



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### Trabajo de Pasantía

**Construcción de pozo para la explotación de las aguas subterráneas ejercido en Irrigación y Perforaciones McGregor S.A. Managua 2021**

#### **Autor**

Br. Ronald Alexander Dávila Lumbi

#### **Asesor**

Ing. Elvin Antonio Lagos Pineda  
Ing. Rodrigo Prudente

**Managua, Nicaragua  
Diciembre, 2021**



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### Trabajo de Pasantía

## Construcción de pozo para la explotación de las aguas subterráneas ejercido en Irrigación y Perforaciones McGregor S.A. Managua 2021

### Autor

Br. Ronald Alexander Dávila Lumbi

### Asesor

Ing. Elvin Antonio Lagos Pineda  
Ing. Rodrigo Prudente

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador profesional como requisito final para optar al título de Ingeniero Agrícola

**Managua, Nicaragua**  
**Diciembre, 2021**



## Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

***Ingeniero Agrícola***

---

Miembros del Tribunal Examinador

---

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

Dedico mis logros y el resultado de mis esfuerzos a nuestro señor Jesús por darme la fuerza de voluntad necesaria para vencer todos los obstáculos y críticas que se presentaron durante el periodo de preparación profesional.

A mi persona por tener el carácter y poder de decisión ante las situaciones positivas y negativas por tener siempre claro mis metas y objetivos y por luchar por lo que realmente quiero y anhelo.

A mis padres Guillermo Dávila y Maritza Lumbí por su apoyo incondicional para que pudiese alcanzar mis metas y sueños de culminar la carrera profesional que elegí.

A mis hermanos quienes también tuvieron un rol de apoyo indispensable a lo largo de este proceso de preparación.

**Br. Ronald Alexander Dávila Lumbí.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios Por todas las bendiciones recibidas y permitirme hacer realidad mis sueños y alcanzar mis metas.

A mis padres por su apoyo, confianza, esfuerzo y amor que siempre me motivo a salir adelante.

A la Universidad Nacional Agraria (UNA) por los estudios brindados durante nuestra formación como profesionales.

A mis maestros que en su momento llegaron a ser nuestros amigos lo que nos ayudó a tener la suficiente confianza para indagar más acerca de su módulo y poder captar sus conocimientos.

A mis hermanos y todas aquellas personas que de una u otra manera me han ayudado a superar mis debilidades y me han servido como fuente de motivación para lograr mis metas.

Al Arq. Sergio Sánchez Lang Gerente General de Irrigación y Perforaciones McGregor (IPEMSA). Por haberme aceptado como pasante y así culminar mi carrera.

Al Ing. Rodrigo Prudente encargado del área de ingeniería, ventas y operaciones por compartir su tiempo y conocimiento durante el tiempo de pasantías en Irrigación y Perforaciones McGregor (IPEMSA).

Al Ing. Elvin Lagos por asesorarme y brindarme su conocimiento en todo el proceso de las pasantías.

**Br. Ronald Alexander Dávila Lumbí.**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>SECCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>vi</b>
<b>EXECUTIVE ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objetivo general</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objetivos específicos</b>	<b>3</b>
<b>III. CARACTERIZACIÓN (institución, empresa, proyecto)</b>	<b>4</b>
3.1. Antecedentes de la empresa “Irrigación y perforaciones McGregor, S.A. (IPEMSA).”	4
3.2. Área de trabajo	4
3.3. Misión y visión	4
<b>IV. FUNCIONES EN EL ÁREA DE TRABAJO</b>	<b>5</b>
<b>V. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO</b>	<b>6</b>
5.1. Ubicación del sitio de trabajo	6
5.2. Métodos para la construcción de pozo	8
5.3. Construcción de pozo	16
5.4. Diseño final del pozo	23
5.5. Prueba de bombeo	24
5.6. Características hidráulicas del pozo	31
<b>VI. RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>34</b>
6.1. Pozo Alejandro Zavala	34
6.2. Construcción del pozo	35
6.3. Diseño final del pozo	37
6.4. Prueba de bombeo	38
6.5. Resultados de la prueba de bombeo	41
6.6. Características hidráulicas del pozo	41

<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>VIII. LECCIONES APRENDIDAS</b>	<b>43</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES</b>	<b>44</b>
<b>X. LITERATURA CITADA</b>	<b>45</b>
<b>XI. ANEXOS</b>	<b>47</b>

---

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Características hidráulicas del acuífero Malpaisillo-Sinecapa	7
2.	Datos sobre algunas máquinas de percusión	9
3.	Costes directos de una construcción de pozo	22
4.	Costes directos de una construcción de pozo	22
5.	Coordenadas del pozo	34
6.	Revestimiento del pozo	35
7.	Columna litológica del pozo	38
8.	Resultados de la prueba de bombeo	41
9.	Características hidráulicas	41



## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Cuenca hidrográfica Río San Juan	6
2.	Máquina Perforadora de percusión (o de golpe)	10
3.	Esquema de una máquina perforadora de percusión	12
4.	Trépano	14
5.	Barra de peso	15
6.	Esquema de la sarta de perforación	16
7.	Tubería ranurada	19
8.	Esquema para el filtro de grava	21
9.	Datos del pozo vecino	23
10.	Carta para la prueba de bombeo	26
11.	Sonda eléctrica	28
12.	Medidas de niveles de agua	29
13.	Altura Piezométrica	30
14.	Mapa de ubicación del lugar del pozo	34
15.	Filtro de grava	36
16.	Columna litológica del pozo (Empresas Nacionales)	37
17.	Motor de prueba de bombeo	39
18.	Inicio de la prueba de bombeo	39
19.	Prueba de bombeo en el segundo escalón	40
20.	Clasificación de la transmisividad (Villanueva, 1984)	41

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Prueba de bombeo	47
2.	Diseño final del pozo	50
3.	Tabla para medición de caudales.	52
4.	Otras características constructivas del pozo	53
5.	Pesca para el trepano	53
6.	Llaves para el trepano	53
7.	Bailers y sonda de arena	54
8.	RPM del motor de prueba	54
9.	Supervisión de la prueba de bombeo	54
10.	Desahogo del caudal extraído.	54
11.	Pérdidas por fricción en codos.	55
12.	Pérdidas por fricción en válvula compuerta.	56
13.	Pérdidas por fricción en el medidor de agua.	57
14.	Pérdidas por fricción en tee y válvulas checks.	57
15.	Factor tubería/caudal.	57

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se realizó en la empresa Irrigación y Perforaciones McGregor. S.A. (IPEMSA), en el periodo de enero a julio del año 2021, en el área de operaciones cuyo objetivo principal es la perforación y construcción de pozos y explotación de los recursos hídricos, con el fin de asegurar un servicio completo y eficiente a sus clientes, cuenta con una organización técnica y administrativa que garantiza al usuario una planificación responsable de la construcción de su sistema de abastecimiento de agua, adecuada a las más exigentes normas técnicas vigentes. El trabajo consiste en la construcción de un pozo para la explotación de las aguas subterráneas con el objetivo de abastecer el recurso agua para satisfacer las necesidades del cliente. Se construyó el pozo con un máquina perforadora de percusión, la profundidad de pozo fue de 204 pies con 19 pulgadas de diámetro, con un revestimiento de 15 pulgadas de diámetro y su caudal de explotación fue de 1300 gpm. Las actividades realizadas en el periodo de pasantías representan una experiencia muy enriquecedora en aspectos académicos y de formación profesional debido a que favorecieron al aprendizaje y reforzamiento de conocimientos mediante prácticas donde se aplicaron técnicas aprendidas en la universidad, además esto permitió el desenvolvimiento profesional y laboral: se realizaron actividades como: pruebas de bombeo, diseños en AutoCAD y cálculos de diferentes parámetros para llevar a cabo las diferentes actividades que se ejercieron.

**Palabras claves:** Construcción de pozos, explotación de las aguas subterráneas, máquina perforadora de percusión, abastecimiento de agua.

## EXECUTIVE ABSTRACT

The present work was carried out at the McGregor Irrigation and Perforations Company. S.A. (IPEMSA), in the period from January to July 2021, in the area of operations whose main objective is the drilling and construction of wells and exploitation of water resources, in order to ensure a complete and efficient service to its customers, has a technical and administrative organization that guarantees the user responsible planning for the construction of their water supply system, adapted to the most demanding technical standards in force. The work consists of the construction of a well for the exploitation of groundwater with the aim of supplying the water resource to satisfy the client's needs. The well was built with a percussion drilling machine, the well depth was 204 feet 9 inches in diameter, with a 15-inch diameter casing, and its exploitation flow was 1,300 gpm. The activities carried out in the internship period represent a very enriching experience in academic and professional training aspects because they favored the learning and reinforcement of knowledge through practices where techniques learned at the university were applied, in addition this allowed professional and work development: Activities such as: pumping tests, AutoCAD designs and calculations of different parameters were carried out to carry out the different activities that were carried out.

**Keywords:** Well construction, groundwater exploitation, percussion drilling machine, water supply.

## I. INTRODUCCIÓN

El periodo de pasantías dio inicio cuando se aceptó la carta por la empresa privada Irrigación y perforaciones McGregor, S.A. (IPEMSA) Luego la vice decanatura abrió el expediente de egresado con la documentación correspondiente la cual fue comunicada por la secretaria de la Facultad de FAGRO la inscripción de la forma de culminación de estudios en este caso pasantías (Capítulo V: De la organización de las Pasantías como Formas de culminación de Estudios, Artículos 184 al 197 del Reglamento del Régimen Académico Estudiantil).

La empresa Irrigación y Perforaciones McGregor, S.A. (IPEMSA), ha trabajado continuamente desde el año 1961, en el ramo de la construcción e instalación de sistemas de abastecimiento de agua, principalmente por medio de pozos perforados. En agosto del presente año cumplimos SESENTA (60) AÑOS de estar trabajando en la construcción de sistemas de abastecimiento confiable de agua para el mercado nacional e internacional.

En la actualidad IPEMSA participa hasta en un 70% en la perforación de pozos e instalación de equipos destinados a la explotación de aguas subterráneas en Nicaragua. Además, ha participado en la ejecución de proyectos de esta misma índole en Centroamérica, principalmente en Costa Rica y Honduras.

Un pozo es un agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, sea una reserva de agua subterránea del nivel freático o fluidos como el petróleo (Ordoñez, 2011)

El objetivo de la perforación es construir un pozo útil: un conducto desde el yacimiento hasta la superficie, que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible (Torres., *et al* 2020)

La realización de pruebas de bombeo lleva como fin determinar las características hidráulicas de los acuíferos. Y consiste en observar los efectos (abatimiento) provocados por el bombeo en los niveles piezométricos de un acuífero. Los abatimientos pueden ser observado en el mismo pozo de bombeo, o bien, en pozos de observación próximos a él (Ortiz, 2005)

El agua subterránea es un recurso muy extendido, pero oculto e inaccesible (Notas Informativas 1 y 2) y en contraste con el agua superficial, los cambios en su cantidad y calidad frecuentemente son procesos muy lentos que ocurren debajo de la tierra en grandes extensiones. Puesto que no

es posible determinar estos cambios simplemente con un único recorrido breve de campo, es necesario utilizar redes de monitoreo e interpretar los datos obtenidos. El monitoreo de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de calidad son básicos para lograr una gestión eficaz del agua subterránea y cumplir con la principal meta de gestión, o sea, controlar los impactos de la extracción del agua subterránea y de las cargas de contaminantes (Tuinhof, et al., 2006)

Se realizaron en la empresa IPEMSA, siendo una de las principales actividades laborales la digitalización de prueba de bombeo en campo presentando a la organización una hoja con los resultados obtenidos en la prueba.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Construcción de pozo aplicando las normas técnicas para la explotación de las aguas subterráneas ejercido por Irrigación y Perforaciones McGregor S.A.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Operar el equipo de perforación y sus herramientas en la construcción de pozos artesianos.
- Realizar el diseño del pozo de acuerdo a su perfil litológico.
- Evaluar el potencial de explotación del pozo mediante las pruebas de bombeo.

### **III. CARACTERIZACIÓN (institución, empresa, proyecto)**

#### **3.1. Antecedentes de la empresa “Irrigación y perforaciones McGregor, S.A. (IPEMSA).”**

IPEMSA a lo largo de estos SESENTA (60) AÑOS ha contribuido al desarrollo de la producción nacional, tanto en la parte agrícola como en la industria, así mismo para el abastecimiento de agua para consumo humano. Siendo la empresa pionera y la única en Nicaragua que cuenta con la experiencia y la calidad que hemos desarrollado a lo largo de estos años. Desde su fundación, IPEMSA ha perforado más de 8,000 pozos para todo uso. Se han perforado pozos con profundidades de 600 metros (2,000 pies) y en cuanto a diámetro, IPEMSA está en capacidad de perforar hasta las 30" (760 milímetros).

#### **3.2. Área de trabajo**

Ingeniería, Ventas y Operaciones son aéreas de trabajo en el cual hay un gran desempeño del ámbito laboral; logístico y operacional, IPEMSA como tal realiza un sin número de actividades el cual como primera instancia da a conocer de forma general los servicios que ofrece, el área de Ingeniería busca soluciones óptimas para llevar a cabo inconsistencias que se presenten en un dado momento de cualquiera de las obras que se esté realizando, Ventas es área por medio el cual en un determinado tiempo se recibe a los clientes por busca de información por los servicios que ofrecemos como IPEMSA, de igual manera se le entrega al cliente ofertas o proformas según lo que soliciten, Operaciones o trabajo de campo ejecutado en “x” proyecto, es el proceso por medio el cual se están realizando obras o actividades según el perfil de la empresa mencionándose a continuación: Perforación de pozo, Mantenimiento de pozo, Desinstalación de equipos de bombeos e instalación de los mismos, Pruebas de Bombeos, Instalación de Sartas de Descarga, Instalaciones de Paneles eléctricos etc.

#### **3.3. Misión y visión**

Proveer soluciones tecnológicas integrales y confiables que mejoren la eficiencia y la rentabilidad de nuestros clientes.

