



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN
POZO CON FINES DE EXTRACCIÓN DE
AGUA**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

OCTAVIO VALENCIA MELO

DIRECTOR DE TESIS

M.I. HÉCTOR JAVIER GUZMÁN OLGUÍN



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN POZO CON FINES DE EXTRACCIÓN DE AGUA



Autor: Octavio Valencia Melo

AGRADECIMIENTOS

Brindo el presente trabajo a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y en agradecimiento a la FACULTAD DE INGENIERÍA por la oportunidad que me ha brindado cursar en sus aulas la carrera de Ingeniería Civil.

A mis profesores, compañeros de trabajo y amigos a quienes tuve el honor de conocer en las aulas y pasillos de la facultad de Ingeniería y ampliamente me brindaron su apoyo incondicional, sus conocimientos, habilidades y destrezas para ser de mi un profesionista con espíritu universitario que jamás olvidaré.

A mis padres, abuelos y familiares quienes siempre han depositado toda su confianza y esfuerzo en mi educación, a ellos, quienes estuvieron siempre constantes en mi formación académica, dedico el presente trabajo como prueba de mi gratitud esperando siempre recompensarlos con más logros.

Índice de contenido

OBJETIVO	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	12
1.1 Definiciones	12
1.1.1 Definiciones legales.....	12
1.1.2 Definiciones técnicas.....	13
1.2 Antecedentes.....	16
1.3 Proceso constructivo.....	19
1.3.1. Control de obra.....	19
1.3.2. Trabajos preliminares.	20
1.3.3. Instalación del equipo de perforación.	21
1.3.3.1. Elección del lugar de instalación:.....	21
1.3.3.2. Excavación de fosas de lodos:	21
1.2.3.3. Elección de áreas de maniobras, descarga, entrada y salida de vehículos de servicio, zonas administrativas:	21
1.3.4. Perforación Exploratoria.	22
1.3.4.1.- Preparación de lodo de perforación.....	22
1.3.4.2. Selección de la barrena adecuada:	22
1.3.4.3. Muestreo:	23
1.3.4.4.- Ampliación del pozo para la colocación del contra ademe:	23
1.3.4.5.- Selección del ampliador adecuado:.....	24
1.4. Registro eléctrico.	25
1.4.1.- Adelgazamiento de lodo de perforación:	25
1.4.2.- Registro eléctrico:.....	25
1.5. Clasificación de tuberías.	26
1.5.1. Tipos de tubería.	26
1.5.2. Colocación del filtro de grava:	27
1.5.3. Lavado y pistoneo del pozo:	27
1.6.- Prueba de desarrollo y aforo del pozo	28
1.6.1. Instalación del equipo y prueba de aforo:	28
1.6.2. Desmantelamiento de equipo de perforación:.....	28
1.7.- Entrega de la obra.	28
CAPÍTULO II. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	30
2.1 Ubicación geográfica	30

2.2 Objeto de la obra:	30
2.3 Características de la obra	31
<i>CAPITULO III. EQUIPOS DE PERFORACIÓN</i>	35
3.1 Equipo de percusión	35
3.1.1 Componentes del sistema	35
3.1.2 Instalaciones complementarias.....	42
3.2 Equipo rotario	44
3.2.1 Componentes del sistema	44
3.2.2 Instalaciones complementarias.....	47
<i>CAPITULO IV. PROCESO CONSTRUCTIVO</i>	53
4.1 Trabajos preliminares	56
4.1.1 Tratamiento del terreno (nivelación e instalación de losa de cimentación y caseta).....	56
4.1.2 Preparación de fluido de perforación (Polímero).....	58
4.2 Proceso de perforación primera etapa	61
4.2.1 Perforación exploratoria de 0.00 m a 54.60 m de profundidad	61
4.3 Proceso de perforación segunda etapa.....	62
4.3.1 Perforación exploratoria de 54.60 m a 200.80 m de profundidad	63
4.3.2 Registro eléctrico.....	65
4.3.3 Suministro y colocación de 201.3 metros de tubería de 22" de diámetro	66
4.4 Proceso de perforación tercera etapa	68
4.4.1 Perforación exploratoria de 200.80 m a 400.00 m de profundidad	68
4.4.2 Colocación de grava de cuarzo	70
4.5 Etapa final de la obra	71
4.5.1 Lavado del pozo	71
4.5.2 Aplicación del dispersor de arcillas	72
4.5.3 Tratamiento mecánico	72
4.5.4 Prueba de aforo.....	73
4.5.5 Muestreo y análisis de la calidad del agua de acuerdo con la nom-127-ssa1-1994	73
4.5.6 Limpieza del sitio de los trabajos	76
<i>CAPITULO V CONCLUSIONES</i>	77
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	83

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Clasificación de pozos. Mapa conceptual.	18
Ilustración 2 Diámetros de perforación	24
Ilustración 3 Ampliador con barrena tricónica.	24
Ilustración 4 Ejemplo del comportamiento eléctrico en un corte litológico.	25
Ilustración 5 Ejemplo del comportamiento eléctrico en un corte litológico.	26
Ilustración 6 Tubería lisa con cordón helicoidal.	27
Ilustración 7 Tubería ranurada.....	27
Ilustración 8 Componentes de un pozo terminado.....	29
Ilustración 9 Ubicación satelital de la obra.	30
Ilustración 10 Representación de las etapas de perforación.....	32
Ilustración 11 Representación de los componentes del pozo	34
Ilustración 12 Componentes de cable.....	38
Ilustración 13 Equipo de perforación de tipo percusión.....	40
Ilustración 14 Equipo de percusión. Componentes de la sarta de perforación.	41
Ilustración 15 Equipo de perforación tipo percusión.	43
Ilustración 16 Bomba Dúplex.....	46
Ilustración 17 Brocal tricónico con incrustaciones de metal.	47
Ilustración 18 Fosa de fluido de perforación	48
Ilustración 19 Preliminar. Losa de cimentación.....	49
Ilustración 20 Componentes del equipo de perforación con sistema rotario.....	50
Ilustración 21 Componentes del equipo de perforación de sistema rotario.....	51
Ilustración 22 Equipo rotario. Torre de perforación.	51
Ilustración 23 Ciclo de fluido de perforación.	52
Ilustración 24 Vaciado de concreto para losa de cimentación instalada sobre el terreno nivelado.	56
Ilustración 25 Término de construcción de la losa de cimentación... ..	56
Ilustración 26 Excavación preliminar de fosas para fluido de perforación.	57
Ilustración 27 Indicios de la exposición del Nivel de Aguas freáticas.	57

Ilustración 28 Canal conductor del fluido de perforación.....	58
Ilustración 29 Circulación de fluido de perforación.....	58
Ilustración 30 Instrumentos para la prueba "Viscosidad de Marsh"..	59
Ilustración 31 Adición de polímero.....	60
Ilustración 32 Medición de pH del agua mezclada con polímero.	60
Ilustración 33 Prueba de Viscosidad con Marsh Funnel.	60
Ilustración 34 Diámetro de perforación primera etapa ($\phi 12 \frac{1}{4}$).....	61
Ilustración 35 Extracción de muestras de suelo en los primeros dos metros.....	61
Ilustración 36 Identificación y clasificación de muestras de suelo en los primeros 54.60 metros.	62
Ilustración 37 Ingreso de tubería lisa al sitio de los trabajos.	62
Ilustración 38 Ingreso de equipo de perforación con sistema rotario.	63
Ilustración 39 Bomba de inyección y retorno de lodos.	63
Ilustración 40 Fosa contenedora de lodo a base de bentonita sódica.	64
Ilustración 41 Fosa contenedora de fluido a base de polímero.	64
Ilustración 42 Colocación de barrena tricónica.	65
Ilustración 43 Retorno de fluido de perforación.	65
Ilustración 44 Equipo con cable de acero para registro eléctrico.	65
Ilustración 45 Gráficas resultantes de registro eléctrico.....	66
Ilustración 46 Izaje de tubería lisa.	66
Ilustración 47 Acoplamiento de tubería lisa.	66
Ilustración 48 Unión de tubería lisa con soldadura de filete.	66
Ilustración 49 Expulsión de fluido de perforación.....	67
Ilustración 50 Muestras de suelo debidamente lavadas y clasificadas de acuerdo con la profundidad de extracción.	67
Ilustración 51 Muestra de suelo a los 200 metros de profundidad. La muestra presentada no es para análisis de campo, pero es representativa para observar el tipo de material (arenas).	67
Ilustración 52 Adecuación de barrena.	68
Ilustración 53 Suministro de tubería ranurada.	68
Ilustración 54 Colocación de tubería ranurada.	69
Ilustración 55 Tapón de fondo.	69
Ilustración 56 Colocación de tubería ranurada.	70
Ilustración 57 Aplicación de soldadura en tubería ranurada.	70

Ilustración 58 Suministro de grava de cuarzo.....	70
Ilustración 59 Colocación de grava de cuarzo.....	71
Ilustración 60 Dispersor de arcillas.....	72
Ilustración 61 Pistón con punta de neopreno.....	72
Ilustración 62 Inicio de prueba de aforo.....	73
Ilustración 63 Croquis de la distribución de zonas en el sitio de los trabajos.....	80
Ilustración 64 Comparativa de avance físico Proyectado y Real ejecutado.....	81

Índice de tablas

Tabla 1 Material de barrenas.....	23
Tabla 2 Coordenadas geográficas de la obra	30
Tabla 3 diámetros de perforación.	31
Tabla 4 Sistemas componentes del equipo de perforación de percusión.....	36
Tabla 5 Clasificación de cables de acero.....	37
Tabla 6 Ilustración de tipo de de cables.	38
Tabla 7 Equipo Rotario. Sistema de perforación	45
Tabla 8 Clasificación de suelos	53
Tabla 9 Conceptos de ejecución	55
Tabla 10 Límites permisibles de organismos coliformes.....	73
Tabla 11 Características físicas.....	74
Tabla 12 Límites permisibles de constituyentes químicos.	75

OBJETIVO

- Desarrollar un contenido de consulta en el cual se describen las principales actividades realizadas durante el proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua, obra en la que participé en apoyo a la residencia de lado tierra perteneciente a Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México y supervisión externa.
- Ofrecer al lector un documento de consulta, en el cual se describen definiciones, procesos y actividades que se deben realizar para la construcción de un pozo con fines de extracción de agua.
- Mostrar al interesado el proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua, dar a conocer las principales actividades que se llevaron a cabo durante la construcción del pozo, explicar los métodos de perforación y todas las actividades que complementan el proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua, obra de ingeniería civil que involucra aspectos teóricos y técnicos.

INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo explicaré las generalidades, incluidos los antecedentes de la perforación de pozos, comenzando por las generalidades del abastecimiento del agua, las fuentes más comunes de abastecimiento, la clasificación de acuíferos y finalizando el capítulo con los antecedentes, donde se explica la clasificación, metodologías y teoría de la perforación de pozos.

En el segundo capítulo explicaré las especificaciones técnicas del proceso de perforación del pozo de extracción de agua para abastecer el Nuevo Aeropuerto de México, obra de ingeniería civil en la cual participé durante mis prácticas profesionales.

En el tercer capítulo explicaré lo referente al funcionamiento de los equipos de perforación empleados en la construcción del pozo, sistemas comunes en la perforación de pozos, así como sus principales componentes, sarta de perforación y modelos.

El capítulo cuatro contiene la descripción del proceso constructivo, se describen las actividades realizadas durante en cada una de las etapas de la obra, iniciando desde los trabajos preliminares y finalizando con la descripción de los trabajos finales que formaron parte de la culminación de la obra, alcance y objeto de este trabajo.

Finalmente, en el capítulo cinco, presento mis conclusiones personales de la obra incluyendo recomendaciones basadas en mi propia experiencia que adquirí durante mi participación en el proyecto.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Definiciones

1.1.1 Definiciones legales

Convocatoria: significa el documento emitido por la Entidad Contratante y publicado en el Diario Oficial de la Federación y CompraNet, mediante el cual se hace del conocimiento del público la Licitación Pública.

Contrato: significa el contrato que celebrarán la Entidad Contratante y el Licitante Adjudicado en términos del **Anexo 1 (Modelo de Contrato)**.

Consortio: significa el grupo de personas físicas o morales, que participan en la Licitación Pública como un solo Licitante.

Día: periodo de 24 horas que comienza a las 0:00 horas y termina a las 24:00 horas, según la hora oficial de la Ciudad de México.

Día Hábil: todos los Días del año, con excepción de los sábados y domingos, los de descanso obligatorio conforme a la Ley Federal del Trabajo y los días inhábiles que señale el calendario oficial de la Entidad Contratante.

Licitante: significa la persona física o moral (o el Consortio) que participa en la Licitación Pública de conformidad con los requisitos establecidos en la Convocatoria.

Licitante adjudicado: significa el Licitante (o Consortio) cuya Proposición sea declarada ganadora de la Licitación Pública por la Entidad Contratante.

LOPSRM: significa la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

Proposición: significa la oferta presentada por un Licitante (o Consortio) para la Licitación Pública y que estará compuesta por la Documentación Legal y Administrativa, la Propuesta Técnica y la Propuesta Económica.

1.1.2 Definiciones técnicas

Programa de actividades: Es un informe que contiene las actividades calendarizadas para el control en la ejecución de las obras, sirve como apoyo para controlar los tiempos y estimar fechas.

Ademe: Tubo de acero al carbón, se utiliza como refuerzo que permite mantener la estabilidad de las paredes del pozo.

Brocal: Es la protección, tapa o pretil que se encuentra en la parte superior de la perforación del pozo. El brocal puede ser construido por materiales plásticos, mampostería o concreto; generalmente sirve como base de apoyo para las instalaciones de bombeo.

Sarta de perforación: Es el conjunto de componentes, los cuales transmiten la fuerza de empuje y rotación de las barrenas para lograr la perforación del suelo. La sarta de perforación incluye tubos de perforación, Kelly y barrena.

Barrena: La barrena es la principal pieza metálica con incrustaciones de metal y minerales lo suficientemente resistentes a la fricción para resistir el corte del suelo. Generalmente las barrenas se componen por incrustaciones de metal para suelos blandos, para el caso de suelo duro o rocoso, es común usar barrenas con incrustaciones de minerales tales como el tungsteno.

Abatimiento: Se refiere a la variación del nivel del suelo como consecuencia de la extracción de agua. La variación de niveles es en forma cónica y en algunas veces proporcional.

Acuífero: Son los cuerpos subterráneos contenedores de grandes cantidades de agua producto de la filtración de la misma según la composición geológica del suelo.

Fluido de perforación: Es la mezcla de materiales minerales o químicos que sirve para dar estabilidad a las paredes del pozo y regular la temperatura de fricción de la barrena al momento del corte de suelo, también es importante para desplazar los residuos producto del corte del suelo hacia la superficie. Este fluido debe ser lo suficientemente denso para desplazar por densidad, los fragmentos del recorte del suelo. El fluido de perforación debe hacerse de acuerdo al uso del pozo, es decir, para pozos petroleros es común utilizar productos químicos, sin embargo, para pozos de agua, se deben utilizar productos no químicos que afecten la calidad del agua o que

contaminantes del acuífero; En este caso, se utiliza comúnmente bentonita sódica o polímero.

Cementación: Es el proceso por el cual se inyecta la mezcla de cemento con agua (lechada) en el espacio que existe entre la tubería y las paredes del pozo a fin de estabilizar la estructura y reducir riesgos de colapso

NAF: Significa Nivel de Aguas Freáticas y se refiere la profundidad en la cual *las presiones del acuífero resultan iguales a la presión atmosférica*.

Litología: Es el estudio de las rocas y de la composición geológica del suelo.

Perfil Geológico o Estratigráfico: Es la representación gráfica del estudio geológico del suelo, se incluye la representación y calidad de los materiales del suelo, dimensiones y características específicas y aproximadas de resistencia y localización.

La bomba de lodos: es el corazón del sistema de circulación; esta bomba de alto flujo y alta presión debe ser capaz de inyectar el lodo dentro de la sarta de perforación y levantarlo para que regrese por las paredes del pozo.

Dentro de las bombas de lodos utilizadas para la perforación en general, se tienen de dos tipos: bombas dúplex y bombas tríplex.

La bomba de lodos queda definida por el diámetro del vástago del pistón que es del mismo diámetro y longitud que la camisa, además se emplea en adición una válvula check y una válvula de sobre presión. La capacidad de inyección es de aproximadamente 108 in³ por pistón.

