2007. 11. 27

Ingreso N: 52

624.

Ingeniería geológica.
Perforaciones exploratorias
Geotécnia

624.151

624

624 x 512

IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO SPT PARA REALIZAR PERFORACIONES EXPLORATORIAS POR PERCUSIÓN

Por

José Orlando Montoya Montoya

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Loja, Ecuador

Mayo, 2007

Aprobada por:

Ing. Vinicio Suárez Chacón
DIRECTOR DE LA TESIS

Ing. Carmen Esparza
VOCAL

Ing. Ángel Tapia Chávez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE ENSAYO SPT PARA REALIZAR PERFORACIONES EXPLORATORIAS POR PERCUSIÓN

TESIS PREVIA A AL OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: **José Orlando Montoya Montoya**

DIRECTOR: **Ing. Vinicio A. Suárez Ch.**

LOJA – ECUADOR

2007

Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es

2017

CERTIFICACIÓN

Ing. Vinicio A. Suárez Ch.

Director de la Unidad de Ingeniería Civil Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja.

CERTIFICO:

Que he dirigido la presente tesis desde su inicio hasta su culminación la misma que se encuentra científica y reglamentariamente en condiciones de presentarse para la graduación del postulante.

Por lo expuesto, autorizo su presentación, disertación y defensa.

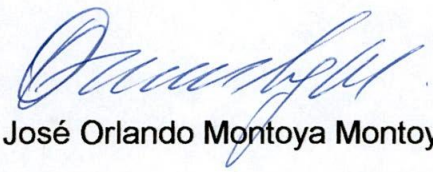
Loja, 02 de Febrero del 2007

Ing. Vinicio A. Suárez Ch.

DIRECTOR

CESIÓN DE DERECHOS

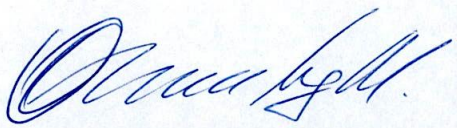
Yo, José Orlando Montoya Montoya, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos, o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional operativo de la universidad".



José Orlando Montoya Montoya

AUTORÍA

El proceso realizado en la investigación, diseño, construcción, pruebas de campo, información sobre aplicaciones en proyectos y conclusiones, son de responsabilidad exclusiva del autor.



José Orlando Montoya Montoya

AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Unidad de Ingeniería Civil Geología y Minas, al Cuerpo Docente de la Escuela de Ingeniería Civil, por los conocimientos impartidos durante mi periodo de estudios.

En especial al Ing. Vinicio Suárez por la acertada forma de haber dirigido mi tesis.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

El Autor

DEDICATORIA

Primero dedico a Dios por permitirme la vida, el esfuerzo, la constancia y dedicación para el logro de este objetivo.

A mis padres Dina y Ángel, por el apoyo, la confianza, y dedicación que siempre me han proporcionado.

A mis hermanos por la ayuda incondicional que me han brindado.

ÍNDICE

Pág.

Certificación ii

Cesión de derechos iii

Autoría iv

Agradecimientos v

Dedicatoria vi

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO..... 1

1.1. Introducción 1

1.2. Objetivo 1

1.3. Metodología 1

1.4. Aplicaciones de la investigación 2

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1. Introducción 3

2.2. Reconocimiento del sitio 3

2.3. Perforación del subsuelo 5

2.3.1. Pozo a cielo abierto 5

2.3.2. Perforación con posteadora 6

2.3.3. Método de lavado 7

2.3.4. Perforación por rotación 9

2.3.5. Perforación por percusión 11

2.3.6.1. Métodos de sondeo estático 12

2.3.6.2. Métodos de sondeo dinámico 13

2.4. Muestreo 15

2.4.1. Muestreo en pozos a cielo abierto 16

2.4.2. Muestreo con muestreador de tubo partido 17

2.4.3. Cucharón raspador 20

2.4.4. Tubo de pared delgada 21

2.4.5. Muestreador de pistón 22

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO 25

3.1. Introducción 25

3.2. Diseño y construcción de elementos 26

3.3. Pruebas de campo 29

3.4. Optimización del equipo 30

3.5. Precios unitarios 35

CAPÍTULO IV

4. APLICACIONES EN PROYECTOS 36

4.1. Generalidades 36

4.2. Descripción de procedimientos de aplicación del equipo 37

4.3. Determinación y recopilación de información sobre perforaciones realizadas . 40

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46

5.1. Conclusiones 46

5.2. Recomendaciones 47

5.3. Referencias 48

CAPÍTULO VI

6. ANEXOS 49

6.1. Anexo 1. Extracción de muestras en perforaciones realizadas con el equipo .. 50

6.2. Anexo 2. Costo horario del equipo para SPT 51

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se necesita dar solución a las diferentes necesidades de infraestructura que para el desarrollo de los pueblos se requiere. Pero se necesita construir obras diseñadas técnicamente, que proporcionen la comodidad y seguridad que la modernidad requiere.

Para que un proyecto de ingeniería sea ejecutado técnicamente debe seguir un proceso constructivo secuencial, que parte con el estudio del subsuelo del sitio de implantación.

La información del subsuelo no puede suponerse, sino tiene que ser determinada en el sitio mismo de implantación de un proyecto.

Por tal razón la demanda de este tipo de información es cada vez mayor.

Para obtener información del subsuelo existen muchos métodos, pero los más utilizados en nuestro medio, son los que se realizan a través de las perforaciones del subsuelo, puesto que nos permiten obtener información realizando ensayos que otros métodos de investigación no lo permiten.

La disponibilidad de equipos de perforación en nuestro medio es escasa, por lo que es necesario implementar un equipo de perforación, transportable, de fácil operación, y que nos permita realizar perforaciones en el menor tiempo y costo posible.

1.2. OBJETIVO

El objetivo principal de esta investigación es, implementar en el equipo de ensayo SPT el método de perforación por percusión y determinar el precio unitario de perforación.

1.3. METODOLOGÍA

La metodología que se aplicó durante el desarrollo de la investigación fue la siguiente:

- Recopilación de información relacionada con los métodos de perforación del suelo
- Determinar las posibilidades de uso y manejo del equipo
- Diseñar los elementos que permitirán realizar las aplicaciones determinadas
- Construcción y armado del equipo
- Pruebas de campo con el equipo
- Evaluación de las pruebas de campo
- Aplicaciones del equipo en proyectos reales

1.4. APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La principal aplicación de esta investigación es, utilizar el equipo para realizar perforaciones del subsuelo de forma ágil y oportuna, para realizar ensayos que nos permita obtener la mejor información posible.

Este equipo también constituye una aportación a las alternativas de implementación y uso de los equipos de laboratorio.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

OBJETIVO:

Estudiar los principales tipos de perforaciones para la investigación del subsuelo.

2.1. INTRODUCCIÓN

Para tener un conocimiento de los diferentes estratos y propiedades físicas de los materiales del subsuelo, es necesario realizar actividades de campo y de laboratorio que nos permitan obtener la mejor información posible. El conjunto de estas actividades se denominan exploración del subsuelo o programa de exploración. La información obtenida nos permitirá analizar las posibilidades de uso del suelo [3].

Básicamente la exploración del subsuelo nos permite obtener la información necesaria para realizar lo siguiente:

- Seleccionar el tipo y profundidad de cimentación para una estructura
- Determinar la capacidad de carga del suelo de cimentación
- Estimar la probabilidad de asentamiento de una estructura
- Evaluar la vulnerabilidad de la cimentación respecto de la calidad del suelo
- Determinar la ubicación del nivel freático
- Predecir el empuje lateral del suelo en diferentes tipos de estructuras.
- Establecer métodos de construcción para condiciones reales del subsuelo, etc. [2].

Debido al constante cambio de los suelos de un lugar a otro, no se puede establecer un método general de exploración del subsuelo. Por lo general, se realizan perforaciones y se extraen muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio [3].

2.2. RECONOCIMIENTO DEL SITIO

Para realizar el reconocimiento del sitio, es necesario recopilar información preliminar sobre el tipo de proyecto a desarrollarse, y tener una idea general de la topografía y el tipo de suelo que se encontrará en el sitio.

Esta información podrá obtenerse de las siguientes fuentes:

- Mapas de levantamiento geológicos
- Mapas de instituciones de conservación de suelos
- Mapas agronómicos
- Información Hidrológica
- Manuales de suelos
- Fotos satelitales, etc.

La información anterior nos permite planificar una correcta investigación del sitio y prever problemas que pueden aparecer en el desarrollo del programa de exploración. Luego es necesario realizar una inspección visual del sitio para obtener información sobre:

- Topografía general del sitio, utilización actual del terreno, obras existentes y el comportamiento físico del suelo
- Estratificación del suelo en cortes profundos realizados en la ejecución de alguna obra de ingeniería
- Tipo de vegetación que indique la calidad del suelo
- Huellas de niveles altos de agua en edificaciones cercanas
- Niveles de agua freática identificados en posos cercanos
- Tipo de construcciones vecinas y la existencia de grietas en las mismas
- Estratificación y propiedades físicas del suelo de reportes sobre exploraciones de suelo de estructuras vecinas existentes.

Posteriormente, en un programa de exploración se procede con la etapa de investigación del sitio, que es la fase de planeación, de efectuar sondeos de prueba y obtener muestras de suelo para observaciones y pruebas de laboratorio [2].

2.3. PERFORACIÓN DEL SUBSUELO

La importancia de la información del subsuelo, ha permitido un considerable desarrollo de la tecnología de la investigación del subsuelo. Por tanto es importante saber definir el alcance de un proyecto de investigación y conocer los procedimientos de los métodos de investigación para elegir el más adecuado.

Existen varios métodos de perforación, sondeo y muestreo del subsuelo. La elección del método depende del tipo de suelo y del propósito de la información [3].

Entre los más importantes tenemos los siguientes:

2.3.1. POZO A CIELO ABIERTO

La forma más elemental de investigar las características del subsuelo es realizando excavaciones en el sitio del proyecto para realizar un examen visual de la estratigrafía del subsuelo y obtener muestras para ensayos de laboratorio. Este método de investigación es aplicado en proyectos donde el grado de importancia y el costo por área de construcción es elevado.

Realizar una excavación o pozo a cielo abierto a poca profundidad puede resultar viable y económico, pero un pozo a gran profundidad puede resultar todo lo contrario, dependiendo de factores como, el tipo de suelo y el nivel de agua freático.

Si el pozo a cielo abierto es practicado hasta una considerable profundidad y el suelo es de baja cohesión es imprescindible utilizar entibación. Pero cuando aparece el nivel freático es difícil continuar con la excavación por la dificultad de controlar el flujo de agua [3], [5].

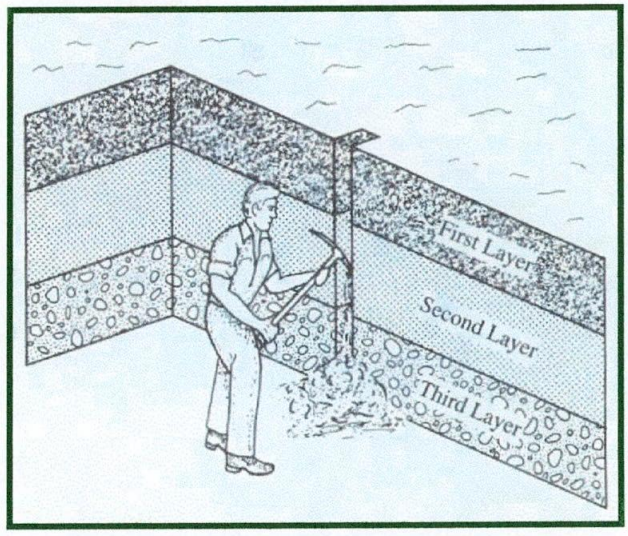


Fig. 2.1 Pozo a cielo abierto

FUENTE: Liu, Eventt. 2004.

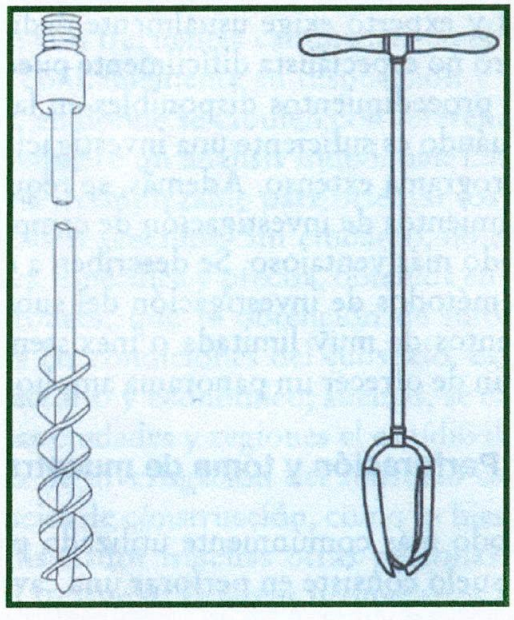
2.3.2. PERFORACIONES CON POSTEADORA

Las herramientas más sencillas que se utilizan para perforar el suelo son las barrenas de operación manual, que existen de dos tipos: La posteadora y la barrena helicoidal (Fig. 2.2). La eficiencia de su empleo depende del tipo, consistencia y compacidad del suelo por perforar.

