PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE EXCAVACIÓN MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR "m" EN ARENAS NO PLÁSTICAS, PARA LA EXCAVACIÓN DE ZANJAS DE ALCANTARILLADO, EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

ORIANA PATRICIA GHIA RÍOS

DIRECTOR: ING. JUAN MERIZALDE

QUITO, 2017

DEDICATORIA

Este trabajo de disertación para la obtención del título de ingeniero civil, se lo dedico a Dios, a mi familia en especial a mi madre Patricia Ríos, padre Elías Ghia, hermanos Dustin y David; amigos, el Ing. Luis Eduardo Rivera Chica, Damián Ghia y Fast Ghia, quienes han hecho de mí, una persona perseverante, optimista y agradecida.

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mi familia, quienes con su amor me llenan de confianza para seguir adelante; a mis amigos en especial a Luis Eduardo Rivera Chica, al Director de mi trabajo Ing. Juan Merizalde, maestro en la carrera de Ingeniería Civil, quien con su sabiduría y paciencia ha hecho posible la culminación de mi trabajo de disertación; además a los Profesores Correctores, Ing. Juan Carlos Montero e Ing. Jorge Bucheli, mismos que con su mística profesional me brindaron su tiempo y conocimientos, para culminar este trabajo académico.

ÍNDICE

RESUMEN 1
1. CAPÍTULO I 2
1.1 Introducción 2
1.2 Antecedentes 3
1.2.1 Entibaciones 4
1.3 OBJETIVOS 6
1.3.1 Objetivo General 6
1.3.2 Objetivos Específicos 6
1.3.2.1 Determinar el factor "m" de arenas no plásticas en el Distrito Metropolitano de Quito. 6
1.3.2.2 Evaluar los valores del factor "m", y verificar si sus resultados son sustanciales en el aumento de la eficiencia para la excavación de zanjas de alcantarillado. 6
1.3.2.3 Comparar las eficiencias de máquinas excavadoras antes y después de una correcta determinación del factor "m". Y de esta manera demostrar si es importante el estudio previo del terreno antes de excavar zanjas de alcantarillado. ... 6
1.4 TIPOS DE MAQUINARIA A USAR EN LA EXCAVACIÓN DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO Y EFICIENCIA DE LAS MISMAS. 6
1.4.1 Excavadoras 7
1.4.2 Eficiencia de las excavadoras 8
1.4.2.1 Factores que influyen en el rendimiento del equipo 11
1.4.2.2 Excavadoras 11
2. CAPÍTULO II 21
2.1. Mecánica de Suelos 21
2.1.1 Suelo 21
2.2 Caracterización de las arenas no plásticas 28
2.2.1 Granulometría 28
2.2.2 Clasificación basada en granulometría 29
2.3 Compacidad relativa del suelo 31
2.3.1 Factores 31
2.4 Densidad Relativa de los suelos arenosos acorde al caso de estudio 37
2.4.1 SPT 37
2.4.2 N60 39
2.5 Ejemplo del caso de estudio 42
3. CAPÍTULO III 44
3.1 Marco Teórico 44

3.2 Factores “m” anteriores en el uso de Maquinaria 45
3.3 Datos obtenidos para la evaluación del factor “m” 45
3.3.1 Tabulación de Datos 45
3.3.2 Comparación de Resultados 47
4. CAPÍTULO IV 49
4.1 Aplicación 49
4.1.1 Modelo en Excel 49
5. CAPÍTULO V 50
5.1 Conclusiones 50
5.2 Recomendaciones 51
6. ANEXOS ..... A

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Ilustración 1: Representación del sistema de alcantarillado 3
Ilustración 2:Partes de una excavadora..... 7
Ilustración 3:Partes de una excavadora..... 7
Ilustración 4:Eficiencia..... 8
Ilustración 5:Rendimiento..... 8
Ilustración 6: Potencia 8
Ilustración 7:Eficiencia mecánica..... 9
Ilustración 8:Eficiencia de trabajo 9
Ilustración 9:Volumen del cucharón..... 12
Ilustración 10:Factor de llenado del cucharón..... 12
Ilustración 11: Tiempo de ciclo..... 13
Ilustración 12: Factor de giro..... 13
Ilustración 13:Factor de llenado 13
Ilustración 14:Cucharón de la excavadora 312B*..... 14
Ilustración 15:Especificaciones del cucharón de la excavadora 312B* 15
Ilustración 16:Especificaciones de la excavadora 312B* 15
Ilustración 17: Especificaciones del tipo de garra de la excavadora 312B*..... 15
Ilustración 18: Especificaciones del tipo de garra de la excavadora 312B*..... 16
Ilustración 19: Ilustración 19: Tiempo de ciclo de la excavadora 312B*..... 17
Ilustración 20: Cálculo del tiempo de ciclo de la excavadora 312B*..... 17
Ilustración 21: Producción de la excavadora 312B*..... 18
Ilustración 22: Factor de Eficiencia de la excavadora 312B* 18
Ilustración 23: Ángulo de giro de la excavadora 312B*..... 19
Ilustración 24: Producción de apertura de zanjas de la excavadora 312B*..... 20
Ilustración 25:Zonificación de tipos de suelo en el Distrito Metropolitano de Quito..... 24
Ilustración 26: Tipo de suelo según su dureza 25
Ilustración 27:Imagen microscópica de la pasta de cemento..... 26
Ilustración 28: Imagen ampliada de granos de arena 27
Ilustración 29: Imagen ampliada de las arcilla..... 27
Ilustración 30: Interacción entre partículas de suelo 27
Ilustración 31:Curva granulométrica 28
Ilustración 32: Clasificación del suelo 29
Ilustración 33: Graduación de las partículas de suelo..... 30
Ilustración 34: Plasticidad del suelo..... 31
Ilustración 35:Clasificación del suelo según los granos finos 31
Ilustración 36:Compacidad relativa..... 32
Ilustración 37:Grado de saturación de las arenas 33
Ilustración 38: Pesos específicos de granos finos..... 34
Ilustración 39: Porosidad..... 35
Ilustración 40: Permeabilidad y relación de vacíos 36
Ilustración 41: Permeabilidad y condiciones de drenaje 36
Ilustración 42: Dimensiones del muestreador..... 38
Ilustración 43: Martillo de Hincado. 38
Ilustración 44: Factor de corrección por N60..... 40
Ilustración 45: Factor de corrección por N60..... 40
Ilustración 46:Factor de corrección por N60..... 40
Ilustración 47:Factor de corrección por N60..... 40
Ilustración 48: Tablas de rangos entre densidad relativa y N spt. 41

