



Construcción mecánica y equipamiento de piezómetros de poca profundidad para el monitoreo de agua subterránea

Instituto de Geología

Autores

José Luis Lezama Campos

Eric Morales Casique

Blanca Lucía Prado Pano

Noviembre 2024



“Construcción mecánica y equipamiento de piezómetros de poca profundidad para el monitoreo de agua subterránea”, José Luis Lezama Campos, Eric Morales Casique, Blanca Lucía Prado Pano. D. R., ©, 2024, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Creative Commons Atribución, No comercial Código Legal: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.es>, (CC-BY-NC).

Este manual tiene como objetivo que el o los estudiantes cuenten con los elementos necesarios para la construcción de piezómetros de poca profundidad utilizando equipo mecánico.

Se agradece al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica. DGAPA PAPIIT. Clave IV200122 AELT – Efectos de cambio global y climático sobre limnología y biodiversidad acuática.

Contenido

1. OBJETIVO DIDÁCTICO	4
2. INTRODUCCIÓN	4
2. METODOLOGÍA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	6
2.1. Equipo Mecánico	7
2.2. Proceso constructivo	18
2.2.1. Revisión de seguridad.	18
2.2.2. Preparación del sitio	19
2.2.3. Colocación de motores, bombas y tubería	20
2.2.4. Preparación de mesa y cuñas	22
2.3. Preparación de fluidos	22
2.4. Seguridad	24
2.5. Perforación	24
2.6. Lubricación	24
2.7. Terminación	24
3. EQUIPAMIENTO	26
3.1. Retiro del equipo de perforación	26
3.2. Hincado de la tubería	27
3.3. Revestimiento	29
3.4. Limpieza	30
4. TERMINACIÓN	31
Referencias	35

1. OBJETIVO DIDÁCTICO

Que el alumnado tenga un manual de referencia sobre la metodología general para la construcción de piezómetros de poca profundidad utilizando equipo mecánico, haciendo énfasis en las condiciones mínimas necesarias para realizar la actividad de manera completa.

2. INTRODUCCIÓN

El monitoreo del nivel freático (Figura 1) es muy importante ya que tiene diversas aplicaciones, especialmente para la agricultura, en la exploración de agua subterránea y en estudios ambientales. Para el monitoreo se puede utilizar infraestructura existente, como pozos, norias y piezómetros. El piezómetro, a diferencia de los pozos (que también se utilizan para bombeo), es una instalación práctica, que permite realizar mediciones y coleccionar muestras de agua subterráneas de manera permanente, sin interferir con el comportamiento natural del acuífero, ni contaminarlo, además de ser de más fácil construcción y con un menor costo.

Un **piezómetro** es un tubo insertado en el terreno, que permite determinar la presión de un fluido en una determinada capa de suelo o formación rocosa (a través de la altura de la columna de fluido dentro del piezómetro). Los piezómetros tienen dos propósitos básicos:

- Toma de muestras de agua de manera directa.
- Medición y monitoreo del nivel freático o el nivel piezométrico.