Manguera viajera: Es una manguera de goma reforzada, flexible y extremadamente fuerte. La característica de flexibilidad permite bajar y subir junto con el Swivel la tubería de perforación durante las operaciones de perforación, mientras el lodo se está bombeado a través y hacia abajo de la tubería. Es extremadamente durable, transporta fluido muy abrasivo a alta presión. Esta manguera inicia en la bomba de lodos y se conecta al Swivel.

Manguera de succión: Esta manguera es de gran diámetro (mayor que la manguera viajera), es para presión baja, pero debe ser

acorazada ya que la succión del lodo o fluido de perforación por parte de la bomba de lodos es fuerte (fig. 12). Esta manguera inicia con una válvula check vertical o pichancha, la cual queda instalada dentro de la fosa dos de la fosa de lodos (en el capítulo VI, se detallan las fosas de lodos), y se conecta a la bomba de lodos.

Nivel dinámico (ND). - Medida de un pozo de agua en producción, relativa a la superficie del terreno en el lugar.

Nivel de bombeo: El nivel de agua en el pozo mientras que se está bombeando.

Nivel estático (NE). - Medida de nivel de agua de un pozo, en reposo o estancamiento, relativa a la superficie del terreno en el lugar.

Prueba de aforo: La prueba de bombeo es aquella cuyos datos conciernen al pozo como la capacidad específica y la ecuación de producción del pozo, datos necesarios para la selección del sistema y equipo de bombeo que se instalará para la explotación del pozo. Esta prueba tiene una duración mínima de 72 horas.

Prueba de Bombeo: Esta prueba consiste en conocer si un pozo produce o no agua. A diferencia de la prueba de aforo, esta prueba puede durar solo algunas horas y se realiza cuando en la perforación exploratoria se tienen dudas fundadas de la no producción de agua.

1.2 Antecedentes

El abastecimiento de agua representa una necesidad primordial para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, por lo que el ser humano ha buscado diversas fuentes de extracción de este líquido para diferentes usos, ya sea para consumo humano, uso agrícola, uso recreativo, sanitario, etc.

El ser humano a lo largo de la historia, ha logrado abastecerse de agua por medio de acueductos, canales, tuberías y otros tipos de conducción.

Actualmente se utilizan las principales fuentes de abastecimiento, de las cuales se han obtenido las dotaciones de agua que demanda la población.

Las principales fuentes de abastecimiento son:

- Agua pluvial
- Agua superficial
- Agua subterránea

La obtención de agua pluvial, es un proceso que requiere de infraestructuras grandes, cuyas dimensiones, tanto para el almacenamiento como para la captación sean bastas para la obtención del líquido. La calidad del agua la podemos clasificar como buena cuando se encuentra en la atmosfera, sin embargo, conforme a su precipitación, la calidad va disminuyendo, ya que a su paso adquiere contaminantes existentes en el aire como puede ser polvo, CO₂ o algunos gases de diferentes procedencias, por tal motivo, la calidad del agua pluvial varía dependiendo de la zona donde se instale la infraestructura de captación, por ejemplo, si se instala en el campo es probable que la calidad sea buena a diferencia que si se instala en la ciudad, donde la concentración de contaminantes en el aire es mayor.

El agua superficial es aquella que se encuentra principalmente en ríos, lagos y estanques. La extracción de agua superficial tiene características particulares, presenta un alto contenido bacteriano, así como sólidos suspendidos, fertilizantes, pesticidas, contaminación antropogénica y demás contaminantes que durante el recorrido puede adquirir.

Es común presenciar en un río turbiedad y color dependiendo de los contaminantes existentes en la longitud de su desarrollo. En el caso de lagos y estanques, debido a su poco movimiento, resulta común encontrar agua con contenido bacteriano, además de sólidos suspendidos y dependiendo de la zona donde se ubiquen son altamente vulnerables a la contaminación antropogénica como en el caso de los ríos. Es importante mencionar que la ventaja que predomina en estos tipos de fuentes es la facilidad con la cual podemos conducirla hacia una determinada zona con fines de abastecimiento.

Agua subterránea es el agua que se encuentra por debajo de la capa permeable de la corteza terrestre ocupando así los poros o espacios en el suelo. Las características que destacan a este tipo de agua es que contienen bajo contenido bacteriano en comparación con el agua superficial y alto contenido de Hierro y Magnesio.

A la concentración de compuestos minerales en una cantidad de volumen de agua se le denomina “dureza” cuando esta contiene concentraciones elevadas en particular Magnesio y Calcio, por el contrario, el agua con baja concentración de estos minerales es clasificada como “Blanda”.

La clasificación del agua subterránea puede ser dura o blanda dependiendo de la constitución de minerales del acuífero, por ejemplo, si el acuífero donde se encuentra el agua está conformado por roca caliza, el agua será dura debido al alto contenido de Calcio y Magnesio, sin embargo, si el acuífero está constituido por granito, tendremos una concentración alta de CO₂ y agua blanda debido a la baja concentración de Calcio y Magnesio.

Un acuífero es una estructura subterránea geológica cuyo material permiten la infiltración del agua formando almacenamientos hidráulicamente aprovechables, estos se dividen en tres tipos, acuíferos libres, acuíferos confinados y acuíferos semiconfinados.

Un acuífero libre es aquel que se encuentra bajo presiones atmosféricas, es decir, que deben ser igual los niveles del nivel freático y el nivel de la superficie libre del agua.

Los acuíferos confinados, son los que se encuentran en formaciones delimitadas por capas impermeables en sus extremos superior e inferior, este tipo de acuífero a diferencia del acuífero libre, se

encuentra bajo presiones mayores a la presión atmosférica debido al confinamiento de los estratos. Se denomina acuífero semiconfinado cuando la permeabilidad de los estratos es menor y sin embargo este recibe o cede cantidades significativas de agua.

La extracción de agua subterránea se lleva a cabo mediante pozos los cuales son perforaciones cilíndricas verticales con la finalidad de que el agua que se encuentra en las paredes fluya a lo largo de su desarrollo.

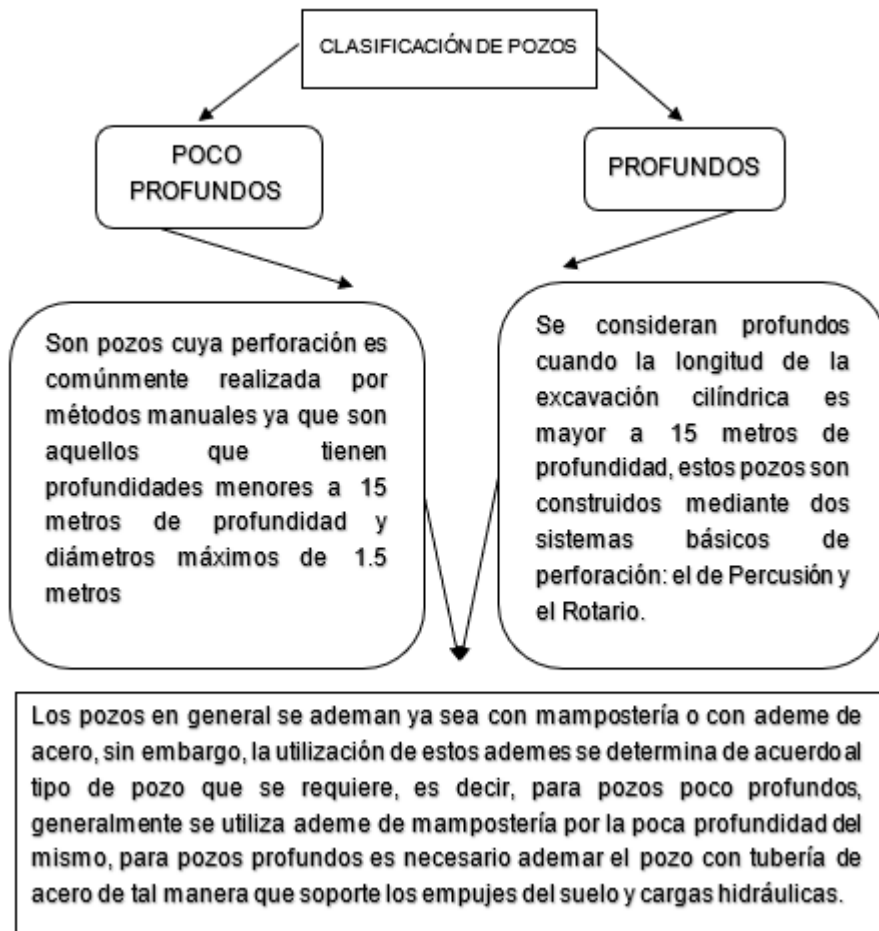


Ilustración 1 Clasificación de pozos. Mapa conceptual. Fuente: Elaboración propia.

Debido a la variación geológica del suelo, se han desarrollado sistemas y métodos de perforación para en diversas condiciones geológicas. La composición geológica del suelo es muy variable y por lo tanto no existe un método de perforación estándar, los métodos de perforación dependen del tipo de suelo que se pretende perforar, estos pueden ser materiales muy duros tales como rocas, hasta materiales poco consolidados. Los factores que se deben considerar al intentar perforar un suelo para un pozo son principalmente las condiciones geológicas, posibles formaciones o depósitos de sedimentos, la profundidad y el diámetro de la perforación.

1.3 Proceso constructivo

El proceso constructivo de un pozo de extracción de agua, se enfoca principalmente en el control técnico de los trabajos ejecutados en obra, el cual abarca los procesos administrativos y técnicos que van desde los trabajos preliminares y concluye hasta el la cierre y entrega de la obra. Las etapas de ejecución se describen a continuación:

1.3.1. Control de obra

El control de obra incluye los procedimientos, protocolos, reglamento y condiciones para la realización de los trabajos, en este caso, para la perforación de pozos, es importante contar con un programa de actividades, un libro de bitácora y el seguimiento a los reportes del perforador.

El programa de actividades deberá permanecer en el sitio de la obra y debe estar a disposición de la supervisión de los trabajos, debe contener la fecha de inicio y término de cada una de las actividades programadas.

La descripción de las actividades, avances, cambios y observaciones de la obra, se registran en el libro de bitácora.

El perforador debe registrar los avances de la perforación en una ficha que contenga principalmente la fecha, hora de reporte, avance físico en metros, consumo de materiales, actividades realizadas en turno y una lista de revisiones del mantenimiento del equipo de perforación.

1.3.2. Trabajos preliminares.

En el sitio se debe realizar trabajos preliminares (limpieza del terreno, movimiento de tierras, Trazo y nivelación, instalaciones provisionales, licencias y permisos, etc.), además, se deben considerar las instalaciones temporales como casetas, sanitarios, talleres, almacén y todo lo necesario para una correcta ejecución de la obra. Dentro del acondicionamiento del sitio de los trabajos, se debe planificar la ubicación y los trabajos obra previos a la instalación del equipo de perforación (losa de cimentación, fosas, zapatas, entre otros).

Los trabajos preliminares son los procesos que se realizan previo a la construcción de una obra y son las siguientes:

- Limpieza del terreno:
Liberar el espacio donde se pretende trabajar, retirar maleza, vegetación, fauna, etc. A fin de mantener un espacio libre, seguro y que permita realizar las maniobras pertinentes en la ejecución de los trabajos de obra.
- Movimiento de tierras:
El movimiento de tierras, es un trabajo que forma parte de las actividades preliminares, este concepto, incluye la nivelación del terreno, compactación, delimitación y mejoramiento de suelo.
- Trazo y Nivelación:
Durante el trazo y nivelación del terreno, se deben prever las excavaciones necesarias para cimentaciones, trazo de instalaciones, etc.
- Instalaciones Provisionales:
Las instalaciones provisionales son aquellas instalaciones que como su nombre lo indica, no formarán parte de la obra, es decir, casetas de vigilancia, estaciones de almacenamiento de materiales, sanitarios, etc.
- Licencias y permisos:
Son todos los documentos relacionados con el pago de impuestos y licencias expedidas por la autoridad

competente, los cuales establecen la libertad de llevar a cabo los trabajos de obra.

1.3.3. Instalación del equipo de perforación.

Para la instalación del equipo de perforación, existen factores importantes a considerar, a continuación, se describen las consideraciones básicas que se deben tomar en cuenta como parte de la planeación de la instalación del equipo.

1.3.3.1. Elección del lugar de instalación: Se refiere a la ubicación que tendrá el pozo. El equipo de perforación deberá situarse en la ubicación indicada para iniciar con la perforación, es importante considerar factores que puedan afectar la perforación tales como la vibración del equipo de perforación, el tipo de suelo, profundidad del pozo, maniobras, nivelación, seguridad de la maquinaria y del personal operativo.

1.3.3.2. Excavación de fosas de lodos: Estas excavaciones son de gran importancia para la perforación, son utilizadas para almacenar y retornar el fluido de perforación, independientemente del sistema de perforación que utilizemos, es necesario considerar al menos una fosa para el retorno de fluido de perforación.

El fluido de perforación es conducido a través de canales de tierra o provisionales que dirigen el fluido de perforación hasta las fosas.

Las fosas y canales ayudan a mantener el área de trabajo con mayor limpieza y reduce el riesgo de accidentes en el trabajo. Generalmente las fosas de lodos, son recubiertas en el interior con concreto lanzado y reforzadas con malla electrosoldada según la estabilidad de los taludes de las predes; Debe considerarse el volumen aproximado de retorno del fluido de perforación para dar dimensiones a la fosa.

Un ciclo, es el periodo de tiempo que tarda el fluido de perforación desde que se inyecta al pozo y hasta que sale.

1.2.3.3. Elección de áreas de maniobras, descarga, entrada y salida de vehículos de servicio, zonas administrativas: La elección de las zonas destinadas a las maniobras, descarga, entrada y salida de los vehículos, deben ser consideradas al momento de la delimitación del sitio, estas

delimitaciones ayudan al residente encargado de la obra a mantener un control general y particular de los trabajos en ejecución. Las zonas siempre deben mantenerse delimitadas y contar con señalamientos de protección civil y de riegos, contar con extintores y material de primeros auxilios. Como parte complementaria a la elección de las áreas de trabajo, es importante mencionar que el personal técnico y profesional que ingrese al sitio de los trabajos, debe identificarse en un libro de registro indicando como mínimo su nombre, fecha y hora de acceso, además, deberá contar con equipo de protección personal, es decir, casco, chaleco, botas con casquillo según requiera el riesgo de la obra y gafas de protección visual.

1.3.4. Perforación Exploratoria.

Esta perforación consiste en la primera perforación del suelo con diámetro menor al establecido y hasta una determinada profundidad según el anteproyecto e información geológica.

1.3.4.1.- Preparación de lodo de perforación.

Al iniciar con los trabajos se debe preparar el fluido de perforación, este ayudará principalmente a controlar la temperatura generada debido a la fricción que se produce con la el suelo y la barrena.

El fluido de perforación se crea a base de celulosa, polímeros o cementantes no tóxicos como la bentonita sódica, son utilizados para la estabilización de las paredes del pozo y principalmente para la limpieza del pozo durante la perforación, al ser circular el fluido por el interior del pozo este lleva los residuos de la perforación hacia la superficie por densidad, estos fluidos son recirculados por medio de bombas y son almacenados en las fosas.

1.3.4.2. Selección de la barrena adecuada:

Para la elección de las barrenas, se debe considerar el diámetro mayor y menor que deberá tener el pozo, el volumen del filtro de grava, y todos los rellenos indicados en el proyecto ejecutivo que deberán rellenar el espacio anular.

Existen dos tipos de materiales con cuales son fabricadas de barrenas:

- a) Barrenas de dientes de acero.

b) Barrenas de insertos de carburo de tungsteno.