Ilustración 49: Densidad relativa de arenas acorde con el ensayo spt 41
Ilustración 50: Valores de Densidad Relativa acorde al N del SPT. 41
Ilustración 54: Densidad relativa 44
Ilustración 55: Factores "m" según la MOP 1992 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Anchos mínimos de entibaciones. 4
Tabla 2: Factor de eficiencia. 9
Tabla 3: Factor de operación. 9
Tabla 4: Factor de administración. 9
Tabla 5: Factor de tipo de material. 9
Tabla 6: Factor de estado del material 9
Tabla 7: Factor de alcance. 9
Tabla 8: Factor de tipo de pendiente 10
Tabla 9: Factor de camino 10
Tabla 10: Factor de tipo de eventualidades 10
Tabla 11: Tipos de suelo acorde a su dureza. 25
Tabla 12: Grado de saturación de las arenas 33
Tabla 13: Factores para obtener el N60 42
Tabla 14: Rangos de interpolación entre Dr VS Factor "m" 43
Tabla 15: Resultados del ejemplo 43
Tabla 16: Ejemplo de tabla de recopilación de datos 45
Tabla 17: Rangos establecidos para el cálculo del factor "m" mediante interpolación 46
Tabla 18: Tabla ejemplo de la sectorización 46
Tabla 19: Cálculo de Eficiencia por manual Caterpillar 47
Tabla 20: Datos obtenidos por medio de tabulación de datos de laboratorio de arenas no plásticas 48
Tabla 21: Cálculo de la eficiencia usando factor “m” 48

RESUMEN

El enfoque de este trabajo se basa en conocer la eficiencia de la maquinaria usada para excavar zanjas de alcantarillado en arenas no plásticas.

Dicho enfoque es útil para la estimación de tiempos de trabajo, cronograma, costos, requerimientos y restricciones en la entrega del proyecto y en el trabajo de campo.

Es evidente que en obra hay un nivel muy alto de incertidumbre, en este caso, excavación de zanjas de alcantarillado, se debe a la falta de equipos o experiencia en los operadores de maquinaria. Sin embargo, al determinar los factores que influyen en desempeño de la excavación, ayudan a dar holgura al proyecto y su finalización siendo de aplicabilidad teórica pero útil.

1. CAPÍTULO I

1.1 Introducción

La presente investigación se refiere al tema de optimización de la eficiencia de maquinaria de excavación, mediante la determinación del factor "m", en arenas no plásticas, para la excavación de zanjas de alcantarillado, en el Distrito Metropolitano de Quito.

La característica principal de la misma se enfoca en la interpretación de la capacidad del suelo al ser excavado y a su vez, poder determinar qué tiempo se demorará el operador de maquinaria para acabar su tarea.

En general se conoce como excavación, la actividad que realiza un obrero o una máquina para obtener un espacio bajo o sobre el nivel natural del suelo, mediante el picado, desgarre, remoción, extracción y desalojo de material, con el fin de obtener conductos para la colocación de redes de equipamiento, canales de drenaje, implantación de cimientos, túneles para la incorporación de sistemas de transporte, incluso para incorporar nuevas bases para habilitar áreas de uso general.

Para ciertas obras civiles ésta actividad va de la mano con trabajos complementarios como la compactación del suelo, estabilidad de muros o taludes, limpieza del terreno, limpieza de agregado o replantillo, tomando en cuenta que el trabajo de excavación permanecerá constante o será intermitente acorde al tiempo estimado de culminación de la tarea proyectada.

(TRABAJO, 2008)

Toda maquinaria que se emplea en la construcción de obras civiles tiene sus limitaciones las cuales son proporcionales a su uso, al tipo de trabajo a realizar y medio donde intervenga. Considerando el tipo de material, la topografía, el clima, etc. como factores fundamentales para la realización de excavaciones es necesario estudiar el factor “m” que relaciona la dificultad al excavar con el tipo de material, sea arena, grava, suelo suave, arcilla, rocas, areniscas, etc., en este caso arenas no plásticas, a efecto de alcanzar un correcto desempeño de la máquina y un apropiado avance de la obra.

El conocer las restricciones y limitaciones presentes en cada zona de trabajo, determina la eficiencia y producción, téngase en cuenta que las limitaciones son acumulativas de acuerdo a las condiciones presentes en cada zona de trabajo.

(Merizalde, Rendimiento y Producción, 2013)

1.2 Antecedentes

La Ordenanza Metropolitana número 0199, El Concejo Metropolitano de Quito.

