

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**“Diseño y construcción de un pozo somero con fines de
reposición y recuperación de agua potable”**

Por:

Jesús Alberto Hernández Tafoya

Tesis presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**"Diseño y construcción de un pozo somero con fines de
reposición y recuperación de agua potable"**

Por:

Jesús Alberto Hernández Tafoya

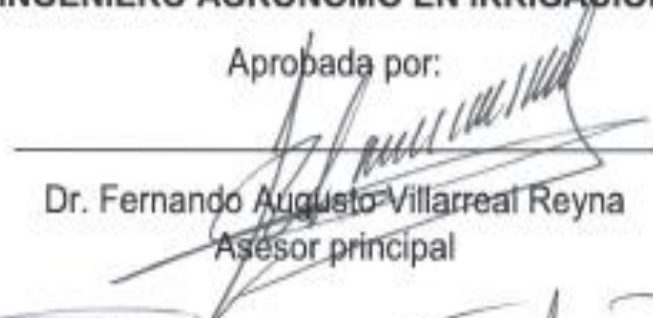
Tesis

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador


Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

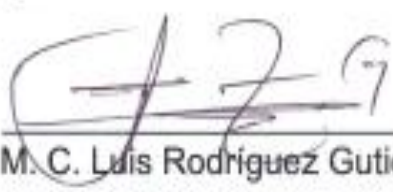
Aprobada por:



Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna
Asesor principal



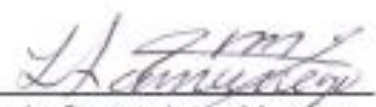
Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Coasesor



M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coasesor

Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"





Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Coordinación de la División
de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2017

Agradecimientos

Por abrirme las puertas en el campo del conocimiento profesional:

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por permitirme adquirir las herramientas específicas y fundamentales como Ingeniero especialista en Irrigación:

Al Departamento de Riego y Drenaje

Por su ayuda y apoyo incondicional en la realización de este trabajo:

Al Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna

Por ser coparticipes en mi formación profesional al instruirme conocimientos:

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Al M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

A todos mis maestros

Por su valiosa colaboración y por permitirme presentar el presente trabajo como mi tesis:

A los Benefactores del proyecto

Por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo:

A Mario Garza

Por abrirme las puertas en el Servicio Geológico Mexicano y dar su opinión y contribución al trabajo:

Al Ingeniero Carlos Rivera

Por su contribución en las actividades de este trabajo

Víctor Salas

Por todas las experiencias inolvidables:

A mis amigos

Por formar parte de mi vida en esta etapa y su apoyo incondicional

A Cristabel... mi novia

“Mis más sinceros agradecimientos para todos... muchas gracias”

Dedicatoria

Por permitirme estar viviendo todo lo que me acontece:

A Dios

Por ser el motor o razón principal para seguir trabajando y cumplir mis metas además de ser el primer apoyo moral y económico en la realización de las mismas:

Para Audelia Tafoya Flores y Jesús Hernández Rodríguez...mis queridos padres

Por su apoyo Económico y moral para la culminación de la ingeniería:

A Rubén... mi hermano

Por sus innumerables consejos:

A mis hermanos

Por compartir sus experiencias y ser unos grandes amigos:

A mis primos

Índice de Figuras

Figura 1. Ilustración del funcionamiento del método Eléctrico	19
Figura 2. Arreglo sistemático para exploración por el Método Eléctrico	23
Figura 3. Salida de resultados encontrados aplicando el Método Eléctrico	23
Figura 4. Tipos de Acuíferos	28
Figura 5. Perforación por percusión con cable y herramienta	32
Figura 6. Principio de acción en una perforación tipo rotaria	35
Figura 7. Acuífero Libre	48
Figura 8. Acuífero Confinado	50
Figura 9. Gráfica de prueba de aforo a caudal escalonado discontinuo	54
Figura 10. Gráfica de una prueba a caudal escalonado continuo	56
Figura 11. Ubicación del caudal útil y punto crítico	57
Figura 12. Localización del punto de perforación	61
Figura 13. Máquina de perforación adaptada para la penetración	62
Figura 14. Compresor utilizado para la inyección de soplado	62
Figura 15. Pozos de observación más cercanos al punto de perforación y sus respectivas características	65
Figura 16. Vista en planta de la distribución espacial de los pozos en el área	68
Figura 17. Ubicación de los pozos más influyentes en la nueva perforación	68
Figura 18. Profundidad de los pozos en zona centro de Saltillo	69
Figura 19. Niveles de los pozos más cercanos en el área de estudio	69
Figura 20. Comportamiento gráfico, respecto al tiempo, de los Niveles Estático y Dinámico de los pozos más cercanos al área de estudio	70
Figura 21. Carta Geológico-Minero Saltillo - Arteaga	73
Figura 22. Ilustración de la formación específica geológica del centro de Saltillo y área de estudio	74
Figura 23. Clasificación Geológica de los materiales encontrados en el perfil del suelo por medio de la perforación.	75
Figura 24. Muestreo de material extraído	75
Figura 25. Ilustración grafica del abatimiento del pozo respecto al tiempo.	81
Figura 26. Gráfica escalonada de abatimiento del pozo a las diferentes revoluciones aplicadas	82
Figura 27. Ilustración gráfica de la recuperación del nivel estático del pozo	82
Figura 28. Sistema de Abastecimiento de Agua del Pozo perforado	83
Figura 29. Maquina utilizada para la perforación y sus elementos	87
Figura 30. Broca o tricono utilizado en la perforación	88
Figura 31. Extracción y clasificación (en el SGM) de las muestras extraídas en la perforación.	88
Figura 32. Visita al Servicio Geológico Mexicano para emitir una clasificación de los materiales extraídos en la perforación.	88
Figura 33. Interior del compresor empleado	88
Figura 34. Ademado del pozo	88
Figura 35. Colocación de la bomba sumergible para el pozo	88
Figura 36. Medición de Niveles Estático y Dinámico en las pruebas	88
Figura 37. Formación Geológica presente en la perforación	88
Figura 38. Colocación de la Bomba Centrifuga para Re-bombeo.	88
Figura 39. Curva de Eficiencia de la Bomba Sumergible utilizada en el pozo	88
Figura 40. Curva de trabajo y eficiencia de la bomba centrifuga, utilizada para Re-bombeo.	88

Índice de Cuadros

Tabla 1. Comportamiento del medio frente al Agua Subterránea	26
Tabla 2. Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte	29
Tabla 3. Tiempos de lectura para prueba de Aforo (tiempos distribuidos de manera logarítmica).	58
Tabla 4. Características de los pozos ubicados en el denominado acuífero centro de la Ciudad de Saltillo	66
Tabla 5. Material empleado en el equipamiento del pozo	71
Tabla 6. Características de bomba empleada para sistema de Re-bombeo	71
Tabla 7. Clasificación geológica de las muestras extraídas en la perforación.	72
Tabla 8. Datos obtenidos durante la prueba	77
Tabla 9. Datos de tiempo de recuperación de la prueba de aforo	81
Tabla 10. Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte	87

Índice

Contenido

Agradecimientos	III
Dedicatoria	IV
Índice de Figuras	V
Índice de Cuadros	VI
Resumen	9
Introducción	10
Justificación	11
Objetivo General	12
Objetivo Específico	12
Hipótesis	12
Revisión de Literatura	13
Marco Teórico	13
Geohidrología.	13
Estudios Geohidrológicos de gran visión	13
Estudios Geohidrológicos Definitivos	15
Exploración de aguas subterráneas	15
Métodos de exploración geofísica	15
Método Gravimétrico	18
Método Magnético	18
Método Sísmico	19
Método Eléctrico	20
La Radiestesia	24
Tipos de acuíferos	26
Acuíferos libres	27
Acuíferos confinados	27
Acuíferos semiconfinados	27
Acuíferos colgados	28
Perforación	29
Método de perforación de pozos por percusión o golpe	31
Método de perforación de pozos por sistema de rotación	35
Lodos de perforación	41

Aforo de Pozos	45
Materiales y Métodos	61
Ubicación	61
Método	62
Materiales y Equipo Requerido	63
Resultados y Discusión	64
Prueba de Aforo	76
Resultados de la prueba de aforo	77
Sistema de Abastecimiento de Agua (SAA) del Sistema.	83
Conclusiones	84
Recomendaciones	84
Referencias Bibliográficas	85
Anexos	87

Resumen

La ciudad de Saltillo se encuentra dentro de un valle que junto con el municipio de Ramos Arizpe representan o se encuentran dentro de un acuífero denominado Saltillo-Ramos Arizpe, el cual cumple con el abastecimiento de agua potable para la población de ambos municipios. Por todo lo anterior nace la necesidad de que las fuentes de agua existentes estén disponibles y sean de buena calidad.

Surge la necesidad de realizar exploraciones para la localización de fuentes de agua potenciales y que a través de la perforación de pozos, tipo somero y profundo, sea posible la extracción del recurso y con un adecuado manejo cumpla con determinados niveles de demanda como son el abastecimiento de unidades residenciales a nivel general.

Debido a que los pozos deben cumplir con lineamientos en su diseño y construcción, tal como lo es el dictaminar la vida útil de los mismos acorde a diferentes criterios como material geológico presente en el perfil del subsuelo perforado.

Una vez que la vida útil de un pozo ha terminado ya sea por el colapso o derrumbe del mismo, es de vital importancia realizar una reposición por medio de un nuevo pozo. Es por lo anterior que se propone un “Diseño y construcción de un pozo tipo somero con fines de reposición de agua potable” por motivos de colapso o derrumbe de uno anterior.

La propuesta es la perforación de un pozo somero como efecto de reposición por medio del sistema de perforación rotaria, esto es crear una máquina perforadora que por condiciones de viabilidad se adapte a las condiciones del sitio como son la facilidad de acceso (debido a que es una zona urbana que no permite acceso de maquinaria normal para la actividad). Esta situación hace a la obligación de adaptar una máquina de perforación a menor escala que cumpla con los principios fundamentales de la perforación como lo son peso, soplado, giro y molienda y que permita adaptarse a las condiciones de viabilidad de la zona de trabajo.

Palabras clave: Sobreexplotación, Diseño, construcción, colapso

Introducción

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe se encuentra al sureste del estado de Coahuila, en el valle donde se ubican las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe, de donde toma su nombre. Abarca una superficie de 1460 km². Limita al noreste y este con los acuíferos Campo Durazno y Campo Buenos Aires respectivamente, ambos situados en el estado de Nuevo León; al sureste, con el acuífero Región Manzanera de Zapalinamé; al surponiente, con el acuífero Cañón del Derramadero; al oeste, con el acuífero General Cepeda-Sauceda y; al norponiente, con el acuífero Paredón.

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMO). Está constituida por rocas marinas intensamente plegadas en dirección norte sur, por lo que los ejes de las estructuras se orientan E-W.

El tipo de clima es en general de seco estepario a desértico. La precipitación media anual es de 369.9 mm, por lo que el volumen de lluvia en el acuífero es 534.50 hm³. La temperatura media anual en el acuífero es de 18.5° C; con máximas de 35° C y mínimas de -4° C.

El acuífero es de tipo libre, el flujo subterráneo sigue una dirección predominante de suroeste a noreste. El acuífero recibe una importante recarga vertical durante la época de lluvias, además de la recarga aportada por los arroyos intermitentes, provenientes de la porción oriental y sur del área. Otro aporte de la recarga lo constituye la infiltración inducida por los excedentes de riego y por las fugas a través de la red de distribución del agua potable.

Siendo este acuífero, determinado por estudios, la principal fuente de agua potable para la población de los municipios mencionados que con el pasar de los años se ha visto amenazada en cuanto a disponibilidad debido a la sobreexplotación en forma de extracción a través de pozos profundos y como se mencionó representa la principal fuente del abastecimiento para las zonas conurbadas y metropolitana de las ciudades.

Justificación

Debido a que la Ciudad de Saltillo presenta una fisiografía en la cual se tiene acuíferos superficiales y someros montados sobre areniscas y lutitas que a lo largo de 400 años aporato a una población por debajo de los 100,000 habitantes los recursos hídricos para poder subsanar la irrigación, el saneamiento de dicha población.

Actualmente con el paso del tiempo se presentan abatimientos graduales que ponen en riesgo a los mismos ecosistemas, que además de preservar se requieren como un balance entre concretos, pavimentos e infraestructuras que además de contaminarlos lo abaten.

Es importante desarrollar un sistema de abastecimiento de agua con nuevas tecnologías tanto en la exploración, perforación, construcción del pozo (ademes, gravas, filtros), que le den una vialidad de vida útil mayor a 50 años.

Las perforaciones en las manchas urbanas además de estar restringidas tienen que estar completamente justificadas con la sustentabilidad del medio ambiente.

Este trabajo tiene como justificación principal recuperar del subsuelo una aportación de 1 LPS que se requiere para mantener vivos aproximadamente 1 ha del cultivo de nogal en el centro de la ciudad, donde dicha huerta posee árbol con diámetros de hasta 2 m y altura de 22 m y una antigüedad de más de 80 años.

Esto se logra intentando buscar un recurso por debajo de las areniscas que están presentes a los 16 m ya que el acuífero superficial huele a fecales y está frecuentemente abatido, esto empeora la disponibilidad del recurso cuando el pozo original se ha colapsado el ademe, desarticulado perdiendo tanto verticalidad como diámetro interior.

Objetivo General

Construir y diseñar un nuevo pozo (tipo somero) y que por efecto del finiquito de la vida útil de uno anterior se debe reponer el sistema de abastecimiento de agua que este cubría. Para lo cual se busca explorar un acuífero que cumpla con capacidad de aportación superior a 1 LPS y que se encuentre a una profundidad aproximada de 60 m. donde se busca construir una máquina perforadora adoc que por condiciones de viabilidad urbana (edificios, casas) es imposible realizarlo con una máquina normal.

Objetivo Específico

Explorar a través de una máquina perforadora de rotación, un acuífero secundario por debajo de las areniscas que tenga una capacidad de aportación superior a 1 LPS.

Hipótesis

Dada la sobreexplotación del acuífero libre superficial ubicado en los rellenos del centro de la ciudad de Saltillo, **denominado “Acuífero Centro”**, se considera que es más viable construir un nuevo pozo como efecto de reposición, donde se explore el acuífero secundario por debajo de las areniscas (25 m) y sellar la influencia del acuífero superficial que además de abatido y contaminado carece de aportación significativa. Así mismo, se espera que, al romper el confinamiento de las areniscas el nivel del agua deberá subir a un nivel de equilibrio como lo presentan los pozos circunvecinos aproximadamente entre 13 y 15 m.

Revisión de Literatura

Marco Teórico

Geohidrología.

Es la ciencia que estudia las leyes que rigen la presencia y movimiento de las aguas subterráneas. Es decir, el acuífero, la migración y volumen almacenado, así como los métodos para su explotación y conservación.

Estudios Geohidrológicos de gran visión

En nuestro país muchas de sus regiones, no son igualmente favorecidas por la precipitación pluvial en cuanto a su abundancia y distribución anual, así como por la existencia de corrientes naturales que puedan aprovecharse. En consecuencia, el aprovechamiento de las aguas subterráneas es de suma importancia. Esto ha sido posible gracias al avance de la Geohidrología en el campo de la investigación, encaminadas a la localización de acuíferos factibles del explotarse y a las técnicas de perforación actualmente empleadas, que permiten alcanzar grandes profundidades, ampliando así el conocimiento del subsuelo.

Para la localización de las aguas subterráneas es indispensable la intervención de especialistas, quienes al aplicar sus conocimientos, realizan estudios geohidrológico para que el aprovechamiento se efectúe dentro de la zona más adecuada y la explotación resulte económica. Para ello, primeramente se elabora un plano geohidrológico, basado de ser posible en fotografías aéreas y últimamente con el apoyo de los sistemas de información geográfica cuya interpretación sirve para definir los rasgos geológicos que tengan relación con la geohidrología de la región; dicha interpretación debe comprobarse posteriormente mediante un reconocimiento de *campo para* cubrir los aspectos relativos a la geología superficial.

Durante el recorrido general de la zona, el geólogo recaba datos sobre el clima y precipitación pluvial de la región de que se trate así como de las condiciones que privan dentro del área de estudio para definir las características fisiográficas y geológicas de la misma.

Entre los materiales que tienen mayor importancia para el estudio- de las aguas subterráneas están las arenas y gravas ya que favorecen su circulación a través de ellas debido a la permeabilidad que presentan, siendo su capacidad de almacenamiento proporcional al espesor de las formaciones permeables y a la uniformidad de los granos.

Conociendo el volumen de la precipitación pluvial, el clima de la región y las características de los materiales que la constituyen, se determina aproximadamente el volumen de agua que se evapora; el que se infiltra y el de escurrimiento; naturalmente, existen regiones en que la precipitación es mínima y el agua no alcanza a infiltrarse evaporándose en gran proporción

Las estimaciones que se obtengan deben tomarse bajo criterio muy conservador ya que tienen como base el conocimiento general de la región desde el punto de vista geológico; de las características físicas que presentan los materiales que cubren la zona de estudio y de las formaciones que deben constituir el acuífero, por lo tanto la explotación debe efectuarse en forma racional proyectando que la extracción jamás sea superior a la recarga de los acuíferos ya que al romperse este equilibrio, inmediatamente se manifiesta por descensos en los niveles de bombeo fuera de lo previsto, provocando incrementos en los costos de operación.

Cuando se explotan acuíferos localizados en zonas costeras o zonas que fueron depósitos salinos el abatimiento de los niveles de las aguas subterráneas por abajo del nivel del mar propicia la intrusión de las aguas marinas, lo que implica la contaminación de los acuíferos si no se toman las medidas adecuadas para la conservación de los mismos.

Una de las técnicas más recomendables consiste en perforar pozos de observación debidamente localizados tanto a lo largo de la costa como dentro de la zona de extracción, para observar en ellos el comportamiento de las aguas subterráneas, condiciones de drenaje, flujo, profundidades etc., y de ahí estimar las posibilidades de incrementar el número de pozos de explotación sin afectar los acuíferos.

Estudios Geohidrológicos Definitivos

El estudio integral geohidrológico completo de una región comprende la determinación de la cantidad y calidad del agua disponible en forma permanente y económica; estos aspectos requieren además del estudio de la geología e hidrología de la región, el de las características hidráulicas y geoquímicas de los acuíferos.

Por medio de los estudios hidrológicos se determinan en forma expedita las direcciones y sentidos del flujo subterráneo mediante el empleo de pozos piezométricos y la obtención del gradiente hidráulico o bien, por medio de estudios geoquímicos basados en los cambios que se manifiestan en la composición química de las aguas subterráneas por el contacto de éstas con las rocas por donde fluye. Estos valores permiten la formación de cartas de curvas isopiezométricas o de igual valor para una o varias características químicas del agua, con las que es posible obtener un esquema general del flujo subterráneo, además de permitir identificar el origen y calidad de las mismas.

Exploración de aguas subterráneas

Métodos de exploración geofísica

La prospección o exploración geofísica es, a primera vista, en conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, etc.) como también la orientación de excavaciones arqueológicas, detección de galerías subterráneas, etc., por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la tierra (Orellana, 1972)

La exploración geofísica es la prospección de estructuras geológicas y depósitos minerales realizada por medio de la medición de ciertas cantidades físicas, verificadas en la superficie del terreno como fenómenos que pueden ser interpretados por las leyes fundamentales de la física y el empleo de instrumentos adecuados.

La experiencia ha demostrado que muchas estructuras del subsuelo y depósitos minerales, pueden ser localizadas siempre que existan diferencias detectables en

sus propiedades físicas; siendo las principales; densidad, magnetismo, elasticidad, y conductibilidad eléctrica.

Hay que hacer hincapié en el hecho de que los métodos geofísicos actúan en la exploración de las aguas subterráneas como métodos indirectos o estructurales, es decir, ayudan a determinar las zonas más favorables a partir de la medida de parámetros físicos del subsuelo. Esto significa que, en el mejor de los casos, la prospección geofísica orienta la localización de las zonas donde existen las condiciones necesarias, aunque no suficientes para que una formación geológica sea explotable como acuífero. Solo un método de reciente aplicación en hidrogeología, la resonancia magnética protónica, que es capaz de medir la frecuencia de resonancia de los protones (H+) contenidos en el agua en presencia de un campo magnético estático, como el campo magnético terrestre, permite la detección directa del agua subterránea.

Los métodos geofísicos aplicables a la investigación hidrogeológica son numerosos y variados, y debe aplicarse en cada caso el más adecuado, o mejor dicho, los más adecuados, ya que muchas veces el uso combinado de dos o más técnicas permite una mejor solución al problema planteado. Durante muchos años, debido a la sencillez y economía de la instrumentación, la prospección mediante sondeos eléctricos verticales fue muy popular, hasta el punto de llegarse a confundir como sinónimos geofísica aplicada a la hidrogeología con sondeos eléctricos verticales (Granada, 1986).

A medida que el grado de dificultad para encontrar el agua subterránea aumenta y los costos de perforación se incrementan, los métodos indirectos de exploración que permiten detectar la presencia de agua desde la superficie se hacen indispensables. Desde hace algunos años, en las campañas de prospección geohidrológica se han utilizado métodos indirectos de la exploración geofísica. También se utilizan sensores remotos capaces de medir alguna propiedad física de un objetivo determinado a una distancia considerable de este.

Con los métodos geofísicos se pueden investigar zonas sin acceso para el ser humano, como el interior de la tierra. En la búsqueda de yacimientos metalíferos

(prospección exploración). Estos métodos pueden dar informaciones sin hacer una perforación de altos costos. Existen varios métodos geofísicos los cuales aprovechan propiedades físicas de las rocas. Pero todos dan solamente información indirecta, es decir nunca sale una muestra de una roca. Los resultados de investigaciones geofísicas son hojas de datos (números) que esperan a una interpretación.