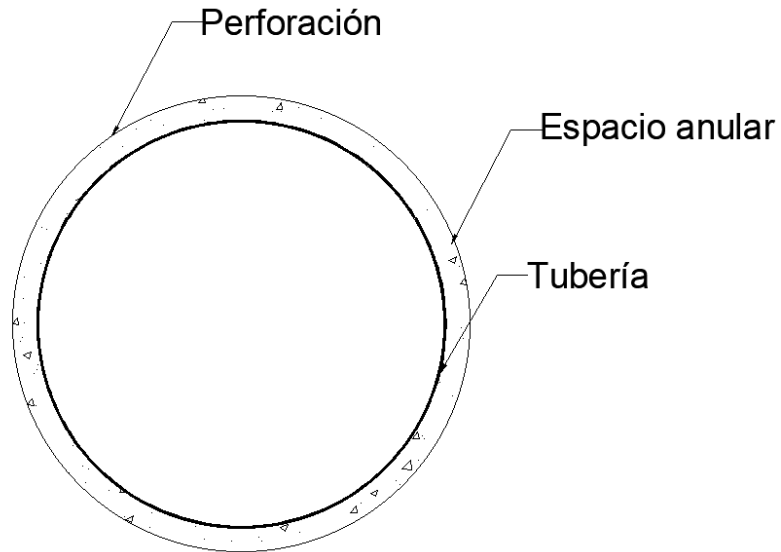
Material	Utilidad
Acero	se utilizan para rocas que en perforación se les conocen como “ suaves ” o “blandas”
Tungsteno	las barrenas de insertos de carburo de tungsteno (TCI por sus siglas en inglés), son utilizadas para cortar las rocas “duras” o “ Semiduras ”

Tabla 1 Material de barrenas. Fuente: Elaboración propia.

Para la correcta elección del material de las barrenas, se debe analizar el tipo de suelo que se va a perforar, ya que, de esto depende la fricción y la temperatura a la cual se expondrá el material de la barrena. Como se mencionó anteriormente el Acero es un material resistente a temperaturas altas, sin embargo, el tungsteno resiste mayores temperaturas, es por eso que se utilizan barrenas de tungsteno para la perforación de suelos duros.

1.3.4.3. Muestreo: El muestreo de la perforación, debe hacerse a cada tres metros de profundidad y deberán ser almacenadas y debidamente clasificadas en bolsas plásticas, las muestras deben contener un rótulo especificando la fecha, hora y profundidad en que se obtuvieron. Se debe almacenar una muestra limpia y la otra sin lavar, deben mantenerse en un sitio con sombra y libre de contaminantes a fin de obtener muestras inalteradas.

1.3.4.4.- Ampliación del pozo para la colocación del contra ademe: Una vez concluida la perforación exploratoria, debe ampliarse la perforación hasta un diámetro ligeramente mayor, comúnmente aumentando de dos a cuatro pulgadas el diámetro de la perforación exploratoria. Al espacio de diámetro entre la perforación exploratoria y la ampliación, se le denomina espacio anular, este espacio es utilizado para introducir la tubería de inyección del concreto y para la colocación del filtro de grava. El contra ademe, es una tubería de acero, se considera como un elemento de seguridad, ya que, ayuda a estabilizar las paredes del interior del pozo.



*Ilustración 2 Diámetros de perforación
Fuente: Elaboración propia*

1.3.4.5.- Selección del ampliador adecuado: Para seleccionar el ampliador, es importante considerar los diámetros comerciales, en algunas ocasiones, los ampliadores se hacen de manera artesanal.



*Ilustración 3 Ampliador con barrena tricónica.
Fuente: Elaboración propia.*

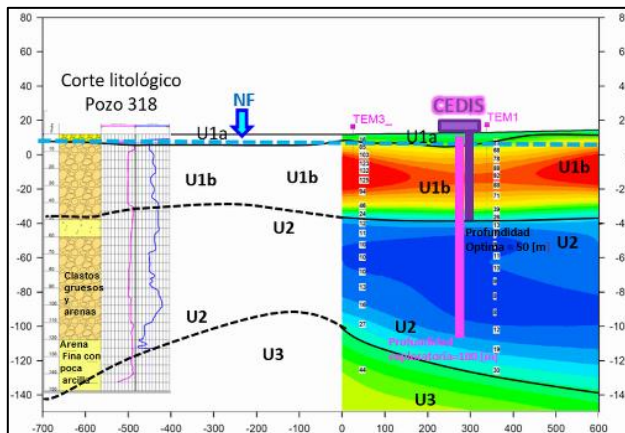
1.4. Registro eléctrico.

Es una prueba que forma parte esencial de la metodología en la perforación de pozos, ya que, juega un papel muy importante al instante en que se debe perforar el suelo. Esta prueba consiste principalmente en obtener la composición del suelo, la cual, nos sirve para determinar o corregir la metodología de a perforación, ya sea cambiando el tipo de material de la barrena, equipo o fluido de perforación.

A continuación, se describe el proceso para la realización del registro eléctrico al interior del pozo.

1.4.1.- Adelgazamiento de lodo de perforación: Consiste en alterar la relación agua bentonita, polímero o cementante empleado como fluido de perforación.

1.4.2.- Registro eléctrico: El registro eléctrico es empleado para determinar las propiedades del perfil geológico, consiste en introducir una sonda en el interior del pozo, esta se compone por sensores que registran las propiedades físicas del material litológico.



*Ilustración 4
Ejemplo del
comportamiento
eléctrico en un corte
litológico.
Fuente: Registro
eléctrico GEOTEM
Ingeniería S.A. de
C.V.*

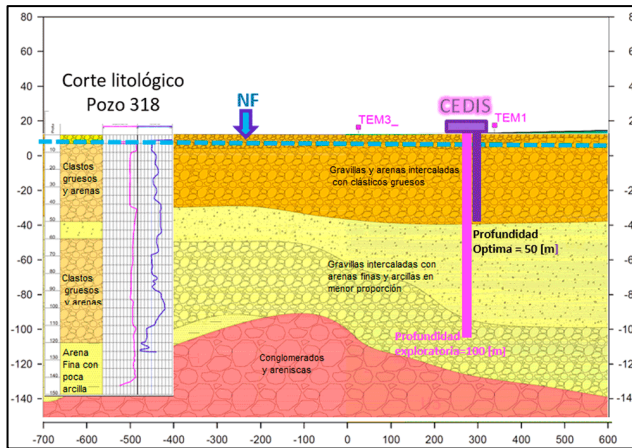


Ilustración 5
Ejemplo del comportamiento eléctrico en un corte litológico.
Fuente: Registro eléctrico GEOTEM Ingeniería S.A. de C.V.

1.5. Clasificación de tuberías.

La clasificación de tuberías es de acuerdo a su función. Para el caso de los pozos, es común emplear tubería lisa en los primeros metros de profundidad para la estabilización de las paredes del pozo, este tipo de tuberías nos garantiza mayor seguridad en la perforación ya que nos reduce el riesgo de colapso de la misma. Las tuberías lisas para estabilidad de las paredes del pozo, deben tener cordón helicoidal en la superficie exterior para aumentar la adherencia de la tubería con el suelo.

La tubería ranurada se coloca en el fondo del pozo, el espacio anular entre la tubería y el suelo debe rellenarse con grava de cuarzo, un material cuyos efectos de erosión sean menores con el paso del tiempo y el cual cumplirá la función de filtro primario de las partículas mayores al diámetro de la grava.

1.5.1. Tipos de tubería.

En la perforación de pozos de agua, las tuberías más comunes son las que se mencionan a continuación:

- **Tubería lisa:**



Ilustración 6 Tubería lisa con cordón helicoidal. Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de tubería es elegida por el diseñador del pozo quien previamente ha considerado factores importantes como el tipo de suelo, acuífero, calidad del agua, costo y eficiencia. La medida estándar para venta es de 6 metros de longitud.

- **Tubería ranurada:**

La tubería ranurada, debe cumplir con las características técnicas del diseñador. Son tuberías con aberturas que permiten el flujo del agua y en conjunto con el filtro de grava funcionan como filtro, la medida estándar para venta es de 6 metros de longitud.



Ilustración 7 Tubería ranurada. Fuente: Elaboración propia.

1.5.2. Colocación del filtro de grava: El filtro de grava se introduce en el espacio anular del interior del pozo y tiene la utilidad de filtrar los sólidos, minerales que se encuentren en el acuífero. El filtro de grava se compone por grava de cuarzo, comúnmente de tamaño de 1/8" a 1/4" de diámetro, debe estar debidamente lavada y cribada.

1.5.3. Lavado y pistoneo del pozo: El lavado del pozo consiste en la limpiar el interior del pozo. La limpieza se lleva a cabo con ayuda de un pistón, al movimiento oscilatorio del pistón se le llama pistoneo, es utilizado para remover todas las partículas del interior del pozo, en

algunas ocasiones se utiliza dispersores de arcillas para eliminar los residuos de la perforación.

1.6.- Prueba de desarrollo y aforo del pozo

1.6.1. Instalación del equipo y prueba de aforo: La prueba de aforo consiste en bombear el agua del interior del pozo para determinar los niveles estáticos y dinámicos del mismo, así como, determinar el rendimiento del pozo.

1.6.2. Desmantelamiento de equipo de perforación: Se refiere al desmantelamiento de elementos y componentes del equipo de perforación empleado, esto incluye, retirar el equipo de perforación del sitio de los trabajos y todos los cables de seguridad incluyendo anclas, postes, barrenas, entre otros.

1.7.- Entrega de la obra.

Al finalizar los trabajos de perforación, se deben retirar las instalaciones e infraestructura temporal, rellenar fosas, retirar materiales sobrantes de construcción, y basura del sitio.

En este proceso se deben retirar las instalaciones provisionales, tales como casetas, bodegas, objetos delimitantes de las zonas de trabajo y toda clase de objetos e instalaciones ajenas al área.

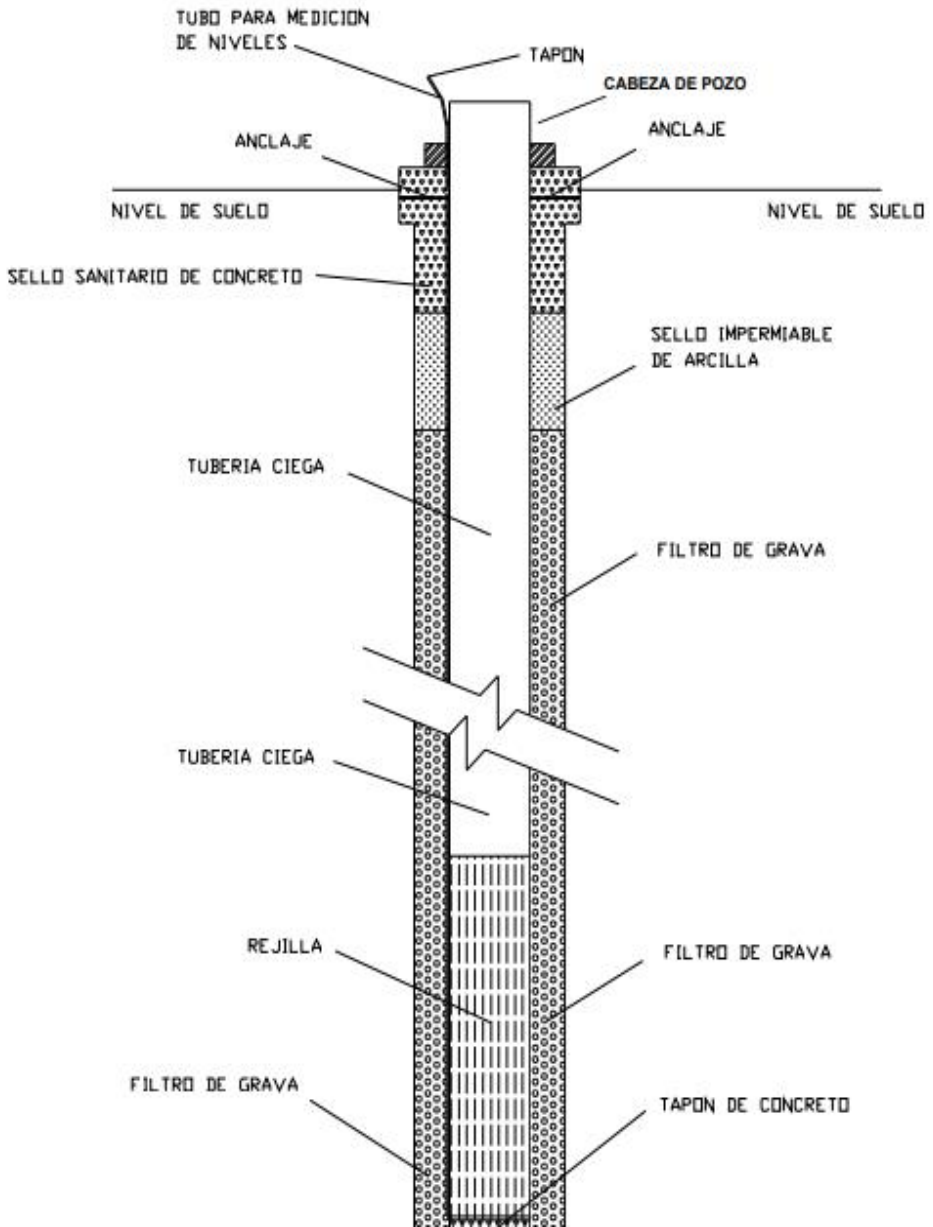


Ilustración 8 Componentes de un pozo terminado. Fuente: NORMA TECNICA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.

CAPÍTULO II. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este capítulo, se describen las especificaciones técnicas en las cuales se basó el proceso constructivo del presente trabajo. A continuación, se describe la ubicación, el objeto, características y dimensiones de la obra a ejecutar.

2.1 Ubicación geográfica

El pozo se ubica actualmente al oriente de la Ciudad de México, tiene las siguientes coordenadas geográficas:

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE POZO	
NORTE	OESTE
19°30'09.6141"	98°57'07.1219"

Tabla 2 Coordenadas geográficas de la obra.
Fuente: Elaboración propia.

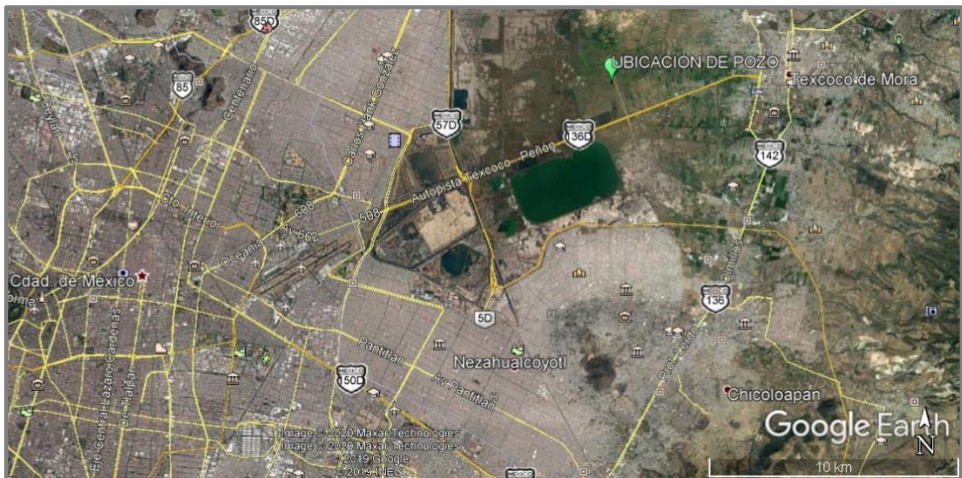


Ilustración 9 Ubicación satelital de la obra. Fuente: Google Earth.

2.2 Objeto de la obra:

Realizar la perforación de un pozo de exploración con fines de extracción de agua para abastecer el Nuevo Aeropuerto Internacional De La Ciudad De México (NAICM).

2.3 Características de la obra

Las principales características que cumple el pozo de extracción de agua y mismas que serán descritas son las siguientes:

Método de perforación:

- Telescópica, consistente en la perforación por etapas (profundidades parciales).
- La perforación telescópica consiste en la perforación por medio de la variación de diámetros, estos diámetros deben variar desde los más pequeños hasta el diámetro elegido por etapa y desarrollo del pozo, los diámetros más comunes de perforación son los siguientes:

Diámetro Nominal de revestimiento		Diámetro de perforación	
Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas
152.4	6	254 - 311.15	10 - 12 ^{1/4}
203.2	8	311.15 - 374.65	12 ^{1/4} - 14 ^{3/4}
254	10	374.65 - 444.5	14 ^{3/4} - 17 ^{1/2}
304.8	12	444.5 - 508	17 ^{1/2} - 20
355.6	14	508 - 584.2	20 - 23
406.4	16	584.2 - 660.4	23 - 26
457.2	18	660.4 - 762	26 - 30
508	20	762 - 863.6	30 - 34

Tabla 3 diámetros de perforación.