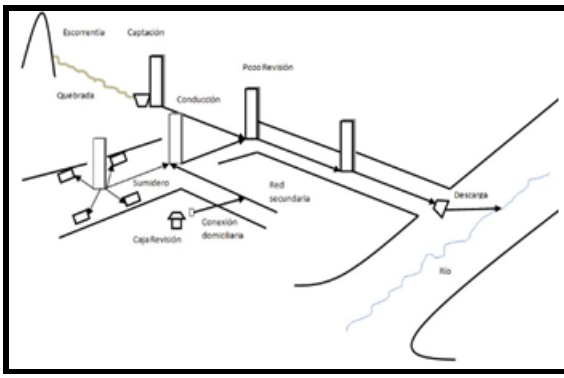
Visto el informe IC-2006-648 de 15 de noviembre del 2006, de la Comisión de Finanzas; y, considera que:

La constitución Política del Ecuador, en los artículos 42 y 249, garantiza el derecho a la salud de los ecuatorianos por medio de la provisión de agua potable y saneamiento básico, además de establecer que es responsabilidad del Estado suministrar los servicios públicos de agua potable, riego, saneamiento, responsabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, en lo referente a agua potable y saneamiento está delegada a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable EMAAP-Q, de conformidad con el Art. I. 423 del Código Municipal.

(QUITO E. C., 2006)

Dentro del DMQ, la EPMAPS está encargada de elaborar planes de manejo y control de los recursos hídricos, limpieza de sedimentos y basura de las estructuras de captación y manejo de aguas lluvias y servidas, también de sumideros y captaciones de quebradas.

El alcantarillado en el DMQ sostiene un sistema de evacuación combinado, lo que quiere decir que tanto las aguas lluvias como las servidas van a un mismo punto de desfogue. Debido a la topografía de la ciudad el sistema funciona a gravedad.



UNIDADES OPERATIVAS	Colectores Km	Red Secundaria Km	Pozos u	Sumideros u
CIUDAD				
NORTE	159,83	786,69	17602	25030
CENTRO	117,35	602,25	13695	17545
SUR	179,71	931,19	23380	29886
SUBTOTAL	457	2320,13	54677	72461
PARROQUIAS				
NORTE	72,58	233,41	5624	5927
CENTRO	15,74	24,57	626	331
SUR				
SUBTOTAL	88,32	257,98	6250	6258
TOTAL	545,21	2578,11	60927	78719

TOTAL REDES CATASTRADAS	3123,32 Km
ESTIMACIÓN REDES SIN CATASTRO	2376,68 Km
TOTAL REDES DE ALCANTARILLADO	5500,00 Km

Ilustración 1: Representación del sistema de alcantarillado, FUENTE: (EPMAPS, 2016)

Como se puede observar, hay 5500,00 km de redes secundarias de alcantarillado entre el norte, centro y sur de la ciudad, dato importante que muestra una considerable demanda de este servicio.

Respecto al tema de excavación, también tiene normativa y parámetros de seguridad. Sin embargo, aún en la ciudad de Quito, no se tiene un control estricto de qué tanto se debe excavar y tampoco hay un registro seguro de instalaciones eléctricas y sanitarias aledañas al área de excavación.

En el Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas, Título Primero, Título sexto: Gestión Técnica, Capítulo I, actividades específicas, Art. 41. “Excavación”, muestra las medidas preventivas e instrucciones que debe tener el operador de máquina y obrero para realizar excavaciones o entubamiento, para alcantarillado o distribución de agua potable.

En la siguiente tabla se describen los anchos mínimos que deben tener las entibaciones para zanjas de alcantarillado, acorde al Art. 41, numeral 3, “Entibaciones”.

Tabla 1:
Anchos mínimos de entibaciones. Fuente: (TRABAJO, 2008)

Profundidad	**Ancho de Entibación**
Hasta 750 mm	500 mm
De 750 mm hasta 1.00 m	550 mm
De 1.00 m hasta 1.30 m	600 mm
De 1.30 m hasta 2.00 m	650 mm
De 2.00 m hasta 3. 00 m	750 mm
De 3.00 m hasta 5.00 m	800 mm

La seguridad del operador y la construcción es importante por ello es relevante mencionar que no es posible la ejecución de zanjas de más de 5m de profundidad a su vez los trabajadores que se encuentren dentro de una zanja deben estar separados 4m uno del otro por seguridad. (numeral 7 y 8 respectivamente) .

Tomando en cuenta dichos antecedentes, se concluye que los trabajos realizados en obra van de la mano con la normativa tanto nacional como local, esto brinda al ingeniero directrices que debe tomar en cuenta en la etapa de construcción de un proyecto, en este caso excavación de zanjas de alcantarillado, donde los factores de suelo, tipo de maquinaria, entre otros, son tan importantes como saber qué y cómo proceder al realizar el trabajo de excavación sin poner en riesgo al operador, trabajadores e infraestructura aledaña.

1.2.1 Entibaciones

En todo trabajo anterior a la construcción de una obra civil, es necesario un estudio de suelos, donde se determinarán las propiedades mecánicas y físicas del mismo.

Para el caso de estudio, excavación de zanjas de alcantarillado en arenas no plásticas, suelen presentarse situaciones de terreno no estable, donde es primordial salvaguardar la seguridad del operador de la maquinaria como la realización óptima del trabajo.

La estructura que dará soporte y seguridad al terreno excavado se denomina entibación, se crea mediante tablones de madera o metal de forma cuadrada y sus dimensiones dependen del tamaño de la excavación, generalmente de 1m por lado. Empleadas en zanjas suelen tener mucha flexibilidad por lo que se las asegura con codales.

