION		
TRANSMISIVIDAD		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Transmisividad <b>T =</b>	0.00	m <sup>2</sup> /h
Permeabilidad <b>P=</b>	0.13	m/h
Espesor del acuífero <b>E =</b>	24.4	m

*Fuente: Propia*

Sustituyendo valores

$$T = 0.13 * 24.4$$

Calculando obtenemos

$$T = 3.17 \text{ m}^2/\text{h}$$

**Nota:** Con este último cálculo tenemos nuestros parámetros que caracteriza la formación hidrogeológica de la zona del proyecto.

## 5.2 Determinar y Caracterizar los Parámetros para el Diseño del Pozo

Para determinar los parámetros de diseño, damos inicio con la coordenada de ubicación de nuestro pozo.

Coordenadas de Ubicación		
Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Elevación (m.s.n.m)
601,755.221	1298,783.67	48.9

### Método de perforación:

Para elegir el método de perforación se analizó las ventajas de esta y el tiempo de perforación.

Por lo que se eligió el método de **perforación rotativa** por su rapidez en la penetración en las rocas duras.

### **Ventaja del método a Perforar**

- Procedimiento muy rápido de 30 a 100 metro al día
- Recomendado en rocas muy duras no permeable
- No se colmara la formación al no emplear lodos
- Económicos en pozo de diámetro pequeños

### **Característica de método de perforación rotación**

El equipo, se prefiere el montaje sobre neumáticos. Estos equipos van montados sobre un camión de dos o tres ejes los más livianos, y solo los de mayor tamaño se construyen sobre un chasis de cuatro ejes. Su velocidad media de desplazamiento es del orden de diez veces mayor, 20 a 30 km/hr.

### **Limpieza del terreno y medidas ambientales**

Se ejecuta limpieza del terreno para el cómodo trabajo, como este pozo está próximo a un río se realizan 8 pilas para retener el sedimentos.

El perímetro de la perforación es marcado con cinta amarilla que indica precaución, Se chequeo la perforadora para determinar fuga de **Hidrocarburos**, si esta llegase a tener se tendrá que proteger el suelos de los hidrocarburo procedente de la máquinas.

### **Nivelación de la Maquina.**

Se midió constantemente la nivelación de la maquina este factor es muy importante ya que este determina la verticalidad de un pozo. De igual manera se debe de verificar los niveles del ademe en cada soldadura si fuere el caso. O las juntas si el ademe fuese de PVC.

## **Profundidad del Pozo**

Según los estudios realizados en los sondeos eléctricos verticales el agua se encuentra a una profundidad de 350 pies – 500 pies por lo que se determina perforar un pozo de 550 pies (Fuente SIECO).

## **Ademe del Pozo**

El ademe del pozo se determinó analizando factor económico ya que las tuberías de hierro suelen ser muy costosa y con una compleja instalación dado que tiene que soldarse tubo por tubo.

Influyo también la presencia de mucho hierro en el agua esto se determinó con un análisis físico químico y metales pesado.

Donde se determinó que lo más viable, duradero y económico para el pozo es instalar tubería PVC SDR 26 (160 PSI), que proporciona las siguientes ventajas.

- Larga duración.
- Aptas incluso para aguas potables.
- Bajo costos de mantenimiento.
- Sencillez de manejo para realizar aforos.
- Facilidad de transporte y almacenamiento.
- Facilidad y rapidez de montaje y extracción.
- Alto factor de seguridad ante golpe de ariete.
- Elimina vibraciones y posibles derivaciones eléctricas.
- Soporta ampliamente el par de arranque de la Bomba.
- Menor pérdida de carga que las tuberías tradicionales.
- No le afecta la corrosión, incluso con aguas muy agresivas.
- Mayor facilidad de introducción y extracción en entubados irregulares.
- Gran resistencia a la tracción, soportando con garantía las cargas de instalación.
- Tipo único para todas las aplicaciones y de operación, simplificando el proceso de diseño y selección.

### Diámetro del Ademe del Pozo

Según los datos hidrogeológico caudal de diseño de este pozo es de 200 Gpm (Fuente SIECO).

A continuación seleccionamos el diámetro del pozo. **Cuadro # 6**

Relación Diámetro Interno del Pozo y Caudal de Bombeo			
Diámetro Interno de Adema de Pozo.		Caudal de Bombeo.	
Pulgadas.	Centímetros.	Gpm.	Lps.
6	150	36.3	10
8	200	54.5	15
10	250	90.8	25

*Fuente: Propia*

Como se puede observar para un caudal de 43.64 m<sup>3</sup>/h podemos elegir un diámetro de 8", esto estará en dependencia de lo siguiente.

### Diámetro de los tazones de la bomba

$$D \text{ tazones} = (Q)^{1/2}$$

$$D \text{ tazones} = 6.6$$

### Diámetro de la cámara de bombeo o ademe.

$$D \text{ ademe} = D \text{ tazones} + 2.00 \text{ plg}$$

Dónde los datos para la ecuación son, **Cuadro # 7**

DATOS DE ECUACION		
Diámetro de Ademe		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Diámetro de tazones de la Bomba	6.6	plg

Sustituyendo Valores

$$D \text{ ademe} = 6.6 \text{ plg} + 2.00 \text{ plg}$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$D \text{ ademe} = 8.6 \text{ plg}$$

Dado que no podemos tomar un inmediato superior debido a los costos de la tubería entre diámetro elegimos un diámetro de nuestro ademe de 8" plg, comparando este resultado con lo que nos recomienda la normas en la tabla anterior.

### Diámetro de la perforación

El diámetro de la perforación corresponde al diámetro del ademe más un espacio adicional para el filtro anular de grava cuando requiera:

$$D_{\text{perforacion}} = D_{\text{ademe}} + 3 \text{ plg}$$

Dónde los datos para la ecuación son **Cuadro # 8**

DATOS DE ECUACION		
Diámetro de la Perforación		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Diámetro del ademe del pozo	8.6	plg

Sustituyendo Valores

$$D_{\text{perforacion}} = 8.6 \text{ plg} + 3 \text{ plg}$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$D \text{ Perforacion} = 11.6 \text{ plg}$$

**En este caso la perforación se deberá realizar de 12".**

Con los criterios anteriores se satisfacen los siguientes requisitos:

- La bomba turbina, ya sea o no con motor sumergible, se puede alojar holgadamente en la cámara de bombeo.
- Se tiene satisfactoria eficiencia hidráulica, con pérdida por fricción razonable

- Se absorben pequeñas desviaciones o torceduras de la cámara, con lo que la columna de la bomba queda sensiblemente vertical.

### **Filtro de Grava.**

Para elegir la grava esta se realizara de manera empírica donde el Ingeniero Mexicano Vicente Vargas (1976) sugiere lo siguiente para los buenos diseños de estos filtros, cualquier clase de material. Por finos que sean, se pueden controlar con un filtro constituido por grava graduada con partículas limitada entre ¼ y ½" de diámetro.

Para calcular la cantidad de filtro para llenar el espacio de nuestro anillo estará sujeta a la siguiente ecuación.

$$V_{gr} = \pi[(D_p - D_e)^2 * m]$$

Dónde:

$V_{gr}$ : Volumen del filtro de grava ( $m^3$ )

$D_e$ : Diámetro del Ademe (m)

$D_p$ : Diámetro ampliado de la perforación

$m$ : Espesor del Acuífero.

$$V_{gr} = \pi[(0.25 - 01)^2 * 24.4]$$

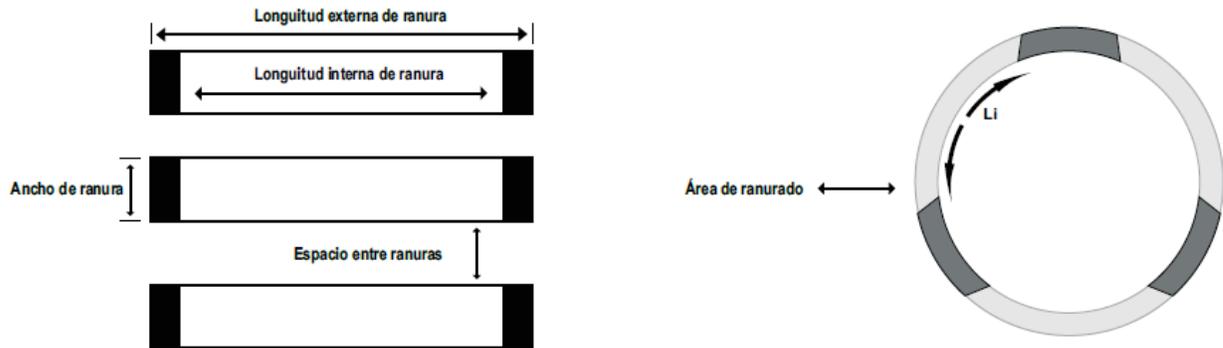
Calculando obtenemos nuestro volumen de grava para el filtro.

$$V_{gr} = 1.72 m^3$$

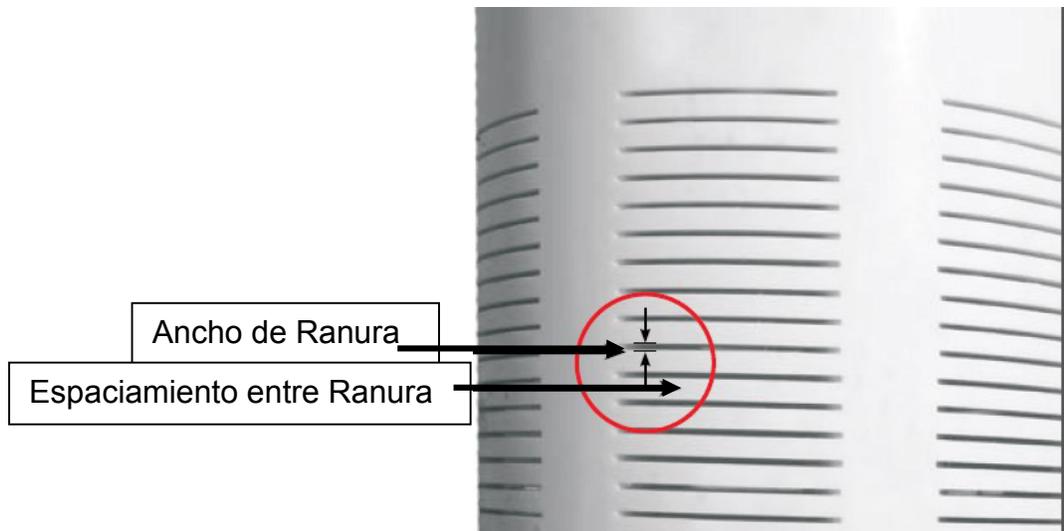
### **Selección de la rejilla**

Se instalara tubería PVC, esta deberá de ser ranurada conforme su anatomía en la Figura # 17 se observa la forma de rejilla para tuberías en PVC

## ANATOMÍA DE LA TUBERÍA RANURADA



En la Figura # 18 podemos observar un tubo ranurado en PVC, esta tubería es distribuida por Durman Esquivel.