Dichas propiedades del suelo originan cuatro métodos principales para la exploración:

- Gravimétrico
- Magnético
- Sísmico
- Eléctrico

Método Gravimétrico

Se basa en la medida de las pequeñas variaciones del campo gravitacional, debidas a las diferencias que existen entre densidades de los distintos tipos de rocas que constituyen la corteza terrestre, causadas por variaciones en la distribución de las masas como consecuencia de movimientos geológicos.

El método gravimétrico, estudia las anomalías de la gravedad en la superficie terrestre a fin de deducir zonas muy compactas e impermeables, con anomalías positivas, y zonas porosas o fracturadas permeables con anomalías negativas por defecto de masa. Es útil para determinar la existencia de fallas importantes o de grandes cavidades Kársticas saturadas de agua.

Algunas aplicaciones del método

Minería

- Localización de yacimientos de minerales metálicos
- Localización de yacimientos de minerales no metálicos

Geotecnia

- Modelización del substrato rocoso
- Detección de cavidades

Medio ambiente

- Caracterización de vertederos

Método Magnético

La interpretación de este método se basa en que el campo magnético normal de la tierra es uniforme en áreas donde la composición magnética de los materiales también lo es; pero será distorsionado cuando éstos presente alguna variación de ese orden.

El grado de distorsión dependerá de la susceptibilidad de las rocas y de la masa y configuración de los materiales componentes.

Método Sísmico

La sismología se basa especialmente en las variaciones, de la elasticidad y densidad que presentan los materiales que componen la corteza terrestre, utilizando para su aplicación ondas elásticas producidas artificialmente, dependiendo por lo tanto de la velocidad de propagación de estas ondas a través de la rocas, siendo necesario para su empleo que exista un plano de contacto entre dos materiales de diferentes propiedades elásticas.

De acuerdo con el carácter de las ondas cuyo tiempo de propagación es el que se mide, se han desarrollado dos métodos diferentes.

El de Refracción y el de Reflexión. El primero se basa sus estudios en las ondas refractadas y el segundo en las ondas reflejadas.

El método la sísmica de Refracción y Reflexión se basa en la distribución de velocidades sísmicas originadas con una fuente artificial (golpeo o explosión sobre la superficie del suelo). La velocidad sísmica aumentará en aquellos materiales de mayor densidad permitiendo distinguir entre distintos tipos de materiales.

Este procedimiento se funda en la diferente velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes medios materiales. Esencialmente el método consiste en provocar una explosión en un punto determinado del área a explorar usando una pequeña carga de explosivo. Por la zona a explorar se sitúan registradores de ondas (geófonos), separados entre sí de 15 a 30 m. La función de los géofonos es captar la vibración, que se transmite amplificada a un oscilógrafo central que marca varias líneas, una para cada géfono.

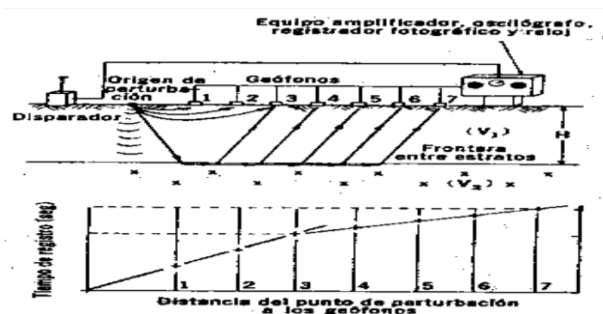


Figura 1. Ilustración del funcionamiento del método Eléctrico

Método Eléctrico

Las estructuras geológicas pueden ser delineadas mediante la interpretación de sus reacciones con los campos eléctricos y electromagnéticos, sin embargo, lo limitado del poder de penetración del método, restringe su aplicación a aquellos accidentes estructurales comprendidos dentro de profundidades aproximadas de 500 m. (actualmente ya existen equipos de penetraciones hasta de 1,500 m. que trabajan a frecuencia muy reducida).

Relaciones de caída de potencial

Esta es una de las aplicaciones del Método Eléctrico, se funda en la propagación de una corriente eléctrica de muy baja frecuencia y en las características físicas del subsuelo.

Consiste en crear un campo de potencial en el subsuelo al introducir al terreno una corriente de intensidad generada y recuperar los efectos que se producen mediante la utilización de instrumentos y dispositivos de medida, permitiendo obtener información sobre las características generales del subsuelo y definir la posición de las anomalías de acuerdo con las propiedades eléctricas que presenten.

De esta forma es posible definir estructuras que tienen no solamente disposiciones horizontales sino hasta verticales como fallas, filones o diques.

En la mayoría de los casos los materiales del subsuelo permiten en mayor o menor grado el flujo de la corriente eléctrica, ya sea a través de las rocas o minerales debido a la ionización de los mismos o de los electrolitos que se forman por la presencia del agua (conductibilidad eléctrica).

De acuerdo con lo anterior las rocas compactas presentarán una elevada resistencia al paso del flujo de la corriente. Si son permeables opondrán baja resistencia, la que disminuirá aún más si contienen agua.

El procedimiento consiste en formar un campo eléctrico artificial en el subsuelo generándolo desde la superficie del terreno mediante el contacto de planchas metálicas llamadas electrodos de corriente y obtener potenciales inducidos a través del contacto de los electrodos de potencial; es decir valores numéricos que, al ser

relacionados con la profundidad teórica de la exploración con los puntos de contacto de la fuente corriente y la distancia a los de captación del campo eléctrico (electrodos de potencial), permiten el cálculo y trazo de gráficas que sirven para determinar las zonas de saturación y la profundidad a la que éstas se registran, más no datos precisos sobre la potencialidad de los acuíferos.

Equipo empleado

- 1.- Generador de energía eléctrica.
2. - Electrodo primario o de corriente.
- 3- Electrodo secundario o de potencial.
- 4- Un medidor de Relaciones de Caídas de Potencial. (Gradiómetro de Resistencia).

El objeto de los dos primeros es proporcionar la energía eléctrica; en tanto que de los dos últimos es medir los gradientes de potencial que se relacionen con la deformación de este campo producido por las variaciones de la conductividad o resistividad en las rocas que constituyen el subsuelo.

Fuente de Energía

La fuente de energía consta generalmente de un moto generador de corriente alterna de más o menos 110 Volts, 300 Watts. auto-excitada a 25 ciclos por segundo e impulsada por un motor de combustión interna de medio caballo de fuerza y de 4 tiempos.

Electrodos Primarios

Los electrodos primarios son dos y consisten en placas metálicas a las que están conectados unos pies cortos verticales dotados de agarraderas; estas placas se colocan en pequeñas excavaciones hechas expresamente sobre la superficie del terreno previamente humedecidas con un electrolito formado con agua más una sal (generalmente cloruro de sodio comercial) para disminuir la resistencia de contacto. La distancia que separa los electrodos de corriente es aproximadamente 5 veces la profundidad teórica que se desee alcanzar y formará un ángulo recto con la línea de estudio.

Electrodos Secundarios

Los tres electrodos secundarios o de potencial, son varillas de cobre de sección circular que deben enterrarse en el suelo lo más firmemente posible a fin de disminuir las variaciones en la resistencia de contacto y, en la misma forma que los electrodos primarios también se humedecen con agua, agregándole cloruro de sodio.

La separación de estos electrodos está en proporción de la distancia de la estaca central al electrodo de corriente. Los intervalos demasiado pequeños entre los electrodos, por ejemplo de 0.50 a 1.0 m normalmente producen lecturas semejantes reportando curvas de gran continuidad y si éstos son muy grandes, de 10 m en adelante, pueden proporcionar lecturas con valores cuyas diferencias entre sí sean tales que generen gráficas de poca claridad y de interpretación sujeta a errores; por lo tanto es conveniente utilizar intervalos con distancias de más o menos de 3.0 m.

ARREGLO DE ELECTRODOS EN SONDEOS VERTICALES
 (SEGUN WENNER NEUMANN LEE)
 METODO DE R. C. P. APLICADO EN EXPLORACIONES GEO-ELECTRICAS

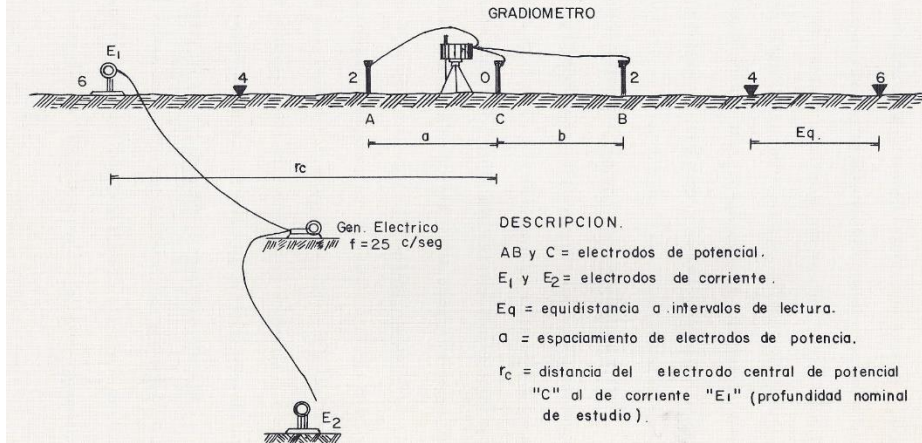


Figura 2. Arreglo sistemático para exploración por el Método Eléctrico

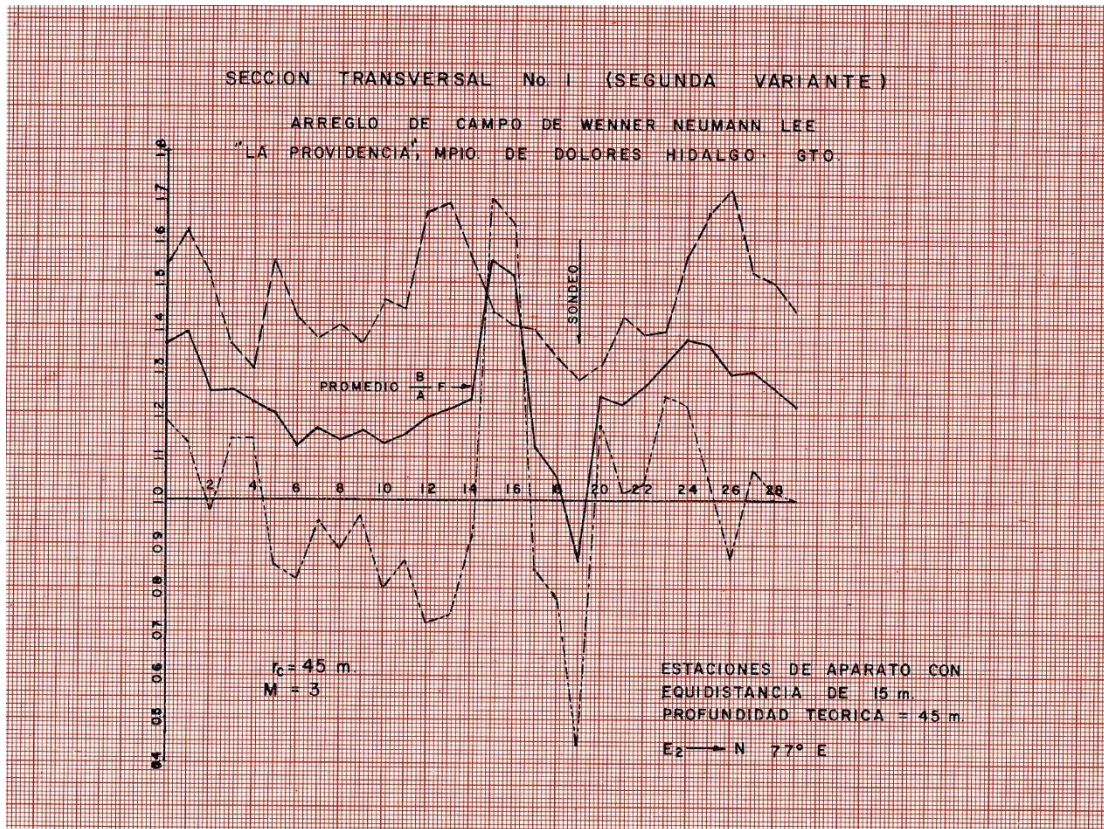


Figura 3. Salida de resultados encontrados aplicando el Método Eléctrico

La Radiestesia

La Radiestesia es una técnica o arte por medio de la cual se detectan los campos electromagnéticos, en los seres humanos, plantas, objetos y lugares. Cabe señalar que absolutamente todo tiene energía y emite radiaciones.

Historia

La radiestesia, está construido a partir de dos términos: el latino *radium*: “radiación” y el griego *aesthesia*: “percepción de los sentidos” o “capacidad de sentir”.

Zahorí, eran los llamados radiestesista o rabdomante, es alguien que afirma que puede detectar cambios del electromagnetismo a través del movimiento espontáneo, de dispositivos simples sostenidos por sus manos, normalmente una varilla de madera o metal en forma de “Y” o “L” o un péndulo. Los zahoríes afirman qser capaces de detectar la existencia de flujos magnéticos o líneas ley campos ´magnéticos terrestres, corrientes de agua, vetas minerales, lagos subterráneos, etc. a cualquier profundidad y sustentan la eficacia de la técnica en razones psicológicas, y los movimientos de los instrumentos por efecto ideomotor. Mientra para algunos defensores de la técnica, se trataría de una habilidad explicable por la ciencia, otros la tratan de “facultad supranormal”.

Antecedentes

La radiestesia en su variante tradicional de búsqueda de agua subterránea es una práctica desde hace al menos 4,500 años. Ha sido ampliamente practicada desde tiempos remotos, a falta de conocimiento geológico o de instrumental científico, si bien hoy día sigue teniendo amplio uso en zonas rurales, a pesar de la falta de pruebas científicas sobre su eficacia.

Técnicas Utilizadas



El practicante de radiestesia puede emplear:

- Quienes hacen uso de la horquilla de árbol, preferentemente avellano común o sauce, la sostienen con las dos manos y en una postura determinada mientras el sujeto recorre el terreno a explorar, hasta que su movimiento indique la presencia buscada.
- Varilla vegetal o metálica
- Péndulo de alguna piedra, madera o metal

Todos sirven de estímulo para percibir las energías, siendo los más utilizados el péndulo y las varillas, no obstante algunos radiestesistas utilizan otro tipo de equipos, o no sirven de ninguno.

Usos de la radiestesia

La radiestesia practicada con péndulo es una técnica de medicina alternativa que pretende servir para el diagnóstico y está muy relacionada con los campos descritos por la Acupuntura.

Una utilidad conocida de la radiestesia, quizá la de más larga tradición, es la realizada por los denominados zahoríes, que aseguran ser capaces de encontrar los sitios más favorables para la excavación de pozos, donde el nivel freático es más accesible, por medio de estas técnicas.

Los usos pretendidos de la radiestesia son muchos, con ella se intente:

- Diagnosticar enfermedades
- Encontrar agua, minerales
- Inventariar recursos naturales
- Predecir estados actuales o futuros de la materia viva
- Encontrar objetos perdidos
- Ubicar puntos de radiación de energía
- Encontrar personas

Tipos de acuíferos

Acuífero: Es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas intercomunicados entre sí, capaces de almacenar agua y cederla con facilidad. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas y depósitos de dunas, etc.

Acuícludo: se define como aquella formación geológica que, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite o cede ya sea porque el agua se encuentra en forma congénita, higroscópica o pelicular y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos de arcillas de cualquier origen

Acuitardo: este término hace referencia a numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos.

Acuífugos: este término se refiere a aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación.

Tabla 1. Comportamiento del medio frente al Agua Subterránea

	Porosidad Total	Permeabilidad
Acuíferos	Alta o Moderada	Alta
Acuitardos	Alta o Moderada	Baja
Acuícludos	Nula	Nula
Acuífugos	Nula o Muy Baja	Nula

Las clasificaciones de los acuíferos pueden variar según el factor que se tome en cuenta para hacerlas. De este modo se pueden clasificar los acuíferos según los materiales litológicos que los constituyan (detríticos, fisurados, volcánicos, ect.) o,

como en este caso vamos a tomar el factor de la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, lo cual se traduce en unas circunstancias prácticas muy útiles al hablar de captaciones de esa agua.

Acuíferos libres

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos y que se encuentran a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, pero lo importante es que no tenga por encima ningún material impermeable. En estos acuíferos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica)

Acuíferos confinados

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

Acuíferos semiconfinados

Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) o/y el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo, es decir, un material

que permita una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, habrá situaciones en los que la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia de potencial.

Acuíferos colgados

Algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizás sólo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimentan después de una recarga muy excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada.

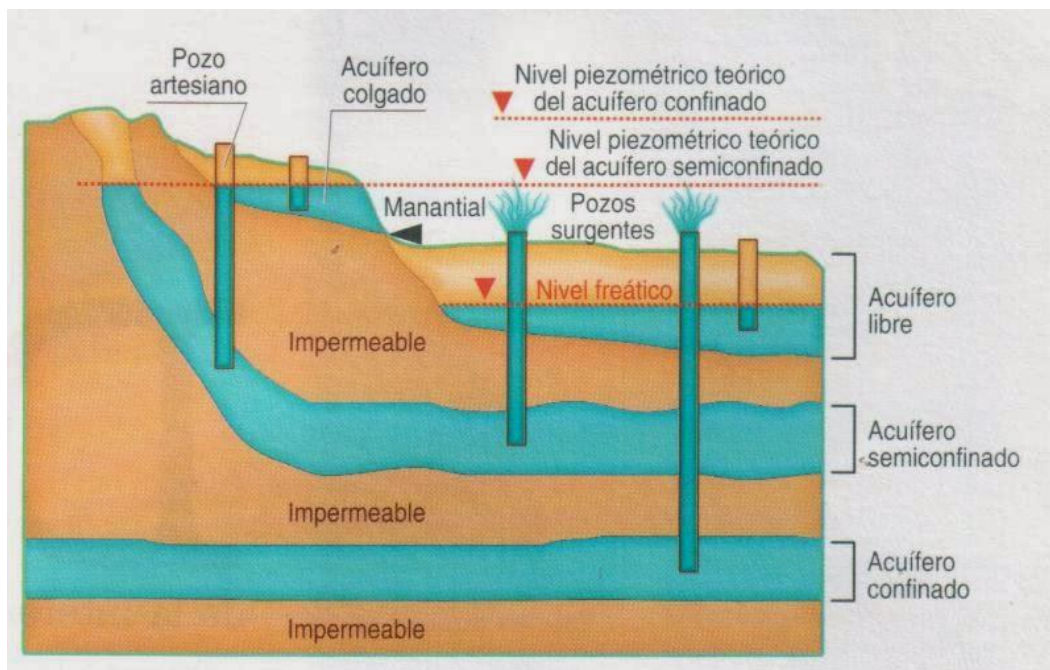


Figura 4. Tipos de Acuíferos

Perforación

La perforación de pozos someros y profundos, se puede definir como la horadación del terreno efectuada por medio artesanal, o de máquinas y herramientas tanto mecánica como hidráulicas, de roto impacto o percusión a profundidades mayores de 10 mca (1 Atmosfera Standard).

Más sin embargo la primera perforación es la de exploración y es aquella que tiene como objetivo específico conocer el tipo y la dureza de los materiales que se involucran en el perfil del suelo, su relación con los fluidos de saturación especialmente el agua.

Tabla 2. Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte

Material	Presión de corte (Bar)
Suelo	50
Rudaseas	200
Yeso	500
Areniscas	1000
Caliza roca sedimentaria	1500
Esquisto pizarra roca metamórfica	2000
Granito roca ígnea plutónica (Feldespatos y mica)	2500
Cuarcita roca metamórfica cuarzo	3000
Mineral de hierro o roca férrica	4000
Diamante	5000

En la industria de la ingeniería civil se utiliza para explorar, monitorear, o construir las zapatas de base estructural para alguna cimentación.

Y en los últimos años su aplicación en la construcción de medios saturados, conjugándose con lodos y cementos especiales, así como ademes y plásticos que protejan la estructura de cimentación contra la influencia salina y corrosiva de materiales y aguas.

En el área de la minería estos se utilizan para crear las mejores condiciones de explotación de los minerales y del carbón. Perforando en puntos específicos y la roturación se genera por medio de la explosión de la estructura de corte (dinamitándolo).

Más sin embargo el más utilizado es el caso de las aguas subterráneas, la perforación puede tener varias finalidades; el alumbramiento de las mismas con fines de riego, de usos domésticos, abrevadero o industriales.

Es el que más se ha diversificado ya que la explotación del agua del subsuelo representa el 72 % del agua urbana y agrícola del planeta.

Cabe mencionar que la tecnología de la perforación de pozos profundos es básicamente petrolera, tanto la exploración como la herramienta de perforación.

La tecnología más avanzada, los costos tan elevados en las ramas de la investigación de acuíferos, los sondeos de las zonas, y el evaluar el comportamiento del agua en el suelo están basados en principios de mecánica de fluidos como el petróleo y el gas.

La historia de la construcción de máquinas de perforar es una clara muestra de que el hombre intenta extraer tanto gas y petróleo de las condiciones más adversas (actualmente en aguas profundas) en donde se encuentre el vital fluido, y con esto la industria de la perforación de pozos para agua se ha visto favorecida.

Los registros más antiguos de perforaciones de pozos datan del siglo tercero A.C. y tuvieron lugar en China. La técnica de perforación con herramienta operada por cable consistía en dejar caer una pesada herramienta metálica y retirar la roca pulverizada con un contenedor tubular. Los chinos estaban relativamente

avanzados en este arte y se les atribuye haber sido los pioneros en el uso intencional de fluidos en el proceso de perforación. En este caso el fluido era agua, que suavizaba la roca y, por lo tanto, facilitaba la penetración y ayudaba a eliminar los fragmentos de roca pulverizada conocidos como detritos. (Es importante extraer los detritos del pozo para que los trépanos de perforación estén libres para seguir perforando).

