

MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LA BÚSCUA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y  
DISEÑO DE UN POZO DE EXTRACCIÓN PARA LA EMPRESA TRANSVELLA,  
EN LA CIUDAD DE SOGAMOSO, BOYACA.

PRESENTADO POR:

LEIDY JOHANA CALIXTO NIÑO.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

2017



MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LA BUSQUEDA DE AGUAS SUBTERRANEAS Y  
PREDISEÑO DE UN POZO DE EXTRACCION PARA LA EMPRESA TRANSABELLA,  
EN LA CIUDAD DE SOGAMOSO, BOYACA.

PRESENTADO POR:

LEIDY JOHANA CALIXTO NIÑO.

Trabajo De Grado Para Optar Por El Título De Ingeniera Geóloga

DIRECTORA

MARIA DEL CARMEN FUENTES FUENTES  
MSC. HIDROCARBUROS, U. DE VIÑA DEL MAR, CHILE

ESP. GEOFÍSICA

ING. MECÁNICO, ISMM, CUBA

ING. GEOFÍSICO, ISPJAE, CUBA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA

SOGAMOSO

2017

NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

  
DIRECTOR DE ESCUELA

  
DIRECTOR PROYECTO

  
JURADO

  
JURADO

SOGAMOSO, OCTUBRE DE 2017

## DEDICATORIA

*El presente proyecto está dedicado primero que todo a Dios, ya que gracias a él he logrado culminar mi carrera profesional, a mis padres Carmen y Miguel por su apoyo incondicional, por sus grandes consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanas por su compañía, a mi hijo Esteban por esa fuerza que me da cada día por ser mi motor cada día, a mi esposo Javier por su apoyo, su confianza, su amor y por estar siempre ahí, a la ingeniera María del Carmen Fuentes por sus consejos, su motivación y su apoyo para la realización de este proyecto y al Ingeniero Wilson E. Naranjo por su ánimo, su apoyo y sus consejos y a la universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y docentes por compartir sus conocimientos dentro y fuera de clases haciendo posible mi formación como ingeniera Geóloga a todos Muchas Gracias.*

## TABLA DE CONTENIDO

<i>1. GENERALIDADES</i> .....	5
1.1 JUSTIFICACION.....	5
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
1.4 LOCALIZACION GEOGRAFICA.....	8
1.5. CLIMA.....	8
1.6. PRECIPITACIÓN.....	9
1.7 TEMPERATURA.....	10
1.8. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	11
1.9 CONDICIONES HIDROGRÁFICAS.....	11
1.10 ESTUDIOS ANTERIORES.....	13
<i>2. GEOLOGÍA</i> .....	<i>15</i>
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	15
2.2 GEOLOGÍA LOCAL .....	18
<i>3. ESTUDIOS GEOFÍSICOS.</i> .....	<i>21</i>
3.1 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.....	21
<i>4. NOCIONES DE PERFORACIÓN Y DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS.</i> .....	<i>28</i>
4.1 DEFINICIONES DE PERFORACIÓN DE POZOS. ....	28
4.2 NOCIONES SOBRE EL DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS. ....	52
<i>5. RESULTADOS</i> .....	<i>58</i>
5.1 RESULTADOS GEOFÍSICOS.....	58
5.2. PREDISEÑO DEL POZO.....	63
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</i> .....	<i>65</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	<i>66</i>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Principales características de las torres de perforación. _____	29
<b>Cuadro 2.</b> Materiales Y Herramientas Para La Construcción De La Torre De Perforación. _____	31
<b>Cuadro 3.</b> Material De Las Barras De Perforación Y Manija De Rotación. _____	32
<b>Cuadro 4.</b> Materiales para la construcción de las brocas. _____	33
<b>Cuadro 5.</b> Materiales para la construcción de la bomba de lodo tipo Perú. _____	36
<b>Cuadro 6.</b> Diámetros de las Perforaciones _____	39
<b>Cuadro 7.</b> Mediciones durante la prueba de bombeo. _____	42
<b>Cuadro 8.</b> Características de las fosas de lodo. _____	50
<b>Cuadro 9.</b> Actividades restringidas en los perimetros de proteccion de pozos. _____	56
<b>Cuadro 10.</b> S. E. V. – 1 _____	58
<b>Cuadro 11.</b> S. E. V. – 2 _____	59
<b>Cuadro 12.</b> S. E. V. – 3 _____	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio. ....	8
<b>Figura 2.</b> Zona de estudio, zonas climáticas.....	9
<b>Figura 3.</b> Distribucion espacial de la precipitacion media total anual. ....	10
<b>Figura 4.</b> Temperatura media del aire. ....	11
<b>Figura 5.</b> Mapa Hidrogeológico. (Anexo N°1) .....	13
<b>Figura 6.</b> Mapa geológico Regional, plancha 172. Anexo N°2 .....	17
<b>Figura 7.</b> Equipo de campo.....	22
<b>Figura 8.</b> Dispositivo de sondeo electrico vertical. ....	23
<b>Figura 9.</b> Mapa de los sitios de curva de sondeo electrico vertical.1. punto del SEV y direccion del dispositivo,2. Curvas del SEV y el valor de $p_a$ en la primera y ultima dimension de AB,3. Limites de las curvas del SEV del mismo tipo. ....	24
<b>Figura 10.</b> Curvas de SEV del corte geologico esquemático a lo largo del perfil II (de la figura 9) 1.arenas, 2. Arcillas, 3. Calizas, 4. Curvas de SEV y el valor de $p_a$ en la primera y ultima dimension del dispositivo. ....	25
<b>Figura 11.</b> Perfiles electricos y el corte sobre una elevacion del horizonte de apoyo de alta conductividad construidos según los datos de SEV, 1.isolinea de $p_a$ en $\Omega \cdot m$ .....	26
<b>Figura 12.</b> Acuífero libre.....	28
<b>Figura 13.</b> Partes de la torre de perforacion. ....	30
<b>Figura 14.</b> Barras De Perforación. ....	31

<b>Figura 15.</b> Brocas de Perforación .....	32
<b>Figura 16.</b> Bomba de lodo tipo Bolivia. ....	34
<b>Figura 17.</b> Detalles de las partes de la bomba tipo Bolivia. ....	34
<b>Figura 18.</b> Materiales para la construcción de la bomba tipo Bolivia. ....	35
<b>Figura 19.</b> Bomba de lodo tipo Perú.....	36
<b>Figura 20.</b> Movimiento de percusión: elevación y caída de las barras de perforación. ....	44
<b>Figura 21.</b> Movimiento de rotación: torsión y rotación en dos sentidos. ....	45
<b>Figura 22.</b> Sistema de perforación manual de pozos profundos. ....	48
<b>Figura 23.</b> Montaje de la torre de perforación.....	48
<b>Figura 24.</b> Tensores de la torre de perforación. ....	49
<b>Figura 25.</b> Sistema de inyección de lodo en el pozo. ....	50
<b>Figura 26.</b> Ciclo del lodo en el pozo.....	51
<b>Figura 27.</b> Localización de los sondeos SEV.....	58
<b>Figura 28.</b> Curva obtenida sondeo eléctrico vertical # 1. ....	60
<b>Figura 29.</b> Curva obtenida sondeo eléctrico vertical # 2. ....	60
<b>Figura 30.</b> Curva obtenida sondeo eléctrico vertical #3 .....	61
<b>Figura 31.</b> Corte Geológico-Geofísico SEV.....	62
<b>Figura 32.</b> Interpretación de los SEV .....	63
<b>Figura 33.</b> Prediseño del pozo para extracción de agua subterránea.....	64

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1</b> Equipo adquisición puntos de SEV. ....	27
--	----

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Mapa Hidrogeológico .....	68
<b>Anexo 2.</b> Mapa geológico regional .....	69
<b>Anexo 3.</b> Mapa geológico local .....	70
<b>Anexo 4.</b> Columna estratigráfica local .....	71
<b>Anexo 5.</b> Corte Geológico-Geofísico .....	72
<b>Anexo 6.</b> Interpretación de los SEV .....	73
<b>Anexo 7.</b> Prediseño del pozo para extracción de agua subterránea .....	74

## GLOSARIO

**ACUIFUGO:** Es una formación geológica subterránea que se caracteriza por ser impermeable, por tanto, es incapaz de absorber o transmitir agua.

**ACUITARDO:** Es una formación geológica semipermeable, que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas

**ABATIMIENTO:** Es el descenso que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando.

**ACUIFERO:** Es una formación geológica, o grupo de formaciones o parte de una formación, capaz de acumular una significativa cantidad de agua subterránea, la cual puede brotar o extraerse para su consumo.

**AGUA SUBTERRANEA:** Es parte de la precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua.

**ARTESIANO:** Es aquel tipo de pozo que se comunica con un acuífero cautivo de agua estando el nivel piezométrico por arriba del nivel freático.

**CICLO HIDROLÓGICO:** Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma: evaporación de agua del suelo, mar y aguas continentales, condensación de agua en forma de nubes.

**CONDUCTIVIDAD:** Es la capacidad de dar paso a la circulación de corriente eléctrica a través de su estructura.

**CEPIS-OPS:** EL Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Oficina regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud.

**GEOFÍSICA:** Es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Al ser una disciplina principalmente experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos

**GEOLOGÍA:** Procede de la palabra griega GEO=Tierra y GIA=Ciencia. Es la ciencia que estudia la Geosfera, es decir, estudia la parte interna y externa del globo terrestre.



**HIDROGEOLOGÍA:** Estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

**HOMOGENEO:** Dos porciones iguales de una materia cristalina con la misma orientación en el espacio, no presentan ninguna diferencia en cuanto a sus cualidades fisicoquímicas

**ISOLINEA:** Es una curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante

**NIVEL FREÁTICO:** Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

**PERMEABILIDAD:** capacidad que posee una estructura de ser atravesada por un fluido, o cualquier material sin que el mismo modifique su composición estructural, es decir, sin llegar a modificar como está constituido el material.

**POROSIDAD:** Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o de poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos.

**PERFORACIÓN:** proporcionan información acerca de la composición, espesor y extensión de las formaciones del área, así como la profundidad de la roca sana.

**PRESION HIDROSTATICA:** es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo.

**RESISTIVIMETRO:** Es usado para medir los campos de potencial

**SEV:** sondeo eléctrico vertical

**SOMERO:** Que es poco profundo o que está muy cerca de la superficie.

**TRANSMISIBILIDAD:** Es el caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, con anchura unidad y altura igual a la de la capa permeable saturada (m), bajo un gradiente hidráulico igual a uno, a una temperatura fija. El valor de la transmisibilidad es igual a la permeabilidad por el espesor del acuífero.

## RESUMEN

Las necesidades del agua en el mundo cada vez se hacen mayores ya que el mal uso del preciado líquido ha ido acabando sus fuentes naturales, ya sean superficiales o subterráneas.

El presente estudio consiste en emplear un método geofísico para la búsqueda de agua subterránea y el prediseño de un pozo de extracción para la empresa de transporte Tránsavella en el barrio Álamos del sur en la ciudad de Sogamoso y comienza recopilándose información tanto geológica, geofísica e hidrogeológica del lugar; a partir de ello se busca información detallada con visita a campo e investigaciones acerca de la zona correspondiente al tema.

Geológicamente el área de estudio se encuentra ubicada sobre un cuaternario fluviolacustre y se caracteriza por tener capas arcillosas amarillas y azulosas con intercalaciones de arenas finas y limos, también con una pequeña presencia de conglomerados. En el estudio se aplica el sondeo eléctrico vertical y se interpretan 3 de los mismos, con el parámetro de resistividad aparente y dando así una viabilidad de ubicar un pozo profundo para la extracción de agua subterránea en dicho sector.

Se propone el prediseño de un pozo para extraer el agua subterránea en la empresa TránsAvella en la ciudad de Sogamoso, en el cual se muestran todas las especificaciones y dimensiones para llevar a cabo su construcción y funcionamiento.

Con lo anterior, se determina la realización de tres sondeos eléctricos verticales, los cuales se correlacionaron y se interpretaron con la geología de la zona, con el gran objetivo de encontrar la información geológica a profundidad y la posibilidad de diseñar un pozo para la extracción de agua de la empresa TránsAvella S. A.

## ABSTRACT

The needs of water in the world are becoming greater as the misuse of the precious liquid has been ending its natural sources, whether surface or underground.

The present study consists of using a geophysical method for the search of groundwater and the pre-design of an extraction well for the Tránsavella transport company in the Alamos del sur neighborhood in the city of Sogamoso and begins to collect information on geological, geophysical and hydrogeological aspects of the place; From this, detailed information is sought with a field visit and research about the area corresponding to the subject.

Geologically the study area is located on a fluviolacustrine quaternary and is characterized by having yellow and bluish clay layers with intercalations of fine sands and silts, also with a small presence of conglomerates. In the study vertical electric sounding is applied and 3 of them are interpreted, with the parameter of apparent resistivity and thus giving a viability to locate a deep well for the extraction of groundwater in said sector.

The pre-design of a well to extract the groundwater is proposed in the company TránsAvella in the city of Sogamoso, in which all the specifications and dimensions to carry out its construction and operation are shown.

With the above, it is determined the realization of three vertical electric probes, which were correlated and interpreted with the geology of the area, with the great objective of finding the geological information in depth and the possibility of designing a well for the extraction of water from the company TránsAvella SA

## INTRODUCCION

La prospección geofísica es a primera vista, un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles como el petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, entre otros. Como también la orientación de excavaciones arqueológicas, detección de galerías subterráneas, etc.

La búsqueda de aguas subterráneas es una de las actividades más importante dentro de las ciencias de la tierra y es la meta principal y en el que se basa este proyecto. Este se realiza en la zona sur occidental de la ciudad de Sogamoso- Boyacá, una zona que se encuentra en un cuaternario fluvio-lacustre lo cual indica que es una buena zona a futuro para realizar un pozo de extracción de agua para la empresa TránsAvella y así cumplir con el objetivo de este proyecto, se realizaron estudios correspondientes a la geología superficial, geofísica, estudio de las resistividades aparentes de las rocas en profundidad y de esta manera llegar a tener los conceptos e información necesaria para llevarlo a cabo.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 JUSTIFICACION

La disponibilidad de recursos hídricos a nivel mundial es una fuente de vida y el ser humano durante épocas ha venido aplicando distintos métodos para obtener este recurso tan precioso, para ello valiéndose de equipos y de tecnología que son cada vez más desarrollados, estos hacen que faciliten la exploración y la explotación del mismo para satisfacer las diferentes necesidades del ser humano y así llegar a tener una mejor calidad de vida.

En los últimos tiempos, la explotación de recursos hídricos subterráneos, se ha convertido en una buena alternativa para proveer necesidades de abastecimiento de agua potable en muchas regiones del país.






La elaboración de este proyecto responde a la necesidad de prediseñar un pozo para extraer agua subterránea, para uso de la empresa TránsAvella por medio del método geofísico Sondeo eléctrico vertical (SEV).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el método geofísico para la búsqueda de agua subterránea en la carrera 27 N° 3-45 Sur en la ciudad de Sogamoso-Boyacá el cual se realizara su geología, estratigrafía e hidrología y pre diseñar un pozo de extracción para la empresa de transporte TránsAvella.

### 1.2.2 Objetivos Específicos.

-  Obtener, Recopilar, evaluar y verificar la información geológica e hidrogeológica existente en la zona de estudio.
-  Realizar Prospección geofísica (Sondeos Eléctricos Verticales) para evaluar las condiciones hidrogeológicas de la zona y consolidar la información obtenida con antelación a este objetivo.
-  Evaluar el comportamiento de la resistividad aparente de las formaciones geológicas encontradas en el lugar.
-  Realizar el pre-diseño de un pozo para la posible extracción del agua subterránea.
-  Realizar informe final

## **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.3.1. Alcances**

El área de estudio se encuentra ubicado en la carrera 27 N° 3-45 sur en el barrio Álamos del Sur en la ciudad de Sogamoso con coordenadas (X= 1'125.276.231; Y= 1'123.235.742) en el presente se realizara el respectivo estudio mediante el método geofísico SEV para la extracción de agua subterránea para la empresa TránsAvella en el cual se realizara su geología, estratigrafía e hidrología y pre-diseño de un pozo con sus respectivos análisis para así evaluar dicho problema.

### **1.3.2. Limitaciones**

Las limitantes que se podrían presentar en el desarrollo del proyecto serían las siguientes.

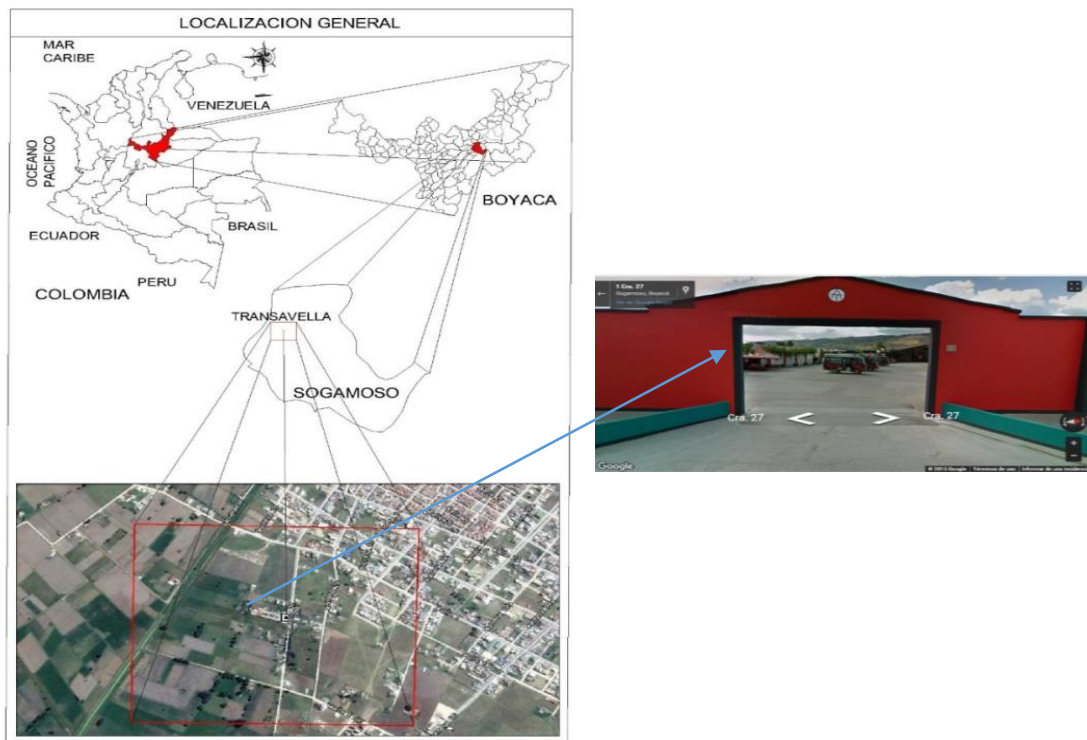
El factor climático que pueda llegar a presentarse en la zona de estudio que dificulte el trabajo de campo.