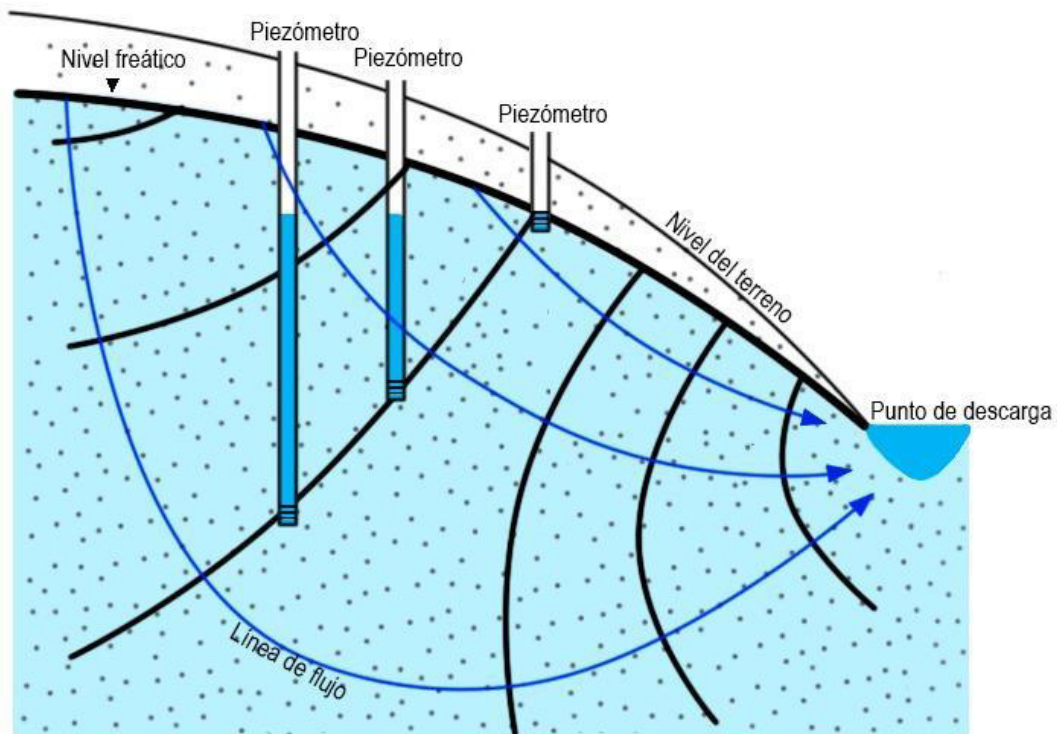


Figura 1. Sección del comportamiento del nivel freático observado por una batería de piezómetros.

Los piezómetros permiten conocer el nivel del agua a lo largo del tiempo, además de permitir extraer muestras de agua y realizar en ellas diversas mediciones de parámetros tanto in situ (conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH,) como en el laboratorio (elementos mayores, menores etc.). Ello, permite comparar semejanzas y diferencias en las propiedades del agua superficial y subterránea (Lee y Cherry 1978) y determinar el comportamiento del sistema en estudio.

En la Figura 2 se muestra el diseño básico de un piezómetro (Gallupe Támara, J. L. 2018).

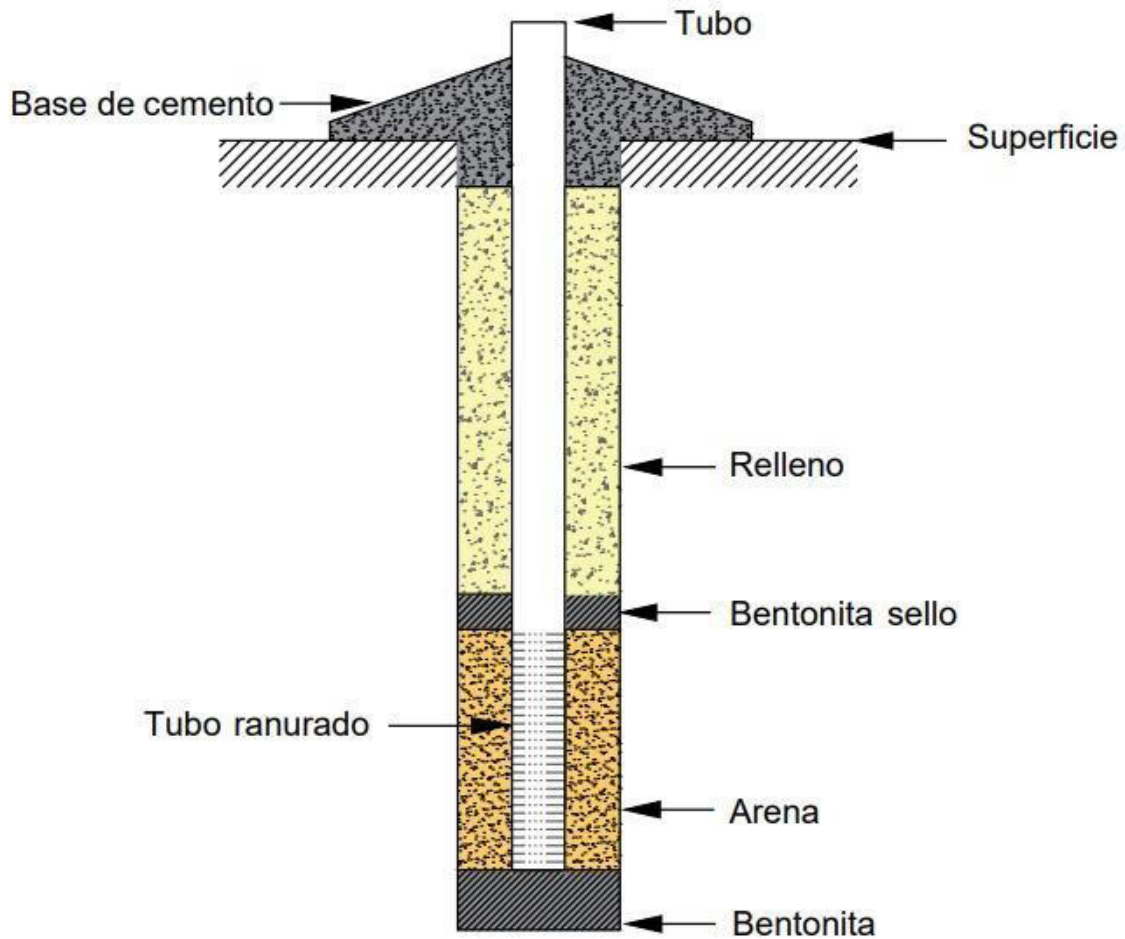


Figura 2. Diseño típico de un piezómetro.