En 1833, un ingeniero francés llamado Flauville estaba observando la técnica de perforación con herramienta operada por cable, cuando el aparato de perforación se topó con agua. Entonces se dio cuenta de que el agua que brotaba era muy útil para sacar los detritos del pozo. El principio de utilizar fluidos en movimiento para sacar los detritos del pozo tuvo su origen en ese momento. Flauville ideó una instalación para bombear el agua hacia el interior de un vástago de perforación y arrastrar los detritos al regresar a la superficie a través del espacio existente entre el vástago de perforación y la pared del pozo. Actualmente, este procedimiento sigue vigente.

Método de perforación de pozos por percusión o golpe

El método de percusión con cable y herramienta es uno de los más antiguos empleados en la construcción de pozos. Ha sobrevivido por cientos de años debido a que es útil en la amplia variedad de condiciones geológicas, pudiendo ser en ocasiones la mejor opción y en algunos casos el único método posible a usarse. Utiliza la caída libre de una barrena pesada que va aplicando golpes contra el fondo de un agujero y penetrando de esta manera en el suelo. Los cortes se retiran periódicamente por medio de un achicador o bomba de arena. Las herramientas para perforar y desazolvar se llevan en líneas o cables separados enrollados en tambores elevadores independientes.

Los componentes básicos de un equipo de perforación por cable y herramienta son la unidad de fuerza motriz para impulsar el carrete del cable de perforación y el carrete de la bomba de arena, y un balancín para impartir el movimiento de las herramientas de perforación, montadas en un bastidor que lleva una grúa o mástil de pozo, adecuado para el uso de una línea de herramientas de perforación.

La sarta completa de perforación está constituida por 4 elementos: la barrena, la barra de peso, la tijera o percusores de perforación y el portacable giratorio. La barrena se usa para aflojar los materiales de roca o quebrarlos y al oscilar los mezcla con un fluido. En conjunto, los materiales se extraen por medio de un achicador, cuchara o bomba de arena. Cuando se perfora en formaciones secas, debe agregarse agua para formar el lodo. El paso del agua sobre la barrena permite el movimiento del lodo relativo a ella, y por lo tanto, facilita el movimiento oscilante de caída libre de la barrena. La barra de peso situada inmediatamente sobre la barrena, solo proporciona peso adicional a esta y agrega longitud a la línea de herramientas para percibir que la perforación sea recta

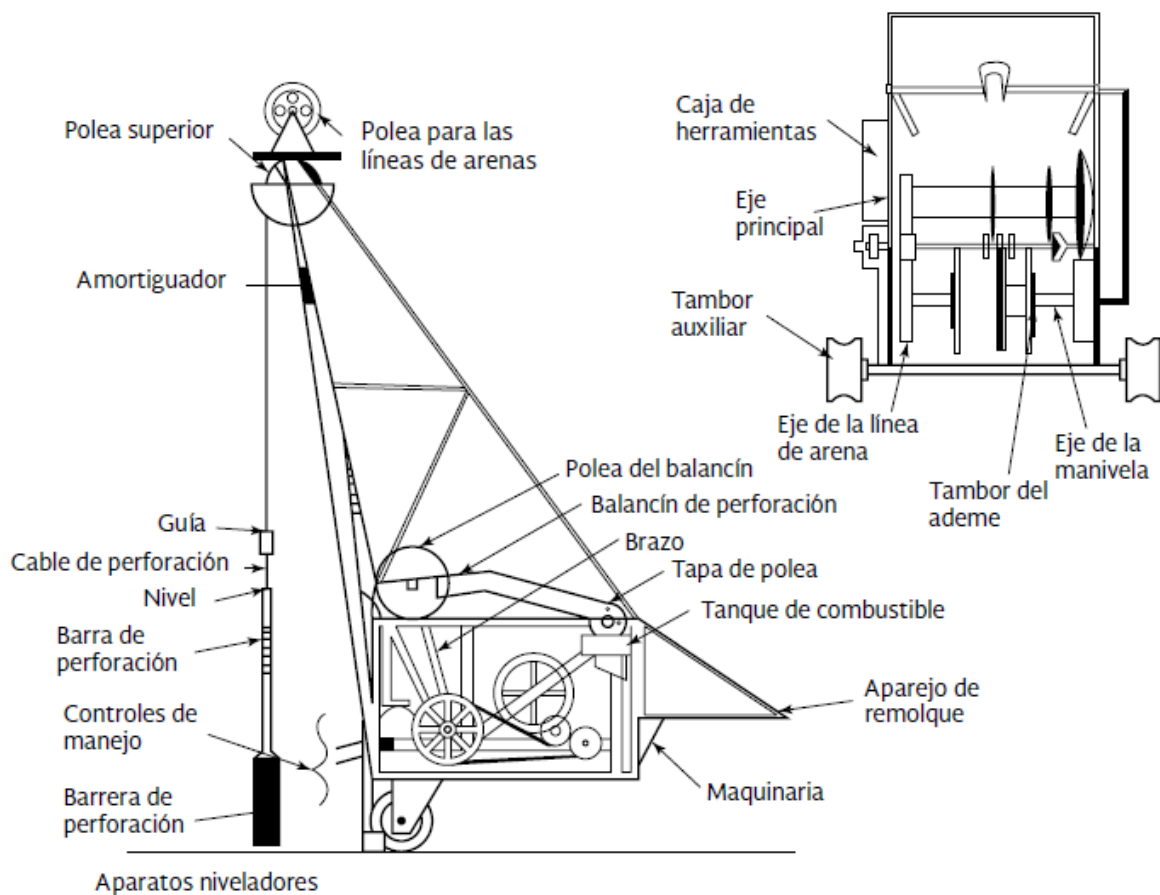


Figura 5. Perforación por percusión con cable y herramienta

Los percusores son un par de barras de acero, las que pueden moverse entre sí en una dirección vertical. El juego o carrera de los percusores de perforación es de 15 a 23 cm (6 a 9"). Los percusores de perforación deben diferenciarse de los de pesca, de igual diseño, pero con una carrera mayor de 45 a 90 cm (18 – 36") y que se utilizan para pescar o recuperar herramientas que se han soltado de la línea de perforación en el agujero.

Los portacable giratorio conecta la línea de herramientas con el cable de perforación. Está construido de tal manera que proporciona una ligera rotación a las herramientas de perforación en el sentido de las manecillas del reloj, en relación con el cable. A este último se le denomina línea de perforar. La rotación impuesta a las herramientas asegura que la perforación forme un pozo de sección circular.

La herramienta extractora del material ya perforado puede ser una cuchara o una bomba de arena. La primera es una sección de tubo con una válvula de retención en el fondo. La válvula puede ser de tipo plano o de dardo. La bomba de arena es una cuchara dotada de un émbolo que, al desplazarse hacia arriba, produce un vacío que la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos, haciéndolos penetrar al tubo. Las bombas de arena se fabrican siempre con válvulas de retención tipo plano.

La sarta de perforación debe golpear en el fondo del pozo estando el cable de perforación tenso, para ser levantado rápidamente por el impulso ascendente de la máquina, es decir, debe existir una sincronización entre la caída de las herramientas y la extensión del cable (velocidad de la máquina). Esto implica que haya ductilidad y elasticidad en el cable y en algunas partes del mecanismo de la sarta.

Para proporcionar esta elasticidad, se instala un amortiguador en la polea de la corona del cable de perforación, ubicada en la cima de la torre o mástil. En términos generales, se recomienda que el peso más apropiado del equipo, el ajuste de la carrera de herramientas, la velocidad de perforación para obtener el impacto adecuado, sean estabilizados gracias a la experiencia del perforista.

Algunos factores que pueden afectar la velocidad de perforación o su eficiencia son:

- Resistencia de la roca
- Peso de las herramientas
- Longitud de la carrera
- Números de golpes por minuto
- Diámetro del barreno
- Tipo barrena
- Profundidad de barreno
- Densidad del lodo acumulado en el fondo
- Características de las formaciones perforadas

Aplicaciones de la percusión con cable

- Puede usarse en cualquier tipo de formación, sin embargo, está mejor adaptado que otros métodos para perforar en formaciones no consolidadas que contienen rocas y bloques grandes.
- Puede emplearse en la perforación de cualquier diámetro y profundidad.
- El equipo es de diseño sencillo y requiere un mínimo de mantenimiento. Las máquinas requieren de un consumo reducido de energía.
- Se pueden recuperar muestras a cualquier profundidad. Excelente en el muestreo de materiales gruesos.
- Se pueden emplear en formaciones en donde hay pérdidas de fluidos de perforación.
- Los pozos que emplean este método pueden ser verificados en cualquier momento para determinar su avance y verticalidad.

Limitaciones de la percusión con cable

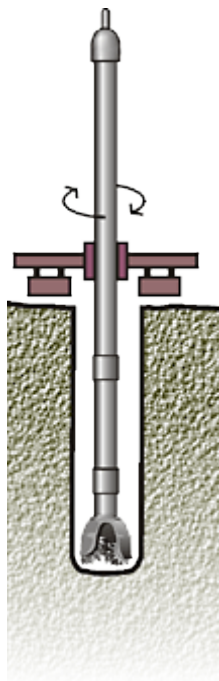
- Avance de perforación relativamente lento comparado con otros métodos.
- Falta de rigidez en la sarta de perforación que provoca poco control de la verticalidad del pozo.

- Cuando se cortan materiales no consolidados, las paredes se colapsan, retrasando el avance de perforación, lo que implica un ademedado cuyo costo final es elevado.
- No permite un muestro de buena calidad en formaciones consolidadas. En las no consolidadas de grano fino, mezcla los horizontes perforados al rescatar la muestra

Método de perforación de pozos por sistema de rotación

El proceso de perforación rotaria consiste en perforar un agujero mediante la aplicación de movimiento rotario y una fuerza de empuje a un elemento de corte denominado barrena que ataca a la roca convirtiendo en detritos (recorte).

El movimiento rotario se genera en la superficie y se transmite a la barrena por medio de la sarta de perforación o en forma hidráulica accionando un motor de fondo conectado a la barrena. La fuerza de empuje se genera con el peso mismo de la sarta de perforación (aparejo de fondo). Los recortes son sacados del pozo mediante la circulación de un fluido el cual se inyecta por el interior de los tubos y se regresa por el espacio anular. En la superficie son separados del fluido.



Fuerzas:

- Peso
- Giro
- Molienda
- Soplado

Figura 6. Principio de acción en una perforación tipo rotaria

DESARROLLO DE LA PERFORACIÓN ROTARIA

Periodo de origen (1888-1928)

- Se inventa la máquina de vapor, energía más utilizada
- El equipo es rudimentario, torres de madera.
- Se inicia con el principio de la perforación rotaria.
- En México se perfora el pozo, la pez No.1 (1904)
- Se inicia el diseño de TR's y cementaciones (Halliburton 1904)
- Se utilizan las primeras barrenas de conos (Sharp & Hughes 1908).
- Trabajan las primeras bombas de lodos (1910).
- Se incorporan los fluidos de perforación (Nat. Lead Co. 1914).

Periodo de Desarrollo (1928-1948):

- Se utilizan equipos de perforación de mayor potencia
- Se mejoran los diseños de barrenas
- En Alemania (1935) se fabrican las primeras barrenas con carburo de tungsteno.
- Se practican cementaciones mejoradas
- Se utiliza la bentonita en los fluidos de perforación (1935)
- Se incorporan fluidos especiales

Periodo Científico (1948-1968):

- El logro principal en el incremento de la perforación (31,000 pies en 1974, en EUA)
- Se desarrolla la investigación sobre la perforación
- Se introduce la hidráulica de perforación
- Se mejoran las barrenas
- Inicia la perforación automatizada
- Arranca la tecnología de fluidos de perforación y se introducen las turbinas en la perforación

Periodo Automatización (1958-1995):

- Se incrementa la profundidad y velocidad de perforación
- Se introduce el motor de fondo
- Principia la automatización del equipo y manejo del fluido de perforación
- Se definen los controles, las variables de perforación
- Se da mayor énfasis a la planeación de perforación
- En los fluidos se incorporan polímeros, nuevos productos químicos, aditivos, etc.
- Se aplica la tecnología por computadora

EQUIPO DE PERFORACIÓN TIPO ROTARIO

Una máquina de tipo rotatorio para la perforación de pozos profundos consta de las siguientes partes, así como un equipo complementario que se describe a continuación.

Torre o mástil de perforación, una mesa rotatoria y una plataforma donde se instalan malacates con tambores para trabajo y cuchareo, una bomba de lodos y una caja de transmisión de potencia.

La unidad deberá tener tomas de fuerza para transmitir la potencia del o de los motores a la bomba de lodos, a los tambores, la mesa rotatoria y el sistema de alimentación de la presión descendente (pull-down), pudiendo reemplazar este por el sistema de barras de peso(drill-collars), que a diferencia del pull-down en el que se ejerce la presión en la parte superior de la perforación, los drill-collars van inmediatamente después de la barrena, originando con esto que no haya flambeo de la sarta de perforación.

Toma de fuerza.-Puede ser del tipo de flecha estriada dentro de una caja con un baño de aceite, capaz de transmitir integra la potencia del motor ala perforadora por medio de una cadena de rodillos.

Bomba de lodos.- Las bombas son del tipo pistón, doble acción, llamada duplex, bombean lodo por los dos lados del pistón. Con carretera de desplazamiento positivo, de manufactura Standard en un cilindro, camisas, válvulas, vástagos y pistones.

Cuentan además con cámara de alivio, válvula de seguridad, medidor de presión del aceite y válvula mezcladora de lodos, la potencia se transmite a la bomba por medio de bandas "V" o cadena de rodillos.

Caja de transmisión.- De construcción de acero, encerrado en baño de aceite, accionada por cadena de rodillos para transmitir potencia a la mesa rotatoria, tambores, sistemas de presión descendentes (pull-down), bombas hidráulicas de aceite y todos los mecanismos.

Unidad de potencia.- Consta de uno o dos motores diesel, fabricación estándar, provisto de cubiertas laterales, arranque eléctrico, generador, filtros de aire, filtros para aceite, gobernador de velocidad variable, mofle, tablero de instrumentos y embrague.

Tambores de trabajo.- La unidad está equipada con un tambor de doble trabajo, con dos malacates independientes montados en la misma flecha, la palanca del freno de la línea de perforación principal está equipada con un tornillo de ajuste de alimentación que permite mantener con la precisión del peso correcto de la línea de perforación sobre el material.

Tambores de cuchareo.-Este se encuentra colocado encima del conjunto del malacate principal, montado sobre baleros pre-lubricados, la alimentación de fuerzas se tomara de la flecha del malacate principal a través de una transmisión podrá estar protegidos contra los elementos por medio de placas metálicas.

Mesa rotatoria.- La función de la mesa rotatoria es transmitir el momento de torsión e impartir el movimiento giratorio al Nelly y a la tubería de perforación, la parte superior de esta forma una porción del piso de una torre, construida totalmente cerrada, lubrica en baño de aceite con transmisión de varias velocidades; la mesa podrá deslizarse sobre dos guías, permitiendo retraerla, dejando espacio libre para

colocar tubería de ademe, este movimiento se efectúa por medio de dos pistones hidráulicos.

Pull-down o mecanismo para ejercer presión descendente en la herramienta de perforar.-Este será del tipo para ser vicio manual y automático para ejercer presión descendente sobre la herramienta de perforación y poder lograr una penetración constante al atravesar cualquier tipo de formaciones; el dispositivo consiste en dos cadenas de rodillos de peso, asegurados al swivel.

Lastrabarrenas o drill collars.-Está constituida por un tramo de tubo de pared gruesa, generalmente de sección circular y diámetros normales de 152 mm (6") y 203 mm (8"). Su finalidad es aplicar peso a la barrena; en sus extremos tiene juntas (Toll Joints) de caja y piñón, siendo las más usuales de 4 1/2 o 6 5/8 API reg. Su número, longitud y peso, estarán en función de la capacidad del mástil.

Mástil.-Construido de acero tubular redondo, soldado eléctricamente, reforzado con tirantes cruzados ara máxima resistencia, con una guía de canal para permitir al swivel y al Kelly girar hacia la parte posterior.

El mástil se levanta y baja por medio de cilindros hidráulicos equipados con topes de seguridad, para prevenir que este no caiga en caso de alguna falla.

Unión giratoria o swivel. Es una caja cerrada con retenes para aceite y con un juego de baleros que trabajan en baño de aceite. Una de sus funciones es absorber el movimiento rotatorio de la flecha o Kelly y la tubería de perforación. Está equipada con una asa basculante por medio de la cual es suspendido por el gancho giratorio de la polea viajera quedando sujetas al Kelly y la tubería de perforación. En su parte superior tiene el cuello de ganso en el cual se conecta la manguera de alta presión (lodos).

Llave para apretar y desconectar tuberías.-Generalmente se encuentra instalada en la parte trasera de la estructura de la perforación y central e inferior del mástil, sobre un eslabón articulado, montada sobre un balero, con unión giratoria; permitiendo fácilmente apretar y desconectar las juntas de la tubería de perforación.

Estructura.- Es de acero estructural pesado, soldado eléctricamente, con miembros cruzados y reforzados. El piso deberá estar cubierto con lámina de acero anti-derrapante.

Controles y tablero de instrumentos.-Localizados en la parte trasera izquierda de la estructura de la perforación; teniendo los controles y el tablero de instrumentos con tacómetro, manómetro para la presión del aceite, termómetro para la temperatura, botón de arranque, contador de horas para el motor.

Plataforma.-Va embisagrada para montarse en cada una de las esquinas traseras de la estructura de la perforadora, con sección removible para comunicar a las dos plataformas y proporcionar al perforador y ayudante acceso para ejecutar su trabajo con seguridad.

Gatos estabilizadores.-Las perforadora está equipada con cuatro gatos hidráulicos o mecánicos colocados al frente y en la parte posterior, siendo telescopios y de fácil manejo por medio de una válvula hidráulica, sencilla, teniendo suficiente capacidad para levantar la perforadora.

Kelly o flecha de transmisión.-Construida de acero de aleación, tratada térmicamente, de sección circular, cuadrada, hexagonal, etc., conectada en la parte superior de la unión giratoria o swivel y en la inferior a la tubería de perforación, a través de la mesa rotaria, que es la que transmite el movimiento de rotación a la sarta de perforación.

Manguera para swivel.-Construida de tres capas, reforzada con alambre y con conexiones en uno de sus extremos a la unión giratoria (swivel) y en el otro al stand pipe.

Manguera de succión.- Reforzada con trama o malla de alambre, equipada con coples en ambos extremos, colador y válvula de pie en uno de ellos, sirve para succionar el lodo de perforación.

Tubería de perforación.- Se suministra en tramos de 6.10 m (20´) o 9.14 m (30´) con juntas (tool joints) en sus extremos de caja y piñón generalmente de 31/2 IF o 41/2 FH con normas y especificaciones API, grado "D".

Cables.- Se tiene tres tipos de cables, para maniobras, cuchareo y otra en el Kelly todo con la misma de construcción y con pequeñas variantes en relación con el trabajo a que se les destinara.

Barrenas.- Su elección respecto a su tipo, estará en función de los materiales que se van a perforar, existen de varios tipos como las colas de pescado, discos, alas y roles; las tres primeras se encuentran en desuso y solo se emplean las de roles. Para formaciones suaves presentan dientes largos y esparcidos y para formaciones duras y altamente abrasivas dientes cortos con mínima separación; existen también las llamadas de botones con insertos de carburo de tungsteno.

Lodos de perforación

El empleo de lodos en los trabajos de perforación por el sistema rotatorio, es de gran importancia, por lo tanto, se han hecho estudios y registros cuidadosos sobre el comportamiento de diversas sustancias y se ha obtenido como resultado, el ahorro de tiempo y la simplificación de problema en estos trabajos.

Composición.- La arcilla y el agua son los principales constituyentes del lodo de perforación; este material se encuentra en la naturaleza en forma de sedimentos no consolidados, que se han reducido por la alteración de las rocas que contienen silicatos.

Dada la naturaleza de algunas arcillas, los lodos que forman, no tienen las propiedades adecuadas para la perforación; por lo que es indispensable agregar los otros materiales que les imparten determinadas propiedades, según lo requiera el caso. Químicamente se compone en su mayor parte de silicatos de aluminio hidratado, que varían en porcentajes de sílice, aluminio y agua; también se presentan como impurezas algunos óxidos metálicos; por el contrario, se clasifican en dos grupos: el de las Caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y el de las Montmorillonitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

El Caolín es la arcilla más común, a sus partículas se les denomina: suspensoides o coloides hidrófobos porque tiene poca afinidad con el agua y solamente forma

suspensiones estables si las cargas individuales son lo suficientemente altas para evitar la coagulación; este tipo de coloide no se dilata con el agua.

Los emulsoides o coloides hidrófilos por el contrario, tienen gran afinidad con el agua; cada partícula emulsoide se hidrata protegiéndose por una pequeña película protectora de agua; este tipo de arcilla corresponde al grupo de montmorillonitas (silicato complejo de aluminio) y el miembro más conocido y empleado en la fabricación de lodos es la bentonita.

Funciones de los lodos de perforación.- En la perforación rotatoria el fluido circulante tiene determinadas funciones que cumplir, las cuales se mencionan en orden de importancia.

Extracción de los detritos.- La elevación de los detritos del fondo del pozo a la superficie depende principalmente del mantenimiento de la densidad, viscosidad y velocidad del lodo entre la tubería de perforación y las partes del pozo, siendo factores importantes del tamaño y la densidad de los detritos (a mayor densidad, viscosidad y velocidad del lodo, la extracción será más efectiva).

Las partículas sólidas suspendidas en el fluido circulante durante la perforación tenderá a hundirse, dicho hundimiento será mayor mientras más grandes o más densas sean las partículas; el lodo arrastrará los detritos cuya velocidad de hundimiento es menor que la suya en el espacio anular. En condiciones de flujo turbulento la tendencia al hundimiento disminuye el fluido mantiene en su seno determina cantidad de detritos gruesos y pesados logrando ascenderlos hasta la superficie, lo que no ocurre si el flujo es lineal; no por eso debe usarse un lodo muy viscoso y denso, pues acarrearía entre otros problemas, la difícil decantación de los detritos en el canal y presa de lodo.