Errores que se presenten en la toma de datos.

## 1.4 LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio se encuentra localizada en la carrera 27 N 3-45 sur Barrio Alamos del Sur en la ciudad de Sogamoso con coordenadas (X= 1°125.276.231; Y= 1°123.235.742).

El municipio de Sogamoso está localizado en el centro oriente del departamento de Boyacá en la república de Colombia, enclavada sobre la cordillera oriental colombiana, tiene una altitud de 2600mts sobre el nivel del mar, limita al norte con el municipio de Nobsa y Topaga, al oriente con Topaga, Monguí y Aquitania, al sur con los municipios de Aquitania, Cuitiva e iza y al occidente con los municipios de Tibasosa, Firavitoba e iza, presenta una temperatura promedio de 17°C, su distancia de referencia es de Bogotá 210Km y 80Km de Tunja.<sup>1</sup>



**Figura 1.** Localización del área de estudio.  
**Fuente:** Autor.

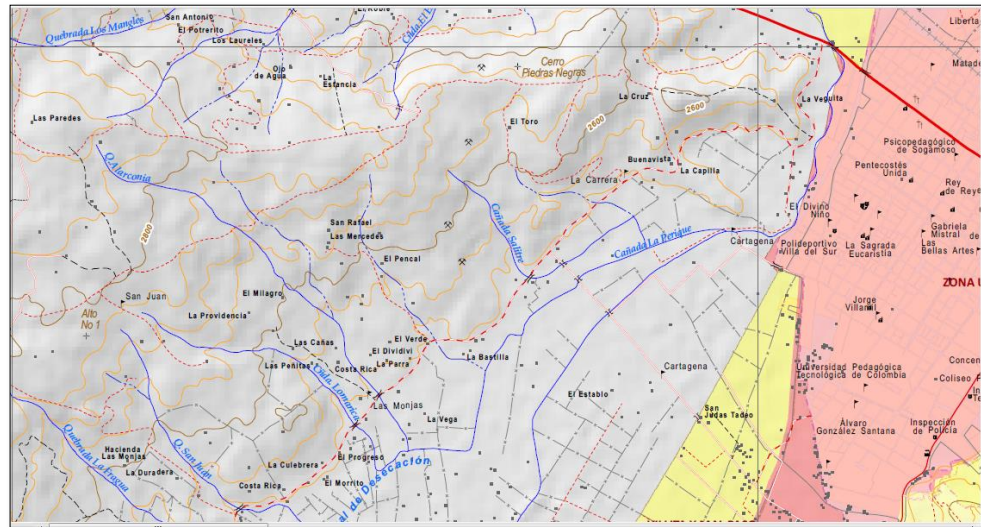
---

<sup>1</sup><http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/BOYACA/MUNICIPIOS/SOGAMOSO/SOGAMOSO.htm>



## 1.5. CLIMA.

Por su ubicación tropical y altitudinal, Sogamoso tiene un clima templado cuyo promedio es de 17 °C, este goza del ciclo diario de las cuatro estaciones anuales, entre las seis de la mañana y el medio día, las características climáticas semejan la primavera; del medio día hasta las cinco de la tarde el verano, de esa hora hasta las diez u once, la temperatura es otoñal. La temperatura invernal alcanza su punto más bajo alrededor de las tres de la mañana, llegando, incluso a cero grados centígrados o menos.

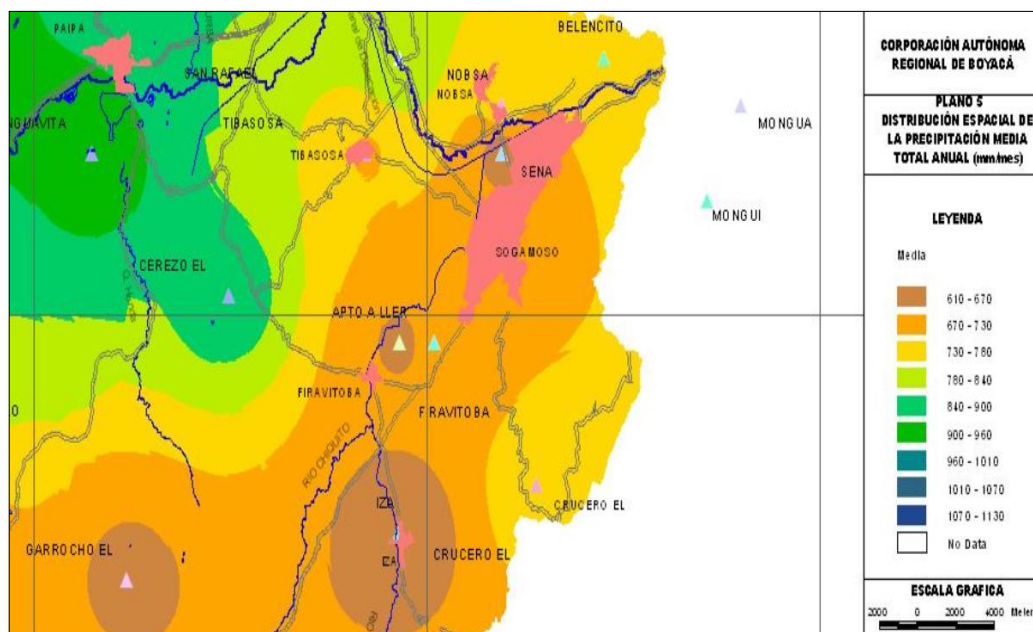


**Figura 2.** Zona de estudio, zonas climáticas.

**Fuente:** Oficina del IGAC.

## 1.6. PRECIPITACIÓN.

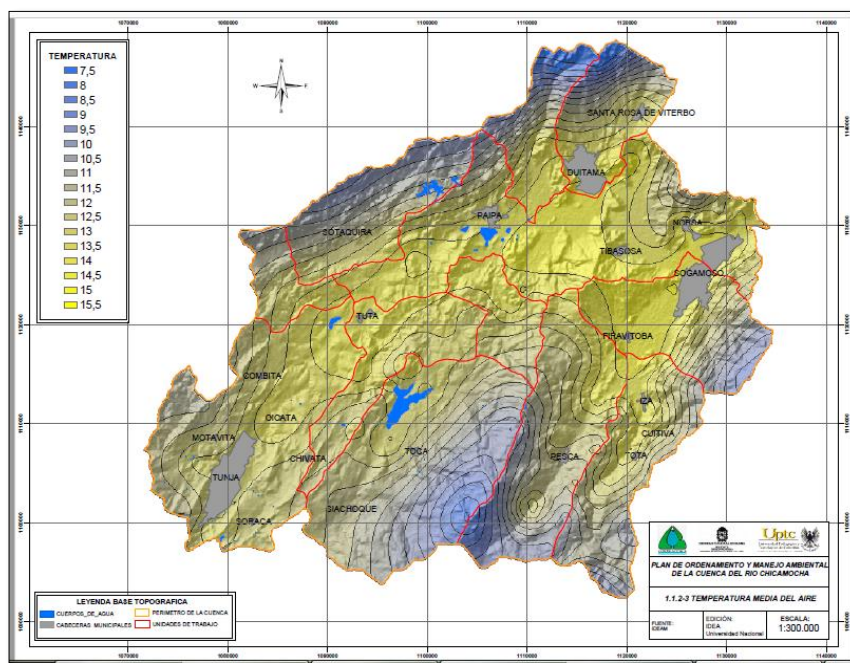
La precipitación en el municipio de Sogamoso es de tipo bimodal con un descenso considerable en los meses de Junio a Agosto. La primera temporada lluviosa comienza en Marzo y se extiende hasta Mayo, siendo más prolongada y homogénea con valores que oscilan entre los 60mm y 120 mm, y la segunda empieza en Septiembre y se extiende hasta el mes de Noviembre con registros que varían entre 60mm y 100mm. Los periodos secos van desde Junio a Agosto y desde Diciembre hasta Febrero y se caracterizan por una disminución muy pronunciada de la precipitación, teniendo el mes de Enero como el más seco con valores que no superan los 30mm. Hacia el centro del municipio los totales anuales fluctúan entre 900mm y 1.100mm.



**Figura 3.** Distribución espacial de la precipitación media total anual.  
**Fuente:** Corporación autónoma regional de Boyacá (CorpoBoyacá).

### 1.7 TEMPERATURA.

La temperatura del valle de Sogamoso varía entre 13.7°C y 17°C; los meses de Junio y Agosto representan los valores más bajos, Abril y Noviembre los más altos. Las temperaturas máximas presentan poca variación durante el año y por lo general se manifiestan entre 22.4°C y 24.9°C. Las temperaturas mínimas oscilan entre los 3.2°C y 6.4°C para el sector Norte, hacia el sector oriental del municipio las temperaturas mínimas alcanzan a estar por debajo de 0°C, básicamente en el periodo seco del mes de Diciembre.



**Figura 4.** Temperatura media del aire.  
**Fuente:** Corporación autónoma regional de Boyacá (CorpoBoyacá).

## 1.8. EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Esta se define como la pérdida de agua de un terreno totalmente cubierto por vegetación o cultivo verde de poca altura, por evaporación del suelo y transpiración de las plantas sin que exista limitación de agua. La evaporación media anual es de 1.200 mm. Caracteriza a la región de acuerdo a la cantidad de agua que se va para la atmósfera y depende de factores como la precipitación y la temperatura. Los periodos húmedos poseen los valores más bajos de precipitación y el periodo seco el más alto.

## 1.9 CONDICIONES HIDROGRÁFICAS.

El sistema hídrico que se encuentra dentro del municipio hace parte de dos grandes cuencas; la del río Magdalena y la del río Orinoco, ya que se encuentra en la divisoria de la cordillera oriental, a continuación, se realiza una descripción de las corrientes.

**Río Mónquirá:** es la cuenca más importante del municipio, todas las corrientes que lo conforman nacen entre la loma de Peña Negra, el Alto y el Toldo por encima de los 3.400 m.s.n.m. tiene un recorrido relativamente corto de Sur a Norte. Presenta como afluentes principales las quebradas; Honda, el Hatillo, el Vino y la Chorrera, además de otras corrientes menores; finalmente y luego de pasar por el área urbana de Sogamoso entrega sus aguas al río Chicamocha.

**Río Chiquito:** El área que ocupa dentro del municipio de Sogamoso es pequeña, debido a que esta corriente recorre el Municipio en una corta longitud al occidente con dirección sur – norte hasta desembocar en el río Chicamocha.

**Quebrada Las Torres:** Corriente a la cual llegan los vertimientos de la mayoría de las explotaciones de carbón del área de Morcá. De igual forma se ubica como una de las corrientes más importantes dentro del municipio de Sogamoso. Tiene un recorrido aproximado de 6 kilómetros de oriente a occidente.

**Quebrada Honda:** Corriente pequeña ubicada al norte del Municipio con recorrido de oriente a occidente; tiene aproximadamente 3 kilómetros de longitud hasta su desembocadura en el río Chicamocha.

**Quebrada Pedregal:** Esta corriente pequeña nace en la Loma de Piedrehierro al suroriente del Municipio, presentando un recorrido de oriente a noroccidente hasta su desembocadura en el río Chiquito. Presenta como afluentes importantes la quebrada El Hoyo, además de otras corrientes menores.

**Río Cusiana:** En su conjunto esta cuenca tiene gran importancia debido a que se identifica como el nacimiento de uno de los afluentes más notables del río Meta en los Llanos Orientales.

Las corrientes más importantes afluentes del río Cusiana son:

Quebrada Iglesia.

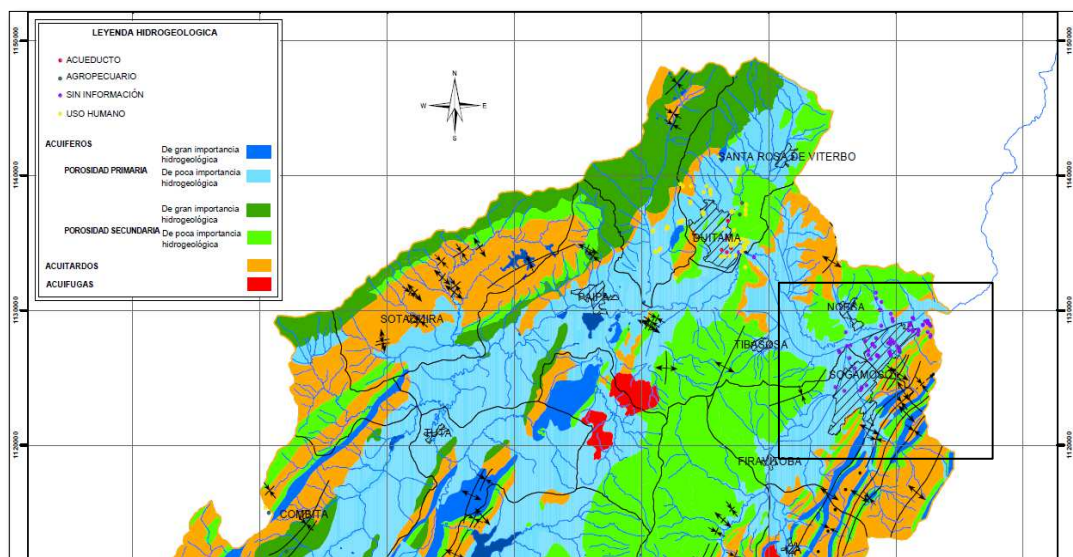
Quebrada Las Cañas.

Quebrada Melgarejo.

Dichas quebradas tienen su nacimiento en el páramo a la altura de las cuchillas de Sorlano, El Temblador y Cerro El Salitre. El nacimiento de la quebrada Iglesia se da en la Laguna Siscunsi, aproximadamente a los 3.800 msnm.

**Quebrada Hato Laguna:** El municipio de Sogamoso aporta agua mediante la quebrada Las Cintas, la cual nace en el alto de Melgarejo con un recorrido de norte a sur hasta entregar sus aguas al Lago de Tota.

Las quebradas Llanito, Hato Laguna y Carerón son afluentes de la Laguna de Tota que a su vez es el punto de partida del Río Upía.




**Figura 5.** Mapa Hidrogeológico. (Anexo N°1)  
**Fuente:** Corporación autónoma regional de Boyacá (CorpoBoyacá).


### 1.9.1 Balance Hídrico.

El balance hídrico del municipio de Sogamoso se determinó para establecer las condiciones climáticas del mismo, los balances hídricos muestran que el municipio registra exceso de agua durante la mayor parte del año. Hacia la parte occidental del municipio presenta condiciones de humedad más que todo en los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre con un total anual de 195 y 208mm anuales. Los déficits son muy bajos y tan solo se presentan en los primeros meses del año, sin llegar a superar los 20 mm.

### 1.10 ESTUDIOS ANTERIORES

- 🏛️ Aplicación de métodos geofísicos de pozos para la búsqueda de agua subterránea en el municipio de Tauramena. Raúl Cardozo, Sorlenys Padilla Jiménez.
- 🏛️ Estudio hidrogeológico y prediseño de un pozo para extracción de agua subterránea en el área de la UPTC Sogamoso. Marta Liliana Gil Padilla, Ana María Rodríguez López.
- 🏛️ Exploración Geológico Geofísica para ubicación de un pozo profundo de aguas subterráneas, finca la esperanza vereda san Onofre Combita- Boyacá. Diana Catalina Patiño Padilla, Yeimy Viviana Ramírez Martínez.
- 🏛️ Exploración y captación de agua subterránea por medio de la perforación de un pozo profundo en la finca villa valen municipio de Sabana larga, Atlantico, Colombia. Angielly Kathryn Blanco Piña, Álvaro Arley Cardona Gutiérrez.

 Investigación Geológico Geofísica para ubicación y prediseño de un pozo de aguas subterráneas en la vereda Reyes Patria, sector el Bujio en el municipio de Corrales Boyacá. Álvaro Javier Escobar del Toro y Franchelys Jiménez Rodríguez.

 Prediseño y evaluación hidrogeológica del pozo de agua subterránea Colconcretos s.a, vereda Pirgua, municipio de Tunja Boyacá. Luz Astrid Fernández Silva y Jairo Antonio Caro Barrera.

## 2. GEOLOGÍA

### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Geológicamente el valle de Sogamoso forma parte de la cobertura plegada constituida por la serie Neo cretácica-Terciaria. Se ubica al oriente de la falla de Soapaga, que es la principal dislocación de la región, que separa dos zonas con estilo morfo estructural muy diferente; pone en contacto sedimentos terciarios con rocas del Jurásico y en algunos sitios con rocas más antiguas. Las rocas aflorantes en esta zona comprenden edades que abarcan desde el Jurásico que es la zona occidental del municipio sector las Monjas, hasta el Terciario y diversos tipos de depósitos cuaternarios que más adelante se relacionan, en el municipio de Sogamoso, afloran rocas de tipo sedimentario, que se disponen en franjas más o menos paralelas con una dirección SW-NE. La principal estructura es el anticlinal de Chicamocha que es tectónicamente una zona muy compleja debido al intenso fallamiento que este presenta.

#### 2.1.1 Depósitos cuaternarios (Q).

Comprende materiales de origen coluvial, coluvio glaciar, aluvial antiguo, fluvio lacustre, glaciar, aluvial reciente suelos de alteración y mixtos. Se encuentran discordantemente sobre las rocas de las Formaciones infrayacentes y constituyen las áreas donde se concentra las principales actividades humanas. Dentro de estos depósitos encontramos:

**2.1.1.1 Depósitos coluviales (Qc).** Están compuestos principalmente por grandes fragmentos de rocas de areniscas dentro de una matriz arcillo - arenosa, color pardo amarillenta que incluye depósitos de talus, derrubios y material de movimientos en masa. Son abundantes a lo largo de la margen oriental del valle de Sogamoso en la base de los escarpes rocosos de las Formaciones arenosas Picacho, Socha Inferior y los niveles arenosos de la Formación Ermitaño. En muchos casos son terrenos mixtos coluviales con morrenicos o con aluviales por sucesivos deslizamientos de masas.

Este depósito se puede considerar hidrogeológicamente como un acuífugo.

**2.1.3 Depósitos coluvio - glaciares (Qcg).** Están constituidos por grandes bloques de areniscas, distribuidos en superficie de manera errática y embebidos dentro de una matriz arcillo - limosa color amarilla y marrón, son el reflejo de antiguos flujos torrenciales y de movimientos en masa, se encuentran dispuestos a lo largo de los cursos de aguas principales como son el río Mónquirá, y quebrada Las Cañas. Hidrogeológicamente esta formación se puede considerar como un acuífugo.