Este documento pretende introducir los conceptos básicos y la metodología necesaria para la construcción y equipamiento de piezómetros de corta profundidad (menor a 10 metros de profundidad), con equipo mecánico para el monitoreo de agua subterránea.

2. METODOLOGÍA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para la construcción de piezómetros con equipo de perforación se requiere contar con el equipo mecánico, diferentes materiales de construcción y herramientas de trabajo diversas, además del personal capacitado. En este apartado, se enlistan las características mínimas del equipo, junto con el material necesario y herramientas más importantes.

2.1. Equipo Mecánico

Para la perforación mecánica, es necesario un equipo de perforación, cuyas características dependerán del objetivo y características del piezómetro, además del método de perforación (percusión o rotativo, etc.). Para piezómetros someros de no más de 10 m, en formaciones no consolidadas, se recomienda utilizar equipo de perforación portátil de tipo rotativo. Las partes o componentes principales se describen a continuación.

a) **Mástil con base.** Se considera como el elemento principal de soporte. Sobrelleva el peso de la tubería de perforación y del motor rotativo. Sobre su estructura se efectúan los movimientos de ascenso y descenso para realizar la perforación.

En la Figura 3, se muestra el montaje en campo de un mástil con su respectiva base de un equipo de perforación portátil.



Figura 3. Ensamble del soporte y el mástil en campo.

b) **Malacate.** El malacate, también conocido como cabrestante o *winche*, es un dispositivo con un cable de acero enrollado alrededor de un tambor y se usa para elevar o bajar el equipo. Para el equipo de perforación que se ilustra, se utiliza un malacate accionado por un motor eléctrico, por su practicidad y facilidad de operación (Figura 4), aunque el dispositivo también puede ser de acción mecánica.



Figura 4. Malacate eléctrico instalado en el soporte del equipo.

c) **Motor de perforación y motobomba de fluidos.** El motor para perforación es un motor de gasolina o diésel, cuya potencia puede variar; para equipos portátiles, la potencia puede variar entre los 5 a 20 hp, de acuerdo al tipo de equipo. En la Figura 5 se muestra un motor de 15.3 hp marca Hyundai de 4 tiempos con cigüeñal de cuña. Sus principales características se presentan en la Tabla 1. En la Figura 6 se muestra el motor ya montado en el mástil, junto con el malacate.



Figura 5. Izquierda, ejemplo de un motor para bombeo, derecha, ejemplo de un motor a gasolina para perforación.

Tabla 1. Ejemplo de una descripción de un motor utilizado en perforación de agujeros poco profundos.

	<i>Características</i>
Marca	HYUNDAI
Potencia	15.3 hp/8.5 kw
Tipo	Gasolina
Arranque	Manual
Capacidad Tanque De Combustible	6.5 Litros
Características de flecha	Flecha cuñero de 1"
Cilindrada	420 cc
Dimensiones	51 x 49 x 43 cm
Motor	4 tiempos
Peso (kilogramos)	32.5
Rpm	3600
Torque Máximo	25 N-m



Figura 6. Motor de perforación montado sobre el mástil y el malacate conectado.

La motobomba es una bomba de alta presión que puede ser eléctrica o a gasolina. Su principal función, es la de bombear fluido de perforación (preparado de agua y bentonita) al interior del pozo, para lubricar la barrena, dar estabilidad al agujero mientras dure la perforación y permitir el acarreo de los recortes de la perforación hacia la superficie. En la Figura 7 y 8 se muestra una motobomba previo a su funcionamiento.



Figura 7. Ejemplo de una Motobomba de la marca Antarix previa a su instalación.



Figura 8. Mantenimiento de la Motobomba previo a la perforación de un pozo para la instalación de un piezómetro.

d) **Planta eléctrica.** La planta eléctrica o generador tiene como principal función suministrar energía eléctrica a algunos componentes no mecánicos del equipo de perforación (al malacate y a la bomba de fluidos), así como auxiliar para iluminación, en caso de que sea necesario trabajar de forma nocturna. En la Figura 9 se muestra un ejemplo de una planta siendo abastecida de combustible previo el inicio de la perforación.