### Determinación del área abierta de ranura.

El fabricante brinda los siguientes datos como determinar el % de ranura necesaria para la tubería a instalar en pozo. **Cuadro # 9**

Área neta de ranura en 2" por pie de tubo ranurado ( $A_n$ )
Caudal de entrada en Gpm por pie de tubo ranurado ( $Q_e$ )

$Q_e = A_n * 0.31 =$ caudal de entrada/pie a una velocidad de 0.1 pies/s
Numero de filas de ranuras(Slot) presente en la rejilla (Fr)
Ancho de ranura (Slot en inglés), pulgadas (SI)
Espaciamiento entre ranuras, pulgadas (ER)
Longitud interna de la ranura , en pulgadas para efectos prácticos, se considera una longitud mínima de ranurado de 20.5"(52mm) en diámetros de 6"a 12"(150 a 300 mm) (LI)
Rfp Números de ranuras por filas por pies de tubo ranurado(Teórico)
$Rfp = 12"/(SL + ER)$
$A_n = RFP * Fr * SI * li$
Área superficial interna por pies en pulgadas cuadradas. (ASI)
$ASI = DI*3.1416*12$
$(A_n/ Asi)*100 +$ % de área de ranurado para un tubo dado.

Fuente: SIECO

Datos de la ecuación. **Cuadro # 10**

DATOS DE ECUACION		
Determinación de % de Área abierta		
Descripción	VALOR	U/M
Tipo de tubería PVC SDR 26	160	PSI
Diámetro nominal:	8	pulg
Dímetro Interno: <b>Di =</b>	7.961	pulg
Ancho de ranura <b>SI =</b>	0.06	plg
Espaciamiento de ranura <b>Er=</b>	0.25	plg
Longitud interna de ranura <b>Li=</b>	2.05	plg
Numero de fila de ranura en la rejilla <b>Fr=</b>	8	

Numero de ranura por fila por pie de tubo ranurado se calcula con la siguiente ecuación

$$Rfp = \frac{12 \text{ plg}}{(SL + ER)}$$

Sustituyendo Valores

$$Rfp = \frac{12 \text{ plg}}{(0.06 \text{ plg} + 0.25 \text{ plg})}$$

Calculando tenemos el siguiente resultado

$$Rfp = 38.71 \text{ Filas de pies de tubo ranurado.}$$

Área neta de ranura en 2" por pie de tubo ranurado

$$An = Rfp * Fr * Sl * Li$$

Sustituyendo valores

$$An = 38.71 * 8.00 * 0.06 * 2.05$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$An = 38.09 \text{ Pulgadas cuadradas de slot /pie de tubo ranurado.}$$

Caudal de entrada

$$Qe = An * 0.31$$

Sustituyendo Valores

$$Qe = 38.09 * 0.31$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$Qe = 11.80 \text{ Gpm}$$

Área superficial interna por pies en pulgadas cuadradas

$$ASI = Di * \pi * 12$$

Sustituyendo Valores

$$ASI = 7.961 * 3.1416 * 12$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$ASI = 300.12$$

Determinación del % de área de ranurado para un tubo dado

$$\% \text{ Area} = \left( \frac{An}{ASI} \right) * 100$$

Sustituyendo Valores

$$\% Area = \left( \frac{38.09}{300.12} \right) * 100$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado

$$\% Area = 12.69$$

Teniendo este resultado podemos calcular la longitud de rejillas necesaria para nuestro acuífero.

### Longitud de Rejilla

$$Lr = \frac{Q}{4.37} * p * d * 2.00$$

Datos de la ecuación. **Cuadro # 11**

DATOS DE ECUACION		
LONGITUD DE LA REJILLAS EN EL POZO		
DATOS	VALOR	U/M
Longitud de rejilla <b>Lr</b> =	?	m
Caudal de diseño <b>Q</b> =	43.64	m3/h
Apertura de rejilla <b>P</b> =	12.69	%
Diámetro de rejilla <b>d</b> =	8	plg

*Fuente: Propia*

Sustituyendo Valores

$$Lr = \frac{43.64}{4.37} * 0.1269 * 8.00 * 2.00$$

Calculando obtenemos el siguiente resultado:  $Lr = 19.67$  Metros

Pasando esta longitud a pies tenemos 64.51 pies de tubería ranurada

Para determinar la cantidad de tubería a ranura le resultado en metro lo dividimos entre 6 mts que tiene un tubo

# Tubos a ranura para nuestro acuífero = 3.16 redondeando 4 tubos.

## Sello Sanitario

Este se construirá según la litología, no indica que los primeros 20 pies es arcillas por lo cual se decide construir dicho sello a los 25 pies, la resistencia del mortero será de 3500 PSI, donde una psi es igual a 14.22 kg/cm<sup>2</sup>, dividiendo tenemos un concreto de 246.13 kg/cm<sup>2</sup>.

La proporción de este concreto será por m<sup>3</sup> se presenta en **Cuadro # 12**

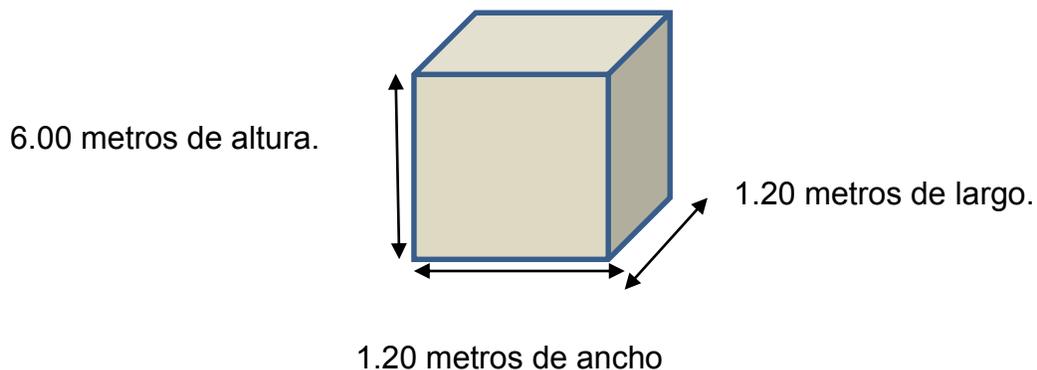
Tipo	Proporción volumétrica	Bolsas de cemento	Arena m <sup>3</sup>	Grava m <sup>3</sup>	agua litros	Resiste kg/cm <sup>2</sup>
3	1:1.5:2.5	10.1	0.43	0.71	216	246

Teniendo nuestra proporción para llegar a nuestra resistencia.

## Calculo del Volumen de concreto a Utilizar

Debemos cubicar el sellos sanitario en la siguiente figura se aprecia el sello sanitario de nuestro pozo.

En la Figura # 18 se observa las dimensiones de nuestro rectángulo.



La fórmula para cubicar este rectángulo

$$V = B * h$$

Dónde.

**B:** Base del solido rectangular. (Largo x Ancho)

**h:** altura del solido rectangular.

Sustituyendo valores.

$$V = 1.44 \text{ m}^2 * 6.00 \text{ m}$$

Calculando tenemos el siguiente resultado

$$V = 8.64 \text{ m}^3$$

Aplicando el 5 % de desperdicio del material tenemos que 9m<sup>3</sup> de concreto para construir nuestro sello sanitario.

### **Determinación del Equipo para la Prueba de bombeo.**

Para determinar la potencia del equipo de bombeo debemos calcular la carga total dinámica, donde primero determinaremos sus componentes en este caso la carga estática y dinámica.

### **Determinación de la Carga Total Dinámica del equipo para prueba de bombeo.**

La bomba será ubicada a los 415 pies de profundidad:

*Carga Estática: 106.7 m*

Para la carga dinámica tenemos que la tubería a utilizar es de Hierro galvanizado (HG) cedula 40 para determinar la cantidad dividiremos los cuatrocientos 126.52 pies entre 6 mts que mide un tubo.

$$\frac{126.52}{6 \text{ mts}} = 21 \text{ tubo HG}$$

Se utilizaran en la instalación de la prueba de bombeo 21 tubos de H.G.

Para determinar la carga dinámica se calcula primero la cantidad de perdida con la expresión.

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right\} * L$$

**Dónde:**

- H: pérdida de carga (m)
- Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)
- C: coeficiente de rugosidad (Adimensional)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- L: longitud de la tubería (m)

Como se puede observar se realizaran conversiones de medidas de la unidades para realizar el cálculo con la formula expuesta.

Lo primero es transformar el caudal de 43.64 m<sup>3</sup>/h a m<sup>3</sup>/s, esto se realiza dividiendo nuestro caudal en m<sup>3</sup>/h entre 3600 segundo que tiene una hora quedando nuestro caudal de: 0.012 m<sup>3</sup>/seg.

$$\frac{43.64}{3600} = 0.012 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El coeficiente de seguridad (por ser materia en HG), será de 120

La longitud de la tubería será de 41.5 pies, los cual se pasara a metros para el cálculo de pérdida esto se realiza dividiendo nuestra longitud en pies entre 3.28 pies que tiene un metro. Quedando el resultado

$$\frac{41.5}{3.28} = 126.52 \text{ m}$$

El diámetro de la tubería nos lo piden en metros, 3 plg, donde una pulgada es el equivalente de 2.54 cm, entonces convirtiendo se tiene.

$$3.00 * 2.54 = 7.62 \text{ cm}$$

Se divide este resultado entre 100 cm que tiene un metro tenemos que

$$\frac{7.62}{100} = 0.0762 \text{ m}$$

Una vez convertidas las unidades de medida se puede calcular. Cuadro # 13

DATOS DE ECUACION		
PERDIDA		
DATOS	VALOR	U/M
H: perdida de carga dinámica	?	m
Caudal Q =	0.012	m <sup>3</sup> /S
C: coeficiente de rugosidad	120	Adimen
L: longitud de la tubería	126.52	m
D: diámetro interno de la tubería	0.0762	m

*Fuente: Propia*

Sustituyendo valores

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{0.012^{1,852}}{120^{1,852} * 0.0762^{4,871}} \right\} * 126.52$$

Calculando

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{7,089.96 * 3.5 \times 10^{-6}} \right\} * 126.52$$

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{0.025} \right\} * 126.52$$

$$H = 10,674 * \{0.01128\} * 126.52$$

$$H = 15.23 \text{ m}$$

Esta es la pérdida carga total por fricción de los 126.52 metros de tubería en H.G.

Convirtiendo la pérdida de carga en metro a pies:

$$15.23 * 3.28 = 50 \text{ pies}$$

Teniendo los resultados de nuestra carga estática y dinámica calculamos nuestra carga total dinámica en la succión de la bomba.

$$CTD = CARGA\ ESTATICA + CARGA\ DINAMICA$$

Sustituyendo Valores

$$CTD = 106.7\ pies + 15.23\ pies$$

Calculando tenemos la carga total dinámica en la succión.

$$CTD = 121.93\ pies$$

### Calculo de la potencia de la Bomba y Motor para la prueba de bombeo.

La bomba se calculara con la siguiente expresión, en este caso el caudal que se espera Explotar es de 200 Gpm.

$$HP\ bomba. = \frac{Q * CTD}{3960 * EF}$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
POTENCIA DE LA BOMBA		
DATOS	VALOR	U/M
Q: Caudal de Bombeo	200	Gpm
CTD: Carga Total Dinámica	399.93	Pies
EF: Eficiencia del equipo (70%)	0.70	Adimen

Cuadro # 14 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores.

$$HPb = \frac{200 * 399.93}{3960 * 0.70}$$

$$HPb = 28.85$$

Para calcular la potencia del motor se realizara con la siguiente relación.

$$HP = \frac{HPb}{90\%}$$

Sustituyendo Valores

$$HP = \frac{28.85}{0.90} m$$

Calculando

$$HP = 32.05 m$$

❖ Esta es la potencia de nuestro equipo se debe buscar un equipo de este caballaje que cumpla con el siguiente caudal de 200 Gpm contra una carga total dinámica de 464.94 pies.