Dentro de la construcción de zanjas de alcantarillado la normativa de la EPMAPS ha establecido anchos mínimos de entibación acorde a la profundidad de excavación, la cual va de la mano con el tamaño de la tubería a colocar y el tipo de solicitación de alcantarillado.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta ciertos enunciados:

- Para la excavación de taludes no estables, deberá existir una adecuada entibación, la cual estará en función de la topografía y no sobrepasará la profundidad de 1.50m.
- Si el terreno lo requiere se entibará de forma continua a la extracción de tierra, en el caso de zanjas donde exista nivel freático, el entibamiento recubrirá en la totalidad la excavación.

- La madera usada para el entibamiento debe estar en óptimas condiciones, normalizadas, para zanjas las dimensiones mínimas deberán ser de 1.50 a 2.5 metros de profundidad con un espesor no menor a 4cm.
- Para zanjas con una profundidad de 2.5m el espesor no será menor a 7cm.
- Cuando el trabajo esté culminado el desentibado se efectuará en conjunto con el relleno de la excavación.
- Para zanjas de alcantarillado, los entibados considerarán el diámetro exterior del tubo más 80cm

Las consideraciones del fiscalizador de obras serán oportunas y concretas acorde al caso, dichos comentarios son guías para una construcción ágil y segura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar mediante la recopilación de información, aquellas características específicas de las arenas no plásticas en el Distrito Metropolitano de Quito, y de esta manera optimizar la eficiencia en maquinaria de excavación, mediante la utilización del factor "m".

1.3.2 Objetivos Específicos

1.3.2.1 Determinar el factor "m" de arenas no plásticas en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.3.2.2 Evaluar los valores del factor "m", y verificar si sus resultados son sustanciales en el aumento de la eficiencia para la excavación de zanjas de alcantarillado.

1.3.2.3 Comparar las eficiencias de máquinas excavadoras antes y después de una correcta determinación del factor "m". Y de esta manera demostrar si es importante el estudio previo del terreno antes de excavar zanjas de alcantarillado.

1.4 TIPOS DE MAQUINARIA A USAR EN LA EXCAVACIÓN DE ZANJAS PARA ALCANTARILLADO Y EFICIENCIA DE LAS MISMAS.

El reconocimiento previo de la zona y terreno, verificando antecedentes como escurrimiento superficial, nivel freático, rellenos y estructuras aledañas, se hará por parte del fiscalizador, donde se tratará de salvaguardar vegetación, animales, instalaciones anteriores, construcciones preexistentes, con el fin de causar el menor impacto ambiental posible.

La maquinaria que se tomará en cuenta para el análisis serán excavadoras hidráulicas pequeñas, ya que para la excavación de una zanja debido a sus anchos mínimos dictados por la normativa “Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas” generalmente no es necesario usar excavadoras muy potentes.

1.4.1 Excavadoras

Máquina generalmente hidráulica utilizada para el movimiento de material y excavación, cuya principal característica son sus cadenas o neumáticos adaptables al terreno y brazo hidráulico con largo alcance.

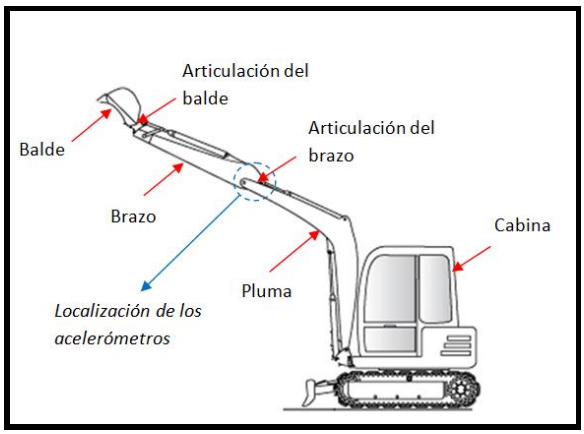


Ilustración 2:Partes de una excavadora, FUENTE: (solorobotica, 2011)

Según el tipo de trabajo se las utiliza:

Empuje retro: la moción del brazo consiste en acercarse a la máquina, utilizado para excavaciones por abajo del nivel natural del terreno como zanjas de alcantarillado y cimientos.

Empuje frontal: la pala de la excavadora trabaja alejándose de la carrocería y hacia arriba, este trabajo se realiza para excavar bancos de altura, perfilado de taludes o cargar material.

(Ávila, 2011)

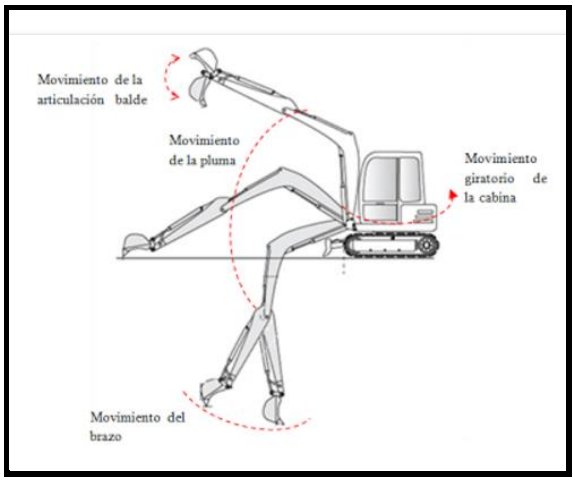


Ilustración 3:Partes de una excavadora, FUENTE: (solorobotica, 2011)

1.4.2 Eficiencia de las excavadoras

Todo mecanismo sencillo o complejo tiene partes móviles las cuales realizan un trabajo, producto de ello existe fricción-calor, lo que quiere decir que parte de la energía se disipa y solo se obtiene un porcentaje útil de ella.