Figura 9. Planta eléctrica utilizada para la perforación.

e) Tubería de perforación.

El equipo debe estar acompañado por lingadas o secciones de tubería de perforación (Figura 10) de entre 0.9 a 1.50 m de largo. Su principal función es la de transmitir el movimiento del motor de perforación a la barrena que realiza movimientos circulares que permiten el avance y así, profundizar en el agujero. Al final de cada lingada se encuentra una rosca (Figura 11), que sirve para conectar la siguiente lingada de tubería.

f) **Barrena.** La barrena es una barra de acero, con extremos cortantes, utilizada para realizar agujeros o permitir el avance de sondas y barriles. Existen una gran variedad de tipos de barrenas, utilizadas en diferentes procesos e industrias (minería, petróleo, hidrología, geotermia, etc.). Para la perforación de los pozos poco profundos, donde se hincarían piezómetros en suelos blandos o terrígenos, se utilizan barrenas triangulares (de tres muescas), para perforar y remover los primeros metros de suelo (Figura 12).



Figura 10. Lingadas o secciones de la tubería de perforación



Figura 11. Rosca al final de cada tramo



Figura 12. Barrena instalada en el equipo para iniciar la perforación.

Además del equipo de perforación para realizar el agujero, se necesitan herramientas y materiales para la construcción del piezómetro. A continuación, se enlistan los más importantes:

- Tubería (Figura 13a). Puede ser de PVC o metálica. La tubería es el cuerpo principal del piezómetro. En general, se recomienda utilizar tubería de PVC de cédula 40, debido al bajo costo y la flexibilidad del material, sin embargo, para agujeros profundos o inestables, se recomienda utilizar tubería metálica de acero al carbón. La cantidad y el diámetro del tubo dependerá de las características y profundidad del piezómetro. Se recomienda utilizar tubos de entre 2 y 6 pulgadas de diámetro.
- Palas y picos (Figura 13b). Parte de las herramientas básicas, utilizado para preparar el sitio, eliminar obstáculos y cavar zanjas para la instalación y preparación del lodo de perforación.
- Nucleadoras (Figura 13c). Se utilizan con frecuencia para preparar el agujero en suelos inestables, y ayuda a la barrena a abrirse paso durante los primeros centímetros del agujero. Además, servirán como contra ademe al finalizar el proceso constructivo.
- Manguera (Figura 13d). Tiene como objetivo principal bombear el lodo de perforación a la tubería durante la perforación. También será auxiliar en el drenaje del lodo hacia fuera del agujero.
- Cemento (Figura 13e). Utilizado durante la terminación del pozo. Se colocará alrededor del pozo una vez hincada la tubería, con lo que se le dará estabilidad al pozo y no permitirá el flujo de fluido hacia el intervalo de medición.
- Bidones de agua (Figura 14a). Se utilizará principalmente para preparar el lodo de perforación y el cemento. Es una parte esencial durante la construcción del agujero.
- Red pescadora (Figura 14b). Servirá como filtro de los fluidos utilizados.
- Sacos de grava. La grava utilizada es de tipo sílica, especial para la construcción de pozos. Esta servirá para formar un filtro alrededor de la tubería y facilitar el paso del agua hacia el interior del piezómetro. También se mezclará con el cemento para dar mayor rigidez a la cementación.
- Herramientas varias (pinzas, seguetas o serrucho, limas, marro, cintas, marcadores, flexómetro). Son indispensables antes, durante y después de terminar la construcción de cada piezómetro.
- Bentonita (Figura 15). Arcilla bentónica formada esencialmente por minerales del grupo de la esmectita. Es una arcilla con una amplia variedad de usos. Se expande cuando se moja y absorbe varias veces su peso seco en agua y puede aumentar hasta

12 veces su volumen. Durante la perforación tiene tres objetivos: lubricar la barrena, dar estabilidad al agujero durante la perforación y, finalmente, atrapar los sedimentos y fragmentos de roca producidos durante la perforación y acarrearlos a superficie.

- Dispersor de arcillas (Figura 15). Utilizado principalmente al finalizar el proceso constructivo. Su objetivo es flocular las arcillas y así evitar que estas obstruyan las ranuras del piezómetro. En otras palabras, ayudan a limpiar el agujero de las arcillas que se adhieren durante la perforación (enjarre) y las arcillas que se encuentran de forma natural en el suelo y formaciones perforadas.



Figura 13 Material necesario para la construcción de piezómetros A) Tubería de PVC de 2 pulgada de 1.5 m de largo, B) Palas y picos, C) Nucleadoras, D) Manguera, E) Cemento.