##### **Nuestros valores**

**Confiability:** Cumplimos lo prometido, seguros de nuestra calidad.

**Excelencia:** Tenemos el hábito de lograr grandes cosas, siendo excepcionales en los detalles.

**Sostenibilidad:** Excelencia ahora y siempre.



#### **IV. FUNCIONES EN EL ÁREA DE TRABAJO**

**Área de Ingeniería:** En esta área me desempeñe como asistente, realizando cálculos de cargas total dinámicas para equipos de bombeos y selección de los mismos, proponiendo diseños preliminares y finales para pozos según estratigrafía del área donde se construyó el pozo.

**Área de Ventas:** En esta área me desempeñe como asistente, efectuando ofertas de trabajos según lo solicitado por el cliente.

**Área de Operaciones:** En esta área me desempeñe como asistente, supervisando instalaciones de equipos de bombeos, tomando nota de resultados de pruebas de bombeos realizadas en campos, supervisando instalaciones de sartas de descarga.

## V. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO

### 5.1. Ubicación del sitio de trabajo

Se indicó el sitio de perforación respecto a la unidad hidrográfica (cuenca) y acuífero. Se incluyó mapa de la ubicación del sitio de perforación a través de sus coordenadas geográficas latitud norte y longitud este y la elevación (msnm), del sitio (en este caso de aguas subterráneas) y las coordenadas deben ser en UTM WGS-84.

#### Cuenca

El lugar donde se construyó el pozo se encuentra ubicado en la cuenca Río San Juan. Según IICA (sf). La cuenca del río San Juan es la segunda más grande de Centroamérica, solo superada por la del río Usumacinta.

La cuenca Río San Juan Tiene una extensión de 38 569 kilómetros cuadrados. De ellos, 24,569 pertenecen a Nicaragua y 14,000 a Costa Rica. Incluye tres subsistemas hidrológicos: el Lago de Managua (1,026 kilómetros cuadrados), el Lago de Nicaragua (8,000 kilómetros cuadrados), que es el segundo más grande de Centro y Sudamérica, y la cuenca del San Juan, propiamente (10,937 kilómetros cuadrados). El río tiene una extensión de 205 kilómetros y, en buena parte de su recorrido, constituye el límite político entre Nicaragua y Costa Rica.

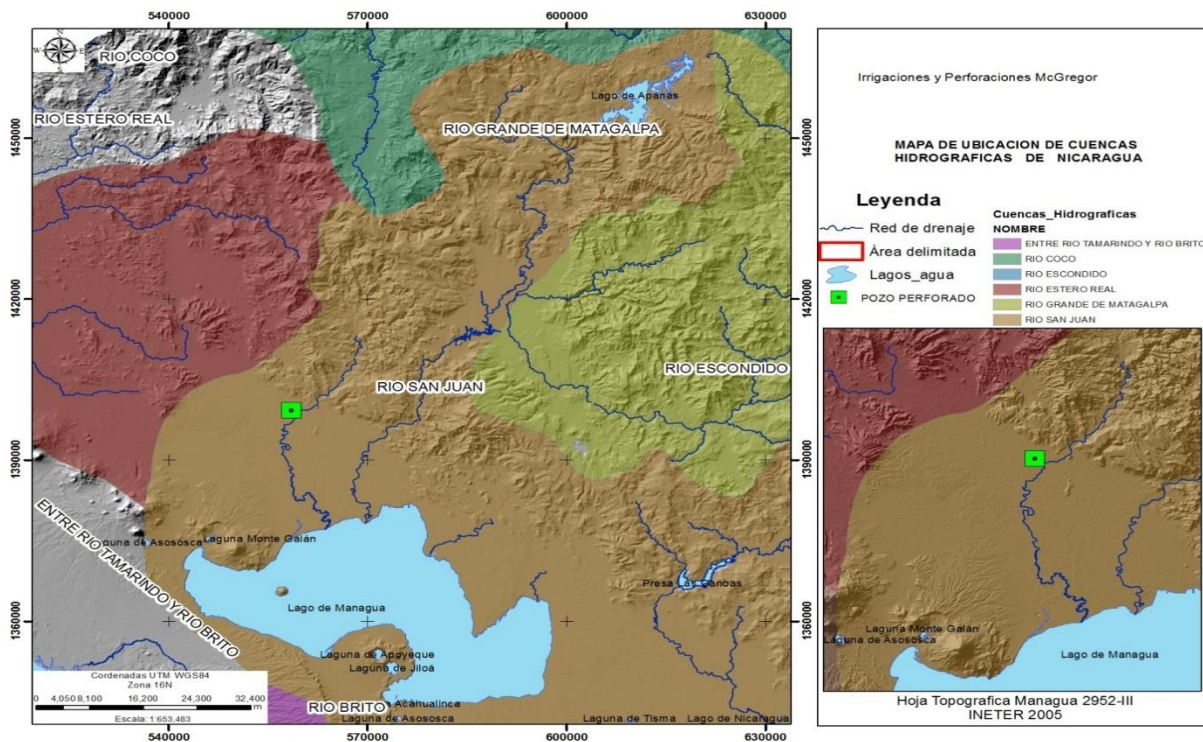


Figura 1. Cuenca hidrográfica Río San Juan.

## Acuífero

### ➤ Sub cuenca de los llanos del noroeste. Acuífero Malpaisillo-Sinecapa.

Está situada en la orilla Norte del Lago de Managua y comprende toda la zona que se extiende entre la Cordillera de Los Marabios y las Tierras Altas del Interior, cubriendo una superficie de cerca de 800 Km<sup>2</sup>.

El acuífero está constituido por depósitos aluviales y volcánicos de edad desde el Plioceno hasta el Reciente, mezclados con sedimentos coluviales procedentes de las alturas circundantes. Tratase principalmente de tobas, cenizas, arenas, arcilla y limo.

Desde el punto de vista hidrogeológico, toda la serie de terrenos de relleno constituye un acuífero continuo de mediana permeabilidad, en condiciones generalmente freáticas o ligeramente semiartesianas en correspondencia de zonas donde hay la presencia de estratos más arcillosos que pueden actuar como estratos confinantes.

El nivel del agua, se localiza a profundidades variables entre 25 y 50 metros de la superficie en los bordes de la llanura y disminuye hasta valores de 5-10 metros en la parte central de la cuenca. Según los estudios más recientes (Fenzl, 1989), los valores de la Transmisividad varían entre 80-550 m<sup>2</sup>/d al occidente del Río Sinecapa y 1200-2200 m<sup>2</sup>/d al Oriente del mismo. Unas pruebas de bombeo efectuadas en los pozos INAA del acueducto de Malpaisillo (zona occidental del Río Sinecapa), indican valores de la Transmisibilidad de cerca de 300 m<sup>2</sup>/d.

Cuadro 1. Características hidráulicas del acuífero Malpaisillo-Sinecapa.

Acuífero	Área (km <sup>2</sup> )	Rangos NEA (m)	Espesor de acuífero (m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Coefficiente de almacenamiento
Malpaisillo	1072	37-85	0-350	250-1000	0,05-0.10

km<sup>2</sup>: Kilómetros cuadrado; m<sup>2</sup>: metros cuadrados; m: metros.

## **5.2. Métodos para la construcción de pozo**

Los métodos para la construcción de pozos se pueden clasificar en tres tipos: método rotativo con martillo al fondo, método rotario hidráulico y método de percusión (Enacal, 1999)

El método que se utilizó para este trabajo fue el método o sistema de percusión.

### **Ventajas del sistema de percusión**

- Bajo costo inicial del equipo y por consiguiente el precio disminuye.
- Bajo costo de operación debido al empleo mínimo de personal.
- Mejor y más seguro muestreo del pozo durante la perforación.
- Determinación precisa de los niveles freáticos y piezométricos, así como el cambio de las formaciones.
- Mayor avance efectivo de la perforación en las formaciones compactas.
- Más maniobrabilidad.

### **Sistema de percusión**

El sistema de percusión a cable se basa en la fracturación de las rocas que se quieren perforar mediante la caída libre de una herramienta pesada (trépano) y la extracción del detritus resultante por medio de válvulas o cucharas de distintos diseños. Para la estabilización de las paredes del pozo, cuando el material no es coherente, se utilizan sucesivos revestimientos (entubaciones) (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

A lo largo de la Historia el método de percusión para la captación de aguas subterráneas fue perfeccionándose hasta conseguir las sondas modernas construidas en acero y con la fuerza proporcionada por motores de combustión interna (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

La sonda de percusión moderna es, por lo tanto, un conjunto de mecanismos que distribuyendo la fuerza de su grupo motriz consigue los siguientes movimientos principales:

- Ciclo de elevación y caída libre de la sarta de perforación cuya composición veremos más adelante.
- Elevación y descensos continuos de esta misma sarta de herramientas.
- Elevación y descenso de la válvula o cuchara que extrae los detritos.
- Elevación y descenso del gancho de grúa con objeto de manejar las tuberías de revestimiento y otras maniobras auxiliares.

La máquina perforadora de percusión esta accionada a la fuerza de gravedad que rompe y penetra las formaciones a golpes. Los detritos son acarreados al exterior por medios mecánicos (Guzman., *et al.* 1984)

Las profundidades y diámetros que se proyectan realizar con una máquina de percusión condicionaran el peso de la herramienta y la velocidad en su accionamiento y por tanto el dimensionamiento de los mecanismos y de la potencia de su motor (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

Además de su robustez los mecanismos de estas máquinas (engranajes, frenos de cinta, poleas, transmisiones de correas, neumáticas, embragues, etc...) deben de ser sencillos y con un fácil mantenimiento y reparación en caso de avería (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

Cuadro 2. Datos sobre algunas máquinas de percusión.

<b>MAQUINA</b>	<b>POTENCIA MOTOR R (cv)</b>	<b>DIAMETRO CABLE (mm)</b>	<b>PESO TREPANO (kg)</b>	<b>ALTURA TORRE (m)</b>	<b>TIRO GRUA</b>	<b>CAPACIDAD D m/mm</b>
SS 72	85	22	2.000	14	20.000	300/450
SS 81	140	26	3.500	14	25.000	500/500
SP 800	150	28	4.000	15,6	75.000	700/800
SP 600	83	22	2.500	15,5	22.000	600/600

Cv: caballos de vapor; mm: milímetros; k: kilogramos; m: metros,



Figura 2. Máquina Perforadora de percusión (o de golpe).

En la perforación de un pozo son tres las operaciones esenciales que se ejecutan:

- Hacer el orificio.
- Extraer los materiales triturados.
- Introducir las tuberías.

En el caso de las máquinas de percusión, ellas cuentan con un mecanismo independiente para cada uno de estos trabajos, accionados todos por una fuente común de energía (Guzman., *et al.* 1984)

La estructura principal de la máquina de perforación de percusión, está compuesta por las siguientes partes fundamentales: mástil, línea de elevación, sistema de percusión y unidad de potencia (Guzman., *et al.* 1984)

**Mástil:** Está formado por tirantes de refuerzos, generalmente telescópicos que le permiten al mástil deformaciones y facilitan la transportación del equipo. En la sección superior lleva acoplado un juego de polea para líneas de elevación y un amortiguador que posee cojinetes de goma para amortiguar los golpes y vibraciones durante el proceso de perforación.

**Línea de elevación:** Está formada por tres cables de acero que se utilizan durante el proceso de los trabajos. Una de las líneas se emplea para las operaciones de perforación, la otra para la del cuchareo (que son las de sacar los detritos) y la última para el manejo de las tuberías.

El cable de perforación está enrollado en sentido izquierdo, de modo que las herramientas que son de rosca derecha, permanezcan fijas o tiendan a estabilizarse durante la operación de golpeo.

**Sistema de percusión:** consiste esencialmente en un balancín y una biela, conocida con el nombre de biela de Pitman que une el balancín con el engranaje central de la máquina.

En el extremo del balancín se adapta una polea para el cable que acciona la llamada sarta de perforación. La biela tiene otras dos posiciones que permiten regular la carrera del balancín, produciéndole diferentes golpes a medida que la carrera o brazo sea mayor, es decir, mayor carrera mayor intensidad de golpe y viceversa.

En un cierto momento, el balancín comenzará a hacer descender el cable aunque el trépano, debido a su energía cinética, seguirá ascendiendo hasta anular la tensión del cable. En este momento el cable alcanzará el mínimo de tensión y el trepano comenzará a descender alcanzando al movimiento del cable. Por tanto la altura de caída del trépano es ligeramente superior a la correspondiente a la amplitud del movimiento del balancín que se habrá fijado de antemano en la manivela (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

Este movimiento de percusión es complejo porque en el mismo también influyen la viscosidad del lodo, la forma de la herramienta, el rozamiento de las paredes, etc... Pero fundamentalmente está regulado por los siguientes factores:

- Amplitud del movimiento del balancín.
- Su velocidad (número de golpes por minuto).
- La elasticidad del cable (absoluta según su longitud desarrollada).
- Peso y forma de la herramienta.

El movimiento que hemos descrito se produce en un espacio de tiempo muy corto y al destruir en cada golpe una determinada parte de la formación rocosa que se perfora, habrá que ir aumentando paulatinamente la longitud del cable para lograr que la herramienta siga golpeando en el frente de avance (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

**Unidad de potencia:** Consiste en un motor de combustión interna, preferentemente del tipo Diésel, por ser el más económico y duradero.