Impermeabilización y enjarre de las paredes del pozo.-Una justificación práctica del uso de lodos como fluidos circulantes, es evitar derrumbes de las formaciones no consolidadas. El enjarre debe ser impermeable y delgado para evitar el paso de las herramientas de perforación y asegurar la estabilidad de las paredes del pozo, ya que un enjarre muy grueso presenta los siguientes problemas: empaque de la

barrena, destrucción del enjarre cuando se saca la tubería, lo que puede ocasionar derrumbes de las paredes en formaciones arenosas por pérdida de agua en el fluido; reducciones del diámetro del pozo en las lutitas, debido a la propiedad que tiene estas de aumentar de volumen cuando se hidratan, haciendo que se “pegue” la tubería de perforación.

Como el enjarre es el resultado del efecto de filtración del lodo de perforación al ser forzado a penetrar en la formación, el espesor del enjarre depende de la diferencia entre las presiones: la hidrostática de la columna de lodo y la del fluido contenido en la formación, así como de las propiedades tanto de la formación como las coloidales del lodo. Un lodo pesado con gran cantidad de arcillas en suspensión, deposita en las paredes del pozo, mas arcilla que un lodo pesado con poco porcentaje de material arcilloso; un flujo laminar permite el enjarre, en cambio un flujo turbulento excava y erosiona las paredes.

Refrigeración de la barrena.- Como consecuencia de las fricciones que experimenta al girar, la barrena sufre calentamientos y desgastes durante el proceso de perforación. La temperatura depende de la velocidad y del peso de la sarta soportado por al barrena. Por lo tanto, una de las funciones de los lodos es reducir el desgaste, absorbiendo el calor a través de la circulación y mientras menos porcentaje de arena contenga más efectiva será su función de refrigeración.

Otras funciones.- Dentro de las múltiples funciones que cumple el lodo en los trabajos de perforación. Se pueden mencionar:

- a) Lubricación de la tubería de perforación.-durante la operación el lodo evita que la tubería de perforación friccion directamente contra las paredes del pozo ocasionando desgastes en la misma.
- b) Suspensión de los detritos cuando se interrumpe la circulación, para lo cual el lodo debe tener propiedades tixotrópicas.
- c) El lodo no debe tener acción corrosiva y su acción abrasiva deberá ser mínima para evitar que el equipo de perforación se deteriore.

Densidad.- La densidad de un lodo de perforación depende de la cantidad y del peso de los sólidos en suspensión; en perforaciones poco profundas del orden a las que nos venimos refiriendo, varía del 1.08 a 1.38; sin embargo, hay casos en que se hace necesario el empleo de lodos más densos, por ejemplo, cuando al cortarse formaciones permeables, estas contienen agua con presión mayor que la hidrostática del lodo, capaz de destruir el enjarre y ocasionar derrumbes en las paredes de la formación y aprisionar la barrena. Lo anterior no se consigue añadiendo arcilla para aumentar la viscosidad y la resistencia gelatinosa del lodo, sino que se hace necesario emplear minerales pesados tales como la barita (BaSO_4), que además de su baja propiedad coloidal, tiene densidad 4.5 gr/cc. E imparte a los lodos la de 2.3 o mayores.

Conceptos de viscosidad, plasticidad y tixotropía.-podemos definir la viscosidad como el grado de fluidez de un líquido. Esta depende de la cantidad y clase de sólidos que contenga en suspensión, es decir, está en razón directa de la cantidad de arcilla presente.

Podemos hacer una distribución entre fluidos viscosos como los aceites, agua miel, etc., los cuales permiten asentamientos de partículas que llevan en suspensión independientemente del grado de viscosidad de ellos; y fluidos como gelatinas, jaleas, lodos, etc., que realmente no tienen una verdadera viscosidad sino una resistencia a la deformación debido a fuerzas o tensiones bajo ciertos límites. Por lo que podemos decir, que entre fuerzas de bajo grado de cizallamiento (corte de deslizamiento), los lodos reaccionan igual que los sólidos pero fluyen como líquido cuando estas fuerzas son suficientemente altas. A esto se le llama plasticidad de un lodo; si el lodo permanece sin ser agitado, el grado de plasticidad aumenta conociéndose esto con el nombre de tixotropía.

Aforo de Pozos

Para seleccionar el equipo de bombeo adecuado para operar permanentemente a su máxima eficiencia, se hace necesario efectuar una prueba de bombeo (aforo) y conocer sus gastos y niveles de bombeo máximos y determinar los de explotación.

El comportamiento defectuoso de un equipo de bombeo y el alto costo de su operación, han sido erróneamente atribuidos al pozo, siendo que un aforo preciso antes de la adquisición del equipo definitivo, hubiera pagado por sí mismo el costo inicial del equipo y el de operación.

La prueba de aforo es la principal herramienta disponible para el estudio del comportamiento de los pozos, así como la predicción de caudales, tanto crítico como recomendable, y obtención de valores preliminares representativos de las características del acuífero, de esta forma, las prueba de aforo permiten conocer las características de un pozo y parcialmente, el comportamiento hidráulico del acuífero, en la zona inmediata a pozo.

El objetivo esencial consiste en construir experimentalmente, mediante métodos gráficos, la curva característica del aprovechamiento. A pesar de que el costo de esta prueba no es muy elevado, se requiere una planificación correcta para evitar errores que después impidan una adecuada interpretación de los datos.

Para llevar a cabo una prueba de aforo se requiere de una bomba tipo turbina, accionada por un motor de combustión, capaz de variar de revoluciones (R.P.M.), una columna de longitud tal, que la bomba no succione aire al abatirse el nivel de agua, un dispositivo de medición de caudal y una sonda, de preferencia eléctrica.

Cuando se trate de acuíferos pobres cuya producción estimada sea igual o menor a 2 lps, el gasto podrá medirse utilizando previa calibración, una cuchara de las comúnmente utilizadas en los trabajos de perforación.

Si el pozo fue construido con equipo neumático, y el gasto estimado es del orden mencionado, podrá utilizarse el mismo equipo para efectuar el aforo del pozo. En cambio cuando los acuíferos productores sobrepasan dichos caudales, es esencial

efectuar esta prueba en forma precisa empleando los métodos estándar de medición.

Objetivo de la prueba

El principal objetivo de las pruebas de aforo consiste en la elaboración experimental de las curvas características del pozo, estas adoptan formas rectilíneas y parabólicas y son solución de la fórmula de Dupuit, para diferentes casos.

- Esta fórmula o ecuación se basa en las siguientes hipótesis, las cuales deben cumplirse para el establecimiento teórico de flujo hacia los pozos.
- Establecimiento de un régimen del equilibrio del cono de abatimiento
- El agua y la roca son incompresibles
- Las superficies equipotenciales del flujo son planas, lo que significa que la velocidad horizontal del agua es constante sobre una misma vertical.
- La ecuación de Darcy es válida, lo que significa que la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico.
- La componente vertical de la velocidad es despreciable en comparación con la componente horizontal.
- El medio es homogéneo e isotrópico.
- El radio de influencia del pozo es constante en tiempo.

Informacional Preliminar

Como paso previo a la realización de una prueba de bombeo, hay que contar con información sobre la geología e hidrología superficial, a fin de conocer las características del acuífero, como son la litología, el espesor y sus límites horizontales, así como las características geológicas y comportamiento de las rocas que lo limitan. Es recomendable realizar dos croquis a escala, uno en planta y otro en vertical con la información anterior; a esta se debe adicionar aquella de pozos de vecindad de la prueba. Es deseable contar con la información de los niveles potencio métricos anteriores a la prueba y un conocimiento básico de los sistemas de flujo existentes.

Muchos de los métodos utilizados para la interpretación de los datos en las pruebas de bombeo, se basan en “la hipótesis de que el acuífero es de extensión infinita”.

Aunque estos acuíferos no existen, la mayoría tiene tal extensión lateral que para fines prácticos puede considerarse como infinita. Existen otros acuíferos que tienen poca extensión, limitada por un material impermeable, como pueden ser las rocas que limitan un valle, fallas o cambios litológicos que delimitan un acuífero.

Otros rasgos importantes son los límites de recarga, como puede ser el caso de un acuífero conectado, en la vecindad del pozo de bombeo, con un río o lago o con otro acuífero que por intrusión antropogénica se conectó. Es necesario definir la base del acuífero y su relación con respecto a la profundidad del pozo.

El conocimiento de la geología de la zona permiten optimar el número y localización de las pruebas, es de gran importancia tomar en cuenta las condiciones de frontera para analizar los datos de las pruebas.

Desarrollos teóricos de la ecuación para obtención de la curva característica

Acuífero Libre

Partiendo de la ecuación de Darcy se tiene lo siguiente:

$$Q = KiS \quad (1.1)$$

donde

k = Conductividad Hidráulica

$I = d_y/d_x$ (gradiente hidráulico)

$S = 2\pi xy$ (superficie)

resulta

$$Q = K (d_y/d_x) 2\pi xy \quad (1.2)$$

despejando

$$Q (d_x/x) = K d_y 2\pi xy \quad (1.3)$$

integrando

$$Q \ln x = \pi Ky^2 + cte \quad (1.4)$$

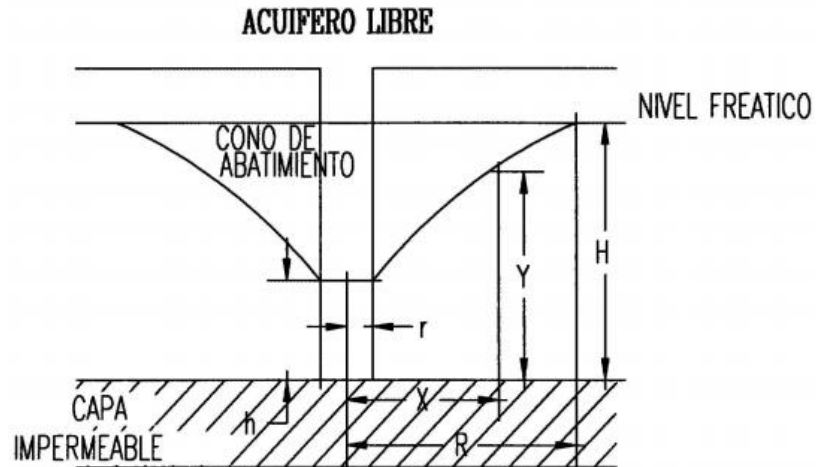


Figura 7. Acuífero Libre

sustituyendo x e y de la figura No. 1, por r, R, h y H

$$Q \ln r = \pi K h^2 + cte \quad (1.5)$$

$$Q \ln R = \pi K H^2 + cte \quad (1.6)$$

despejando e igualándolas

$$Q \ln r - \pi K h^2 = Q \ln R - \pi K H^2 \quad (1.7)$$

agrupando términos similares

$$Q \ln R/r = \pi K (H^2 - h^2) \quad (1.8)$$

despejando Q de obtiene

$$Q = \pi K (H^2 - h^2) \frac{1}{(\ln R/r)} \quad (1.9)$$

en donde

$$(H^2 - h^2) = (H-h) (H+h) \quad (1.10)$$

$$\text{Si } \Delta = H-h; \text{ o sea } h = H - \Delta$$

sustituyendo resulta

$$H - (H-\Delta) [H + (H - \Delta)] = \Delta (2H - \Delta) \quad (1.11)$$

Sustituyendo la ecuación 1.11 en la ecuación 1.9

$$Q = \pi K [\Delta (2H - \Delta)] \frac{1}{(\ln R/r)} \quad (1.12)$$

Si además se tiene que

$$\pi K \frac{1}{(\ln R/r)} = 1.366 K \frac{1}{(\log R/r)} = C \quad (1.13)$$

al sustituir la ecuación 1.13 en la 1.12, resulta

$$Q = C \Delta (2H - \Delta) \quad (1.14)$$

es decir

$$Q = -C \Delta^2 + C \Delta 2H \quad (1.15)$$

Ecuación cuya fórmula general es:

$$Y = ax^2 - a b x \quad (2.1)$$

La cual corresponde a una función parabólica de segundo grado, que puede ser resuelta por el método gráfico, al construir experimentalmente la curva característica caudal – abatimiento, con los datos en las pruebas de aforo.

Acuífero Confinado

Partiendo de la ecuación de Darcy

$$Q = K/S \quad (1.11)$$

Si

$$i = dy/dx$$

$$S = 2\pi r x e$$

e = espesor del acuífero

se tiene que

$$Q = K dy/dx 2\pi r x e \quad (1.16)$$

Despejando y realizando las integrales

$$Q \ln x = 2\pi K e y + cte \quad (1.17)$$

Sustituyendo variables

$$X = r, y = h;$$

$$X = R, y = H$$

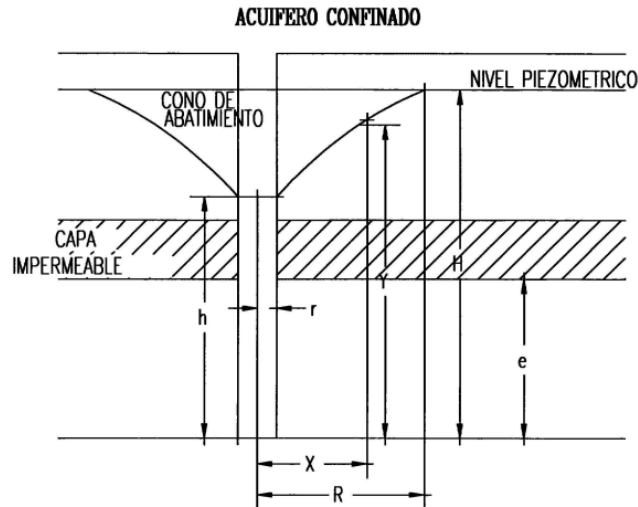


Figura 8. Acuífero Confinado

De acuerdo a la Figura No. 2, se obtiene que

$$Q \ln r = 2\pi K e h \text{ cte}; \quad (1.18)$$

$$Q \ln R = 2\pi K e H \text{ cte} \quad (1.19)$$

Despejando e igualando las ecuaciones

$$Q \ln r - 2\pi K e h = Q \ln R - 2\pi K e H \quad (1.20)$$

Agrupando en términos semejantes y despejando

$$Q \ln(R/r) = - 2\pi K e (H - h) \quad (1.21)$$

Despejando Q

$$Q = 2\pi K e (H - h) / [\ln (R/r)] \quad (1.22)$$

$$\text{Si } C = 2\pi K e / [\ln (R/r)] \text{ y } \Delta = H - h$$

Al sustituir en la ecuación 1.22 se obtiene

$$Q = C \Delta \quad (1.23)$$

Ecuación que corresponde a una recta cuya pendiente es

$$C = 2.73 K e / [\ln(R/r)] \quad (3.1)$$

Esta puede obtenerse de manera experimental al graficar los datos obtenidos en las pruebas de aforo, para los primeros escalones, ya que para abatimientos muy fuertes el comportamiento es complejo. Bajo estas circunstancias, la ecuación de Dupuit no es válida, dado que el abatimiento es superior al 25 % de la altura piezométrica ($H - e$). Para abatimientos importantes, la ecuación de la curva de depresión es de tipo

$$H - h = [Q / 2\pi K e] \ln (R/r) + B Q^n \quad (1.24)$$

Que corresponde a la fórmula de Jacob.

Si $\Delta = H - h$

$$C = \ln(R/r) / (2\pi K e) \quad (1.25)$$

Se tiene

$$\Delta = CQ + BQ^n \quad (1.26)$$

En donde

CQ = Pérdidas de carga en el acuífero

BQ^n = Pérdidas de carga en el pozo

Si se considera que para Jacob $n = 2$, al sustituir en la ecuación 1.26 se tiene:

$$A = CQ + BQ^2 \quad (1.27)$$

Fórmula que corresponde a una curva parabólica, cuya solución es posible obtener al graficar los datos abatimiento – caudal, obtenidos de manera experimental en la prueba de aforo para caudales o escalones importantes en acuíferos confinados.

Requisitos para realizar las Pruebas de Aforo

Cuando se realiza una prueba de aforo para determinar las características del aprovechamiento, es preciso que el lugar cumpla con las siguientes condiciones o requisitos, encaminados a facilitar, no solo la ejecución, sino también la obtención e interpretación de datos que permitan evaluar los parámetros.

Hidrología Subterránea

- Que el acuífero sea lo más homogéneo posible y responda a un modelo sencillo (libre, confinado, etc.)
- Que no existan bombeos próximos u otras actividades que provoquen variaciones en el nivel del agua subterránea.
- Que el agua bombeada no vuelva al acuífero.
- Si el acuífero es libre, que el nivel freático sea lo suficientemente profundo como para no tener efectos por evapotranspiración

Económico

- Que el pozo pueda ser probado durante un tiempo prolongado.
- Que sea fácil y barata la eliminación de agua bombeada, sin crear problemas a terceros.
- Que en caso de pagar indemnización por uso de pozo, afectaciones a cultivos o instalaciones, etc., estas sean menores.
- Que el equipo de bombeo sea el adecuado, a fin de evitar el tener que repetir la prueba por falta de representatividad de los datos obtenidos con un equipo de baja potencia.

Operación del Equipo

- Que el pozo haya sido desarrollado correctamente con anterioridad y que esté limpio, sin sedimentos en el fondo.
- Que existan facilidades para medir el caudal extraído del pozo.
- Que sea fácil instalar la tubería o canal de desagüe, o que la existente desaloje el agua lo suficientemente lejos para evitar la recarga (principalmente en acuíferos libres).
- Que sea fácil medir el nivel del pozo, sin obstrucciones.
- Para realizar las pruebas se deben emplear bombas que permitan variar el caudal de extracción, las impulsadas por motores de combustión interna, son las más utilizadas, en especial las de acoplo directo, no obstante que en ocasiones sufren derivas en el número de revaluaciones, principalmente producto de cambios en las condiciones externas, por ello se debe vigilar que existan facilidades para su instalación.

Ejecución de la Prueba

En general se consideran 2 tipos de pruebas de aforo, Prueba de Aforo a Caudal Escalonado Discontinuo y Prueba de Aforo a Caudal Escalonado Continuo, cada una se aplica de acuerdo a las condiciones en cada pozo. Si durante el desarrollo de un pozo, se registró que el tiempo de recuperación del nivel estático del agua subterránea es del mismo orden que el tiempo de bombeo, la prueba a aplicar es Discontinua; en caso que dicha recuperación sea de un orden mayor, entonces se efectúa una Prueba Escalonada Continua.

Prueba de Aforo a caudal Escalonado Discontinuo

Los pasos generales a seguir para llevar a cabo esta prueba, son los siguientes:

Con los datos obtenidos durante el desarrollo del pozo, se determina el caudal mínimo posible (Q_{\min}), de acuerdo a la capacidad de la bomba y el caudal máximo (Q_{\max}); se establecen cuando menos 4 caudales de prueba distintos, tan diferentes como sea posible, dentro del ámbito $Q_{\min} - Q_{\max}$. Conviene que los caudales o escalones, no sean muy próximos, ni tampoco muy separados. La distribución de caudales en progresión geométrica es una buena práctica, es conveniente establecerlos de forma que el último escalón se ubique cercano al caudal máximo alcanzado en la etapa de desarrollo o incluso por encima de éste.

Los caudales, a pesar de ser crecientes de manera escalonada, son constantes en cada intervalo de tiempo. Antes de iniciar un nuevo escalón, se debe permitir que el nivel estático del agua se recupere por lo menos en un 90 %. En ocasiones no es necesario que la duración de los escalones sea igual en tiempo, debido a que la estabilidad se puede lograr en momentos diferentes para caudales distintos. Este tipo de prueba es muy larga por las esperas en la recuperación.

Se tabulan los valores del caudal (Q), abatimiento (s) y caudal específico (Q/s), correspondientes a cada uno de los escalones de prueba, resultados de graficar las

lecturas de abatimiento del nivel del agua y caudal de extracción. Con los valores representativos de los escalones de prueba, se elaboran las gráficas caudal contra abatimiento y caudal específico contra abatimiento, ambas se realizan en el campo.

Se identifican las posibles anomalías presentes durante la ejecución de la prueba, de acuerdo al comportamiento de las curvas graficadas, determinando el origen en la variación, posibles fuentes de error o establecimiento de un desarrollo de pozo defectuoso.

Se determina el caudal crítico del pozo (Q_c) por inspección de la curva caudal contra abatimiento, de acuerdo a la localización del punto de máxima curvatura de la gráfica (principalmente para acuíferos libres).

Se ubica el caudal recomendable del pozo (Q_r), entre el 75 % y 80% del caudal crítico obtenido.