Figura 14. Material necesario para la construcción de piezómetros. A) Bidones de agua, B) Red pescadora, C) Sacos de grava.



Figura 15. Saco de bentonita.



Figura 16. Dispensador de arcillas.

A continuación, se describe el proceso constructivo general de un piezómetro, los procesos más esenciales y la metodología a seguir.

2.2. Proceso constructivo

2.2.1. Revisión de seguridad.

El primer procedimiento a realizar es la preparación del mástil y el soporte, el cual debe ser evaluado en búsqueda de desperfectos o fallas en la estructura (Figura 17). Este paso es primordial para garantizar las condiciones de seguridad antes de iniciar cualquier trabajo de perforación a cualquier escala. Una vez verificado el estado del mástil, este puede ser armado y montado



Figura 17. Verificación de seguridad del mástil.



Figura 18. Armado del mástil, base y malacate.

2.2.2. Preparación del sitio

Previo al montaje del equipo de perforación, el sitio elegido debe prepararse, eliminando fragmentos de roca y aplanando el sitio donde se colocará la perforadora (Figura 19). El lugar debe ser estable, para evitar vibraciones, además de no encontrarse húmedo o estar sujeto a hundimientos o socavación (Figura 19). Este

aspecto puede ser uno de los principales criterios para decidir sobre la ubicación local de un piezómetro. En algunos casos, si es requerido, se puede hacer uso de la nucleadora para conocer el estado de los primeros metros de suelo donde se realizará la perforación.



Figura 19. Preparación del sitio, previo a al montaje del equipo de perforación.

2.2.3. Colocación de motores, bombas y tubería

Una vez revisado el equipo y preparado el sitio, se debe levantar el mástil junto con la base. El mástil no debe pandearse ni presentar flanqueos. Posteriormente se procede a montar el motor para la perforación, realizando las conexiones correspondientes con el malacate, y lubricando los rieles del mástil por donde deslizará el motor. Se debe ajustar el portabrocas del motor a la tubería de perforación y posteriormente la barrena, hasta obtener un arreglo como el que se muestra en la Figura 20. El orden de cada conexión será particular de cada equipo de perforación, por lo que se deberán seguir las indicaciones del fabricante.

d) Montaje de conexiones, bomba y planta de luz. Posterior a la preparación del equipo involucrado en la perforación, se realizan las conexiones pertinentes relacionadas con la alimentación de electricidad del malacate y la preparación del sistema de bombeo del fluido de perforación (Figura 21). Se debe hacer una verificación detallada de cada conexión, para evitar corto circuitos (para el caso de la planta luz), o una salida a presión de agua para el caso de la bomba de fluidos cuyos extremos deben estar dirigidos al agujero de perforación, a través de la

tubería de perforación y a un bidón o “alberca” donde se encuentra preparado el fluido de perforación. En la Figura 22 se observa la preparación de las conexiones.



Figura 20. Levantamiento del equipo de perforación en el sitio preparado.



Figura 21. Preparación del malacate y planta de luz al equipo de perforación.



Figura 22. Conexiones hidráulicas hacia la tubería de perforación.

2.2.4. Preparación de mesa y cuñas

Una vez preparado el montaje del equipo anterior, se coloca en el soporte del mástil, la mesa metálica junto con la cuña, que soportará el peso de la tubería de perforación mientras se realizan los trabajos de montaje y retiro de cada sección de tubería. La mesa debe estar estable y fuertemente sujeta al soporte para evitar la pérdida de la tubería y la barrena dentro del agujero (Figura 23).

2.3. Preparación de fluidos

Antes de iniciar el proceso de perforación, los fluidos de perforación se deben tener preparados en la alberca (puede ser un bidón grande, un tanque de almacenamiento o un cárcamo cavado en el sitio) en cantidad suficiente. El fluido de perforación es una mezcla de bentonita y agua potable necesaria para el arrastre de partículas y fragmentos fuera del pozo, lubricación de la barrena y por su densidad, estabilidad al agujero mientras se perfora. En general se puede utilizar la misma agua del acuífero; sin embargo, en estudios para contaminación, el agua a utilizar deberá cumplir características mucho más estrictas. Las características del lodo (proporciones) son únicas y dependerán de la geología, profundidad y características del pozo. Por ejemplo, para agujeros de diámetros grandes (mayor a 6 pulgadas) se debe usar una combinación de lodo bentonítico y sales, para generar una mayor densidad al lodo y tener mayor estabilidad. Para el caso de los piezómetros menores a 6 pulgadas, se puede utilizar solo agua potable y una cantidad moderada de bentonita (la cantidad exacta de bentonita utilizada se detallará más adelante) como se observa en la Figura 24.