**2.1.4 Depósitos aluviales antiguos (Qpv).** Son depósitos constituidos por conglomerados aluviales de gran espesor que pueden observarse en varios sitios de la región pero se concentran únicamente



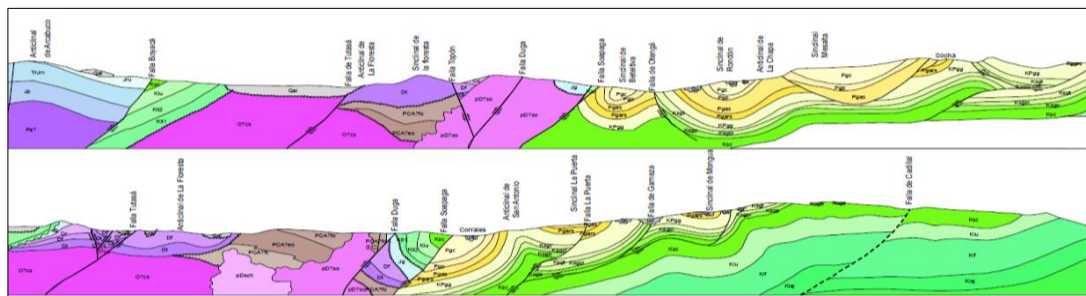
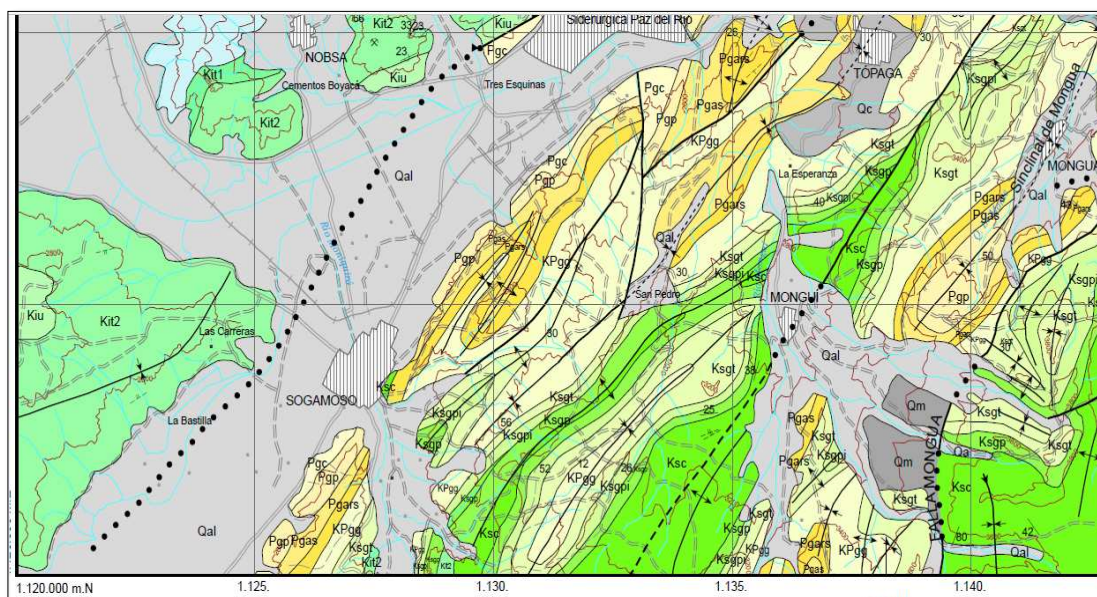
en la parte plana del valle. Al occidente de Sogamoso (El Cerrito) el conglomerado presenta elementos de dimensiones variables pero con mayor frecuencia entre 0.20 y 0.35 m. Los cantos son exclusivamente de areniscas provenientes de las Formaciones cretáceas. Estos depósitos son probablemente los terrenos post-andinos más antiguos de la región; el hecho de estar constituidos de material proveniente de areniscas indica que los conglomerados se acumularon al quedar expuesta una extensa área de las Formaciones cretáceas, fenómeno debido tal vez a un “destape” tectónico; estos depósitos debieron rellenar el fondo de las grandes cuencas por lo que es posible que actualmente cubran el fondo de los grandes valles. Este depósito presenta características hidrogeológicas de acuítardo.

**2.1.5 Depósitos Fluvio lacustres (Qpl).** Corresponde principalmente a la zona plana del valle de Sogamoso, cuya evolución ha sido bastante compleja, donde periodos de desecación alternaron con largos periodos lacustres ligados a la situación de barrera natural que representaba el agua y al grado de colmatación de las cuencas. La parte superior de los sedimentos lacustres se puede observar en el sector terminal del valle de Sogamoso, donde la acción erosiva del río Chicamocha la ha puesto al descubierto, predominando la presencia de capas arcillosas amarillas y azulosas con intercalaciones de capas de arenas finas y limos; en las exploraciones del valle se han encontrado también la presencia de conglomerados lo cual indica variaciones en el régimen de sedimentación y alternancia de periodos lacustres y fluviales. La profundidad del depósito es muy variable. Las características hidrogeológicas de este depósito son de acuítardo .

**2.1.6 Depósitos glaciales (Qg).** Depósitos típicos de acarreo glacial cubren extensos sectores por encima de los 3200 msnm, generalmente se componen de grandes bloques de areniscas hasta de 20 m<sup>3</sup> contenidos en arcillas limosas grises y amarillas, estos depósitos se encuentran en muchos casos en cotas más bajas por efecto de sucesivos deslizamientos.

Esto conduce además, a encontrar depósitos mixtos. Se encuentran abundantes depósitos de este tipo en el área de las veredas 2ª Chorrera, Pilar - Ceibita y Mortiñal, así como en la base de los escarpes de Peñas Barrancas y la loma Peña Negra. Este tipo de depósitos se considera como acuítardo.<sup>2</sup>





**Figura 6.** Mapa geológico Regional, plancha 172. Anexo N°2  
Fuente: Ingeominas.

<sup>2</sup> Plan de ordenamiento territorial Sogamoso 2016 DIMENSION FISICO BIOTICA

## **2.2 GEOLOGÍA LOCAL.**

El área de estudio geológicamente se emplaza sobre un cuaternario fluvio lacustre predomina la presencia de capas arcillosas amarillas y azulosas con intercalaciones de capas de arenas fina, limos y conglomerados lo cual indica variaciones en el régimen de sedimentación y alternancia de periodos lacustres y fluviales. La profundidad del depósito es muy variable. Las características hidrogeológicas de este depósito son de acuítardo. (Ver mapa anexo N°3)

### **2.2.1 Estratigrafía.**

#### **2.2.1.1 Cretáceo.**

 Formación Guaduas (Ksg).

Se compone de dos conjuntos litológicos, el inferior consta esencialmente de arcillolitas grises con intercalaciones de limolitas y areniscas grises y blancas de grano medio a fino. El espesor de este conjunto alcanza los 190 metros de espesor y es conocido como Guaduas estéril. El superior está constituido por una serie de continuas intercalaciones de limolitas, lutitas grises, areniscas y ocasionales mantos de carbón explotables económicamente (alrededor de 8 mantos con espesor de que varían ampliamente desde 0.8 a 2.2 metros presentando continuos adelgazamiento y engrosamientos). Las areniscas de este conjunto son en su mayoría grises, de grano medio y aspecto lajoso, este conjunto presenta un espesor de unos 220 metros. Las rocas de la Formación Guaduas se encuentran en el flanco occidental de un anticlinal extenso buzante y cortado tanto transversal (sector de la Pirámide y Quebrada el Hatillo) como longitudinalmente por varias fallas locales y regionales creando una gran perturbación y formación de bloques que cortan la continuidad de las diferentes Formaciones Geológicas, con unas pendientes altas hacia el centro del valle lo que no favorece la creación de suelo ni la depositación del mismo en él. Hacia la parte alta del flanco, la Pendiente se suaviza y su composición facilita la creación de amplios suelos de alteración a veces ricos en materia orgánica. Su composición es típicamente arcillolíticas, con locales niveles de areniscas en estratificación media y mantos de carbón; los terrenos donde aflora esta Formación presentan actividad humana, dado que se explotan los recursos de carbón que se encuentra estratificado dentro de las capas de la misma.

 Formación Ermitaño. (Kse).

Se encuentra infrayaciendo a la Formación Guaduas, se compone de tres miembros así; Miembro inferior, se compone de liditas y chert negro con alternancia de arcillolitas grises fisibles, limolitas silíceas, delgadas capas fosfóricas y areniscas calcáreas grises hacia el techo; su espesor es de unos 250 metros, comprende la mayor parte del Coniaciano. Miembro medio, consta esencialmente de arcillolitas grises fisibles con aproximadamente 200 metros de espesor y ocasionales zonas arenosas

de poco espesor. La parte superior de este miembro presenta un banco de lutitas de 20 metros de espesor, su edad alcanza el Campaniano y topográficamente se caracteriza por dar pendientes suaves, en contraste con las areniscas del miembro superior. Este miembro presenta un espesor de unos 160 metros consta de un banco de areniscas blancas de grano medio a fino muy compactas con arcillolitas calcáreas; el techo de la Formación lo constituyen bancos de areniscas grises, duras, cuarzosas con bancos de lumaquelas y alto contenido de glauconita. La presencia de fósiles de fauna típica en toda la sección indica un origen marino.

#### Formación Conejo (Kscn).

Se encuentra formando crestas intercaladas con niveles de lutitas grises que constituyen topografías suaves (valles), hacia la parte inferior hay predominio de arcillolitas gris y ocre que alternan con capas delgadas de arenisca cuarzosa de color blanco y grano fino, lutitas grises y arcillolitas compactas y fosilíferas. La Formación Conejo constituye parte del núcleo de los anticlinales de los Pozos Hato Viejo y en general ocupa las zonas de mayor altitud existente en el área.

#### Formación Churuvita (Ksch).

Esta Formación consta de una arenisca basal, por una alternancia en la parte intermedia de arcillolitas, areniscas y calizas con presencia de ostras, y por una parte superior de areniscas y calizas. El conjunto supra yacente se le ha llamado Formación San Rafael formado por Shales grises en la parte superior y capitas limolíticas síliceas en la parte superior. Una parte de la Formación está cubierta por un depósito Cuaternario en el sector de El Crucero y en cercanías de Llano Alarcón, está afectada por la falla de Costa Rica.

### **2.2.1.2 Terciario.**

#### Formación Socha Inferior (Tpsi).

La constituye en la base, un banco de areniscas pardas de grano grueso a medio, masivas de unos 16 metros de espesor, suprayaciendola una sucesión de arcillolitas grises y pequeños bancos de areniscas blancas de grano medio, en la parte media se observa un conjunto de arcillolitas grises verdosas y rojizas en estratificación delgada. La parte superior la constituye una arenisca de color blanco rojizo y pardo de grano variable con marcada estratificación cruzada y gradada, presenta intercalaciones de arcillolitas verdosas. La Formación se originó probablemente en Facies de estuario con episodios lagunares en la parte inferior.

#### Formación Socha superior (Tps).

Su composición es predominantemente arcillolítica de colores gris verdosas y pardo amarillentas con bancos de areniscas intercaladas, y cintas de carbón. Por su composición, geomorfológicamente la

Formación Socha Superior se manifiesta dando superficies suaves onduladas. La edad asignada a esta Formación es Terciario Paleoceno.

#### Formación Picacho (Tep).

Está compuesta por areniscas de color blanco, a veces conglomeráticas con guijas y guijarros en la base; es común encontrar estratificación cruzada y gradada bien diferenciada, presenta localmente niveles de arcillolitas laminadas, y suprayace concordantemente sobre la Formación Socha Superior. Se divide en dos conjuntos litológicos así: El inferior constituido por areniscas blancas y amarillas, porosas, de grano medio a grueso, masivas, friables y a menudo conglomeráticas, son frecuentes las zonas impregnadas de asfalto, además presenta estratificación cruzada sobre todo en la base y gradada en la parte media, son comunes los niveles de guijas de cuarzo, El miembro Inferior de la Formación se aprecia bordeando el valle de Sogamoso donde se lleva a cabo una intensa actividad extractiva para el suministro de materiales de construcción a la región.

#### Formación Concentración (Toc).

La formación consta de dos miembros: el miembro Inferior que está constituido por intercalaciones de arenisca de grano fino, bancos de mineral de hierro oolítico de color rojizo, arcillolitas fisibles, negruzcas, gris-verdosas y arcillas arenosas blancas, plásticas. El conjunto superior consta principalmente de arcillolitas grises, con constantes intercalaciones de bancos de arenisca de grano medio y presencia de niveles conglomeráticos.

La formación se puede apreciar sobre una pequeña quebrada a 300 m, al este de la carretera que va desde la escuela el Porvenir hasta la explotación de Matayeguas.<sup>3</sup> (ver anexo N°4)

---

<sup>3</sup> Plan de ordenamiento territorial Sogamoso 2016 DIMENSION FISICO BIOTICA.

### 3. ESTUDIOS GEOFÍSICOS.

#### 3.1 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.

Este método consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica y ver las características como su grado de saturación y la calidad del agua que almacenan estos materiales y por lo tanto darán mayor precisión en la elección del sitio perforado.

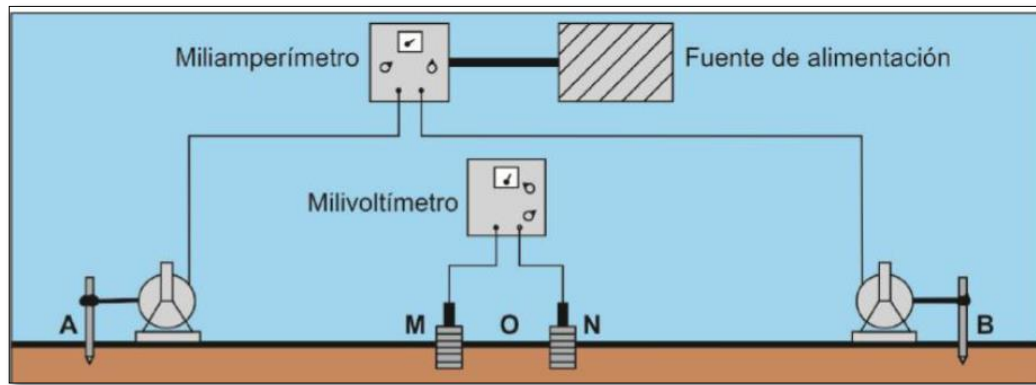
Habrán dos categorías de métodos, los de corrientes artificiales y los de corrientes naturales. A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en los de corriente continua y los de corriente alterna. Para este caso se aplica el método SEV que se realiza con corriente artificial, dichas corrientes son provistas por generadores tipo baterías o por pequeños motores a combustión, que convierten la rotación en una corriente continua o alterna. Las corrientes naturales continuas tienen su origen en el fenómeno químico de oxidación-reducción y las alternas en la oscilación del campo magnético de la tierra; el método geoelectrico es probablemente el más utilizado para las investigaciones a poca profundidad y muy especialmente para la búsqueda de reservorios de agua.

El equipo de campo más usado está diseñado para corrientes continuas artificiales. La corriente generada por una batería se transmite a través de cables aislados dispuestos sobre el suelo, y en sus extremos se conectan a electrodos (varillas de cobre o acero) que se clavan para cerrar el circuito eléctrico. Con otros dos electrodos independientes se mide la tensión resultante a través de un voltímetro.

Los estudios regionales además de estas etapas incluyen la realización de balances hídricos, el conocimiento de las propiedades hidráulicas mediante la interpretación de pruebas de bombeo (transmisibilidad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento), las características hidrogeoquímicas y de la calidad de agua para consumo o para otros usos, la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los acuíferos a la contaminación, entre otros.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>ESTRADA, LUIS A, geofísica-FACET-UNT-prospección Geoelectrica para ingenieros. Tucuman, Argentina 2012



**Figura 7.** Equipo de campo.  
**Fuente:** Estrada. L. 2012.

### 3.1.1 Esencia fundamentos físicos y geológicos.

La exploración eléctrica es uno de los métodos geofísicos principales para el estudio de la constitución geológica de la corteza terrestre, los métodos eléctricos se ocupan del estudio de los campos electromagnéticos naturales de la tierra y provocados artificialmente, la aplicación de este método se basa en las propiedades físicas que presentan las rocas y que determinan la distribución de los elementos del campo electromagnético.

El objetivo de la exploración eléctrica es hallar las anomalías provocadas por las rocas y estructuras, la resistividad es una de las propiedades físicas de las rocas más importantes; los métodos eléctricos de prospección se utilizan en el complejo de los métodos geológico-geofísicos para la solución de diferentes tareas geológicas, esta constituye prácticamente uno de los métodos principales en la exploración de yacimientos minerales metálicos y no metálicos, así como en el mapeo geológico, se usa también en los estudios geólogo-estructurales, en las investigaciones hidrogeológicas e ingeniería geológica etc.

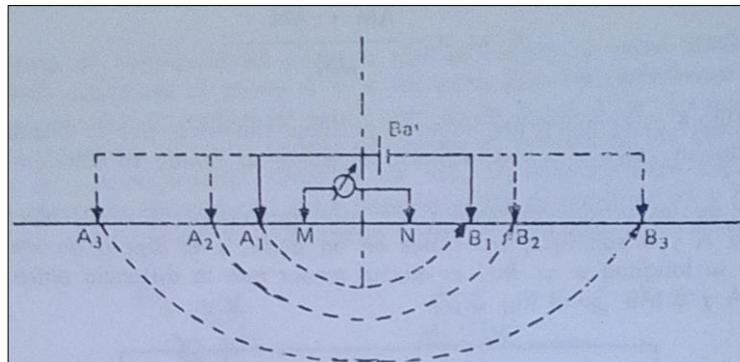
La esencia del método de resistividad consiste en la medición de la intensidad de la corriente  $I$  que se hace pasar por la tierra a través de electrodos de alimentación A y B y de la diferencia de potenciales  $\Delta U$  entre otros dos electrodos M y N (de medición) colocados en la superficie terrestre.

### 3.1.2 Metodología de los trabajos de campo

Las mediciones de campo con el dispositivo simétrico consisten en medir repetidas veces  $Q_n$  en un punto para diferentes distancias entre los electrodos de alimentación.

Al aumentar la distancia entre los electrodos de alimentación disminuye también el valor de  $\Delta U_{MN}$  entre los electrodos de medición, por lo que después de un cierto valor de  $AB/2$  es necesario aumentar la distancia entre los electrodos de medición, de tal forma, que la relación  $MN/AB=1/3$  al

variar las distancias entre M y N, luego la curva del sondeo eléctrico vertical habitualmente presenta la siguiente forma.



**Figura 8.** Dispositivo de sondeo eléctrico vertical.

**Fuente:** Libro de Geofísica I.

**Autor.** Orestes Montes

Los valores de  $Q_n$  obtenidos con una longitud de  $AB/2$  en diferentes MN coinciden solamente en el caso del sondeo sobre un medio homogéneo. Las diferencias de  $Q_n$  se deben a la no homogeneidad del corte y a los errores de las mediciones.