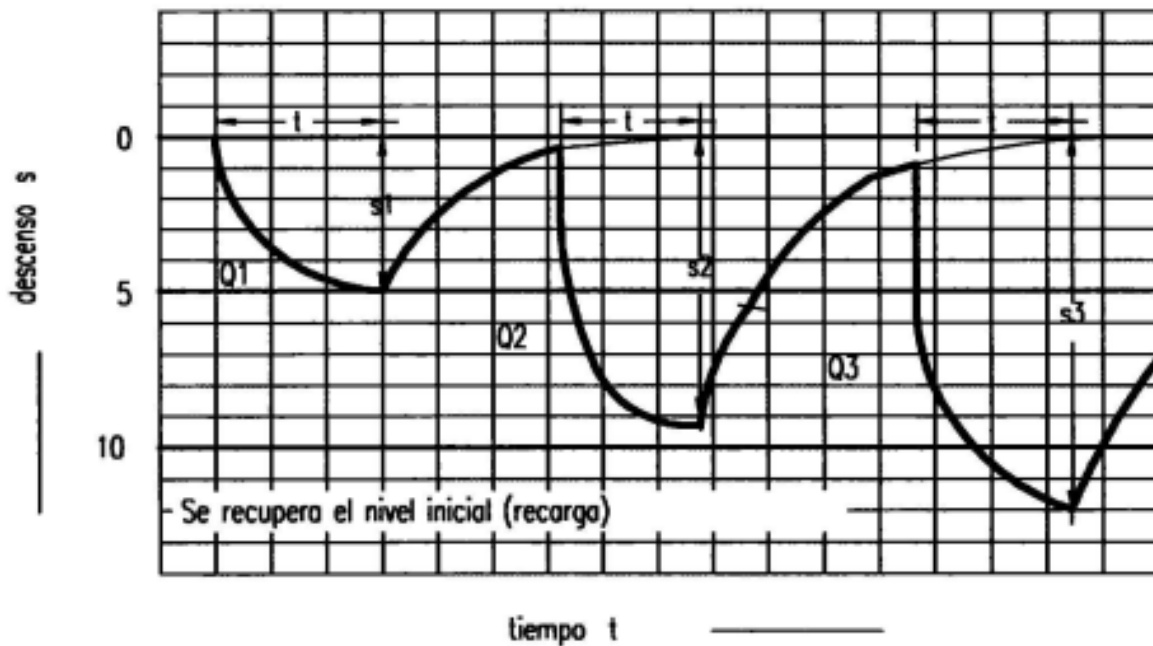


Figura 9. Gráfica de prueba de aforo a caudal escalonado discontinuo

Prueba de Aforo a caudal escalonado continuo

Esta prueba es más rápida en su ejecución en comparación con la anterior, debido a que al transcurrir cada periodo de observación, el bombeo no se suspende en espera de que el nivel estático se recupere, sino que se incrementa el caudal de bombeo al escalón siguiente.

Los pasos generales a seguir en este tipo de prueba son los siguientes:

Se determina el gasto mínimo y máximo a partir de la capacidad de la bomba, de la respuesta del acuífero y los valores aplicados durante el desarrollo del pozo. Al igual que en la prueba anterior, se establecen cuando menos 4 caudales de prueba dentro del intervalo Q_{\min} - Q_{\max} . Los caudales deben estar a intervalos bien diferenciados, quedando el último escalón alrededor del caudal máximo alcanzado en la etapa de desarrollo o incluso por encima de éste.

Cada uno de los caudales seleccionados se aplican de manera constante hasta que el nivel M acuífero se estabilice, posteriormente a éste, se incrementa al segundo caudal, hasta que el nivel dinámico vuelva a estabilizarse y así hasta cubrir los caudales o escalones predeterminados. Se recomienda probar con tantos caudales distintos como sea posible, considerando que deben estar bien diferenciados.

Se tabulan los valores de caudal (Q), abatimiento (s) y caudal específico (Q/s) de cada uno de los escalones probados y son datos de las gráficas elaboradas para cada escalón, tomadas de las lecturas de abatimiento, nivel del agua y caudal de extracción. Con los valores representativos de cada escalón de prueba (Q , s y Q/s), se elaboran las gráficas de caudal contra abatimiento y caudal específico contra abatimiento. La elaboración de estas gráficas se realiza en el sitio de prueba.

Se identifican las posibles anomalías durante la ejecución de la prueba, por la inspección de las gráficas, estableciendo las fuentes de error.

Se obtiene el caudal crítico del pozo (Q_c) por inspección de la gráfica caudal contra abatimiento, localizado en el punto de máxima curvatura de la gráfica (principalmente en acuíferos libres).

Se ubica el caudal recomendable (Q_r), entre el 75 % y el 80 % del caudal crítico obtenido.

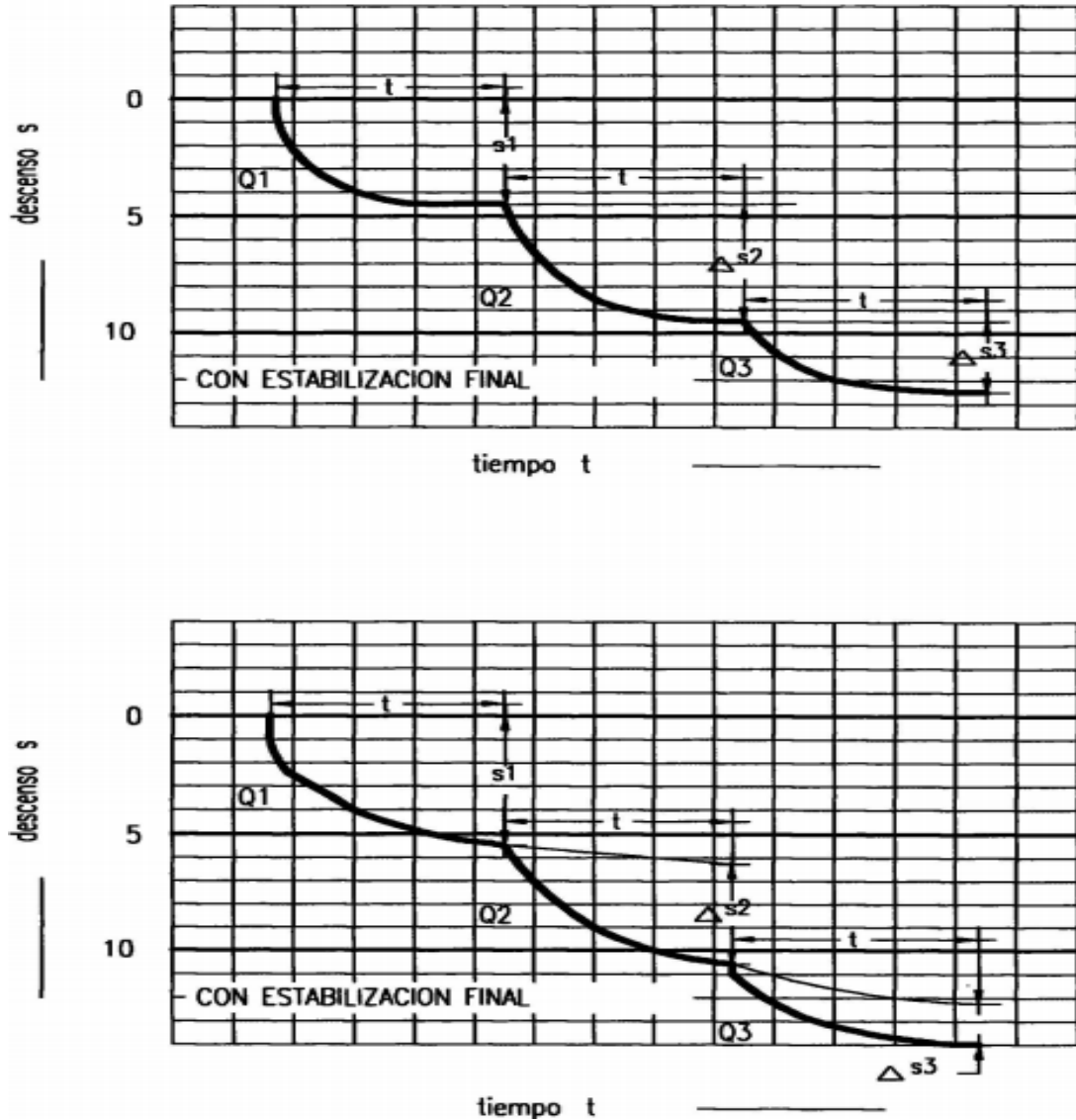


Figura 10. Gráfica de una prueba a caudal escalonado continuo

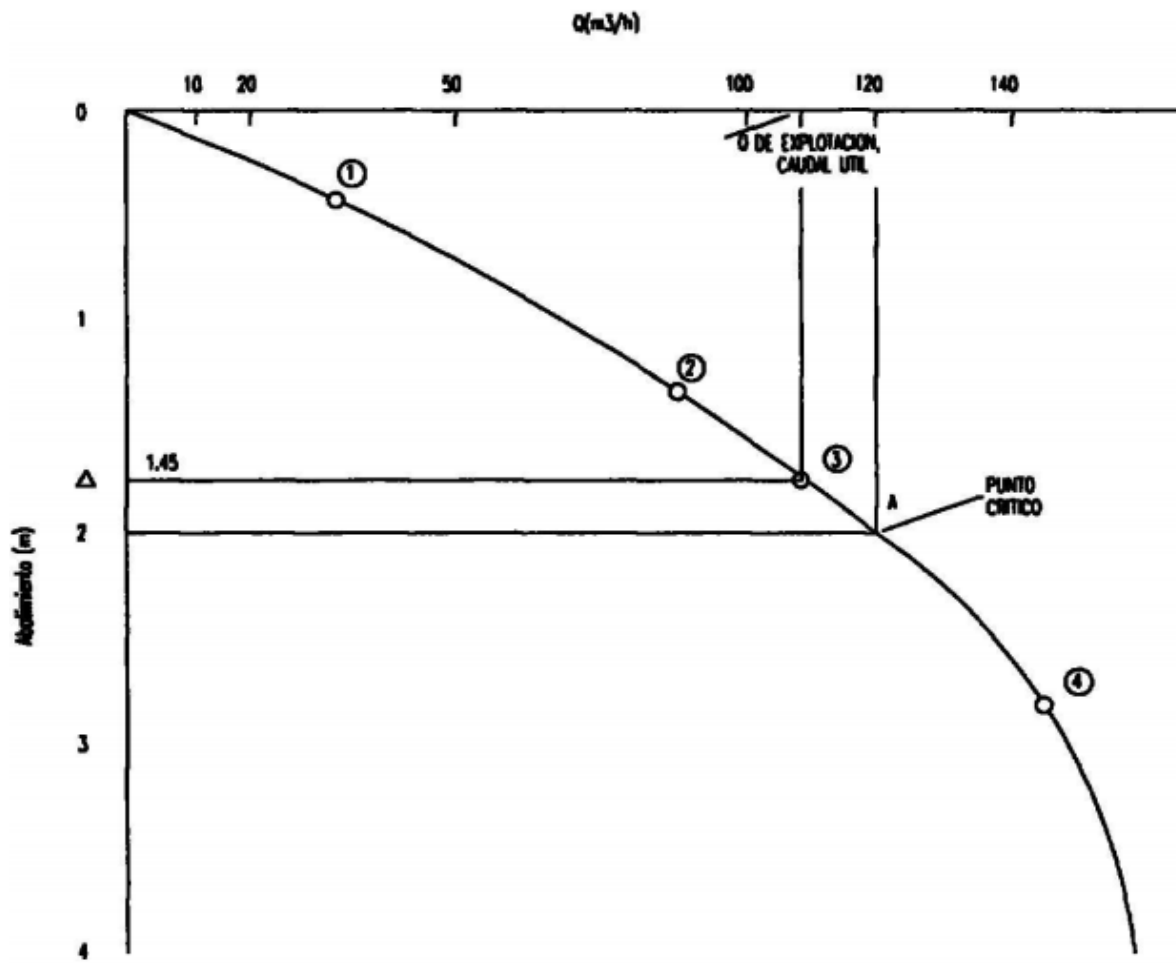


Figura 11. Ubicación del caudal útil y punto crítico

Consideraciones de las Pruebas de Aforo

Duración de las pruebas

La duración de una prueba de aforo está en relación directa con el tiempo en que se realizan las mediciones, tanto de caudal como de niveles de agua.

Las mediciones simultáneas de caudales y niveles de agua para cada escalón, deben efectuarse con la mayor precisión, ya que de su exactitud depende el valor de los resultados obtenidos. Estas lecturas, principalmente las del nivel de agua, deben realizarse de manera continua al inicio de cada escalón, espaciándose conforme transcurre el tiempo. Una propuesta para realizar las lecturas en cada escalón, se presenta en la Cuadro 3.

Tabla 3. Tiempos de lectura para prueba de Aforo (tiempos distribuidos de manera logarítmica).

Periodicidad de Lecturas	Intervalo de Tiempo
Cada 15 segundos	0 – 1 min
Cada 30 segundos	1 min – 5 min
Cada 60 segundos	5 min – 10 min
Cada 5 minutos	10 min – 30 min
Cada 10 minutos	30 min – 60 min
Cada 30 minutos	1 hora – 6 horas
Cada 60 segundos	6 horas – 12 horas

No es necesario que para cada caudal propuesto, el tiempo de duración se prolongue hasta las 12 horas, este es variable y debe suspenderse una vez que se ha alcanzado la estabilización en el nivel del agua, es decir, cuando el dato muestre mínima variación.

En acuíferos confinados y especialmente en los semiconfinados, la estabilización puede conseguirse en unas pocas horas, pero en acuíferos libres, puede tardarse muchas horas e incluso más de un día, en cualquier caso, la estabilización es difícil de lograr y sólo queda claro al momento de graficar de forma semilogarítmica los datos obtenidos.

La duración de la prueba depende en gran parte de las características hidrogeológicas del acuífero, en ocasiones con 12 hr de bombeo es suficiente para

establecer la curva característica y lograr los objetivos de la prueba, sin embargo existen casos en los cuales la duración de una prueba de aforo suele prolongarse de manera global desde 24 a un máximo de 72 hrs.

Si durante la prueba de aforo se presenta una interrupción de duración importante respecto al tiempo que se lleva bombeando, por ejemplo por encima de un 5 %, conviene anular lo realizado y reiniciar después de transcurrido un lapso de tiempo por lo menos igual al que se ha bombeado y mejor si puede ser el doble; en cualquier caso conviene comprobar que prácticamente se ha recuperado el nivel inicial.

El registro de las lecturas es una parte importante en la realización de las pruebas de aforo, sin embargo, otra parte también importante la representan las observaciones adicionales, en ellas deben anotarse todas aquellas incidencias que sean de interés, por ejemplo, cambios de personal, cambios de aparato de medición, averías, incidentes en la medición, ajustes de caudal, paros, etc.

Es importante que los datos se registren con cuidado y pulcritud, aspecto que en ocasiones es difícil de cumplir cuando existen incomodidades, inclemencias atmosféricas, o muchas horas trabajando, sin embargo, se debe procurar hacerlo para evitar repeticiones costosas, no sólo en dinero sino además en tiempo.

Medición del caudal de Aforo

En las pruebas de aforo se debe disponer de un sistema que permita medir el caudal bombeado y apreciar sus variaciones. En general, son preferibles los sistemas continuos de medición del caudal; los mejores son los vertedores rectangulares, cuando se desean medir caudales grandes y los vertedores triangulares cuando los caudales son pequeños. Existen vertedores portátiles que pueden ser instalados en el lugar que se necesite.

Un sistema de medición discontinuo, quizás el más utilizado por ser práctico, es el basado en el tiempo de llenado de un recipiente de capacidad conocida. El recipiente debe tardarse en llenar más de 10 seg. a fin de tener precisión en las mediciones.

Para caudales de 2 l/s se pueden emplear recipientes de 20 a 30 litros y para caudales de hasta 10 l/seg, se pueden emplear recipientes de 200 l. Para caudales

mayores pueden emplearse depósitos de mayor capacidad. Algunas consideraciones de importancia son las siguientes:

- El recipiente debe ser de volumen conocido y encontrarse en buen estado de conservación. El empleo de bidones abollados lleva inherente un error en el volumen.
- La tubería de conducción del agua debe ser giratoria a fin de ponerla sobre el recipiente y quitada con rapidez; no se recomienda el uso de mangueras ascendentes, ya que la variación de elevaciones puede afectar el caudal de bombeo
- El recipiente se debe poder vaciar fácil y rápidamente y sin producir derrames de agua.

El sistema de medición discontinuo, por llenado de un depósito de volumen conocido, es a veces molesto de operar, pero con él se puede alcanzar buena precisión.

Otros métodos para la medición de caudales de pocas decenas de l/seg, son los aforadores de tipo circular y aquellos basados en la parábola de salida del agua de un tubo horizontal o en la altura de ascensión del chorro de agua sobre el borde de una tubería vertical, así como los contadores totales.

El buen conocimiento del caudal bombeado y el mantenerlo constante durante el período de prueba es tan importante, como la precisión en la medida de los niveles de agua.

Medición del Nivel de Agua

Para la medición de los niveles de agua subterránea, deben emplearse dispositivos que permitan medir los niveles con error menor que 1 cm y en ocasiones menor que 0.2 cm. Los dispositivos de medida de niveles recomendados son los que no sólo permiten medir con precisión los descensos, sino también con rapidez.

Entre los dispositivos manuales, los más cómodos son las sondas (medidores) eléctricas, tanto de un hilo como de dos. Los medidores por golpeteo sobre la superficie del agua pueden ser útiles si la persona que los maneja es hábil, sin embargo no son útiles en los pozos aforados, debido al ruido de la bomba.

Materiales y Métodos

Ubicación

El área de destinada donde se llevó a cabo la perforación se encuentra en la zona céntrica de la ciudad de Saltillo, en el estado de Coahuila México. Que se encuentra alrededor de 3 km de distancia de la Alameda principal Zaragoza de la ciudad misma, cuyo punto está representado por las coordenadas **297644 m E, 2814210 m N**, a una altura sobre el nivel del mar (MSNM) de 1558 metros.

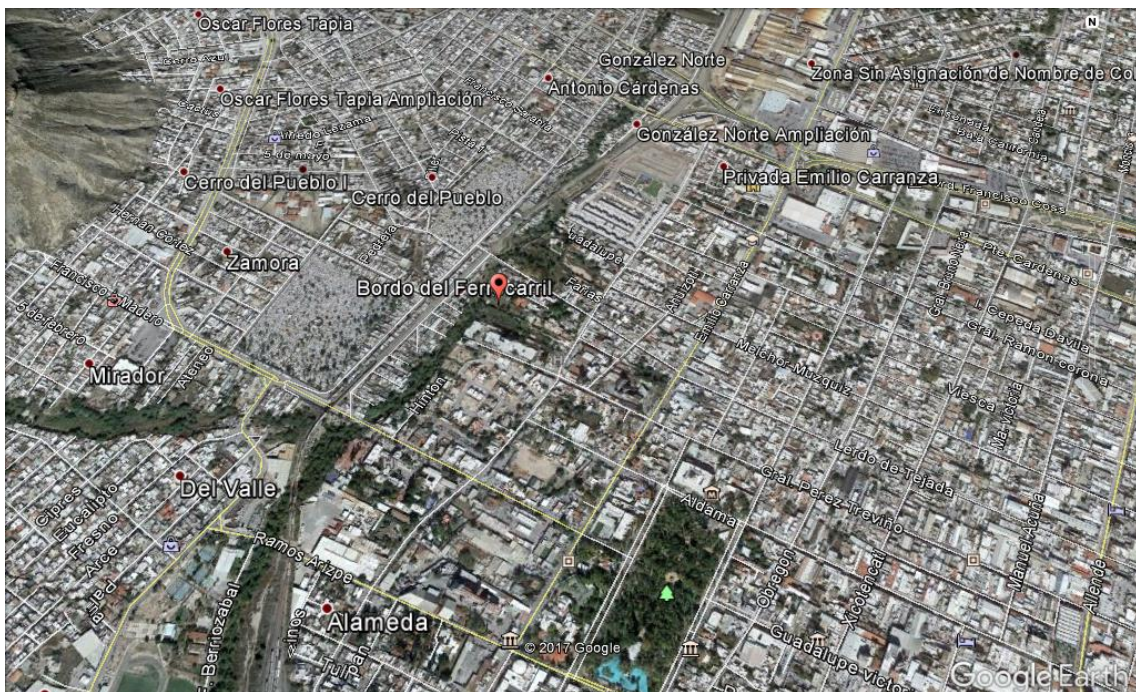


Figura 12. Localización del punto de perforación

Método

Máquina perforadora tipo rotaria con soplado y fluido de perforación (agua con jabón).

La perforación del pozo se llevó a cabo con un compresor INGERSOLL RAND 750 PCM, adaptado a un sistema de montacargas para proporcionar un sistema de verticalidad a una flecha de transmisión con un determinado torque y peso para la molienda de los materiales en el subsuelo.



Figura 13. Máquina de perforación adaptada para la penetración



Figura 14. Compresor utilizado para la inyección de soplado

Materiales y Equipo Requerido

- Máquina perforadora tipo rotaria con soplado y fluido de perforación (agua con jabón)
- GPS
- Compresor INGERSOLL RAND 750 PCM
- Carrucha (3 toneladas)
- 3 triconos o trepano 7 7/8", 8", 10"
- Máquina de soldar 70/18 1/4"
- 50 metros de ademe de 6" ranurado lineal
- 20 metros de contrademe de 8"
- Bomba sumergible marca GRUNDFOS 150s-7 1/2 con una capacidad de 5 LPS contra 40 m de columna de agua
- Columna de bombeo de 60 m en 2 1/2"
- Arrancador termo magnético de 7 1/2" hp trifásico 220 volts de 30 amperes
- 60 m de manguera de 1"
- Sonda para 70 m
- Medidor volumétrico de 2 1/2" hasta 12 LPS
- Manómetro de glicerina de 100 PSI
- Contactador y relevador con electronivel
- Paquete computacional (AUTOCAD) graficar gasto vs abatimiento, tiempo de recuperación, grafica escalonada abatimiento continuo.
- Bomba centrifuga para aljibe en rebombeo
- Bomba centrifuga Altamira para pila de rebombeo 5 hp, monofásica 220 volts

Resultados y Discusión

Punto de perforación

Dadas las condiciones que presenta en, primera instancia, en base al marco económico y a la grandeza del proyecto. Se elige que el método de radiestesia es la mejor opción para la localización de la corriente de agua y el punto aproximado de perforación.

Contradicciones o Riesgos

Debido al grado de riesgo que implica la localización de un punto de perforación por método de radiestesia, se intuye que el punto de perforación y las características hidráulicas del subsuelo no cumplan con la hipótesis propuesta y que debido a esto se tenga la opción de marcar varios puntos de perforación, lo cual implicaría desembolsos elevados de capital

Viabilidad

Se ha construido una máquina perforadora adoc que por condiciones de viabilidad urbana (edificios, casas) es imposible realizarlo con una maquina normal, para lo cual se considera que un compresor de 350 psi, una bomba de aceite que le inyecte a un torque hidráulico una presión de corte para los materiales más duros (Areniscas), montado en una torre tipo montacargas con herramienta de máximo 3 m de longitud y con un soplado de 200 psi se puede construir el pozo con un máximo de diámetro de perforación de 8 pulgadas.