Figura 23. Preparación de la barrena y la cuña alrededor de la tubería de perforación previo al inicio de la perforación.



Figura 24. Ingreso de la primera lechada de lodo bentonítico colocada manualmente previo al inicio de la perforación.

2.4. Seguridad

Como medida de seguridad, previo a los trabajos de perforación, se recomienda realizar una charla o plática acerca de las medidas de seguridad, explicando a los presentes en campo y los encargados de perforación cada una de las medidas y equipo de seguridad, y qué hacer en caso de emergencia. Si bien, el equipo de perforación utilizado para la construcción de piezómetros de poca profundidad se considera “pequeño”, el equipo y las medidas de higiene y seguridad deben seguirse al pie de la letra y sin ninguna falta.

2.5. Perforación

La perforación consiste en realizar el agujero con el diámetro adecuado y que cumpla con el propósito para el que es realizado (Figura 25). Existen innumerables técnicas de perforación y metodologías de avance. Para piezómetros pequeños, contruidos con equipo rotativo, la elección de las revoluciones y ritmo de perforación son únicas, y son establecidas por el perforista, pues estas dependen de muchos factores como: la saturación del medio, tipo de suelo, textura, grado de competencia, granulometría, disposición de los estratos, condiciones estructurales (pequeñas fallas y pliegues), pedregosidad, entre otras. Para el ritmo de perforación se recomienda un ritmo lento a semi lento, con un ritmo aproximado de 60 a 80 revoluciones por minuto (rpm). La velocidad de avance es diferente para cada tipo de suelo o capa, siendo un promedio de 1.5 m/hora, sin contar los tiempos de incidencias como falta de agua y resistencia al corte de la barrena.

2.6. Lubricación

Durante la perforación, es necesario circular lodo de perforación (Figura 26) en el agujero, este se inyecta desde superficie a través de la tubería de perforación, y se recupera en superficie directamente en la boca del agujero. La preparación del lodo dependerá de las características del agujero, pero en general, el fluido preparado deberá tener una densidad de 1.1 a 1.2 g/ml, de tal manera que el lodo proporcione estabilidad al agujero. En caso de formaciones muy deleznales, la densidad puede superar los 1.25 g/ml. Aunque se deberá vigilar su viscosidad y consistencia, para evitar la obstrucción de agujero por el mismo peso del lodo.

2.7. Terminación

Al alcanzar la profundidad deseada, deberá retirarse la tubería de perforación del agujero, en un ritmo lento y sin retirar o diluir el lodo de perforación. Posteriormente, se debe retirar el equipo de perforación, sin perturbar la boca del pozo.



Figura 25. Prueba de perforación realizada por el técnico perforista.



Figura 26. Lubricación con lodo de perforación del agujero del piezómetro.

3. EQUIPAMIENTO

Una vez terminado el proceso de perforación, se procede al equipamiento del pozo, que consiste en colocar la tubería del piezómetro y los elementos necesarios para su estabilidad, rigidez y funcionamiento como son la gravilla sílica y cemento.

3.1. Retiro del equipo de perforación

Una vez terminado el proceso de perforación, es necesario retirar la sarta, permitiendo que el agujero quede descubierto y libre para hincar la tubería. En la Figura 27 se observa el retiro de la sarta, dando lugar a las condiciones de agujero descubierto (agujero libre, lleno de bentonita, Figura 28).



Figura 27. Retiro de la sarta de perforación, dejando las condiciones de agujero descubierto.



Figura 28. Ejemplo del agujero descubierto.

3.2. Hincado de la tubería

El hincado de la tubería es un proceso delicado. Consiste en bajar la tubería de PVC a través del agujero descubierto, que se encuentra inundado por el lodo de perforación y por el agua freática de las formaciones circundantes (Figura 29). En pozos de gran tamaño se requiere aún del equipo de perforación para soportar el peso de la tubería de revestimiento. Para piezómetros pequeños, no es necesario utilizar otro equipo, el proceso de hincado se realiza de forma manual. El proceso en general se realiza entre al menos dos personas. Una sosteniendo la tubería por encima del nivel de suelo, y una segunda, que guiará la tubería de forma centrada a través del agujero. Gracias al lodo de perforación, el agujero se mantiene estable hasta que la tubería llega hasta la profundidad deseada. El proceso es lento y cuidadoso, pues debe evitarse tener contacto con las paredes del agujero, para no desgarrar las paredes y generar colapsos de éstas. En caso de que el tubo sea largo, este se ira armando por secciones conforme se inca la tubería.