### 3.1.3 Elaboración, representación e interpretación de los datos.

El objetivo principal de la interpretación de las curvas del sondeo eléctrico vertical es la construcción del corte geoelectrico del área estudiada. Para ello sobre la base de las curvas del SEV se determinan los espesores y las resistividades de las diferentes capas que componen el corte estudiado. La interpretación geológica del corte geoelectrico se basa en los conocimientos generales acerca de la geología de la región y en propiedades eléctricas de las rocas de esta. En la interpretación del SEV se utiliza ampliamente la *noción del horizonte eléctrico de apoyo* que representa un horizonte bien diferenciado por su resistividad y potencia y se manifiesta claramente en las curvas de SEV. Estudiando mediante la interpretación del SEV el comportamiento de tal horizonte es posible hacer las conclusiones acerca de las particularidades del corte estudiado.

Entre las rocas sedimentarias como un buen horizonte de apoyo se puede considerar las arcillas por su baja resistividad y su firmeza facial. Entre las rocas carbonatadas sirven los horizontes de yeso, de anhidrita y también los horizontes en las calizas macizas.

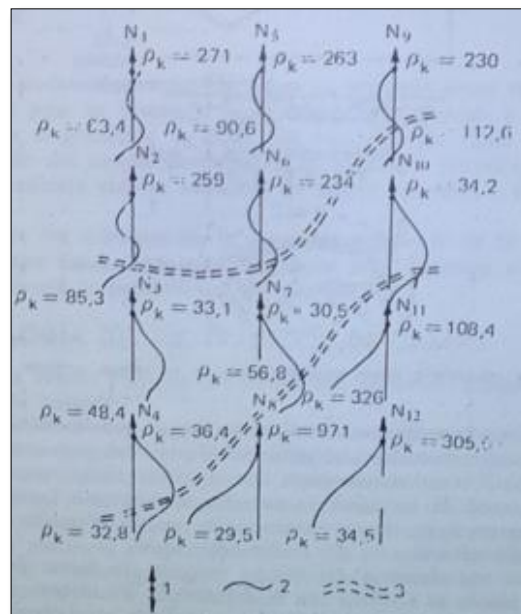
La interpretación cualitativa de las curvas de SEV permite dar una idea general sobre la composición geológica del área estudiada, caracterizar cualitativamente el comportamiento del horizonte de apoyo así como escoger las estructuras de interés práctico y caracterizar cualitativamente los cambios faciales



de diferentes horizontes como por ejemplo delimitar las zonas de fisuración, las áreas caracterizadas por el aumento de la fracción arenosa.

Según la distribución del tipo de curva del SEV en el área es posible que se obtenga, una idea general sobre el corte geoelectrico, en cada punto de medición se dibuja en una escala pequeña, el SEV correspondiente o se señala por un signo convencional.

Después de delimitan las áreas de los SEV del mismo tipo y basándose en los conocimientos geológicos y de las propiedades físicas de las rocas de busca la relación entre la composición geológica de las áreas delimitadas y el tipo de curvas del SEV obtenidas en ellas, de esta manera el mapa de los tipos de curva tiene un sentido geológico concreto.



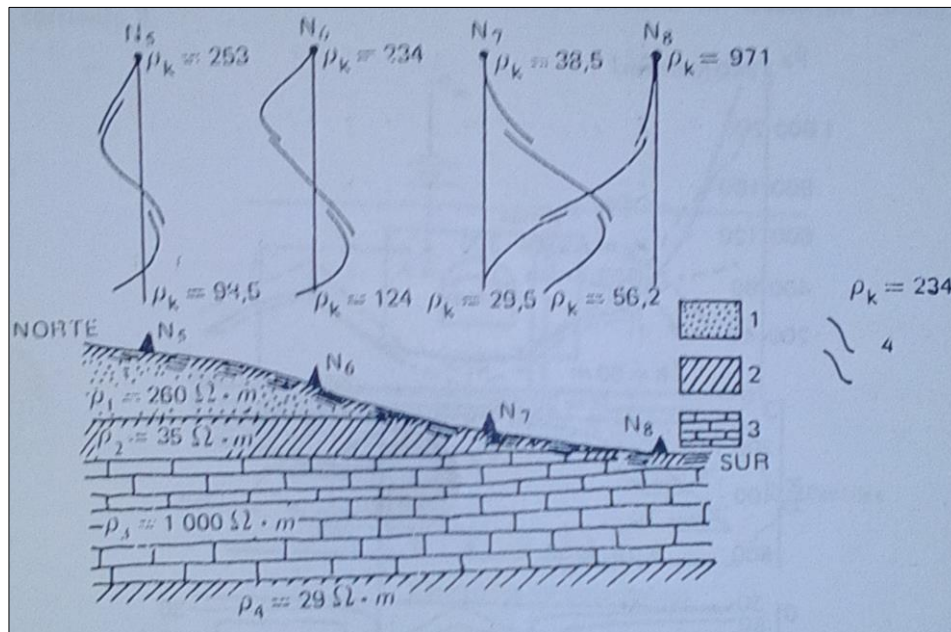
**Figura 9.** Mapa de los sitios de curva de sondeo electrico vertical.1. punto del SEV y direccion del dispositivo,2. Curvas del SEV y el valor de  $\rho_a$  en la primera y ultima dimension de AB,3. Limites de las curvas del SEV del mismo tipo.

**Fuente:** Libro de Geofisica I.

**Autor.** Orestes Montes

En la figura 9 Se presenta el mapa de tipos de SEV y en la figura 10 El corte geológico esquemático a lo largo del perfil II.





**Figura 10.** Curvas de SEV del corte geológico esquemático a lo largo del perfil II (de la figura 9) 1.arenas, 2. Arcillas, 3. Calizas, 4. Curvas de SEV y el valor de  $\rho_a$  en la primera y última dimensión del dispositivo.

**Fuente:** Libro de geofísica I.

**Autor.** Orestes Montes

El corte geoelectrico de cuatro capas se caracteriza por la siguiente relación de resistividades de las capas  $Q_1 > Q_2 < Q_3 > Q_4$ . En el punto SEV N°7 afloran las arcillas y en el N°8 las calizas. A consecuencia de esto, en dirección de norte a sur cambia el tipo de curvas de cuatro capas HK al de 2 capas. Por la figura 10 es posible llegar a la conclusión de que en el área caracterizada por las curvas de tipo HK, debajo de la cobertura, yacen las arenas; en las áreas caracterizadas por las curvas de tipo K yacen las arcillas y en el resto del área las calizas.

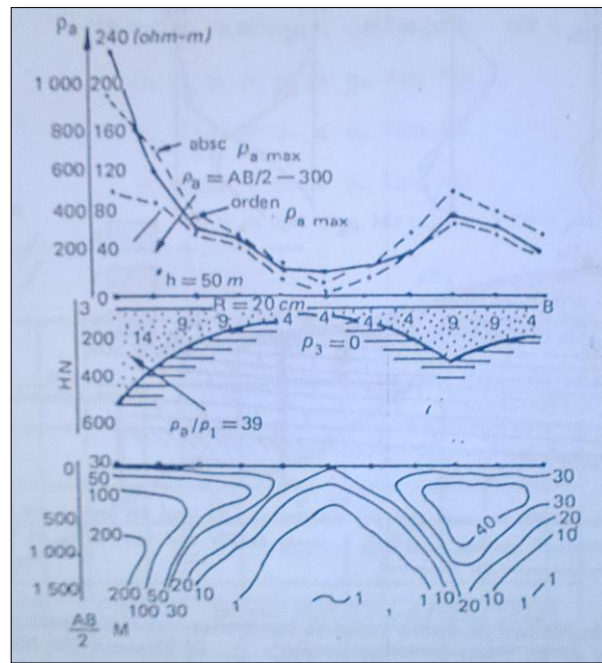
### ***Corte de isoclinas de $Q_a$***

A pesar de toda la complejidad de la dependencia de  $Q_a$  en función de la dimensión del dispositivo y de los parámetros del corte geoelectrico es posible utilizarla para la interpretación cualitativa utilizando los cortes de la resistividad aparente. Estos se construyen de la siguiente forma.

Los puntos SEV se plotean en el perfil topográfico. En cada punto a lo largo del eje vertical se plotean los valores de  $\frac{AB}{2}$  y al lado de ellos se anotan los valores de  $Q_a$  medidos con  $\frac{AB}{2}$ .

Después sobre la base de estos valores de  $Q_a$  así obtenidos, se construyen las isoclinas de  $Q_a$ . La configuración de estas líneas se caracteriza cualitativamente el corte geoelectrico. En la figura 11 se muestra el corte de isoclinas de  $Q_a$  obtenidas sobre un anticlinal del horizonte de apoyo de alta

conductividad. La forma de las isoclinas de  $Q_a$  refleja muy bien el comportamiento del horizonte de apoyo de alta conductividad.



**Figura 11.** Perfiles electricos y el corte sobre una elevacion del horizonte de apoyo de alta conductividad construidos según los datos de SEV, 1.isoclinea de  $\rho_a$  en  $\Omega \cdot m$

**Fuente:** Libro de Geofísica I. **Autor.** Orestes Montes

### **Utilización del método SEV**

Para la utilización del método de SEV deben existir las siguientes condiciones.

1. las rocas que componen el corte geoelectrico deben tener diferentes resistividades.
2. la inclinación de los contactos de las rocas de diferentes resistividades no debe ser mayor de 15 a 20°, ya que si los ángulos de buzamiento son mayores, la interpretación no es exacta.
3. el relieve del terreno debe ser llano, ya que las curvas teóricas han sido calculadas para las superficies terrestres planas.
4. el número de horizontes geoelectricos no debe ser superior a 5 o 6 y en el caso contrario la interpretación se complica y no es segura.
5. la profundidad de estudio es limitada a los primeros kilómetros.

El método de SEV se utiliza en condiciones favorables en los estudios de las estructuras de gas, petróleo y agua. Este método es conveniente para mapear el relieve del basamento, recubiertos por rocas sedimentarias de buena conductividad. También es utilizada para el estudio de los valles de los

ríos, con el fin de encontrar yacimientos en la determinación del espesor de las rocas cuaternarias, búsqueda de yacimientos minerales de buena conductividad, problemas hidrogeológicos etc.

En este proyecto el equipamiento estuvo compuesto por un resistivímetro y un energizador marca DIAPIR VP, con sus accesorios, según se muestra en la fotografía 1.



**Fotografía 1** Equipo adquisición puntos de SEV.

Se obtuvieron tres datos de diferencia de potencial  $\Delta U$  (mV) e intensidad de corriente  $I$  (ma) en cada punto de observación.

## 4. NOCIONES DE PERFORACIÓN Y DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS.

### 4.1 DEFINICIONES DE PERFORACIÓN DE POZOS.

Antes de hablar sobre la perforación manual de pozos profundos es importante conocer algunos aspectos generales sobre el origen de las aguas subterráneas y sobre los acuíferos, y también enfatizar en la responsabilidad que tiene la población de protegerlos y conservarlos para que puedan ser aprovechados por las generaciones futuras.

#### 4.1.1 Las Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el terreno de las aguas lluvias o de 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 importante tanto como conductores de las aguas desde su zona de recarga hasta lagos, ríos, manantiales, pantanos, captaciones construidas por el hombre y como almacenadores de estos recursos que posteriormente pueden ser aprovechados para satisfacer la necesidad de la empresa TránsAvella.

Existen dos tipos de acuíferos básicamente:

**Acuífero Libre:** estos son generalmente someros, donde el agua se encuentra relleno poros y fisuras por acción de la gravedad. La superficie hasta donde llega el agua es denominada superficie freática y en pozos es conocida como nivel freático. Ver figura 12

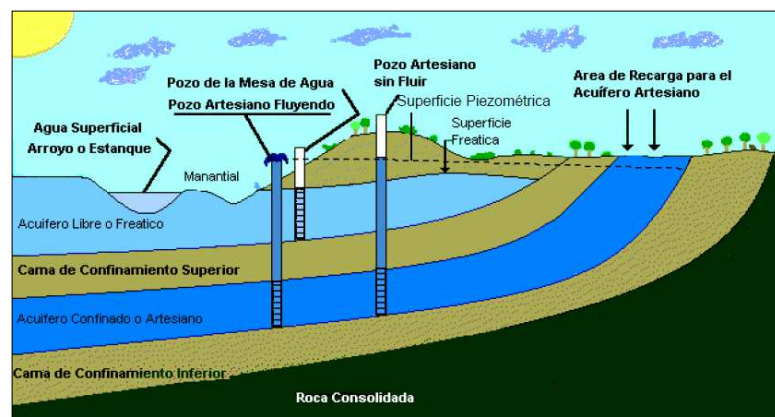


Figura 12. Acuífero libre.

Fuente: Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

**Acuífero Confinado:** en estos acuíferos el agua se encuentra a presión entre capas impermeables, de tal manera que si se extrae agua no queda ningún poro vacío, solo se disminuye la presión del agua que colabora con la sustentación de todos los materiales, pudiendo en casos extremos, llegar a producir asentamiento del terreno. Este formaría una superficie virtual si se perforaran infinitos pozos en el acuífero confinado y se denominaría superficie piezométrica y dentro de un pozo es denominada nivel piezómetro.

#### 4.1.1 Construcción de los equipos y accesorios de perforación.

Para la perforación manual de pozos profundos, se requiere de los siguientes equipos.

##### 4.1.1.1 Torre de perforación

La torre de perforación tiene la función de ser el almacén o sostén de toda la obra y por lo tanto, generalmente son construidas con materiales muy resistentes, pero, que a la vez son de poco peso. Son fácilmente montadas y desmontadas, permitiendo ser transportadas hasta zonas rurales y de difícil acceso. El CEPIS-OPS, en coordinación con agencias que trabajan con esta tecnología, han desarrollado dos modelos de torres de perforación manual. El primer modelo denominado “torre de tres cuerpos”, está formado por una sola columna de forma triangular, construida por 3 varillas unidas por ángulos y que ha sido dividida en cuerpos para facilitar su transporte. El segundo modelo denominado “torre de dos cuerpos”, está compuesta por dos columnas rectangulares cada una formada por cuatro varillas unidas por ángulos. Estas dos columnas se unen entre si formando una “V” invertida. Las principales características de estas torres se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Principales características de las torres de perforación.

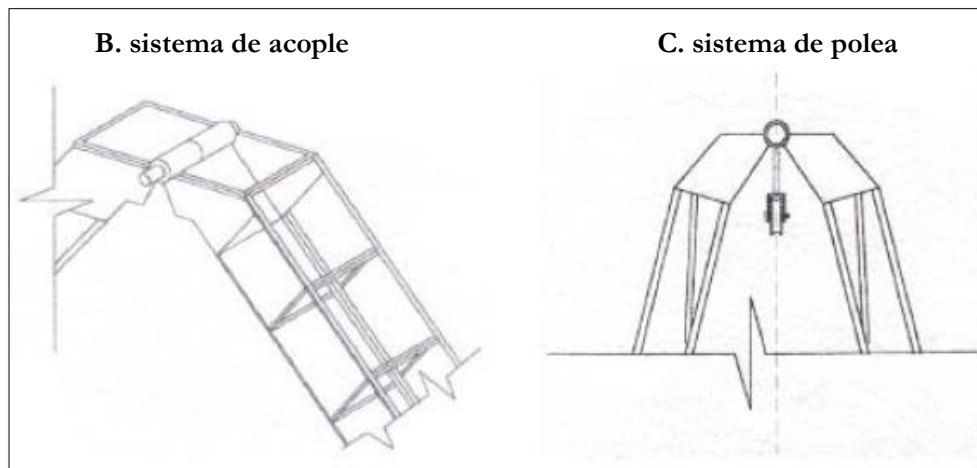
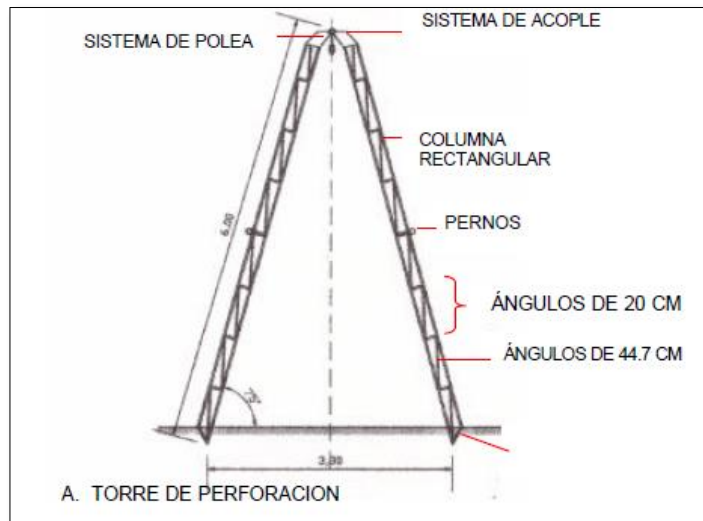
**Fuente:** Tomada de la página Web del CEPIS, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatp/E/Otratec/torre.PDF>.

TORRE DE TRES CUERPOS	TORRE DE DOS CUERPOS
Para zonas de difícil transporte, caso de selva y otros lugares poco accesibles donde el acarreo se realiza por ejemplo en pequeñas embarcaciones.	Para uso en zonas que cuentan con vehículos pequeños.
Ideal para perforaciones en terrenos areno - arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados.	Ideal para perforaciones en terrenos areno - arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados.
Con el sistema de perforación se puede alcanzar profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.	Con el sistema de perforación se puede alcanzar profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.

La torre en forma de “v” invertida, está conformada por las siguientes partes.

- 🌐 2 columnas rectangulares de 6 m
- 🌐 1 sistema de polea que permite los movimientos de percusión
- 🌐 1 escalera externa
- 🌐 1 sistema de anclaje al terreno
- 🌐 1 sistema de acople de las columnas

En la figura 13 se observan las partes de la torre, y en el cuadro 2 los materiales y herramientas necesarios para su construcción.