Resultados que prueban la hipótesis

Dada la inquietud de los benefactores ante un posible grado de incertidumbre de la poca confiabilidad de obtener los requerimientos de agua para satisfacer sus necesidades. Por lo cual se realizaron una serie de investigaciones que prueban que el punto de perforación marcado con radiestesia es el indicado, ya que todo lo obtenido lo justifica.

Puntos de observación más cercanos al punto de perforación y sus respectivas características



Figura 15. Pozos de observación más cercanos al punto de perforación y sus respectivas características

Tabla 4. Características de los pozos ubicados en el denominado acuífero centro de la Ciudad de Saltillo

Clave	Localidad	Coordinada UTM		Altitud	C. E (m o h o s)	T e n . °C	pH	STD (p p m)
		X	Y					
SRA-042	CENTRO	300687	2813384	1582	831	26.1	9.32	495
SRA-044	CENTRO	302208	2819377	1484	1357	25.7	9.28	680
SRA-046	CENTRO	303215	2819399	1478	1251	22.9	9.7	619
SRA-047	CENTRO	304373	2816884	1501	1275	24.2	9.41	640
SRA-049	CENTRO	304932	2814001	1574	1173	24.4	9.73	574
SRA-050	CENTRO	301822	2814246	1568	979	27.5	9.7	491
SRA-051	CENTRO	301461	2815532	1516	137	25.6	9.81	681
SRA-052	CENTRO	300371	2815067	1541	1088	25.8	9.78	543
SRA-056	CENTRO	297225	2817767	1525	1656	24.4	8.33	825
SRA-057	CENTRO	297539	2813000	1591	1054	23.8	8.23	523
SRA-058	CENTRO	297574	2813037	1592	1098	22.7	8.15	548
SRA-060	CENTRO	301247	2813109	1586	871	23	8.98	496
SRA-061	CENTRO	301607	2807113	1879	506	21.5	8.4	253
SRA-066	CENTRO	300218	2811472	1650	3999	25.7	10.98	2000
SRA-067	CENTRO	300517	2812340	1621	958	23.3	8.19	477

SRA-068	CENTRO	300586	2812626	777	944	24.3	8.14	461
SRA-069	CENTRO	300955	2812123	1614	850	24.7	8.08	424
SRA-071	CENTRO	300249	2812950	5261	429	24.5	8.25	432
SRA-072	CENTRO	299258	2811890	1644	855	25.7	8.47	426
SRA-074	CENTRO	298823	2816074	1547	1588	25.8	8.37	779
SRA-075	CENTRO	298717	2844291	1572	1231	26	8.32	613
SRA-076	CENTRO	302800	2811439	1647	640	23.3	8.39	319
SRA-209	CENTRO	299577	2814145	1589	1119	22.3	8.14	557
SRA-212	CENTRO	297665	2813300	1578	1238	17.8	6.69	616
SRA-215	CENTRO	297870	2813201	1598	1106	20.6	7.62	552

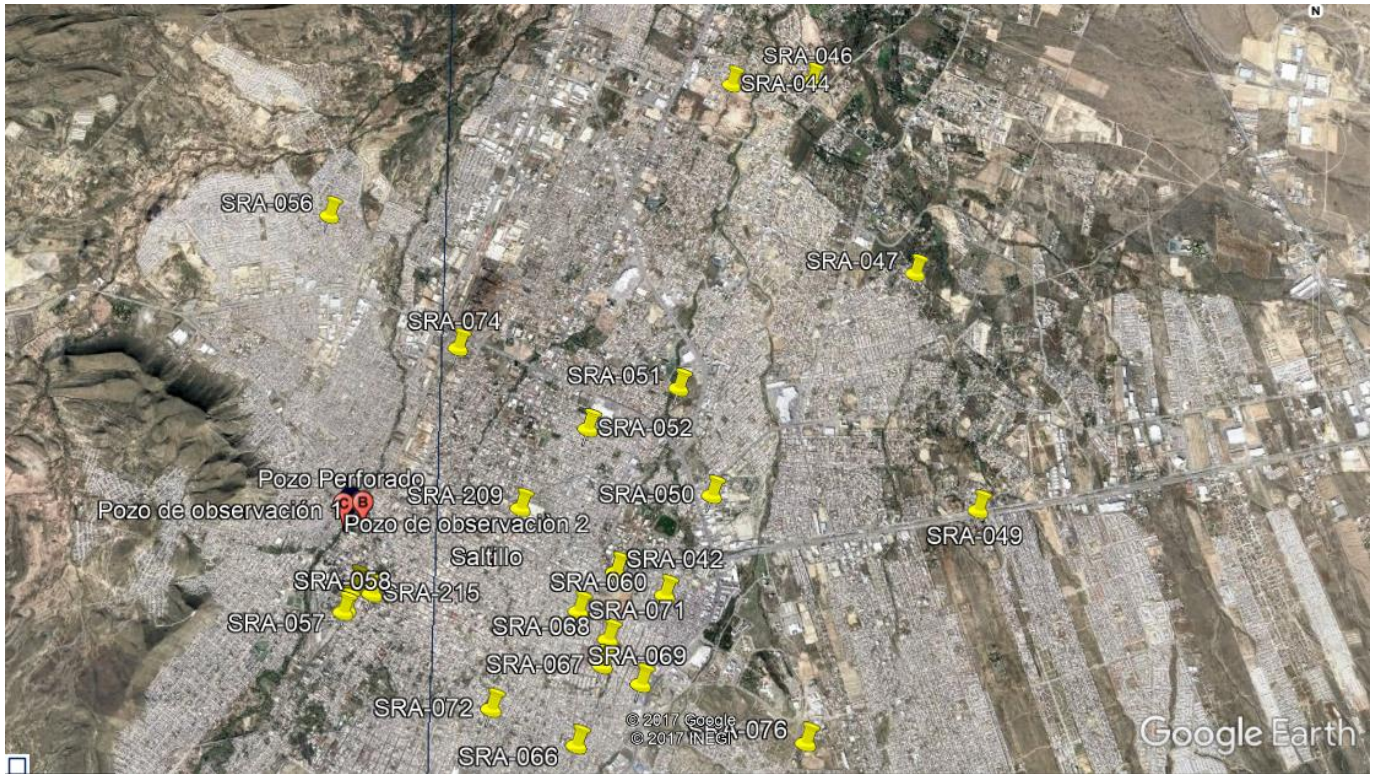


Figura 16. Vista en planta de la distribución espacial de los pozos en el área



Figura 17. Ubicación de los pozos más influyentes en la nueva perforación

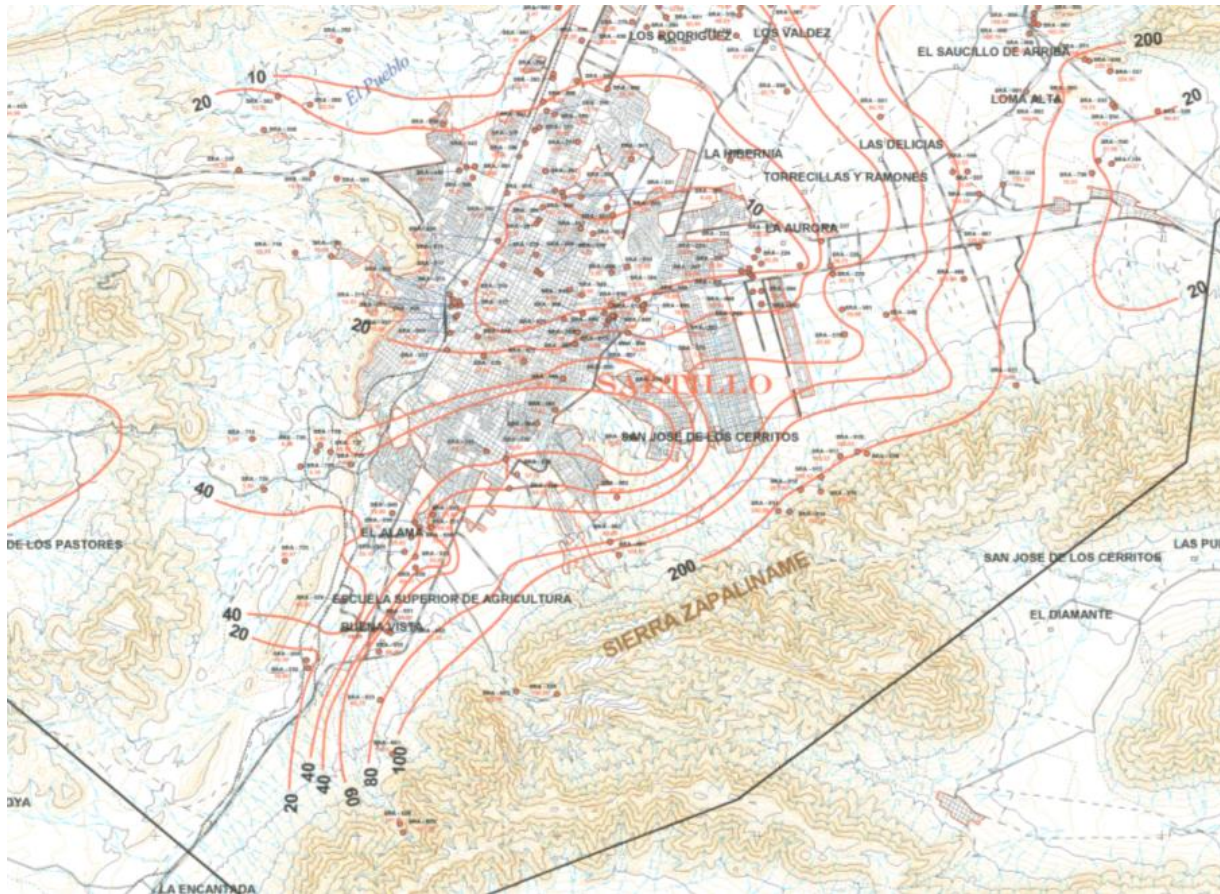


Figura 18. Profundidad de los pozos en zona centro de Saltillo

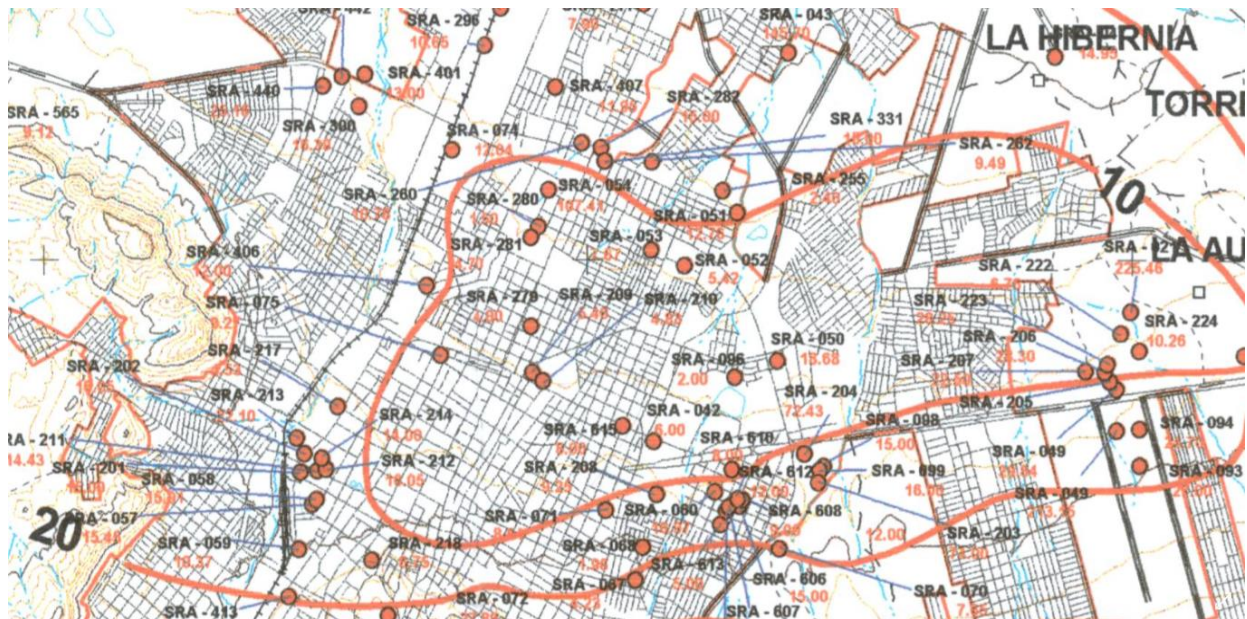


Figura 19. Niveles de los pozos más cercanos en el área de estudio

Gráfico 1. Pozo ISSSTE

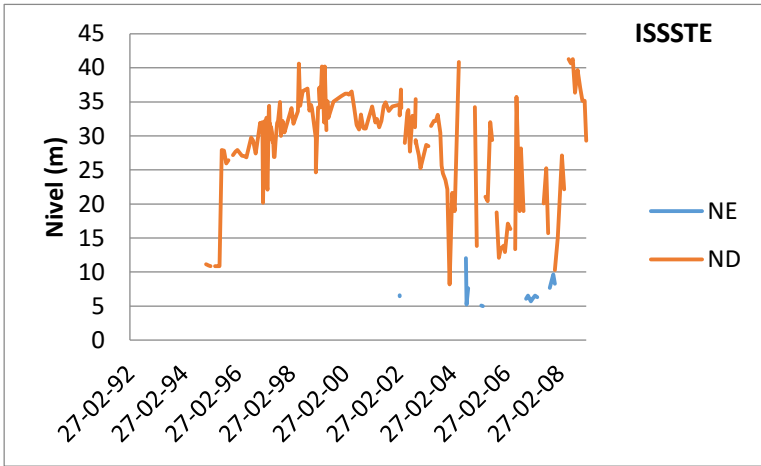


Gráfico. Pozo Gigante

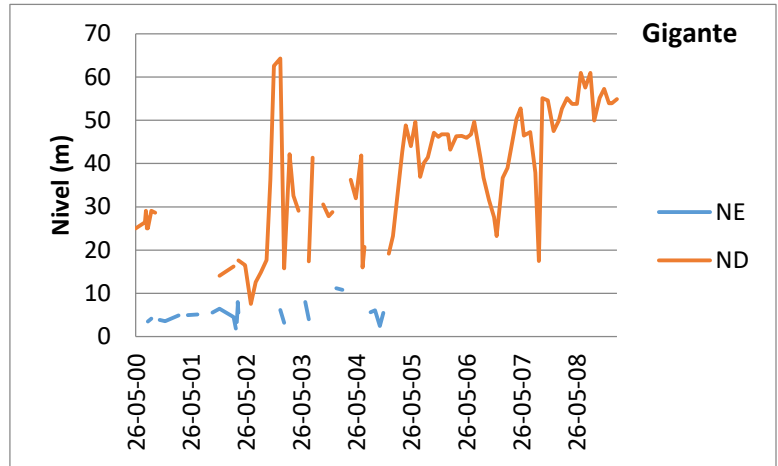


Gráfico 4. Pozo ITESM

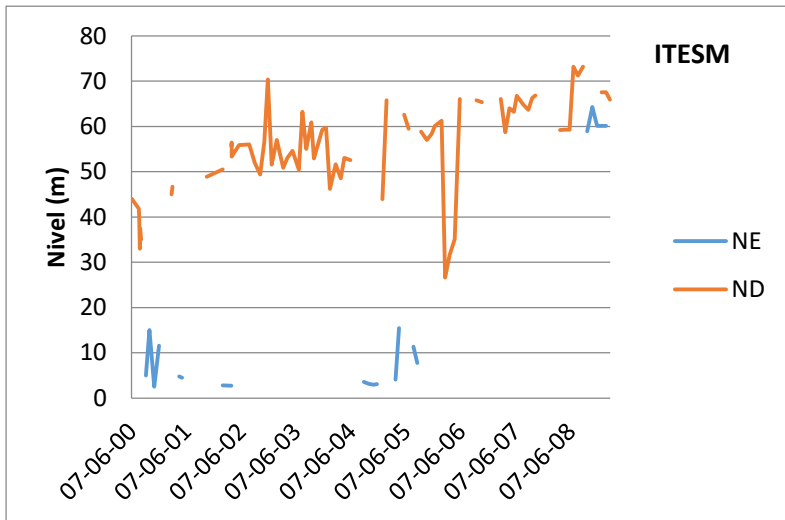


Gráfico 4. Pozo Américas Unidas

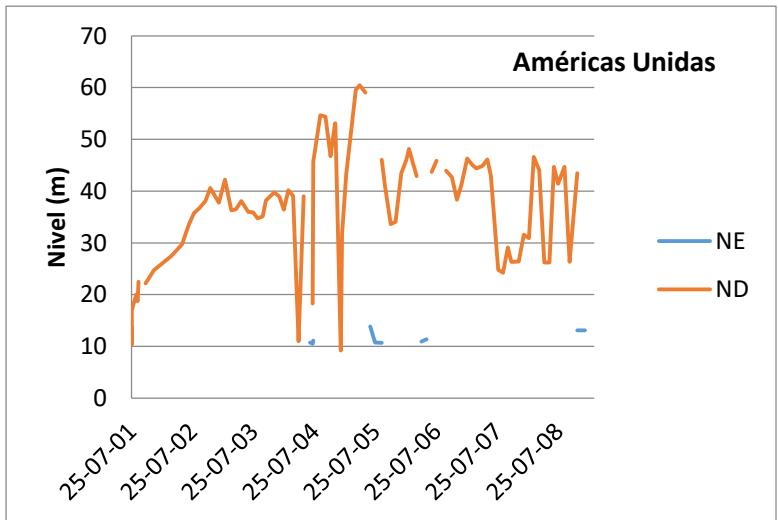


Gráfico 5. Pozo Ferrocarril 1

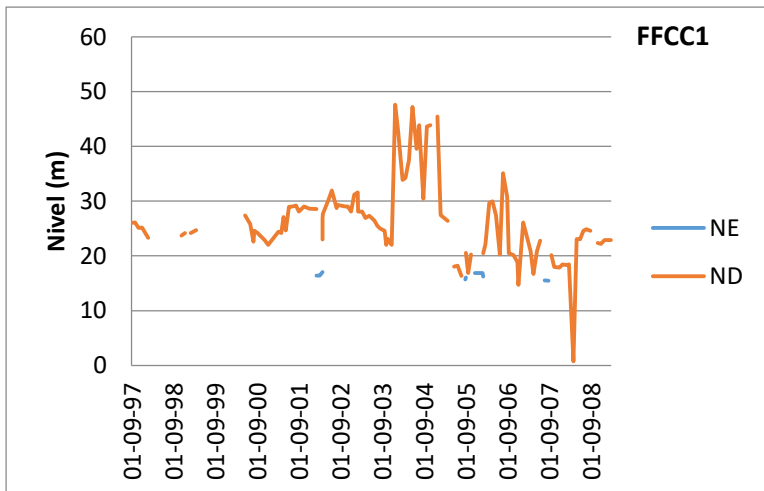


Gráfico 5. Pozo Ferrocarril 2

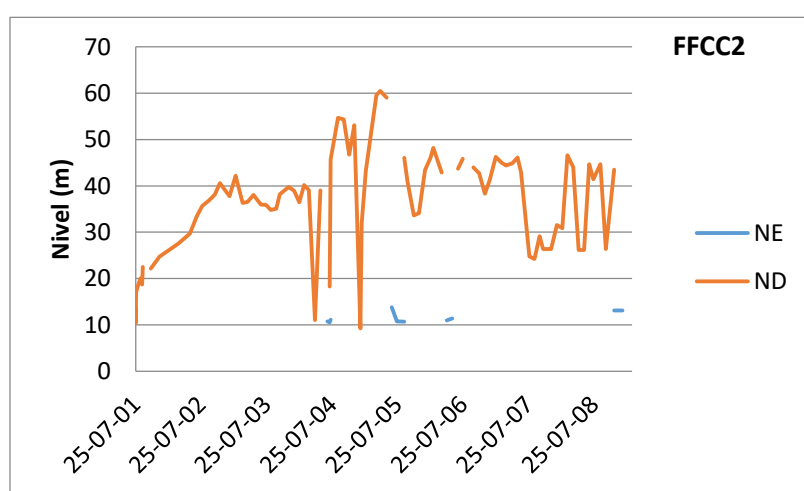


Figura 20. Comportamiento gráfico, respecto al tiempo, de los Niveles Estático y Dinámico de los pozos más cercanos al área de estudio

Tabla 5. Material empleado en el equipamiento del pozo

Profundidad de perforación: 60 metros	
Ademe	
Diámetro del ademe:	6 pulgadas
Longitud de ademe ciego:	18 metros
Longitud de ademe ranurado	42 metros
Tipo de ranurado:	vertical
Abertura:	¼ pulgada
Profundidad de instalación:	60 metros
Tubería de columna:	
Diámetro de tubería	2 ½ pulgadas
Material de tubería	Fierro galvanizado
Número de tramos	10 tramos
Longitud de tramo:	6.10 metros
Bomba	
Tipo:	Sumergible
Marca:	Altamira
Modelo de la bomba:	KOR2-R50-21
Potencia:	5 Hp
Gasto máximo y mínimo:	95 – 150 lpm
Carga máxima y mínima:	135 – 150 metros
Diámetro:	4 pulgadas
Material:	Acero inoxidable
Motor	
Tipo:	Sumergible
Marca:	Franklin Electric
Potencia:	5 hp
Diámetro:	4 pulgadas
Corriente:	Monofásico 220 volts
Material:	Acero inoxidable
Manguera para sonda	
Diámetro:	1 pulgada
Longitud:	60 metros

Tabla 6. Características de bomba empleada para sistema de Re-bombeo

Bomba centrífuga:	
Marca:	Altamira
Modelo:	SCALA 200-2-1/3234
Diámetro succión:	1.5"
Diámetro descarga:	1.5"
Gasto:	164 lpm @ 60 psi
Potencia:	3 Hp, Corriente monofásico 220 volt

Materiales extraídos

Consultando antecedentes y la Carta Geológica de centro de Saltillo se establece que en forma general el material presente en el punto de perforación tiene las siguientes características: está compuesto en primera instancia por materiales no consolidados como lo son acarreos de diferentes materiales, conglomerados. El siguiente piso de la formación lo conforman las Areniscas de grano fino para posteriormente llegar a la capa de la Lutita con alguna presencia de calcio en su formación. Todas formando parte de la formación Difunta.