#### Especificaciones Técnicas del Equipo para la prueba de Bombeo. Cuadro # 15

Descripción	Valor	U/M
Caudal de bombeo	200	Gpm (12.00 l/s)
Tipo de bomba	Sumergible	
Número de unidades	1.00	
Marca	ABS	
Modelo	SS - 230	
Nivel Estático del Pozo (abatimiento)	15.2	Pies ( 4.63 m)
Descarga del pozo	4 por encima del terreno	Pies (1.22 m )
Carga Total Dinámica	399.93	Pies (121.93 m)
Potencia	32.05 HP.	
Velocidad de rotación	3450 rpm	
Eficiencia	75.87%	
Energía	Trifásica	

**Prueba de Bombeo.** La prueba de bombeo se realizara de manera escalonada en un periodo de 24 horas, monitoreando los niveles de abatimientos con una sonda, Cuadro # 16

**Registro de prueba de bombeo escalonada**

DATOS			DATOS		
FECHA DE INICIO:	13/03/2016		HORA DE INICIO	06:10	PM
LOCALIDAD:	Nandaime		HORA FINAL	13/03/2016	
MUNICIPIO:	Nandaime		HORA FINAL	06:10	AM
LONGITUD DE COLUMNA:	403.60 PIES		FECHA FINAL	13/03/2016	GLO
DIAMETRO DE DESCARGA:	3.00 PLG		PROFUNDIDAD POZO	430	PIES
NIVEL ESTATICO DEL AGUA:	15.2 PIES		DIAMETRO REVESTIDO	8.00	PLG

HORA	TIEMPO DE BOMBEO		Q1: 250 gpm (descenso en pies)	Q2: 200 gpm (descenso en pies)	Q3: 180 gpm (descenso en pies)	OBSERVACIONES			
06:10	0	minuto	13.00			La prueba para determinar el rendimiento del pozo inicia con una estrangulación a la válvula a una presión de 120 psi			
06:11	1	minuto	25.00						
06:12	2	minuto	37.87						
06:13	3	minuto	68.13						
06:14	4	minuto	82.15						
06:15	5	minuto	96.66						
06:16	6	minuto	106.50					Q = V/T	
06:17	7	minuto	114.63					V recipiente = 66	Galones
06:18	8	minuto	128.00					Tiempo = 14.79	Segundo
06:19	9	minuto	137.00					Calculo del Caudal	
06:20	10	minuto	148.00			Caudal (Q 1)=	267.60		
06:22	12	minuto	158.32			G.P.M.			
06:24	14	minuto	169.23			Estrangulación de válvula 90 psi Q = V/T			
06:26	16	minuto	178.34						
06:28	18	minuto	182.34						
06:30	20	minuto	187.00						
06:35	25	minuto		189.00					
06:40	30	minuto		193.30					
06:45	35	minuto		198.70					
06:50	40	minuto		206.30					
06:55	45	minuto		216.80					
07:00	50	minuto		226.70					
07:05	55	minuto		233.60					
07:10	60	minuto		239.00					
07:15	65	minuto		247.12					
07:20	70	minuto		250.90					
07:25	75	minuto		254.70					
07:20	80	minuto		264.80				V recipiente = 6	Galones
								Tiempo = 17.15	Segundo



Dónde:

DATOS DE ECUACION		
METODO VOLUMETRICO		
DATOS	VALOR	U/M
Q1: Caudal de Bombeo # 1 en la prueba	?	Gpm
V: Volumen de recipiente del aforo	66.00	Gls
T: Tiempo de llenada del recipiente	14.79	Seg.

Cuadro # 17 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores.

$$Q1 = \frac{66}{14.79}$$

Calculando

$$Q1 = 4.18 \text{ galones/segundos}$$

Multiplicando por 60 segundo que tiene el minuto resultando los valores.

$$Q1 = 4.46 * 60$$

Calculando

$$Q1 = 267.60 \text{ Gpm}$$

En la segunda prueba se decido probar un Caudal (Q2) de 230 Gpm a continuación se presenta el cálculo.

$$Q2 = \frac{V}{T}$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
METODO VOLUMETRICO		
DATOS	VALOR	U/M
Q2: Caudal de Bombeo # 1 en la prueba	?	Gpm
V: Volumen de recipiente del aforo	66.00	Gls
T: Tiempo de llenada del recipiente	17.15	Seg.

Cuadro # 18 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores.

$$Q2 = \frac{66}{17.15}$$

Calculando

$$Q2 = 3.85 \text{ galones/segundos}$$

Multiplicando por 60 segundo que tiene el minuto resultando los valores.

$$Q2 = 3.85 * 60$$

Calculando

$$Q2 = 230.00 \text{ Gpm}$$

Este caudal tubo un rebajamiento lento dado que se fue rebajando poco a poco en un tiempo de 295 minutos, donde no el caudal se fue disminuyendo periódicamente.

La tercera y última prueba del caudal (Q3) del pozo resulto de 192.00 Gpm, el llego a estabilizarse a los 121.9 m siendo este el abatimiento del pozo para otros cálculos hidráulicos.

El pozo se comenzó a estabilizar a las 12.10 de la madrugada durante este tiempo de estabilización y el tiempo de culminación de la prueba este pozo se aforo cada 30 minutos.

$$Q3 = \frac{V}{T}$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
METODO VOLUMETRICO		
DATOS	VALOR	U/M
Q3: Caudal de Bombeo # 1 en la prueba	?	Gpm
V: Volumen de recipiente del aforo	66.00	Gls
T: Tiempo de llenada del recipiente	20.63	Seg.

Cuadro # 19 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores.

$$Q3 = \frac{66}{20.63}$$

Calculando

$$Q3 = 3.20 \text{ galones/segundos}$$

Multiplicando por 60 segundo que tiene el minuto resultando los valores.

$$Q3 = 3.20 * 60$$

Calculando

$$Q3 = 192 \text{ Gpm}$$

Determinado nuestra prueba de bombeo y los datos hidrogeológicos del pozo se presenta en el Cuadro # 20 que es el resumen de los datos del pozo, este cuadro se presenta con las unidades de medidas utilizadas en este documento.

RESUMEN DE RESULTADO FINAL DE LA PRUEBA DE BOMBEO				
DESCRIPCION	VALOR	U/M (Internacionales)	VALOR	U/M (Americanas)
Nivel estático del Pozo (abatimiento)	4.63	m	15.2	Pies
Nivel dinámico del pozo o Abatimiento	121.9	m	399.8	Pies
Profundidad del pozo	311.1	m	430	Pies
Longitud de Columna de Bombeo	126.52	m	415	Pies
Diámetro de Columna de Bombeo	75.00	mm	3.00	Plg
Diámetro del Ademe	200	mm	8.60	Plg
Volumen de recipiente de aforo (pozo estabilizado)	0.26	m <sup>3</sup>	66.00	Galones
Tiempo de aforo (pozo estabilizado)	18.00	Segundo	18.00	Segundos
<b>Caudal de Explotación del Pozo</b>	<b>43.64</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	192.00	Gpm
Rendimiento Especifico del Pozo	2.87	m <sup>3</sup> /h/m	12.64	Gpm/pies
Permeabilidad	0.13	m/h	0.43	Pies/h
Espesor del Acuífero	24.4	m	80	Pies
Transmisividad	3.17	m <sup>2</sup> /h	34.1	Pies <sup>2</sup> /h

### 5.3 Diseñar y Seleccionar el Equipo de Bombeo según demanda y rendimiento del Pozo

Para cumplir con este objetivo se define la descarga de agua del pozo, el cual descargara en el tanque de almacenamiento, en área urbana de Nandaime, en la cota 48.9 msnm.

Con el caudal podemos calcular el diámetro económico de la tubería a instalar. Con la fórmula de Bresse a continuación sus resultados. Para instalaciones no operada en forma continua

$$D = 1.3 * X^{1/4} * (Q)^{1/2}$$

D: Diámetro económico de la tubería en m.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

X: coeficiente (adimensional)

Dados estos valores se debe que convertir unidades de medida en este caso el caudal se pide m<sup>3</sup>/seg, para realizar esta operación de la siguiente manera

Q = 43.64 m<sup>3</sup>/h esto lo dividiremos entre 3600 segundos que tiene una hora.

$$\frac{43.64}{3600} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para determinar las horas de bombeo continua en el día se determinara el volumen de almacenamiento de la pila en Nandaime según ENACAL, estas almacenan un volumen de 90,000 galones para la zona 1 y 2 del pueblo.

Por lo que se determina lo siguiente.

Caudal a explotar del pozo 192 Gpm, este valor lo multiplicamos por 60 minuto que tiene un hora y tenemos como resultado.

$$192 * 60 = 11,520 \text{ gal}/\text{h}$$

Ahora dividiremos el volumen de almacenamiento de la pila actual entre el caudal del pozo en una hora.

$$\frac{90,0000 \text{ gal}}{11,520 \text{ gal}/\text{h}} = 7.81 \text{ horas}$$

Esto equivale que el tiempo de bombeo será de 8 horas en un día. Los datos para el cálculo serán.

Para determinar X dividimos el número de horas entre las horas de un día.

$$X = \frac{8}{24}$$

$$X = 0.33$$

Los datos de ecuación serán.

DATOS DE ECUACION		
DIAMETRO ECONOMICO BRESSE		
DATOS	VALOR	U/M
Q: Caudal	0.012	m <sup>3</sup> /s
D: Diámetro económico	?	m
X: Coeficiente Adimensional	0.33	Adimen

Cuadro # 21 Fuente: Propia

Sustituyendo valores en la ecuación.

$$D = 1.3 * 0.33^{1/4} * (0.012)^{1/2}$$

Calculando

$$D = 1.3 * 0.75 * 0.11$$

$$D = 0.10 \text{ m}$$

Si multiplicamos la repuesta por 1000 mm que tiene un metro esto nos daría el diámetro en mm

$$D = 0.10 * 1000$$

$$D = 100.00 \text{ mm}, \text{ lo que equivale a } D = 4 \text{ Plg}$$

### **Determinación de la Carga Total Dinámica incluyendo la descarga.**

Para determinar la carga dinámica se realizan los siguientes pasos, donde se procede a determinar las perdidas. En el cuadro # 22 se presenta las cotas de elevación del pozo y la descarga de elevación de donde descarga.

DATOS TOPOGRAFICO DE LA ZONA		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Cota de Elevación de descarga.	168	msnm
Cota de Elevación de Pozo	48.9	msnm
Nivel Estatico del Pozo.	106.7	m

*Fuente: Propia*

### **Determinación de la Carga Estática Total (Succión y Descarga)**

Para ello restaremos la cota de la descarga del agua menos la cota de elevación del pozo más el nivel estático del pozo.

$$Carga\ Estatica = 168\ m - 48.9\ m + 106.7\ m$$

$$Carga\ Estatica = 225.8\ m$$

A esto le sumaremos 2 metro de altura de la pilas entonces,

$$Carga\ Estatica = 227.8\ m$$

Para la carga dinámica tenemos que la tubería a utilizar es de Hierro galvanizado (HG) cedula 40

Determinamos la carga dinámica, primero la cantidad de perdida con la expresión

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right\} * L$$

Dónde:

H: pérdida de carga (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (Adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

Como se puede observar se realizaron conversiones de medidas de la unidades para realizar el cálculo con la formula expuesta.

Lo primero es transformar el caudal de 43.64 m<sup>3</sup>/h a m<sup>3</sup>/s, esto se realiza dividiendo nuestro caudal en m<sup>3</sup>/h entre 3600 segundo que tiene una hora quedando nuestro caudal de: 0.012 m<sup>3</sup>/seg.

$$\frac{43.64}{3600} = 0.012 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El coeficiente de seguridad por ser materia en HG, será de 120

La longitud de la tubería de succión será 126.52 metros.