La tubería, antes de considerarse colocada, debe pasar de manera libre por el agujero y no presentar obstrucciones en sus movimientos ascendentes y descendentes. En la Figura 30 se muestra el tubo de PVC completamente hincado y centrado.



Figura 29. Proceso de hincado del piezómetro



Figura 30. Tubería de PVC completamente hincada

3.3. Revestimiento

El revestimiento es el proceso en el cual, se colocan protecciones alrededor del tubo de PVC. Este revestimiento tiene diferentes objetivos. Debe evitar el movimiento de la tubería dentro del agujero, además, evitar el colapso de las paredes y el daño permanente de este. Un revestimiento adecuado, debe permitir la comunicación hidráulica (paso del agua) entre la formación de interés y el interior del piezómetro. Para lograr estos objetivos, el revestimiento es diferenciado a lo largo del agujero.

El revestimiento principal o el revestimiento en la sección ranurada del tubo de PVC, debe ser permeable y competente, de tal forma que permita la conexión hidráulica, además, este no debe colapsar o estar sujeto a procesos de hundimiento (como materiales limosos o arcillosos). En general, se utiliza gravilla o pellets de diversos materiales de acuerdo a las condiciones del pozo. Se recomienda gravilla sílica triturada y lavada de alta calidad de aproximadamente 6.35 x 3.175 mm (Figura 31), la cual se coloca alrededor del tubo de PVC hasta una altura determinada (por arriba de la zona ranurada, entre 5 y 15 cm). Para la sección no ranurada, se coloca cemento, mezclado con gravilla para dar rigidez al piezómetro y evitar el ingreso de agua de superficie al piezómetro. Esta última etapa también se le conoce como cementación (Figura 32).



Figura 31. Preparación de la arena sílica antes de introducirla alrededor de la perforación.



Figura 32. Preparación del cemento y gravilla para el proceso de cementado.

3.4. Limpieza

Posterior al revestimiento, en cada uno de los piezómetros fue removida la bentonita al interior del piezómetro con equipo bailer. En la Figura 33A se observa la introducción del bailer dentro del piezómetro, mientras que en la Figura 33B se observa la extracción de bailer lleno de fluido de perforación. Este proceso se repitierepite hasta vaciar la columna del tubo. Al finalizar el retiro del lodo de perforación, se agrega el dispersor de arcillas, que actuará sobre el enjarre y las arcillas propias de la formación o suelo, permitiendo la libre circulación del agua hacia el interior de los piezómetros.



A)



B)

Figura 33. Limpieza del interior del tubo de PVC con equipo bailer. A) introducción del bailer dentro del tubo de PVC. B) Extracción del lodo de perforación.

4. TERMINACIÓN

El proceso de equipamiento del piezómetro termina con la colocación de la tapa y brocal del piezómetro. Para ello, debe cementarse la última sección del agujero (boca del agujero), construyéndose una base (brocal), donde a su vez, se colocará una nucleadora que funcionará como contra ademe, con el objetivo de evitar derrumbes y entradas de agua superficial e infiltraciones que contaminen el agua al interior del piezómetro. En la Figura 34 se observa la última sección del agujero cementada y el recorte de la última sección del tubo de PVC (ademe) que sobre sale del nivel del terreno. En la Figura 35 se observa la colocación de la nucleadora (contra ademe) sobre una lechada de cemento la cual protegerá la terminación del piezómetro. Finalmente, en la Figura 35 se presenta la terminación del brocal en forma cónica y el tapón de goma sobre la terminación del piezómetro.



Figura 34. Corte de la tubería de PVC sobre la última lechada de cemento antes de colocar el contra ademe.



Figura 35. Colocación de la nucleadora como contra ademe en el piezómetro.

Se debe generar un plano final del piezómetro, con las características mínimas mostradas en la Figura 36 y una ficha técnica del mismo, como se muestra en el cuadro 1.