Tabla 7. Clasificación geológica de las muestras extraídas en la perforación.

No. De Muestra	Fecha Muestra	Profundidad (m)	Clasificación
1	15-10-17	14	Material Arcilloso
2	15-19-17	17	Material Arcilloso
3	16-10-17	18	Arenisca de grano fino - Lutita
4	17-10-17	20	Arenisca de grano fino - Lutita
5	18-10-17	21	Lutita Calcaria
6	20-10-17	22	Arenisca de grano fino - Lutita
7	20-10-17	23	Arenisca
8	21-10-19	26	Caliza de grano fino
9	23-10-17	32	Gravas de Guijas
10	25-10-17	44	Caliza - Lutita - fragmentos de roca ígnea de grano fino
11	27-10-17	53	Lutita Calcaria

Como base para esta clasificación se recurrió en primera instancia a las bases de datos del Servicio Geológico Mexicano (SGM) y así consultar la carta geológico – minera y determinar la principal composición estratigráfica de la zona de estudio.

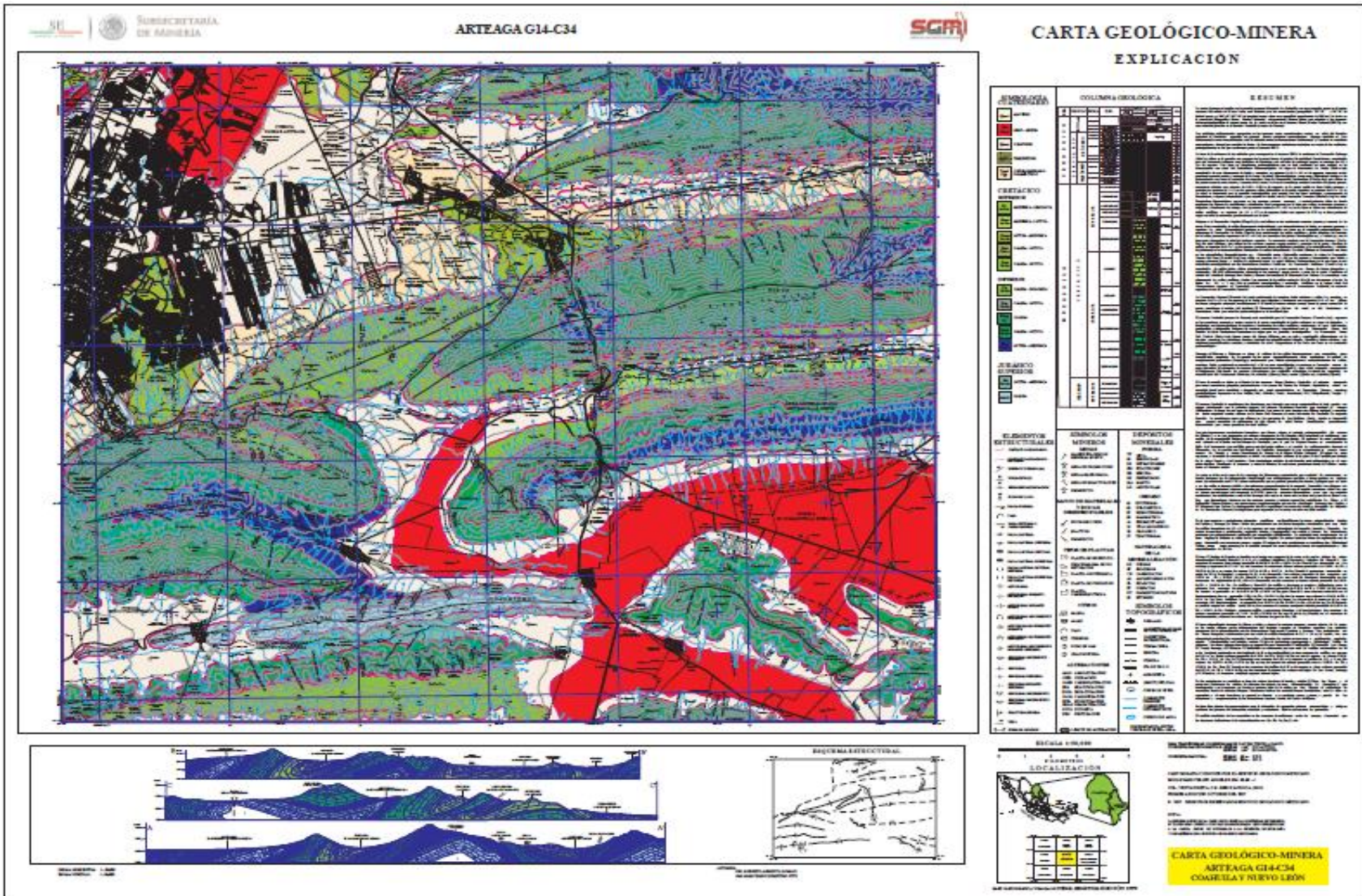


Figura 21. Carta Geológica-Minero Saltillo - Arteaga



Simbología

CRETÁCICO SUPERIOR

Kc Ar-Lm	ARENISCA - LIMOLITA
Kcoss Ar-Lu	ARENISCA - LUTITA
Kcoss Lu-Ar	LUTITA - ARENISCA
Kcet Cz-Lu	CALIZA - LUTITA
Kace Cz-Lu	CALIZA - LUTITA

Figura 22. Ilustración de la formación específica geológica del centro de Saltillo y área de estudio

Cinta litológica de perfil del suelo

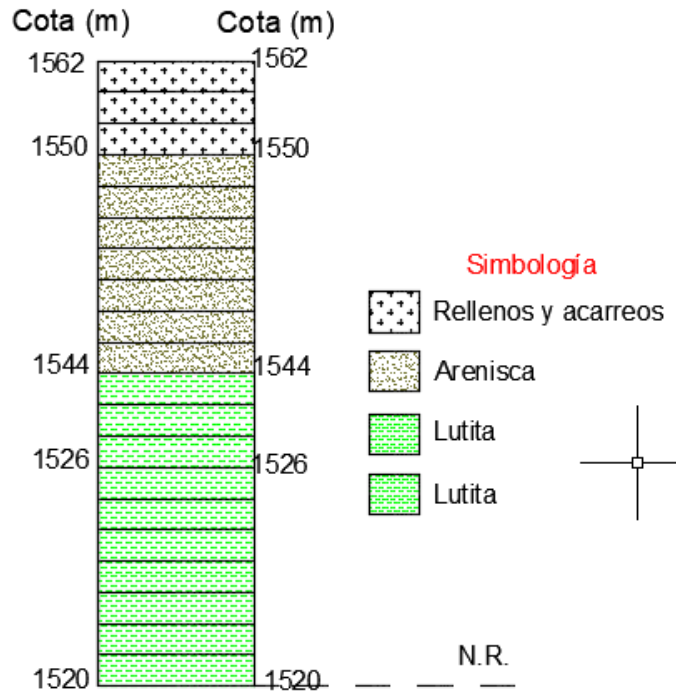


Figura 23. Clasificación Geológica de los materiales encontrados en el perfil del suelo por medio de la perforación.

Muestreo de los materiales en la perforación

Las muestras de suelo se extraían por el efecto de soplado del compresor para posteriormente en la superficie obtenerlas en un recipiente y tomar las muestras en recipientes para posteriormente analizarlas en el laboratorio y con el personal del Servicio Geológico Mexicano (SGM) en la misma ciudad de Saltillo.



Figura 24. Muestreo de material extraído

Prueba de Aforo

Para la caracterización hidráulica del pozo se realizó la prueba de Aforo con los siguientes Elementos:

- Motor Cummins
- Cabezal Engranado
- Relación 1:0.75
- Potencial del cabezal engranado: 30 Hp
- Columna 3 pulgadas
- Flecha hueca 5/8"
- Bomba Fairbank Morse
- Diámetro Exterior 4"
- 3 tazones
- Gasto máximo 12 lps contra 150 mca
- Descarga en 3" con boquilla de 2"
- Máxima profundidad de prueba
 - 19 tramos de 3.05 m = 58.00 m
 - Una bomba de 1.69 m
 - Total = 59.60 m

Determinación del Gasto

Método: Orificio calibrado

Ecuación de Ajuste: $G = 0.25 * K * D^2 * H^{0.5}$

Donde:

G = gasto en litros por segundo (LPS)

K = constante experimental de descarga (0.59)

D = diámetro en pulgadas

H = La carga Piezométrica de descarga

Duración de la prueba: 72 horas

Resultados de la prueba de aforo

Tabla 8. Datos obtenidos durante la prueba

Fecha	Hora	Minutos	Horas	Días	R.P.M	H piezométrica	Nivel	Caudal	
		Tiempo Minutos	Tiempo Acumulado	Tiempo Acumulado			Tiempo Acumulado	Dinámico	LPS
27-09-17	17:30	0	0	0.00	0.00	1200	0.00	12.23	0.00
27-09-17	17:31	1	1	0.02	0.00	1200	19.41	12.72	2.60
27-09-17	17:35	5	5	0.08	0.00	1200	17.14	12.61	2.44
27-09-17	17:40	10	10	0.17	0.01	1200	15.52	12.87	2.12
27-09-17	17:45	15	15	0.25	0.01	1200	15.50	13.54	2.12
27-09-17	17:50	20	20	0.33	0.01	1200	15.00	13.75	2.09
27-09-17	17:55	25	25	0.42	0.02	1200	15.00	14.06	2.09
27-09-17	18:00	30	30	0.50	0.02	1200	14.62	14.42	2.06
27-09-17	18:15	45	45	0.75	0.03	1200	14.62	14.55	2.06
27-09-17	18:30	60	60	1.00	0.04	1200	14.62	15.12	2.06
27-09-17	18:45	75	75	1.25	0.05	1200	13.26	15.25	1.96
27-09-17	19:00	90	90	1.50	0.06	1200	13.26	15.27	1.96
27-09-17	19:30	120	120	2.00	0.08	1200	13.26	15.27	1.96
27-09-17	20:00	150	150	2.50	0.10	1200	13.26	15.28	1.96
27-09-17	20:30	180	180	3.00	0.13	1200	12.94	15.28	1.94
27-09-17	20:31	1	181	3.02	0.13	1400	32.32	23.5	3.35
27-09-17	20:35	5	186	3.10	0.13	1400	32.07	23.15	3.34
27-09-17	20:40	10	196	3.27	0.14	1400	31.96	23.05	3.33
27-09-17	20:45	15	211	3.52	0.15	1400	31.80	22.87	3.32
27-09-17	20:50	20	231	3.85	0.16	1400	31.65	22.75	3.31
27-09-17	20:55	25	256	4.27	0.18	1400	31.65	22.75	3.31
27-09-17	21:00	30	286	4.77	0.20	1400	31.65	22.75	3.31

27-09-17	21:15	45	331	5.52	0.23	1400	31.65	22.75	3.31
27-09-17	21:30	60	391	6.52	0.27	1400	32.07	23.15	3.34
27-09-17	21:45	75	466	7.77	0.32	1400	32.10	23.1	3.33
27-09-17	22:00	90	556	9.27	0.39	1400	31.96	23.05	3.33
27-09-17	22:30	120	676	11.27	0.47	1400	32.15	23.17	3.34
27-09-17	23:00	150	826	13.77	0.57	1400	32.10	23.12	3.34
27-09-17	23:30	180	1006	16.77	0.70	1400	32.10	23.12	3.34
27-09-17	23:31	1	1007	16.78	0.70	1600	62.65	31.15	4.67
27-09-17	23:35	5	1012	16.87	0.70	1600	58.69	31.15	4.52
27-09-17	23:40	10	1022	17.03	0.71	1600	54.35	30.84	4.35
27-09-17	23:45	15	1037	17.28	0.72	1600	54.35	30.92	4.35
27-09-17	23:50	20	1057	17.62	0.73	1600	53.11	30.76	4.30
27-09-17	23:55	25	1082	18.03	0.75	1600	52.62	30.75	4.28
27-09-17	24:00:00	30	1112	18.53	0.77	1600	52.62	30.72	4.28
28-09-17	24:15:00	45	1157	19.28	0.80	1600	54.35	30.68	4.35
28-09-17	24:30:00	60	1217	20.28	0.85	1600	54.35	30.67	4.35
28-09-17	24:45:00	75	1292	21.53	0.90	1600	51.40	30.65	4.23
28-09-17	01:00	90	1382	23.03	0.96	1600	52.37	30.60	4.27
28-09-17	01:30	120	1502	25.03	1.04	1600	52.37	30.58	4.27
28-09-17	02:00	150	1652	27.53	1.15	1600	52.37	30.65	4.27
28-09-17	02:30	180	1832	30.53	1.27	1600	52.37	30.52	4.27
28-09-17	02:31	1	1833	30.55	1.27	1800	121.37	54.60	6.50
28-09-17	02:35	5	1838	30.63	1.28	1800	111.49	54.20	6.23
28-09-17	02:40	10	1848	30.80	1.28	1800	116.20	54.05	6.36
28-09-17	02:45	15	1863	31.05	1.29	1800	114.00	53.67	6.30
28-09-17	02:50	20	1883	31.38	1.31	1800	117.66	53.82	6.40
28-09-17	02:55	25	1908	31.80	1.33	1800	117.66	53.90	6.40
28-09-17	03:00	30	1938	32.30	1.35	1800	117.66	53.85	6.40

28-09-17	03:15	45	1983	33.05	1.38	1800	118.40	53.95	6.42
28-09-17	03:30	60	2043	34.05	1.42	1800	118.40	53.95	6.42
28-09-17	03:45	75	2118	35.30	1.47	1800	118.40	53.95	6.42
28-09-17	4:00	90	2208	36.80	1.53	1800	116.93	54.05	6.38
28-09-17	4:30	120	2328	38.80	1.62	1800	112.93	54.1	6.27
28-09-17	05:00	150	2478	41.30	1.72	1800	112.93	54.1	6.27
28-09-17	05:30	180	2658	44.30	1.85	1800	112.93	54.1	6.27
28-09-17	05:40	10	2668	44.47	1.85	2000	42.45	57.65	8.65
28-09-17	05:50	20	2688	44.80	1.87	2000	41.19	58.15	8.52
28-09-17	06:00	30	2718	45.30	1.89	2000	40.30	59.15	8.42
28-09-17	06:05	35	2753	45.88	1.91	2000	xxxxxxxx	60	9.00
28-09-17	06:15	10	2763	46.05	1.92	1900	30.40	56.6	7.32
28-09-17	6.27	25	2788	46.47	1.94	1900	30.20	55.8	7.29
28-09-17	06:40	35	2823	47.05	1.96	1900	30.00	55.65	7.27
28-09-17	07:05	60	2883	48.05	2.00	1900	29.15	54.8	7.16
28-09-17	07:35	90	2973	49.55	2.06	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	08:05	120	3093	51.55	2.15	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	08:35	150	3243	54.05	2.25	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	09:05	180	3423	57.05	2.38	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	09:35	210	3633	60.55	2.52	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	10:05	240	3873	64.55	2.69	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	10:35	270	4143	69.05	2.88	1900	29.45	54.9	7.16
28-09-17	11:05	300	4443	74.05	3.09	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	11:35	330	4473	74.55	3.11	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	12:00	355	4498	74.97	3.12	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	13:00	415	4558	75.97	3.17	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	14:00	475	4618	76.97	3.21	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	15:00	535	4678	77.97	3.25	1900	28.62	55.1	7.1

28-09-17	16:00	595	4738	78.97	3.29	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	17:00	655	4798	79.97	3.33	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	18:00	715	4858	80.97	3.37	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	19:00	775	4918	81.97	3.42	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	20:00	835	4978	82.97	3.46	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	21:00	895	5038	83.97	3.50	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	22:00	955	5098	84.97	3.54	1900	28.62	55.1	7.1
28-09-17	23:00	1015	5158	85.97	3.58	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	00:00	1075	5218	86.97	3.62	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	01:00	1135	5278	87.97	3.67	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	02:00	1195	5338	88.97	3.71	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	03:00	1255	5398	89.97	3.75	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	04:00	1315	5458	90.97	3.79	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	05:00	1375	5518	91.97	3.83	1900	28.62	55.1	7.1
29-09-17	06:00	1435	5578	92.97	3.87	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	07:00	1495	5638	93.97	3.92	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	08:00	1555	5698	94.97	3.96	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	09:00	1615	5758	95.97	4.00	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	10:00	1675	5818	96.97	4.04	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	11:00	1735	5878	97.97	4.08	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	12:00	1795	5938	98.97	4.12	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	13:00	1855	5998	99.97	4.17	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	14:00	1915	6058	100.97	4.21	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	15:00	1975	6118	101.97	4.25	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	16:00	2035	6178	102.97	4.29	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	17:00	2095	6238	103.97	4.33	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	18:00	2155	6298	104.97	4.37	1900	28.32	55.32	7.06
29-09-17	19:00	2215	6358	105.97	4.42	1900	28.32	55.32	7.06

Tabla 9. Datos de tiempo de recuperación de la prueba de aforo

Tiempo de Recuperación						
Fecha	Hora	Nivel	Intervalo	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (hrs)	Tiempo acumulado (días)
29-09-17	19:00	55.32	0	0.00	0.00	0
29-09-17	19:05	53.2	5.00	5.00	0.08	0.00347222
29-09-17	19:30	48.65	25.00	30.00	0.50	0.02083333
29-09-17	19:45	42.3	15.00	45.00	0.75	0.03125
29-09-17	20:00	35.7	15.00	60.00	1.00	0.04166667
29-09-17	20:30	30.25	30.00	90.00	1.50	0.0625
29-09-17	21:00	27.15	30.00	120.00	2.00	0.08333333
29-09-17	22:00	22.12	60.00	180.00	3.00	0.125
29-09-17	23:00	16.4	60.00	240.00	4.00	0.16666667
29-09-17	23:45	12.23	45.00	285.00	4.75	0.19791667

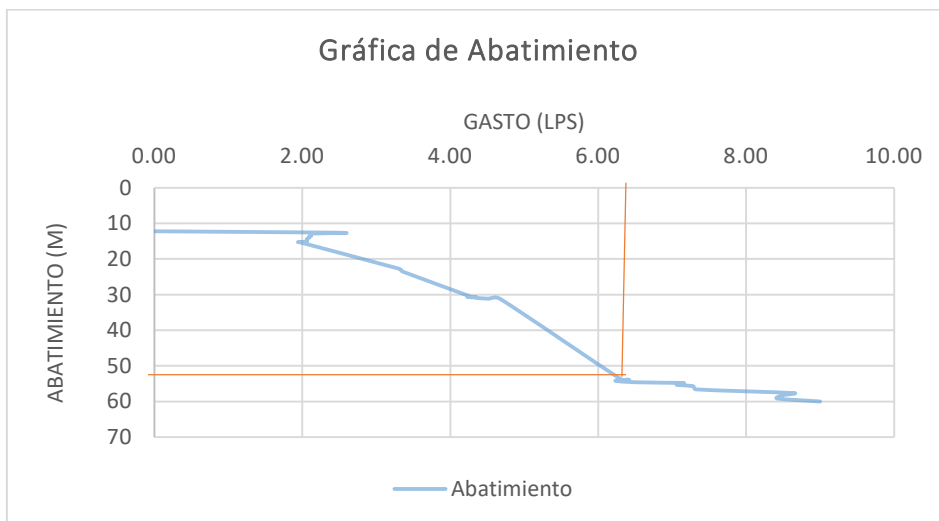


Figura 25. Ilustración grafica del abatimiento del pozo respecto al tiempo.