El diámetro de la tubería se quiere en metros (3 plg), una pulgada es el equivalente de 2.54 cm, entonces convirtiendo tenemos.

$$3.00 * 2.54 = 7.62 \text{ cm}$$

Si dividimos este resultado entre 100 cm que tiene un metro tenemos que

$$\frac{7.62}{100} = 0.0762 \text{ m}$$

Una vez convertidas las unidades de medida procedemos a calcular. Cuadro # 23

DATOS DE ECUACION		
PERDIDA DE CARGA		
DATOS	VALOR	U/M
H: perdida de carga en la columna	?	m
Caudal Q =	0.012	m <sup>3</sup> /S
C: coeficiente de rugosidad	120	Adimen
L: longitud de la tubería	126.52	m
D: diámetro interno de la tubería	0.0762	m

*Fuente: Propia*

Sustituyendo valores

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{0.012^{1,852}}{120^{1,852} * 0.0762^{4,871}} \right\} * 126.52$$

Calculando

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{7,089.96 * 3.5 \times 10^{-6}} \right\} * 126.52$$

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{0.025} \right\} * 126.52$$

$$H = 10,674 * \{0.01128\} * 126.52$$

$$H = 15.23 \text{ m}$$

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga en los accesorios en la sarta de bombeo.

Estos son los accesorios a instalar en la sarta del pozo en la sección.

- 1.00 ---- Válvula de Aire de  $\Phi$  1" con rosca macho de H.F.
- 1.00 ---- Unión Dresser de  $\Phi$  3" de H.F.
- 1.00 ---- Medidor Maestro de  $\Phi$  3". Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Válvula Check de  $\Phi$  3" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Cruz de  $\Phi$  3" X 3" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Reductor de  $\Phi$  3" X 1" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Válvula de Alivio de  $\Phi$  2" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Válvula de Limpieza de  $\Phi$  3" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Niple de H.G. dúctil con Flange. L = 1.50 mts.
- 1.00 ---- Válvula de Pase de  $\Phi$  3" de H.F. Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Manómetro de Carga de 200 PSI (Lb/plg<sup>2</sup>).
- 3.00 ---- Codos de 45° X 3". Extremos Bridados.
- 1.00 ---- Reductor de  $\Phi$  3" X 1" de P.V.C.
- Bridas de H.F.  $\Phi$  3" con sus Empaques y Pernos.
- 1.00 ---- Ampliación de 3"\*4" Extremos Bridados
- 2.00 --- Válvula Check bronce extremos bridados en 3"

Las pérdidas singulares pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h = K * (v^2 / 2g)$$

$$h = K * \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

**h:** pérdida de carga (m)

**K:** coeficiente (adimensional)

**v:** velocidad media del flujo (m/s)

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la siguiente tabla se resumen los valores aproximados de "K" para cálculos.

Con la cantidad de accesorios a instalar en el pozo y los valores de la tabla el cuadro con las cantidades y valor aproximado de K.

Cuadro # 24 se obtiene

PERDIDAS SINGULARES EN LA SARTA DE BOMBEO		
CANTIDAD	ACCSESORIOS	K
2	Codo de 90	0.90
3	Válvulas de compuerta y alivio	10
1	Tee	1.80
1	válvulas Check bronce	13.2
1	Manómetro	2.5
1	Cruz	6.71

Multiplicando la cantidad de accesorios por el valor aproximado de K obtenemos el Cuadro # 25

<b>PERDIDAS SINGULARES EN LA SARTA DE BOMBEO</b>	
ACCESORIOS	K
Codo de 90	1.80
Válvulas de compuerta y alivio	30
Tee	1.80
válvulas Check bronce	13.2
Manómetro	2.5
Cruz	6.71
<b>TOTAL</b>	<b>56.01</b>

*Fuente: Propia*

Procedemos a calcular las perdidas singulares con la expresión

$$h = K * \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

<b>DATOS DE ECUACION</b>		
<b>PERDIDAS SINGULARES</b>		
DATOS	VALOR	U/M
h: pérdida de carga singulares (Accesorios) en la columna	?	m
K: coeficiente de pérdida	56.01	Adimen
V2: velocidad media del flujo	?	m/seg
G: Gravedad	9.18	m/seg <sup>2</sup>

*Cuadro # 26 Fuente: Propia*

Como se observa en el cuadro # 26 tenemos dos incógnitas por lo cual procedemos al cálculo de la velocidad por medio de la ecuación de continuidad.

$$Q = V * A$$

Dónde:

**Q:** Caudal en m<sup>3</sup>/s

**V:** Velocidad del flujo en m/s

**A:** área de la circular de la tubería o radio hidráulico en m

Si despejamos esta ecuación para encontrar la velocidad dado que puedo determinar las otras variables.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Para encontrar el área procedemos a calcular de la siguiente manera.

Área de un círculo

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

El diámetro lo conocemos que es el diámetro de la tubería de la columna de bombeo que es igual 3 plg. Tres pulgadas equivale a 0.0762 m

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos.

$$A = 3.1416 * \frac{(0.0762)^2}{4}$$

Calculando tenemos

$$A = 3.1416 * 0.00146$$

$$A = 0.0046 \text{ m}^2$$

Determinado el área o radio hidráulico procedemos al cálculo de la velocidad.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Sustituyendo valores

$$V = \frac{0.012 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0046 \text{ m}^2}$$

Calculando

$$V = 2.60 \text{ m/s}$$

Completamos el cuadro # 27

DATOS DE ECUACION		
PERDIDAS SINGULARES		
DATOS	VALOR	U/M
h: perdida de carga singulares (Accesorios)	?	m
K: coeficiente de perdida	56.01	Adimen
V2: velocidad media del flujo	2.60	m/Seg
G: Gravedad	9.81	m/seg <sup>2</sup>

*Fuente: Propia*

Sustituyendo valores

$$h = 56.01 * \frac{2.60^2}{2 * 9.81}$$

Calculando

$$h = 56.01 * 0.34$$

$$h = 19 \text{ m}$$

Al tener este resultado sumaremos las pérdidas de carga en la tubería y las perdidas singulares en los accesorios de la sarta de bombeo del pozo obteniendo el siguiente resultado.

Perdidas dinámicas en la sarta y columna de bombeo será:

$$Hf1 = 15.23 \text{ m} + 19 \text{ m}$$

Perdida de carga dinámica total en la tubería del pozo:  $Hf1 = 34.23 \text{ m}$

Se procede al cálculo de perdida en la descarga en la tubería de conducción que va hacia las pilas de almacenamiento ubicada en la 168 msnm de Nandaime para determinar la distancia, se acoto este tramo determinando la cantidad de accesorios de la red, esto se realizó en un plano de Auto Cad 2015, Epanet 3.0 y Water Cad V8i cortesía de SIECO. Cuadro # 28

DATOS TOPOGRAFICO DE LA ZONA		
DESCRIPCION	VALOR	U/M
Distancia entre el pozo y descarga del tanque de almacenamiento	1,383	m

Fuente: SIECO

Para determinar este parámetro se comienza a calcular las pérdidas de carga en la línea de conducción, según la fórmula de Bresse será el diámetro de 4 plg.

La tubería a utilizar es PVC SDR 26

Se determina la pérdida de carga por fricción con la expresión

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right\} * L$$

Dónde:

**H:** pérdida de carga (m)

**Q:** caudal (m<sup>3</sup>/s)

**C:** coeficiente de rugosidad (Adimensional)

**D:** diámetro interno de la tubería (m)

**L:** longitud de la tubería (m)

Como se puede observar se realizaron conversiones de medidas de la unidades para realizar el cálculo con la formula expuesta.

Lo primero es transformar el caudal de 43.64 m<sup>3</sup>/h a m<sup>3</sup>/s, esto se realiza dividiendo el caudal en m<sup>3</sup>/h entre 3600 segundo que tiene una hora, quedando el caudal de: 0.012 m<sup>3</sup>/seg.

$$\frac{43.64}{3600} = 0.012 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El coeficiente de seguridad por ser materia de PVC, será de 140.

El diámetro de la tubería de descarga esta dado en metros, tenemos 4 plg, una pulgada es el equivalente de 2.54 cm, entonces convirtiendo tenemos.

$$4 * 2.54 = 10.16 \text{ cm}$$

Si dividimos este resultado entre 100 cm que tiene un metro tenemos que

$$\frac{7.62}{100} = 0.1016 \text{ m}$$

Una vez convertidas las unidades de medida se procede al cálculo. Cuadro # 29

DATOS DE ECUACION		
PERDIDA DE CARGA		
DATOS	VALOR	U/M
H: perdida de carga	?	m
Caudal Q =	0.012	m <sup>3</sup> /seg
C: coeficiente de rugosidad	140.00	Adimen
L: longitud de la tubería	1383	m
D: diámetro interno de la tubería	0.1016	m

Sustituyendo valores

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{0.012^{1,852}}{140^{1,852} * 0.1016^{4,871}} \right\} * 1383$$

Calculando

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{9,433 * 1.45 \times 10^{-5}} \right\} * 1383$$

$$H = 10,674 * \left\{ \frac{2.82 \times 10^{-4}}{0.137} \right\} * 1383$$

$$H = 10,674 * \{0.0021\} * 1383$$

$$H = 31 \text{ m}$$

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga en los accesorios en la línea de conducción.

La cantidad de accesorio se determinó con los cambio de dirección según la ruta de la línea de conducción.

25.00 ----- Codos PVC de 4" x 45

38.00 ----- Codos PVC 4" x 90

7.00 ----- Válvula de compuerta de 4" bridada.

3.00 ----- Válvula Check de 4" bridada

1.00 ----- Válvula de Limpieza de 4" bridada.

8.00 ----- Kit de Pernos y Empaques.

Las pérdidas singulares pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h = K * (v^2 / 2g)$$

$$h = K * \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

**h:** pérdida de carga (m)

**K:** coeficiente empírico (adimensional)

**v:** velocidad media del flujo (m/s)

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la siguiente tabla se resumen los valores aproximados de "K".

Con la cantidad de accesorios a instalar en el pozo y la tabla de valores se tiene el cuadro con las cantidades y valor aproximado de K. Cuadro # 30

<b>PERDIDAS SINGULARES EN LA SARTA DE BOMBEO</b>		
<b>CANTIDAD</b>	<b>ACCSESORIOS</b>	<b>K</b>
<b>38</b>	Codo de 90	0.90
<b>7</b>	Válvulas de compuerta y alivio	10.00
<b>25</b>	Codo de 45	0.40
<b>3</b>	válvulas Check bronce	13.2

Multiplicando la cantidad de accesorios por el valor aproximado de K obtenemos el cuadro # 31.

PERDIDAS SINGULARES EN LA SARTA DE BOMBEO	
ACCSESORIOS	K
Codo de 90	34.2
Válvulas de compuerta y alivio	70
Codo de 45	10
válvulas Check bronce	39.6
<b>K TOTAL</b>	<b>153.8</b>

Se puede calcular las perdidas singulares con la expresión

$$h = K * \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
PERDIDAS SINGULARES		
DATOS	VALOR	U/M
h: pérdida de carga singulares (Accesorios)	?	m
K: coeficiente de pérdida	153.8	Adimen
V2: velocidad media del flujo	?	m/seg
G: Gravedad	9.18	m/seg <sup>2</sup>

Cuadro # 32 Fuente: Propia

Como se observa en la tabla tenemos dos incógnitas por lo cual procedemos al cálculo de la velocidad por medio de la ecuación de continuidad.

$$Q = V * A$$

Dónde:

**Q:** Caudal en m<sup>3</sup>/s

**V:** Velocidad del flujo en m/s

**A:** área de la sección circular de la tubería en m

Si despejamos esta ecuación para encontrar la velocidad dado que se puede determinar otras variables.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Para encontrar el área procedemos a calcular de la siguiente manera.