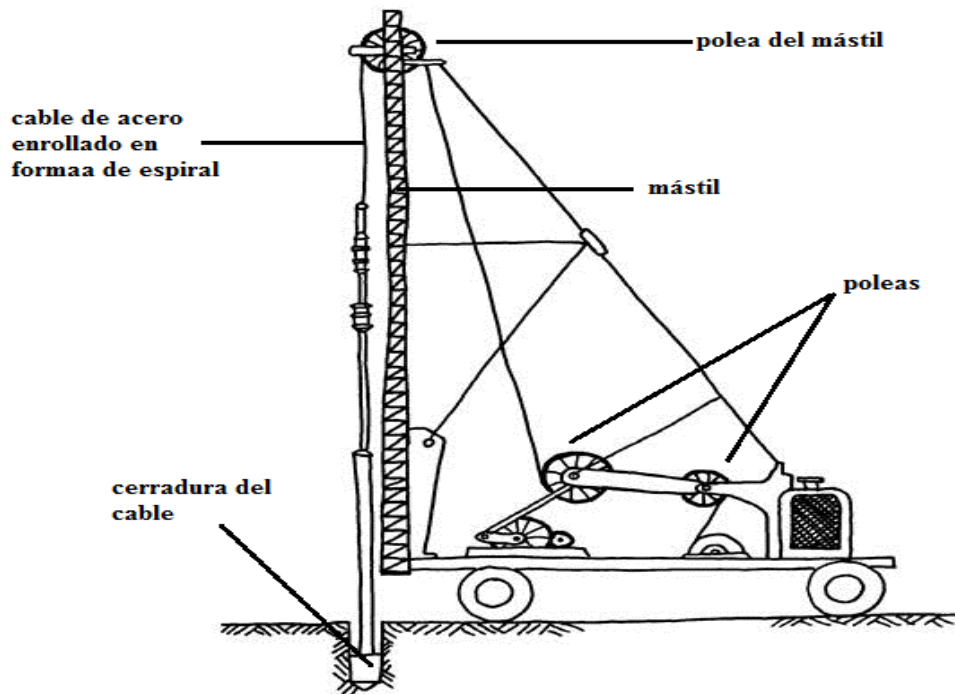


Figura 3. Esquema de una máquina perforadora de percusión.

### Herramientas de perforación

La más importante es la sarta de perforación, pues las demás se pueden considerar auxiliares o accesorias. Una sarta completa a partir de abajo hacia arriba, se compone de las siguientes partes: el trépano o barrena, la barra de peso, un juego de tijeras, y el porta cable (Guzman., *et al.* 1984)

**Trépano:** Es la parte más importante de la sarta, ya que es ella la que ejecuta el trabajo de corte y penetración, ósea, la perforación de pozo.

Una de las funciones fundamentales del trépano es realizar una mezcla homogénea del detritus de perforación y del agua con el objeto de permitir su extracción con la cuchara.

El tiempo de accionamiento de la cuchara es improductivo desde el punto de vista del avance de la perforación que, junto con la seguridad, debe de ser la prioridad del sondista y que lo debe de economizar al máximo (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)



Para ello el sondista debe de seguir las siguientes pautas:

- No debe de detenerse el movimiento de percusión mientras que la válvula no esté lista para funcionar.
- La válvula debe de tener la capacidad volumétrica suficiente para limpiar el sondeo en 3 a 4 cargas y sus cabrestantes de accionamiento deben de ser rápidos con el objeto de realizar esta operación en el menos tiempo posible.
- Si el sondeo no tiene todavía agua conviene aclarar el lodo unos minutos antes de detener la perforación con el objeto de aumentar la carga de la válvula.

Los factores más importantes que influyen en el arreglo y método de afilar un trépano son los siguientes: ángulo de luz, ángulo de penetración, superficie de desagüe, filo rectificador superficie de trituración, canal de evacuación, y perfil del ángulo de penetración.

- **Ángulo de luz:** Es el formado por la superficie de desagüe y una línea imaginaria normal al trépano, levantada desde el filo rectificador.
- **Ángulo de penetración:** Está formado por las capas del filo central en las puntas del trépano, es decir, son los biseles que forman el hilo y que sirven para penetrar y romper los materiales en el fondo de la perforación.
- **Superficie de desagüe:** Se encuentra situada en ambos lados del trépano, comienza con una línea o filo de rectificación que sube desde 1 hasta 1,5 in de altura.
- **Filo rectificador:** Es el borde exterior del extremo del trépano, y la medida corresponde a una parte de la circunferencia total.
- **Superficie de trituración:** Se puede denominar como la cara del extremo del trépano.
- **Canal de evacuación:** Es la parte de perforación que no está ocupada por el trépano y a través el cual se escurren aguas o el barro con el producto de la trituración.
- **Perfil del ángulo de penetración:** Puede ser recto o cóncavo, las variaciones se miden por los diferentes ángulos que forman los filos en respecto a una línea imaginaria que une a los extremos.



Figura 4. Trépano.

**Barra de peso:** Es la herramienta que según dijimos le sigue a la barrena en orden de abajo hacia arriba en la sarta. Consiste en una pieza cilíndrica de alta calidad, con rosca macho en la parte superior y rosca hembra en la inferior.

Esta herramienta tiene dos funciones: la primera, proporcionar el peso necesario para la perforación y la segunda, servir de guía al conjunto de herramientas de perforación en su movimiento ascendente y descendente, y conservar la verticalidad del orificio. Esta pieza debe colocarse debajo de las tijeras cuando se está perforando, al descargarla de la máquina tener mucho cuidado para no dejarla caer, pues una leve torcedura o joroba puede producir graves consecuencias.



Figura 5. Barra de peso.

**Tijeras:** Esta herramienta consiste esencialmente en dos eslabones que tienen en su extremo superior una rosca macho y en el inferior una rosca hembra. La posición de las tijeras en la sarta también varía, cuando se está perforando van encima de la barra de peso y cuando se está pescando objetos caídos, estas se ponen debajo de la barra de peso para que el peso de este le dé un fuerte impacto al eslabón de abajo de las tijeras y suelte la pieza trabada.

Algunos perforadores suprimen el uso de las tijeras por no considerarlas necesarias durante la perforación.

**Porta cable:** Es la pieza que une la sarta de herramientas con el cable de perforación, consta de dos piezas: una de forma cilíndrica en que se aloja y fija el cable de perforación, que por anglicismo se le llama mandril, y la otra que se llama socket o porta cable.

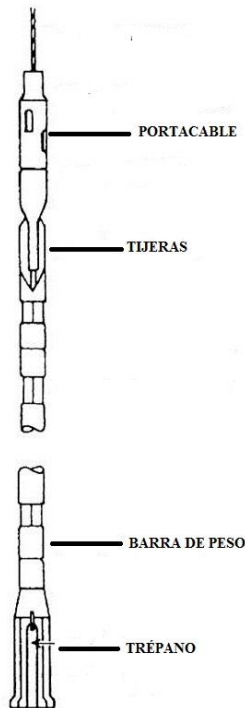


Figura 6. Esquema de la sarta de perforación.

### 5.3. Construcción de pozo

Un pozo es una obra de ingeniería y, como tal debe proyectarse, calcularse y ejecutarse de acuerdo a ciertas técnicas establecidas, que toman en consideración los siguientes factores: condiciones geológicas locales, profundidad probable y gastos requeridos (Enacal, 1999)

Los acuíferos pueden estar formados por rocas consolidadas o materiales sueltos (arenas y gravas no consolidadas) la diferencia en la naturaleza de estos dos tipos de acuífero caracterizará el diseño y la construcción del pozo que penetran, total o parcialmente, el espesor saturado de uno u otro tipo de formación (Enacal, 1999)

#### **Diámetro del agujero**

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:

- El ademe debe de ser lo suficientemente amplio para que permita acomodar la bomba con la tolerancia adecuada para su instalación y eficiente funcionamiento.

- 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 (Hernández, 2017)

### **Profundidad del pozo**

La profundidad que se espera dar 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: (Hernández, 2017)

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

- **Ademe provisional**

Cuando se hace una perforación en una formación rocosa consolidada, sus paredes se mantienen estables sin necesidad de utilizar una camisa o ademe provisional para que no se derrumbe.

Sin embargo, las paredes de la perforación hechas en materiales no consolidados, no se mantienen estables, en estos casos es necesario que se coloque una camisa o un ademe provisional que las soporten y prevengan su colapso o derrumbe. Este ademe provisional puede colocarse desde la superficie del terreno hasta la parte superior del acuífero (Enacal, 1999)

- **Toma de muestras**

Durante la perforación se expondrán muestras de materiales rocosos atravesados a intervalos regulares de cinco pies. O cuando la acción del trepano indique un cambio de formación geológica (Enacal, 1999)

La forma de efectuar el muestreo son las siguientes:

- Después de tomar cada muestra se hará una limpieza del pozo, el trépano se levantará un pie del fondo del agujero y se hará girar lentamente mientras se mantendrá el volumen de circulación de la inyección al máximo.

- Una vez completada la operación de limpieza se reanuda la perforación por otros cinco pies. Los recortes de terreno depositados en la cercanía del pozo, así como a lo largo de la canaleta se juntarán y se combinarán para obtener una muestra lo más representativa posible de la formación rocosa atravesada.
- Después de tomar la muestra respectiva del tramo perforado, se procederá a la limpieza del pozo de la misma forma que se indicó antes. Todo este proceso se repetirá cuando se encuentre un cambio de formación o cada cinco pies se hará. Tantas veces sea necesario, hasta alcanzar la profundidad programada para el pozo.

### **Revestimiento**

La tubería del pozo debe de ser capaz de resistir la presión provocada por los empujes laterales del terreno y la presión hidrostática de los acuíferos existentes, esto por posibles diferencias de nivel de agua entre el interior y exterior del pozo. La construcción de estas tuberías está 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 (Hernández, 2017)

El objetivo de un diseño, es la elección de una tubería de revestimiento con cierto grado, peso, junta que resista las fuerzas a que estará sometida y con menor costo posible (Gómez, 2017)

La importancia de la optimización del diseño tiene la intención de seleccionar la tubería de revestimiento menos costosa y que garantice la integridad del pozo es porque representa aproximadamente el 18% del costo total del pozo. Sus funciones de revestimiento: (Gómez, 2017)

- Evitar derrumbes y concavidades.
- Prevenir contaminación de acuíferos.
- Proporcionar soporte a la instalación de equipo de control superficial.
- Facilitar la instalación del equipo de terminación.

Las tuberías que se utilizan para habilitar los pozos son de PVC o acero inoxidable, 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, tecnología medio ambiental y del agua, entre otros) (Hernández, 2017)



Figura 7. Tubería ranurada.

### **Filtro de grava**

En el espacio anular que queda, entre la pared del pozo y su revestimiento, se coloca un empaque de grava fluvial (cantos rodados) 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 (Hernández, 2017)

Los materiales para filtro deberán estar limpios y contener granos bien redondeados que sean lisos y uniformes, esta característica aumenta la permeabilidad y porosidad del material del filtro. Una menor separación hidráulica de las partículas tiene lugar en un material uniforme cuando se coloca o se deja asentar a una profundidad considerable dentro del agua (Hernández, 2017)

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 sea, se puede controlar con un filtro construido por grava graduada, con partículas limitadas entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$ '' de diámetro (Hernández, 2017)

El volumen de grava a utilizar se calcula de la siguiente forma:

➤ **Área del agujero**

$$Aa = \frac{\pi d^2}{4}$$

**Donde**

**Aa** = Área del agujero.

**d** = Diámetro del agujero.

➤ **Área del revestimiento**

$$Ar = \frac{\pi d^2}{4}$$

**Donde**

**Ar** = Área del revestimiento.

**d** = Diámetro del revestimiento.

➤ **Área a utilizar**

$$A = Aa - Ar$$

**Donde**

**A** = Área a utilizar.

**Aa** = Área del agujero.

**Ar** = Área del revestimiento.

➤ **Volumen a utilizar.**

$$V = A * H$$

**Donde**

**V** = Volumen.

**A** = Área.

**H** = Altura para el filtro



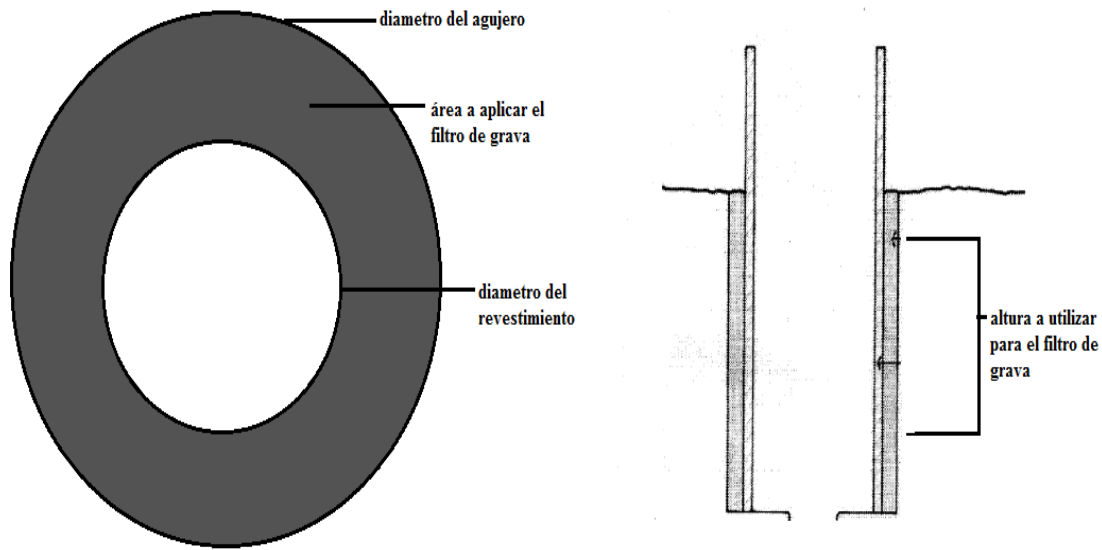


Figura 8. Esquema para el filtro de grava.

### Sello sanitario

Finalmente, durante el funcionamiento del pozo también será necesario adoptar las medidas correspondientes para evitar la entrada de aguas contaminadas, para ello se instala una protección superior que consiste en: (Hernández, 2017)

- 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 del pozo,

El sello sanitario descansará sobre el empaque de grava, si este hubiese sido colocado o bien sobre la rosca fresca, la longitud del sello a medida de la superficie del terreno será de 10-20 pies (Enacal, 1999)

### Limpieza y desarrollo

Después de finalizado la colocación de la tubería de revestimiento se realiza un pistoneo interno con émbolos durante ocho (8) horas.

Ese proceso consiste en un conjunto de operaciones realizadas una vez colocada la tubería ranurada, destinadas a extraer los residuos de la perforación (lodos); logrando un arreglo y mejoramiento en la granulometría; a aumentar la permeabilidad del acuífero hasta llegar al nivel que tenía previo a la perforación y que se ve reducida por la perforación misma al compactar las paredes del pozo y al extraer la presencia de lodos que recubren las paredes de este; y finalmente, a prolongar la vida útil del pozo (Hernández, 2017)

### **Base de concreto**

Finalmente, sobre la superficie del terreno se construye una base de concreto de dimensiones 3\*3\*3 pies, para soportar el peso del equipo de bombeo que se instalara.