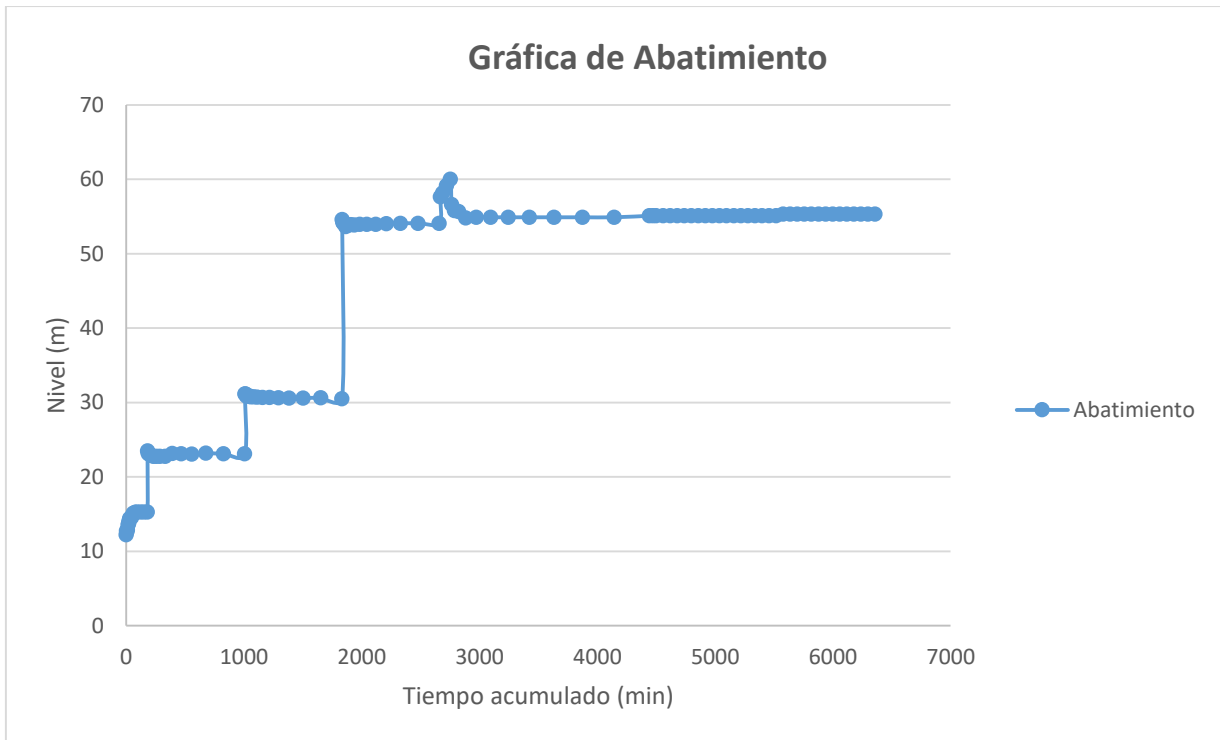


Figura 26. Gráfica escalonada de abatimiento del pozo a las diferentes revoluciones aplicadas

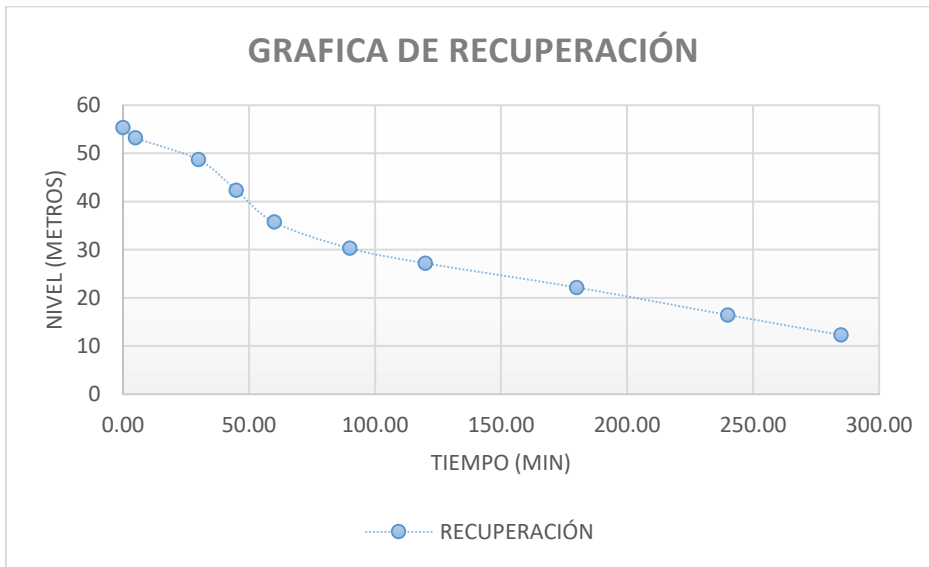


Figura 27. Ilustración gráfica de la recuperación del nivel estático del pozo

Como podemos observar y acorde a la figura 19. Ilustración grafica del abatimiento de pozo respecto al tiempo y también a los datos observados en el cuadro 5. Datos obtenidos durante la prueba. Podemos afirmar que el gasto óptimo lo podemos encontrar a las 1900 revoluciones debido a que es el momento en el cual el nivel se mantiene constante respecto al tiempo, dándonos para lo cual un gasto de 7 LPS y a un nivel de 55 m de profundidad.

Sistema de Abastecimiento de Agua (SAA) del Sistema.

El Sistema de Abastecimiento de Agua dirigido para el nuevo perforado consiste en el llenado de un aljibe con capacidad de 60 m³, controlada por electro niveles para el paro y arranque de la misma. La misma que a su vez va rebombar a dos escenarios. Uno es para el riego de un jardín en la propiedad y el segundo para el llenado de un tinaco que abastece la red de agua potable de un sistema existente. Estos escenarios se llevarán a cabo por medio de una interconexión en un sistema anterior como se muestra en la Figura 28.

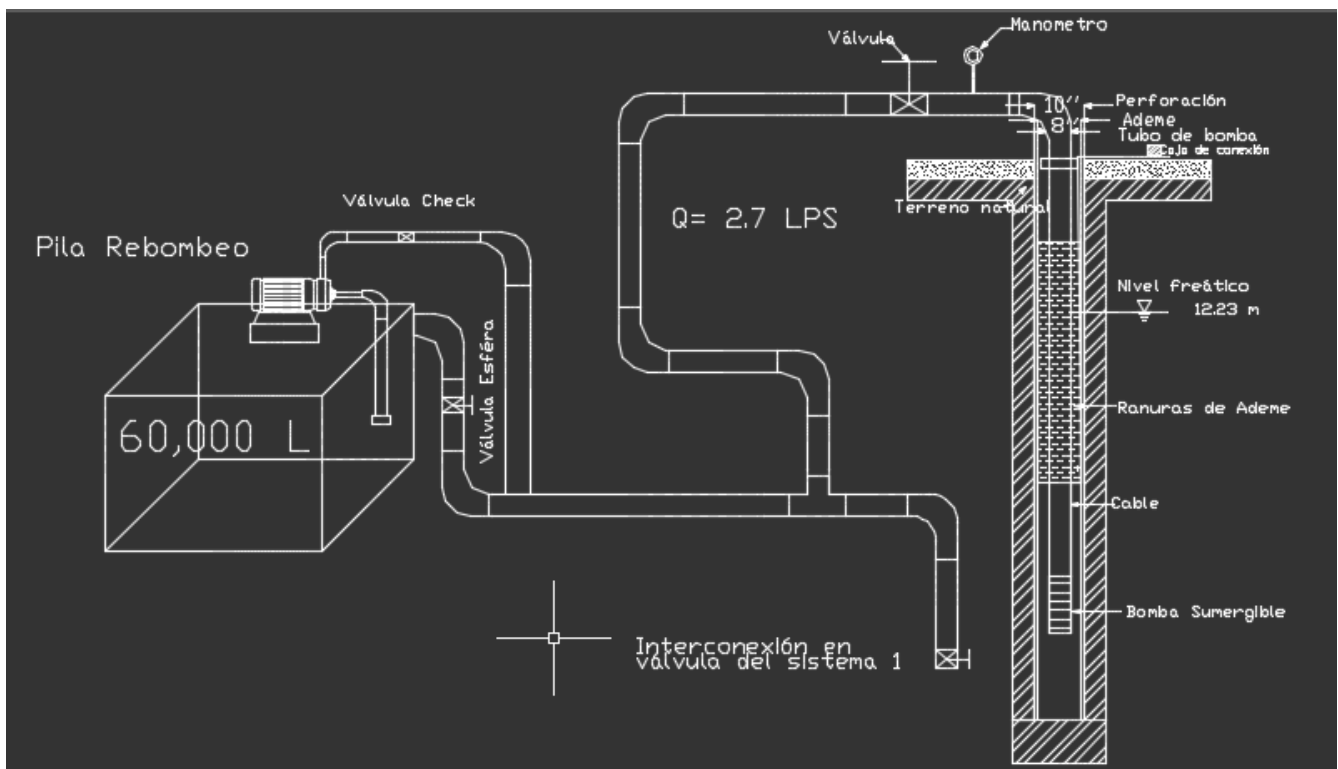


Figura 28. Sistema de Abastecimiento de Agua del Pozo perforado

Conclusiones

Dada la hipótesis planteada al inicio del proyecto, se reconoce la importancia de estudios previos que contribuyan y consoliden lo pre-establecido.

La tarea de investigar y recolección de datos ha sido el factor de mayor interés en este trabajo debido a que forman parte de la solidez del proyecto, así como el grado de confianza que este presenta a la hora de ejecutarlo.

La necesidad de aplicar radiestesia para encontrar el punto de perforación, fue determinada en primera instancia por el marco económico que presentaba el medio y que a pesar de que era una variable de poca confiabilidad; esta pudo ser apoyada por datos como los niveles estático y dinámico de los pozos vecinos o pozos de observación. Los cuales, de acuerdo a documentos oficiales, mostraban que la presencia de agua se encontraba a niveles considerablemente bajos. Por lo cual, se supuso que la extracción de agua iba ser por medio de un pozo somero y que cumpliría, al mismo, tiempo con las necesidades que se demandaban e incluso las supero; como lo muestra la prueba de aforo ejecutada.

Debido a la situación del marco económico y a los benefactores del trabajo se ha decidido no dar la máxima explotación del pozo que arroja la prueba de aforo, debido a que involucra mayores desembolsos económicos para su explotación y un equipo de bombeo más costoso. Es por eso que se ha elegido una alternativa más factible que consiste en la elección de un equipo de bombeo sumergible de menor capacidad pero que cumpla ampliamente con las necesidades del sistema al cual va dirigido su uso.

Recomendaciones

Ante la aplicación de los diferentes métodos Geofísicos utilizados para la detección de corrientes de agua y para los puntos de perforación, es de vital importancia llevar a cabo estudios de diagnóstico para definir el tamaño del proyecto, y que en este caso determinar la magnitud de la perforación.

Siempre se buscará adaptarse a las condiciones del marco económico, que es el parámetro principal para determinar los métodos a aplicar y los más convenientes.

Referencias Bibliográficas

- Bedillo, A (2004). Manual de perforación, Manual de pozos y equipamiento con bombas manuales. Obtenido de: <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%203%20Bombeo/Manual%20de%20perforación%20manual%20de%20pozos%20con%20bombas%20manuales.pdf>. Consultada (Noviembre 25, 2017).
- Boman B, Shuhla S and Hardin J, (1989). Design and Construction of Screened Wells for Agricultural Irrigation Systems. Obtenido de: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/CH/CH16600.pdf>. Consultado (Noviembre 2017).
- Bracho, J (2004). Apuntes de Geohidrología. Consultado (Noviembre 29, 2017).
- Casas, A (2010). Prospección Geofísica aplicada a la Hidrogeología: Metodología y técnicas emergentes. Obtenido de: http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/actu_tec_geofi/pdf/3_a_ponencia.pdf. Consultada (Noviembre 25, 2017).
- CONAGUA. C. (2007). Manual de Agua Potable. Alcantarillado y Saneamiento. 1era edición Coyoacán, México, D.F. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultada (Octubre 15, 2017).
- Custodio, E. y M.R. Llamas. 1976. Hidrología subterránea. Tomo I. Ed. Omega. S. A. Barcelona España.
- Del Río, G (2005). Cursos de Radiestesia. Obtenido de: <https://www.educacionholistica.org/notepad/documentos/Radiestesia/Radiestesia.pdf>. Consultado (Noviembre 18, 2019).
- DUMBLETON J, (1925). Construction of Wells and Bore-Holes for Water Supply and the Elements of the Analysis And Purification of Water. First Edition. Consultada (Noviembre 25, 2017).
- HARTER T and University of California, (2003). Water Well Design and Construction. Obtenido de: <http://groundwater.ucdavis.edu/files/136275.pdf>. Consultado (Noviembre, 2017).

- Hernández, F (2012). Métodos Geoeléctricos Aplicados a la Exploración de Aguas Subterráneas y Termales. Obtenido de: http://www.dgeo.udec.cl/red-de-ex-alumnos/wp-content/uploads/2012/09/felipe_daza_tesis.pdf. Consultada (Noviembre 20, 2017).
- Martínez, G (Abril 1986). Perforación de pozos profundos, Aforo de pozos profundos. Consultado (Noviembre 30, 2017).
- PEMEX. (2010). Diseño de la Perforación de Pozos. Obtenido de: <http://oilproduction.net/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>. Consultado (Noviembre 25, 2017).
- Ramírez, M (2005). Diseño del programa de Perforación de Pozos Petroleros. Obtenido de: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1656/TESIS%20DE%20ESPECIALIDAD_1.pdf. Consultada (Noviembre 28, 2017).
- Randall, J (2004). Métodos Alternos de Geofísica en la búsqueda de Agua Subterránea. Obtenido de: <https://aguassubterraneeas.abas.org/asubterraneeas/article/viewFile/24307/16314>. Consultado (Noviembre 25, 2017)
- University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources (May 2012). Private Drinkin Water Wells: Planning for Water Use. Obtenido de: <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g2149.pdf>. Consultado (Noviembre 28, 2017).
- Villarreal, F (2014). Manual de pruebas de Aforo. Consultado (Noviembre 29, 2017).

Anexos

Tabla 10. Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte

Material	Presión de corte (Bar)
Suelo	50
Rudaseas	200
Yeso	500
Areniscas	1000
Caliza roca sedimentaria	1500
Esquisto pizarra roca metamórfica	2000
Granito roca ígnea plutónica (Feldespatos y mica)	2500
Cuarcita roca metamórfica cuarzo	3000
Mineral de hierro o roca férrica	4000
Diamante	5000



Figura 29. Máquina utilizada para la perforación y sus elementos



Figura 30. Broca o tricono utilizado en la perforación



Figura 31. Extracción y clasificación (en el SGM) de las muestras extraídas en la perforación.



Figura 32. Visita al Servicio Geológico Mexicano para emitir una clasificación de los materiales extraídos en la perforación.



Figura 33. Interior del compresor empleado







Figura 34. Ademado del pozo

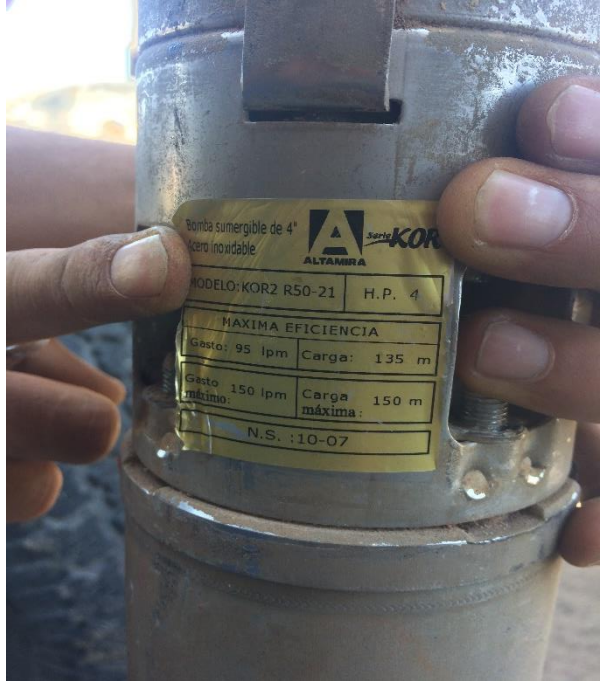






Figura 35. Colocación de la bomba sumergible para el pozo



Figura 36. Medición de Niveles Estático y Dinámico en las pruebas



Figura 37. Formación Geológica presente en la perforación

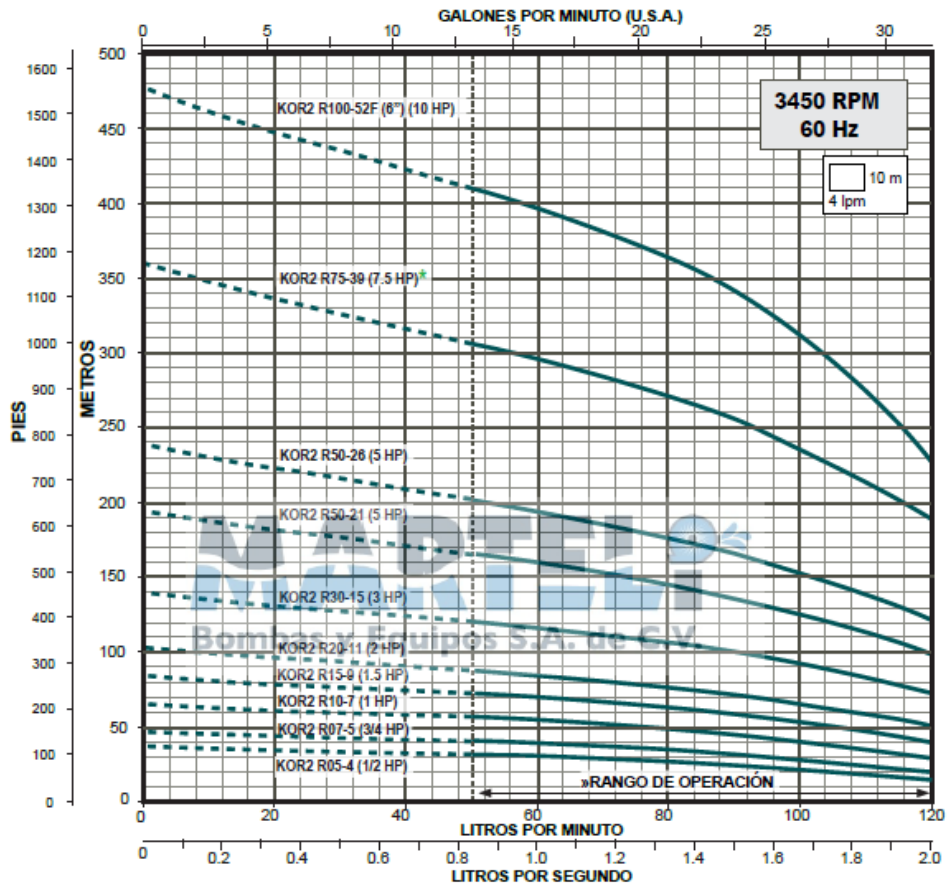


Figura 38. Colocación de la Bomba Centrífuga para Re-bombeo.

SERIE KOR2

Descarga: 1 1/2" NPT

2 Ips



KOR2

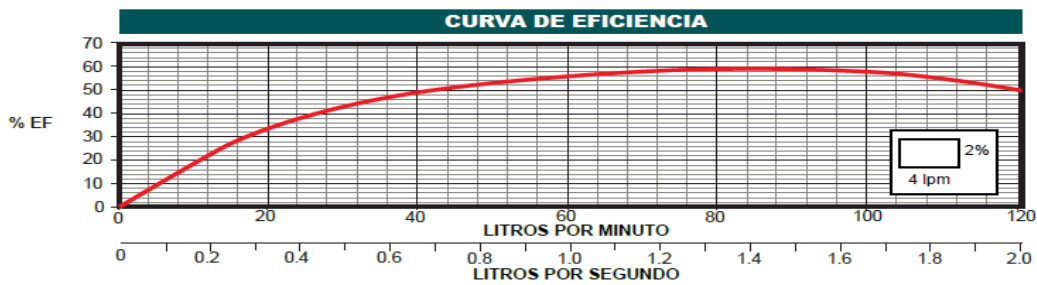
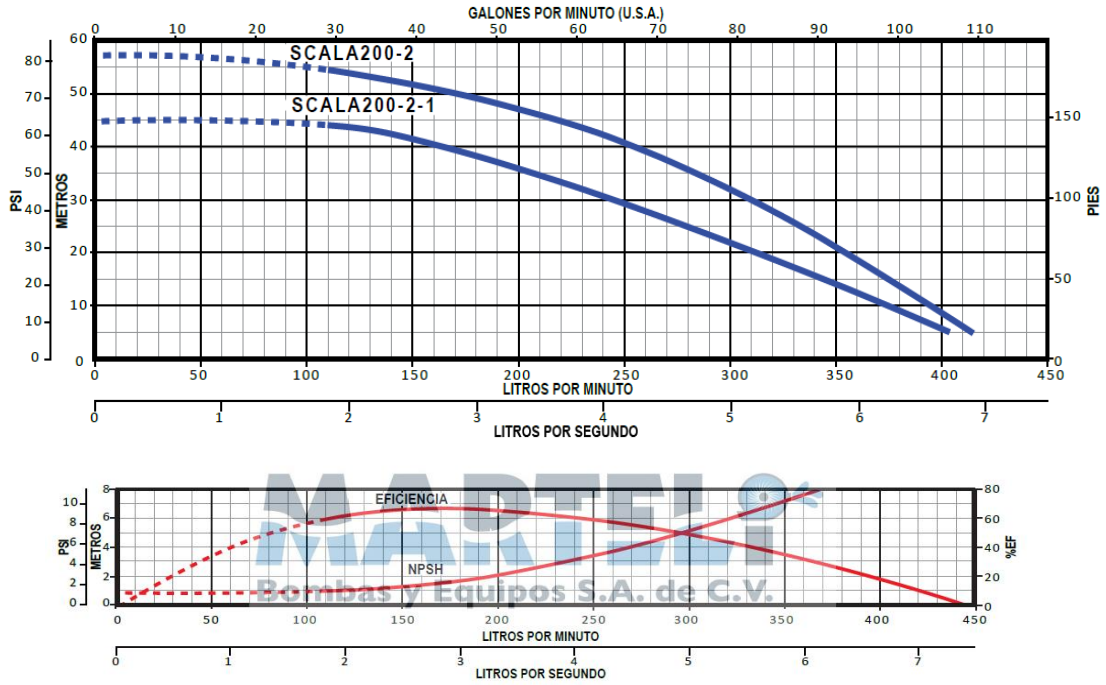


Figura 39. Curva de Eficiencia de la Bomba Sumergible utilizada en el pozo

CURVAS DE RENDIMIENTO Y TABLA DE ESPECIFICACIONES

SCALA 200



CÓDIGO	HP	AMP.	FASES X VOLTS	SUCCIÓN X DESCARGA (pulgadas)	DIÁMETRO MÍNIMO RECOMENDADO PARA TUBERÍA DE SUCCIÓN (pulgadas)	PRESIÓN AL CIERRE (m/psi)	CARGA EN METROS (psi)					
							10 (14.2)	20 (28.4)	30 (42.6)	40 (56.8)	50 (71)	60 (85.2)
							GASTO (lpm)					
SCALA200-2-1/3234	3	8.8/5.9	3 x 230/460	1.5" x 1.5"	2"	45/64	375	313	245	164		
SCALA200-2/3234	4	11.4/6.6	3 x 230/460			57/81	395	354	310	254	171	

Figura 40. Curva de trabajo y eficiencia de la bomba centrífuga, utilizada para Re-bombeo.