Ilustración 4:Eficiencia, FUENTE: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

La eficiencia es equivalente al rendimiento y abarca el trabajo, energía y potencia. Siendo una medida de la cantidad de energía que se obtiene a partir de la que se invierte en un tiempo determinado.

$$R(\%) = \frac{W_u}{W_t} \times 100$$

$$R(\%) = Rendimiento\ 0 < R \leq 1.00$$

$$W_u = Trabajo\ útil$$

$$W_u = Trabajo\ total$$

Ilustración 5:Rendimiento, FUENTE: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

Potencia: se define como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

$$\bar{P} = \frac{\Delta W}{\Delta t}\ ;\ \bar{P} = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta W}{\Delta t}\right);\ \bar{P} = \frac{dW}{dt}\ ;\ \bar{P} = \frac{F \times d_r}{dt}\ ; v = \frac{dr}{dt};\ \bar{P} = F \times v$$

Ilustración 6: Potencia, FUENTE: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

Donde:

- P=potencia
- W=trabajo
- t= tiempo
- F=fuerza
- v=velocidad

Potencia nominal o total: dada por el fabricante, máxima demandada por la máquina en condiciones óptimas de trabajo.

Potencia útil: resultado de la pérdida de potencia nominal debido a las partes mecánicas de la máquina.

Eficiencia Mecánica: es el cociente entre la potencia útil y la potencia total.

$$\eta = \frac{\bar{P}u}{\bar{P}t}$$

Ilustración 7:Eficiencia mecánica, FUENTE: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

- Ƞ = Eficiencia mecánica
- Pu = Potencia útil
- Pt = Potencia total

La producción de las excavadoras en condiciones ideales de trabajo se ve afectada por un factor "I" de eficiencia de trabajo, el cual está en función de variables como:

$$I = i * o * a * m * e * c * g * p * r * l * u$$

Ilustración 8:Eficiencia de trabajo, Fuente: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

- I = Eficiencia de trabajo
- i = Eficiencia en tiempo
- o = Operación de la máquina
- a = Administración
- m = Tipo de material
- e = Estado del material
- c = Factor de llenado
- g = Maniobra
- p = Pendiente
- r = Condiciones del camino
- l = Imprevistos o eventualidades
- u = Uso anual

Donde:

✓ **i: eficiencia en el tiempo**

La eficiencia de trabajo al tiempo efectivo del trabajo durante el día en cada hora, y se acostumbra manejarlo en la cantidad de minutos efectivos por cada hora.

Tabla 2:
Factor de eficiencia. Fuente: ((MOP), 1992)

Tiempo Efectivamente trabajado (en minutos) por hora transcurrida	Factor i	Calificación
60	100%	Utópico
50	83%	Bueno
40	67%	Medio
30	50%	Pobre

✓ **o: operación de la máquina**

Depende de la habilidad del operador

Tabla 3:
Factor de operación. Fuente: ((MOP), 1992)

Habilidad del Operador	Factor o
Excelente	91%-100%
Buena	81%-90%
Regular	71%-80%
Mala	60%-70%

- ✓ **a: administración**

Tiene que ver con la responsabilidad del ingeniero a cargo o administrativo, lo cual abarca planeación, dirección y control adecuados de la maquinaria y proyecto, así como de los operadores. El prever o no acontecimientos como daños de las maquinas o casos fortuitos también es parte del factor.

Tabla 4:
Factor de administración. Fuente: ((MOP), 1992)

Nivel de organización de la administración	Factor a
Excelente	91%-95%
Buena	81%-90%
Regular-Bueno	71%-80%
Mala-Aceptable	61%-70%

- ✓ **m: tipo de material**

Dificultar o facilidad al trabajar.

Tabla 5:
Factor de tipo de material. Fuente: ((MOP), 1992)

Tipo de material	Factor m
Tierra no compactada; arena; grava; y suelo suave	100%
Tierra compacta; arcilla seca; y suelos con contenido rocoso < 25%	90%
Suelo duro con contenido de roca >25% <50%	80%
Roca dinamitada o escarificada; suelos con contenido rocoso >50% < 75%	70%
Rocas y areniscas	60%

- ✓ **e: estado del material**

Tabla 6:
Factor de estado del material. Fuente: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

Depende si se trata de material en banco, suelto o compactado.
Depende de Fw y Fh.
Si el material está suelto entonces el factor e = 100%
Si el material está en banco e = Fw (factor de esponjamiento)
Si el material está compactado e = Fh (factor de contracción)
r o facilidad al trabajar.

- ✓ **c: llenado**

Relación entre capacidad real y nominal

$$u = \frac{V_R}{V_N}$$

- ✓ **g: maniobra y alcance**

Aplica para máquinas que realizan giros sobre su propio eje tales como excavadoras.

Tabla 7:
Factor de alcance. Fuente: ((MOP), 1992)

Giro en grados	Factor g
90°	100%
45°	130%
180°	75%

- ✓ **p: depende del terreno**

Importante para el transporte de material de gran volumen, toma en cuenta pendientes favorables o adversas.

Tabla 8:
Factor de tipo de pendiente. Fuente: ((MOP), 1992)

Pendiente del terreno %	Factor p
-10% a -20%	Hasta 125%
- 0% a -10%	Hasta 110%
0%	100%
0% a 10%	Hasta 90%
10% a 20%	Hasta 75%

- ✓ **r: condiciones de camino**

Relacionado con la resistencia al rodamiento, utilizable para maquinaria con neumáticos y en el caso de orugas el factor es 1.