Fuente: Norma Técnica para la perforación de pozos profundos en la Administración Nacional de Acueductos Y Alcantarillados.

Profundidad Total:

- 400 metros de profundidad

Profundidad parcial:

- Etapa 1: 0.00 metros - 54.60 metros
- Etapa 2: 54.60 metros - 200.80 metros
- Etapa 3: 200.80 metros - 400.00 metros

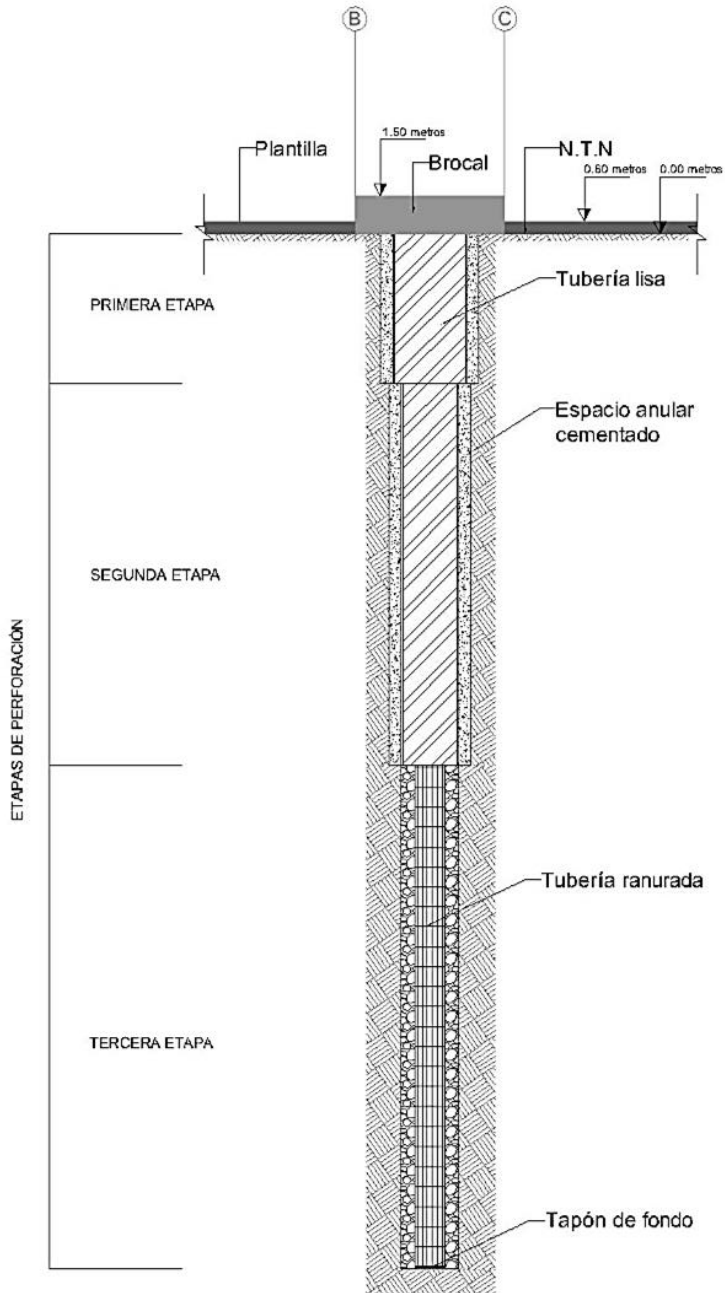


Ilustración 10 Representación de las etapas de perforación
Fuente: Elaboración propia.

Diámetros de perforación:

- 12 ¼", 18 ¾", 28" y 36"

Tubería lisa:

- Diámetro de Tubería contra ademe: 30"x5/16" y 22"x 5/16"
- Longitud de contra - ademe: 54.90 m (30") y 201.30 m (22")

Tubería ranurada:

- Diámetro de ademe: 12" nominal y 5/16" (espesor)
- Longitud de ademe: 203.50 metros, Ranurado.

Filtro de grava:

- Grava de cuarzo debidamente lavada y cribada, de 1/8" a 1/4" de diámetro.
Se usa el cuarzo por su composición química, es sílice y no es soluble. Se requiere para filtrar partículas mayores a ¼

Tapón de fondo:

- Tapón plano, de acero HSLA, en diámetro de 12.75"

Equipo de perforación requerido:

- Gardner Denver modelo 2500 o equivalente, en buenas condiciones de operación y capacidad de perforar los 400 metros de profundidad.

Calidad del agua:

- El muestreo y análisis de la calidad del agua, se realizó conforme a los lineamientos que establece la **NOM-127-SSA1-1994**.

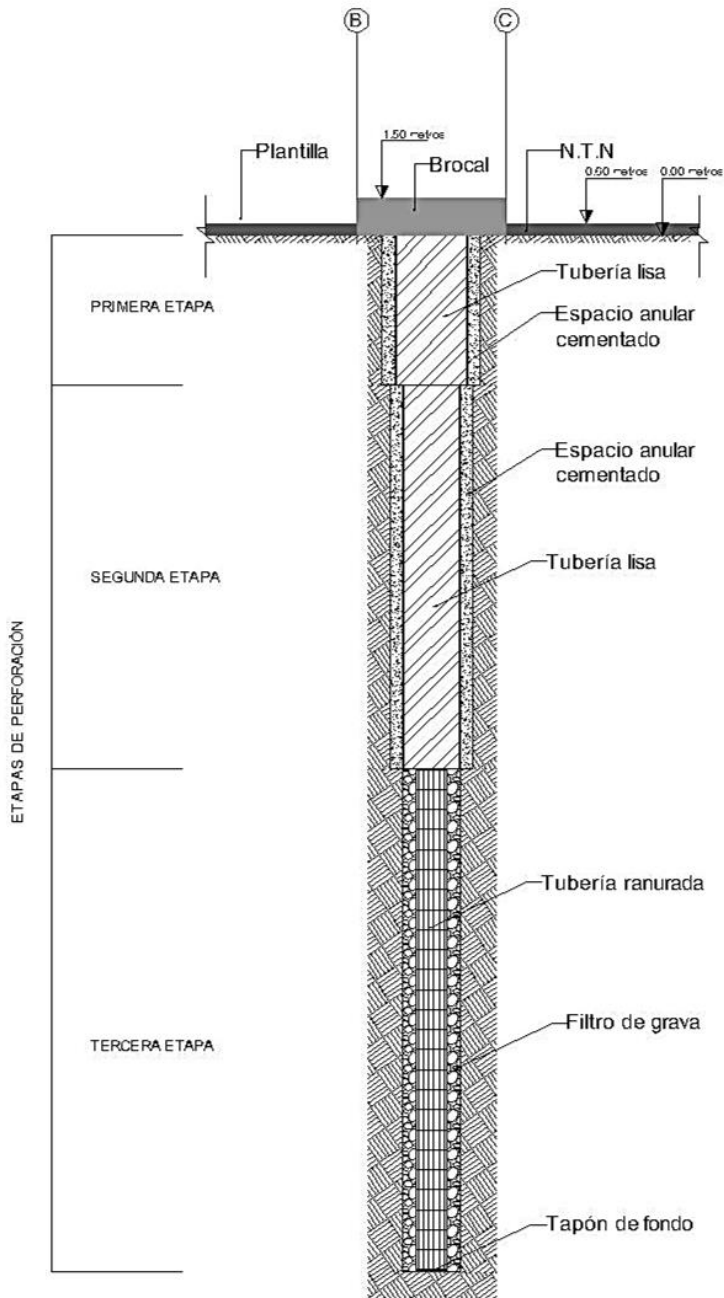


Ilustración 11 Representación de los componentes del pozo
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III. EQUIPOS DE PERFORACIÓN

3.1 Equipo de percusión

La perforación de pozos con sistema de percusión, es una metodología antigua utilizada por los chinos desde tiempo atrás y quizá representa un sistema básico de perforación y del cual se ha tomado como base para el desarrollo de nuevas tecnologías. Esta metodología se basa en el principio de caída libre de una barrena pesada que penetra el suelo por impacto y el recorte es retirado por medio de bombas de arena o en ocasiones por medio de un tubo. Las herramientas son conectadas por medio de cables de acero enrollados en malacates independientes que permiten el control de los mismos.

3.1.1 Componentes del sistema

Los equipos de percusión se componen principalmente por los siguientes sistemas:

EQUIPO DE PERFORACIÓN DE PERCUSIÓN		
SISTEMA	DESCRIPCIÓN	COMPONENTES DEL SISTEMA
Potencia	Se refiere principalmente a la unidad auto transportador del equipo de perforación. En este caso consiste en un motor a Diésel que a su vez mueve el balancín, el cual tiene una polea en su extremo y permite el movimiento oscilatorio de la sarta de perforación.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor a Diésel • Balancín
Elevación	Es el sistema de fuerza del equipo, el cual, se encarga de subir y bajar la sarta de perforación.	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de perforación • Malacates • Grúa Viajera • Trepano • Swivel
Sistema de seguridad	Este tipo de maquinaria utiliza cables de seguridad anclados al suelo y sirven como tensores para mantener la estabilidad del equipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo elefante • Tipo Canguro
Fluido de perforación	El sistema para desplazar el recorte de perforación, consiste en	<ul style="list-style-type: none"> • Cuchara de recorte

	<p>preparar un fluido viscoso y lo suficientemente denso para desplazar los sólidos producto de la perforación, también llamado, recorte de perforación, comúnmente es preparado con bentonita sódica debido a su poca toxicidad. Este Líquido es constantemente vertido en el interior del pozo y nuevamente retirado con una cuchara de recorte, funciona como cementante que ayuda a estabilizar las paredes del pozo.</p>	
--	---	--

Tabla 4 Sistemas componentes del equipo de perforación de percusión.

Fuente: Elaboración propia

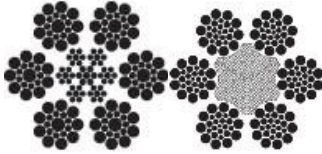
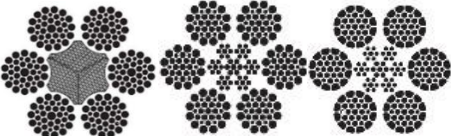
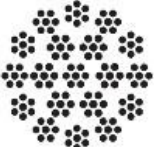
Los cables que requieren los sistemas de potencia elevación y de seguridad, se clasifican de la siguiente manera:

CLASIFICACIÓN DE CABLES			
CARACTERÍSTICA	TIPO DE CABLE	DIÁMETRO	UTILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> a) Acero De Arado b) Flexible c) Resistente A La Abrasión d) Alma De Acero e) Alma De Fibra 	<ul style="list-style-type: none"> • Barracuda • Tonina 	<ul style="list-style-type: none"> • De 3/8" Hasta 2-1/2" 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción
<ul style="list-style-type: none"> a) Acero De Arado: b) Muy Flexible c) Poca Resistencia A La Abrasión d) Alma De Acero 	<ul style="list-style-type: none"> • Superflex • Merluza • Cascabel 	<ul style="list-style-type: none"> • De 5/16" Hasta 2-1/2" • De 3/8" Hasta 2-1/2" • De 2-5/8" Hasta 4-1/2" 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción
<ul style="list-style-type: none"> a) Acero De Arado b) Resistente Al Giro c) Flexible d) Alma De Acero 	<ul style="list-style-type: none"> • Elefante 	<ul style="list-style-type: none"> • De 3/8" Hasta 1 1/2" 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción • Grúas Torre
<ul style="list-style-type: none"> a) Torón Galvanizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Retenida 	<ul style="list-style-type: none"> • De 1/8" Hasta 3/4" 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones de torres,

			antenas, estructuras y líneas transmisoras
a) Cable Preformado b) Alma De Fibra	No • Canguro	• De 1/2" Hasta 1-1/4"	• Se Utiliza Principalmente Para Perforación De Pozos De Agua
a) Acero Galvanizado b) Alma De Acero	• Nuflex	• De 3/8" Hasta 1-1/2"	• Construcción

Tabla 5 Clasificación de cables de acero.

Fuente: Servicables, S.A. de C.V.

NOMBRE/TIPO:	ILUSTRACIÓN DE LA SECCIÓN DEL CABLE
<ul style="list-style-type: none"> • Barracuda • Tonina 	
<ul style="list-style-type: none"> • Superflex • Merluza • Cascabel 	
<ul style="list-style-type: none"> • Elefante 	

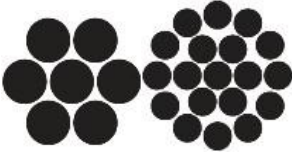
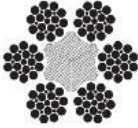
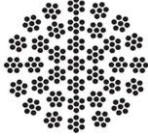
<ul style="list-style-type: none"> • Retenida 	
<ul style="list-style-type: none"> • Canguro 	
<ul style="list-style-type: none"> • Nuflex 	

Tabla 6 Ilustración de tipo de de cables.
Fuente: Servicables, S.A. de C.V.

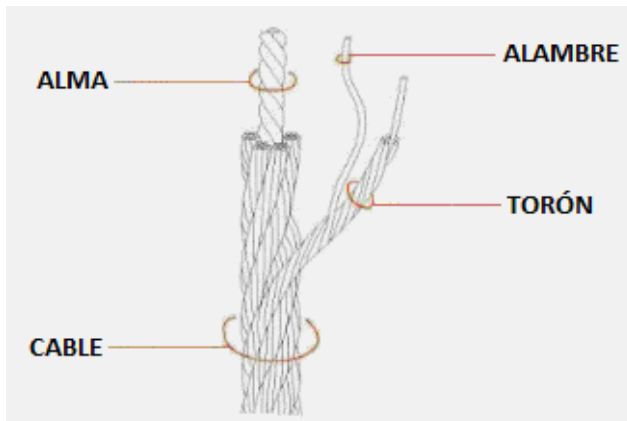


Ilustración 12 Componentes de cable. Fuente: Deacero y Camesa.

Torre o Mástil:

Es la estructura que soporta el peso de las poleas y sarta de perforación, se compone por una estructura metálica que permite distribuir las cargas que se aplican desde las poleas hasta la cimentación.

Balancín:

El balancín es un bastidor metálico que sirve para estabilizar las cargas suspendidas a través de su movimiento oscilatorio.

Malacate:

Es un cabrestante compuesto por un rodillo cilíndrico de acero y tiene la función de soltar el cable de perforación.

Poleas Superiores:

Es el conjunto de poleas que se encuentran en la parte superior de la torre del equipo, su función es mantener el giro estable del cable, además de ejercer el giro relativo a la oscilación de la sarta de perforación.

Grúa Viajera:

Consiste en una grúa independiente de los malacates de la sarta de perforación, es una herramienta que ayuda al izaje de elementos pesados y movimiento de elementos, es usada comúnmente para extraer la cuchara con recorte del interior del pozo.

Cuadro De Llave:

El cuadro de llave es la zona en la cual con ayuda de unas llaves tipo Wilson se aprieta o afloja la sarta de perforación.

Barra De Perforación O Kelly:

Es una barra de acero sólido que forma parte de la sarta de perforación y tiene como función soportar el impacto del trepano.

Swivel:

Es un elemento unión que permite el giro entre la sarta y el cable de acero. Constituye el inicio y la unión del cable y la sarta de perforación.

Trepano o Barreno:

Es una herramienta pesada capaz de penetrar el suelo por medio de un movimiento oscilatorio. La altura de caída del trepano oscila entre los 20 y 60 cm de altura dependiendo de la dureza del suelo.

Cuchara:

Es la herramienta que ayuda a drenar el pozo y re bombear el fluido de perforación, es conocida comúnmente como "cuchara", la cual consiste en un tubo de acero de diámetro y longitud variable, en cuyo extremo inferior cuenta con una válvula plana que al ser introducida en el pozo retiene el recorte en su interior y facilita el drenado. La limpieza con "cuchara" debe ser constante para evitar la acumulación del recorte en el interior del pozo.