Área de un círculo

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

El diámetro lo conocemos que es el diámetro de la tubería de la columna de bombeo que es igual 4 plg. Tres pulgadas equivale a 0.1016 m.

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos.

$$A = 3.1416 * \frac{(0.1016)^2}{4}$$

Calculando tenemos

$$A = 3.1416 * 0.00146$$

$$A = 0.0081 \text{ m}^2$$

Determinado el área se procede al cálculo de la velocidad.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Sustituyendo valores

$$V = \frac{0.012 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0081 \text{ m}^2}$$

Calculando

$$V = 1.48 \text{ m/s}$$

Completamos el Cuadro # 33

DATOS DE ECUACION		
PERDIDAS SINGULARES		
DATOS	VALOR	U/M
h: perdida de carga singulares (Accesorios)	?	m
K: coeficiente de perdida	153.8	Adimen
V2: velocidad media del flujo	1.48	m/seg
G: Gravedad	9.81	m/seg <sup>2</sup>

*Fuente: Propia*

Sustituyendo valores

$$h = 153.8 * \frac{1.48^2}{2 * 9.81}$$

Calculando

$$h = 153.8 * 0.11$$

$$h = 16.9 \text{ m}$$

Al tener este resultado sumaremos las pérdidas de carga en la tubería y las pérdidas singulares en los accesorios de la tubería para la línea conducción obteniendo las Perdidas dinámicas de este sistema:

$$Hf2 = 31 \text{ m} + 16.9 \text{ m}$$

$$Hf2 = 47.9 \text{ m}$$

La pérdida de carga dinámica total en la línea de conducción es de  $Hf = 47.9 \text{ m}$ ,

Para determinar el total de la carga dinámica sumaremos las pérdidas por fricción de la columna de bombeo del pozo y las perdidas en los accesorios, más la pérdida por fricción en la línea de conducción del pozo al tanque de almacenamiento y las perdidas en los accesorios en el trayecto de la tubería.

Pérdida de carga en la columna de bombeo, y accesorios en la sarta  $Hf1 = 31 \text{ m}$

Pérdida de carga en la tubería y accesorios de línea de conducción  $Hf2 = 47.9 \text{ m}$

$$Caga \text{ Dinamica} = 78.9 \text{ m}$$

Determinado estos valores procedemos a calcular la Carga Total Dinámica

$$CTD = Carga\ Estática + Carga\ Dinámica$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
Carga Total Dinámica		
DATOS	VALOR	U/M
Carga Total Dinámica	?	
Carga Estática	227.8	m
Carga Dinámica	78.9	m

Cuadro # 34 Fuente: Propia

Sustituyendo valores

$$CTD = 227.8\ m + 78.9\ m$$

Calculando

$$CTD = 306.7\ m$$

Para facilitar la determinación de la bomba al calcular la potencia de este este valor se convertirá a pies.

Un metro es igual a 3.28 pies, entonces multiplicaremos estos valores y tendremos.

$$CTD = 306.7 * 3.28 = 1,006\ pies$$

Determinación de las características del equipo de bombeo.

### Potencia de la Bomba

Este se realiza con la siguiente formula

$$Pb = \frac{Qb * CTD}{3960 * EF}$$

Dónde:

**Q:** Caudal de Bombeo en Gpm

**CTD:** Carga Total dinámica en pies

**EF:** Eficiencia del equipo 70%

Los datos serán.

DATOS DE ECUACION		
POTENCIA DE LA BOMBA		
DATOS	VALOR	U/M
Caudal de Bombeo Qb	192	Gpm
Carga Total dinámica CTD	1,006	pies
Eficiencia EF	70	%

Cuadro # 35 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores en la ecuación.

$$Pb = \frac{192 * 1,006}{3960 * 0.70}$$

Calculando tenemos.

$$Pb = \frac{193,152}{2,772}$$

$$Pb = 70 Hp$$

## Potencia del Motor

$$P_m = \frac{P_b}{0.90}$$

Dónde:

P bomba: Potencia de la bomba en caballos de fuerzas (HP)

Eficiencia para el motor: (90%) que es 0.90

Los datos serán.

DATOS DE ECUACION		
POTENCIA DEL MOTOR		
DATOS	VALOR	U/M
HP bomba	70	HP
Eficiencia EF	90	%

Cuadro # 36 Fuente: Propia

Sustituyendo Valores en la ecuación.

$$P_m = \frac{70}{0.90}$$

Calculando tenemos.

$$P_m = 78 \text{ Hp}$$

## Diseño de la Estación de Bombeo

Una vez calculado los parámetros hidráulicos del diseño los elementos de la estación de bombeo procedemos a determinar los diseños finales para la estación de bombeo.

## Línea de Conducción e Impulsión

La línea de impulsión o columna de bombeo será.

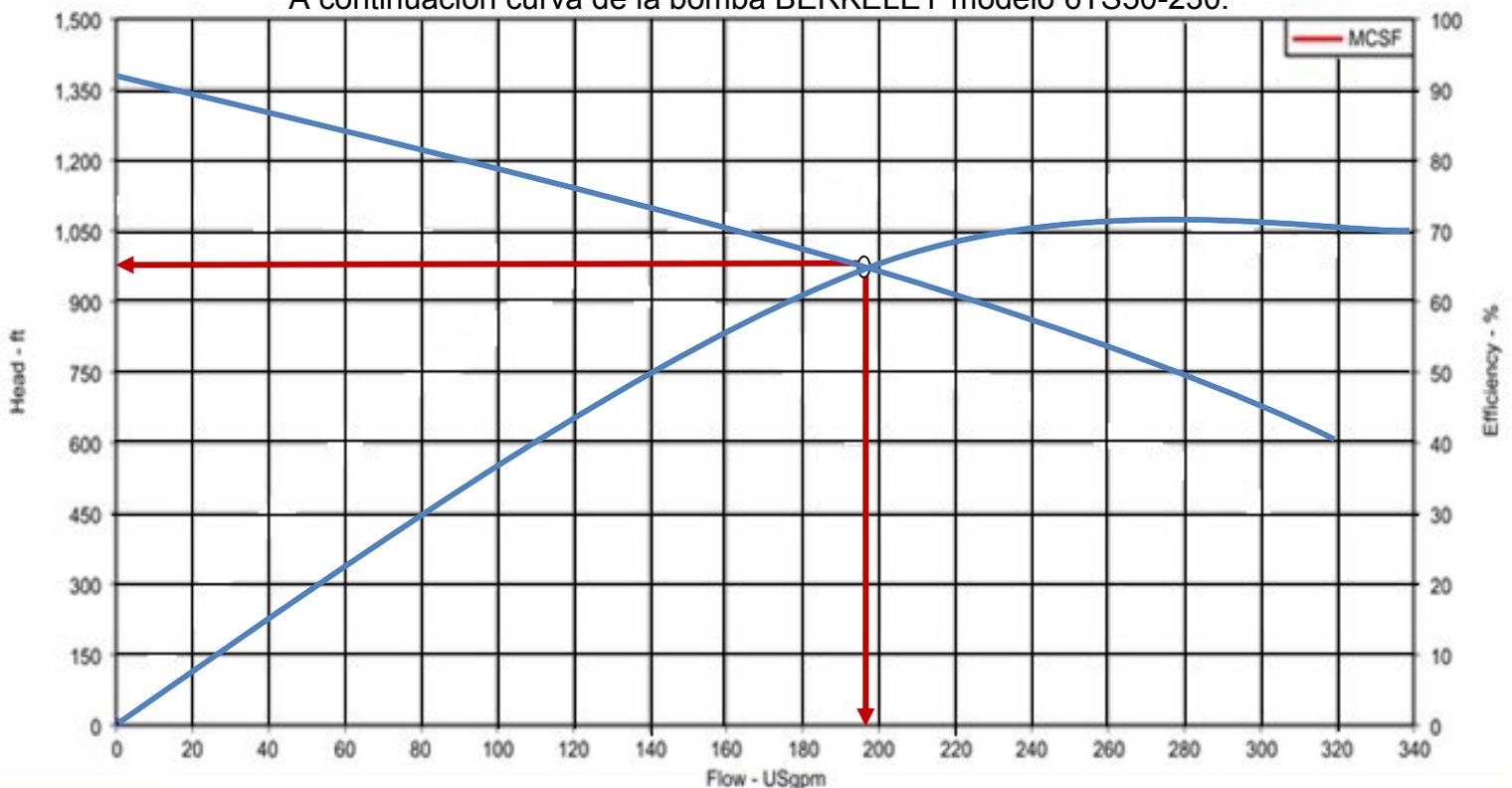
Tubería de Hierro Galvanizado (HG) AC = 40 de diámetro de 3 plg.

La tubería de conducción será de PVC SDR 26. En diámetro de 4 plg. Con junta cementada enterrada a 1 m dado que puede pasar en la zona transporte pesado.

Cuadro # 37 Características del Equipos de Bombeo Fuente: SIECO

Descripción	VALOR	U/M
Caudal de bombeo	192	Gpm (12.00 l/s)
Tipo de bomba	Sumergible	
Número de unidades	1	
Numero de Etapas de Bomba	21	
Marca	BERKELEY	
Modelo	6TS50-230	
Nivel de abatimiento del Pozo	399.8	Pies ( 121.9 m)
Carga Total Dinámica	1,006	Pies (306.7 m)
Potencia	70 HP.	
Velocidad de rotación	3450 rpm	
Eficiencia	70%	
Energía	Trifásica	

A continuación curva de la bomba BERKELEY modelo 6TS50-230.



Como se aprecia en la imágenes de la curva esta cumple perfectamente con nuestro requerimiento hidráulicos que son 192 Gpm contra una carga total dinámica de 1,006 pies.

### **Sistema de Cloración.**

El cloro es una sustancia química ampliamente usada para la desinfección del agua en plantas de potabilización de agua. Es muy eficaz y económico para el tratamiento y potabilización de aguas.

La desinfección se hará a través de dos cloradores automáticos en línea que utiliza pastillas de cloro, en la línea que sale de los filtros antes de la cámara de contacto.

Los modelos 300 y 320 de cloradores automáticos de cloro de Rainbow™ no solo le ahorran tiempo, sino también reducen el contacto manual con los productos químicos, son utilizados para desinfección de piscinas satisfactoriamente, por lo que para casos de sistemas rurales pueden ser adaptados sin problemas, tienen las siguientes ventajas:

- No se requiere energía eléctrica para su inyección
- Sistemas totalmente cerrados, sin emisión de vapores.
- Diseños sencillos, sin problemas ni necesidad de ventilación especial
- La carga por la parte superior facilita la adición de los productos químicos.



### **Casetas de operador y Paneles Eléctricos.**

En el predio del pozo se ha proyectado la construcción de una caseta de mampostería reforzada para: el operador y protección de Paneles Eléctricos, esta caseta cuenta con un área total de 9.202 m<sup>2</sup> y sus dimensiones son: 4.28 X 2.15 m, el área del operador

es de 1.43 X 2.15 m (3.075m<sup>2</sup>) y el área de Paneles Eléctricos es de 2.85 X 2.15 m. (6.128m<sup>2</sup>).