Tabla 9:
Factor de camino. Fuente: ((MOP), 1992)

Condiciones del Camino	Factor r
Plano y firme	98%
Firme – mal conservado	95%
Arena y grava suelta	90%
Sin conservar y lodoso	83%

- ✓ **l: eventualidades**

Tiempo perdido por factores climáticos como lluvia, deslaves, fallas mecánicas entre otros.

$$l = 100 - \%\text{eventulidad}$$

Tabla 10:
Factor de tipo de eventualidades. Fuente: ((MOP), 1992)

Razón eventualidad	% Eventualidad
Lluvia	5% - 6%
Reparaciones	12% - 15%
Roturas	18% - 20%
Otros	5% - 7%

- ✓ **u: uso anual**

Toma en cuenta el tiempo muerto o perdido de la maquinaria por falta de trabajo. Depende de las políticas administrativas, cantidad de contratos respecto del número de maquinaria.

$$u = 85\%$$

1.4.2.1 Factores que influyen en el rendimiento del equipo

Se refiere al uso y eficiencia de las máquinas en campo.

Factores primarios

a. Humanos: experiencia de los operadores.
b. Terreno: material que conforma el suelo.
c. Geográficos: condiciones climáticas, orografía, ubicación y altitud.

Factores secundarios

a. Metas: establece el cálculo estimado de tiempo y rendimiento.
b. Tamaño del Equipo: volumen del equipo utilizado.
c. Personal: trabajadores calificados y distribución de actividades para los mismos.
d. Distancia de acarreo: establece el tipo y cantidad de máquinas a usar acorde a las metas.
e. Uso: determina el tipo y tamaño correcto de la maquinaria para realizar un trabajo específico.

Factores para la selección de una máquina

f. Tipo de material al remover o excavar
g. Cantidad de peso a la que fue diseñada la máquina
h. Tipo y tamaño
i. Cantidad de material
j. Tiempo y distancia de acarreo
k. Manejabilidad y maniobrabilidad
l. Costo
m. Compactación

(Urdanigo, 2012)

1.4.2.2 Excavadoras según Caterpillar

1.4.2.2.1 Cálculo del rendimiento de una excavadora

$$P_{excavadora} = \frac{V_{cucharón}}{T_{ciclo}} \times E_f \times f_{ca} \times f_v$$

- $V_{cucharón}$=Volumen del cucharón
- T_{ciclo}=Tiempo de ciclo
- E_f=Factor de eficiencia
- f_{ca}=Factor de ángulo y altura de corte
- f_v=Factor de volumen

Volumen del cucharón

Cantidad de material que abarque el cucharón en cada ciclo de excavación depende del tamaño y forma del cucharón, de la fuerza de plegado y del suelo.

$$V_{cucharón} = V_{colmado} \times V_{lleno}$$

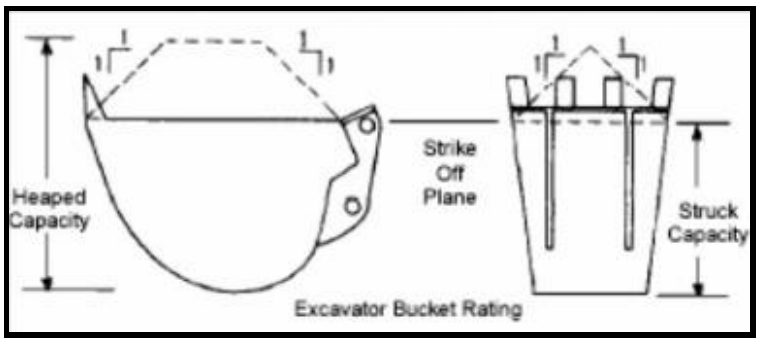


Ilustración 9:Volumen del cucharón, FUENTE: (Gonzales, 2015)

Factor de llenado del cucharón

Material	Factor de llenado (Porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%

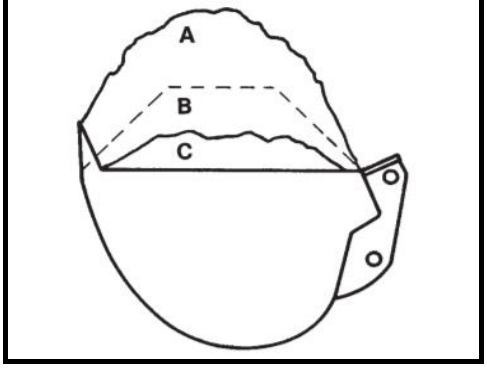


Ilustración 10:Factor de llenado del cucharón, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)

Factor de tiempo de ciclo

Es el total de trabajo de corte, giro con carga, desplazamiento, descarga, giro vacío y regreso vacío.

Volumen cucharón (m^3)	Tiempo de las fases de trabajo, en segundos.				
	Carga	Giro con carga	Descarga	Giro vacío	Total
0.76	5	4	2	3	14
0.76-1.15	6	4	2	3	15
1.5-1.9	6	4	3	4	17
2.3	7	5	4	4	20
2.7	7	6	4	5	22
3.0	7	6	4	5	22
3.8	78	7	4	6	24

Ilustración 11: Tiempo de ciclo, FUENTE: (Gonzales, 2015)

Factor de Eficiencia: aproximadamente llega a 50 min/hora

Factor de corte y giro

% profundidad óptima	Ángulo de giro.						
	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
40	0.93	0.89	0.85	0.80	0.72	0.65	0.59
60	1.10	1.03	0.96	0.91	0.81	0.73	0.66
80	1.22	1.12	1.04	0.98	0.86	0.77	0.69
100	1.26	1.16	1.07	1.00	0.88	0.79	0.71
120	1.20	1.11	1.03	0.97	0.86	0.77	0.70
140	1.12	1.04	0.97	0.91	0.81	0.73	0.66
160	1.03	0.96	0.90	0.85	0.75	0.67	0.62

Fuente: Peurifoy y Schexnayder. Construction Planning, Equipment and Methods. 2002.