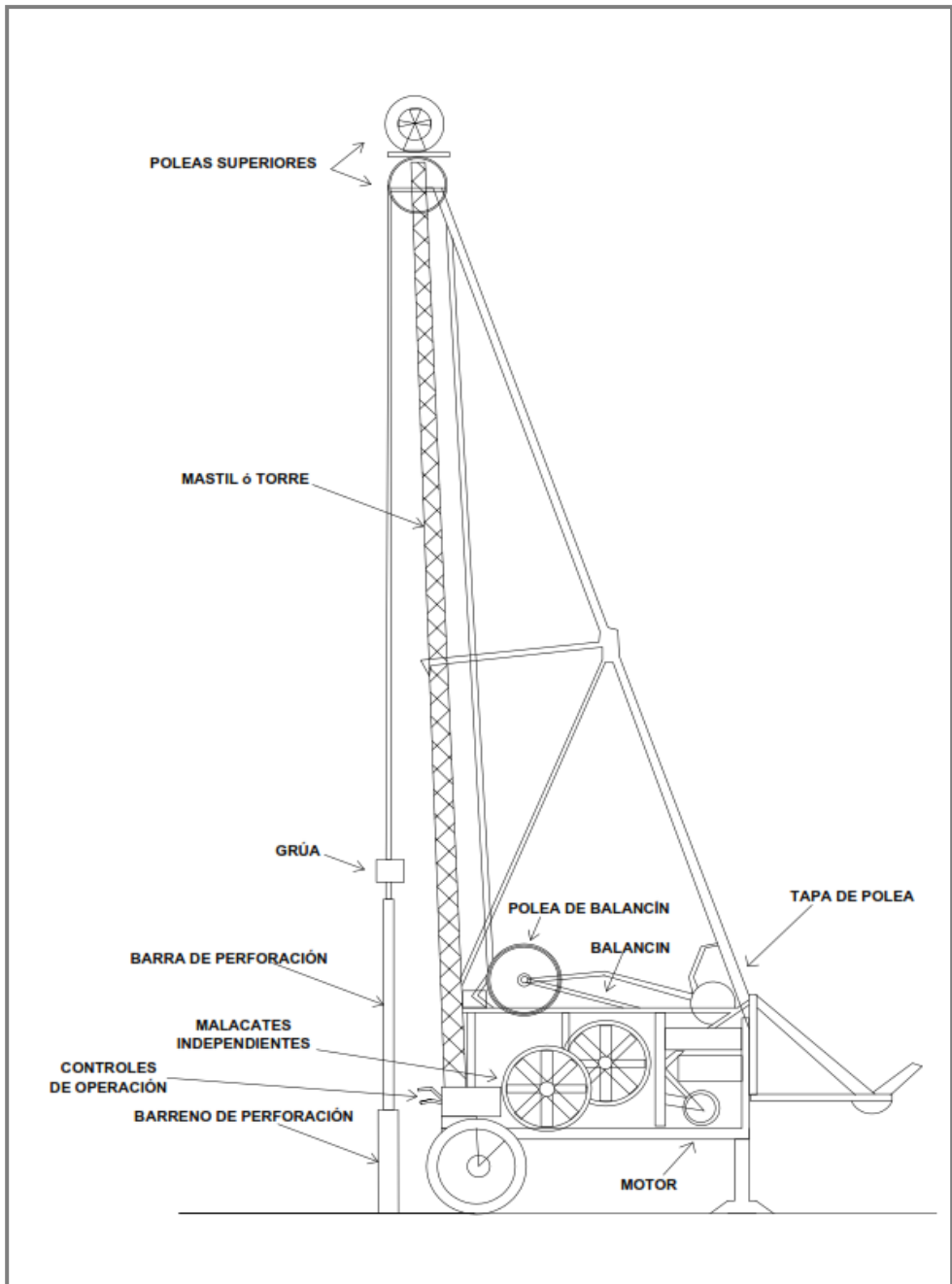
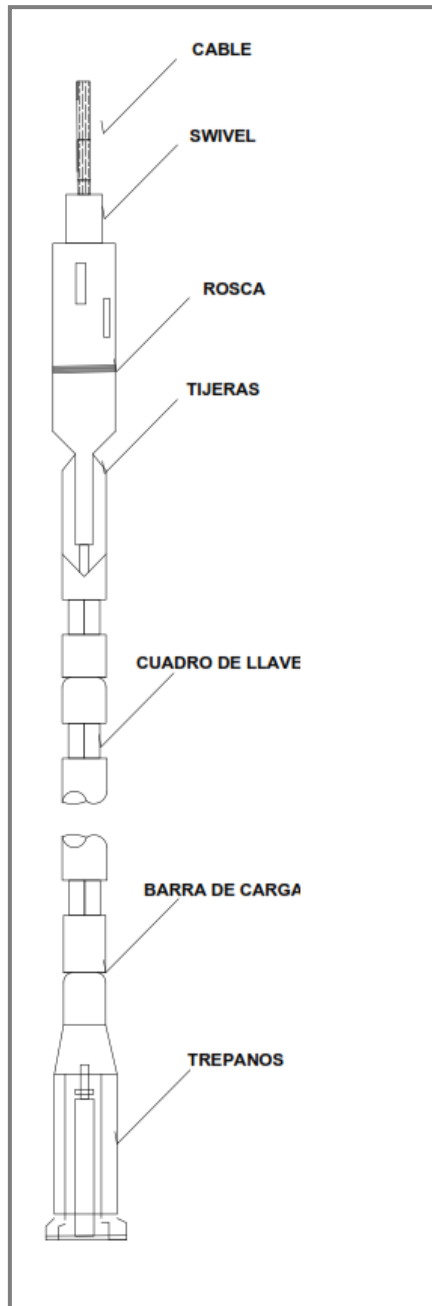


Ilustración 13 Equipo de perforación de tipo percusión.
Fuente: Elaboración propia.



*Ilustración 14 Equipo de percusión. Componentes de la sarta de perforación.
Fuente: Elaboración propia.*

3.1.2 Instalaciones complementarias

Las instalaciones complementarias que se deben realizar al iniciar la perforación con este tipo de sistema (sistema de percusión), debemos tomar en cuenta el almacenamiento del recorte producto de la perforación. Para el almacenamiento del recorte de perforación se deben instalar unas fosas de almacenamiento de recorte, este tipo de fosas son excavadas y según la profundidad del pozo deberá ser la capacidad de almacenamiento de las fosas, la bentonita saliente del pozo es conducida a través de canales que conectan a la fosa de fluido de perforación.

Es importante saber que las fosas de almacenamiento, deben ser tapadas cuando se finalicen los trabajos de perforación y en la entrega al sitio.

La bentonita sódica es arcilla de grano fino y aumenta su volumen al contacto con el agua, funciona como cementante que ayuda a estabilizar las paredes del pozo sin afectar la composición química del agua, por ello, se debe considerar un almacenamiento adecuado para la correcta circulación del fluido.

La eficiencia de los equipos de percusión, varía de acuerdo a las condiciones del suelo; Generalmente estos equipos, mantienen una frecuencia de golpeteo de 40 a 50 impactos por minuto, se consiguen perforaciones de 2 a 4 metros y de 10 a 20 metros por día dependiendo de las condiciones mecánicas del suelo, es decir, si este es muy duro se conseguirán menores rendimientos y por el contrario donde el suelo es blando o frágil los rendimientos incrementan aproximadamente en los rangos mencionados.



*Ilustración 15 Equipo de perforación tipo percusión.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2 Equipo rotario

Los equipos de perforación rotaria, representan la evolución de los equipos de percusión mencionados anteriormente. Estos equipos de perforación rotaria, actualmente son los más utilizados en la perforación de pozos con diversos fines, estos equipos, tiene la ventaja de alcanzar mayor profundidad sin perder la verticalidad.

El sistema rotario en la perforación de pozos, tiene como base la acción de penetrar el suelo con la misma finalidad que con el sistema de percusión; sin embargo, la metodología consiste en hacer rotar el conjunto de elementos que conforman la sarta de perforación a fin de agujerar el suelo mediante la acción rotaria de un trepano.

3.2.1 Componentes del sistema

Los equipos rotarios se componen principalmente por los siguientes sistemas:

EQUIPO DE PERFORACIÓN DE SISTEMA ROTARIO		
SISTEMA	DESCRIPCIÓN	COMPONENTES DEL SISTEMA
Potencia	Se refiere principalmente a la unidad auto transportador del equipo de perforación.	- Motor a Diesel - Camión transportador
Elevación	Es el sistema de fuerza del equipo, el cual, se encarga de subir y bajar la sarta de perforación.	- Torre de perforación - Malacates - Grúa Viajera
Rotación	Este sistema, tiene la función de hacer rotar la sarta de perforación de acuerdo con las necesidades requeridas. Se debe tomar en cuenta que a mayor diámetro de la mesa rotaria, mayor capacidad de torque y a mayor torque, mayor profundidad.	- Mesa Rotaria - Cabezal Rotario (Top head)

Circulación	Debido a las altas fricciones que se expone la sarta al estar perforando el suelo, el sistema de circulación juega un papel muy importante, ya que se encarga de regular la temperatura de la barrena por medio del fluido de perforación. El fluido de perforación, también cumple la función de transportar los sedimentos por densidad. Este sistema se compone principalmente por bombas conectadas a fosas de lodo o fluido de perforación.	<ul style="list-style-type: none"> - Bombas Dúplex - Manguera Viajera - Manguera de Succión
-------------	--	--

Tabla 7 Equipo Rotario. Sistema de perforación.

Fuente: Elaboración propia.

Torre de perforación:

La torre de perforación es una estructura de acero que soporta la sarta de perforación y donde se encuentra instalada la manguera que inyecta el fluido de perforación, llevando todas las cargas hasta la cimentación de apoyo.

Malacates:

Es un conjunto de poleas que se encargan del movimiento oscilatorio de la sarta de perforación, se puede utilizar para elevar o descender la sarta de perforación, son manipulados por el operador del equipo.

Grúa viajera:

La grúa viajera es una polea que sirve como apoyo del operador y cabos para mover piezas, materiales o herramientas de la sarta de perforación.

Mesa rotaria:

La mesa rotaria es el elemento del equipo que hace girar en un sentido la sarta de perforación en un sentido y con revoluciones predeterminadas según el corte y requerimientos de la perforación. Las revoluciones de giro de la mesa rotaria, son controladas por el operador.

Bomba hidráulica:

Es la bomba que se encuentra conectada a las fosas de fluido de perforación, esta tiene una entrada de fluido y una salida, se le denomina manguera viajera al conducto de salida de la bomba.



Ilustración 16 Bomba Dúplex.

Fuente: Elaboración propia.

Manguera viajera:

La manguera viajera, es una manguera que se encuentra en la salida de la bomba, se encarga de inyectar el fluido de perforación almacenado en las fosas y lograr la recirculación, se le llama manguera viajera ya que se puede mover de un lugar a otro a través de una grúa viajera para sus diferentes usos.

Manguera de succión:

La manguera de succión se encuentra conectada a las fosas de fluido de perforación, es una manguera fija y debe estar conectada en lo más profundo de las fosas para evitar el efecto de cavitación en la bomba.

Sarta de perforación:

La sarta de perforación se conforma por barras de acero, Kelly y tubos de perforación, estos tubos de perforación son conectados entre sí para lograr penetrar el suelo de acuerdo a la profundidad. Seguido de

los tubos de perforación, se encuentra la barrena, esta es de material de tungsteno, y es la que se encarga del recorte del suelo.

El material tungsteno es un material lo suficientemente duro para soportar las altas temperaturas de la fricción que produce el corte de material, puede ser roca, arenas, limos, etc.



*Ilustración 17 Brocal tricónico con incrustaciones de metal.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2.2 Instalaciones complementarias

Para la remoción de los fragmentos de perforación, se utiliza un fluido que es continuamente recirculado conforme al avance de la perforación, este tipo de fluido posee la densidad suficiente para desplazar los residuos de la perforación.

El fluido de perforación que se utiliza cuando se emplea el sistema rotativo, son los lodos bentónicos cuya densidad debe ser la adecuada, obteniendo unidades de gramos/centímetro cúbico, la viscosidad en que se medirá en las unidades mencionadas y deberá cuidarse de mantener una viscosidad de los lodos la cual deberá mantenerse entre los 36 a los 50 seg/ API, esta densidad se deberá controlar y mantener constantemente monitoreada con el **embudo de**

Marsh, esta prueba se describe en el capítulo IV. **PROCESO CONSTRUCTIVO, Preparación del fluido de perforación.**

Para lograr que el fluido de perforación de circule por el interior del pozo, es importante considerar la instalación de fosas de fluido y una bomba con la capacidad suficiente para inyectar el fluido de perforación al interior del pozo a fin de lograr la recirculación del mismo.



Ilustración 18 Fosa de fluido de perforación

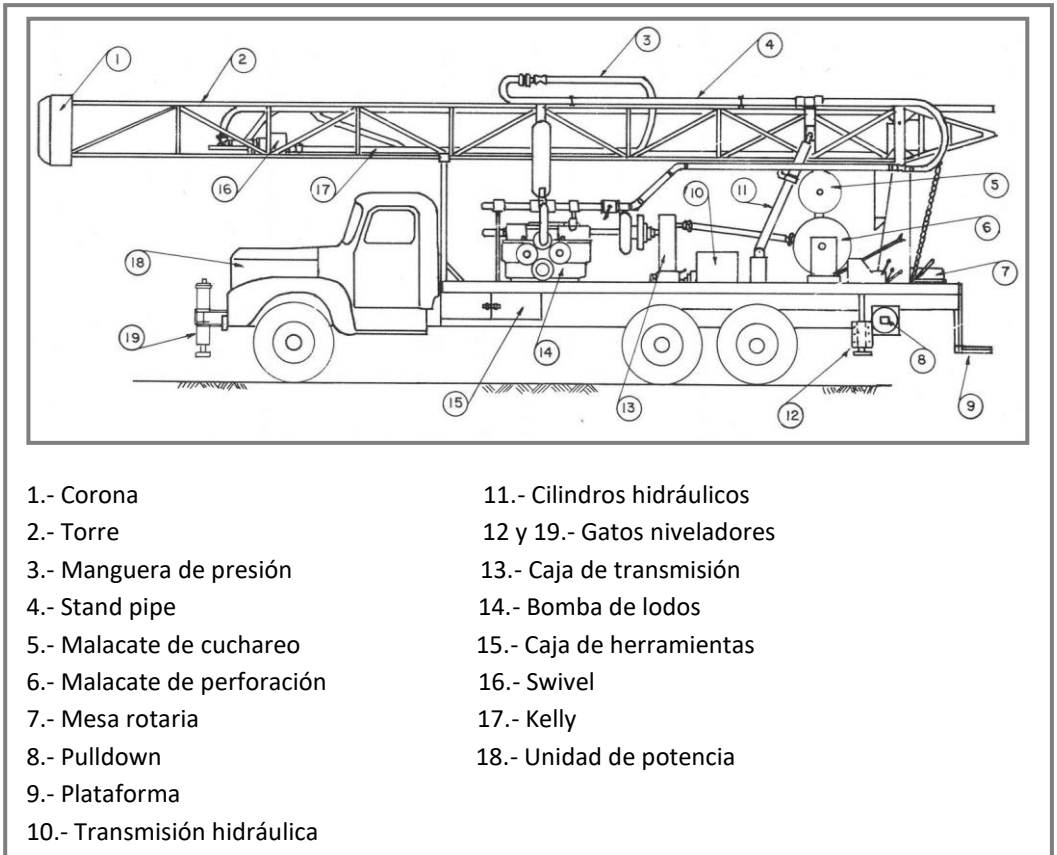
La fosa de lodos son excavaciones que permiten almacenar el recorte de perforación, es decir, al inyectar el fluido de perforación y lograr la recirculación del fluido, se conduce el fluido de perforación por a través de canales o zanjas hacia la fosa de fluido de perforación, el volumen de almacenamiento de las fosas, dependerá de la capacidad de bombeo, inyección, recirculación y profundidad del pozo.

Losa de cimentación, representa uno de los trabajos preliminares a la perforación del pozo, ya que, es una instalación que si bien debe considerarse como temporal, también resulta importante que el cálculo de la cimentación sea adecuado pues servirá como cimentación del equipo rotario, soportará el peso de la maquinaria, así como las vibraciones del equipo, deberá estar completamente nivelada y lista para recibir el equipo de perforación.



Ilustración 19 Preliminar. Losa de cimentación. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el esquema de los principales componentes del equipo rotario.