**Grupo generador de energía y fuerza motriz.**

Esta se realizara por energía trifásica.

Para que la bomba trabaje se necesita de cable sumergible para conectar el motor de la bomba con la energía eléctrica. Por lo cual debemos calcular la sección transversal del cable para la profundidad de instalación del equipo.

El cálculo de la sección transversal se realizara mediante la expresión.

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos \alpha}{K * \Delta V}$$

Dónde:

**S** = Sección transversal en mmm

**L** = Longitud a utilizar.

**I** = Intensidad de trabajo

**Cos α** = factor de potencia.

**K** = Factor de seguridad.

**ΔV** = Voltaje de línea de trabajo.

Determinada el número de cable a utilizar a continuación se describe la cantidad y otros accesorios para la función de la bomba. Cuadro # 38

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	guarda nivel 220 voltios 1f
3	Electrodos
350	pie de cable sumergible 2x14
1	caja metálica para guarda nivel
1	clorador de línea de 2" pvc
350	pie cable sumergible de # 6x3 60°

## Demanda de la Población

La población total del municipio es de: 18,246 Habitantes,

Población Urbana: 6,386hab. (35 %)

Población Rural: 11,860 hab. (65 + %)

HOMBRES	MUJERES	TOTAL
8,885(48.7%)	9,361 (51.3%)	18,246(100%)

Fuente. Alcaldía de Nandaime. Cuadro # 39

El cálculo se realiza con la siguiente ecuación.

$$P_n = P_o (1 + r)^n$$

**P<sub>n</sub>** Población esperada en años

**P<sub>o</sub>** población del año base

**r** tasa de crecimiento geométrico

**n** número de años del periodo de diseño considerado

En este caso se proyectara la población a 20 años y la tasa de crecimiento se eligió de 3% según la norma. (Fuente INAA).

Para realizar los cálculos tenemos nuestros datos. Cuadro # 40

DATOS DE ECUACION			
PROYECCION DE POBLACION			
DATOS		VALOR	U/M
P <sub>n</sub>	Población esperada en años	?	Habitantes.
P <sub>o</sub>	población del año base	6386	Habitantes
r	tasa de crecimiento geométrico	3	%
N	número de años del periodo de diseño considerado	20	años

Fuente: Propia

**El cálculo se realiza cada 5 años.**

Sustituyendo Valores.

$$P_n 2015 = 6,386 (1 + 0.03)^0$$

Calculando.

$$P_n 2015 = 6,386 \text{ Habitantes}$$

Calculando para 5 años.

$$P_n 2020 = 6,386 (1 + 0.03)^5$$

$$P_n 2020 = 7,403 \text{ Habitantes}$$

Calculando para 10 años.

$$P_n 2025 = 6,386 (1 + 0.03)^{10}$$

$$P_n 2025 = 8,582 \text{ Habitantes}$$

Calculando para 15 años.

$$P_n 2030 = 6,386 (1 + 0.03)^{15}$$

$$P_n 2030 = 9,949 \text{ Habitantes}$$

Calculando para 20 años.

$$P_n 2035 = 6,386 (1 + 0.03)^{20}$$

$$P_n 2035 = 11,534 \text{ Habitantes}$$

Con estos cálculos se realiza un resumen de resultados en el cuadro # 41

<b>PROYECCION DE POBLACION</b>					
<b>N</b>	<b>Años</b>	<b>Población base</b>	<b>Tasa de crecimiento ( r )</b>	<b>(1 + r)n</b>	<b>Pn</b>
<b>0</b>	2015	6,386	3.00 %	1.00	6,386.00
<b>5</b>	2020	6,386	3.00 %	1.16	7,225.00
<b>10</b>	2025	6,386	3.00 %	1.34	8,175.00
<b>15</b>	2030	6,386	3.00 %	1.56	9,249.00
<b>20</b>	2035	6,386	3.00 %	1.80	10,464.00

*Fuente: Propia*

### **Determinación de la dotación para la población según normas del INAA.**

Esto se determinara mediante la siguiente tabla emitida por ENACAL en sus normas. Para determinar las cantidades de agua que se requiere para satisfacer las condiciones Inmediatas y futuras de las ciudades o poblaciones proyectadas zonas rurales.

<b>DOTACIONES DE AGUA</b>				
<b>Rango de Población</b>		<b>Dotación</b>		
		<b>gl/hab/día</b>	<b>lt/hab/día</b>	
0	5.000	20	75	
5.000	10.000	25	95	
10.000	15.000	<b>30</b>	113	
15.000	20.000	35	132	
20.000	30.000	40	151	
30.000	50.000	45	170	
50.000	100.000 y mas	50	189	

*Fuente INAA. Tabla # 11*

Se utilizara una dotación de 30 galones por personas día. (Gppd)

### **Determinación del caudal para la población proyectada.**

Para determinar el caudal de diseño para el periodo de 20 años (2015 – 2035), es necesario determinar los siguientes factores.

Consumo Promedio Diario (CPD)

Consumo promedio Diario Total (CPDT)

Consumo máximo día. (CMD)

Consumo máximo Hora. (CMH)

### Consumo promedio diario

Se determinara con la siguiente expresión.

$$CPD = Pn * Dotacion$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
COMSUMO PROMEDIO DIARIO.		
DATOS	VALOR	U/M
Consumo promedio diario CPD	?	gd
Proyección de la población futura. Pn	10,464.00	Habitantes
Dotación por personas.	30	gd

Cuadro # 42 Fuente: Propia

Sustituyendo valores en la ecuación.

$$CPD = 10,464 * 30$$

Calculando.

$$CPD = 313,920 \text{ gd}$$

Para facilitar cálculos dividiremos el CPD entre 1440 minutos que tiene el día para obtener el caudal a servir a la población en Gpm.

$$CPD = \frac{313,920 \text{ gd}}{1,440 \text{ minuto/dia}}$$

$$CPD = 218 \text{ Gpm.}$$

### Consumo promedio diario total.

Se determinara con la siguiente expresión.

$$CPDT = CPD * 1.20$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
COMSUMO PROMEDIO DIARIO.		
DATOS	VALOR	U/M
Consumo promedio diario CPDT	?	gd
Se estima 20 % de pérdidas en el sistema.	20	%

Cuadro # 43 Fuente: Propia

Sustituyendo valores en la ecuación.

$$CPDT = 218 * 1.20$$

Calculando.

$$CPDT = 261.60 \text{ Gpm}$$

### Consumo máximo día.

Se determinara con la siguiente expresión.

$$CMD = CPDT * 1.50$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
COMSUMO PROMEDIO DIARIO.		
DATOS	VALOR	U/M
Consumo Máximo Día CMD	?	gd
Facto expresado en demanda.	1.50	Adimensional

Cuadro # 44 Fuente: Propia

Sustituyendo valores en la ecuación.

$$CMD = 216.60 * 1.50$$

Calculando.

$$CMD = 392.40 \text{ Gpm}$$

### Consumo máximo Hora.

Se determinara con la siguiente expresión.

$$CMH = CPDT * 2.50$$

Dónde:

DATOS DE ECUACION		
COMSUMO PROMEDIO DIARIO.		
DATOS	VALOR	U/M
Consumo Máximo Día CMD	?	gd
Facto expresado en demanda.	2.50	Adimensional

Cuadro # 45 Fuente: Propia

Sustituyendo valores en la ecuación.

$$CMD = 261.60 * 2.50$$

Calculando.

$$CMD = 654 Gpm$$

Este cálculo debería de realizarse cada cinco años pero para no realizar un documento extenso se realizó la demostración de procedimiento con la población proyectada a 20 años en los párrafos anteriores. Por lo cual se presenta la siguiente tabla de resúmenes de caudales acordes a cada periodo proyectado.

## 5.4 Diseño Hidráulico de la Red de Distribución

Es el producto de multiplicar el consumo promedio diario por 2.5 del consumo para garantizar el abastecimiento en las condiciones críticas.

Una vez identificada la falta del servicio de agua, donde podemos ampliar la red se realizó un levantamiento topográfico, se calculó el censo poblacional y se utilizó la normativa vigente de INAA, ya teniendo todos los criterios se elaboró el modelamiento de la Red y se hizo una simulación hidráulica utilizando el programa Epanet 3.0

### SISTEMA AGUA POTABLE NANDAIME

#### CONSUMO DE MAXIMO DIA EN LA RED PMP-1 OPERANDO

#### ESTADO DE LOS NODO Y LINEA EN LA RED

Nº	Nodos	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Línea Hidráulica (m)	Presión (m.c.a)	Long. (m)	Ø (mm)	Q (L/s)	Vel. (m/s)
1	N 69	602,501.43	1,299,724.48	144.64	76.3	9.81	200	30	0.96
2	N 70	602,510.47	1,299,720.67	144.6	76.5	11.48	25	0	0.82
3	N 71	603,995.52	1,299,080.42	138.34	63.2	13.91	25	0	0.97
4	N 72	603,996.83	1,299,091.83	137.97	62.6	15.64	25	0	0.23
5	N 73	601,652.75	1,299,888.11	150.17	73.5	15.78	50	-1	0.63
6	N 75	601,557.64	1,300,210.02	144.5	77.3	16.55	50	-1	0.68
7	N 76	601,571.55	1,300,210.02	143.88	73.7	16.96	75	-4	0.82
8	N 77	604,048.69	1,299,092.02	137.89	60.9	17.36	75	3	0.71
9	N 78	604,063.43	1,299,086.82	137.84	61.1	17.83	75	-3	0.64
10	N 79	601,542.43	1,299,960.09	148.48	67.7	18.66	25	0	0.31
11	N 80	601,548.05	1,299,945.34	148.62	68.2	19.58	75	-4	0.98
12	N 85	601,745.29	1,300,243.27	143.62	69.5	19.88	25	0	0.70
13	N 87	601,558.50	1,299,932.50	148.79	69.1	19.95	25	-1	1.48
14	N 88	601,636.61	1,299,978.12	149.09	69.6	20.61	25	-1	2.38
15	N 89	601,641.99	1,299,962.03	149.25	70.3	21.08	200	51	1.61
16	N 90	601,773.44	1,300,225.57	144.81	65.8	21.62	50	-2	0.78
17	N 93	602,046.27	1,300,009.72	144.31	72.6	21.8	200	51	1.61
18	N 94	602,063.61	1,300,008.80	144.19	73.3	22.06	200	50	1.60
19	N 95	601,551.36	1,300,114.72	147.92	63.1	22.08	25	0	0.09
20	N 96	601,560.08	1,300,099.16	148.03	63.9	22.12	25	0	0.67