La perforación consiste en cortar el suelo mediante la acción de presionar y girar la barrena contra la superficie del suelo, y cuando ha ingresado una profundidad adecuada se la extrae y se limpia el material, esta misma operación se continúa repitiendo durante el desarrollo de la perforación. Este tipo de barrenas pueden usarse para realizar perforaciones hasta de 5 m de profundidad, pudiendo en ocasiones ser usadas en exploraciones de suelo para estructuras pequeñas y algunas carreteras [3], [5], [2].

Existen barrena helicoidales eléctricas manuales de 76.2 mm a 304.8 mm de diámetro con las cuales se puede realizar perforaciones mas profundas. Al realizar estas perforaciones en suelos con baja cohesión o no cohesivos, donde las paredes de la perforación no son estables, para evitar que las paredes se derrumben se utiliza tubería de revestimiento [2].

Con las barrenas eléctricas de perforación continua, acopladas a torres de perforación, se puede realizar perforaciones de 60 m a 70 m (200 pies a 230 pies) de profundidad. Este tipo de barrenas existen en secciones de aproximadamente 1 m a 2 m (3 pies a 6 pies) y pueden ser huecas o sólidas. Cuando se utiliza barrenas sólidas, estas deben ser retiradas para extraer muestras o realizar alguna otra prueba, mientras que las barrenas huecas no tienen que necesariamente ser retiradas para realizar dichas pruebas [2].



(a) (b)

Fig. 2.2 Barrenas para operación manual. (a) Helicoidal. (b) Posteadora

FUENTE: Delgado, 2004.

2.3.3. MÉTODO DE LAVADO

Este método de perforación se aplica en la mayor parte de suelos, menos en los estratos muy duros y compactos. La perforación se inicia hincando tubería de revestimiento de 2 m a 3 m (6 pies a 10 pies) de longitud (Fig. 2.3). Para hincar la tubería se utiliza martillos de 80 kg a 150 kg de peso.

La tubería de revestimiento debe ser de mayor diámetro que las herramientas de perforación y toma de muestras. El suelo que queda dentro de la tubería de

revestimiento es removido por efecto de levantar, girar y dejar caer un trépano cortante unido a las barras de perforación.

Mientras el suelo es removido se inyecta agua a presión a través de las barras de perforación y los orificios del trépano para lavar la superficie del fondo, el agua con las partículas en suspensión sale al exterior por el espacio que queda entre las barras de perforación y la tubería de revestimiento [5], [3], [2].

El agua de lavado es recogida en un depósito de sedimentación en donde al quedar sin partículas gruesas, el agua puede recircular o ser desechada (Fig. 2.4). Para incrementar la profundidad de la perforación se van roscando tramos adicionales al extremo superior de las barras de perforación. La tubería de revestimiento también puede ser adicionada e hincada si las paredes de la perforación no permanecen estables.

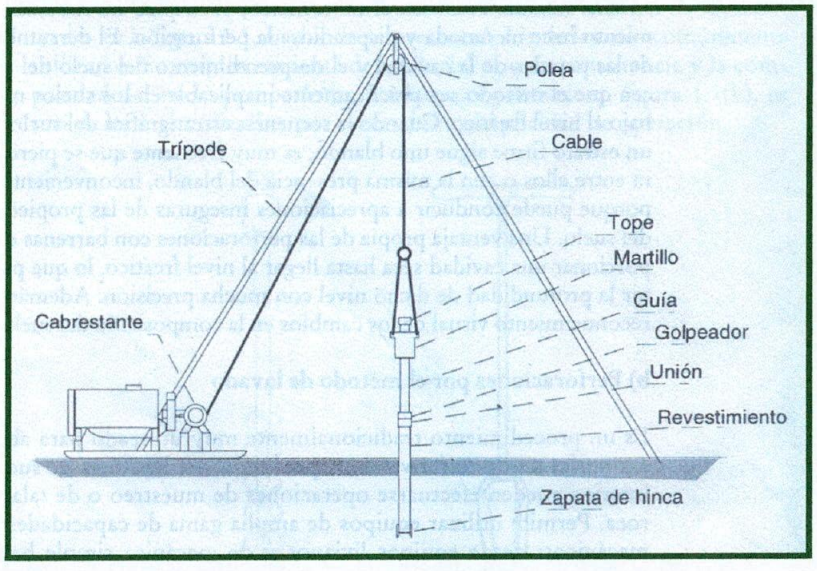


Fig. 2.3 Esquema del equipo para perforación por lavado. Disposición para hincar el revestimiento.

FUENTE: Delgado, 2004.

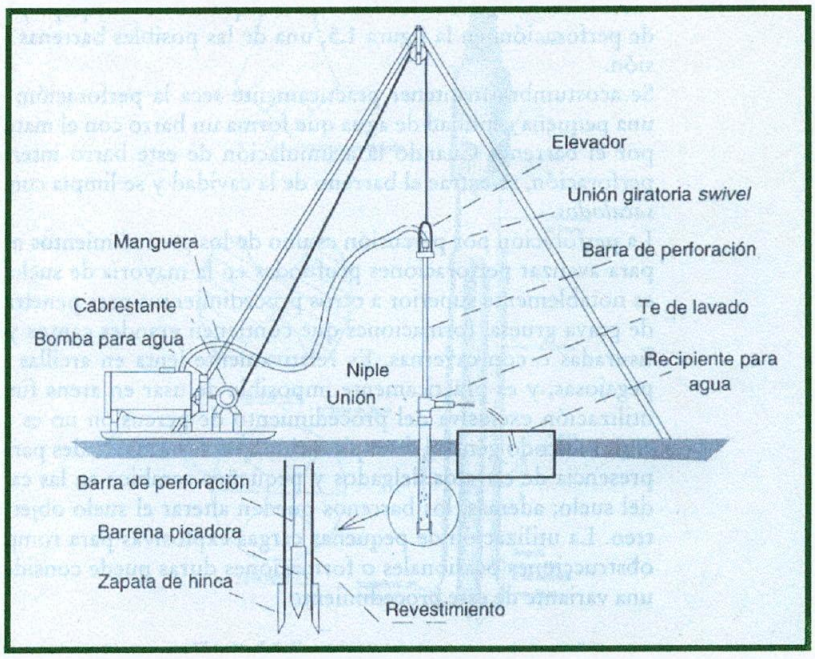


Fig. 2.4 Esquema del equipo para perforación por lavado. Disposición para la perforación del suelo por lavado y barrenado.

FUENTE: Delgado, 2004.

2.3.4. PERFORACIÓN POR ROTACIÓN

Este método de perforación es similar en algunos procedimientos al método de perforación por lavado. La perforación se realiza por efecto de rotar y aplicar presión hidráulica o mecánica a la broca acoplada al extremo inferior de las barras de perforación contra la superficie del fondo del agujero.

La rotación de la broca conjuntamente con la barras de perforación produce el corte y trituración del material del fondo. Para extraer el material triturado se utiliza agua a presión que ingresa por las barras de perforación y los orificios de la broca. El agua con partículas en suspensión sube al exterior por el espacio que queda entre las barras y las paredes de la perforación.

En este método de perforación por lo general no se utiliza tubería de revestimiento, pero pueden existir casos en que sea necesario utilizarla cerca a la superficie. Para evitar el colapso de las paredes de la perforación, se suele utilizar lodo de perforación que consiste en la mezcla de agua y bentonita.

Este método generalmente se aplica en arcilla, arena y roca, o en suelos con alta compacidad o consistencia, en los que al utilizar el método de lavado se llega a una situación de rechazo (fig. 2.5).

La aplicación de este método no es aconsejable en depósitos que contengan gravas de gran tamaño, fragmentos de roca y canto rodado en matriz de mala cementación, o en rocas muy fisuradas o cavernosas [3], [1], [2].

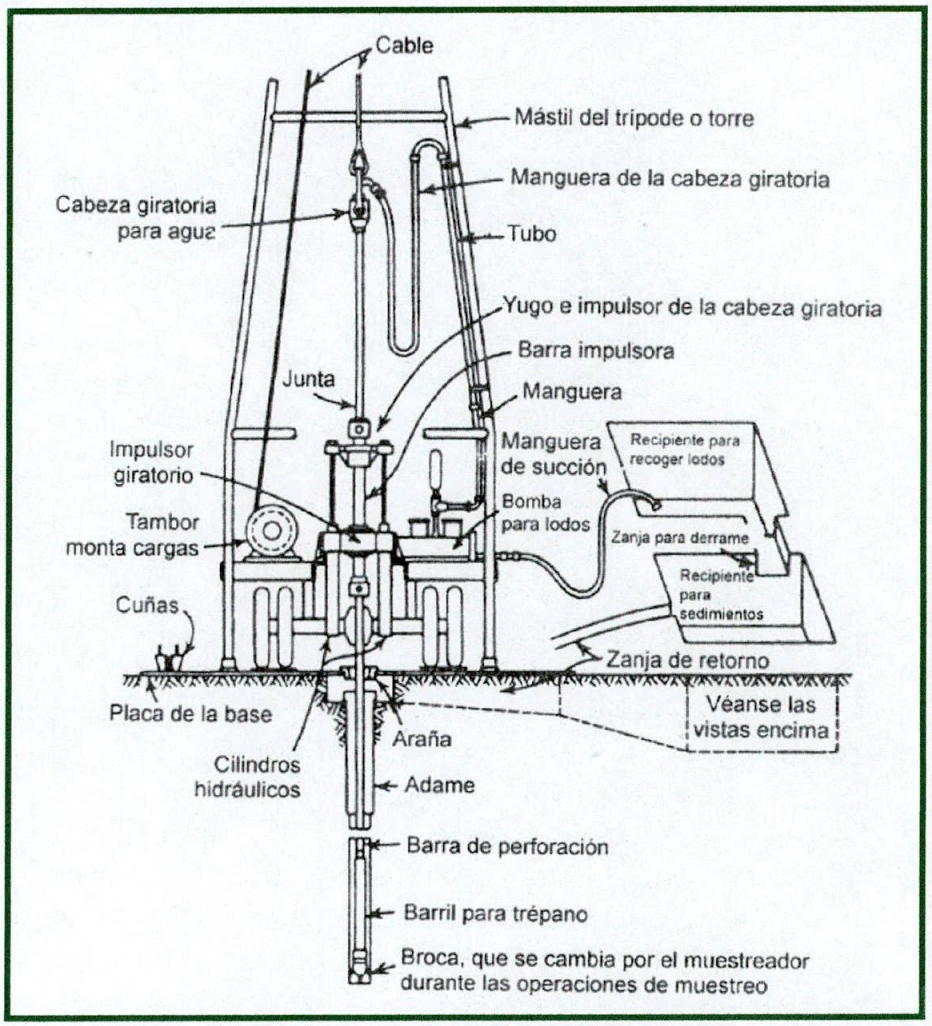


Fig. 2.5 Esquema de un equipo para perforación por rotación

FUENTE: Peck, Hanson, Thornburn, 2004.

2.3.5. PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN

Es uno de los procedimientos más antiguos que se utiliza para perforar el suelo.

El método de perforación por percusión, básicamente consiste en levantar y dejar caer repetidamente un trépano o barrena de tal manera que rompa y triture el material del fondo. Los trépanos que se utilizan tienen diferentes formas y se operan suspendidos de un cable, por lo que suelen llamarse herramientas de cable.

Para extraer el material triturado se utiliza una pequeña cantidad de agua para convertir en lodo el material triturado y extraerlo por medio de una cubeta saca lodos. También es posible adecuar al equipo para extraer el material triturado por circulación de agua [3], [1], [2].

Este método de perforación es utilizado en estratos de suelo duro o roca, es notable su aplicación en perforaciones de depósitos de grava gruesa, formaciones que contienen grandes cantos y rocas muy fisuradas o con cavernas, es relativamente lenta en arcillas y lutitas pegajosas y no se puede usar en arena fina o suelta.

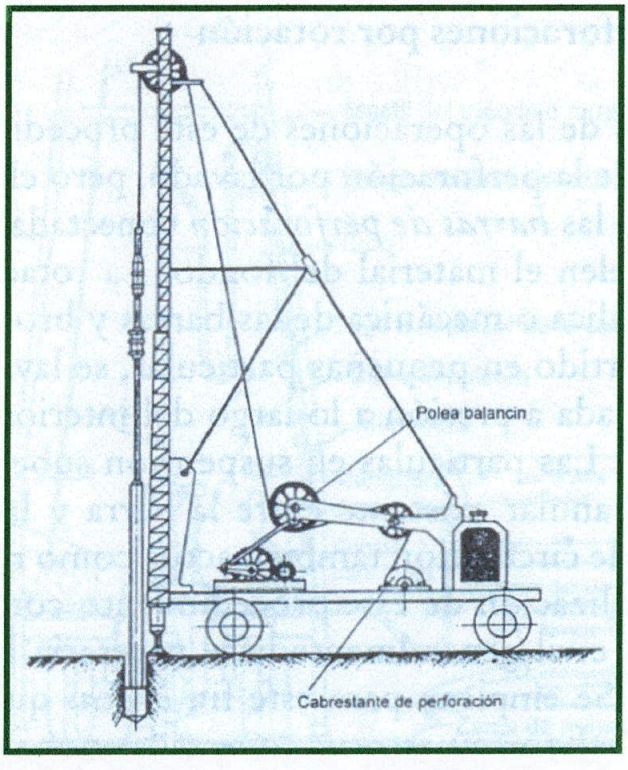


Fig. 2.6 Esquema de un equipo para perforación por percusión.