**Figura 13.** Partes de la torre de perforación.

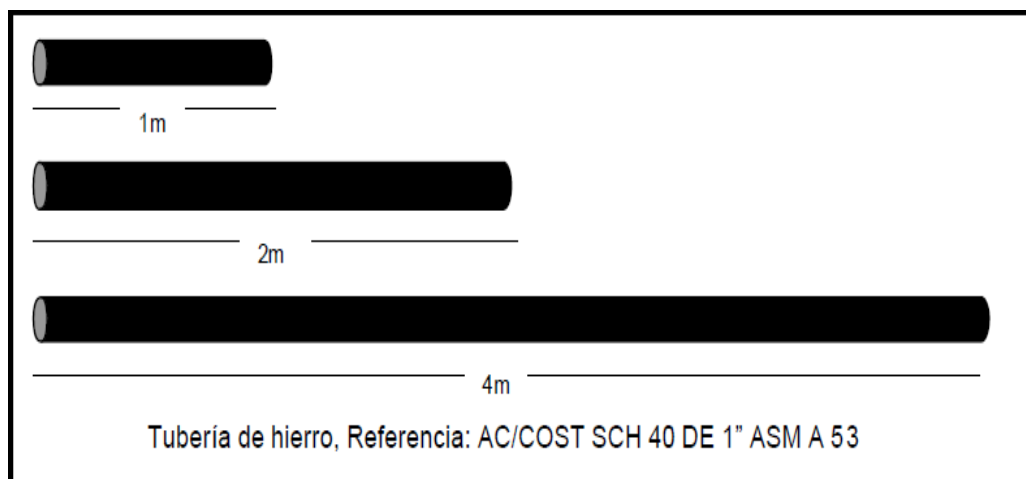
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro

**Cuadro 2.** Materiales Y Herramientas Para La Construcción De La Torre De Perforación.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

CANTIDAD	MATERIAL	LONGITUD
<b>Columnas</b>		
8	Ángulos de hierro de ¾" X 1/8"	6.00 m
60xColumna	Ángulos de hierro de ¾" x 1/8"	20 cm, puestas cada 0.4 m
30xColumna	Ángulos de hierro de ¾" x 1/8"	44.7 cm, soldadas en diagonal, entre las piezas de 20 cm.
<b>Sistema de acople</b>		
1	Bisagra	Construida con 2 niple de tubo de hierro con un pasador asegurado con una tuerca en forma de cuña
<b>Sistema de Polea</b>		
1	Polea	para realizar los movimientos de percusión por parte de los perforadores
1	Cuerda de 1/2"	
<b>Sistema de Anclaje</b>		
2	Cuñas	Terminación de las columnas en forma de cuña, para anclar la torre
<b>HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL MONTAJE</b>		
Un juego de llaves, cuchillos, machetes, hacha, palas, cavador, azadones, palines, martillos.		

#### 4.1.1.2 Barras o tuberías de perforación.

Estas barras o tubos de perforación son de hierro reforzado de gran resistencia a los impactos de percusión y torsión. En el proceso de perforación además de los tubos se requiere de una palanca que facilita las labores de rotación (figura 14, cuadro 3).



**Figura 14.** Barras De Perforación.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro



### Cuadro 3. Material De Las Barras De Perforación Y Manija De Rotación.

Fuente: Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

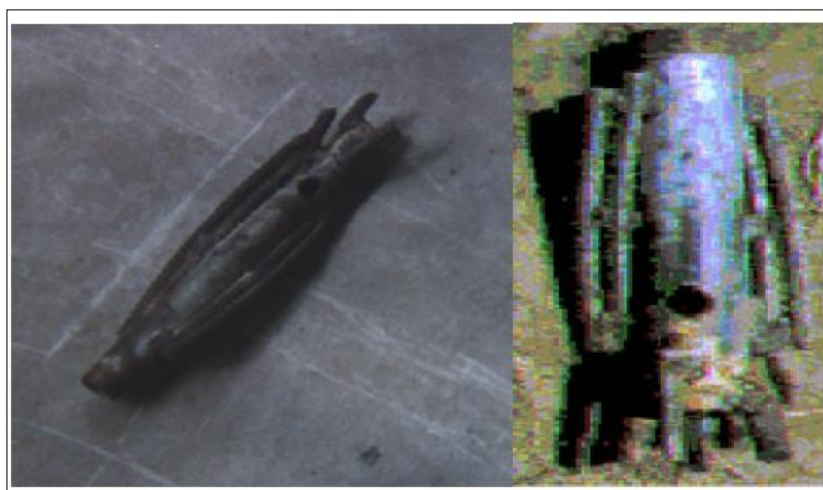
CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN	LONGITUD
20-30	Tubo Scudol 40 (SCH) de una pulgada (1")	4 metros
6	Tubo Scudol 40 (SCH) de una pulgada (1")	2 metros
4	Tubo Scudol 40 (SCH) de una pulgada (1")	1 metro
1	Manija en "T" de rotación de una pulgada (1") Scudol	0.60 x 0.30 metros
	Uniones Scudol 40 (SCH) de una pulgada (1")	
<b>HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA EL MONTAJE</b>		
Destornilladores y prensa, prensa de mordaza de cadena, llaves de tubo, marco y seguetas, juego de tarraja para tubo PVC.		

#### 4.1.1.3 Broca de perforación

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

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

En la figura 15, son mostradas las brocas usadas en la perforación manual de pozos profundos de pequeño diámetro, las cuales pueden ser construidas muy fácilmente en un taller de soldadura, con materiales existentes en los mercados locales ver cuadro 4.



**Figura 15.** Brocas de Perforación.

Fuente: Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro



**Cuadro 4.** Materiales para la construcción de las brocas.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	LARGO	DIÁMETRO	COMENTARIO
Tubo	Scudol 40 (SCH)		1"	
varilla corrugada de media pulgada (1/2")		30 a 60 cm	3 ½"	Para entubar con tubería PVC sanitaria de 2" diámetro.
varilla corrugada de media pulgada (1/2")		30 a 60 cm	5 ½ "	Para entubar con tubería de 4" de diámetro.

#### 4.1.1.4 Bomba de lodo

La bomba de lodo es un dispositivo mecánico que permite inyectar agua o lodo a medida que avanza la perforación, facilitando esta actividad y evitando derrumbes de las paredes del pozo. La bomba de lodo es instalada en uno de los extremos de la fosa de lodo y es accionada por un operador mediante presión de la manija. Existen dos clases de bomba de lodo, la tipo Bolivia y la tipo Perú, las cuales se diferencian principalmente en el colector de lodo.

##### **Bomba de lodo tipo Bolivia**

Como se muestra en la figura 17, este tipo de bomba está constituida por tres partes principales, cuerpo, pistón y colector de lodo, los cuales se describen a continuación.

El cuerpo es la parte externa de la bomba, está formado por un tubo galvanizado de 0,55 m de largo y 2" de diámetro, sin vena interna.

El pistón va dentro del cuerpo y está formado por tres partes, el agarrador en T-boquilla, pistón y válvula. Ver figura 16.

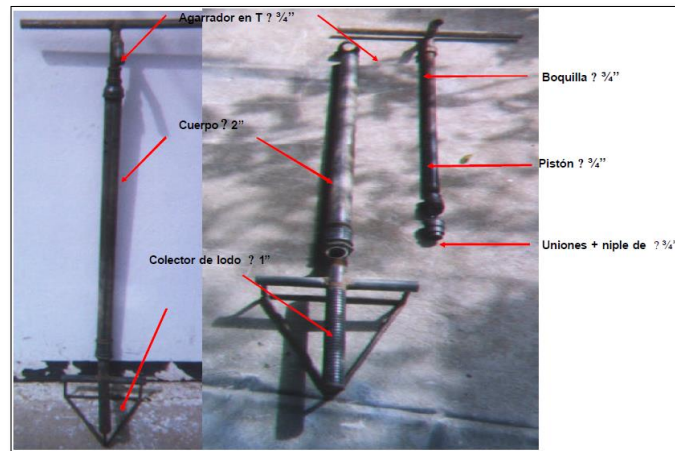
🔧 Agarrador en T, tiene un diámetro de ¾" y es la palanca que sirve al operario para realizar la presión de la bomba. La boquilla está conectada al agarrador, tiene su mismo diámetro y es el orificio de salida de lodo.

🔧 El pistón está unido a la sección anterior y tiene una longitud de 0,6 m y un diámetro de ¾".

🔧 La válvula se encuentra en la parte inferior del pistón y en su interior lleva una canica de 20 mm de diámetro. Ver materiales en el cuadro 5.

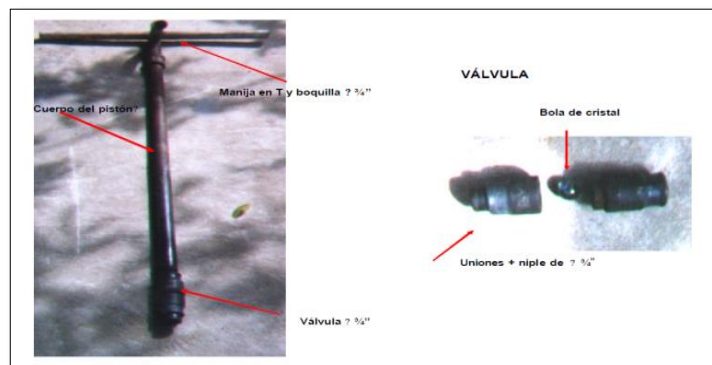
El colector de lodo va sumergido en la fosa de lodo y es la parte de la bomba por donde va succionando el lodo. Este colector va unido al cuerpo de la bomba y está constituido por dos niples

de 0,20 m de diámetro de 1" y el otro de 0,30 m, los cuales van soldados en forma de T y están reforzados por una varilla, como se ve en la figura 16. El niple más largo es ranurado con segueta a lo largo cada 2 mm y constituye el filtro del colector de lodo, uno de los extremos de este niple tiene rosca y el otro está cubierto por soldadura.



**Figura 16.** Bomba de lodo tipo Bolivia.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.



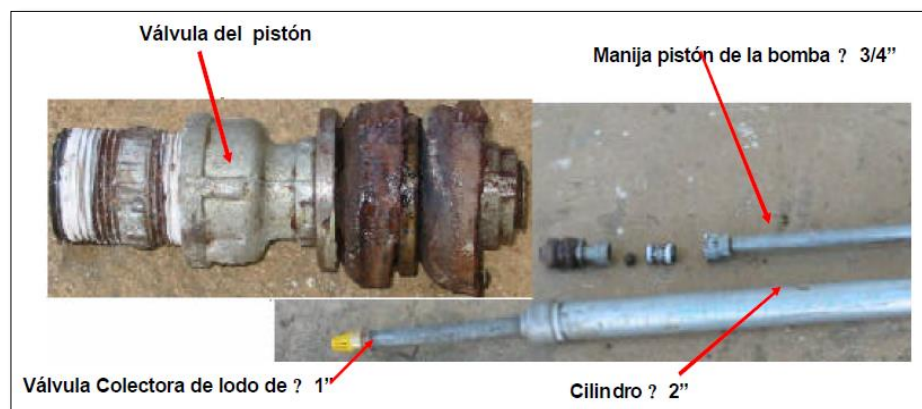
**Figura 17.** Detalles de las partes de la bomba tipo Bolivia.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

**Figura 18.** Materiales para la construcción de la bomba tipo Bolivia.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	DETALLES
<b>MANIJA (PISTÓN – VÁLVULA)</b>				
1. Tapón rosca	Galvanizado	φ ¾"	2	Para las manijas
2. Niple	Galvanizado	0.25 mts. x φ ¾"	2	Roscas en los extremos 30mm, para tapones T
3. T	Galvanizado	φ ¾"	1	Para manija (ítem 2 y 5)
4. Niple	Galvanizado	0.30 mts. x φ ½"	1	En ángulo de 45°. Tubo en "L" boquilla de lodo
5. Niple	Galvanizado	φ ¾" x 0.60 mts	1	Pistón
6. Unión copa	Galvanizado	φ ¾" a 1"	1	Para válvula del pistón
7. Niple	Galvanizado	φ 1" x 75mm	1	Roscas en extremos 25mm.
8. Arandela	Hierro	Orificio interno ¾", exterior 1½"	1	Para válvula del pistón
9. Empaquetadura	Goma o cuero	Orificio interno ¾", exterior 1½"	2	Para válvula del pistón
10. Arandela	Hierro	Orificio interno ¾", exterior 1½"	1	Soldada o roscada al pistón
11. Bola	Cristal	φ 20 mm.	1	Para válvula del pistón
12. Unión copa	Galvanizado	φ ¾" a 1"	1	Válvula para niple ítem # 13
13. Niple	Galvanizado	φ ¾" x 50mm	1	Con una Rosca de 25 mm. Con asiento para boliche.
14. Tuerca	Galvanizado	Orificio interno ¾"	1	Para válvula del pistón
<b>CUERPO</b>				
15. Unión Copa	Galvanizado	φ 2" a 1"	1	Parte superior del cuerpo
16. Tubo (sin vena)	Acerado o Galv.	0.55 mts. x φ2"	1	Roscas extremos de 340 mm.
17. Unión Copa	Galvanizado	φ 2" a 1"	1	Parte inferior del cuerpo
18. Niple	Galvanizado	φ 1 x 80 mm	1	Roscas dos extremos
19. Codo	Galvanizado	φ 1"	1	Orificio para varilla (ítem 20)
20. Varilla	Acero	φ 10mm. x 80 mm.	1	Insertar y soldar al codo
<b>COLECTOR DE LODO</b>				
21. Bola	vidrio	φ 25 mm.	1	"Canica"
22. Niple	Galvanizado	φ 1" y 0.80 mts.	2	Se sueldan para formar una T. Reforzada φ con varilla a manera de base al niple del ítem 23.
23. Niple	Galvanizado	φ 1" y 0.30 mts	1	Rosca de 2 mm en su extremo ranurado y soldados al ítem 22
24. Tapón	Galvanizado	φ 1"	1	Para ítem 23

La bomba tipo Perú está conformada por tres partes: cilindro, pistón con su válvula y colector de lodo ver figura 18.



**Figura 19.** Bomba de lodo tipo Perú.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

El cilindro es la parte externa de la bomba, tiene un diametro de 2" en su parte interna y esta contenido el piston.

El piston esta formado por tres partes, manija, piston y valvula.

La manija es la palanca en donde se realiza la presion para inyectar el lodo, en la parte lateral de la manija se encuentra la manguera de la salida de lodo.

El piston tiene un diametro de 3/4"

La valvula esta constituida por dos niples, dos uniones de copa y una bola de vidrio.

El colector de lodo esta comnformado por una union de copa galvanizada con un diametro de 3/4" a 1", un niple galvanizado de 0.30 m de longitud y 1" de diametro y una valvula de pie de Bronce de 1" de diametro.

**Cuadro 5.** Materiales para la construccion de la bomba de lodo tipo Perú.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

ELEMENTOS	MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	DETALLES
<b>VÁLVULA DEL PISTÓN</b>				
Unión copa	galvanizado	φ 3/4" a 1"	1	
Varilla	acero	φ10mm. x 80 mm.	1	Insertar y soldar al codo
Niple	Galvanizado	φ 1 x 80 mm	1	Roscas dos extremos
Bola	vidrio	φ 25 mm.	1	
Unión copa	galvanizado	φ 3/4" a 1"	1	
Niple	Galvanizado	φ 3/4" x 80 mm	1	Roscas dos extremos
<b>COLECTOR DE LODO</b>				
Unión copa	galvanizado	φ 3/4" a 1"	1	
Niple	Galvanizado	φ 1" 0.30 mts.	1	Rosca dos extremos 25 mm
Válvula de pie	Bronce	φ 1"	1	Comercial
<b>BASE O ZAPATA DE LA BOMBA</b>				
Varilla cuadra	hierro	1/2"		

## **4.1.2 Normas Técnicas Para La Perforación De Pozos Profundos.**

### **4.1.2.1 Estudios previos y selección del sitio**

Todo proyecto de captación de agua subterránea mediante la perforación de un pozo profundo deberá contar previo a su ejecución con un documento conocido como anteproyecto de la perforación del pozo.

Se entenderá por anteproyecto de perforación de un pozo, la documentación técnica ordenada cronológicamente de todas las actividades comprendidas desde la idea de captación del recurso, elaboración del estudio hidrogeológico, elaboración de estudio de impacto ambiental, certificado de permisos necesarios, selección del sitio de perforación, aseguramiento de la legalización del terreno para la perforación, prediseño del pozo, selección del método de perforación, elaboración de los términos de referencia para su construcción, cronograma de actividades y determinación del presupuesto para su ejecución.

### **4.1.2.2 Criterios para la selección del sitio de perforación.**

Que sea una de las alternativas propuestas para el sitio de perforación por el estudio hidrogeológico.

Que el acceso y el terreno permitan la entrada de maquinaria y equipo para la Planta de Bombeo.

Una vez construido el pozo no deberá permitirse edificaciones en un radio de 3.5 m, con respecto al eje del pozo y además se deberá respetar un área de ancho de 3.5 m por 12 m de largo, y preverse que en las áreas antes mencionadas, las líneas hidráulicas, eléctricas, telefónicas, etc., no interfieran en el acceso al pozo con el objeto de realizar los servicios de mantenimiento.

### **4.1.2.3 Especificaciones técnicas**

Se entenderá como especificaciones técnicas de la construcción de un pozo la descripción detallada y clara de las etapas, materiales, actividades, pruebas, y parámetros a tomar en cuenta en la ejecución del proyecto para obtener el producto esperado. Las especificaciones técnicas deberán describir como mínimo las siguientes etapas:

Movilización de maquinarias y equipos e Instalaciones provisionales

Ante-pozo o ademe

Perforación

Columna litológica y descripción geológica de las muestras de material excavado.

Registro eléctrico

Revestimiento

Colocación de filtro de grava

Desarrollo y limpieza del pozo

Prueba de verticalidad y alineamiento

Análisis de calidad del agua

Desinfección del pozo y sello sanitario

Informe final

#### **4.1.2.4 Prediseño del pozo**

Las características del pozo consideradas en el prediseño deberán obtenerse de la información, conclusiones y recomendaciones del estudio hidrogeológico y deberán ser tales que se adapten a condiciones hidrogeológicas que prevalezcan en el sitio de la perforación. El prediseño deberá contemplar como mínimo las siguientes características:

Profundidad estimada

Diámetro de perforación

Diámetro y tipo de revestimiento (tubería ciega y rejilla)

Diseño del filtro de grava

Perfil litológico previsto y tipo de acuífero

Caudal esperado

Método de perforación

Dimensiones mínimas del terreno que albergará la perforación

#### **4.1.2.4 Métodos de Perforación y equipo.**

Los pozos deberán ser perforados en toda su profundidad y en diámetro nominal no menor al señalado en el pre – diseño. Será necesario estudiar alternativas para el método de perforación y construcción con la intención de que los pozos puedan ser construidos lo más económicamente posible en concordancia con las características geológicas, características y prediseño del pozo, materiales con que se cuente, etc.

#### **Los métodos de perforación utilizados son:**

Método de Percusión

Método Rotativo

#### 4.1.2.5 Proceso constructivo y pruebas

Infraestructura Mínima en el sitio de perforación

Desmontaje y Desmovilización

Cronograma de Actividades y Programa de Trabajo.

Libro de Bitácora

Reporte del Perforador

Movilización de Maquinaria y Herramienta

Construcción del Pozo

Calidad de Agua y demás Fluidos

Muestras de perforación.

#### Cuadro 6. Diámetros de las Perforaciones

**Fuente:** Norma técnica para la perforación de pozos profundos en la administración nacional de acueductos y alcantarillados, Plan Hidro 2009.