Ilustración 12: Factor de giro, FUENTE: (Gonzales, 2015)

Factor de Volumen: $f_{volumen} = \frac{1}{1+E_f}$

Factor de llenado

Material	Pala frontal	Azadón	Cargador frontal	
			Neumáticos	Orugas
Arcilla en banco; tierra; arena y grava.	100-110	95-110	80-100	80-100
Mezcla de tierra y roca	105-115	---	100-120	100-120
Roca pobremente fragmentada	85-100	40-50	60-75	60-75
Roca medianamente fragmentada	---	---	75-90	75-90
Roca bien fragmentada	100-110	60-75	80-95	80-95
Conchuela; arenisca en banco, arcilla dura, materiales cementantes	85-100	80-90	85-95	85-100
Limo húmedo; arcilla arenosa	---	100-110	100-110	100-120
Agregado húmedo, mezclado y suelto	---	---	95-100	95-100
Agregado uniforme, suelto hasta 1/8"	---	---	95-100	95-110
Agregado uniforme, suelto entre 1/8" y 3/8"	---	---	90-95	90-110
Agregado uniforme, suelto entre 1/2" y 3/4"	---	---	85-90	90-110
Agregado uniforme, suelto de 1" ó mayor	---	---	85-90	90-110

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar. Edición 32 (2001).

Ilustración 13:Factor de llenado, FUENTE: (Gonzales, 2015)

Las “NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES.” Se menciona lo siguiente:

Dependiendo del tipo de área urbana a trabajar se tomará el diseño óptimo de alcantarillado, en el DMQ al ser una ciudad densamente poblada se utiliza alcantarillado convencional.

Para el alcantarillado convencional existen dos tipos:

a) Sanitario: tuberías y colectores con un diámetro mínimo de 150mm.
b) Pluvial: redes de tuberías y colectores con un diámetro mínimo de 0,25m.

(Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, 2014)

Para tener una noción más clara de qué tipo de maquinaria es óptimo usar para la excavación de zanjas de alcantarillado, es necesario basarse en manuales certificados internacionalmente que distribuyen su maquinaria en la región como en el país, uno de ellos es el “Manual de Rendimiento Maquinaria Pesada Caterpillar”, donde en el capítulo 5, excavadoras, existen ciertos tipos de ellas que son eficaces en la construcción de zanjas de alcantarillado.

Dentro de las especificaciones las excavadoras hidráulicas están diseñadas para arrastrar un cucharón pequeño aproximadamente a 90 grados por la parte lateral de las cadenas hacia la excavadora, de largo alcance para aplicaciones de excavación ligera con límites de alcance mucho mayores que los de las excavadoras normales. tienen brazos especiales para obtener el máximo rendimiento y un contrapeso adicional para obtener mayor estabilidad cuando se trabaja por el costado. Las dimensiones incluyen el cucharón de limpieza de zanjas.

(Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)

Por ello se ha tomado en cuenta un tipo de excavadora la **312B***

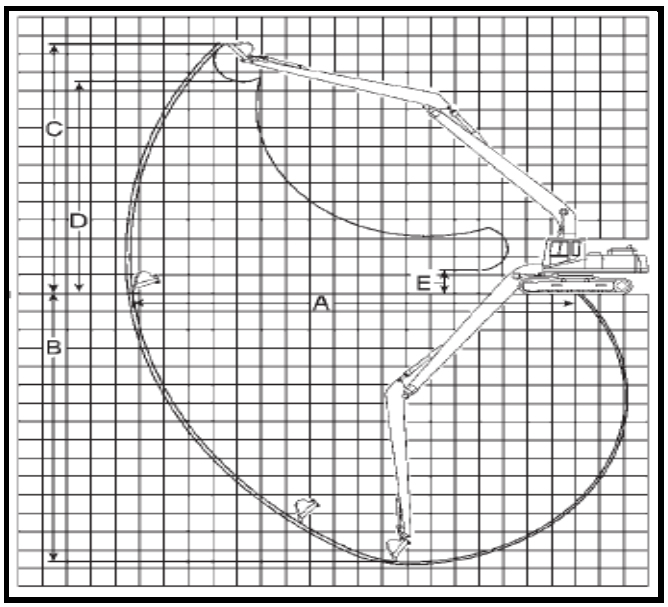
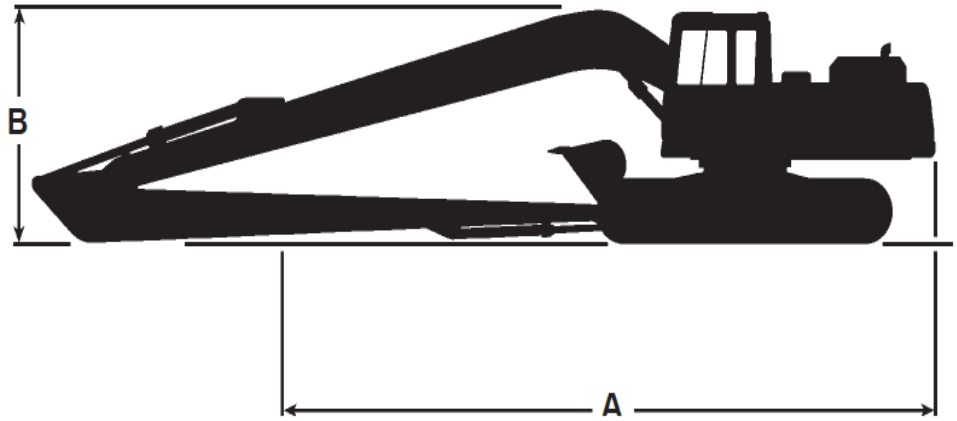