*Ilustración 20 Componentes del equipo de perforación con sistema rotario.
Fuente: Elaboración propia.*



Ilustración 21 Componentes del equipo de perforación de sistema rotario.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 22 Equipo rotario. Torre de perforación.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la extracción de recorte (producto de la perforación) se utiliza un fluido viscoso, el cual facilita el desplazamiento de los fragmentos del suelo por densidad.

El fluido es recirculado por medio de una bomba a través de la tubería de perforación y es expulsado por las boquillas, haciéndolo recorrer el espacio anular que existe entre la sarta de perforación y la pared del pozo, una vez afuera el fluido pasa a una fosa donde se encuentra conectada la bomba de circulación para que el fluido pueda recircular.

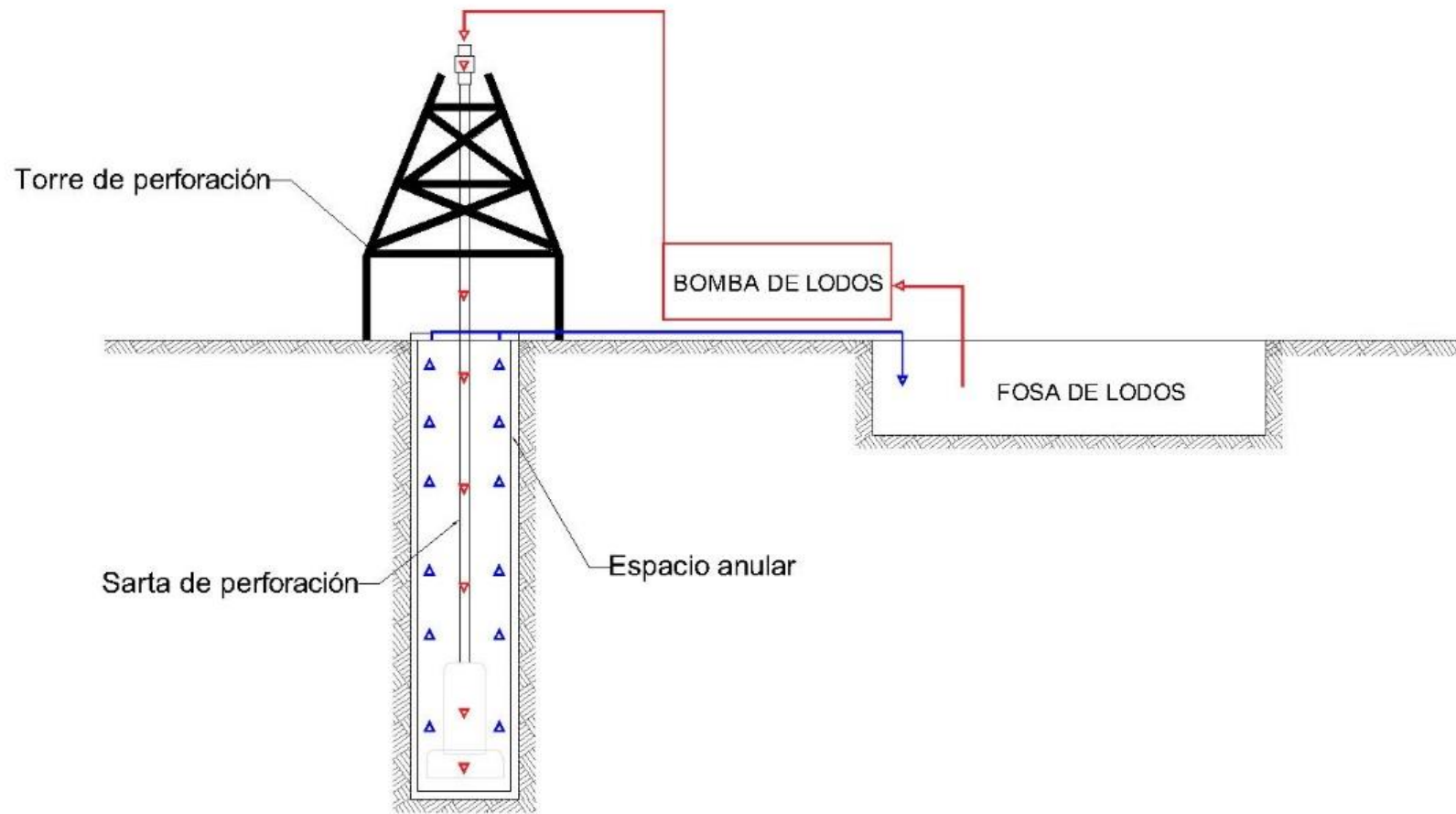


Ilustración 23 Ciclo de fluido de perforación. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV. PROCESO CONSTRUCTIVO

En este capítulo se describirá el proceso constructivo de cada una de las etapas de ejecutadas, las cuales se dividen para fines prácticos en:

- Preliminares
- Proceso de perforación primera etapa
- Proceso de perforación segunda etapa
- Proceso de perforación tercera etapa
- Etapa final de la obra

Es importante mencionar que, para determinar las cantidades de suministros y avances físicos, se tomaron en cuenta los siguientes tipos de suelo:

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS				
TIPO DE SUELO	TIPO	SEDIMENTOS	DIAMETRO	PROFUNDIDAD
Tipo I	Blandos	Limos / Arcillas	< 0.00039 mm	0.00 m – 50 m
Tipo II	Medio	Arenas	2 mm - 0.0625 mm	50 m – 200 m
Tipo III	Gruesos	Gravas	> 2 mm	200 m – 400 m

Tabla 8 Clasificación de suelos.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta cada uno de los conceptos requerido para la ejecución de la obra, también se presentan las cantidades de obra estimadas al inicio de los trabajos.

Núm.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	“TRABAJOS PRELIMINARES” PREPARACIÓN DEL SITIO DE LOS TRABAJOS.		
1.1	TRATAMIENTO DEL TERRENO: NIVELACIÓN E INSTALACIÓN DE LOSA DE CIMENTACIÓN Y CASETA	Losa Caseta	1.00 1.00
1.2	CONSTRUCCION DE PRESAS Y CANALES PARA EL FLUIDO DE PERFORACIÓN	Presa	2.00
1.2	SUMINISTRO Y PREPARACIÓN DE FLUIDO (POLÍMERO)	Kg	200.00
1.3	ADQUISICIÓN Y ACARREO DE AGUA PARA LA PERFORACIÓN	m3	250.00
2	“PROCESO DE PERFORACIÓN PRIMERA ETAPA” PERFORACIÓN EXPLORATORIA, AMPLIACIONES Y CEMENTACIÓN DEL CONDUCTOR HASTA 54.60 M DE PROFUNDIDAD.		
2.1	PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 12 1/4 DE DIÁMETRO, MATERIAL TIPO 1 DE 0 A 100 M DE PROFUNDIDAD	m	54.60
2.2	AMPLIACIÓN DE 12 1/4 A 17 1/2 DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 0 A 100 M DE PROFUNDIDAD	m	54.60
2.3	AMPLIACIÓN DE 17 1/2" A 24" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 0 A 100 M DE PROFUNDIDAD	m	54.60
2.4	AMPLIACIÓN DE 24" A 30" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 0 A 100 M DE PROFUNDIDAD	m	54.60

Proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua

AUTOR: Octavio Valencia Melo

2.5	AMPLIACIÓN DE 30" A 36" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 0 A 100 M DE PROFUNDIDAD	m	54.60
2.6	SUMINISTRO EN OBRA DE 54.9 M (9 TRAMOS) DE TUBERÍA DE ACERO LISA, DE 30" DE DIÁMETRO Y 5/16 " DE ESPESOR	m	54.90
2.7	COLOCACIÓN DE 54.90m (9 TRAMOS) DE TUBERPIA DE ACERO LISA. DE 30" DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR	m	54.90
2.8	CEMENTACIÓN DE ESPACIO ANULAR DEFINIDO ENTRE LA TUBERÍA CONDUCTORA DE 30" Y EL AGUJERO DE 36" DE DIÁMETRO	m ³	15.00
3	“PROCESO DE PERFORACIÓN SEGUNDA ETAPA “ PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 54.60 M A 200.8 M DE PROFUNDIDAD.		
3.1	PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 12 1/4 DE DIÁMETRO, MATERIAL TIPO 1 DE 54.60 A 200.8 M DE PROFUNDIDAD	m	46.20
3.2	REGISTRO ELÉCTRICO CON GRÁFICAS DE RESISTIVIDAD, POTENCIAL NATURAL, TEMPERATURA Y RAYOS GAMMA. DE 54.60 A 200.8 M DE PROFUNDIDAD	Informe	1.00
3.3	AMPLIACIÓN DE 12 1/4" A 17 1/2" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 54.6 A 200.8 M DE PROFUNDIDAD	m	46.20
3.4	AMPLIACIÓN DE 17 1/2" A 22" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 54.6 A 200.8 M DE PROFUNDIDAD	m	46.20
3.5	AMPLIACIÓN DE 22" A 28" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 54.6 A 200.8 M DE PROFUNDIDAD	m	46.20
3.6	SUMINISTRO DE 201.3 METROD DE TUBERÍA LISA DE 22" DE DIÁMETRO Y 5/16" DE ESPESOR	m	201.30
3.6.1	COLOCACIÓN DE 201.3 M DE TUBERPIA DE ACERO LISA. DE 22" DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR	m	201.30
3.7	CEMENTACIÓN DE ESPACIO ANULAR DEFINIDO ENTRE EL ADEME SANITARIO DE 22" Y LA AMPLIACIÓN DE 28" DE DIÁMETRO	m ³	35.00
4	“PROCESO DE PERFORACIÓN TERCERA ETAPA “ PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 200.8 A 402.1 METROS DE PROFUNDIDAD.		
4.1	PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 12 1/4" DE MATERIAL TIPO I DE 200.8 A 400 METROS DE PROFUNDIAD	m	59.20
4.1	PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 12 1/4" DE MATERIAL TIPO II DE 200.8 A 400 METROS DE PROFUNDIAD	m	110.00
4.1	PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE 12 1/4" DE MATERIAL TIPO III DE 200.8 A 400 METROS DE PROFUNDIAD	m	30.00
4.2	REGISTRO ELÉCTRICO CON GRÁFICAS DE RESISTIVIDAD, POTENCIAL NATURAL, TEMPERATURA Y RAYOS GAMMA. DE 200.8 A 400 M DE PROFUNDIDAD	Informe	1.00
4.3	AMPLIACIÓN DE 12 1/4" A 18 3/4" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO I. DE 0 A 200.8 A 400 M DE PROFUNDIDAD	m	59.20
4.3	AMPLIACIÓN DE 12 1/4" A 18 3/4" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO II. DE 0 A 200.8 A 400 M DE PROFUNDIDAD	m	110.00

4.3	AMPLIACIÓN DE 12 1/4" A 18 3/4" DE DIÁMETRO, EN MATERIAL TIPO III. DE 0 A 200.8 A 400 M DE PROFUNDIDAD	m	30.00
4.4.1	SUMINISTRO DE 37 TRAMOS DE 5.5 METROS DE LONGITUD CADA UNO (203.5 METROS) DE TUBERÍA RANURADA DE 12" DE DIÁMETRO NOMINAL, REJILLA FULL FLO CON ABERTURA DE RANURA DE 2.54 MM, DE ACERO HSLA, ASTM A 606 Y 5 1/16 DE ESPESOR	Tubo	37.00
4.4.2	SUMINISTRO DE CENTRADORES DE ACERO HSLA, EN RELACIÓN DE 3 UNIDADES POR CADA 2 M, INICIANDO DESDE EL FONDO DEL POZO	Centrador	24.00
4.4.3	TAPÓN DE FONDO PLANO, DE ACERO HSLA, EN DIÁMETRO DE 12.75"	Tapón	1.00
4.5	COLOCACIÓN DE 203.5 (37 TRAMOS) DE TUBERÍA RANURADA DE 12" DE DIÁMETRO NOMINAL, REJILLA FULL FLO DE ACERO HSLA, ASTM A 606 Y 5/16" DE ESPESOR.	m	203.50
4.6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DEL FILTRO DE GRAVA DE CUARZO, DE 1/8 A 1/4" DE DIÁMETRO. LAVADA Y CRIBADA.	m3	20.00
5	"ETAPA FINAL DE LA OBRA" DESARROLLO Y LIMPIEZA DEL POZO		
5.1	LAVADO DEL POZO.	Lavado	1.00
5.2	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DEL DISPERSOR DEL FLUIDO EN LA ZONA DEL ADEME RANURADO.	Lt	200.00
5.3	TRATAMIENTO MECÁNICO (PISTONEO LIGERO, CON 10" DE DIÁMETRO), EN LA ZONA DEL ADEME RANURADO.	Pistoneo	1.00
5.4	DESARROLLO PARA LA LIMPIEZA DEL POZO.	Hora	48.00
5.5	PRUEBA DE AFORO.	Hora	24.00
5.6	MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO CON LA NOM-127-SSA-1-1994.	Análisis	2.00
5.7	LIMPIEZA DEL ÁREA UTILIZADA PARA LA OBRA. INCLUYE DEMOLICIÓN Y RETIRO, RETIRO DE RECORTE, RESIDUO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN, BASURA, ETC.	m3	143.00

Tabla 9 Conceptos de ejecución.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Trabajos preliminares

4.1.1 Tratamiento del terreno (nivelación e instalación de losa de cimentación y caseta)



Ilustración 24 Vaciado de concreto para losa de cimentación instalada sobre el terreno nivelado.

Fuente: elaboración propia.

La instalación de la losa de cimentación se llevó a cabo inmediatamente después de la nivelación del terreno, se instaló la losa de cimentación de 6x6 metros como preparación al equipo de perforación de sistema rotario.



Ilustración 25 Término de construcción de la losa de cimentación. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Construcción de presas y canales para el fluido de perforación.



Ilustración 26 Excavación preliminar de fosas para fluido de perforación. Fuente: Elaboración propia.

La construcción de las presas y canales, se llevó a cabo con retro excavadora, estas, tuvieron una profundidad de 2.5 metros debido al nivel de aguas freáticas (NAF), el cual se presentó a esa profundidad.

Las dimensiones de largo por ancho fueron de dos metros por dos metros. En el momento de la excavación, se detectó a los 2.5 metros de profundidad, indicios del NAF (Nivel de Aguas Freáticas), por lo que la capacidad de las presas disminuyó por pocas unidades de volumen de agua sin afectar el funcionamiento de la bomba de retorno.

Se logró estabilizar las paredes de las presas mediante concreto lanzado y malla galvanizada previamente anclada en las paredes de las presas.



Ilustración 27 Indicios de la exposición del Nivel de Aguas freáticas. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 22 se muestra el posible nivel de aguas freáticas que se encontró al excavar 2.5 metros de profundidad, además se puede observar el perfil estratigráfico del suelo.

Se construyeron los canales conductores de fluido de perforación, cuyo objetivo es conducir el fluido excedente de la inyección de polímero, este fluido contiene sedimentos producto de la perforación, y es direccionado a la presa para que con ayuda de la bomba se logre recircular el fluido y repetir el ciclo de circulación de fluido.



*Ilustración 28 Canal conductor del fluido de perforación.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 29 Circulación de fluido de perforación.
Fotografía: Propia del autor del presente documento.*

4.1.2 Preparación de fluido de perforación (Polímero)

El fluido de perforación, es un líquido que posee propiedades químicas benéficas, cuando se trata de la perforación de pozos con fines de extracción de agua, el fluido no debe ser tóxico, tal es en este caso, se utilizó un fluido de perforación a base de polímero, el cual, al ser vertido en agua, aumenta

la viscosidad de la misma, permitiendo desplazar el recorte de la perforación por densidad.

La preparación del fluido consiste en mezclar según la clasificación de cada polímero, la relación suficiente de agua / polímero hasta lograr una viscosidad de 35 a 40 segundos según la metodología "Marsh Funnel".

Las pruebas de viscosidad que cumple con la metodología Marsh Funnel, se llevaron a cabo con un viscosímetro del embudo de Marsh, el cual es un instrumento fácil de utilizar en campo y se utiliza para realizar mediciones rápidas in situ de la viscosidad del fluido de perforación, a este tipo de prueba se le llama "**Viscosidad Marsh Funnel**" y es empleada para el control de calidad del fluido de perforación, que para este caso se utilizó para medir la viscosidad del agua utilizando el polímero, el cual aumentó la viscosidad del agua en un rango de 40 a 45 segundos según la Viscosidad Marsh Funnel. La prueba "**Viscosidad Marsh Funnel**" puede realizarse en el campo para evaluar la viscosidad del fluido de perforación o puede utilizarse en un laboratorio de medición de fluidos, los instrumentos de esta prueba son:

- Embudo de Marsh.
- Contenedor de plástico de un litro graduado.