DIAMETRO NOMINAL DE REVESTIMIENTO		DIAMETRO DE PERFORACION	
(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)
152.4	6	254 - 311.15	10 - 12 ¼
203.2	8	311.15 - 374.65	12 ¼" - 14 ¾"
254	10	374.65 - 444.5	14 ¾ - 17 ½
304.8	12	444.5 - 508	17 ½ - 20
355.6	14	508 - 584.2	20 - 23
406.4	16	584.2 - 660.4	23 - 26
457.2	18	660.4 - 762	26 - 30
508	20	762 - 863.6	30 - 34

#### 4.1.2.6 Pruebas Geofísicas

Las pruebas geofísicas se efectuarán en todos los pozos que se perforen. La ejecución de estas mediciones geofísicas deberá hacerse con las Normas vigentes.

#### 4.1.2.7 Tipo de Pruebas Geofísicas.

En general se puede utilizar una o la combinación de las siguientes pruebas:

🌐 Pruebas de rayos Gamma (radiación gamma natural)

- ④ Prueba de resistividad (electrodos a 40 cm de distancia)
- ④ Prueba de resistividad (electrodos a 1.60 mts de distancia)
- ④ Prueba de potencial espontáneo
- ④ Prueba de calibración del diámetro de perforación

La prueba geofísica debe efectuarse secuencialmente en una escala vertical que permita registrar toda la información que se juzgue necesaria.

#### **4.1.2.8 Limpieza**

##### ④ Limpieza Inicial

Una vez concluida la construcción del pozo, este debe limpiarse inmediatamente de la siguiente manera:

La profundidad total del pozo y el nivel del agua estática deben medirse.

El pozo se limpiará usando un sistema de aire comprimido y/o pistonéo.

La limpieza deberá ser ejecutada en tres etapas, comenzando con el retiro de aproximadamente la mitad del rendimiento o capacidad prevista. Tan pronto como el agua bombeada esté libre de arena, la descarga deberá incrementarse hasta completar el rendimiento previsto y deberá continuar hasta que se retire aproximadamente el 150% de la capacidad prevista

El pozo debe considerarse libre de arena en el caso que el contenido de arena no exceda 2 ppm/peso en cada uno de los pasos.

Cada uno de los pasos de la explotación deberá durar por lo menos una hora. Para evacuar residuos de fluidos con bentonita desde los estratos productivos del subsuelo, deben usarse polifosfatos u otro dispersante de lodo con propiedades biodegradables, que no sea contaminante ni tóxico para la humanidad.

La explotación deberá ser debidamente registrada Estos registros formarán parte del “Expediente del Pozo”.

El proceso de limpieza podrá ser efectuado, tanto por pistoneo o por inyección de aire comprimido (método “Airlift”). El equipo que se utilice para este propósito deberá ser capaz de descargar hasta un 100% de la capacidad requerida del pozo o mayor según las necesidades.

##### ④ Explotación/Limpieza Final



El propósito de la explotación/limpieza final es remover cualquier residuo desde las estructuras de producción para demostrar que tan efectiva ha sido la limpieza inicial, y para determinar la capacidad o rendimiento máximo de los pozos para fines de prueba.

La explotación final consistirá, de una primera descarga del pozo durante 30 minutos a la más alta capacidad posible. La descarga será escalonada tanto hacia arriba como abajo tan rápido como sea posible, y se detendrá cada dos o tres ciclos. Este proceso continuará hasta dos horas y será continuado por un período posterior de 30 minutos de máxima descarga.

Luego de la instrucción de parar la explotación final se cesará la descarga del pozo y se observará un período de recuperación máxima de 12 horas.

El programa exacto e intervalos de tiempo de la explotación final, será determinado en el sitio de las perforaciones.

#### Medición Durante la Explotación

Las siguientes mediciones deberán tomarse:

Grados de descarga, niveles de agua y contenido de arena (ppm/peso) durante el bombeo en intervalos de 15 minutos.

Niveles de agua estática y dinámico durante la prueba.

Duración total de las explotaciones inicial y final.

El valor pH y la conductividad del agua producida

#### Prueba de Bombeo y Recuperación

Se proveerá, instalará y mantendrá un equipo de bombeo con capacidad para extraer los caudales y niveles de carga dinámica señalados en el anteproyecto, el cual deberá ser capaz de mantenerse trabajando por lo menos 3 días sin paros por mantenimiento o reparaciones. Este equipo también debe tener capacidad para ajustar la descarga a valores mínimos, mediante válvulas o control de velocidades.

#### Explotación final.

Generalmente, la prueba de bombeo deberá comenzar con una prueba de bombeo escalonada (en etapas) durante la cual el pozo deberá ser descargado por tres periodos iguales, totalizando 3 horas. La descarga será incrementada en cada paso al doble de la anterior. Un período posterior de

mediciones de recuperación durante 3 horas máximo deberá comenzar al concluir la prueba de bombeo escalonada. Una prueba de descarga constante será iniciada al registrarse la recuperación total del nivel freático después de la prueba de bombeo en etapas (escalonado). Durante esta prueba el pozo será bombeado para un período no menor de 48 horas sin interrupción ni variaciones mayores al 5% de la tasa requerida. La duración máxima de la prueba a caudal constante será de 72 horas. Un período final de recuperación de 3 horas o su total recuperación antes de este tiempo para pozos bombeados deberá seguir a la conclusión de la prueba de descarga constante, durante ese período no deberá retirarse el equipo de prueba del pozo o en cualquier forma afectar los niveles de agua del pozo. Al expirar el período final de recuperación, el equipo podrá ser retirado del pozo.

#### 📍 Mediciones Durante la Prueba de Bombeo

El nivel de agua del pozo deberá medirse inmediatamente después que el pozo haya sido construido en intervalos irregulares, a través del tiempo. Durante la prueba del bombeo, el nivel de agua, tasas de descarga y contenido de arena en ppm/peso, deberá medirse y registrarse con la siguiente frecuencia, ver cuadro 8.

<u>Tiempo desde que</u> <u>Comenzó el Bombeo</u> <u>(minutos)</u>	<u>Intervalos de tiempo</u> <u>entre observaciones</u> <u>(minutos)</u>
0 - 10	cada 1
10 - 20	cada 2
20 - 60	cada 5
60 - 120	cada 10
120 - 240	cada 20
240 - 600	cada 30
600 y más	cada 60

**Cuadro 7.** Mediciones durante la prueba de bombeo.

**Fuente:** Norma técnica para la perforación de pozos profundos en la administración nacional de acueductos y alcantarillados, Plan Hidro 2009.

#### 📍 Desinfección

El pozo perforado será desinfectado mediante la introducción en el mismo de una solución de cloro, en tal forma que el agua en el pozo tenga una concentración de cloro de 200 mg/litro. La solución de cloro deberá mantenerse en el pozo por un lapso no menor de 48 horas, después será agitado para asegurar la adecuada mezcla.

#### Informe Final del Pozo.

Al finalizarse el pozo deberá redactarse un informe final que contenga las características del pozo basándose en todo el proceso de perforación y los resultados finales. Deberá contener un diagrama del pozo con toda la información correspondiente. El informe deberá contener como mínimo y sin limitarse a, la siguiente información:

Nombre y No del Pozo

Localización exacta con coordenadas geodésicas y elevación referenciados a mojones y a una distancia no mayor de 1000 metros.

Descripción del Pozo con todos sus detalles (longitud de tubería ciega y rejilla, empaque de grava, selladura, cimentación, posición de la bomba, etc.)

Corte transversal del Pozo

Diámetro de perforación y revestimiento

Nivel estático y Nivel dinámico

Fechas de Referencia

Bitácora de perforación

Perfil Geológico

Informe sobre el desarrollo del pozo






Resultados de las Pruebas de Bombeo

Análisis de agua y otros realizados

Prueba de verticalidad y registro eléctrico

#### **4.1.2.9 Abandono de la perforación de un pozo**

4.1.2.9.1 Las posibles causas que hacen imposible continuar la perforación de un pozo son:

-  Desviación de la verticalidad a límites fuera de lo permisible
-  Derrumbes durante el proceso de perforación
-  No encontrar agua
-  Imposibilidad de pesca de herramientas y elementos utilizados en el proceso
-  Que por cualquier razón legal le sea rescindido el contrato a la empresa perforadora del pozo

4.1.2.9.2 Cuando se diera cualquiera de los casos anteriormente mencionados o cualquier otro que hiciera imposible la continuación de los trabajos.

4.1.2.9.3 De igual manera en todos los casos de abandono de un pozo profundo se deberá construir en la superficie del pozo una loza de hormigón cuadrada de un metro por lado y 0.25 metros de espesor indicando en la loza que en ese lugar existió un pozo, la profundidad de perforación alcanzada y el caudal que producía.

### 4.1.3 Métodos De Perforación De Pozos Profundos

La perforación se realiza basada en dos movimientos principales, percusión y rotación manual de la broca y tubos de perforación. Para facilitar las labores de perforación es inyectado el lodo manualmente.

Algunos aspectos generales sobre estos dos métodos de perforación son descritos a continuación:

#### 4.1.3.1 La percusión

Es el procedimiento repetido de elevación y caída de las barras de perforación, como se describe a continuación:

🌐 La elevación se realiza atando una cuerda a la manija de rotación, pasándola por la polea y atándola en el otro extremo a un madero que debe ser halado por los operarios para elevar los tubos de perforación (Figura19).

🌐 Una vez suspendidos los tubos de perforación se dejan caer libremente, el golpe brusco de la broca en el terreno, romperá y ablandará el material rocoso (Figura 19).



**Figura 20.** Movimiento de percusión: elevación y caída de las barras de perforación.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro

#### 4.1.3.2 La rotación

Este es el procedimiento por el cual la broca gira arrancando el material rocoso por abrasión del mismo. La rotación se realiza después de que el terreno ha sido impactado por la caída del tubo de perforación y consiste de dos movimientos principales, torsión y rotación en dos sentidos:

🕒 Torsión de la manija T de rotación (realizado por un operario): Este movimiento se realiza en el sentido de las manecillas del reloj (para evitar que se aflojen las barras de perforación), pero cuando la broca se atasque debe acompañarse de un pequeño giro de retroceso (Figura 20).

🕒 Rotación en dos sentidos: Se realiza para que el pozo se mantenga en su eje de gravedad es decir para que sea recto y no se desplace. Consiste en un movimiento de desplazamiento lateral (izquierda-derecha) sobre el eje de las barras de perforación y simultáneamente un movimiento de rotación de trescientos sesenta grados (360°) (Figura 20).



**Figura 21.** Movimiento de rotación: torsión y rotación en dos sentidos.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro

Los movimientos de rotación y rotación en dos sentidos deben realizarse en forma rítmica y en constante movimiento.

#### 4.1.4 Etapas De Perforación De Pozos.

Inicialmente deben ser seleccionados y distribuidos los operarios.

La perforación comienza utilizando la barra de 1 m, la cual debe estar unida a la broca en un extremo, a la manija T de rotación en el otro

#### **4.1.4.1 Etapa previa, selección del sitio de perforación.**

Se debe seleccionar el sitio apropiado para la perforación, lo cual incluye la concertación de la comunidad, una serie de estudios hidrogeológicos previos que ayuden a identificar los posibles acuíferos e interpretar cuál es su disposición en la superficie. El sitio también debe estar alejado de las posibles fuentes de contaminación de las aguas subterráneas.

La preparación y montaje de los equipos de perforación debe estar con todas las especificaciones técnicas es decir la torre de perforación, barras o tubería de perforación, broca, bomba de lodo y bombas de agua.

Lo ideal es que antes de perforar un pozo se debe realizar un estudio hidrogeológico que permita conocer las características de las formaciones geológicas aflorantes en la región, identificar los acuíferos e interpretar cuál es su disposición de profundidad.

El estudio hidrogeológico debe estar compuesto por las siguientes etapas.

#### **4.1.4.2 Recopilación de la información existente.**

Esta es la etapa más importante y consiste en la recopilación de estudios y mapas geológicos, hidrogeológicos, geofísicos e informes de construcción de pozos de la zona de interés; el análisis de esta información permitirá ahorrar esfuerzos económicos y conocer las principales características hidrogeológicas de la zona.

#### **4.1.4.3 Inventario de puntos de agua.**

El inventario de puntos de agua de la zona tales como pozos, aljibes, manantiales, etc. consiste en visitar los sitios, compilar toda la información disponible sobre cada uno de ellos, que incluya la localización, la profundidad, el diámetro, el tipo de terreno, el nivel dinámico de bombeo, el nivel estático inicial, la producción, el equipo de bombeo utilizado y la calidad físico-química del agua. Esta etapa permitirá conocer las características de estas captaciones y de las aguas subterráneas en la zona y también es importante para evitar cercanía entre perforaciones que pueden causar interferencia y descenso localizados de los niveles de aguas subterráneas.

#### **4.1.4.4 Estudio geológico de superficie.**

Los estudios geológicos involucran tanto los análisis de los estudios ya existentes de la zona, como el reconocimiento de campo que permita conocer las características de las formaciones geológicas como porosidad y grado de fracturamiento de las rocas, importantes para identificar los posibles acuíferos, el estudio debe incluir el levantamiento de la columna estratigráfica representativo que identifique

las formaciones geológicas, análisis granulométrico, espesores de las formaciones, localización de fallas, lineamientos, entre otros.

#### **4.1.4.5 Estudio geoelectrico**

Los estudios geoelectricos son realizados por sondeos eléctricos verticales SEV, que permiten conocer a través de la resistividad de los materiales al paso de una corriente eléctrica, características como su grado de saturación y la calidad del agua que almacenan estos materiales y por lo tanto darán mayor precisión en la elección del sitio a ser perforado. Los estudios regionales además de estas etapas incluyen la realización de balances hídricos, el conocimiento de las propiedades hidráulicas mediante la interpretación de pruebas de bombeo tales como la transmisibilidad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento; las características hidrogeoquímicas y de calidad de agua para consumo o para otros usos, la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los acuíferos a la contaminación, entre otros.

#### **4.1.5 Instalación De Los Equipos De Perforación En El Sitio**

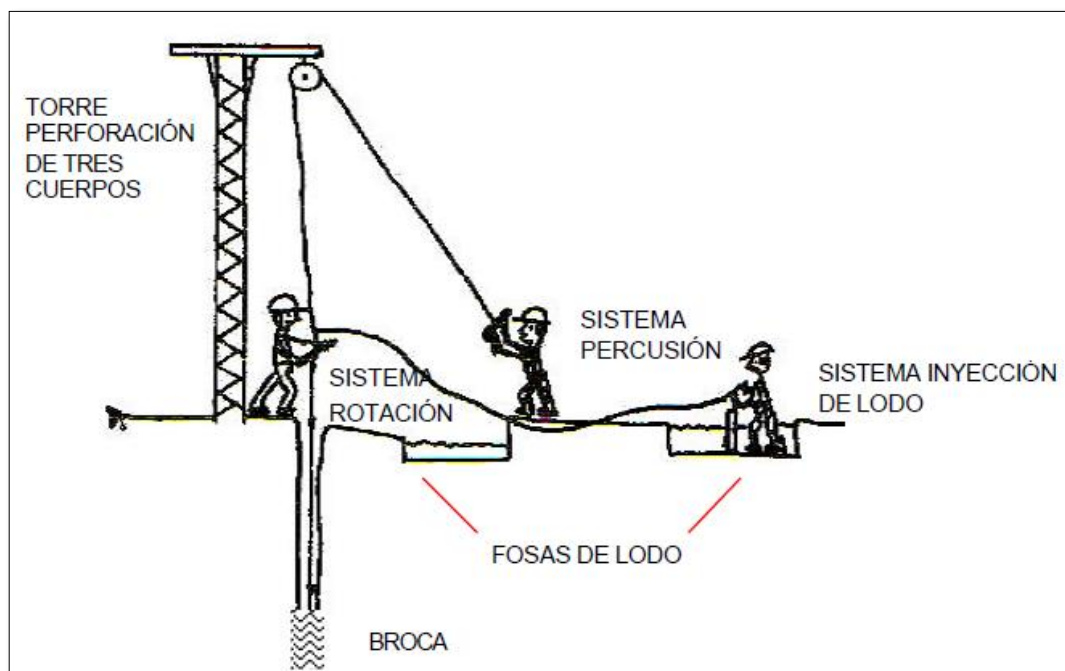
Una vez construidos los equipos necesarios se procede a la etapa de instalación y montaje en el sitio previamente seleccionado, en el siguiente orden.

##### **4.1.5.1 Montaje y anclaje de la torre**

Para esto se necesitan las siguientes herramientas: juego de llaves, cuchillos, machetes, hacha, palas, cavador, azadones, palines, martillos.

El procedimiento a seguir es el siguiente.

1. En el sitio previamente seleccionado para la ubicación del pozo, se unen las partes en que fue dividida la torre.
2. Se excavan dos pequeñas fosas para introducir las patas de las columnas (terminación en cuña) con una separación entre sí, de 3 m ver figura 22
3. Se levanta la torre y se ancla en las fosas ya construidas.
4. Se nivela verticalmente la torre con la ayuda de un nivel y una plomada
5. Posteriormente la torre se asegura a unos postes de madera u otro material enterrados en el piso, por medio de 4 tensores de alambre, acero u otro material. Estos tensores van en direcciones opuestas y de forma perpendicular al eje de las patas la torre a una distancia de 8 m a partir de la misma. Ver figura 22 y 23



**Figura 22.** Sistema de perforación manual de pozos profundos.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.



**Figura 23.** Montaje de la torre de perforación.  
**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.





**Figura 24.** Tensores de la torre de perforación.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro

- ④ Montaje de la manija, primer tubo de perforación y la broca.

Estando la torre elevada y anclada al terreno se procede a:

El primer tubo de perforación de 1 m, se une por un extremo a la manija y por el otro extremo se une a la broca.

Estas piezas montadas se aseguran por la manija a la cuerda del sistema de polea, que se desprende de la torre. Esta cuerda debe ser lo suficientemente larga para que permita bajar hasta la profundidad final del pozo.

- ④ Instalación y sistema de inyección de lodos

La circulación del lodo a medida que avanza la perforación tiene como función además de traer a superficie todo el material excavado con la broca de perforación, evitar que las paredes del pozo se derrumben cuando se están perforando capas de arena.

El sistema de inyección de lodos consta de los siguientes elementos.