### **Consideraciones económicas**

El coste horario de una sonda de percusión a cable funcionando se puede descomponer en varios capítulos, capítulos que se pueden expresar en un porcentaje de repercusión sobre el total, es decir se puede realizar una estructura del coste de operación (Blog de contenidos hidrogeológicos, 2017)

Los costes de operación varían en función del tamaño de la máquina, de la dotación de personal, precio de los consumibles, etc... por lo que las cifras que se van a dar son muy aproximadas:

Cuadro 3. Costes directos de una construcción de pozo.

<b>COSTES DIRECTOS</b>	<b>%</b>
Mano de obra	60 - 70
Combustible	6 - 8
Lubricantes	0,5 - 1
Mantenimiento de herramientas	0,5 - 1
Consumo de cables	4 - 5

Cuadro 4. Costes directos de una construcción de pozo.

<b>COSTES INDIRECTOS</b>	<b>%</b>
Amortizaciones	8 - 10
Reparaciones	5 - 6
Gastos de vehículos auxiliares	4 - 5
Gastos generales	10 - 12

## 5.4. Diseño final del pozo

### Columna litológica

Durante el proceso de explotación de las aguas subterráneas una de las obras que se realiza es la perforación de pozos donde se suele adquirir información acerca de las características de las formaciones que se van atravesando. La estratigrafía es la rama de la geología que se encarga del análisis y estudio de las rocas que van surgiendo en las perforaciones. Una de las áreas que estudia la estratigrafía es la lito-estratigrafía, la cual caracteriza la litología de las diferentes sucesiones estratigráficas. Durante la perforación de un pozo se obtiene la información geológica correspondiente a este, que no es más que una grabación contra profundidad de los minerales y sus características a partir de técnicas y herramientas de medición (Gonzales., *et al*, 2003)

Una columna estratigráfica (columna litológica, perfil litológico) es una representación utilizada en geología específicamente en la rama de la estratigrafía para representar y describir la ubicación vertical de las rocas en un área determinada, que no es más que la estratigrafía generalizada de un sector.

La columna litológica consiste en una secuencia alternada de rocas sedimentarias. Con el estudio sísmico y los datos geológicos obtenidos de los pozos vecinos perforados, se correlaciona y se obtiene la columna geológica que se espera atravesar en la intervención del pozo a perforar.

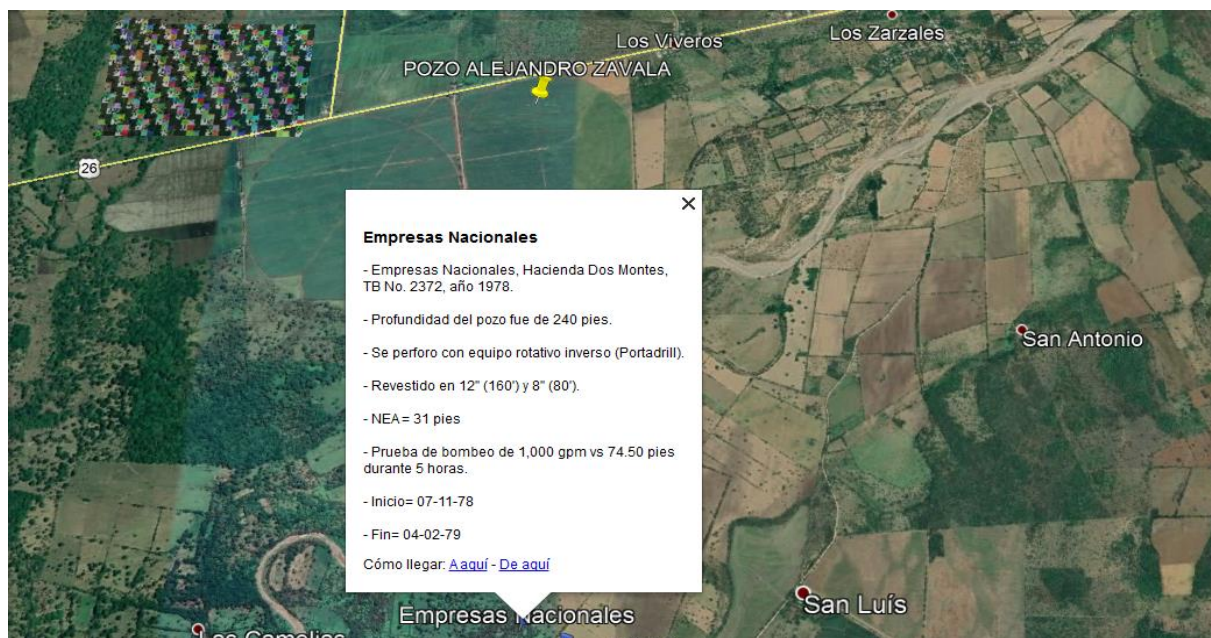


Figura 9. Datos del pozo vecino.

## **5.5. Prueba de bombeo**

La realización de pruebas de bombeo lleva como fin determinar las características hidráulicas de los acuíferos. Y consiste en observar los efectos (abatimiento) provocados por el bombeo en los niveles piezométricos de un acuífero. Los abatimientos pueden ser observado en el mismo pozo de bombeo, o bien, en pozos de observación próximos a él (Ortiz, 2005)

Consiste en bombear un pozo que esté perforado en el acuífero que se desea estudiar, durante un cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel dinámico. El pozo debe bombearse a un caudal constante al menos hasta que se observe una tendencia a una línea recta en una gráfica de nivel de agua contra logaritmo de tiempo lo cual significa que una vez el nivel de abatimiento sea constante en un lapso de tiempo, la prueba de bombeo habrá culminado

### **Una prueba de bombeo tiene dos objetivos principales:**

- El primero es determinar las características hidráulicas de los acuíferos como son permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Este tipo de pruebas estudian al acuífero mismo y al pozo, más no a la bomba, son llamadas también pruebas de acuífero. Cuando se planifican y llevan a cabo correctamente estas pueden proporcionar información básica para la solución de problemas locales y aún regionales sobre el flujo del agua subterránea (Grupo Recursos Hídricos, 2019)
- El segundo objetivo es proporcionar los datos necesarios para determinar la capacidad específica, la relación caudal-abatimiento, observar los niveles de recuperación del pozo después del cese de bombeo, con el objetivo de seleccionar el equipo de bombeo adecuado (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

Para dar inicio a la prueba de bombeo, se requiere que el pozo haya estado entre 12 y 24 horas de reposo o sin bombeo. El sistema o equipo de bombeo debe ser seleccionado lo más próximo posible al caudal requerido a extraer del pozo o aljibe. Sin embargo, en muchas ocasiones, se cuenta solo con el equipo de bombeo que se encuentra instalado dentro del pozo. En caso de que se requiera estimar el nivel de bombeo para caudales mayores al registrado en la prueba, este se puede determinar por medio de la capacidad específica disminuida en un porcentaje apreciable, que se calcula de acuerdo con las características de la zona acuífera (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

Se deben tomar datos de (Tiempo Vs Niveles de bombeo), donde inicialmente se debe registrar el nivel estático y a continuación se registran los niveles medidos en los periodos de tiempo definidos en el formato Prueba de bombeo donde se podrá observar que al inicio de la prueba los niveles de agua en el pozo bajan rápidamente, luego su descenso se va haciendo lento y por ultimo trata de estabilizarse, por este motivo, al iniciar el bombeo, las medidas se deben hacer en cortos intervalos de tiempo, luego se van espaciando en la medida en que avance la prueba. El tiempo de bombeo está condicionado a los niveles dentro del pozo, una vez se estabilicen con el sistema acuífero de la zona captada y paralelamente se deben registrar datos de caudal (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

**Las pruebas de bombeo pueden dividirse en:**

**Prueba de larga duración a caudal constante:**

Una prueba de bombeo esencialmente en el bombeo de agua desde un pozo, normalmente a caudal constante y la medición de cambios en los niveles de agua (descensos) en el mismo pozo y en los puntos de observación, o sectores de afloramiento o cauce superficial de flujo de agua. Asimismo, esta prueba mide los cambios en el nivel de agua y flujos luego de que el bombeo finaliza, esta información servirá para verificar los resultados del bombeo. Esta prueba tiende a tener una duración de 72 horas (Torres., *et al*, 2006)

**Prueba escalonada - variación del caudal:**

Es una prueba que permite estimar el rendimiento del pozo, este tipo de ensayo nos permite determinar entre otras cosas: el caudal de explotación del pozo, ecuación del pozo, curva característica del pozo y eficiencia del pozo (Torres., *et al*, 2006)

Esta prueba debe realizarse antes de la prueba de larga duración, ya que permite estimar el caudal constante con que será bombeado el pozo durante 72 horas.

Para realizar esta prueba se requiere referir todos los abatimientos o descensos a un mismo tiempo de bombeo, por ejemplo, de 1 hora. Los caudales de los sucesivos escalones no deben ser excesivamente próximos, por ejemplo, los caudales deben ser crecientes. Ejemplo, sí  $Q_1 = 10$  gpm,  $Q_2 = 20$  gpm,  $Q_3 = 40$  gpm,  $Q_4 = 80$  gpm. La distribución de los caudales en progresión geométrica es una buena norma, conviene establecerlos de forma que el último escalón quede

alrededor del caudal de explotación del pozo o preferiblemente algo por encima (Torres., *et al*, 2006)

### Registros de datos

Los datos se deben anotar en una hoja de reporte llamada formato Prueba de bombeo.

Las pruebas de bombeo se pueden programar a caudal constante, a RPM constante, o a caudal variable en varios ciclos de bombeo. Para calcular los parámetros del acuífero se hace a caudal constante y tiempos de bombeo largos (5 días), teniendo pozos de observación y para calcular los parámetros del pozo se puede hacer a RPM constante a caudal variable con tiempos relativamente cortos (Grupo Recursos Hídricos, 2019)



**IRRIGACION Y PERFORACIONES Mc GREGOR, S.A.**

Carretera San José 4 • Managua, Nicaragua • Teléfonos: 2286-0011 al 13 • Fax: 2286-0015 • E-mail: ipemsa@cablenet.com.ni

**PRUEBA DE BOMBEO** No. \_\_\_\_\_

Fecha: _____	Columna de Bomba: _____
Propietario: _____	Número de Impulsores: _____
Localización: _____	Diámetro de Descarga: _____
Trabajo No.: _____	Diámetro de Orificio: _____
Diámetro de Revestimiento: _____	Altura Piezométrica: _____
Profundidad del Pozo: _____	Caudal en G. P. M.: _____
Nivel Estático: _____	Hora Inicial de Prueba: _____
Diámetro de Bomba: _____	Hora Final de Prueba: _____

Tiempo en minutos	N. B. Pies	Abat. Pies	OBSERVACIONES

Figura 10. Carta para la prueba de bombeo.

### **Duración de la prueba de bombeo**

La duración de la prueba de bombeo depende de que los niveles dinámicos se estabilicen o tiendan a estabilizar. Se recomienda, para el caso de pozos profundos recién construidos bombearlos con una duración mínima entre 48 y 72 horas de bombeo continuo y para pozos profundos existentes la duración de la prueba debe ser mínima de 24 horas continuas, registrando los niveles de recuperación de estos pozos mínimo por 4 horas continuas después del cese de bombeo. Para el caso de aljibes estos pueden tener una duración mínima de 8 horas de bombeo continua o hasta que se estabilicen los niveles dinámicos de bombeo registrando los niveles de recuperación por un periodo mínimo de 2 horas continuas (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

### **Medidas de niveles**

Durante las pruebas de bombeo, se imponen bombeos controlados, por lo que es esencial su medición, control y registro durante la prueba, lo que ayudará al exitoso ensayo.

Los niveles de agua pueden ser medidos manualmente o mediante equipos sensores de precisión de frecuencia variable, durante la prueba de bombeo.

Para el desarrollo normal de la prueba, se debe contar con los siguientes elementos y herramientas para la toma de niveles y aforo de su caudal (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

- Sistema de bombeo instalado.
- Cartera de campo para anotar los niveles de bombeo, abatimientos y caudales.
- Sonda eléctrica para registrar los niveles.
- Cronómetro



Figura 11. Sonda eléctrica.

**Sonda eléctrica:** normalmente un carrete con un electrodo de inox en la punta y una masa que se conecta a la columna del pozo, cuando se cierra el circuito eléctrico por el agua del pozo emite un sonido o da una lectura en un indicador tipo “polímetro”. Se suele alimentar mediante pilas o una pequeña batería.

### **Nivel estático del agua**

Es el nivel del agua en el pozo con la bomba apagada y viniendo del reposo (al menos 1 hora sin la bomba en marcha). Nos indica el nivel de la capa freática (nivel del agua) en reposo. Nos indica por una parte el nivel de sumergencia de la bomba y por otro por diferencia con el nivel Dinámico nos dará una pista del funcionamiento del pozo. Se introduce la sonda eléctrica por medio de un tubo piezométrico en el pozo.

### **Nivel dinámico del agua**

Es el nivel del agua en el pozo con la bomba en marcha (es decir sacando un caudal determinado). Puede ser variable ya que en función del caudal que saque la bomba puede que vaya bajando continuamente hasta llegar el nivel de esta (pozo seco técnicamente). Se introdujo la sonda eléctrica por medio de un tubo piezométrico en el pozo.





Figura 12. Medidas de nivel estático y dinámico del agua.

### **Medición del caudal por medio del nivel piezométrico**

La altura piezométrica es la altura a la que se elevaría el agua en el sistema hidráulico, cuando se instala en él, un tubo abierto a la atmosfera llamado piezómetro.

### **Método del orificio circular y piezómetro**

Una condición especial indispensable para este método es que la descarga del flujo del agua debe ser libre o a presión atmosférica. Un medidor o descarga piezométrica es de fácil instalación y económico, se recomienda instalarlos en todos los pozos de abastecimiento público ya que además permiten observar cómo sale el agua y tomar muestras para análisis de calidad de forma fácil (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

Para la medición del caudal por este método se determinó con los siguientes datos.