FUENTE: Delgado, 2004.

2.3.6. SONDEO DEL SUBSUELO

Entre los métodos de investigación del subsuelo, están los métodos de sondeo estáticos y los métodos de sondeo dinámicos.

Para ejecutar estos métodos de exploración es necesario utilizar los penetrómetros. Los penetrómetros son dispositivos que se hincan al suelo y nos permiten medir la resistencia al avance vertical en el mismo, dependiendo de las condiciones del subsuelo se han desarrollado una gran variedad de procedimientos de uso, [3].

2.3.6.1. MÉTODOS DE SONDEO ESTÁTICO

Para ejecutar los métodos de sondeo estáticos se utiliza los penetrómetros estáticos, lo mismos que para ser hincados se utiliza presión estática. La velocidad de hincamiento debe ser lenta y constante (20 a 40 cm por minuto).

Las variaciones de resistencia al hincamiento de un penetrómetro estático, pueden ser determinadas con mayor precisión que las variaciones de resistencia de un penetrómetro dinámico. Por otra parte la resistencia estática puede ser correlacionada con la resistencia al corte, la compresibilidad y la capacidad portante del suelo. Es aconsejable su utilización cuando se requiere explorar y medir la resistencia estática de depósitos de suelo relativamente blandos.

Este método de exploración es muy difundido en Europa, y se han desarrollado algunas teorías para la interpretación de resultados. El Cono Holandés (CPT) es el penetrómetro de uso mas generalizado. Básicamente este equipo está conformado de un cono móvil que tiene un vértice de 60° y un diámetro de 3.6 cm, el cono se acopla a una serie de tubos y varillas que se van añadiendo mientras se realice el sondeo. Por el interior de los tubos transitan las barras que transmiten las presiones a los aparatos de medida que son equipos hidráulicos y manómetros [2], [3], [6].

El ángulo de 60° para el cono del CPT fue establecido luego de estandarizar dicha herramienta de sondeo. 60° es aproximadamente 2 veces el valor típico Φ (ángulo de fricción interna) para muchos suelos, Por tanto en cualquier punto el suelo está siendo cortado a un ángulo de 30° de la fuerza actuante. Se asume que el ángulo de 60° debe maximizar la fuerza y minimizar la resistencia al hincamiento en el suelo

(Doctor Lionel Jackson, comunicación verbal, de acuerdo a Terzaghi y Pecks "Soil Mechanics in Engineering Practice").

Existen dos clases de conos, los conos de un movimiento y los de dos movimientos. Los conos de un movimiento son aquellos conos que están diseñados para medir solo la resistencia en la punta y los conos de dos movimientos pueden medir la resistencia en la punta y la fricción [2], [3], [6].

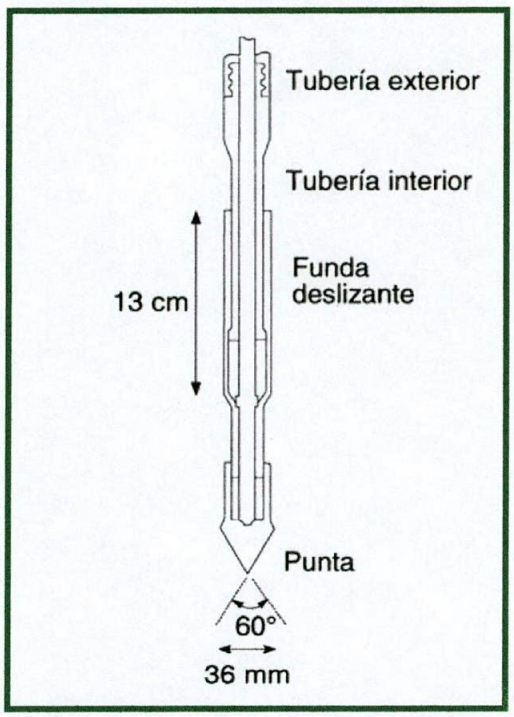


Fig. 2.7 Corte esquemático de un cono holandés de doble movimiento

FUENTE: Delgado, 2004.

2.3.6.2. MÉTODOS DE SONDEO DINÁMICO

Para ejecutar los métodos de sondeo dinámicos se utilizan los penetrómetros dinámicos. Los penetrómetros dinámicos son equipos en los que las barras y puntas de sondeo se hincan por efecto del impacto de un martillo en caída libre. La punta de hincado es un cono de acero que puede o no ser recuperado. Para hincar los penetrómetro dinámicos se puede utilizar martillos de 63.5 kg con una altura de caída de 76.2 cm y martillos de 18.1 kg con una altura de caída de 45.7 cm. Cuando los sondeos estáticos llegan al rechazo en capas duras o compactas y se requiere

comprobar la dureza de las capas es necesario utilizar los sondeos dinámicos, que pueden constituirse en ensayos complementarios de los estáticos. Este tipo de penetración es aconsejable en suelos duros y en depósitos sin cohesión.

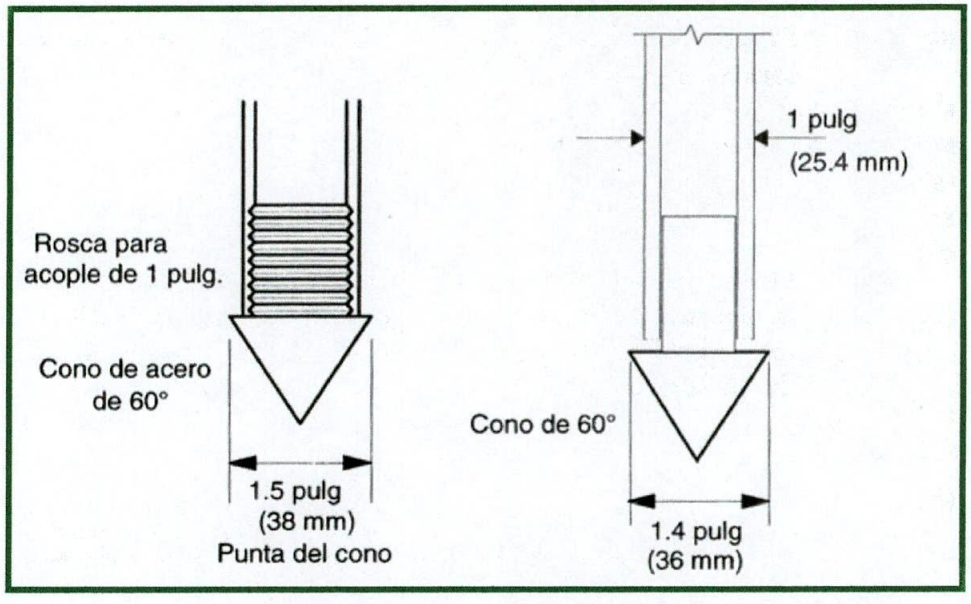


Fig. 2.8 Conos dinámicos. (a) Cono dinámico liviano. (b) Cono para hincar con la barra de perforación de 1 pulg.

FUENTE: Delgado, 2004.

La prueba de penetración estándar (SPT), es un ensayo dinámico de penetración, para el cual se utiliza el penetrómetro estándar de tubo partido, que es un muestreador que proporciona muestras alteradas representativas del suelo que se está analizando. El ensayo SPT es una prueba que se utiliza para medir en el sitio, la compacidad de suelos granulares y la consistencia en suelos cohesivos. Por lo general este ensayo se realiza en el fondo de una perforación.

Para realizar el ensayo SPT se acopla el pentrómetro al extremo inferior de las barras de perforación y se baja lentamente al fondo de la perforación. Para hincar el tubo partido en el fondo, se utiliza un martillo que pesa 63.5 kg (140 lb) el mismo que se levanta y se deja caer una altura de 76.2 cm (30 pulg) a través de un tubo guía en cuya base se encuentra un tope de impacto que se acopla al extremo superior de las barras de perforación, el martillo golpeará el penetrómetro a través de las barras

de perforación hasta hincarlo 15 cm (6 pulg), luego se inicia propiamente el ensayo contando el número de golpes **N** necesarios para hincar el tubo partido los siguientes 30.5 cm (12 pulg) [2], [3].

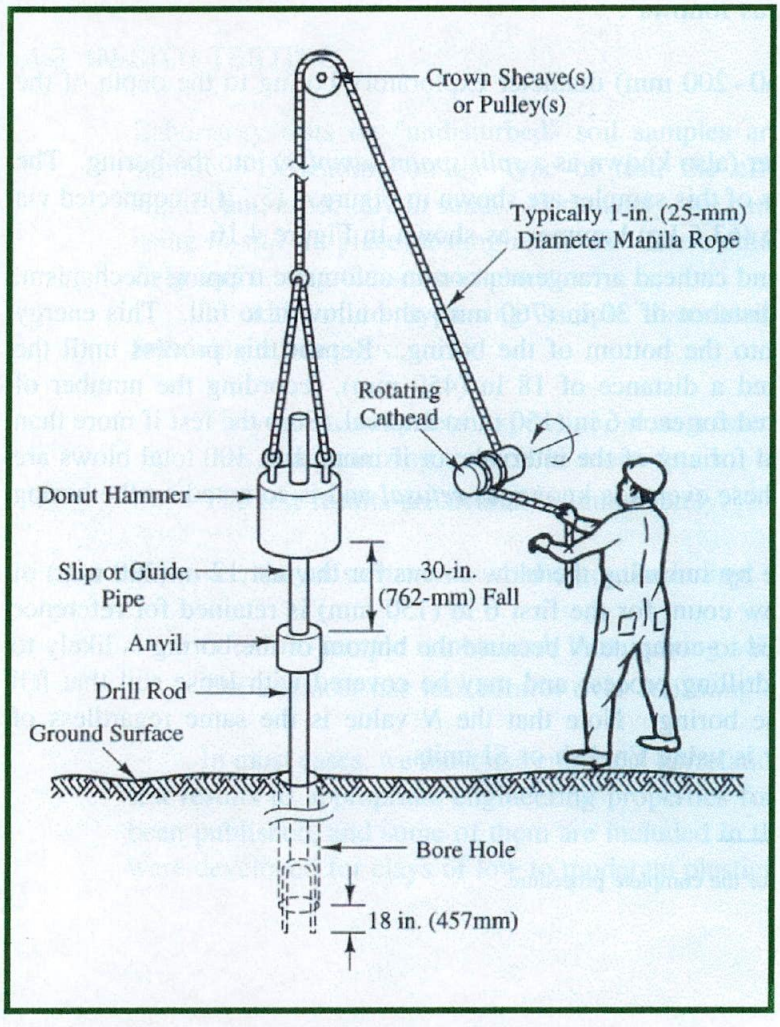


Fig. 2.9 Corte esquemático del equipo del ensayo SPT

FUENTE: Coduto, 1994.

2.4. MUESTREO

El muestreo del suelo es por lo general la actividad inmediata a una perforación realizada, pero el método de perforación no determina el método de muestreo. La obtención de una muestra depende del propósito de la misma. El material que se obtiene producto de una perforación, es un material no representativo porque no contiene todos los elementos en estado natural del suelo, solo nos permite tener una

idea general del tipo, calidad y mineralogía del material que se está perforando, pero no se puede establecer conclusiones.

Las muestras pueden ser mecánicamente alteradas o inalteradas. Tanto las muestras alteradas como las inalteradas no representan las propiedades mecánicas del suelo natural. Las muestras alteradas, si son representativas, nos permiten identificar y clasificar el suelo realizando ensayos como el contenido de humedad, peso específico, análisis granulométrico, límites de Atterberg y cantidad de materia orgánica. Las muestras inalteradas nos permiten realizar ensayos para determinar la relación esfuerzo-deformación o la compacidad relativa de los materiales, resistencia al corte, permeabilidad y compresibilidad. Es difícil obtener una muestras estrictamente inalteradas, solo es posible obtener muestras que sufran deformaciones mínimas durante el muestreo.

2.4.1. MUESTREO EN POZOS A CIELO ABIERTO

En un pozo a cielo abierto se puede obtener muestras alteradas o inalteradas. Las muestras alteradas son muestras de suelo excavado que se recoge en fundas para protegerlas de pérdidas de humedad y las muestras inalteradas son bloques de suelo que se obtienen labrando el suelo a partir de una zanja excavada alrededor de un cuadro trazado en la superficie. Este bloque de suelo deberá ser protegido contra la pérdida de humedad y cuidadosamente transportado al laboratorio. Cada muestra debe estar debidamente registrada y contener la información de su posición y ubicación en los diferentes estratos del suelo [6], [3], [2].

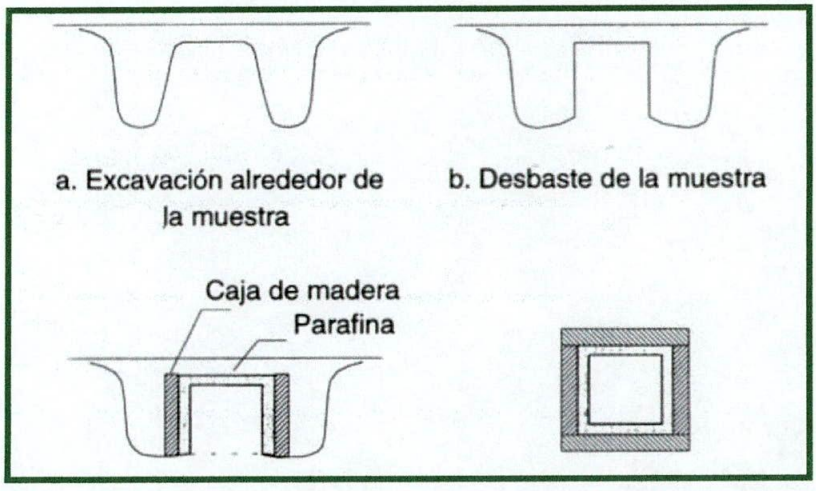


Fig. 2.10 Procedimiento para la obtención directa de muestras inalteradas

FUENTE: Delgado, 2004.