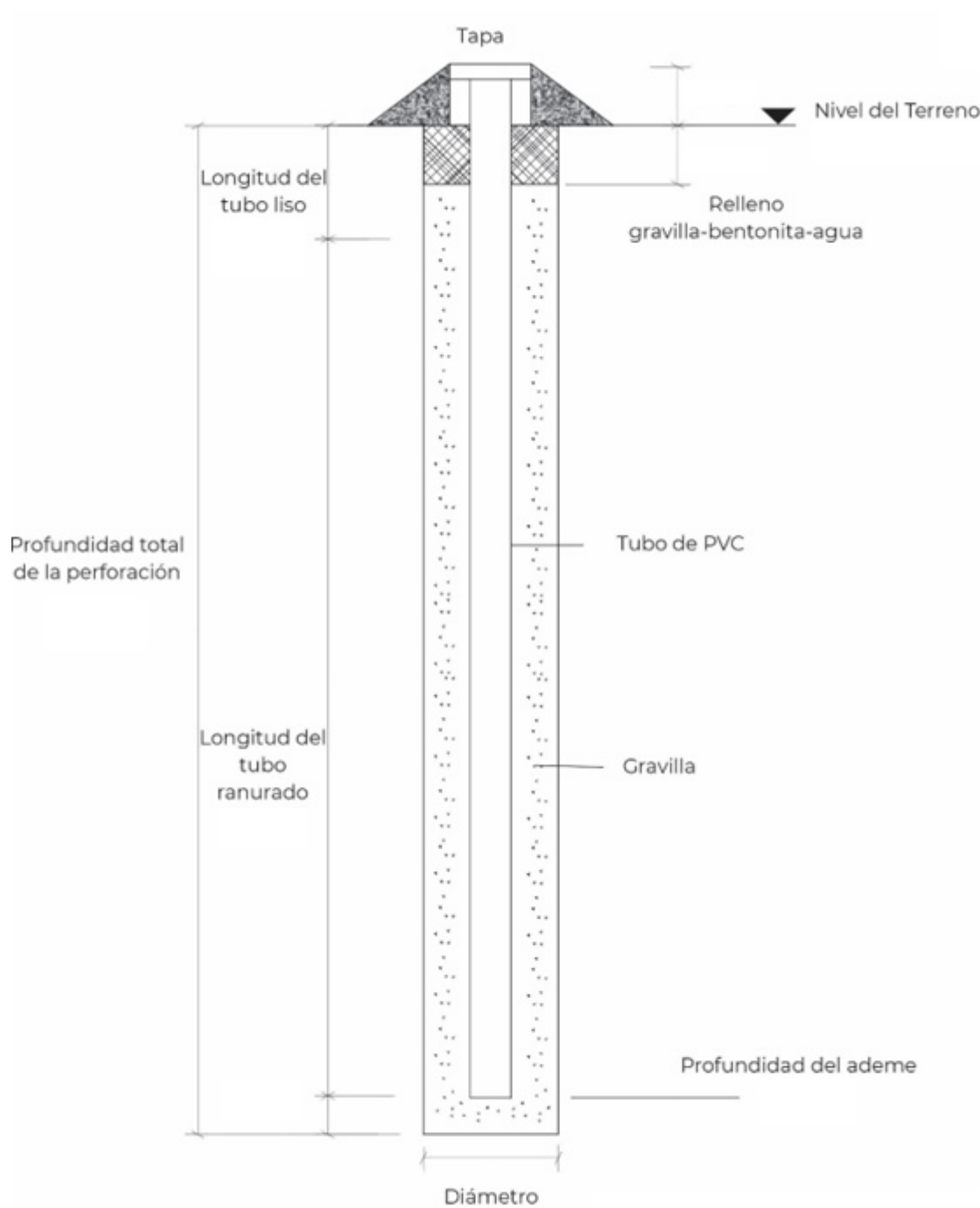


Figura 36. Características generales del esquema de un piezómetro..

Cuadro 1. Fichas técnicas de las características de un piezómetro.

<i>CARACTERÍSTICAS DE INSTALACIÓN</i>	
Tipo de piezómetro:	Abierto tipo Casagrande
Profundidad del ademe:	
Diámetro del tubo	
Cota superior de instalación:	
Cota inferior de instalación:	
Longitud tubería ranurada	
Longitud tubería lisa	

<i>PERFORACIÓN DEL BARRENO</i>
Fecha de inicio:
Fecha de finalización:
Diámetro real de perforación:
Longitud real de perforación:
Equipo de perforación:

<i>INSTALACIÓN DEL PIEZÓMETRO</i>
Fecha de instalación:
Fecha de término de instalación:

VOLÚMENES DE TEÓRICOS DE INSTALACIÓN DEL PIEZÓMETRO	
Lechada cemento- grava - agua:	
Filtro de grava sílica $\phi 1/4"$ a $\phi 1/8"$:	
VOLÚMENES DE REALES DE INSTALACIÓN DEL PIEZÓMETRO	
Lechada cemento- grava - agua:	
Filtro de grava sílica $\phi 1/4"$ a $\phi 1/8"$:	

Referencias

Gallupe Támara, J. L. (2018). Consideraciones técnicas que influyen en la construcción de pozos de agua y piezómetros en la minera Barrick Misquichilca SAC. 2014.

Lee, D.R., and Cherry, J.A., (1978). A field exercise on groundwater flow using seepage meters and mini-piezometers: Journal of Geological Education.