- Diámetro de la tubería de descarga.
- Diámetro del orificio circular o reductor.
- Altura del agua en el piezómetro.

Con estos datos se va a una tabla previamente calculada para diferentes relaciones de diámetro de tubería de descarga y orificios. De acuerdo con la altura del agua en el piezómetro se lee el caudal directamente. Este método es muy preciso y fácil de controlar durante la prueba y sirve para medir grandes caudales mayores a 10 lps.



Figura 13. Altura piezométrica.

En el caso de medir su caudal por el método piezométrico, se debe asegurar mantener el piezómetro a la misma altura a lo largo de la prueba aumentando revoluciones del motor para mantener esta condición y se debe registrar el tipo de descarga utilizada para dicha prueba. Por ejemplo, descarga de 10" x 8" se debe anexar tabla de caudales de calibración de dicha descarga.

### **Recuperación del pozo**

Una vez terminada la fase de bombeo del pozo con los niveles estables, se apagó el sistema e inmediatamente se registraron los niveles de recuperación (Tiempo vs niveles de recuperación), hasta que estos niveles alcancen por lo menos el 90% del valor inicial del nivel estático con el cual se inició la prueba de bombeo (Grupo Recursos Hídricos, 2019)

El análisis de la prueba de recuperación está basado, en el principio de superposición, el cual asume que luego de apagada la bomba, el pozo continúa bombeando a una descarga igual a la anterior, y con una recarga imaginaria igual a la descarga, e inyectada hacia el pozo. El ascenso

del nivel del agua después de la etapa del descenso de la prueba de bombeo es conocido como abatimiento residual (Kruseman, 1991)

## **5.6. Características hidráulicas del pozo**

### **Abatimiento**

Abatimiento en el pozo es la diferencia de nivel de agua en el pozo con respecto al nivel freático o nivel de referencia, debido a cambios estacionales o por efecto de un bombeo (Torres., *et al* 2006).

Al iniciarse la prueba en un pozo, el nivel del agua en las vecindades sufre un abatimiento, que resulta mayor en el pozo mismo y decrece a medida que la distancia al pozo aumenta, hasta que llega a un punto en el que el bombeo no afecta a dicho nivel (Ortiz, 2005)

Se utilizó la formula siguiente:

$$S = NDB - NEA$$

### **Donde:**

S = abatimiento.

NDB = Nivel de bombeo (pies)

NEA = Nivel estático del agua (pies)

### **Capacidad específica**

La capacidad específica (Q/S) de un pozo, es el gasto dividido por el abatimiento, el mismo es indicativo del rendimiento característico que presenta la matriz sólida del acuífero en estudio. También puede ser usado para medir la eficiencia de un pozo. Debido a que la capacidad específica, en la mayoría de los pozos decrece con el tiempo desde el comienzo del bombeo, es necesario indicar en qué momento fue medido, después de iniciado el mismo. La unidad usual de capacidad específica es en litros por segundos por metro de abatimiento. La capacidad o caudal específicos de una captación es el cociente del caudal por el descenso; las unidades son normalmente litro/segundo y por metro. Este valor caracteriza la permeabilidad del espesor de capa acuífera captada (Segundo, 2000)

Se utilizó la formula siguiente:

$$CE= Q/S$$

**Donde:**

CE = Capacidad especifica.

Q = Caudal. (gpm)

S = Abatimiento. (pies)

**Transmisividad**

Es una medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua, definiéndose como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario, extendida en todo el espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico es unitario y a una temperatura de 15°C (Arocha, 1980)

Se habla de transmisividad cuando se considera el caudal (Q) de agua que pasa por una sección de acuífero de base unitaria y altura su espesor saturado (Martínez *et al*,2006)

Se utilizó el método de Cooper-Jacob se utiliza en base de mediciones en campo hechas durante una prueba de bombeo.

$$T = 0.183 * \frac{Q}{S}$$

**Donde:**

T = Transmisividad del acuífero afectado

Q= Caudal. (m<sup>3</sup>/día)

S = Abatimiento (m)

**Coefficiente de almacenamiento.**

Es adimensional. Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico (o la presión) Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura la del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico (Ordoñez, 2011)

**Radio de influencia.**

El "Radio de Influencia" está definido como la máxima distancia en la cual se encuentra el centro de un pozo perforado o exploratorio con respecto a otro pozo en explotación, de tal manera que no se puedan efectuar rebajamientos de abatimientos de los niveles freáticos y estáticos (Dragoni, 1998)

Se utilizó la siguiente formula expresión de Sichardt.

$$R=3000*S \sqrt{K}$$

**Donde:**

T = Transmisividad.

S = Abatimiento.

K = Conductividad hidráulica.

## VI. RESULTADOS OBTENIDOS

### 6.1. Pozo Alejandro Zavala

El pozo se encuentra ubicado en la Finca San Miguel, comarca de Dos Montes, en el departamento de León.

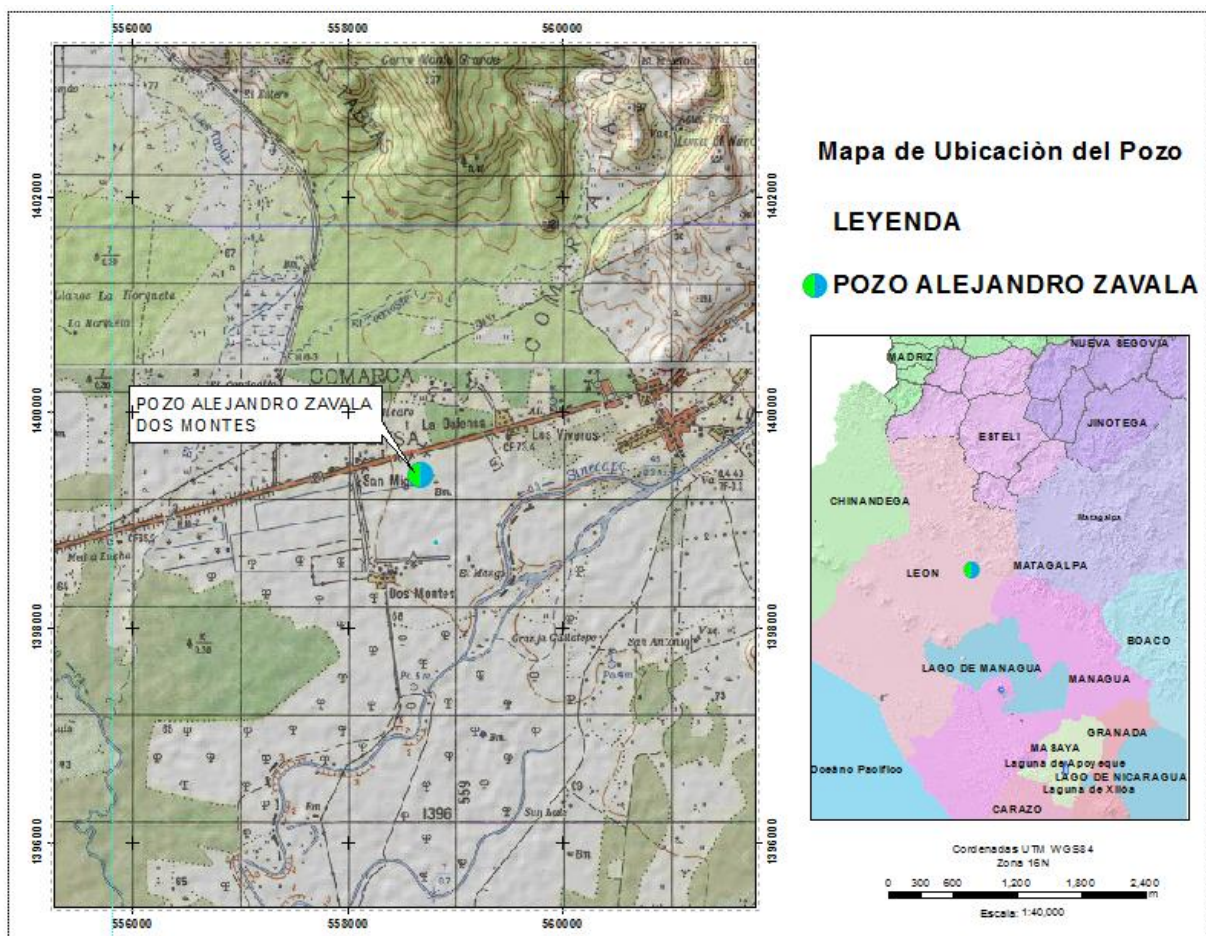


Figura 14. Mapa de ubicación del lugar del pozo.

Las coordenadas y la elevación del pozo son las siguientes:

Cuadro 5. Coordenadas del pozo.

<b>COORDENADAS DEL POZO ALEJANDRO ZAVALA</b>		
<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación msnm</b>
558531	1399402	74

## 6.2. Construcción del pozo

### Diámetro del agujero y profundidad del pozo

Se perforó un agujero de hasta una profundidad de 204 pies de profundidad con un diámetro de 19 pulgadas.

### Revestimiento del pozo

Se revistió el agujero perforado con tubería de PVC, SDR 26, de 15 pulgadas de diámetro en toda su profundidad. Esta tubería de PVC cumple con la norma de fabricación ASTM D- 2241.

El ranurado de la tubería 15 pulgadas de diámetro se hizo con máquina ranuradora especial, para obtener una precisión y exactitud en las ranuras del tubo en todo su perímetro, esta tubería ranurada fue del mismo material que la tubería ciega. Se colocó en todo el largo que permita el mejor aprovechamiento del acuífero.

De acuerdo características del pozo, se efectuó un diseño adecuado, quedando el pozo revestido con la secuencia siguiente:

Cuadro 6. Revestimiento del pozo

Ítem	Pies de profundidad	Descripción del revestimiento
1	000 - 035	Tubería ciega
2	035 - 155	Tubería ranurada
3	155 - 175	Tubería mitad ciega y mitad ranurada
4	175 - 195	Tubería ranurada
5	195 - 204	Tubería mitad ciega y mitad ranurada

### Filtro de grava

El volumen de grava a utilizar se calcula de la siguiente forma:

➤ **Área del agujero**

**Diámetro del agujero 19 pulgadas (0.4826 m).**

$$Aa = \frac{\pi(0.4826)^2}{4}$$

El área del agujero es igual a **0.1829 m<sup>2</sup>**

➤ **Área del revestimiento**

**Diámetro del revestimiento 15 pulgadas (0.3810 metros).**

$$Aa = \frac{\pi(0.3810)^2}{4}$$

El área del revestimiento es igual a **0.1140 m<sup>2</sup>**

➤ **Área a utilizar**

$$A = 0.1829 - 0.1140^2$$

El área entre el agujero y el revestimiento del pozo es igual a **0.0689 m<sup>2</sup>**

Se introdujo empaque de grava fluvial en toda la profundidad del pozo, el cual la altura fue de 204 pies que equivale a 62.19 metros.

El volumen de grava que se utilizó:

$$V = 0.0689 \text{ m}^2 * 62.19 \text{ m}$$

El volumen de grava que se instaló es igual a **4.28 m<sup>3</sup>** se instaló el 15 % más por algún socave que se encuentren en las paredes del pozo instalando un total de **5 m<sup>3</sup>**



Figura 15. Filtro de grava.



## Sello sanitario

Para evitar la infiltración de aguas superficiales que puedan contaminar el acuífero, se construirá un sello sanitario de veinte (20) pies de profundidad, este sello estará hecho con una mezcla de mortero, en una relación 1:4

## Base de concreto

Finalmente, sobre la superficie del terreno se construyó una base de concreto de dimensiones 3\*3\*3 pies, para soportar el peso del equipo de bombeo que se instalara.

## Costo de la construcción del pozo

El costo de la Construcción del pozo fue de US\$ 11,800.00.

## 6.3. Diseño final del pozo

### Columna litológica

Para la realización de la columna litológica, se tomó de referencia la columna litológica del pozo vecino (Empresas Nacionales) el cual tiene 240 pies de profundidad.

DESDE		HASTA		FORMACIONES
0'	5'	Tierra vegetal.		
5'	20'	Arcilla de semi plasticidad, color café claro.		
20'	40'	Arcilla, arenas medias y finas, color café claro.		
40'	60'	Aglomerados de bolones grandes con arenas medias, limo arcilloso color café.		
60'	75'	Limos finos, pocas arenas medias y finas.		
75'	80'	Arcilla, color café inestable.		
80'	95'	Formación de arcilla con arena color café.		
95'	105'	Arenas medias a finas.		
105'	110'	Arcillas con limos, pocas arenas color café.		
110'	120'	Limos finos y arenas finas color café claro.		
120'	140'	Limos compactos y arenosos color café.		
140'	155'	Arcilla con buena plasticidad, color blanca.		
155'	170'	Arcilla compacta color café.		
170'	190'	Limos y arenas finas a medias con poca arcilla.		
190'	205'	Arcilla de semi plasticidad, inestable color café claro.		
205'	220'	Arenas finas a medias, con pocos bolones, algo de arcilla.		
220'	240'	Arcilla con buena plasticidad, color café.		

Figura 16. Columna litológica del pozo (Empresas Nacionales).

Cuadro 7. Columna litológica del pozo

<b>COLUMNA LITOLÓGICA</b>	
<b>PIES DE PROFUNDIDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
000 - 005	Capa vegetal
005 - 020	Arcilla semiplástica, color café claro inestable
020 - 040	Arcilla, arenas medias y finas, café claro
040 - 060	Bolones grandes y arenas media, limo arcillosos café claro
060 - 075	Limos finos, pocas arenas medias y finas
075 - 080	Arcilla, color café inestable
080 - 095	Formación arcillo arenoso color café
095 - 105	Arenas medias a finas
105 - 110	Arcilla con limos poca arena color café
110 - 120	Limos finos y arenas finas color café claro
120 - 140	Limos compactos, arenosos color café
140 - 155	Arcilla plástica, blanca
155 - 170	Arcilla color café
170 - 190	Limos y arenas finas a medias, poca arcilla
190 - 204	Arcilla semiplástica, inestable café claro

#### **6.4. Prueba de bombeo**

Una vez que finalizó la construcción del pozo se realizó una prueba de bombeo a caudal escalonado por un lapso de 6 horas, tiempo durante el cual se midió los niveles estáticos y dinámicos presentados en las 6 horas de bombeo,

La prueba se realizó con equipo de bombeo IPEMSA.