Dos fosas excavadas en el terreno unidas por un canal

Bomba manual de lodo

Manguera para inyección de lodo



**Figura 25.** Sistema de inyección de lodo en el pozo.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

#### 4.1.6 Características de las fosas

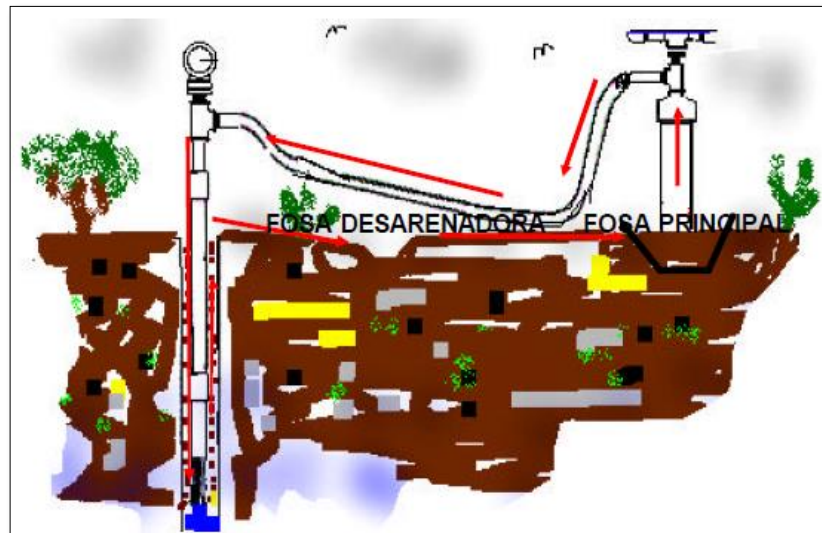
Las fosas de lodo principal e intermedio tienen las siguientes características y funciones.

**Cuadro 8.** Características de las fosas de lodo.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

FOSA	DIMENSIONES Largo x ancho x profundidad	COMPONENTES ADICIONALES	FUNCION DE LA FOSA
<b>PRINCIPAL</b>	0.60 x 0.40 x 0.30	Un colador de anejo, plástico para tamizar los materiales arenosos o pequeños fragmentos que no se decantaron en la fosa intermedia.	Recibir el lodo para que recircule, a través de la bomba de lodo.
<b>INTERMEDIA O DESARENADORA</b>	0.30 x 0.20 x 0.15		Decantador (por gravedad) de los materiales más gruesos que ascienden con el lodo desde la perforación.

Las fosas de lodo están unidas por un canal excavado (con desnivel) que parte del sitio en que se está perforando esta pasa por la fosa intermedia y termina en la fosa principal. Este canal tiene como función permitir la circulación del lodo que asciende por la perforación arrastrando los materiales gruesos excavados con la broca, llevándolos hasta la fosa intermedia para ser decantados y desde esta hasta la fosa principal, donde se inicia el nuevo ciclo del lodo. Ver figura 26.



**Figura 26.** Ciclo del lodo en el pozo.

**Fuente:** Guía RAS -007 Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

⑩ Instalación de la bomba de lodos

Esta bomba de lodos se instala en un extremo de la fosa principal y se asegura en unos maderos atravesados en la parte superior de la fosa.

⑪ Instalación de la manguera para inyección de lodo.

La manguera se instala en el orificio de salida de la manija de la bomba de lodo. Esta manguera se lleva hasta el sitio de la perforación y se ajusta a la manija del sistema de rotación.

⑫ Preparación del lodo

Para la perforación se debe contar con 50 Kg de arcilla, los cuales se mezclan con agua para preparar el lodo o fluido de perforación. Una vez preparado el lodo se dispone en la fosa principal. Debe anotarse que cuando se está perforando en terrenos muy arcillosos solo hace falta inyectar agua.

⑬ Distribución del personal

Después del montaje de los equipos en el sitio, se procede a distribuir el personal de la siguiente forma.

De dos a cuatro operarios para halar la soga sujeta al tubo de perforación que permite realizar el movimiento de percusión.

⑭ Perforación

La perforación se realiza basada en dos movimientos principales, la percusión y rotación manual de la broca y tubos de perforación. Para facilitar las labores de perforación es inyectado el lodo manualmente.

A continuación se describen algunos aspectos generales sobre los dos métodos de perforación

### La percusión


Es el procedimiento repetido de elevación y caída de las barras de perforación, como se describe a continuación.


La elevación se realiza atando una cuerda a la manija de rotación, pasándola por la polea y atándola en el otro extremo a un madero que debe ser halado por los operarios para elevar los tubos de perforación.

Una vez suspendidos los tubos de perforación se dejan caer libremente, el golpe brusco de la broca en el terreno, romperá y ablandará el material rocoso.

### La rotación

Este es el procedimiento por el cual la broca gira arrancando el material rocoso por abrasión del mismo. La rotación se realiza después de que el terreno ha sido impactado por la caída del tubo de perforación y consiste de dos movimientos principales, torsión y rotación en dos sentidos.

 Torsión de la manija T de rotación, este se realiza por un operario y se da en el sentido de las manecillas del reloj (para evitar que se aflojen las barras de perforación), pero si la broca se atasca entonces debe dar un pequeño giro de retroceso.

 Rotación en dos sentidos: se realiza para que el pozo se mantenga en su eje de gravedad es decir que sea recto y no se desplace. Consiste en un movimiento de desplazamiento lateral (izquierda-derecha) sobre el eje de las barras de perforación y simultáneamente un movimiento de rotación de 360°.

Los movimientos de rotación en dos sentidos deben realizarse rítmica y en constante movimiento.

### Etapa de perforación.

Una vez montados y construidos todos los equipos de perforación, se procede a la instalación en el sitio seleccionado y se inicia la etapa de perforación.

Instalación del equipo de perforación, lo que incluye el anclaje de la torre de perforación, instalación de la manija o agarrador en forma de “T”, los tubos de perforación y la broca, la excavación de las fosas de lodo, instalación de la bomba de lodo y de la manguera de inyección ( ver figura 22)

## **4.2 NOCIONES SOBRE EL DISEÑO DE POZOS PROFUNDOS.**

### **4.2.1 Etapa Posterior A La Perforación**

Esta incluye la limpieza del pozo, el entubado del pozo, la instalación del sello sanitario, la instalación de la bomba de agua y del cabezal.

Finalmente se debe tener en cuenta una que otra recomendación sobre el cuidado y mantenimiento preventivo de las instalaciones y sobre control de la posible contaminación del sitio.

Cada uno de estas etapas serán tratados detalladamente a continuación.

#### **4.2.1.1 Selección Del Sitio De Perforación**

Idealmente antes de perforar un pozo debe realizarse un estudio hidrogeológico que permita conocer las características de las formaciones geológicas aflorantes en la región, identificar los acuíferos e interpretar cuál es su disposición en profundidad.

Este estudio hidrogeológico está compuesto por una serie de etapas, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

##### Recopilación de información existente:

Esta es la primera etapa y la más importante, y consiste en la recopilación de los estudios y mapas geológicos, hidrogeológicos, geofísicos e informes de construcción de pozos de la zona de interés. El análisis de esta información permitirá ahorrar esfuerzos económicos y conocer las principales características hidrogeológicas de la zona.

En muchas ocasiones, debido a la escasez de recursos solo se podrá realizar esta etapa y por lo tanto el análisis de esta información debe hacerse muy cuidadosamente y preferiblemente por personal experto. En la medida de las posibilidades, deberán además ser realizados las siguientes etapas:

##### Inventario de puntos de agua.

El Inventario de puntos de agua de la zona (pozos, aljibes o manantiales), consiste en visitar los sitios, compilar toda la información disponible sobre cada uno de ellos, que incluya la localización, la profundidad, el diámetro, el tipo de terreno, el nivel dinámico de bombeo, el nivel estático inicial, la producción, el equipo de bombeo utilizado y la calidad físico-química del agua (Normas RAS). Esta etapa permitirá conocer las características de estas captaciones y de las aguas subterráneas en la zona y también es indispensable para evitar cercanía entre perforaciones que pueden causar interferencia y descenso localizados de los niveles de aguas subterráneas

#### Estudio geológico de superficie.

Los estudios geológicos involucran tanto el análisis de los estudios ya existentes de la zona, como el reconocimiento de campo que permita conocer características de las formaciones geológicas como porosidad y grado de fracturamiento de las rocas, importantes para identificar los posibles acuíferos. Según las normas RAS este estudio debe incluir el levantamiento de columna estratigráfica representativo que identifique las formaciones geológicas, análisis granulométrico, espesores de las formaciones, localización de fallas, Lineamientos, entre otros.

#### Estudio geoelectrico

Los estudios geoelectricos generalmente son realizados por medio de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), que permiten conocer a través de la resistividad de los materiales al paso de una corriente eléctrica, características como su grado de saturación y la calidad del agua que almacenan estos materiales y por lo tanto darán mayor precisión en la elección del sitio a ser perforado. Los estudios regionales además de estas etapas incluyen la realización de

Balances hídricos, el conocimiento de las propiedades hidráulicas mediante la interpretación de pruebas de bombeo (transmisibilidad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento), las características hidrogeoquímicas y de calidad de agua para consumo o para otros usos, la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los acuíferos a la contaminación, entre otros.

Después de seleccionar el sitio con las mejores características hidrogeológicas, es muy importante la concertación con la comunidad o población, que además de estar de acuerdo en el sitio seleccionado, debe participar activamente en los procesos de perforación y comprometerse con todos los aspectos concernientes al control de la contaminación en el sitio y con el mantenimiento preventivo de los equipos.

### **4.2.2 Prevención De La Contaminación Y Mantenimiento De Equipos**

#### **4.2.2.1 Perímetro De Protección De Pozos (Ppp)**

Una de las formas más antiguas de proteger las aguas subterráneas de la contaminación indeseada, es la restricción de ciertas actividades y del uso del terreno en la zona que circunda una fuente de captación de estos recursos hídricos.<sup>5</sup>

Estas zonas buscan en verdad proteger el área que alimenta directamente al pozo, o sea su “Zona de Captura”, que es función tanto de las condiciones hidrogeológicas del acuífero, como de los caudales bombeados por los pozos. Existen muchas metodologías para el trazado de los perímetros de

protección de pozos, que van desde restricciones en áreas de radios fijos trazados de forma arbitraria hasta la utilización de complejos modelos matemáticos o numéricos.

En este caso particular, se considera que en cuanto no se dispongan de datos hidrogeológicos suficientes para optar por un método más acertado para el trazado de los PPP, podría utilizarse el método de los radios fijos arbitrarios. En este método se restringen actividades en 3 zonas, una inmediata, o sea, la más cercana al pozo, una próxima y una lejana, de la siguiente forma:

#### Zona Inmediata

Corresponde a una zona con un radio no menor a 30m a partir del pozo, en la cual no se debe permitir ninguna actividad que no esté relacionada con la operación del mismo. Esta es la zona de máxima protección.

#### Zona Próxima

Esta zona tiene como objetivo proteger al acuífero de cualquier contaminación microbiológica. Su trazado está basado en distancias equivalentes a un tiempo de tránsito horizontal entre el radio externo de la zona y el pozo, que varía entre 10 y 400 días, sin embargo, según investigaciones realizadas en áreas con comprobada contaminación por patógenos, es aceptable un tiempo de tránsito de 50 días (CEPIS, 1992). Según MINDESARROLLO -SENA, 1999, esta zona puede tener un radio que varía generalmente entre 50 y 300 m, dependiendo de las condiciones hidrogeológicas, del espesor de la zona no saturada y del caudal de bombeo del pozo. Pueden admitir en la zona actividades controladas y el paso de vehículos y personas debe ser restringido.

#### Zona Lejana

Esta zona tiene como objetivo ejercer un control diferencial de las fuentes puntuales y difusas de contaminación. No existen criterios claros para su definición debido a la existencia de diferentes tipos de contaminantes (degradantes y persistentes). Según el CEPIS -OPS-OMS, 1992 una opción de trazado sería una distancia equivalente a un tiempo de tránsito una orden de magnitud superior al utilizado para la zona intermedia. Según MINDESARROLLO-SENA, 1999, esta zona suele tener un radio de varios centenares de metros, hasta más de 1km. Una lista detallada de todas las actividades que deben ser restringidas en cada una de estas zonas de protección, incluyendo la zona de recarga es presentada en el cuadro 8 (Tomada de Hirata y Reboucas, 1999).



**Cuadro 9.** Actividades restringidas en los perimetros de proteccion de pozos.

Fuente: Hirata y Reboucas, 1999

ACTIVIDAD POTENCIALMENTE CONTAMINANTE	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV
<b>Saneamiento In Situ</b>				
Unifamiliar	N	N	A	A
Edificio	N	N	PA	A
Estación gasolinera	N	N	PN	PA
Aeropuertos	N	N	PN	PA
<b>Disposición de Residuos sólidos</b>				
Domestico municipal	N	N	N	PN
Materiales construcción	N	N	PA	PA
Residuos peligrosos	N	N	N	N
Industrias Clase I	N	N	N	PN
Industrias Clase II y III	N	N	N	N
Cementerios	N	N	PN	A
Incinerador de residuos sólidos	N	N	N	PN
<b>Minería</b>				
Materiales de construcción	N	N	PN	PA
Otros incluyendo petróleo y gas	N	N	N	N
Líneas de combustible	N	N	N	PN
<b>Industrias</b>				
Clase I	N	N	PN	PA
Clase II y III	N	N	N	N
Instalaciones militares	N	N	N	N
<b>Laguna de efluentes</b>				
Municipal/agua de enfriamiento	N	N	PA	A
Industrial			N	N
<b>Drenaje/Infiltración/Accidentes</b>				
Aguas lluvias (techos de las casas)	PA	A	A	A
Carreteras principales	N	N	N	PN
Carreteras secundarias	N	PN	PA	PA
Áreas de recreación	N	PA	PA	A
Parqueos	N	N	PN	PA
Áreas industriales	N	N	N	PN
Ferrocarriles y aeropuertos	N	N	N	PN
<b>Infiltración de efluentes en el suelo</b>				
Industrias alimenticia	N	N	PN	PA
Otras industrias	N	N	N	N
Efluentes de desagüe	N	N	N	PN
Lodo de desagüe	N	N	PN	PA
Escumamiento de corrales	N	N	PN	A
<b>Cría intensiva de ganado</b>				
Efluentes en lagunas	N	N	PN	PN
Desagüe de corrales	N	N	PA	PA
<b>Actividad agrícola</b>				
Uso de pesticidas	N	N	A	A
Uso no controlado de fertilizantes	N	N	PN	PN
Almacenamiento de pesticidas	N	N	PA	PA

**N** No aceptable en virtualmente todos los casos

**PN** Probablemente no aceptable, excepto en algunos casos con estudios detallados y proyectos especiales

**PA** Probablemente aceptable, sujeto a estudios y proyectos espec.

**A** Aceptable con proyectos especiales

**I** Zona inmediata

**II** Zona Próxima

**III** Zona Lejana

**IV** Zona de recarga

De modo general se aconseja tener las siguientes precauciones:

- 🌿 Cercar alrededor del pozo, en la zona Inmediata
- 🌿 Evitar disponer basuras y contaminantes en el sitio del pozo.
- 🌿 Evitar las aguas estancadas y el encharcamiento en el lugar del pozo.

Construir un canal de desagüe cerca al pozo, para que el agua circule y no se estanque.

- 🌿 No permitir el aseo personal o el lavado de utensilios, ropa, ni animales, en las cercanías del pozo.
- 🌿 Realice limpieza y retire la basura de los alrededores del pozo.
- 🌿 EL AGUA ES VIDA. EVITE SU CONTAMINACIÓN. NO LA DESPERDICIE, RACIONELA.



#### 4.2.2.2 Recomendaciones Sobre El Mantenimiento Preventivo

- 🌐 Cada vez que se desmonte la bomba de agua se debe realizar el mantenimiento preventivo para la limpieza del sistema.
- 🌐 El empaque de la válvula del pistón no debe quedar muy duro al accionar el embolo de la bomba, esto lo puede desprender.
- 🌐 Se debe esperar el tiempo suficiente para que la soldadura de PVC pegue los accesorios, de lo contrario se pueden desprender y ocasionar accidentes o daños internos.

---

<sup>5</sup> (Hirata y Rebouças, 1999).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS GEOFÍSICOS.

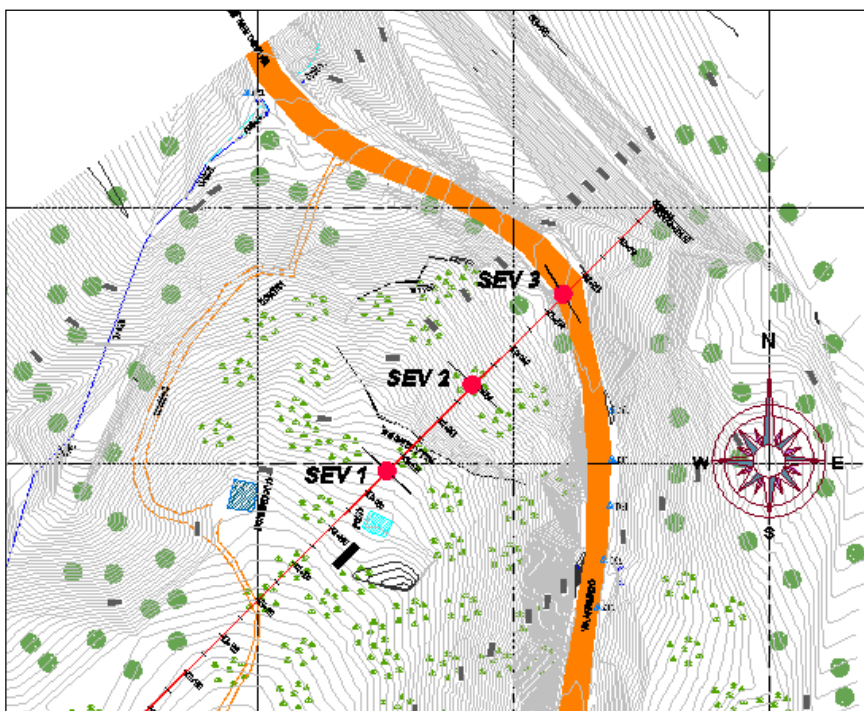


Figura 27. Localización de los sondeos SEV.

#### 5.1.1 Interpretación de los datos de SEV.

En este proyecto se llevaron a cabo un total de tres SEV, cuyos resultados obtenidos se aprecian en los cuadros 10, 11 y 12 y sus curvas en las figuras 28,29 Y 30.

Cuadro 10. S. E. V. – 1

CAPA	PROFUNDIDAD	RESISTIVIDAD	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
	(metros)	(Ohmios-m)	
1	0 – 3.5	95	Deposito coluvial Qc, Suelo residual.
2	3.5 – 8.7	171	Arcillolitas.
3	---	229	Areniscas saturadas.

En este sondeo se presenta una capa vegetal con una profundidad de 20 cm debido a la presencia de material orgánico como raíces y humus, suprayacentes por un deposito fluvio lacustre(Qpl), posteriormente se encontró un nivel de arcillolitas con una resistividad aparente de  $171 \Omega \cdot m$  a una

profundidad de 3.5-8.7m, finalmente se encontró areniscas de tamaño medio a fino saturadas con una resistividad aparente de 229  $\Omega$ \*m.

**Cuadro 11. S. E. V. – 2**

<b>CAPA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>RESISTIVIDAD</b>	<b>INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA</b>
	<b>(metros)</b>	<b>(Ohmios-m)</b>	
1	0 – 13.7	64	Deposito coluvial Qc, Suelo residual.
3	---	210	Areniscas saturadas.