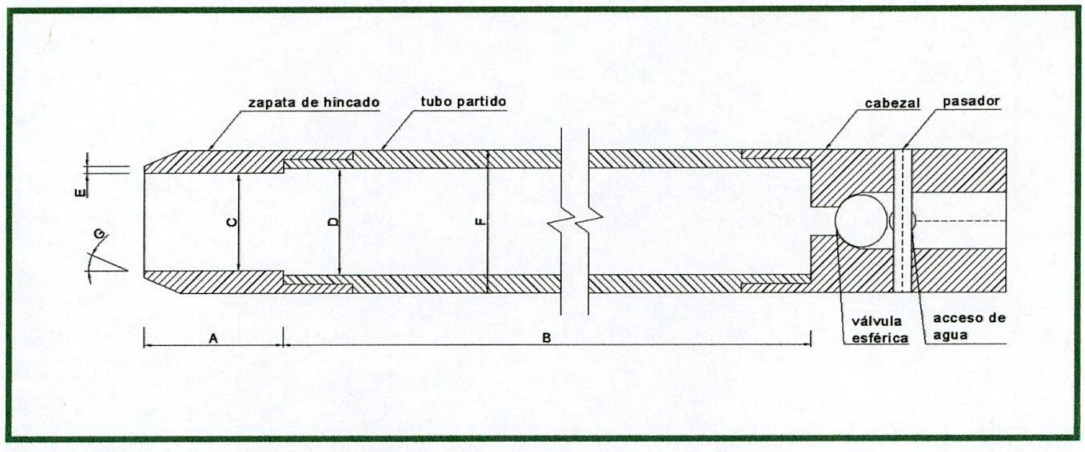
2.4.2. MUESTREO CON MUESTREADOR DE TUBO PARTIDO

El muestreo con muestreador de tubo partido es un muestreo que generalmente se lo realiza simultáneamente al realizar el ensayo SPT, puesto que el penetrómetro que se utiliza para el ensayo es el muestreador de tubo partido. Este tipo de muestreo generalmente se lo aplica en perforaciones hechas por lavado, en sondeos rotatorios con barreno y en posos a cielo abierto. El muestreador básicamente consta de: una boquilla o zapata de hincado que tiene el extremo inferior chaflanado de afuera hacia adentro, con rosca interna en el otro extremo y un espacio interno para ser colocado un dispositivo retenedor de muestras llamado canastilla; de un tubo con rosca externa en los extremos, partido longitudinalmente en dos, para permitir una fácil recuperación de la muestra; y una boquilla de acople que tiene rosca interna en ambos extremos con una válvula de cierre alojada internamente. Para armar el muestreador, la zapata de hincado y la boquilla de acople son atornilladas en los extremos del tubo perfectamente ensamblado, luego se conecta el muestreador a las barras de perforación por medio de la rosca interna de la boquilla de acople. El equipo así armado es bajado lentamente al fondo de la perforación para ser hincado en el suelo que va a ser muestreado.

Para realizar el muestreo el ensayo estará regido por la norma ASTM D 1586 – 99. La muestra obtenida es una muestra mecánicamente alterada, pero es una muestra representativa con la cual es posible realizar algunos ensayos de laboratorio. Por

tanto las muestras un vez recuperadas deben ser colocadas en dispositivos herméticos y transportadas al laboratorio debidamente etiquetadas en cajas de seguridad.

Al realizar este tipo de muestreo, la alteración de las muestras en suelos granulares puede ser mayor que en las arcillas, puesto que puede alterarse la densidad relativa del suelo. Pero al aplicar el ensayo SPT se estaría dando solución a este problema puesto que nos permite medir el grado de compacidad del suelo en el sitio.



A = 1.0 in a 2.0 in. (25 mm a 50 mm)

B = 18.0 in a 30.0 in. (0.457 mm a 0.762 mm)

C = 1.375 ± 0.005 in. (34.93 ± 0.13 mm)

D = 1.50 ± 0.05 – 0.00 in. (38.1 ± 1.3 – 0.00 mm)

E = 0.10 ± 0.02 in. (2.54 ± 0.25 mm)

F = 2.00 ± 0.05 – 0.00 in. (50.8 ± 1.3 – 0.00 mm)

G = 16.0° a 23.0°

Fig. 2.11 Corte esquemático de un muestreador de tubo partido

FUENTE: ASTM D 1586 - 99

Las causas principales de alteración de una muestra extraída con muestreador de tubo partido son el impacto del martillo, la rapidez de hincamiento y las dimensiones del muestreador. En general el grado de alteración aproximado para este tipo de muestras está expresado en la relación de áreas del muestreador [3].

$$A_R(\%) = \frac{D_E^2 - D_I^2}{D_I^2} 100$$

Donde:

$A_R =$ relación de áreas

$D_E =$ diámetro exterior de la zapata de hincado

$D_I =$ diámetro interior de la zapata de hincado

Si la relación de áreas es menor o igual al 10%, la muestra se considera como inalterada. [6], [3].

Al aplicar la fórmula anterior con las dimensiones del muestreador existente se tiene que

$$A_R = \frac{(50.8)^2 - (34.93)^2}{(34.93)^2}(100) = 111.5\%$$

Por tanto, las muestreas que se obtiene con este muestreador tienen un alto grado de alteración.

Otra de las causas principales de alteración de una muestra es la fricción interna del muestreador, que es la fricción entre la muestra y la superficie interna del tubo muestreador, produciendo alteración en la zona periférica de la muestra. La fricción puede ser reducida disminuyendo ligeramente el diámetro interno del extremo cortante del muestreador, en relación con su longitud restante. La reducción de este diámetro se denomina tolerancia interior, y se expresa por la relación de tolerancia interior:

$$C_I = \left(\frac{D_M - D_C}{D_M} \right) 100$$

Donde:

$C_I =$ tolerancia interior

$D_M =$ diámetro interior del tubo

D_C = diámetro del extremo cortante

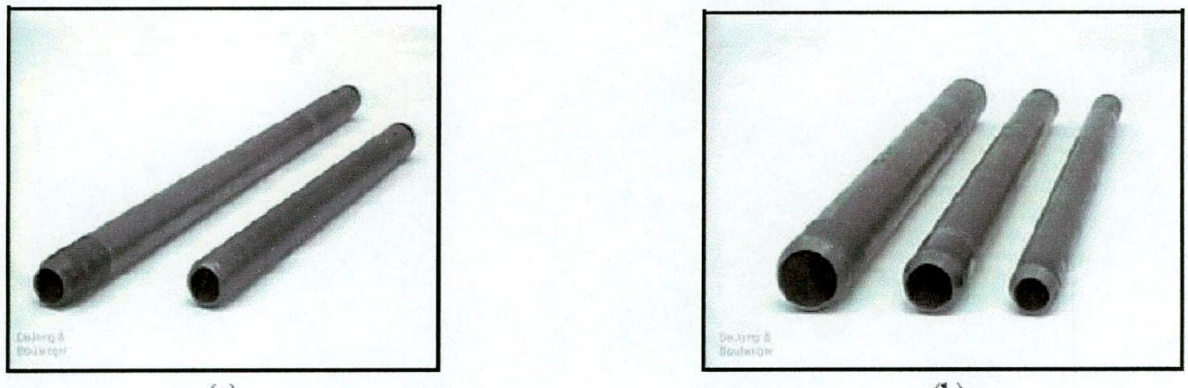
El valor óptimo de esta relación depende del diámetro, el diseño, del método de operación, y especialmente de las características del suelo. Según Hvorslev, se recomienda valores de 0.75% a 1.5% para muestreadores largos y menores o iguales a 0.5% para muestreadores cortos [6], [3], [2].

La longitud límite de la muestra se la conoce como Longitud Segura de Muestra L_S, definida como longitud máxima de muestra inalterada que puede obtenerse en un solo ensayo. Para un muestreador fabricado, operado, e hincado correctamente, de 2 a 3 pulgadas de diámetro interior del tubo D_M, los valores de L_S puede expresarse de la siguiente forma:

$L_S = (5_a_10)D_M$ Suelos poco cohesivos sueltos o densos

$L_S = (10_a_20)D_M$ Suelos cohesivos firmes a muy blandos

Los valores de L_S menores pueden aplicarse a muestreadores de diámetro mayor y los valores mayores a muestreadores de diámetro menor [3].



(a) (b)

Fig. 2.12 Muestreadores de tubo partido. (a) Longitudes de 457 mm (18 in) y 610 mm (24 in); (b) diámetros internos de 38.1 mm (1.5 in) a 89 mm (3.5 in).

FUENTE: Internet

2.4.2. CUCHARÓN RASPADOR

El muestreador raspadora es un equipo que se utiliza para muestrear suelos arenosos o mezclas de suelos arenosos con guijarros bajo el nivel freático [5]. La

muestra obtenida es una muestra representativa alterada. El dispositivo básicamente consta de una punta de hincado, de una parte cilíndrica con una abertura longitudinal de entrada al espacio libre interno para almacenar la muestra y un acople para unir el muestreador con las barras de perforación. Cuando el muestreador haya tocado el fondo de la perforación se ejecuta el muestreo rotando el cucharón para cortar el material de la pared lateral de la perforación con la cuchilla de la abertura de entrada, permitiendo así el ingreso del material al espacio libre interno [2], [3].

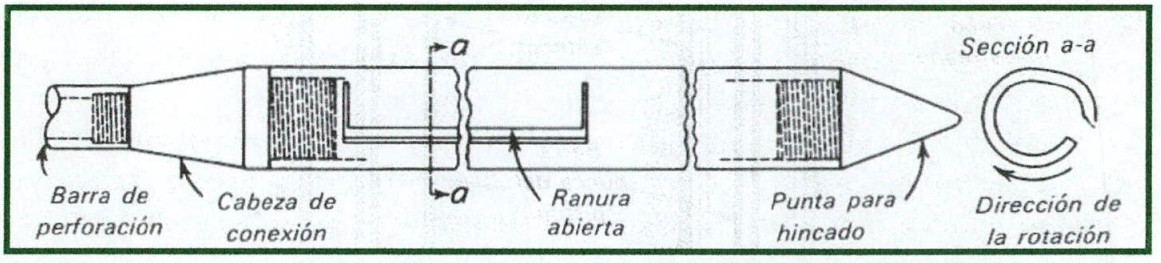


Fig. 2.13 Corte esquemático de un muestreador raspadora

FUENTE: Peck, Hanson, thornburn, 2004.

2.4.3. TUBO DE PARED DELGADA

El tubo de pared delgada es un muestreador que se utiliza en suelos cohesivos. El objetivo principal de su uso es reducir en menor grado los cambios de las condiciones de la muestra de suelo "in situ".

Los tubos de pared delgada también conocidos como Tubos Shelby, están diseñados para obtener muestras con el menor grado de alteración por desplazamiento y fricción. Según Hvorslev, el grado de perturbación que produce el muestreador depende del procedimiento de hincado, si se desea que el grado de alteración sea mínimo, el hincamiento debe ser realizado aplicando presión continua y no utilizando algún método dinámico [5].

Los tubos se fabrican en acero moldeado al frio, con diámetros exteriores que van desde 50.8 mm (2 pulg) hasta de 127 mm (5 pulg) y espesores que van desde 1.27 mm (1/20 pulg) hasta de 1.25 mm (1/8 pulg) y tienen longitudes máximas de 76 a 91 cm (30 a 36 pulg). Con estos espesores las relaciones de área está en el orden del

13%. El muetreador tiene su extremo inferior afilado de afuera hacia adentro y además ligeramente doblado hacia el interior para que la relación de tolerancia interior esté entre los límites [3].

El tubo de pared delgada consta también de una boquilla de acople para ser conectada a las barras de perforación. La boquilla también tiene en su parte interna una válvula de control que permite el flujo de agua del tubo muestreador hacia las barras de perforación y que impide el flujo contrario.

Para realizar el muestreo se acopla el muestreador a las barras de perforación y se baja lentamente hacia el fondo de la perforación y se aplica presión para hincarlo preferiblemente en forma rápida y continua hasta que falten unos 15 cm (6 pulg) para llenarlo. Después que se ha hincado lo suficiente el tomamuestras, se gira las barras de perforación para cortar y separar la muestra del suelo natural [3].