- Motor con potencia de 125 Hp.
- Motor con velocidad angular de 3500 revoluciones por minutos.



Figura 17. Motor de prueba de bombeo.

### **Primer escalón**

El primer escalón fue en un periodo de 2 horas, equipo funcionando con una altura piezométrica de 27 pulgadas y un caudal inicial de 800gpm, con revoluciones del motor de 800 rpm, con un nivel de bombeo de 44.8 pies, abatimiento del pozo de 19.8 pies, una capacidad específica de 40.4 gpm/pies.



Figura 18. Inicio de la prueba de bombeo.

## Segundo escalón

Transcurridas las primeras 2 horas se procedió a aumentar las revoluciones del motor para monitorear el comportamiento del descenso del agua subterránea, el equipo se estuvo trabajando con revoluciones de 1200 rpm, la altura piezométrica fue de 35 pulgadas, extrayendo un caudal de 913 gpm, con un nivel de bombeo de 52.2 pies, abatimiento del pozo 27.2 pies, su capacidad específica fue de 33.52 gpm/pies.



Figura 19. Prueba de bombeo en el segundo escalon.

## Tercer escalón

Transcurridas las segundas 2 horas se procedió a aumentar las revoluciones del motor para monitorear el comportamiento del descenso del agua subterránea, el equipo se estuvo trabajando con revoluciones de 1600 rpm, la altura piezométrica fue de 61 pulgadas, extrayendo un caudal de 1205 gpm, con un nivel de bombeo de 78.2 pies, abatimiento del pozo 53.2 pies, su capacidad específica fue de 22.6 gpm/pies, transcurridos los 50 minutos del tercer escalón se rompió fuente por lo cual la altura piezométrica fue de 71 pulgadas por ende el caudal aumento a 1300 gpm, su nivel de bombeo fue de 55 pies, abatimiento del pozo fue de 30 pies, su capacidad específica fue de 43.33 gpm/pies. Su recuperación en los primeros 5 minutos fue de 25 pies alcanzando su nivel estático el cual es de 25 pies.

### Costo de la prueba de bombeo

Prueba de bombeo por 6 horas US\$ 850.00

### 6.5. Resultados de la prueba de bombeo

Cuadro 8. Resultados de la prueba de bombeo

Prueba de bombeo				
Duración	Caudal	NEA	ND	Recuperación
6 horas	800, 912, 1205, 1300 gpm	25 pies	55 pies	5 minutos

gpm: Galones por minutos; NEA: Nivel estático del agua; ND: Nivel dinámico

### 6.6. Características hidráulicas del pozo

Cuadro 9. Características hidráulicas.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS	
Parámetros	Resultados
Abatimiento	30 pies
Transmisividad	141.76 m <sup>2</sup> /día
Capacidad Especifica	43.33 gpm/pies
Radio de influencia	165 m

gpm: galones por minutos; m<sup>2</sup>: metros cuadrados; m: metros

T (m <sup>2</sup> /día)	Calificación
T < 10	Muy baja
10 < T < 100	Baja
100 < T < 500	Media a alta
500 < T < 1000	Alta
T < 1000	Muy alta

Figura 20. Clasificación de la transmisividad (Villanueva, 1984)

## **VII. CONCLUSIONES**

La construcción del pozo se realizó en la finca San Miguel, comarca de Dos Montes, en el departamento de León, con máquina perforadora de percusión, el costo total de la construcción del pozo con su base de concreto y prueba de bombeo fue de US\$ 12,650.00.

Mediante el diseño se logró la caracterización del pozo, esto permite analizar e identificar la cantidad de tubería ranurada y ciega, nivel estático del agua y su composición litológica.

El potencial de explotación del pozo es de 1300 gpm con un abatimiento de 30 pies, una transmisividad de 141.76 m<sup>2</sup>/d, calificándolo como un acuífero de media alta transmisividad y un radio de influencia equivalente a 165 metros el cual no afectara a ningún pozo cercano al sitio.

## **VIII. LECCIONES APRENDIDAS**

Dentro de las lecciones aprendidas en el campo de acción del perfil de la carrera de Ing. Agrícola para el desarrollo sostenible está:

Interpretación de plano de diseño del pozo.

Conocer el proceso y el equipo utilizado en la construcción de un pozo.

Conocer el proceso y el equipo que conlleva a una prueba de bombeo: Toma de niveles, nivel estático del agua (NEA) y nivel de bombeo (NB), sonda eléctrica para registrar los niveles, tubería de descarga y altura piezométrica.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Es necesario que la articulación entre el tutor de la empresa y el tutor del departamento de ingeniería agrícola sean más frecuente para obtener mejores resultados en el período de pasantías.

El plan de trabajo por parte de la empresa esté acorde con el perfil profesional de la carrera y se cumpla de acuerdo con lo establecido en el mismo.

La evaluación del trabajo efectuado en la pasantía se lleve a cabo de acuerdo con el cronograma de actividades y que permita corregir los errores cometidos en cada proceso de trabajo.



## X. LITERATURA CITADA

- Arocha, R. (1980). Abastecimiento de agua (teoría y diseño). Ed. Vegas. Caracas, Venezuela. 284 pp.
- Blog de contenidos hidrogeológicos. (2017). *PERCUSION A CABLE: DESCRIPCION DEL SISTEMA*. Hidrogeología y pozos.
- Dragoni, W. (1998). Some consideration regarding the radius of influence of a pumping well. Perugia Italy. <http://www.unipq.it/~denz/Dragoni.pdf>
- ENACAL. (1999). *Normas y Procedimientos Técnicos para la Implementación de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento en el Sector Rural*. GAR
- Fenzl, N. (1989). Nicaragua: geografía, clima, geología e hidrología. Belem, UFPS/INETER/INAN.
- Gomez Herrera, K. (2017). *Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros*. [Tesis de pregrado]. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- González, D., et al. (2003). Estratigrafía. Madrid: Universidad Complutense, 2003. ISBN: 84-600-9887-7.
- Grupo Recursos Hídricos. (2007). GUÍA: PRUEBAS DE BOMBEO. Director Técnico Ambiental, versión 2. GU.0130.11.
- Guzman, R., Jova, G. (1984). *HIDROGEOLOGIA*. Pueblo y educación. Primera impresión.
- Hernández Molina, S.M. et al., (2017). *Rediseño y Ampliación del Sistema de Agua potable en la Comunidad San Pedro de Los Molinas, Municipio de San Marcos Carazo*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniera.
- IICA (sf). La cuenca del rio san juan: Unidad y diversidad ambiental. <http://rpiica.iica.int>.
- Krásný, J., & Hecht, G. (1989). Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua. Managua: INETER
- Kruseman, G. (1991). Analysis and evaluation of pumping Test Data. International Institute for land Reclamation and improvement, the Notherlands. 377 pp.
- Martínez, F., Gutiérrez, N. (2003). Maquinas hidráulicas. 1era ed. México-Texcoco. Universidad Autónoma de Chapingo. Págs. 159, 214, 281.
- Martínez, P., Castaño, S. (2006). Fundamentos de hidrogeología. Ediciones Mundi-Prensa. España, Madrid, Barcelona. Págs. 75,90.
- Ordoñez Galvez, J.J. (2011). *Aguas subterráneas-acuíferos*. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam\\_files/publicaciones/varios/aguas\\_subterranas.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf).
- Ortiz Mendoza, M.A. (2005). *Determinación de los coeficientes de permeabilidad para un flujo de pozo en un simulador hidrológico*. [Tesis de pregrado]. Instituto Politécnico Nacional. ESIA.
- Saldarriaga, V.J. (2004). Hidráulica de tuberías. Santa Fé de Bogotá-Colombia. Mcgraw-Hill Interamericana, S.A. págs. 123-162.

- Segundo Lopez, A. (2000). *Evaluacion de la potencia instalada de los equipos de bombeo en el acuífero de la zona del valle Sicarigua*. Gaceta técnica de ingeniería civil.
- Torres Márquez. et al., (2020). Evaluación de un fluido de perforación base agua de mar en la perforación del intervalo 200 a 1161 metros de profundidad en un pozo marino del campo Xanab. [Tesis de pregrado].Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Torres Molinares, C., Vega, D. (2006). Procedimiento para la prueba de bombeo escalonada y de larga duración. Universidad Tecnológica de Panama.
- Tuinhof, A. et al., (2006). *Gestión Sustentable del Agua Subterránea*. GW.MATE
- Villanueva, M., Iglesias, A. (1984) *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Edit. IGME. Madrid, 426 pp.

## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Prueba de bombeo.

<b>PRUEBA DE BOMBEO DE 6 HORAS (ALEJANDRO ZAVALA)</b>			
Fecha	<u>Martes 23 de Marzo del 2021</u>		Propietario
			<b>ALEJANDRO ZAVALA</b>
Localización	<u>Dos Montes</u>		Diámetro de Descarga :
			8"
Diámetro de Revestimiento :	<u>15</u>	<u>plg</u>	Caudal en G. P.M. :
			800, 913, 1205, 1300
Profundidad de Pozo	<u>204</u>	<u>pies</u>	Hora Inicial de Prueba :
			<u>06:30 a.m.</u> <u>23/02/2021</u>
Nivel Estático Pies	<u>25.00</u>	<u>pies</u>	Hora Final de Prueba :
			<u>12:30 p.m.</u> <u>23/02/2021</u>
Tiempo en Minutos	N. B.(PIES)	Abat. (PIES)	<b>O B S E R V A C I O N E S</b>
06:30 a.m.	0	25.00	Inicia Prueba de Bombeo.
	1	31.00	
	2	35.00	Agua sucia con arena fina
	3	43.00	
	4	45.20	
	5	45.20	Caudal : 800 gpm en 800 rpm
	6	50.00	
	7	45.00	
	8	43.20	Agua sucia con sedimento de arena
	9	44.20	
06:40 a.m.	10	44.20	
	12	44.50	CE= 41.02564 gpm/pies
	14	44.50	
	16	44.50	
	18	44.50	
06:50 a.m.	20	44.50	
	25	42.90	
07:00 a.m.	30	42.90	
	35	45.40	
07:10 a.m.	40	45.40	
	45	45.40	
07:20 a.m.	50	45.40	
	55	45.00	
07:30 a.m.	60	45.00	
07:40 a.m.	70	44.30	
07:50 a.m.	80	44.30	
08:00 a.m.	90	44.30	Agua clara
08:10 a.m.	100	44.30	
08:20 a.m.	110	44.80	
08:30 a.m.	120	44.80	
08:30 a.m.	0	44.80	<b>SEGUNDO ESCALON</b>
	1	49.60	
	2	50.40	
	3	50.40	

	4	50.40	25.40
	5	50.40	25.40
	6	51.00	26.00
	7	51.00	26.00
	8	51.00	26.00
	9	51.00	26.00
08:40 a.m.	10	51.00	26.00
	12	51.00	26.00
	14	51.90	26.90
	16	51.90	26.90
	18	51.90	26.90
08:50 a.m.	20	51.90	26.90
	25	51.90	26.90
09:00 a.m.	30	51.90	26.90
	35	51.60	26.60
09:10 a.m.	40	51.60	26.60
	45	51.40	26.40
09:20 a.m.	50	51.40	26.40
	55	51.40	26.40
09:30 a.m.	60	51.40	26.40
09:40 a.m.	70	51.40	26.40
09:50 a.m.	80	51.50	26.50
10:00 a.m.	90	51.30	26.30
10:10 a.m.	100	52.20	27.20
10:20 a.m.	110	52.20	27.20
10:30 a.m.	120	52.20	27.20
10:30 a.m.	0	52.20	27.20
	1	62.00	37.00
	2	62.90	37.90
	3	62.90	37.90
	4	62.90	37.90
	5	62.90	37.90
	6	62.90	37.90
	7	62.90	37.90
	8	62.90	37.90
	9	62.90	37.90
10:40 a.m.	10	62.90	37.90
	12	62.90	37.90
	14	69.50	44.50
	16	69.50	44.50
	18	69.50	44.50
10:50 a.m.	20	69.50	44.50
	25	68.30	43.30
11:00 a.m.	30	76.90	51.90
	35	76.90	51.90