21	N 99	603,472.59	1,299,288.71	140.83	72.5	22.34	200	39	1.24
22	N 100	603,470.16	1,299,270.20	140.93	72.8	22.51	50	3	1.55
23	N 103	601,647.42	1,299,930.80	149.62	71.4	22.94	50	-1	0.61
24	N 104	601,649.73	1,299,911.36	149.87	72.2	23.12	25	-1	1.44
25	N 105	601,812.95	1,300,470.64	138.66	54.8	23.44	75	-4	1.00
26	N 106	601,832.70	1,300,468.31	138.17	55.5	23.72	50	-2	0.96
27	N 107	602,091.21	1,300,140.07	135.93	61.4	24.11	150	20	1.16
28	N 108	602,102.84	1,300,123.86	137.88	65.5	24.61	100	-3	0.42
29	N 109	601,530.02	1,299,976.55	143.65	62.1	25.63	200	32	1.03
30	N 110	601,775.69	1,299,864.73	149.28	74.0	25.73	50	-2	0.89
31	N 111	601,796.70	1,299,866.46	149.07	74.1	25.75	25	-1	1.95
32	N 112	601,603.75	1,299,897.02	149.45	73.1	26.07	25	0	0.38
33	N 113	601,624.64	1,299,891.45	149.74	72.6	26.12	200	50	1.60
34	N 115	601,753.92	1,299,865.84	149.5	73.9	26.18	50	-2	1.16
35	N 116	601,855.48	1,299,884.42	148.45	74.4	26.36	25	-1	2.14
36	N 117	601,873.67	1,299,896.89	148.23	74.4	26.98	25	0	0.02
37	N 118	603,465.34	1,299,309.57	140.81	72.1	26.99	50	2	1.09
38	N 119	604,008.67	1,299,110.52	137.48	61.8	27.3	25	0	0.32
39	N 120	602,004.95	1,299,933.11	147.24	76.7	27.34	25	-1	1.51
40	N 121	602,026.87	1,299,928.83	147.1	76.9	27.67	75	-3	0.58
41	N 122	601,699.02	1,300,492.25	143.77	54.1	27.9	200	38	1.22
42	N 123	601,720.71	1,300,498.28	142.71	55.9	27.93	25	0	0.84
43	N 128	603,584.81	1,299,247.58	140.28	71.1	28.32	50	-2	0.84
44	N 129	603,573.25	1,299,227.77	140.48	71.0	28.44	50	0	0.17
45	N 130	601,329.92	1,300,273.94	131.48	39.8	28.55	50	3	1.49
46	N 131	601,353.04	1,300,273.86	133.62	43.0	28.64	25	0	0.16
47	N 133	601,681.30	1,299,874.09	150.24	73.9	28.87	100	1	0.16
48	N 134	601,515.16	1,300,188.39	147.17	60.1	28.89	25	0	0.10
49	N 135	601,525.81	1,300,167.20	147.63	61.2	29.05	25	0	0.51
50	N 136	603,283.00	1,299,354.36	142.24	75.8	29.28	200	39	1.23
51	N 137	603,305.37	1,299,345.35	142.05	75.2	30.11	50	-2	0.82
52	N 138	603,168.89	1,299,502.83	142.34	74.2	30.64	50	2	0.92
53	N 139	603,158.14	1,299,480.69	142.39	73.3	30.74	75	-3	0.62
54	N 145	602,318.45	1,299,803.88	145.46	75.2	30.95	50	-1	0.63
55	N 146	602,341.31	1,299,792.29	145.35	74.9	31.7	75	-4	0.95
56	N 147	601,503.60	1,300,211.38	146.73	59.5	32.2	75	0	0.04

57	N 148	602,167.68	1,300,295.16	129.98	57.6	32.36	200	50	1.59
58	N 149	602,190.33	1,300,282.91	134.16	60.0	32.38	75	-3	0.76
59	N 152	601,682.35	1,300,231.84	142.5	70.4	32.62	50	-1	0.73
60	N 153	601,705.91	1,300,243.01	142.7	70.6	32.99	50	-1	0.55
61	N 154	601,822.50	1,299,870.52	148.81	74.2	33.13	200	32	1.03
62	N 155	602,222.03	1,300,075.59	141.83	69.2	33.28	200	39	1.26
63	N 156	602,207.56	1,300,053.77	142.55	70.3	33.3	25	0	0.82
64	N 157	601,505.95	1,299,987.29	138.55	56.2	33.33	50	-1	0.73
65	N 158	603,521.89	1,299,302.41	127.83	56.7	33.81	25	0	0.42
66	N 159	603,542.25	1,299,284.71	127.83	57.7	34.2	50	-1	0.31
67	N 160	601,744.47	1,300,552.74	139.94	52.7	34.24	200	51	1.62
68	N 161	601,747.15	1,300,579.60	139.27	50.6	34.39	25	-1	1.71
69	N 162	601,927.98	1,300,648.75	136.62	53.7	34.71	200	39	1.24
70	N 163	601,955.29	1,300,648.75	136.46	54.5	34.79	25	0	0.43
71	N 164	603,638.24	1,299,169.23	137.62	69.2	35.08	25	0	0.98
72	N 165	603,649.27	1,299,194.24	140.39	71.4	35.78	200	50	1.60
73	N 168	601,538.89	1,300,142.81	147.76	61.8	36.15	50	1	0.33
74	N 169	602,090.74	1,299,908.71	146.69	77.0	36.45	25	0	0.14
75	N 170	602,116.39	1,299,897.73	146.52	77.1	36.49	50	0	0.21
76	N 171	601,262.64	1,300,266.75	128	34.8	36.66	75	-3	0.66
77	N 172	601,290.22	1,300,271.23	128.96	36.4	36.76	50	0	0.05
78	N 176	602,337.48	1,300,254.28	137.77	62.4	37.01	75	-3	0.72
79	N 177	602,327.07	1,300,227.81	137.79	63.3	37.12	25	0	0.40
80	N 178	601,749.26	1,300,498.28	141.47	56.0	37.19	75	-4	0.80
81	N 179	603,320.28	1,299,368.94	141.45	72.9	37.26	50	2	0.82
82	N 181	602,253.21	1,300,375.36	129.61	56.8	37.72	200	39	1.23
83	N 182	602,260.76	1,300,347.73	129.66	57.2	38.6	25	0	0.48
84	N 185	604,162.65	1,298,813.00	137.61	62.2	38.6	25	0	0.33
85	N 186	604,169.85	1,298,785.04	137.6	62.1	38.98	200	51	1.62
86	N 187	603,544.07	1,299,097.76	132.64	68.0	39.05	200	39	1.25
87	N 188	603,559.44	1,299,073.30	132.66	68.3	39.38	25	0	0.68
88	N 191	602,275.93	1,300,322.96	130.06	61.9	39.53	25	-1	2.14
89	N 192	602,055.10	1,299,921.05	146.92	76.9	39.79	25	-1	1.17
90	N 193	601,482.76	1,300,233.11	146.29	58.8	39.94	50	-1	0.45
91	N 196	601,774.52	1,300,617.06	138.28	50.8	40.05	50	1	0.70
92	N 197	601,799.52	1,300,634.78	137.73	49.7	40.49	25	0	0.49

93	N 202	601,425.58	1,300,262.16	145.62	57.0	40.8	25	0	0.41
94	N 203	601,454.09	1,300,250.10	145.9	58.1	41.58	25	0	0.50
95	N 204	604,263.51	1,298,622.35	137.58	63.6	41.85	25	-1	1.30
96	N 205	604,285.20	1,298,598.55	137.57	64.1	42.38	25	0	0.51
97	N 206	601,900.45	1,299,915.05	147.91	74.7	42.52	50	-2	0.83
98	N 207	601,600.14	1,300,037.35	148.51	66.7	43.22	50	-1	0.52
99	N 208	601,617.81	1,300,010.20	148.77	68.1	43.75	100	-1	0.14
100	N 209	602,313.93	1,300,160.17	138.41	65.7	43.85	25	0	0.54
101	N 210	602,313.16	1,300,127.56	138.79	66.6	43.93	25	0	0.54
102	N 214	603,607.72	1,299,271.33	140.06	71.3	44.34	25	0	0.87
103	N 215	602,288.28	1,299,817.57	145.6	75.6	44.52	200	38	1.22
104	N 216	601,931.85	1,299,926.07	147.7	75.6	44.68	25	-1	1.22
105	N 217	601,602.87	1,300,198.70	142.8	66.7	45.59	50	-1	0.36
106	N 221	604,031.19	1,299,135.74	137.16	61.2	45.66	25	0	0.60
107	N 222	602,423.64	1,300,050.67	141.24	70.3	45.82	200	30	0.96
108	N 223	602,408.74	1,300,019.89	141.32	70.7	46.39	50	2	1.01
109	N 224	601,715.50	1,299,872.38	149.89	73.9	46.73	25	0	0.56
110	N 226	601,387.40	1,300,272.42	138	48.5	47.75	25	0	0.73
111	N 227	601,970.24	1,299,933.27	147.46	76.2	48.2	75	-5	1.14
112	N 228	603,355.38	1,299,341.85	139.84	71.9	48.91	100	-3	0.33
113	N 229	603,375.41	1,299,313.41	139.49	72.0	49.81	25	-1	1.07
114	N 230	601,661.15	1,300,709.36	140.94	39.9	50	100	0	0.05
115	N 231	601,670.42	1,300,675.53	142.53	44.9	50.11	50	-1	0.42
116	N 234	603,974.25	1,299,051.19	138.44	63.5	50.25	25	0	0.61
117	N 235	602,506.21	1,300,196.11	136.14	68.0	50.48	150	9	0.48
118	N 236	602,532.86	1,300,171.24	136.09	63.7	50.5	25	0	0.07
119	N 237	602,436.71	1,300,084.75	141.19	70.0	50.69	25	-1	1.66
120	N 238	601,579.74	1,300,068.22	148.25	65.4	50.81	25	0	0.88
121	N 239	602,585.70	1,300,051.50	141.98	69.1	50.84	50	-1	0.60
122	N 240	602,584.06	1,300,014.77	141.98	69.3	52.7	25	0	0.07
123	N 243	601,639.94	1,300,200.55	142.48	70.3	52.88	50	1	0.31
124	N 245	601,835.17	1,300,645.63	137.19	50.1	53.36	25	1	1.12
125	N 249	601,869.78	1,300,479.03	137.71	56.7	53.43	50	-1	0.70
126	N 250	603,498.06	1,299,332.77	128.07	53.5	54.38	25	-1	1.83
127	N 251	603,641.09	1,299,293.27	139.87	70.8	54.42	25	0	0.39
128	N 252	601,875.11	1,300,648.64	136.75	51.6	54.67	50	2	1.17

129	N 254	602,249.29	1,300,415.66	129.11	56.6	55.47	200	24	0.78
130	N 255	604,042.26	1,299,040.97	137.83	61.4	55.76	50	-2	1.24
131	N 256	604,021.91	1,299,005.61	138.2	61.9	56.88	50	2	0.86
132	N 258	602,362.70	1,300,088.52	138.88	68.4	57.47	50	0	0.17
133	N 259	602,321.20	1,300,085.81	139.42	67.9	57.51	50	-1	0.72
134	N 260	603,672.64	1,299,320.77	136.66	65.9	57.77	50	-3	1.53
135	N 263	601,221.58	1,300,256.30	127.43	33.2	58.82	25	-1	1.49
136	N 264	603,381.44	1,299,440.33	140.76	60.3	59.04	50	1	0.52
137	N 265	603,352.18	1,299,408.52	141.03	67.4	59.25	50	-1	0.34
138	N 267	603,228.98	1,299,573.37	142.27	62.4	59.58	50	0	0.02
139	N 268	603,200.70	1,299,539.99	142.28	67.6	59.96	25	0	0.46
140	N 269	602,063.46	1,300,393.81	120.57	42.3	61	150	18	1.02
141	N 270	602,093.30	1,300,361.68	121.22	45.1	61.78	50	0	0.18
142	N 271	601,652.80	1,300,752.50	140.28	39.2	62.63	100	-5	0.57
143	N 274	602,157.12	1,299,879.77	146.26	77.3	62.75	100	1	0.09
144	N 275	602,211.93	1,300,322.03	131.14	57.7	63.24	50	-1	0.55
145	N 277	601,673.46	1,300,630.04	142.67	48.1	63.39	100	-3	0.44
146	N 278	602,463.84	1,300,213.12	136.96	63.5	64.04	100	10	1.32
147	N 279	602,552.74	1,299,702.98	144.42	76.7	64.24	50	-1	0.68
148	N 284	603,132.72	1,299,532.42	141.58	69.4	64.73	50	-3	1.70
149	N 286	603,266.94	1,299,544.40	141.02	58.8	65.88	25	-1	1.19
150	N 289	602,174.77	1,299,924.63	145.45	75.3	65.95	100	5	0.60
151	N 292	602,126.15	1,300,324.23	123.9	49.4	66.02	200	33	1.05
152	N 298	604,230.35	1,298,659.77	137.58	63.5	67.44	25	0	0.67
153	N 299	602,391.81	1,299,972.72	141.53	70.2	67.97	25	0	0.78
154	N 300	601,937.47	1,300,599.40	135.68	52.5	68.9	50	-1	0.63
155	N 301	603,526.47	1,299,246.74	140.56	72.0	69.43	25	0	0.92
156	N 302	602,307.76	1,300,283.36	131.96	55.9	69.72	25	0	0.44
157	N 316	602,603.81	1,299,816.11	142.71	73.8	70.06	25	0	0.80
158	N 317	602,580.27	1,299,768.14	143.29	75.2	70.14	25	0	0.80
159	N 319	601,451.63	1,299,989.94	130.69	48.1	70.73	50	-2	0.86
160	N 323	603,100.24	1,299,441.48	142.66	76.1	72.23	50	0	0.16
161	N 324	603,150.39	1,299,417.78	142.52	76.0	73.25	100	10	1.27
162	N 325	602,193.00	1,299,999.94	144.28	73.3	74.65	50	-1	0.37
163	N 326	602,246.98	1,299,981.99	143.38	74.2	75.51	100	4	0.54
164	N 328	602,596.85	1,299,958.74	142.02	70.6	76.37	100	1	0.13