Se encuentra en la primera capa un deposito fluvio lacustre (Qpl) y finalmente se encontró areniscas de tamaño medio a fino saturadas en la capa 3 con una resistividad aparente de 210  $\Omega$ \*m.

**Cuadro 12. S. E. V. – 3**

<b>CAPA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>RESISTIVIDAD</b>	<b>INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA</b>
	<b>(metros)</b>	<b>(Ohmios-m)</b>	
1	0 – 14.6	441	Deposito coluvial Qc, Suelo residual.
3	---	218	Areniscas saturadas.

Se encuentra en la primera capa un deposito fluvio lacustre (Qpl) y finalmente se encontró areniscas de tamaño medio a fino saturadas en la capa 3 con una resistividad aparente de 218  $\Omega$ \*m.

Con base en las curvas de Sondeo Eléctrico vertical se elaboraron los cortes geoelectricos, de igual manera a partir de los cortes geoelectricos se construyó un corte geológico – geofísico ver anexo N° 5 el cual permite conocer la variación de la resistividad en el perfil. Estos resultados tienen gran preponderancia y constituyen una base científica para la realización de las recomendaciones.

En las figuras 28, 29 y 30 se observan las curvas obtenidas para cada SEV.

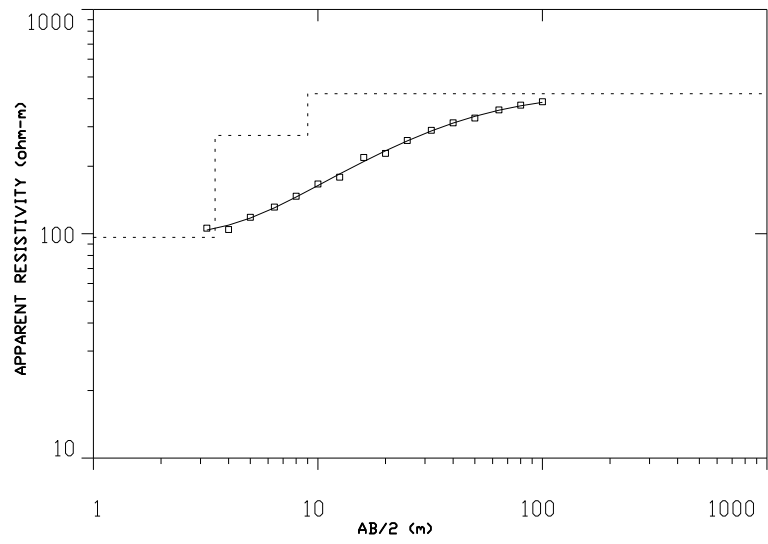


Figura 28. Curva obtenida sondeo electrico vertical # 1.

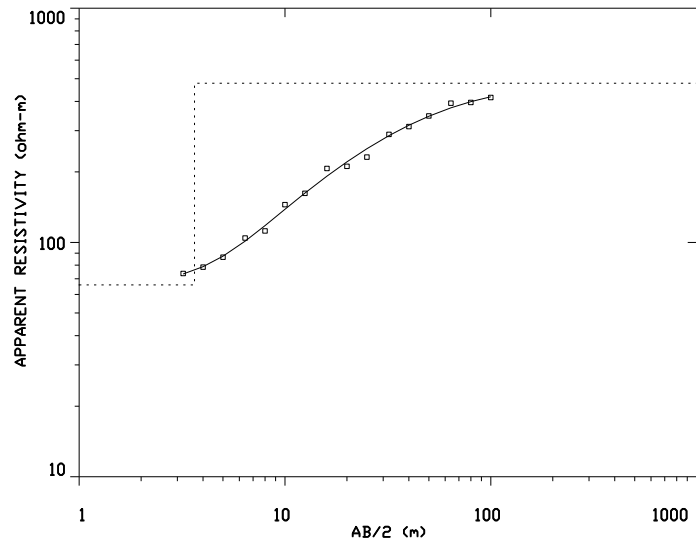
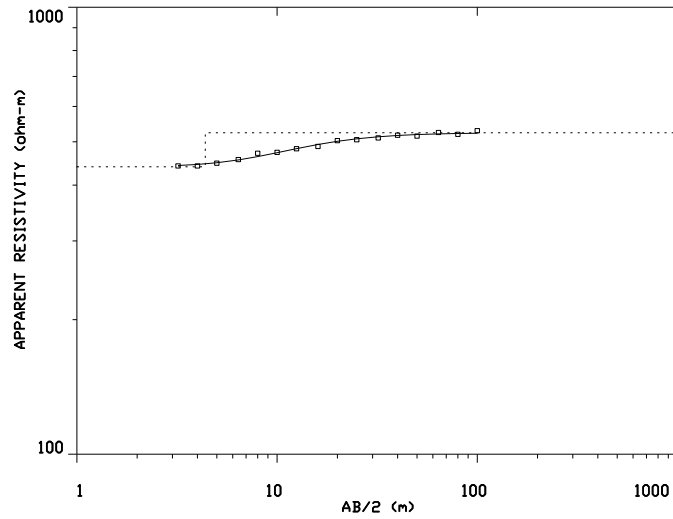


Figura 29. Curva obtenida sondeo electrico vertical # 2.



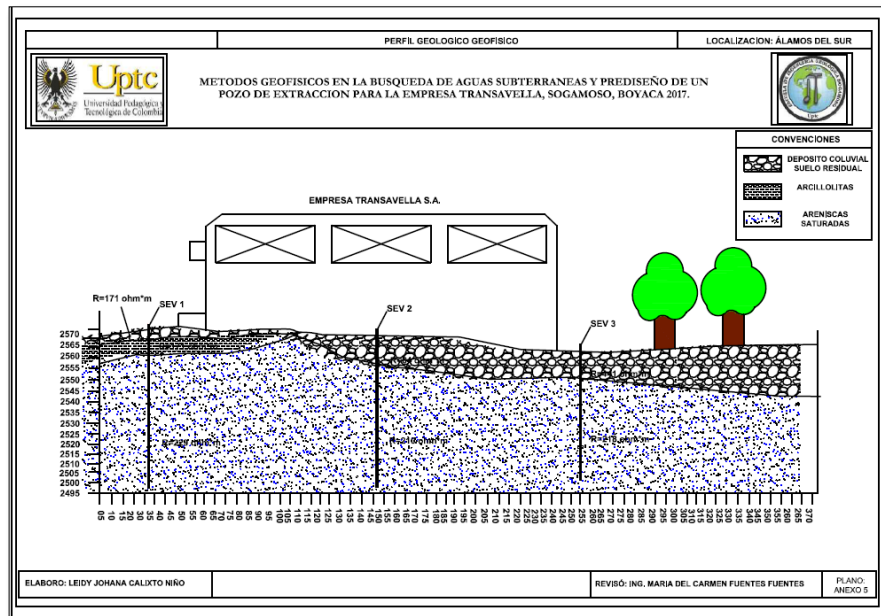
**Figura 30.** Curva obtenida sondeo electrico vertical #3

La interpretación es confiable al presentar en todos los casos, un error menor del 5 % establecido para los métodos geoelectricos.

### 5.1.2 Descripción del corte Geológico - Geofísico

Con la información arrojada por los sondeos eléctrico verticales (SEV) se construyó un corte Geológico - Geofísico para identificar las diferentes litologías presentes en la zona de estudio tanto a profundidad como en superficie.

Se encontró primero un deposito fluvio lacustre a una profundidad de 3.5m en algunas partes y con una profundidad máxima de 14.6m aproximadamente, con una resistividad aparente de  $95 \Omega \cdot m$ , debajo de este se encuentra un estrato de arcillas de espesor de 8.7m con una resistividad de  $171 \Omega \cdot m$  perdiéndose aquí su continuidad y por último se encuentran las areniscas saturadas con una resistividad aparente de  $229 \Omega \cdot m$ , figura 31 .ver Anexo N°5.



**Figura 31.** Corte Geologico-Geofisico SEV

**Fuente:** Autor

### 5.1.3 Interpretación de los sondeos eléctricos verticales

Para el SEV 1 localizado en las coordenadas X=1'125.276.231 y Y= 1'123.235.742 se encuentran las tres capas siendo así la capa 1 corresponde a un cuaternario fluvio lacustre con una resistividad de 95  $\Omega$ \*m y una profundidad de 3.5m, La capa 2 que corresponde a la formación Socha superior por su contenido de arcillolitas con una resistividad de 171  $\Omega$ \*m y una profundidad de 8.7m y la capa 3 a la formación Picacho con su contenido de areniscas con una resistividad de 229  $\Omega$ \*m.

Para el SEV 2 localizado en las coordenadas X=1'125.276.281 y Y=1'123.235.792 se encuentran dos capas siendo así la capa 1 corresponde a un cuaternario fluvio lacustre con una resistividad de 64  $\Omega$ \*m y una profundidad de 13.7m y la capa 3 a la formación Picacho con su contenido de areniscas con una resistividad de 210  $\Omega$ \*m.

Para el SEV 3 localizado en las coordenadas X=1'125.276.331 y Y=1'123.235.842 se encuentran dos capas siendo así la capa 1 corresponde a un cuaternario fluvio lacustre con una resistividad de 441  $\Omega$ \*m y una profundidad de 14.6m y la capa 3 a la formación Picacho con su contenido de areniscas con una resistividad de 218  $\Omega$ \*m, figura 32. Ver Anexo N°6.

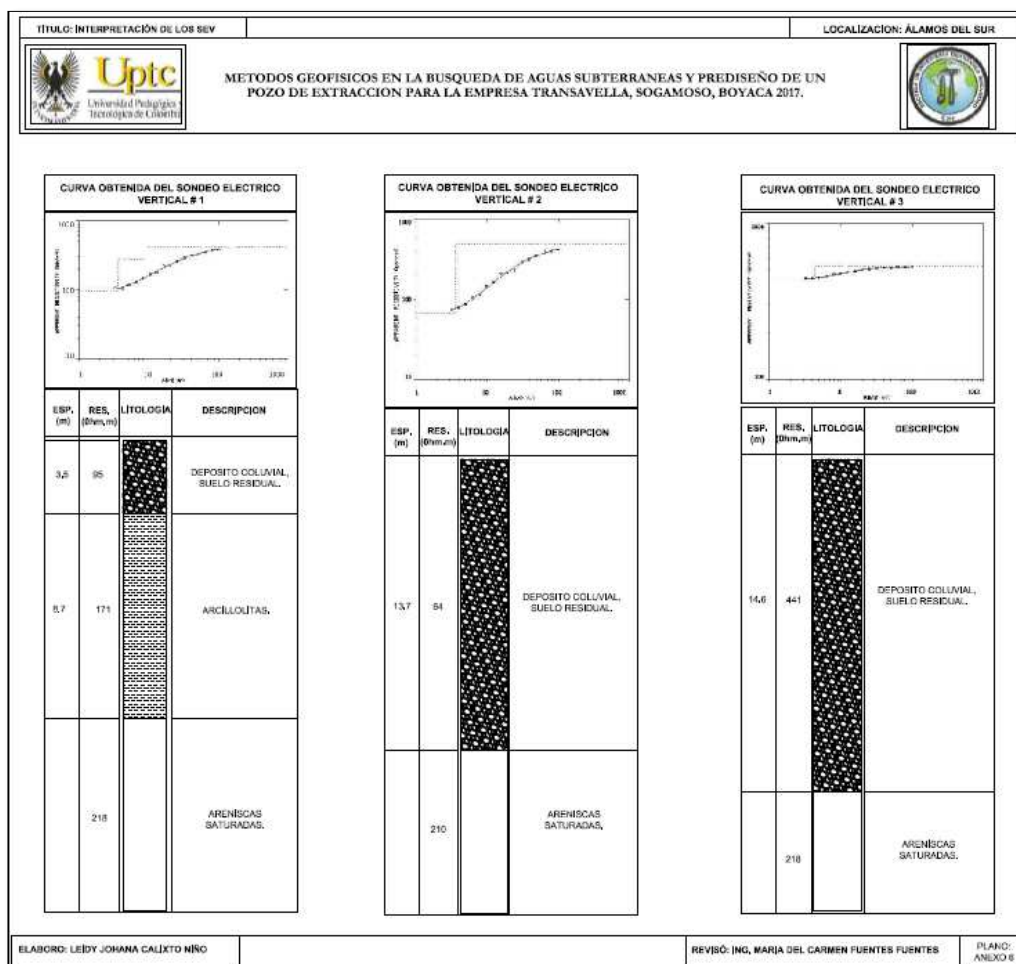


Figura 32. Interpretación de los SEV

Fuente. Autor

### 5.1.4 Ubicación del pozo.

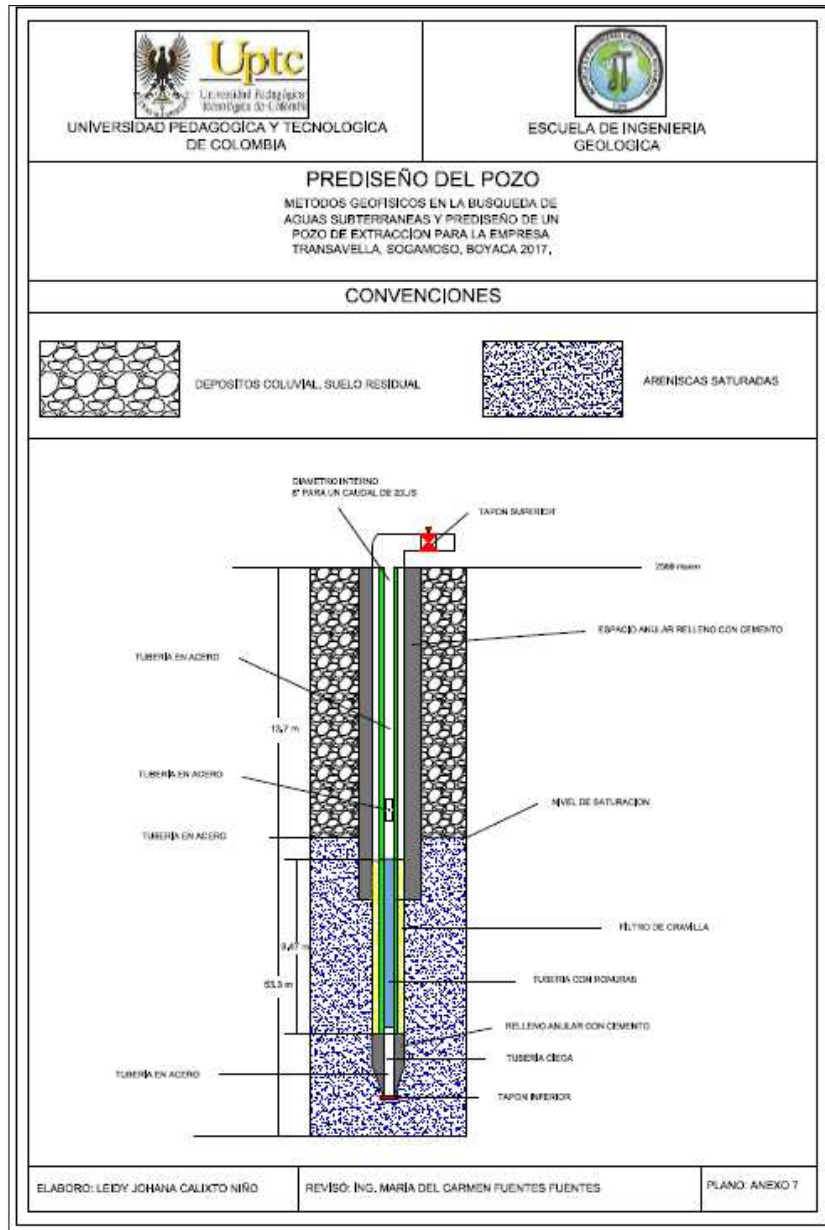
Según los resultados de los tres puntos de SEV se aprecia que existe la presencia de aguas subterráneas por debajo del depósito arena arcilloso y de acuerdo a los resultados obtenidos, se propone la ubicación del pozo en el punto 2 de SEV.

### 5.2. PREDISEÑO DEL POZO.

Considerando la necesidad de agua para la empresa de transporte TránsAvela S.A se elabora el prediseño de un pozo profundo para la extracción de agua subterránea y se puedan suplir las necesidades de la misma.

Con la información obtenida del subsuelo por medio de la geoelectrónica se prediseñó el pozo a los 67m de profundidad (ver anexo N° 7), esto involucro escoger los factores dimensionales apropiados para realizar la estructura.

Es de gran utilidad construir un pozo en términos de cuatro diferentes etapas, estas incluyen perforación, instalación de tubería, rejilla y sellado del pozo y desarrollo del mismo para obtener el funcionamiento libre de arena a un rendimiento máximo. Figura 33.



**Figura 33.** Prediseño del pozo para extracción de agua subterránea

Fuente: Autor



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de esta investigación se concluye que:

1. Se lograron identificar las diferentes litologías de las formaciones presentes en los sectores de estudio, a partir de los datos aportados durante la interpretación del SEV.
2. Se ubicaron los horizontes presentes según el comportamiento de las resistividades y se determinaron los espesores obtenidos para cada capa en cada punto.
3. La geología que predomina en la zona es muy favorable para la recarga del acuífero teniendo en cuenta que en el área de estudio se encuentran areniscas de la formación picacho.
4. De acuerdo a los estudios realizados se propuso el prediseño del pozo teniendo en cuenta las características encontradas.
5. Se recomienda que una vez realizado el pozo desinfectarlo con hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio o cloro gaseoso en soluciones que estén entre 50 a 200ppm de cloro.
6. Se recomienda análisis fisicoquímico después del primer mes de bombeo para confirmar la calidad del agua establecida mediante el análisis inicial.

## BIBLIOGRAFÍA

CORPOBOYACÁ

**Danko a.a.:** Geo electricidad I. Ed. MIR, 1986.

**Estrada, Luis A,** geofísica-FACET-UNT-prospección Geoeléctrica para ingenieros. Tucuman, Argentina 2012

**Fonseca F.A.:** Caracterización geológico – geoeléctrica de las litologías presentes en la zona centro de Boyacá, 2008.

**Geofísica 1.** (1978). Editorial Pueblo y Educación, Ministerio de Educación. La Habana Cuba.

**Guía Ras -007** Perforación Manual De Pozos Profundos De Pequeño Diámetro.

INGEOMINAS

Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Norma Técnica Para La Perforación De Pozos Profundos En La Administración Nacional De Acueductos Y Alcantarillados, Plan Hidro 2009.

**Orestes Montes** Libro de Geofísica I

**Pinto Morales L. H.:** estudio geoelectrico para la búsqueda de aguas subterráneas en Boyacá, 2005 - 2007.

**Van der Hammen, TH.** (1958). Estratigrafía del terciario y Maestrihtiano, continentales y Tectogénesis de los andes Colombianos.

## **ANEXOS**