Caudal: 913 gpm en 1200 rpm

CE= 33.90335 gpm/pies

Agua clara

**TERCER ESCALON**

Caudal: 1205 gpm en 1600 rpm

CE= 29.02375 gpm/pies

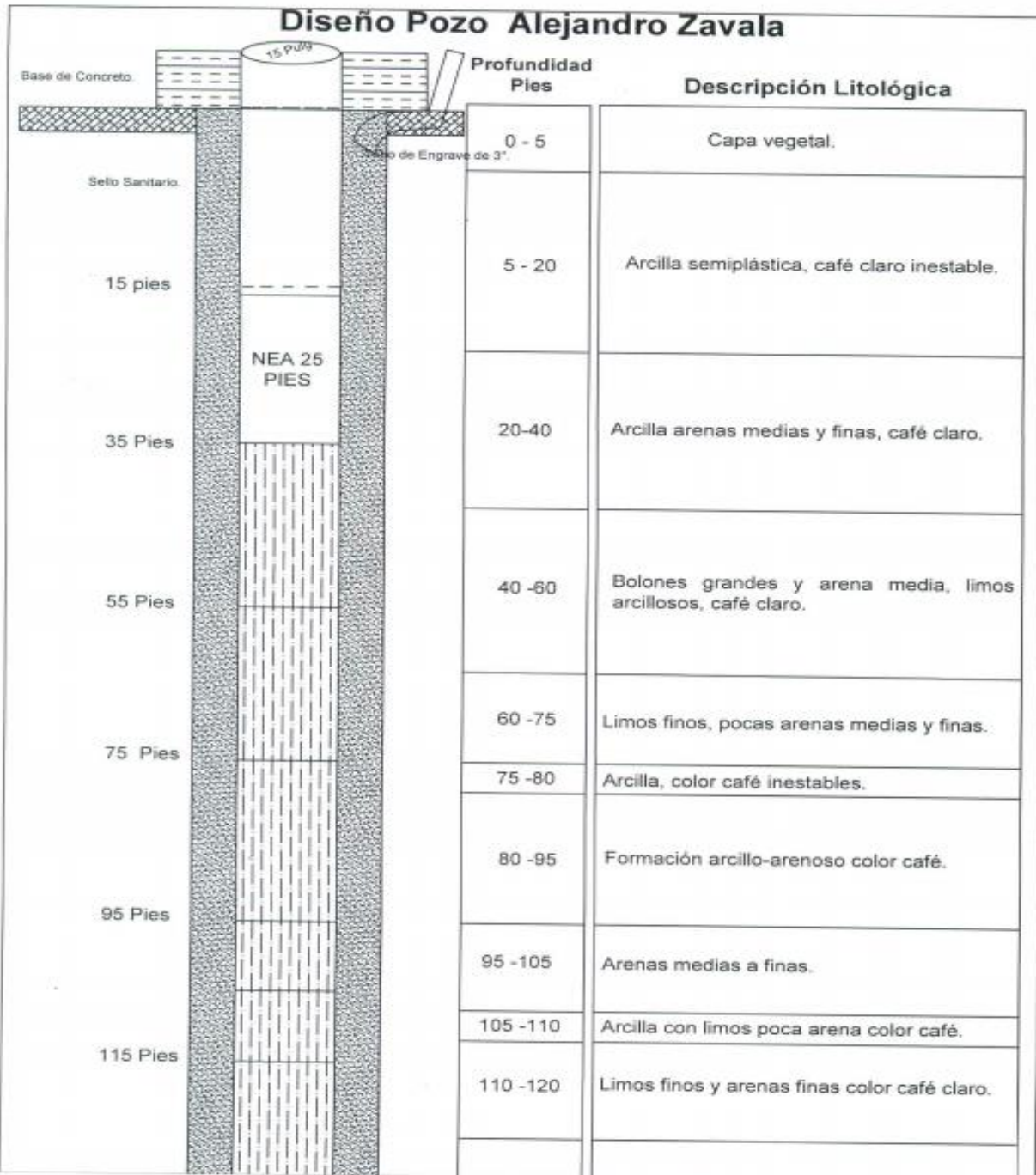
11:10 a.m.	40	78.20	53.20	
	45	78.20	53.20	
11:20 a.m.	50	57.50	32.50	Se rompió fuente.
	55	57.00	32.00	Caudal: 1300 gpm.
11:30 a.m.	60	57.00	32.00	
11:40 a.m.	70	54.90	29.90	CE= 43.47826 gpm/pies
11:50 a.m.	80	54.90	29.90	
12:00 p.m.	90	54.80	29.80	
12:10 p.m.	100	58.40	33.40	
12:20 p.m.	110	55.00	30.00	
12:30 p.m.	120	55.00	30.00	Finaliza prueba de bombeo
12:30 p.m.	0	55.00	30.00	Inicia recuperación
	1	45.00	20.00	
	2	28.00	3.00	
	3	28.00	3.00	
	4	27.00	2.00	
12:35 p.m.	5	25.00	0.00	Finaliza recuperación

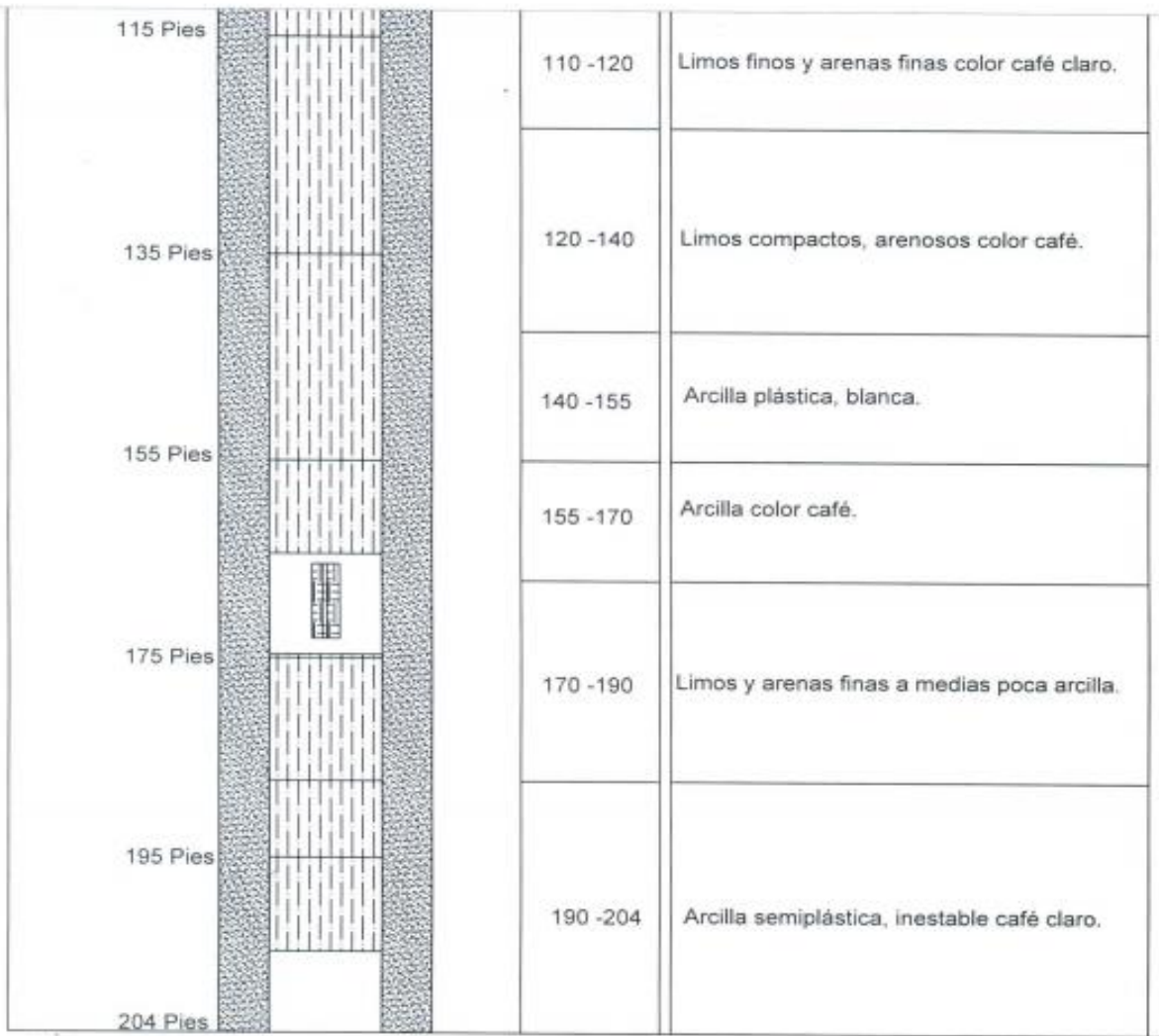
Anexo 2. Diseño final del pozo.



**IRRIGACION Y PERFORACIONES Mc GREGOR, S.A.**

Carretera Sur Km 4 - Managua, Nicaragua - Teléfonos: 2266-0011 al 13 - Fax: 2266-0015 - E-mail: ipemsa@cable.net.com.ni





Tubería Ranurada



Tubería Ciega



Filtro de grava



OPERACIONES  
IPEMSA

Anexo 3. Tabla para medición de caudales.

CAUDALES EN GALONES POR MINUTO - METODO DEL ORIFICIO											
Pañal	1" a 3/4"	2" a 4"	3" a 4"	3" a 6"	4" a 6"	4-3/4" a 6"	5" a 6"	6" a 8"	8" a 10"	10" a 12"	
1	11.3	24.0	43.5	31.8	63.4	101.6	122.6	154.3	304.9	492.8	
2	18.0	33.2	41.5	45.0	89.6	143.7	173.0	218.2	431.0	697.0	
3	19.6	41.8	75.4	55.1	109.7	178.0	212.0	267.3	528.0	853.0	
4	22.7	48.0	87.0	63.6	126.7	203.2	245.0	308.6	610.0	985.0	
5	28.4	53.7	97.3	71.1	141.7	227.2	274.0	345.0	692.0	1,104.0	
6	27.8	58.8	106.6	77.9	155.2	248.9	300.0	378.0	747.0	1,209.0	
7	30.0	63.5	115.1	84.1	167.6	268.8	324.0	408.2	807.0	1,303.0	
8	32.1	67.9	123.1	89.9	179.2	287.4	347.0	436.4	862.0	1,392.0	
9	34.0	72.0	130.5	95.4	190.1	304.8	368.0	462.9	918.0	1,478.0	
10	35.9	75.9	137.6	100.6	200.3	321.3	388.0	487.9	964.0	1,557.0	
11	37.6	79.6	144.3	105.5	210.1	337.0	407.0	511.8	1,011.0	1,633.0	
12	39.3	83.1	150.7	110.2	219.5	352.0	425.0	534.5	1,056.0	1,706.0	
13	40.9	86.5	156.9	114.7	228.4	366.3	442.0	556.3	1,099.0	1,776.0	
14	42.4	89.8	162.8	119.0	237.0	380.2	459.0	577.3	1,141.0	1,843.0	
15	43.9	93.0	168.5	123.2	245.4	393.5	475.0	597.6	1,181.0	1,907.0	
16	45.4	96.0	174.0	127.2	253.4	406.4	490.0	617.2	1,220.0	1,970.0	
17	46.8	99.0	179.4	131.1	261.2	418.9	505.0	636.2	1,257.0	2,031.0	
18	48.1	101.8	184.6	134.9	268.8	431.1	520.0	654.6	1,294.0	2,090.0	
19	49.4	104.6	189.7	138.6	276.1	442.9	534.0	672.6	1,329.0	2,147.0	
20	50.7	107.3	194.6	142.2	283.3	454.4	548.0	690.1	1,364.0	2,203.0	
21	52.0	110.0	199.4	145.7	290.3	465.6	562.0	707.1	1,397.0	2,257.0	
22	53.2	112.6	204.1	149.2	297.1	476.5	575.0	723.7	1,430.0	2,310.0	
23	54.4	115.1	208.7	152.5	303.8	487.3	588.0	740.0	1,462.0	2,362.0	
24	55.6	117.6	213.2	155.8	310.4	497.7	601.0	755.9	1,494.0	2,413.0	
25	56.7	120.0	217.6	159.0	316.8	508.0	613.0	771.5	1,525.0	2,463.0	
26	57.8	122.4	221.9	162.1	323.0	516.1	625.0	786.8	1,555.0	2,511.0	
27	58.9	124.7	226.1	165.2	329.2	527.9	637.0	801.8	1,584.0	2,558.0	
28	60.0	127.0	230.2	168.3	335.2	537.6	649.0	816.5	1,613.0	2,604.0	
29	61.1	129.2	234.3	171.2	341.2	547.1	660.0	830.9	1,642.0	2,650.0	
30	62.1	131.5	238.3	174.2	347.0	556.5	672.0	845.1	1,670.0	2,696.0	
31	63.2	133.6	242.3	177.1	352.7	565.7	683.0	859.1	1,698.0	2,741.0	
32	64.2	135.6	246.1	179.9	358.4	574.7	694.0	872.9	1,725.0	2,786.0	
33	65.2	137.9	249.9	182.7	363.9	583.6	704.0	886.4	1,752.0	2,829.0	
34	66.1	139.9	253.7	185.4	369.4	592.4	715.0	899.7	1,779.0	2,872.0	
35	67.1	142.0	257.4	188.1	374.8	601.1	725.0	912.9	1,804.0	2,914.0	
36	68.1	144.0	261.1	190.8	380.1	609.6	736.0	925.8	1,829.0	2,955.0	
37	69.0	146.0	264.7	193.4	385.3	618.0	746.0	938.6	1,853.0	2,996.0	
38	69.9	147.9	268.2	196.0	390.5	626.3	756.0	951.2	1,878.0	3,036.0	
39	70.8	149.9	271.7	198.6	395.6	634.5	766.0	963.8	1,904.0	3,076.0	
40	71.7	151.8	275.2	201.1	400.7	642.6	775.0	975.3	1,928.0	3,115.0	
41	72.6	153.7	278.6	203.6	405.6	650.6	785.0	986.0	1,952.0	3,154.0	
42	73.5	155.5	282.0	206.1	410.6	658.4	795.0	1,000.0	1,976.0	3,192.0	
43	74.4	157.4	285.3	208.5	415.4	666.2	804.0	1,011.8	1,999.0	3,229.0	
44	75.2	159.2	288.6	210.9	420.2	673.3	813.0	1,023.5	2,022.0	3,267.0	
45	76.1	161.0	291.9	213.3	425.0	681.6	822.0	1,035.1	2,045.0	3,304.0	
46	76.9	162.8	295.1	215.7	429.7	689.1	832.0	1,046.5	2,068.0	3,340.0	
47	77.8	164.5	298.3	218.0	434.3	696.5	841.0	1,057.8	2,090.0	3,376.0	