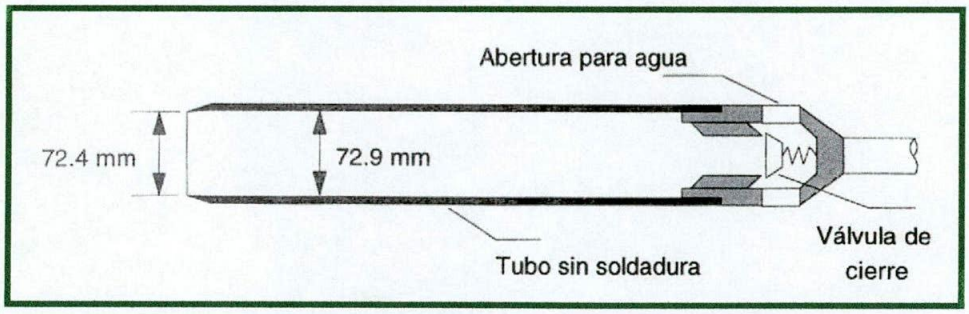


Fig. 2.14 Corte esquemático de un muestreador de

FUENTE: Delgado, 2004.

Fig. 2.15 Tubo Shelby

FUENTE: Liu, Eventt, 2004 pared

2.4.4. MUESTREADOR DE PISTÓN

El muestreador de pistón es una herramienta que se utiliza para muestrear suelos blandos o de baja consistencia, pudiendo obtenerse muestras de suelo con diámetros mayores a 76.2 mm (3 pulg) y hasta muestras de arena bajo el nivel freático [2], [3].

El muestreador de pistón es considerado como una variante del tubo de pared delgada, básicamente está constituido de un tubo de pared delgada en el que va colocado un pistón con un diámetro tal que se ajusta al diámetro interno del extremo de hincado del tubo de pared delgada.

Para obtener la muestra se acopla el muestreador a las barras de perforación y se baja lentamente al fondo de la perforación. La superficie inferior del pistón queda en contacto con la superficie del fondo, entonces mientras permanece estable el pistón se aplica presión estática para hincar el muestreador hasta que quede lleno [3].

La muestra obtenida es una muestra con menor grado de alteración que las muestras obtenidas con el tubo de pared delgada, puesto que el pistón impide que el suelo se aplaste rápidamente en el tubo muestreado al no ingresar suelo adicional [2], y que suelos blandos se escurran dentro del tubo muestreador. El pistón también

ayuda a mantener la longitud de la muestra que puede ser recuperada creando un ligero vacío que ayuda a retener la muestra si la columna de suelo comienza a separase del pistón [3].

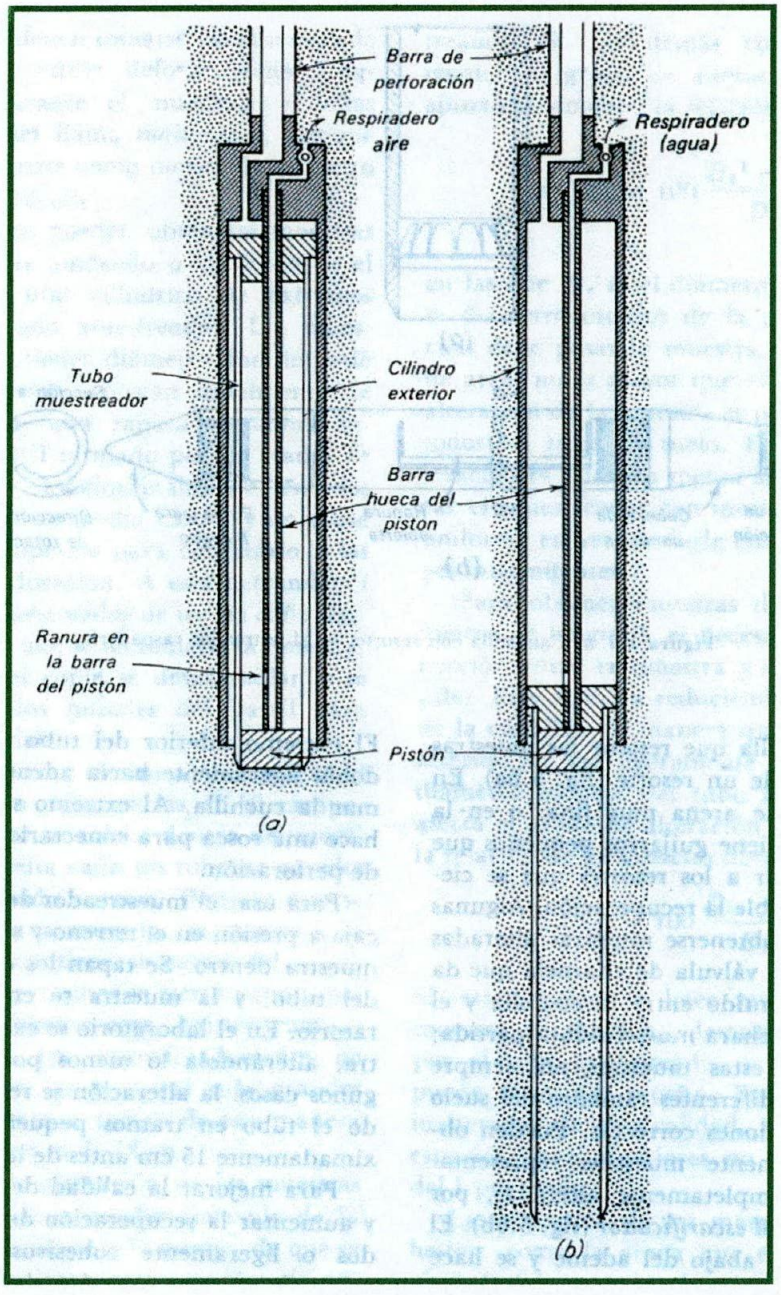


Fig. 2.16 Muestreador de pistón de funcionamiento hidráulico. (a) En la superficie del fondo del agujero las barras se mantienen en una posición fija. (b) Tubo muestreador después de haberse hincado por presión hidráulica.

FUENTE: Peck, Hanson, 2004.

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO

OBJETIVO:

Conocer el procedimiento de la implementación del equipo.

3.1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de investigación del subsuelo se dividen en métodos directos que se basan en las perforaciones y los métodos indirectos como los sondeos dinámicos y estáticos. Por la gran importancia de la investigación del subsuelo en el desarrollo de un proyecto, los datos deben ser obtenidos con la mejor precisión posible.

Los datos de muestras de suelo obtenidos en el laboratorio, nos garantizan de mejor forma la veracidad de los resultados. La perforación del suelo nos permite obtener muestras a diferente profundidad y realizar algún otro ensayo

Para realizar una perforación es necesario tener un conocimiento claro de las características del proyecto y del sitio de implantación del mismo. Pero generalmente cuando se requiere realizar perforaciones, se encuentra poca disponibilidad de equipos de perforación adecuados. En un proyecto lo que realmente se necesita, es un equipo versátil, transportable, de fácil operación y de bajo costo.

Para dar solución a los requerimientos anteriores, surge la idea de ampliar las posibilidades de uso del equipo de ensayo SPT, sin poner en riesgo sus posibilidades de uso básico. Se trata de utilizar doblemente este equipo, para realizar el ensayo SPT y para realizar el ensayo exploratorio de perforación por percusión. Para la implementación de este ensayo es necesario incrementar los elementos y dispositivos necesarios que nos permitan cumplir con tal objetivo.

3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS

Para cumplir con este objetivo, se debe diseñar y construir los elementos de un equipo de perforación que debe permitir lo siguiente:

- Que la perforación pueda ser realizada por impacto del martillo del ensayo SPT
- Perforar un agujero en el que se pueda realizar el ensayo SPT
- Ser utilizado en suelos saturados y bajo el nivel freático
- Recuperar los elementos del equipo de perforación

Para cumplir con las condiciones anteriores, el equipo a construirse debe basarse en los principios de los sondeos dinámicos y la perforación por percusión.

Para realizar los sondeos dinámicos generalmente se utiliza puntas que al ser hincadas al suelo, la superficie cónica va desplazando el material en forma radial, permitiendo la formación de un agujero o pozo.

La perforación por percusión se realiza por efecto de levantar y dejar caer repetidamente el elemento de perforación contra la superficie del fondo del agujero, para desprender y triturar el material existente, y poder extraerlo posteriormente.

Por tanto el equipo que se decide construir contendrá una punta cónica que será hincada por la energía que se produce al levantar y dejar caer una masa de 63.5 kg contra la parte superior de las barras de perforación conectadas a la punta.

Para que la perforación pueda desarrollarse en suelos saturados, se decide construir un elemento que mientras se perfora también se hinque tubería de revestimiento, para evitar el colapso de las paredes del agujero y poder realizar el ensayo SPT.

Para lograr que la tubería de revestimiento sea hincada mientras se perfora, se decide construir como elemento principal de perforación una punta cónica de acero con arandela de tope externo (Fig. 3.1) y una boquilla con tope interno que nos permita enganchar dicha tubería. Tanto la punta cónica como la boquilla de enganche, deben tener rosca de acople interna en el extremo.

La punta constituye un cono recto de 60º, para aplicar los principios básicos del Cono dinámico CPT, como es la de maximizar la fuerza y disminuir la resistencia a la penetración en el suelo.

La boquilla deberá tener un diámetro mayor que la tubería de revestimiento (Fig. 3.2) para generar un sobreancho en la perforación y permitir que la tubería de revestimiento sea liberada del rozamiento con las paredes del agujero.

La disminución del rozamiento entre la tubería de revestimiento y las paredes del agujero nos permitirá incrementar el avance de la perforación y posteriormente extraer los elementos con mayor facilidad.

Para establecer el diámetro máximo que deberán tener la punta y la boquilla se fundamenta en los siguientes criterios:

El diámetro de la punta será ligeramente mayor que el diámetro del tubo partido para que luego de realizar la perforación pueda ser extraída y sustituida por el tubo partido para realizar el ensayo SPT.

El diámetro de la boquilla está sujeto al diámetro de la tubería de revestimiento. Pero deberá ser el mínimo necesario, para lograr que el desplazamiento del suelo sea el mínimo, y disminuir la fricción de la tubería con las paredes del agujero.

El diámetro de la tubería de revestimiento debe ser el diámetro mínimo comercial que más se ajuste a los requerimientos señalados.

Luego de establecer los diámetros, se procede al diseño de los elementos y se establece que para armar el elemento, la punta se enroscará a las barras de perforación y la boquilla a la tubería de revestimiento, luego, se pasará la punta con la barra a través de la tubería con la boquilla hasta que los topes entre en contacto. El equipo así armado (Fig. 3.3) podrá ser hincado al piso con la ayuda del equipo del SPT.

Las dimensiones de diseño de cada elemento están dadas en pulgadas, y se presentan en las siguientes figuras:

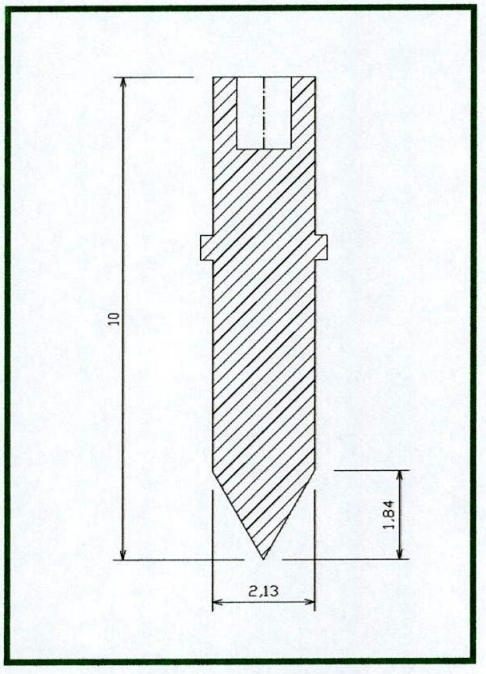


Fig. 3.1 Punta con arandela de tope

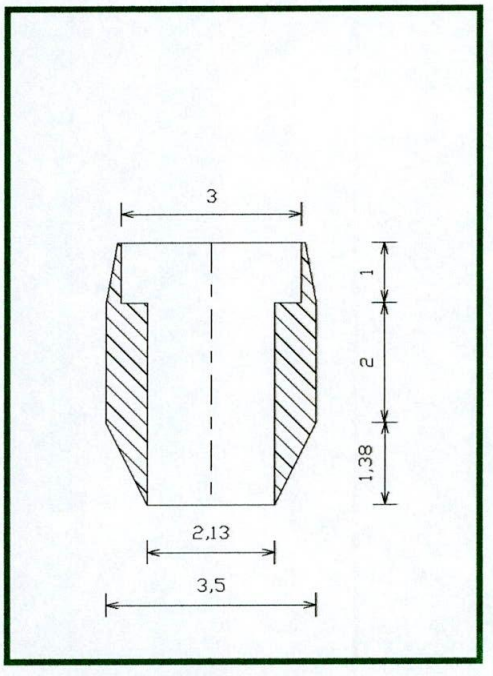


Fig. 3.2 Boquilla con tope interno

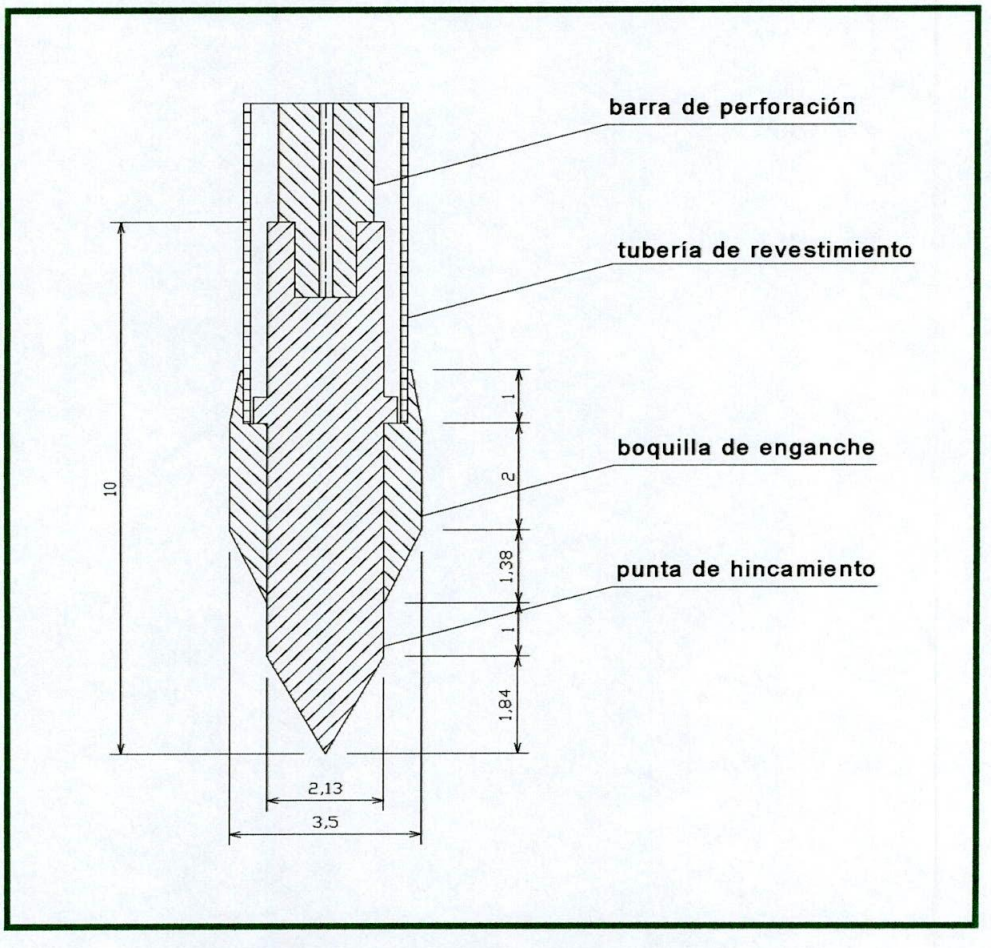


Fig. 3.3 Corte esquemático del elemento armado

Luego de revisar el funcionamiento en diseño del equipo se procedió a la elaboración de los elementos, los mismos que son presentados en las siguientes figuras:

Fig. 3.4 Punta perforadora

Fig. 3.5 Boquilla de enganche

Fig. 3.6 Punta y boquilla

Fig. 3.7 Punta, boquilla y tubería de revestimiento.

3.3. PRUEBAS DE CAMPO

Luego de haber fabricado el equipo de perforación se procede a realizar las pruebas de campo. Las Primeras pruebas de campo se realizaron en suelo arcilloso. Y fueron realizadas con la tubería de revestimiento inicial de 2.5 m y se llegó hasta una profundidad aproximada de 2 m. En las siguientes figuras se muestra el desarrollo de las pruebas:

Pruebas en suelo arcilloso:

Fig. 3.8 Colocación del equipo

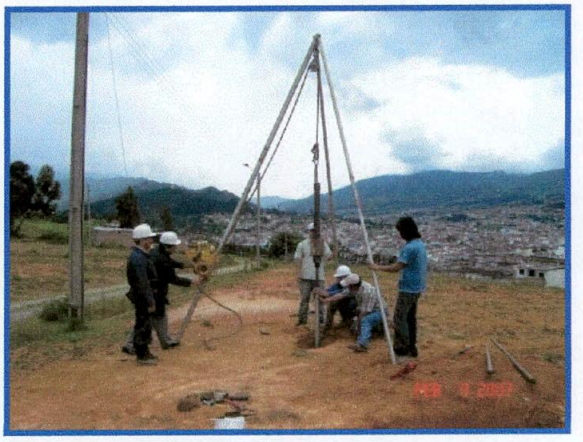


Fig. 3.9 Proceso de hincamiento del equipo

Fig. 4.10 Sustitución del de la punta por el tubo partido

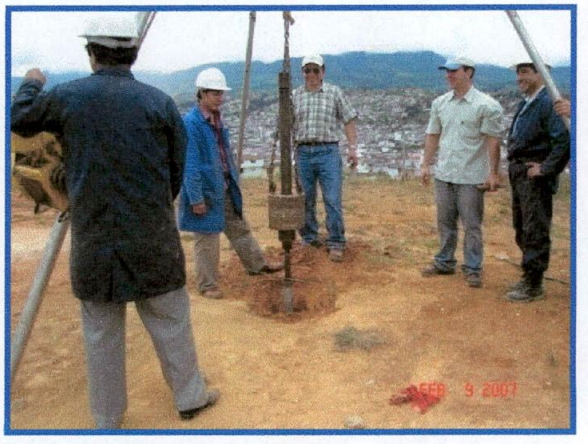


Fig. 4.11 Hincamiento total de un tramo de tubo de revestimiento

3.4. OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO

La optimización del equipo se basa en las experiencias de campo realizadas, básicamente se trata de construir dispositivos y elementos que permitan realizar la perforación con mayor versatilidad.

Las experiencias de campo realizadas permitieron establecer la posibilidad de simplificar el equipo para usarlo en suelos no saturados en los que las paredes de la perforación se mantienen estables.

Por tanto, el criterio básico es el siguiente: Si las paredes de la perforación se mantienen estables, entonces no es necesario utilizar tubería de revestimiento para continuar la perforación. De forma que se establece la necesidad de diseñar un nuevo elemento para ser hincado sin la tubería de revestimiento. El elemento que se decide construir es una punta cónica que pueda ser conectada a las barras de perforación para ser hincada con el mismo procedimiento del equipo anterior.

Las dimensiones de diseño del elemento están dadas en pulgadas, y se presentan en la siguiente figura:

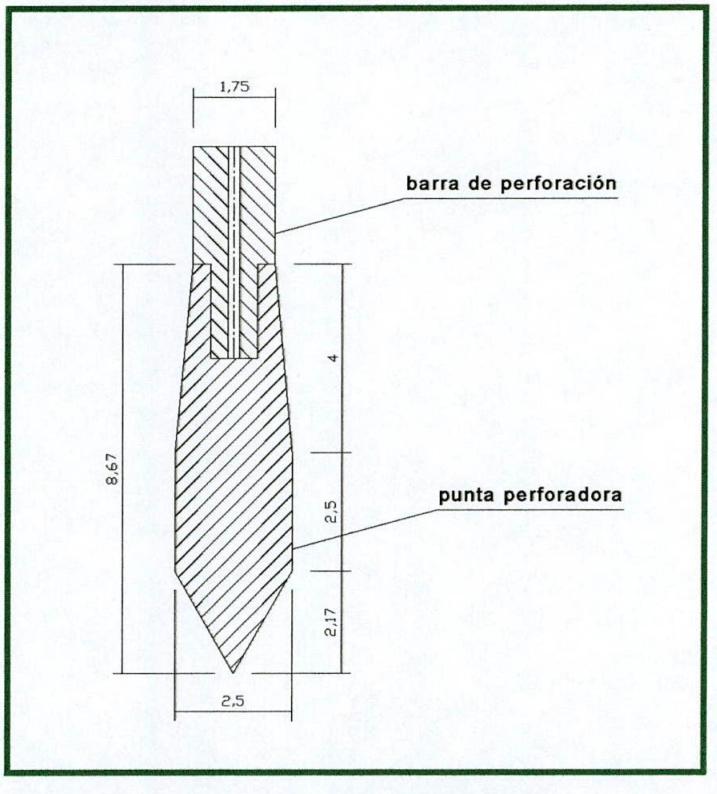


Fig. 3.12 Corte esquemático de la punta perforadora

Luego del diseño se procedió a elaborar la puta, la misma que se muestra en las siguientes figuras:

Fig. 3.13 Punta perforadora

Fig. 3.14 Punta unida a la barra de perforación

Se fabricó también, una boquilla de acople que sirve para unir la guía de la pesa con la tubería de revestimiento, para que dicha tubería pueda ser extraída con la fuerza del motor. Y una boquilla tipo arandela que nos sirve para mantener las barras de perforación en el centro de la tubería de revestimiento durante la perforación.

Fig. 3.15 Boquilla de dirección

Fig. 3.16 Tramo de perforación armado

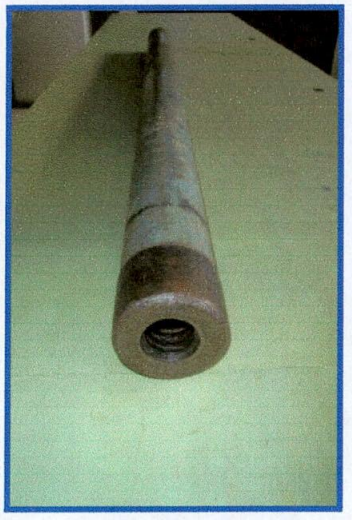


Fig. 3.17 Boquilla de extracción

Fig. 3.18 Tramo de extracción armado

Luego de fabricar estos elementos se procedió a realizar las pruebas de campo en suelos aluviales y posteriormente en suelos arenosos.

Pruebas en suelos aluviales:

En las pruebas realizadas en suelos aluviales con el equipo sin la tubería de revestimiento se llegó hasta una profundidad aproximada de 3.20 m y utilizando la tubería de revestimiento se llegó hasta una profundidad aproximada de 2.80 m.

Las pruebas desarrolladas en suelos aluviales resultaron muy complicadas por la presencia de partículas de gran tamaño que impidieron seguir realizando la perforación.

Con el propósito de realizar ensayos SPT a profundidades predeterminadas se tuvo que fabricar tramos intermedios de barras de perforación y tubería de revestimiento, puesto que cada barra de perforación original tiene una longitud de 60 pulgadas lo cual obstruye la altura de caída de la pesa.

Fig. 3.17 Perforación sin tubería

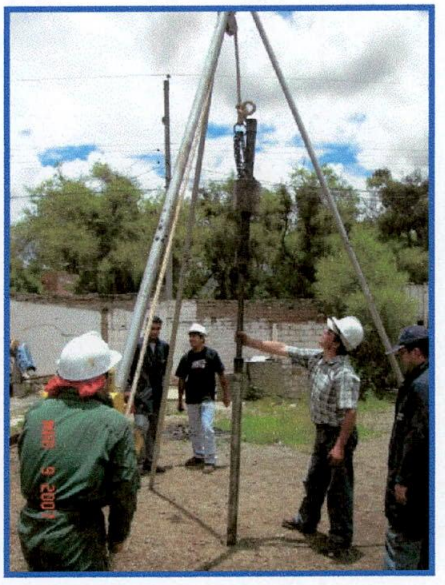


Fig. 3.18 Perforación con tubería

Pruebas en suelo arenoso:

En las pruebas realizadas en suelos arenosos con el equipo sin tubería de revestimiento se llegó hasta la profundidad de 13.50 m aproximadamente, mientras que utilizando la tubería de revestimiento se llegó aproximadamente hasta los 5.0 m de profundidad.

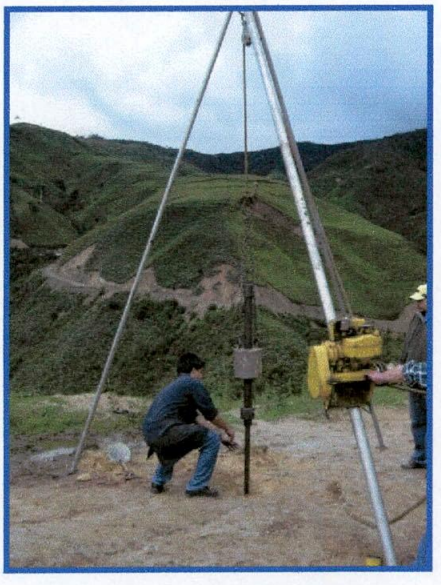


Fig. 3.19 Perforación solo con la punta perforadora

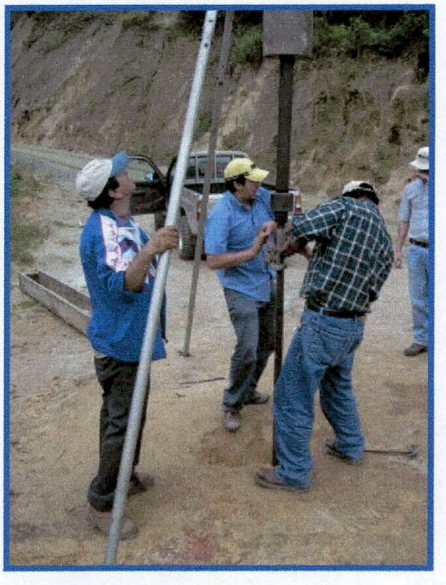


Fig. 3.30 Prueba de extracción de las barras de perforación

3.5. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

COSTO DE PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN					
ESPECIFICACIONES:					
RENDIMIENTO: **1.5 m/h**					
Ítem	**Equipo**	**Cantidad**	**Tarifa**	**Costo/Hora**	**Costo**
1	Herramienta menor (5% MOP)	0.00	0.0000	0.000	0.250
2	Equipo de ensayo SPT	1.00	2.4900	2.490	1.660
				SUBTOTAL:	1.910
Ítem	**Mano de obra**	**Cantidad**	**Jor/Hora**	**Costo/Hora**	**Costo**
1	Peón	4.00	1.5000	6.000	4.000
2	Operador de equipo liviano	1.00	1.5000	1.500	1.000
				SUBTOTAL:	5.000
Ítem	**Materiales**	**Unidad**	**Cantidad**	**P. Unit.**	**Costo**
1	Cable Manila	m	0.0525	1.500	0.079
2	Puntas de acero	u	0.0050	40.000	0.200
3	Barras de perforación	u	0.0300	40.000	1.200
4	Tubería de revestimiento	u	0.0160	20.000	0.320
5	Uniones	u	0.0400	15.000	0.600
6	Accesorio equipo SPT	Global	1.0000	0.5000	0.500
				SUBTOTAL:	2.899
				TOTAL COSTO DIRECTO	9.809
				INDIRECTOS Y UTILIDADES 15%	1.471
				PRECIO DE CÁLCULO	11.280
				PRECIO UNITARIO ADOPTADO	11.28

NOTA: El costo de perforación no incluye el precio del transporte.