Esta prueba se realiza en cumplimiento de la norma **ASTM 106910**.



Ilustración 30 Instrumentos para la prueba "Viscosidad de Marsh"

La prueba de "**Viscosidad Marsh Funnel**", consiste en medir el tiempo que tarda en salir el fluido del embudo permitiendo obtener una relación de volumen y tiempo, ayudando a clasificar los fluidos de perforación.

Durante este proceso, no se logró la viscosidad requerida, motivo por el cual se necesitó adquirir un polímero que garantizara la viscosidad requerida, la cual debe ser de 40 segundos.

La viscosidad del agua es un proceso que se debe de mantener constante, ya que, para estabilizar las paredes del pozo, es necesario mantener la viscosidad de 40 segundos respecto a la prueba del cono.



Ilustración 31 Adición de polímero.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 32 Medición de pH del agua mezclada con polímero.
Fuente: elaboración propia.



Ilustración 33 Prueba de Viscosidad con Marsh Funnel. Fuente: Elaboración propia.

Proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua

AUTOR: Octavio Valencia Melo

4.2 Proceso de perforación primera etapa

Como se ha mencionado anteriormente, la perforación de manera telescópica, se realiza utilizando diferentes diámetros a diferentes profundidades, es decir, en la primera etapa del proceso constructivo, se ha definido un diámetro máximo de 36", la segunda etapa un diámetro máximo de 28", y finalmente la tercera etapa consiste en lograr un diámetro máximo de 18 ¾".

4.2.1 Perforación exploratoria de 0.00 m a 54.60 m de profundidad



Ilustración 34 Diámetro de perforación primera etapa (Ø12 ¼"). Fuente: Elaboración propia.

La perforación exploratoria del pozo se realizó con equipo de percusión en su primera etapa, el diámetro del trepante que se utilizó fue de 12 ¼". La perforación continuó hasta llegar a los 54.60 metros de profundidad, se estabilizaron las paredes del pozo con bentonita sódica, la bentonita, es un cementante no tóxico que se utiliza para drenar el interior del pozo del recorte producto de la perforación.



Ilustración 35 Extracción de muestras de suelo en los primeros dos metros. Fuente: Elaboración propia.

Se extrajeron muestras de suelo a cada 2 metros de profundidad con la finalidad de elaborar un perfil estratigráfico del suelo.

Las ampliaciones se llevaron a cabo después de concluir la perforación exploratoria, conforme al siguiente orden:

1. Ampliación de 12 ¼" a 17 ½" de Diámetro.
2. Ampliación De 17 1/2" A 24" de Diámetro.
3. Ampliación De 24" A 30" de Diámetro.
4. Finalmente, la última ampliación fue de 30" A 36" de Diámetro.

Al finalizar la perforación de los primeros 54.60 metros con equipo de percusión, se analizaron las muestras de suelo obtenidas y se determinó con métodos de campo que el tipo de suelo fue del tipo I, es decir, se encontró material arcilloso. Por otra parte, se concluyó que el sistema de perforación empleado estaba ocasionando retraso en los trabajos y no se cumplía con el tiempo del programa de ejecución, además, el tipo de material encontrado a los primeros metros de profundidad, ocasionó problemas de atascamiento de la barrena.

Se suministraron 9 tramos de tubería de acero con espiral (contra - ademe), de 30" de diámetro por 5/16" de espesor para colocar y cementar en la primera etapa de perforación.



Ilustración 36 Identificación y clasificación de muestras de suelo en los primeros 54.60 metros.

Fuente elaboración propia.



Ilustración 37 Ingreso de tubería lisa al sitio de los trabajos. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Proceso de perforación segunda etapa

De igual manera que en la primera etapa, se realizó la perforación exploratoria, con diámetro de 12 ¼", sin embargo, debido a la poca eficiencia del equipo de percusión, se decidió cambiar el equipo por uno de sistema rotario para el resto de las etapas.



Ilustración 38 Ingreso de equipo de perforación con sistema rotario.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Perforación exploratoria de 54.60 m a 200.80 m de profundidad

Los equipos de perforación rotaria necesitan un sistema de bombeo según el modelo y capacidad del equipo, para la perforación de este pozo se utilizó un modelo **GARDNER DENVER 3000**, el cual se compone por mesa Rotaria de 18", Malacates de 200,000 lbs, SWIVEL WR Modelo 7WC con una capacidad de carga de 425,000 lbs, estática, por lo tanto, se utilizó una bomba de dos tiempos.



Ilustración 39 Bomba de inyección y retorno de lodos.

Fuente: Elaboración propia.

La bomba que se muestra en la ilustración 40, como se ha explicado en el capítulo III, se conecta por a través la manguera de succión a la fosa de fluido de perforación para inyectar al pozo el fluido y drenar el pozo de manera constante del recorte producto de la perforación.



Ilustración 40 Fosa contenedora de lodo a base de bentonita sódica. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 41 Fosa contenedora de fluido a base de polímero. Fuente: Elaboración propia.

Una vez instalado el equipo de perforación con sistema rotario, se inició nuevamente la perforación exploratoria con barreno de 12 ¼" de diámetro partiendo de los 54.60 metros y hasta los 200.80 metros de profundidad. El proceso de perforación se realizó de manera similar a la primera etapa, se inició con un diámetro de 12 ¼" y se finalizó con un diámetro de 28" de diámetro.

El avance físico con este tipo de maquinaria fue de 10 a 15 metros por jornada de trabajo.



Ilustración 42 Colocación de barrena tricónica.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 43 Retorno de fluido de perforación.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Registro eléctrico



Ilustración 44 Equipo con cable de acero para registro eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

El registro eléctrico consiste en el monitoreo de perfiles geológicos través de impulsos eléctricos que nos permite identificar algunas de las propiedades del perfil geológico a diferentes profundidades.

Al finalizar los trabajos de perforación, se realizó el registro eléctrico y se generaron las siguientes gráficas:

- Gráficas de resistividad:
Permite conocer la resistividad eléctrica de las paredes del pozo que no han sido alteradas durante la perforación. Es importante conocer las gráficas para entender el tipo de material por el cual se está atravesando y estimar sus propiedades físicas.
- Gráficas de potencial natural:
El potencial natural, son gráficas que describen el comportamiento de las corrientes eléctricas naturales generadas por cambios electroquímicos o electro cinéticos.

- Registro de rayos gamma y temperatura:

Mide del nivel de rayos gamma y temperatura que por naturaleza se encuentran en el material, es decir, cuando sea el caso de arcillas y carbón, las gráficas nos indicarán alta radiación de rayos gamma, sin embargo, una baja radiación será se podrá encontrar en materiales como los carbonatos. Nos permite conocer e, espesor del estrato, cambios litológicos y tipos de vulcanismo.

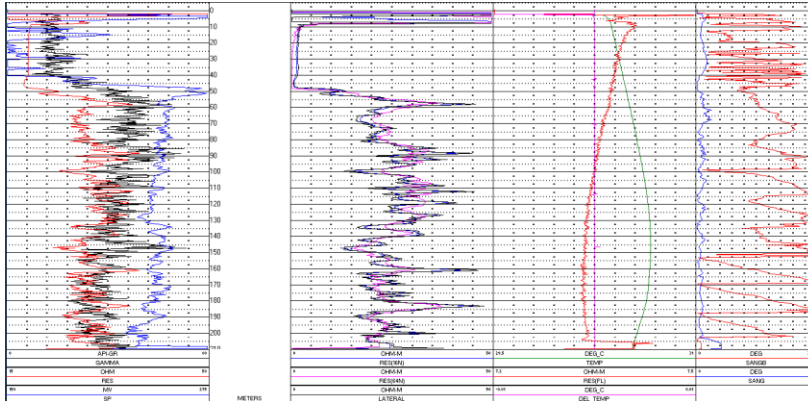


Ilustración 45 Gráficas resultantes de registro eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Suministro y colocación de 201.3 metros de tubería de 22" de diámetro

Se suministraron y colocaron 201.3 metros de tubería lisa de 22" de diámetro y 5/16" de espesor, en tramos de 10 metros de longitud, colocaron soldados y debidamente nivelados cada tramo de tubería, posteriormente, se inyectó el concreto en el espacio anular, el cual quedó definido por diferencia existente entre el diámetro de la tubería y el diámetro máximo de la ampliación (28" - 22")



Ilustración 46 Izaje de tubería lisa. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 47 Acoplamiento de tubería lisa. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 48 Unión de tubería lisa con soldadura de filete. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 49 Expulsión de fluido de perforación.
Fuente: Elaboración propia.

El proceso de inyección y circulación del fluido de perforación en el interior del pozo, se observa en la ilustración 19. En la ilustración siguiente se observa el retorno del fluido de perforación, el cual es expulsado del interior del pozo como consecuencia de la inyección.

Las muestras de suelo que se obtuvieron de la perforación en la segunda etapa, después de ser analizadas con pruebas de campo, se determinó material tipo I de 54.60 metros hasta los 200.80 metros de profundidad.



Ilustración 50 Muestras de suelo debidamente lavadas y clasificadas de acuerdo con la profundidad de extracción.
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 51 Muestra de suelo a los 200 metros de profundidad. La muestra presentada no es para análisis de campo, pero es representativa para observar el tipo de material (arenas).
Fuente: Elaboración propia.

A partir de los 200 metros de profundidad, se extrajeron muestras de suelo y se determinó material tipo II. En la imagen 48 se observa el tipo de material a los 200 metros de profundidad.

4.4 Proceso de perforación tercera etapa

En esta última etapa, aproximadamente a los 210 metros de profundidad, se observó que el fluido de perforación redujo considerablemente la viscosidad debido al rompimiento de la capa impermeable delimitante del acuífero. La perforación continuó con la metodología del proceso constructivo de las etapas anteriores.

4.4.1 Perforación exploratoria de 200.80 m a 400.00 m de profundidad



La perforación se llevó a cabo mediante barrena de diámetro 12 ¼" en su etapa exploratoria, posteriormente se con el ampliador, se logró un diámetro de 18 ¾", ambas perforaciones se iniciaron desde los 200.80 metros hasta los 400.00 metros de profundidad, tal como lo establecen las especificaciones técnicas.

*Ilustración 52 Adecuación de barrena.
Fuente: Elaboración propia.*

Se suministraron los 37 tramos de 5.5 metros de longitud, dando un total de 203.5 metros de tubería ranurada de 12" de diámetro nominal, rejilla FULL FLO con abertura de ranura de 2.54 mm, de acero HSLA, ASTM A 606 y 5 1/16 de espesor.



Ilustración 53 Suministro de tubería ranurada. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 54 Colocación de tubería ranurada.

Fuente: Elaboración propia.

Se instaló a la tubería ranurada centradores de acero HSLA, cumpliendo con una relación de 3 centradores por cada dos metros, iniciando desde el fondo del pozo, adicionalmente, se instaló el tapón de fondo en la tubería final.



Ilustración 55 Tapón de fondo. Fuente: Elaboración propia.

Al final de la última tubería por colocar, se instaló el tapón de fondo, el cual marca el límite de la profundidad del pozo y sirve para separar el fondo de la tubería del pozo con el material de fondo y así evitar filtraciones.

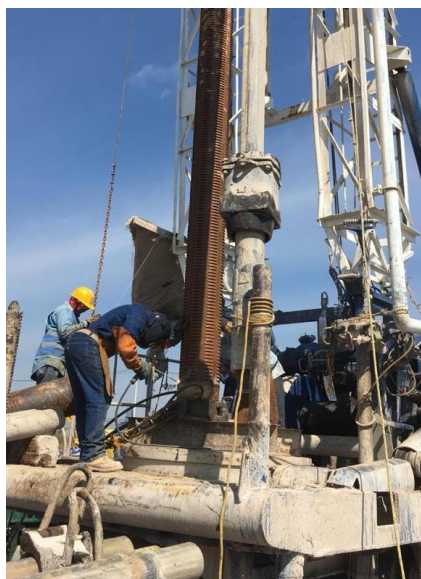


Ilustración 56 Colocación de tubería ranurada. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 57 Aplicación de soldadura en tubería ranurada. Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Colocación de grava de cuarzo

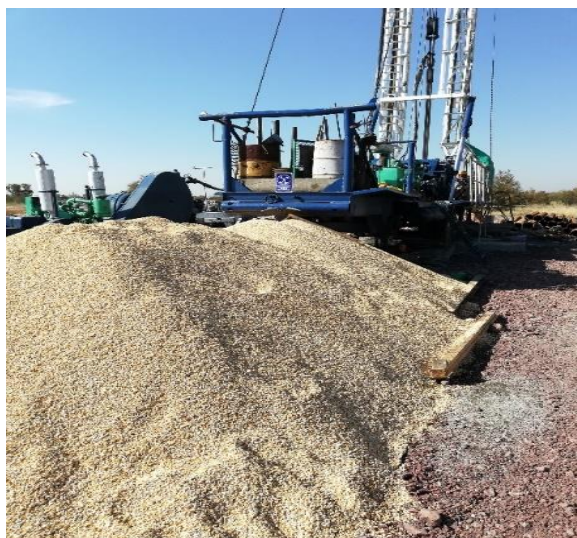


Ilustración 58 Suministro de grava de cuarzo. Fuente: Elaboración propia.

La grava de cuarzo que se suministró y colocó en el espacio anular de entre la perforación y la tubería ranurada, de manera lenta y constante para evitar puentes.

La grava tiene la finalidad de cumplir con el objetivo de un filtro, es decir, retener aquellas partículas sólidas que se puedan encontrar en el acuífero, es por eso que, se debe cumplir con una compactación adecuada.



*Ilustración 59 Colocación de grava de cuarzo.
Fuente: Elaboración propia.*

4.5 Etapa final de la obra

4.5.1 Lavado del pozo

Este proceso consistió en la limpieza gruesa del interior del pozo, en esta etapa, se retiran los desechos sólidos, fluido de perforación, y otros materiales ajenos a los especificados mediante la constante circulación de agua limpia.

El procedimiento para la limpieza del pozo consiste en inyectar agua limpia y hacerla circular hasta que el agua de retorno satisfaga las condiciones de la norma NOM-127-SSA1-1194.

4.5.2 Aplicación del dispersor de arcillas



Ilustración 60 Dispersor de arcillas.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, y después de la limpieza del pozo, se agregó el dispersor de arcillas, este es un químico no tóxico, es vertido y agitado en el interior del pozo y cumple con el objetivo de limpiar todas las zonas permeables del pozo para obtener un mejor desempeño del mismo.

4.5.3 Tratamiento mecánico



Ilustración 61 Pistón con punta de neopreno.
Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento mecánico, se realiza mediante la oscilación de un pistón, en este caso de diámetro de 10" en la zona de la tubería ranurada.

Consistió en un movimiento oscilatorio en el interior del pozo para remover las arcillas y sólidos contaminantes que se encuentren en el interior del pozo, es una herramienta que complementa la aplicación del dispersor de arcillas.

4.5.4 Prueba de aforo

La prueba de aforo, consiste en determinar la capacidad de producción del pozo, se bombea el agua del interior del pozo durante 72 horas como mínimo, en la salida se instala un dispositivo de medición de caudal (flujómetro), se analizan las variaciones de caudal y se elabora una gráfica caudal contra tiempo y se especifican los niveles dinámicos y estáticos del pozo en operación. Esta prueba es de gran utilidad para seleccionar el tipo de sistema de bombeo que se necesitará para una correcta explotación del pozo.



Ilustración 62 Inicio de prueba de aforo. Fuente: Elaboración propia.

4.5.5 Muestreo y análisis de la calidad del agua de acuerdo con la nom-127-ssa1-1994

El muestreo y análisis de la calidad del agua, se llevó a cabo conforme a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1194. Se verificó el cumplimiento de los límites permisibles según la norma para determinar el tipo de agua y en su caso el grado de tratamiento recomendado.

La *tabla 10* muestra el contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, según la NOM-127-SSA1-1194.

CARACTERITICA	LÌMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml
Organismos coliformes fecales	2 UFC/100 ml
Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.	