CAUDALES EN GALONES POR MINUTO - METODO DEL ORIFICIO											
Pañal	1" a 3/4"	2" a 4"	3" a 4"	3" a 6"	4" a 6"	4-3/4" a 6"	5" a 6"	6" a 8"	8" a 10"	10" a 12"	
50	80.2	169.7	307.7	224.9	448.0	718.4	867.0	1,091.1	2,156.0	3,483.0	
51	81.0	171.4	310.7	227.1	452.4	725.6	876.0	1,101.9	2,177.0	3,517.0	
52	81.8	173.1	313.8	229.3	456.8	732.6	884.0	1,112.7	2,197.0	3,551.0	
53	82.6	174.7	316.8	231.5	461.2	739.7	893.0	1,123.3	2,220.0	3,585.0	
54	83.4	176.4	319.7	233.7	465.5	746.6	901.0	1,133.9	2,241.0	3,619.0	
55	84.1	178.0	322.7	235.8	469.8	753.5	909.0	1,144.3	2,261.0	3,653.0	
56	84.9	179.6	325.6	238.0	474.1	760.3	917.0	1,154.7	2,282.0	3,686.0	
57	85.6	181.2	328.5	240.1	478.3	767.1	926.0	1,164.9	2,302.0	3,718.0	
58	86.4	182.8	331.4	242.2	482.5	773.8	934.0	1,175.1	2,322.0	3,751.0	
59	87.1	184.3	334.2	244.3	486.6	780.4	942.0	1,185.2	2,342.0	3,783.0	
60	87.9	185.9	337.0	246.3	490.7	787.0	950.0	1,195.2	2,362.0	3,815.0	
61	88.6	187.4	339.8	248.4	494.8	793.5	958.0	1,205.1	2,381.0	3,847.0	
62	89.3	189.0	342.6	250.4	498.8	800.0	965.0	1,215.0	2,401.0	3,878.0	
63	90.0	190.5	345.3	252.4	502.8	806.4	973.0	1,224.7	2,420.0	3,909.0	
64	90.7	192.0	348.1	254.4	506.8	812.8	981.0	1,234.4	2,439.0	3,940.0	
65	91.5	193.5	350.6	256.4	510.7	819.1	988.0	1,244.0	2,458.0	3,971.0	
66	92.2	195.0	353.5	258.3	514.7	825.4	996.0	1,253.5	2,477.0	4,001.0	
67	92.8	196.4	356.1	260.3	518.5	831.6	1,004.0	1,263.0	2,496.0	4,031.0	
68	93.5	197.9	358.8	262.2	522.4	837.6	1,011.0	1,272.4	2,514.0	4,061.0	
69	94.2	199.4	361.4	264.2	526.2	844.0	1,018.0	1,281.7	2,533.0	4,091.0	
70	94.8	200.8	364.0	266.1	530.0	850.0	1,026.0	1,291.0	2,551.0	4,121.0	
71	95.6	202.2	366.9	268.0	533.8	856.1	1,033.0	1,300.2	2,569.0	4,150.0	
72	96.2	203.6	369.7	269.8	537.5	862.1	1,040.0	1,309.3	2,587.0	4,179.0	
73	96.9	205.1	371.7	271.7	541.3	868.1	1,047.0	1,318.3	2,605.0	4,209.0	
74	97.6	206.5	374.3	273.6	545.0	874.0	1,055.0	1,327.3	2,623.0	4,237.0	
75	98.2	207.6	376.6	275.4	548.6	879.9	1,062.0	1,336.3	2,641.0	4,265.0	
76	98.9	209.2	379.3	277.2	552.3	885.7	1,069.0	1,345.2	2,658.0	4,294.0	
77	99.5	210.6	381.8	279.0	555.9	891.5	1,076.0	1,354.0	2,675.0	4,322.0	



#### Anexo 4. Otras características constructivas del pozo

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Espacio anular del empaque de engrave	4 pulgadas
Nivel Estático	25 pies
Base de concreto	3*3*3 pies
Tubo de engrave	3 pulgadas

#### Anexo 5. Pesca para el trepano



#### Anexo 6. Llaves para el trepano.



Anexo 7. Bailers y sonda de arena



Anexo 8. RPM del motor de prueba



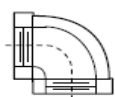


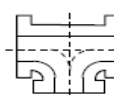

Anexo 9. Supervisión de la prueba de bombeo




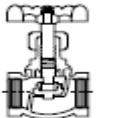
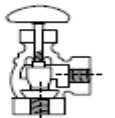

Anexo 10. Desahogo del caudal extraído.



Anexo 11. Pérdidas por fricción en codos.

Pérdidas por Fricción en longitudes equivalentes de tubo estándar					
Calibre Tubo	Codo Estándar de 90°	Codo de Radio Largo	Codo de 45°	T	Sifón
					
1/2"	1.5	1.1	0.77	3.4	3.8
3/4"	2.2	1.4	1	4.5	5
1"	2.7	1.7	1.3	5.8	6.1
1-1/4"	3.7	2.4	1.6	7.8	8.5
1-1/2"	4.3	2.8	2	9	10
2"	5.5	3.5	2.5	11	13
2-1/2"	6.5	4.2	3	14	15
3"	8.1	5.1	3.8	17	18
3-1/2"	9.5	6	4.4	19	21
4"	11	7	5	22	24
4-1/2"	12	7.9	5.6	24	27
5"	14	8.9	6.1	27	31
6"	16	11	7.7	33	37
8"	21	14	10	43	49
10"	26	17	13	56	61
12"	32	20	15	66	73
14"	36	23	17	76	85
16"	42	27	19	87	100
18"	46	30	21	100	110
20"	52	34	23	110	120
22"	58	37	25	130	140
24"	63	40	28	140	150
30"	79	50	35	165	190
36"	94	60	43	200	220
42"	120	72	50	240	260
48"	135	82	58	275	300

Anexo 12. Pérdidas por fricción en válvula compuerta

Pérdidas por Fricción en longitudes equivalentes de tubo estándar				
Calibre Tubo	Válvula de Compuerta Abierta	Válvula de Globo Abierta	Válvula Angular Abierta	Válvula de Retención Giratoria
				
1/2"	0.35	16	8.4	4
3/4"	0.47	22	12	5
1"	0.6	27	15	7
1-1/4"	0.8	37	18	9
1-1/2"	0.95	44	22	11
2"	1.2	57	28	13
2-1/2"	1.4	66	33	16
3"	1.7	85	42	20
3-1/2"	2	99	50	
4"	2.3	110	58	26
4-1/2"	2.6	130	61	
5"	2.9	140	70	33
6"	3.5	160	83	39
8"	4.5	220	110	52
10"	5.7	290	140	65
12"	6.7	340	170	
14"	8	390	190	
16"	9	430	220	
18"	10.2	500	250	
20"	12	560	280	
22"	13	610	310	
24"	14	680	340	
30"	17	860	420	
36"	20	1000	500	
42"	23	1200	600	
48"	26	1400	680	

Anexo 13. Pérdidas por fricción en el medidor de agua.

**Medidores de Agua - Estándar AWWA**

Gasto GPM	Caída de Presión						
	Diámetro Normal						
	5/8"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"	4"
1	0.2	0.1					
2	0.3	0.2					
3	0.4	0.3					
4	0.6	0.5	0.1				
5	0.9	0.6	0.2				
6	1.3	0.7	0.3				
7	1.8	0.8	0.4				
8	2.3	1.0	0.5				
9	3.0	1.3	0.6				
10	3.7	1.6	0.7				
11	4.4	1.9	0.8				
12	5.1	2.2	0.9				
13	6.1	2.6	1.0				
14	7.2	3.1	1.1				
15	8.3	3.6	1.2				
16	9.4	4.1	1.4				
17	10.7	4.6	1.6	0.4			
18	12.0	5.2	1.8	0.5			
19	13.4	5.8	2.0	0.6			
20	15.0	6.5	2.2	0.7			
22		7.9	2.8	1.0			
24		9.5	3.4	1.2			
26		11.2	4.0	1.4			
28		13.0	4.6	1.6			
30		15.0	5.3	1.8	0.7		
32			6.0	2.1	0.8		
34			6.9	2.4	0.9		
36			7.8	2.7	1.0		
38			8.7	3.0	1.2		
40			9.6	3.3	1.3		
42			10.6	3.6	1.4		
44			11.7	3.9	1.5		
46			12.8	4.2	1.6		
48			13.9	4.5	1.7		
50			15.0	4.9	1.9		
52				5.3	2.1		
54				5.7	2.2		
56				6.2	2.3		
58				6.7	2.5		
60				7.2	2.7	1.0	
65				8.3	3.2	1.1	
70				9.8	3.7	1.3	
75				11.3	4.3	1.5	
80				12.8	4.9	1.6	
90				16.1	6.2	2.0	0.7
100				20.0	7.8	2.5	0.9
110					9.5	2.9	1.0
120					11.3	3.4	1.2
130					13.0	3.9	1.4
140					15.1	4.5	1.6
150					17.3	5.1	1.8
160					20.0	5.8	2.1

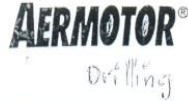
Anexo 14. Pérdidas por fricción en tee y válvulas checks.

**Friction Loss**

Pipe friction is the resistance to flow created by the interior surface of the pipe through which a liquid is moving. The smaller the diameter of the pipe, or the greater the rate of flow, the greater the amount of friction (friction loss).

Friction loss is expressed as feet of head in 100 feet of pipe and will vary depending upon the material of which the pipe is made. The following charts show friction losses in steel, copper, and plastic pipe. Pipe size should be sufficiently large so that not more than 10% of the total dynamic head is in friction loss.

Size of Fittings, Inches	EQUIVALENT NUMBER OF FEET STRAIGHT PIPE FOR DIFFERENT FITTINGS											
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	
90° Ell	1.5	2.0	2.7	3.5	4.3	5.5	6.5	8.0	10.0	14	15	
45° Ell	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.5	3.0	3.8	5.0	6.3	7.1	
Long Sweep Ell - 45°	1.0	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7.0	9.0	11.0	
Close Return Bend	3.6	5.0	6.0	8.3	10.0	13.0	15.0	18.0	24.0	31.0	37.0	
Tee - Straight Run (On to Side)	1	2	2	3	3	4	5					
Tee - Side Inlet or Outlet	3.3	4.5	5.7	7.5	9.0	12.0	14.0	17.0	22.0	27.0	31.0	
Globe Valve Open	17.0	22.0	27.0	35.0	43.0	55.0	67.0	82.0	110.0	140.0	160.0	
Angle Valve Open	8.4	12.0	15.0	18.0	22.0	28.0	33.0	42.0	58.0	70.0	83.0	
Gate Valve - Fully Open	0.4	0.5	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	
Check Valve (Swing)	4	5	7	9	11	13	16	20	26	33	39	
Check Valve (Spring)	4	6	8	12	14	19	23	32	43	55		



# Engineering Information

## Pipe Friction Tables

### Friction Loss Charts

Loss of Head in Feet, Due to Friction Per 100 Feet of Pipe  
 These data are for new pipe. Increase by 15% to compensate for aging.

10% Max

↓

2"			
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 2.067"	Copper ID 2.062"	Plastic ID 2.067"
10	.431	.269	.233
15	.916	.569	.495
20	1.55	.962	.839
25	2.35	1.45	1.27
30	3.29	2.03	1.78
35	4.37	2.71	2.36
40	5.60	3.47	3.03
45	6.96	4.31	3.76
50	8.46	5.24	4.57
55	10.1	6.22	5.46
60	11.9	7.34	6.44
70	15.8	9.78	8.53
80	20.2	12.5	10.9
90	25.1	15.6	13.6
100	30.5	18.9	16.5
110	36.4	22.5	19.7
120	42.7	26.6	23.1
130	49.6	30.7	26.8
140	56.9	35.2	30.6
150	64.7	40.1	35.0
160	72.8	45.1	39.3
170	81.4	50.5	44.0
180	90.5	56.1	48.9
190	100	62.0	54.0
200	110	68.0	59.4

2½"			
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 2.469"	Copper ID 2.500"	Plastic ID 2.469"
20	.654	.375	.353
30	1.39	.792	.750
40	2.36	1.35	1.27
50	3.56	2.04	2.92
60	4.99	2.86	2.69
70	6.64	3.82	3.58
80	8.50	4.88	4.59
90	10.6	6.06	5.72
100	12.8	7.37	6.90
110	15.3	8.80	8.25
120	18.0	10.3	9.71
130	20.9	12.0	11.3
140	23.9	13.7	12.9
150	27.3	15.6	14.7
160	30.7	17.6	16.6
170	34.3	19.7	18.5
180	38.1	21.9	20.6
190	42.1	24.2	22.7
200	46.3	26.6	25.0
220	55.3	31.8	29.8
240	66.4	37.4	35.8
260	75.3	43.3	41.6
280	86.3	49.4	43.6
300	98.1	56.8	52.9

3"			
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 3.067"	Copper ID 2.985"	Plastic ID 3.067"
10	.1		
15	.1		
20	.2	.132	.125
25	.3	.193	.188
30	.5	.275	.260
35	.7	.346	.335
40	.9	.448	.435
45	1.0	.576	.525
50	1.3	.723	.650
60	1.9	.942	.880
70	2.5	1.56	1.15
80	3.3	1.96	1.45
90	4.1	2.05	1.82
100	4.9	2.37	2.20
110	6.0	2.81	2.63
120	6.9	3.34	3.20
130	8.1	3.82	3.65
140	9.3	4.85	4.20
150	10.6	5.60	4.65
175	12.3	6.85	5.80
200	18.0	8.94	7.80
225	22.0	10.6	9.40
250	27.0	12.9	11.8
275	32.0	15.0	13.7
300	38.0	16.5	16.5
350	49.0	22.4	21.5
400		29.1	
450		45.1	
500		54.4	
550		65.1	
600			

4"			
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 4.025"	Copper ID 3.936"	Plastic ID 4.025"
20	.06		
25	.09		
30	.13		
35	.18		
40	.22	.126	.111
45	.28	.152	.148
50	.34	.172	.166
60	.46	.236	.225
70	.62	.341	.294
80	.79	.41	.38
90	1.0	.52	.48
100	1.2	.65	.59
110	1.4	.72	.70
120	1.7	.89	.82
130	1.9	.97	.94
140	2.2	1.23	1.09
150	2.5	1.41	1.22
175	3.4	1.82	1.60
200	4.3	2.40	2.04
225	5.5	2.95	2.50
250	6.6	3.55	3.20
275	7.8	3.95	3.70
300	9.0	4.58	4.30
350	11.8	5.63	5.40
400	16.0	7.28	6.90
450	19.0	9.16	8.60
500	24.0	11.2	10.2
550	29.0	13.5	12.1
600	33.8	16.0	14.0
650		18.4	16.5
700			

5"	
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 5.00"
75	.24
100	.42
125	.63
150	.88
175	1.17
200	1.5
250	2.27
300	3.17
400	5.39
500	8.15
600	11.7
700	15.2
800	19.4
1000	29.4
1200	41.1

6"		
Flow U.S. Gal. Min.	Steel ID 6.065"	Plastic ID 6.065"
100	.16	.07
150	.34	.16
200	.58	.28
250	.89	.42
300	1.24	.58
400	2.11	.99
500	3.19	1.5
600	4.46	2.1
700	5.93	2.79
800	7.6	3.6
900	9.44	4.46
1000	11.5	5.44
1200	16.1	7.62
1400	21.4	10.1
1600	27.4	13