CAPÍTULO IV

4. APLICACIONES EN PROYECTOS

OBJETIVO:

Establecer procedimientos de aplicación del equipo y obtener datos de los ensayos realizados en el campo.

4.1. GENERALIDADES

Como en cualquier implementación de un equipo, luego de realizar las pruebas necesarias y probar su utilización, es inminente la aplicación del equipo en proyectos reales. Las pruebas de campo realizadas con este equipo en suelos arcillosos y arenosos demostraron que se podía avanzar hasta los 10 m de profundidad, permitiendo además realizar el ensayo SPT y la recuperación de los elementos de perforación del equipo. Tales resultados permitieron tener la confianza necesaria para utilizar el equipo en proyectos reales.

La primera aplicación del equipo se desarrolló en La Ciudad de Loja, Ciudadela Reinaldo Espinosa. En esta localidad se requería realizar perforaciones para colocar equipos de monitoreo para control de movimiento de masas. Las perforaciones se realizaron en suelo arcilloso saturado, para lo cual fue necesario utilizar tubería de revestimiento.

Una de las aplicaciones más importantes que se realizó fue en el proyecto del Plan Maestro de agua potable de la Ciudad de Loja. Las perforaciones fueron realizadas en diferentes puntos a lo largo de la línea de conducción localizada en un sector de la cuenca de Tambo Blanco en la parte alta de La Provincia de Zamora Chinchipe. Las perforaciones realizadas en su mayoría se desarrollaron en mezclas de suelo arenoso y limo arcilloso con presencia de clastos de roca para lo cual solamente se utilizó la punta perforadora.

4.2. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DEL EQUIPO

El equipo ha sido utilizado en sus dos modalidades: Utilizando tubería de revestimiento y utilizando solo la punta perforadora.

En la Ciudadela Reinaldo Espinosa donde se tiene problemas de movimiento de suelo, las perforaciones fueron realizadas en suelo arcilloso con elevado contenido de humedad, por lo que fue necesario utilizar tubería de revestimiento para evitar que las paredes de la perforación colapsen y poder realizar los ensayos SPT.

La perforación se desarrolló, hincado el equipo y sustituyendo la punta por el tubo muestreador cuando era necesario realizar ensayos SPT.

Durante la perforación, luego de extraer el tubo partido con la muestra, la velocidad de hincamiento del equipo aumenta, puesto que en el espacio que queda del muestreador el esfuerzo necesario para desplazar y confinar el material es menor que en el suelo natural.

Con este equipo y en este tipo de suelo, fue posible realizar ensayos SPT con facilidad, aproximadamente a 6 m de profundidad. La perforación terminó cuando la razón de ingreso del equipo estuvo alrededor de 1.5 cm por cada 10 golpes del martillo.

Las siguientes figuras muestran el sitio donde se perforó utilizando tubería de revestimiento:

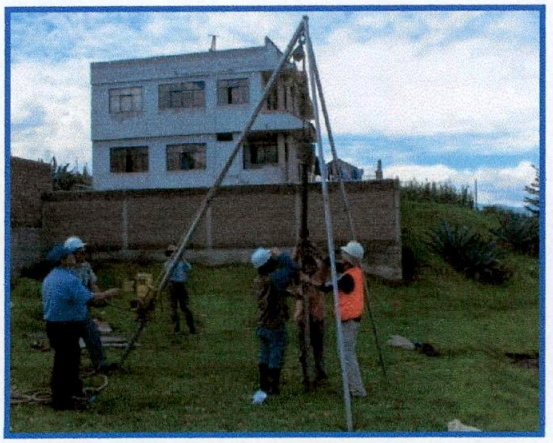


Fig. 4.1 Acoplando elementos del equipo

Fig. 4.2 Controlando profundidad de la perforación

Cuando se perfora utilizando tubería de revestimiento es importante tener en cuenta aspectos importantes que facilitan el desarrollo de la perforación. Por la experiencia adquirida se puede decir que para comenzar la perforación por este método, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Controlar que los elementos del equipo de perforación estén limpios y lubricados
- Realizar una limpieza manual del sitio designado para realizar la perforación
- Plantar y asegurar correctamente el trípode con el motor en el lugar a perforar
- Asegurar un espacio necesario para movilizar la pesa con la guía, en dirección opuesta a la pata del trípode que soporta el motor
- Determinar la vertical desde el canal de la polea al piso para determinar el punto de inicio de la perforación
- Colocar verticalmente el equipo en el punto de inicio de la perforación
- Iniciar la perforación con pequeñas alturas de caída de la pesa manteniendo el equipo vertical hasta unos 50 cm de profundidad
- Luego de terminada la perforación es importante extraer inmediatamente la tubería de revestimiento, para evitar que esta se confine y dificulte la extracción

Cuando se perfora utilizando solo la punta perforadora, la perforación se desarrolla ingresando la punta hasta una profundidad determinada. Como las paredes de la perforación permanecen estables, la punta perforadora es sustituida por el muestreador de tubo partido para realizar el enrayo SPT.

En el proyecto del Plan Maestro de agua potable, en el que solo se utilizó la punta perforadora, las solicitaciones de información del subsuelo fueron mayores, por lo que se combinó el método de perforación utilizando posteadora y el método de perforación por percusión.

La perforación se iniciaba perforando con la posteadora hasta 1 m de profundidad. A partir de esta profundidad se realizaba el ensayo SPT y se extrae muestra de este mismo tramo con la ayuda de la porteadora, y se llega hasta la profundidad de 1.5 m. La perforación continua utilizando la punta perforadora y ensanchando la perforación con la porteadora hasta la profundidad de 2 m. Luego si no se realiza algún otro ensayo, se repite el ciclo realizando otro ensayo SPT y extrayendo la muestra.

Las siguientes figuras muestran sitos donde se perforó utilizando la punta perforadora:

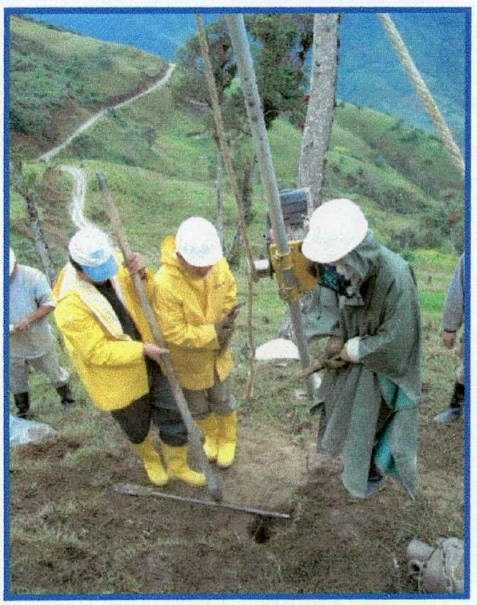


Fig. 4.3 Utilizando punta perforadora

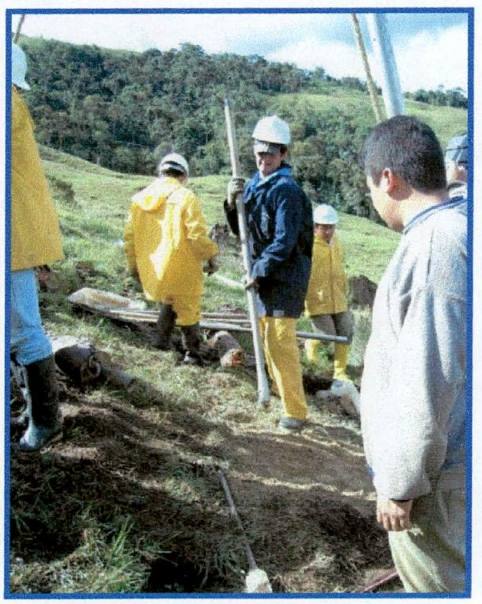


Fig. 4.4 Utilizando punta perforadora

4.3. DETERMINACIÓN Y RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE PERFORACIONES REALIZADAS

El propósito de las perforaciones realizadas en la ciudadela Reinaldo Espinosa a parte de los datos obtenidos de los ensayos SPT fue determinar: el nivel freático, el tipo de material existente en el subsuelo, el cambio de estratos del subsuelo y obtener una perforación que permita instalar equipos de monitoreo.

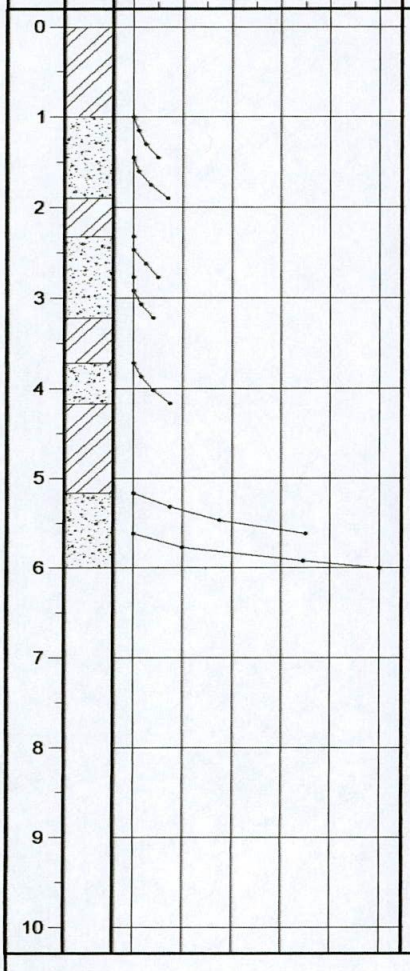
En la Tabla 1 se detalla los datos de campo obtenidos.

En el proyecto del plan maestro de agua potable, con el propósito de correlacionar la información sobre el número de golpes utilizados en la perforación por percusión con respecto a los utilizados en el ensayo SPT, se contabilizó el número de golpes necesarios para hincar cada tramo de 20 cm la punta perforadora.

En la Tabla 2 se detalla la información de las perforaciones realizadas utilizando la punta perforadora.

TABLA 1: DATOS SOBRE ENSAYOS SPT

PROYECTO: **Multinacional Andino.** **Monitoreo: movimiento de masas** **Cdla. Reinaldo Espinosa**	GPS: **ALT: 2265** **E: 698049** **N: 9556540**	FECHA: **02/08/2006**	PERFORACIÓN NO. **01**



INFORMACIÓN SOBRE PROFUNDIDAD	INFORMACIÓN SOBRE NÚMERO DE GOLPES			OBSERVACIONES
	15	30	45	
0.00 - 1.00				
1.00 - 1.45	2	3	5	
1.45 - 1.90	2	5	7	
1.90 - 2.32				
2.32 - 2.77	0	5	5	
2.77 - 3.22	0	3	5	
3.22 - 3.72				
3.72 - 4.17	3	5	7	
4.17 - 5.17				
5.17 - 5.62	15	20	35	
5.62 - 6.00	20	49	31	

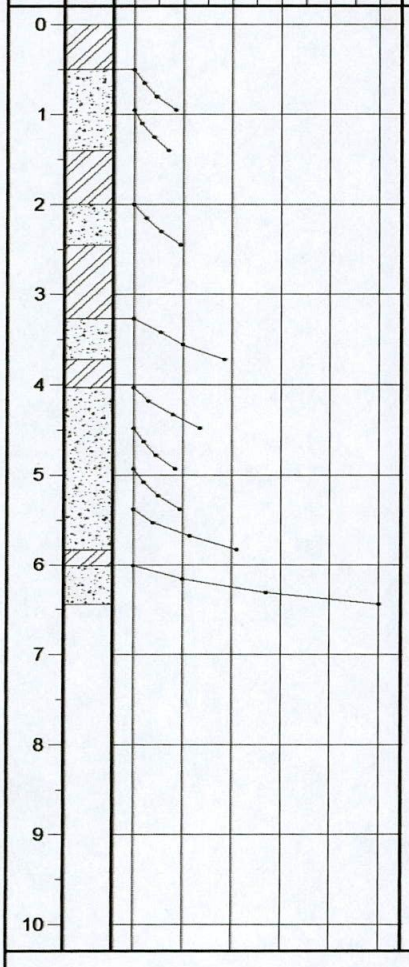
SIMBOLOGÍA

PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN

EJECUSIÓN DE ENSAYOS SPT

NOTA: Para realizar el ensayo SPT se perforó utilizando tubería de revestimiento

PROYECTO: **Multinacional Andino.** **Monitoreo: movimiento de masas** **Cdla. Reinaldo Espinosa**	GPS: **ALT: 2233** **E: 0698102** **N: 9955656**	FECHA: **03/08/2006**	PERFORACIÓN NO. **02**