165	N 329	603,498.12	1,299,196.54	133.07	66.7	77.02	200	32	1.02
166	N 330	602,091.46	1,300,067.22	140.55	70.2	77.18	75	4	0.83
167	N 335	604,476.12	1,298,932.44	132.67	67.5	77.49	75	-5	1.08
168	N 336	604,522.45	1,298,969.04	132.3	66.7	77.99	50	-1	0.49
169	N 337	602,603.16	1,299,899.82	142.19	70.8	78.02	25	1	1.73
170	N 338	602,652.38	1,299,781.60	142.71	74.5	78.71	25	0	0.92
171	N 341	603,589.01	1,299,125.45	133.33	67.6	78.96	100	4	0.49
172	N 346	603,056.11	1,299,676.62	141.53	55.0	79.14	200	33	1.04
173	N 347	603,095.31	1,299,628.87	141.59	59.8	79.61	50	-1	0.46
174	N 348	601,725.69	1,300,435.58	143.98	55.8	80.17	25	0	0.95
175	N 349	604,202.78	1,298,716.14	137.58	63.2	80.98	25	0	0.81
176	N 350	603,151.61	1,299,579.87	141.84	65.5	81.99	25	0	0.46
177	N 351	601,879.57	1,299,975.59	146.92	72.8	82.46	50	-2	1.11
178	N 352	601,675.64	1,300,552.08	143.11	54.0	83.26	50	0	0.17
179	N 358	602,216.61	1,299,851.14	145.96	76.9	83.72	50	-1	0.52
180	N 360	603,444.53	1,299,154.74	131.04	66.6	85.16	100	3	0.43
181	N 363	602,505.66	1,300,074.43	141.91	68.9	86.13	100	5	0.69
182	N 365	603,707.23	1,299,381.70	134.49	60.9	91.96	50	1	0.27
183	N 366	602,563.50	1,300,234.33	133.89	63.0	92.98	25	0	0.66
184	N 371	602,716.75	1,299,748.83	142.76	74.6	96.87	200	30	0.96
185	N 373	601,864.16	1,300,047.20	145.85	70.9	97.1	25	-1	1.17
186	N 379	604,073.98	1,298,950.92	137.97	60.3	99.7	50	-2	1.08
187	N 380	602,412.15	1,299,762.08	145.01	75.5	100.55	25	-1	1.12
188	N 381	601,941.31	1,300,049.37	145.14	69.7	101.36	50	-2	0.87
189	N 384	603,442.29	1,299,391.50	130.66	53.4	108.26	25	-1	1.26
190	N 386	603,166.82	1,299,621.65	139.11	58.1	108.94	25	0	0.26
191	N 387	604,119.62	1,298,886.49	137.78	60.9	109.18	25	0	0.44
192	N 388	602,357.94	1,299,900.67	141.92	69.2	112.2	75	3	0.73
193	N 390	601,721.70	1,299,970.61	145.84	65.7	115.87	100	6	0.75
194	N 391	602,470.84	1,299,950.88	142.45	69.1	116.44	200	26	0.83
195	N 392	602,154.57	1,300,188.07	135.79	64.5	119.88	50	2	1.02
196	N 398	601,824.13	1,300,155.94	145.22	68.2	124.97	200	28	0.89
197	N 402	601,890.35	1,300,557.95	136.57	54.4	128.37	50	-1	0.42
198	N 403	603,240.16	1,299,443.11	140.33	70.7	129.7	50	0	0.16
199	N 406	601,354.56	1,299,987.69	124.55	40.0	131.21	25	0	0.81
200	N 414	601,995.89	1,300,191.39	128.16	49.4	132.89	25	0	0.33

201	N 415	602,668.00	1,299,654.67	144	76.4	137.57	50	1	0.69
202	N 416	602,771.06	1,299,600.50	143.66	76.0	143.64	50	1	0.35
203	N 417	604,270.27	1,298,865.83	135.02	65.7	147	200	21	0.66
204	N 422	603,781.53	1,299,137.05	139.5	70.8	150.33	25	0	0.15
205	N 423	604,583.45	1,299,099.09	131.87	65.3	154.73	25	0	0.16
206	N 426	602,926.43	1,299,537.81	143.19	76.3	167.53	200	25	0.81
207	N 1	601,333.81	1,299,204.49	162.86	2.9	181.12	150	18	1.04
208	N 2	601,354.55	1,299,173.22	162.7	2.7	197.71	50	-2	0.77
209	N 4	601,644.56	1,299,153.86	161.38	87.2	198.73	200	25	0.79
210	N 5	601,758.14	1,299,133.60	160.87	86.9	200.58	25	0	0.34
211	N 6	601,717.88	1,299,238.81	159.39	80.1	210.98	100	6	0.71
212	N 7	601,680.78	1,299,314.62	158.28	78.7	215.37	100	-5	0.62
213	N 8	601,675.53	1,299,388.66	157.3	78.7	216.36	50	1	0.70
214	N 9	601,695.78	1,299,429.75	156.7	79.5	15.05	100	0	0.00
215	N 10	601,707.12	1,299,463.01	156.24	80.1	126.31	50	8	4.20
216	N 11	601,743.25	1,299,572.01	154.75	81.4	30.68	250	59	1.19
217	N 12	601,722.84	1,299,681.37	153.3	81.0	37.52	250	59	1.19
218	N 13	601,642.69	1,299,824.00	151.18	76.0	115.36	250	59	1.19
219	N 14	602,531.20	1,299,781.01	144.59	76.3	112.65	200	58	1.86
220	N 15	602,685.67	1,299,968.19	142.16	71.0	84.4	200	58	1.86
221	N 16	602,712.37	1,299,897.88	142.3	73.9	74.23	200	58	1.86
222	N 17	602,747.53	1,299,830.00	142.47	74.4	45.81	200	58	1.86
223	N 18	602,751.36	1,299,810.59	142.53	74.3	35.14	200	58	1.85
224	N - 3	601,533.86	1,299,187.54	161.9	53.8	114.83	200	58	1.85
225	N-14	601,656.32	1,299,875.21	150.5	73.8	111.25	200	58	1.85

## 6.1 CONCLUSIONES

1. Los parámetros hidrológicos del acuífero (permeabilidad y transmisividad) se encuentran en rangos aceptables.
2. El pozo perforado cubre con bombeo directo el 49% de la demanda en consumo máximo día de la población proyectada a 20 años y el 30 % del consumo máximo hora de la población proyectada a 20 años.
3. La Red de Distribución más las tuberías de conducción que en conjunto tiene una longitud total de 3,813.1 metros lineales.
4. Para la selección de la bomba se hizo la prueba de bombeo y se calculó la carga total dinámica, siendo ambos de 192 gpm y 306.7 mts respectivamente.
5. El consumo máximo diario estimado fue de 392.4 gpm y el consumo máximo horario fue de 654 gpm. Usando el tanque de almacenamiento se cubre estas demandas.
6. El agua que será extraída del pozo es de buena calidad ya los parámetros que está dentro del rango físico químico de potabilidad según normas de calidad de agua para consumo humano de la OMS – CAPRE y se le hará aplicación de cloro en una dosis concentración residual libre de 0.1 mg/litro.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda de forma previa al inicio de la operación de los sistemas de agua potable, realizar un entrenamiento riguroso de las personas que sean seleccionadas para trabajar en las labores de operación y mantenimiento del sistema.
2. Realizar aforo puntual al pozo en época de estiaje para determinar la reducción del caudal, con el propósito de asegurar los consumos de agua en este periodo.
3. Se debe de buscar nuevas fuentes alternativas para el abastecimiento total de la población proyectada a 20 años.
4. Se recomienda realizar labores de mantenimiento preventivos periódicamente a la instalación de la estación de bombeo, principalmente a los equipos de bombeo se hacen registros del amperaje que están consumiendo periódicamente.
5. Se recomienda realizar aplicación de pintura anticorrosiva en el interior y exterior en el tanque de almacenamiento de agua al menos una vez cada cinco años, de igual manera, todas las otras partes metálicas deberán ser pintadas con anticorrosivo de alta calidad, con la misma frecuencia señalada.
6. Se deben hacer registros periódicos de caudales y presiones en todo el sistema para garantizar el funcionamiento óptimo de la obra.

## BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Municipal de Nandaime. (2012) “Plan Estratégico de Desarrollo Municipal 2010-2013” Nandaime, Granada, Nicaragua.
- Arguello O., (2008). Revisión y Actualización de la estrategia del sector de agua potable y saneamiento, 2008-2015, Nicaragua/Informe final. Managua, Julio 2008.
- BATU, vedat Aquifer hydraulics. John Wiley y & sons, Inc. USA. 1998.
- Dr. Geol. Miguel Auge. (Noviembre 2005). Perforaciones Hidrogeológicas. Argentina. <http://es.scribd.com/doc/68295999/19/EXTENSION-Y-ESPESOR-DEL-ACUIFERO-PUELCHE>
- Hidrogeólogo Raúl Campillo Urbano. (Octubre, 2010). Parámetro criterios en el diseño y construcción de pozos. Chile. <http://www.aprchile.cl/pdfs/Parametros Parte 3.pdf>
- Ing. Manuel Silvac. (Noviembre, 2002). Capital hídrico y usos del agua. Nicaragua
- J.M de Acevedo Netto y Acosta. (1975). Manual de Hidráulica. Ed. HARLA. Sao Pablo, Brasil.
- Máximo Villon Béjar. (2002). Hidrología. Ed. Villon. Lima, Perú.
- Jhonson Screens. (1975). Agua Subterránea y los pozos. Ed. Jhonson Screens company. Estados Unidos.
- Ministerio de planificación y cooperación (MIDEPLAN). Metodología de proyectos de agua potable. <http://www.ongvinvulos.cl/biblio/nuevaruralidad/Metodologias%20de%20Agua%20Potable%20Rural.pdf>