Tabla 10 Límites permisibles de organismos coliformes. Fuente: NOM-127-SSA1-1194.

La *tabla 11* muestra los límites permisibles de las características físicas y organolépticas, según la NOM-127-SSA1-1194.

TABLA 2	
CARACTERISTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o se equivalente en otro método.
<p>4.3 Límites permisibles de características químicas.</p> <p>El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites de expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.</p>	

Tabla 11 Características físicas. Fuente: NOM-127-SSA1-1194.

La *tabla 12* muestra los límites permisibles del contenido de constituyentes químicos, medido en mg/l, según la NOM-127-SSA1-1194.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2 - 1.5
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.050
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (Potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 - 8.5
Plaguicidas en microgramos / l : Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 -D	50.00
Plomo	0.0250
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos	0.50
Zinc	5.00
Los límites permisibles de metales de refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.	

Tabla 12 Límites permisibles de constituyentes químicos. Fuente: NOM-127-SSA1-1194.

4.5.6 Limpieza del sitio de los trabajos

Como parte del cierre de los trabajos y entrega de la obra, se realizó la el retiro de instalaciones provisionales (casetas, sanitarios, anclas, etc.), además, se rellenaron las fosas de lodos con el material de excavación original y se retiró toda la maquinaria del sitio.

Los trabajos de gabinete, supervisión, costos, datos de laboratorio, y resultados, fueron entregados al finalizar los trabajos de obra.

CAPITULO V CONCLUSIONES

Las conclusiones que se presentan en este capítulo se mencionarán de la siguiente manera:

- a) Agrietamiento del suelo.
- b) Riesgo geológico.
- c) Seguridad e Higiene en el trabajo.
- d) Avance de los trabajos.

Las conclusiones antes mencionadas surgen a partir de la observación de los trabajos y de la investigación de fuentes varias del INSTITUTO DE INGENIERÍA de la UNAM. Con el objetivo de orientar, prever y corregir las técnicas de perforación de pozos con fines de extracción de agua, se concluye lo siguiente:

A) Agrietamiento en el sitio.

Si bien se ha mencionado que en el territorio político de la ciudad de México existen diversos tipos de suelo según se menciona en el reglamento de construcciones del Distrito federal, estas zonas, se dividen como:

- a) Zona 1
- b) Zona 2
- c) Zona 3

En el ex lago de Texcoco, durante la ejecución de los trabajos de perforación, se observaron grietas semi verticales, discontinuas y con abertura, tipo de relleno y profundidad variable.

Al observarse las grietas, fue alarmante para el perforista y personal, ya que, existía la probabilidad incierta de que el pozo pudiera colapsar, sin embargo, en 1958 se realizó un levantamiento de las grietas en la zona del lago de Texcoco, donde se construyó el pozo de extracción de agua para abastecer el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. En esta zona se observaron las principales familias de agrietamiento, las cuales se describen como:

- *Grietas conjugadas paralelas a los caminos N60-80E
- *Pares conjugados de grietas con dirección N30-10W
- *Grietas radiales
- *Tangenciales alrededor de los cerros
- * Grietas con orientación aleatoria

Por lo tanto, se concluye que, la presencia de familias de grietas es común en la zona debido a la generación de esfuerzos de tensión en el suelo asociados con la construcción del pozo. El comportamiento de las grietas es variado debido al efecto de la erosión inducida por las lluvias, esto puede ocasionar cambios de geometría y colapsos de las mismas, es decir, en épocas de secas, las grietas tienden a desaparecer por los efectos mencionados y en tiempo de lluvias, estas re aparecen.

Proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua

AUTOR: Octavio Valencia Melo

La presencia de grietas en el suelo a perforar, es un factor medio ambiental que no se puede dejar pasar al momento de realizar la metodología de ejecución, ya que se pone en riesgo la calidad de los trabajos de perforación y puede afectar la integridad del personal en sitio.

B) Riesgo Geológico:

En el suelo de perforación del pozo se encontraron a los pocos metros de profundidad (50 metros aprox.), coladas de suelo arenoso, con lo cual, al ser este un material cuya cohesión entre partículas es menor al de las arcillas, ocasionó constantes derrumbes y amenaza de colapso del pozo. La solución a los derrumbes de material en el interior de pozo, se solucionaron con la introducción de un ademe de tubería lisa con diámetro nominal de 22", después se introdujo la tubería de 17 1/4" y se cementó el espacio anular para estabilizar la perforación. Además, se optó por sustituir la metodología de perforación, se retiró el equipo de percusión y se sustituyó por la de rotación.

En la perforación de pozos de agua, es importante considerar los riesgos geológicos, seguir el procedimiento indicado por las pruebas geológicas, geofísicas del proyecto ejecutivo y recomendaciones adicionales de los estudios previos del sitio.

Como se ha mencionado en este trabajo, la litología del suelo es variable y es un aspecto fundamental a considerar al momento de elegir el tipo de sistema de perforación (Rotario o Percusión).

Las altas vibraciones que genera el equipo de percusión, es un factor importante a considerar según el tipo de suelo, es decir, si es un suelo con un grado de cohesión alto, se podrá utilizar el equipo de percusión y rotario, sin embargo, si el suelo está conformado principalmente por arenas o gravas, se recomienda utilizar el equipo rotario, ya que produce un menor número de vibraciones durante la perforación.

El avance físico-financiero de la obra, depende en gran medida de la correcta elección del equipo de perforación.

C) Seguridad E Higiene:

Durante la ejecución de los trabajos, como se ha mencionado anteriormente, es importante considerar dentro del presupuesto y de la metodología el equipo de protección personal, seguridad de las áreas de riesgo como son, barandales, señalización, ruta de evacuación, inspección rutinaria de la maquinaria, estado de cables de tensión, poleas, niveles de consumibles del equipo de perforación y cualquier prospecto de riesgo durante la jornada de trabajo.

Los ajustes de la maquinaria deben ser monitoreados constantemente a fin de mantenerla en óptimo estado operativo, con lo que se podrá garantizar el cumplimiento satisfactorio de los tiempos de ejecución según la planeación.

Mantener el equipo de perforación en óptimas condiciones, ayuda a mantener un control del presupuesto planeado para tal obra.

En la planeación y ejecución de los trabajos, se debe tomar en cuenta los lineamientos marcados en las leyes, normas oficiales y reglamentos que indican los lineamientos a seguir para la ejecución de ciertos trabajos. Los lineamientos nos ayudan a mantener el orden y evitar accidentes en los trabajadores, visitas y residentes obra.

Para mantener el orden en la perforación de un pozo, es conveniente considerar como mínimo las siguientes zonas de trabajo:

Zona caliente: Es la zona destinada para soldar, calentar y modificar las piezas de la sarta de perforación.

Zona de almacén: Se instaló una bodega para almacenar los materiales propios de la perforación.

Zona de recepción (Caseta): En esta zona se instaló una caseta de vigilancia, y la oficina de campo, donde se tenía el control de los avances, bitácora, y trabajos relacionados con el encargado de la obra, además, sirve como recepción para la residencia en caso de requerir información de los trabajos.

Zona de alto riesgo (área de perforación): Es el lugar donde se instaló el equipo de perforación, seguido de un patio de maniobras, donde se almacenan los tubos de perforación a emplear.

Zona de fosa de lodos (Área de recorte): Esta zona es complementaria de la zona de perforación, donde se instaló la bomba de retorno de lodos y se ubicaron las fosas.

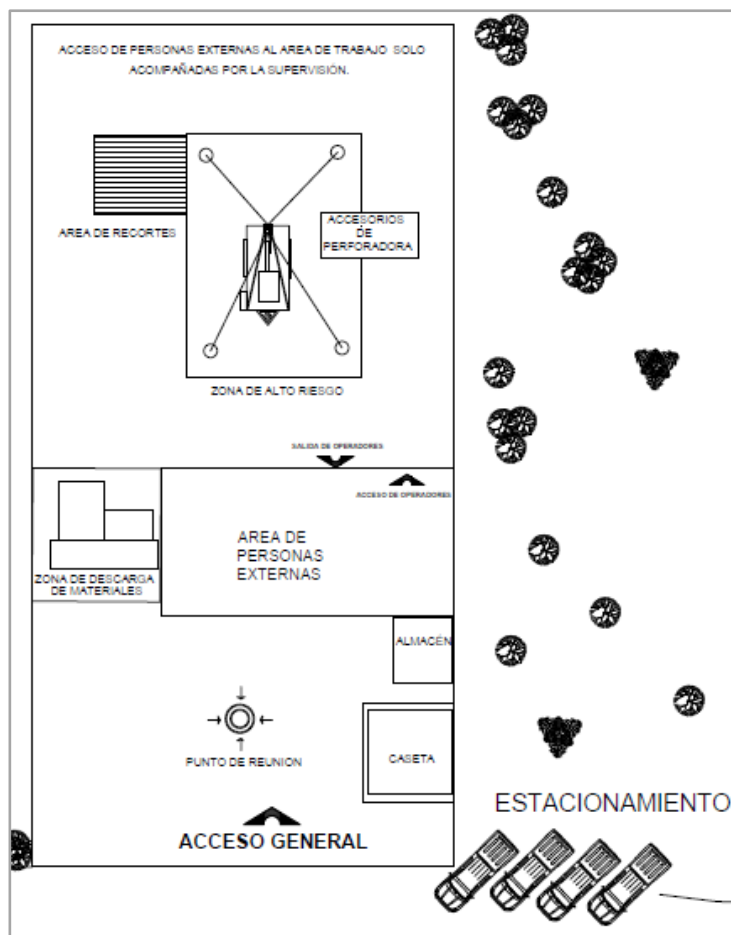


Ilustración 63 Croquis de la distribución de zonas en el sitio de los trabajos.
Fuente: Elaboración propia.

Las zonas mencionadas anteriormente, deben contar con señalización adecuada en caso de cualquier emergencia como incendio, sismo, tormenta eléctrica, entre otros.

En caso de tormenta eléctrica y lluvia, los trabajos de perforación deben suspenderse con el fin de evitar accidentes, además es importante contar con instalación a tierra para evitar descargas eléctricas repentinas.

Considerar en la planeación y ejecución de los trabajos el punto de Seguridad e Higiene, es importante, ya que de ello depende el avance físico y calidad de los trabajos.

D) Avance físico-Financiero.

El avance físico financiero de los trabajos depende en gran medida de la planeación, organización, control y monitoreo de los trabajos en campo. Como se mencionó en conclusiones anteriores, la elección del sistema de perforación a emplear es importante, ya que de ello depende la velocidad, eficacia de los trabajos y por consiguiente, el avance físico financiero.

El sistema de percusión tiene la desventaja de emitir vibraciones en el suelo bastante altas que produjeron socavones en las paredes del interior del pozo, atascamiento de las barrenas y deficiencia en la verticalidad.

El sistema rotario tiene la ventaja de emitir menores vibraciones y resulta más fácil mantener la verticalidad del pozo, además de ser un equipo más veloz.

A continuación, se muestra una comparativa gráfica del avance físico comparado con el avance proyectado.



Ilustración 64 Comparativa de avance físico Proyectado y Real ejecutado.
Fuente: Sistema de control de avance SCOOP.

Finalmente, el desarrollo de la construcción del pozo se cumplió con éxito según los objetivos de la licitación, se verificó la calidad del agua y se determinó su funcionalidad para abastecer el Nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal, ampliar el panorama técnico, práctico y teórico del proceso constructivo de un pozo con fines de extracción de agua, es decir, se mostraron las etapas y procesos mínimamente necesarios para la correcta construcción de un pozo con fines de extracción de agua para abastecer al Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

De acuerdo con los objetivos principales de la presente tesis, se mostraron los procedimientos constructivos para un pozo con fines de extracción de agua, se identificaron las principales problemáticas y soluciones técnicas en la obra según el tipo de suelo y uso del sistema de extracción, considerando siempre las condiciones ambientales para su máximo aprovechamiento.

Los objetivos planteados al inicio del presente trabajo se han orientado al desarrollo del tema presentado, brindando al lector una serie de temas relacionados con la práctica y la teoría para la construcción de un pozo con fines de extracción de agua, obra en la que participé como auxiliar de la residencia en lado tierra en la empresa GRUPO AEROPORTUARIO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comisión Nacional del Agua. (2007). MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO. En PERFORACIÓN DE POZOS (340). Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ing. José Salvador Salinas Telésforo. Fuentes de abastecimiento. 2018, de Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil y Geomática.
- UBICACIÓN Y SUPERFICIE DEL PREDIO O CONJUNTO DE PREDIOS Y DELIMITACIÓN DE LA PORCIÓN EN DONDE SE PRETENDA REALIZAR EL CAMBIO DE USO DEL SUELO A TRAVÉS DE PLANOS GEOREFERENCIADOS. Junio 2018, de Aeropuertos y Servicios Auxiliares. "Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México".
- Díaz, Emmanuel, 2009, Contaminación del aire por partículas emitidas por erosión eólica. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México, D.F. C.P. 04510 y 2 Instituto de Geología, UNAM. México, D.F. C.P. 04510
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. Sistema Integral de información Taxonómica, México Información.http://siit.conabio.gob.mx/pls/itisca/taxaget?p_ifx=itismx&p_lan g=es
- DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROLÓGICO FORESTAL DONDE SE UBICA EL PREDIO. 2018, de Aeropuertos y Servicios Auxiliares. "Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México".
- Luis Arnal Simón, Max Betancourt Suárez. (2005). Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. México, (D.F.): Trillas.
- Anónimo. (2005). CONSTRUCCIÓN DE POZO PARA EXTRACCIÓN DE POZO DE AGUA #2. 2019, de SIGNA S.A. DE C.V. Sitio web: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/estudios/2005/15EM2005HD014.pdf>
- AGUAYO HERNÁNDEZ MIGUEL ÁNGEL. HIPÓLITO RAMÍREZ FRANCISCO. (2006). ESTUDIO GEOHIDROLOGICO, LICITACIÓN, CONTRATACIÓN Y PERFORACIÓN DEL POZO PROFUNDO PARA ABASTECER DE AGUA POTABLE A LAS LOCALIDADES DE TEZONTEPEC Y EL PICACHO, MUNICIPIO DE OCUILAN; ESTADO DE MÉXICO. 2019, de INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA UNIDAD TICOMAN Sitio web: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/16965/1/Estudio%20geohidrol%C3%B3gico%20licitaci%C3%B3n%20contrataci%C3%B3n%20y%20perforaci%C3%B3n%20del%20pozo%20profundo%20para%20abastecer%20de%20agua%20potable%20a%20las%20localidades%20de%20Tezontepec%20y%20el%20Picacho%2>

C%20Municipio%20de%20Ocuilan%3B%20Estado%20de%20M%20C%20A9xico.pdf

- YEPES, V. (2014). Maquinaria para sondeos y perforaciones. Junio, 2020, de Apuntes de la Universidad Politécnica de Valencia Sitio web: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/05/15/perforacion-a-percusion-con-cable/>
- Anónimo. (2009). NORMA TECNICA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. 2019, de GERENCIA TÉCNICA, DEPARTAMENTO DE NORMAS TÉCNICAS Sitio web: <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/perf-pozos.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2003). Guías para la calidad del agua potable. 2019, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lo wsres.pdf
- Víctor Yepes Piqueras. (2004). Maquinaria para sondeos y perforaciones. 2019, de Apuntes de la Universitat Politècnica de València Sitio web: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/05/15/perforacion-a-percusion-con-cable/>
- Daniel Córdoba. (2013). barrenas y su selección. 2019, Sitio web: <https://es.slideshare.net/patocu93/06-barrenas-y-su-seleccin>
- Kevin Vasquez Bautista, . (2017). Sistema rotario. 2019, Sitio web: https://www.slideshare.net/pendertuga_vasquez/sistema-rotario
- PERMEX. 2019, de PERFORACIÓN DE POZOS Y EXPLORACIÓN Sitio web: <http://www.permex.com.mx/html/equipo.html>
- Servicables S.A. de C.V. CABLES DE ACERO. 2019, de Servicables S.A. de C.V. Sitio web: <http://servicables.com.mx/?sec=cables-acero>
- Geotem Ingeniería S.A. de C.V. REGISTRO GEOFÍSICO DE POZOS. 2019, de Geotem Ingeniería S.A. de C.V. Sitio web: <http://www.geotem.com.mx/registro.php>