INFORMACIÓN SOBRE PROFUNDIDAD	INFORMACIÓN SOBRE NÚMERO DE GOLPES			OBSERVACIONES
	15	30	45	
0.00 - 0.50				
0.50 - 0.95	4	5	8	
0.95 - 1.30	3	5	6	
1.30 - 2.00				
2.00 - 2.45	5	6	8	
2.45 - 3.27				
3.27 - 3.72	11	10	16	
3.72 - 4.03				
4.03 - 4.48	6	10	11	
4.48 - 4.93	4	5	8	
4.93 - 5.38	4	6	9	
5.38 - 5.83	8	15	19	
5.83 - 6.01				
6.01 - 6.44	20	34	46	

SIMBOLOGÍA

PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN

EJECUSIÓN DE ENSAYOS SPT

NOTA: Para realizar el ensayo SPT se perforó utilizando tubería de revestimiento

TABLA 2: DATOS SOBRE PERFORACIONES EN LAS QUE SE UTILIZÓ LA PUNTA PERFORADORA

PROYECTO: **Plan maestro de agua potable de la Ciudad de Loja**								
FECHA	**PERFORACIÓN NO.**	**ABSCISA (m)**	**GPS (m)**	**PROFUNDIDAD (m)**	**NÚMERO DE GOLPES**			**OBSERVACIONES**
					20	**40**	**60**	
06-08-01	01	4 + 766	ALT: 2297 E: 0707566 N: 9580390	2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6 6.5 - 7	8 7 18 16 38	6 7 22 21 44	8 8 21 39 39	
06-08-02	02	4 + 699.8	ALT: 2320 E: 0707614 N: 9580428	1.5 - 2 2.5 - 3 4.5 - 5 5.5 - 6	3 2 6 89	3 3 6	5 3 6	Presencia de roca a 5.7 m.
06-08-03	03	6 + 600:	ALT: 2401 E: 0707200 N: 9578888	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6 6.5 - 7	6 10 6 12 7	8 9 7 8 12	9 10 10 9 9	No se registra datos
06-08-04	04	6 + 600: 85	ALT: 2375 E: 0707254 N: 9578864	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5	2 2 10 2	2 2 41 30	3 4 28 28	
06-08-08	05	6 + 600	ALT: 2332 E: 0707314 N: 9578838	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6 6.5 - 7 7.5 - 8	4 9 14 14 9 25	6 9 12 11 12 24	10 13 11 11 13 31	No se registra datos
06-08-09	06	7 +477	ALT: 2359 E: 0707215 N: 9578352	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6 6.5 - 7 7.5 - 8 8.5 - 9	4 6 6 10 10 9 15 25	5 4 7 11 11 13 24 24	5 6 7 11 11 13 32 32	

PROYECTO: **Plan maestro de agua potable de la Ciudad de Loja**

FECHA	PERFORACIÓN NO.	ABSCISA (m)	GPS (m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES			OBSERVACIONES
					20	40	60	
06-08-09	07	8 + 069	ALT: 2341 E: 0707433 N: 9578006	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6	9 4 6 6 6	4 5 7 9 11	3 6 7 12 52	
06-08-16	08: A 08: B 08: C	8 + 865: 92	ALT: 2415 E: 0707182 N: 9577434	0 - 1 1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 0 - 2	 2 2 27	 3 8 50	 3 8 	Presencia de roca a 1 m. Presencia de roca a 4.9 m. Presencia de roca a 2 m.
06-08-16	09: A 09: B 09: C	8 + 865: 30	ALT: 2401 E: 0707219 N: 9577410	1.5 - 2 2.5 - 3 4.5 - 5 5.5 - 6 0 - 2.5 0 - 6 6.5 - 7 7.5 - 8	21 5 12 24 7 16	13 4 14 52 8 20	6 7 14 9 10	 Presencia de roca a 6.9 m. Presencia de roca a 2.5 m. No se registra datos
06-08-17	10	9 + 000	ALT: 2425 E: 0707139 N: 9577304	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6 6.5 - 7 7.5 - 8	1 2 6 8 9 15 18	3 4 10 6 14 15 17	3 4 21 5 15 14 19	
06-08-17	11	9 + 000	ALT: 2406 E: 0707170 N: 9577296	1.5 - 2 2.5 - 3 3.5 - 4 4.5 - 5 5.5 - 6	6 6 11 20 17	4 7 14 12 18	3 8 8 15 29	
06-08-18	14: A 14: B	9 + 897	ALT: 2333 E: 0707010 N: 9576584	0 - 1 1.5 - 2 2.5 - 3	 16 40	 26 34	 30 22	Presencia de roca a 1 m.

PROYECTO: **Plan maestro de agua potable de la Ciudad de Loja**

FECHA	PERFORACIÓN NO.	ABSCISA (m)	GPS (m)	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO DE GOLPES			OBSERVACIONES
					20	40	60	
06-08-22	12	8 + 865	ALT: 2738	1.5 - 2	1	3	2	
			E: 0707260	2.5 - 3	1	2	5	
			N: 9577418	3.5 - 4	4	6	6	
				4.5 - 5	4	5	5	
				5.5 - 6	4	5	5	
				6.5 - 7	15	22	39	
				7.5 - 8	13	10	13	
				8.5 - 9	18	14	12	
06-08-23	13: A	9 + 000	ALT: 2380	1.5 - 2	8	5	5	
			E: 0707221	2.5 - 3	7	7	7	
			N: 9577304	3.5 - 4	11	10	10	
	13: B			0 - 4				No se registra datos
				4.5 - 5	4	6	7	
				5.5 - 6	5	6	8	
				6.5 - 7	5	8	11	
				7.5 - 8	15	27	40	

NOTA: Los literales A, B, C significan perforaciones realizadas en un mismo sector. Se realiza mas de una perforación por la razón de que se encontró roca a poca profundidad

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En base a los resultados y a experiencias adquiridas durante el desarrollo de esta investigación, se puede establecer las siguientes conclusiones:

- El método de perforación por percusión puede ser implementado en el equipo de ensayo SPT.
- Las perforaciones realizadas con este equipo permiten realizar ensayos SPT a profundidades de 10 a 15 m.
- El equipo permite realizar ensayos SPT en sitios de difícil acceso.
- Este método de perforación puede ser aplicado en suelos arcillosos y arenosos. Pudiendo encontrarse estos con humedades altas o bajas.
- El equipo no puede ser utilizado en suelos que contienen materiales rocosos o canto rodado, puesto que impiden el paso del equipo.
- Si durante la perforación la punta choca con alguna roca, no se debe forzar al equipo tratando de romper y traspasar la misma, para evitar daños consecuentes en el equipo.
- Si la perforación no es interrumpida por la presencia de alguna roca, la perforación debe concluir cuando se ha llegado a una profundidad establecida, o cuando el equipo de perforación ingresa de 1 a 2 mm por golpe de la pesa.
- El personal que vaya a utilizar este equipo, debe ser entrenado previamente para que conozca la metodología de la perforación y las medidas de seguridad que debe tomar.

5.2. RECOMENDACIONES

La implementación de este equipo ha permitido demostrar que a futuro se puede investigar alternativas de utilidad con otros equipos de laboratorio

- La información de campo sobre el número de golpes utilizado para perforar puede ser correlacionado con el número de golpes del ensayo SPT

- Las perforaciones realizadas utilizando tubería de revestimiento, podrían servir para hincar u hormigonar micropilotes, instalar equipos de monitoreo, controlar el nivel freático, etc.

- El equipo puede ser modificado total o parcialmente con el objeto de ampliar las posibilidades de investigación del subsuelo

- El equipo puede servir de base para construir nuevos equipos de perforación y muestreo

REFERENCIAS:

[1] Peck, Hanson, Thornburn, 2004. Ingeniería de Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. México.

[2] Braja M. Das, 2001. Principios de Ingeniería de Cimentaciones, Cuarta edición. Inernational Thomson Editores S. A., Madrid.

[3] Delgado V. Manuel, 2002. Ingeniería de fundaciones. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

[4] Braja M. Das, 2001. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Inernational Thomson Editores S. A., México.

[5] Juárez Badillo, 1998. Mecánica de Suelos, Tercera ed. Editorial Limaza, México. 1998.

[7] Donal P. Coduto, PE, GE, 1994. Fundation Design. Prentice-Hall, New Jersey.

[8] Schroeder, Dickenson, Don C. Warrigton, 2004. Soils in Construction, fifth ed. Pearson Education, New Jersey.

[9] Liu, Eventt, 2004. Soils and Fundations, sixth ed. Pearson Education, New Jersey.

CAPÍTULO VI

6. ANEXOS

6.1. ANEXO 1: EXTRACCIÓN DE MUESTRAS EN PERFORACIÓNES REALIOZADAS CON EL EQUIPO

Fig. 6.1 Muestra obtenida con el tubo partido

Fig. 6.2 Identificación y colocación ordenada de la muestra

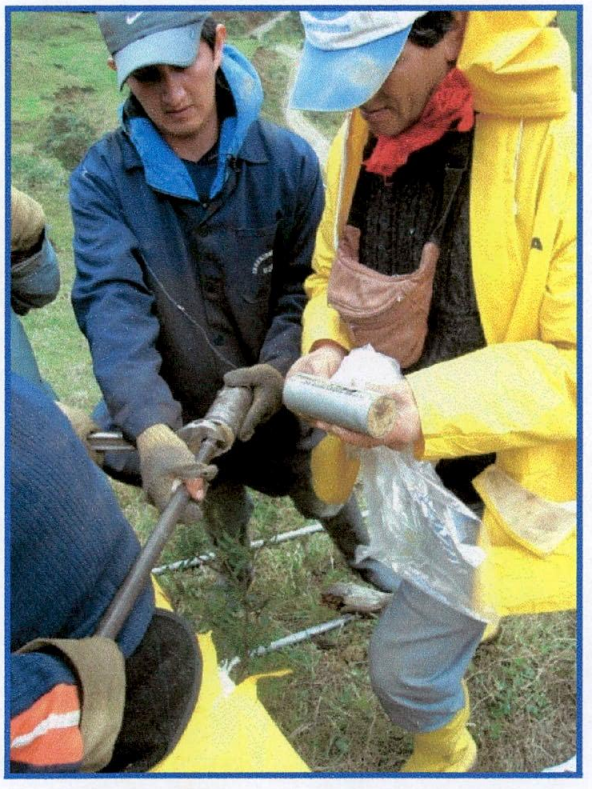


Fig. 6.3 Muestra obtenida con el tubo de pared delgada

Fig. 6.4 Muestra obtenida con la porteadora

6.2. ANEXO 2: COSTO HORARIO DE MOTOR ESTACIONARIO

CÁLCULO DE COSTO HORARIO DE EQUIPO PESADO			
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO:	EQUIPO DE ENSAYO SPT		
CONDICIONES DE OPERACIÓN	**MODELO**	**MARCA**	**CAPACIDAD**
MEDIAS		ELE	

Valor de rescate %	20	**Factor de consumo k**	0.75
Potencia (HP) P	8	**Tasa de interés anual i**	12%
Valor de adquisición $ Va	9,000.00	**Tasa de seguros s**	4%
Valor recidual Vr	1,800.00	**Vida útil años na**	5.00
Valor accesorios $ Vae	0.00	**Horas año ha**	2000.00
Vida útil accesorios $ Vuae	0.00	**Diesel (Gal) $**	0.00
Valor llantas (juego) $ Vll	0.00	**Gasolina (Gal) $**	1.48
Vida útil llantas (horas) Vull	0.00	**Grasa (Kg) $**	1.04
Lubricantes (Gal) $ lub	8.00	**Salario real diario operador $**	0.00

CONCEPTO	FÓRMULAS	USD$/HORA
VIDA EN HORAS Ve	Ve=na*ha	10,000.00
DEPRECIACIÓN	D=(Va-Vr)/Ve	0.72
INVERSIÓN	I=((Va+Vr)*i)/(2*ha)	0.32
SEGUROS	S=((Va+Vr)*s)/(2*ha)	0.11
MANO OBRA MANTENIMIENTO	MM=0.23*D*k	0.12
REPUESTOS	R=0.7425*D*k	0.40
DIESEL	Di=0.04*P*$/gal	0.00
GASOLINA	G=0.061*P*$/gal	0.72
LUBRICANTES	L=(.00132*lub+0.001grasa)*P	0.09
ARTÍCULOS ESPECIALES	AE=Vae/Vuae	0.00
LLANTAS	LL=Vll/Vull	0.00
MATRÍCULA MOP	MOP=0.001*Va/ha	0.00
MANO OBRA OPERACIÓN	srd/8	0.00
TOTAL	T=D+...+srd/8	2.49
COSTO INDIRECTO	0%	0.00
	COSTO HORARIO	2.49

Adaptado de **COSTOS DE CONSTRUCCIÓN PESADA** - Carreteras y puentes, Ing. Wilfrido Merino C., MOP Departamento de publicaciones, Edición 1992, p. 241A