Ilustración 14:Cucharón de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

Modelo de limpieza de zanjas	312B*		315B L/317B L*		320B L		320C L	
	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
A Alcance máximo a nivel del suelo	12,54	**41'2"**	13,00	**42'8"**	15,59	**51'2"**	15,60	**51'2"**
B Profundidad máxima de excavación	9,80	**32'2"**	10,10	**33'2"**	11,75	**38'7"**	11,75	**38'7"**
C Altura máxima de corte	10,96	**35'11"**	11,64	**38'2"**	13,23	**43'5"**	13,24	**43'5"**
D Altura máxima de descarga	9,01	**29'9"**	9,58	**31'5"**	11,14	**36'6"**	11,14	**36'7"**
E Altura máxima de carga	2,15	**7'1"**	2,55	**8'4"**	2,09	**6'10"**	2,10	**6'10"**

Ilustración 15:Especificaciones del cucharón de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*



Largo alcance, dimensiones	312B*		320B L		320C L	
	m	pies	m	pies	m	pies
A Longitud total para el transporte (Frente retraído)	10,22	**33'6"**	12,65	**41'6"**	12,66	**41'6"**
B Altura total	2,80	**9'2"**	3,21	**10'6"**	3,21	**10'6"**
C Ancho total	2,69	**8'10"**	2,98	**9'9"**	3,01	**9'11"**
Largo alcance, pesos de los componentes	312B*		320B L		320C L	
	kg	lb	kg	lb	kg	lb
El peso total de los componentes incluye el peso adicional sobre el normal	2450	**5400**	4810	**10.600**	4810	**10.600**
Pluma de largo alcance	1140	**2510**	2185	**4820**	2185	**4820**
Brazo de largo alcance	640	**1410**	1260	**2780**	1260	**2780**

Ilustración 16:Especificaciones de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

La selección de zapatas de una excavadora, en este caso la 312B, es muy importante ya que al estar trabajando en una ciudad como Quito existe la posibilidad que su tren de rodaje este en contacto con terreno liso, blando, asfaltado, adoquinado, etc. Si no se tiene consideración con ello el mismo puede destruirse al elegir zapatas más anchas o pequeñas.

312B	De tres garras	500	**20**	39,0	**5,66**
	De tres garras	600	**24**	33,0	**4,79**
	De tres garras	700	**28**	29,0	**4,21**
	De tres garras	770	**30**	26,0	**3,77**
	De segmentos de caucho	500	**20**	40,2	**5,83**

Ilustración 17: Especificaciones del tipo de garra de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

EQUIPO PARA ...	311B	312B 312B L	313B CR	315B 315B L	317B L 317B LN
Tren de rodaje:					
Estándar	●	●	●	●	—
Largo (L) — FIX	—	●	—	●	●
Largo — VG	—	—	—	—	—
Estrecho (N)	—	—	—	—	●
Plumas:					
De alcance de una pieza	●	●	●	●	●
Brazos:	**mm pies**	**mm pies**	**mm pies**	**mm pies**	**mm pies**
Corto	1950 6'5"	2100 6'11"	—	1850 6'1"	1850 6'1"
●	2250 7'5"	2500 8'2"	2500 8'2"	2250 7'5"	2250 7'5"
●	2800 9'2"	3000 9'10"	3000 9'10"	2600 8'6"	2600 8'6"
Largo	—	—	—	3100 10'2"	3100 10'2"
Plumas:					
De alcance de una pieza	●	●	●	●	●
De dos piezas de geometría variable	—	●	—	●	●
Brazos:		**mm pies**		**mm pies**	**mm pies**
Corto	—	2100 6'11"	—	1850 6'1"	1850 6'1"
●	—	2500 8'2"	—	2250 7'5"	2250 7'5"
●	—	3000 9'10"	—	2600 8'6"	2600 8'6"
Largo	—	—	—	3100 10'2"	3100 10'2"
No. de cucharones	5	5	5	5	—
Dientes:					
Abrasión — Servicio pesado	●	●	●	●	●
Largos (Uso general)	●	●	●	●	●
Largos — Servicio pesado	—	—	●	—	—
Cortos (de roca)	●	●	●	●	●
De penetración	●	●	●	●	●
Anchos (de pala)	●	●	●	●	●
Afilados — Centro	●	●	●	●	●
Afilados — Esquina	—	—	●	—	—
Orejetas:					
Cuchilla de una pieza	●	●	●	●	●
Zapatas:	De tres garras 500, 600, 700, 770 mm **(20", 24", 28", 30")** Tacos de goma 500 mm **(20")**	De tres garras 500, 600, 700, 770, 850, 900, 1400 mm **(20", 24", 28", 30", 34", 36", 56")** Tacos de goma 500 mm **(20")**	De tres garras 600, 700 mm **(24", 28")** Tacos de goma 500 mm **(20")**	De tres garras 500, 600, 700, 900 mm **(20", 24", 28", 36")** Tacos de goma 500, 600 mm **(20", 24")**	De tres garras 500, 600, 700, 900*, 1400* mm **(20", 24", 28", 36"*, 56"*)** Tacos de goma 500, 600 mm **(20", 24")**

Ilustración 18: Especificaciones del tipo de garra de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

Tiempo de ciclo, el cual ayuda a calcular el rendimiento o eficiencia

Tabla para calcular tiempos de ciclo

Modelo		307B	311B	312B, 312B L	315B, 315B L	317B L, 317B LN	318B L, 318B LN	320B	322B	325B	330B	345B*	365B	375
Tamaño del cucharón														
L		280	450	520	520	520	800	800	1000	1100	1400		1900	2800
(yd³)		**0,37**	**0,59**	**0,68**	**0,68**	**0,68**	**1,05**	**1,05**	**1,31**	**1,44**	**1,83**		**2,5**	**3,66**
Tipo de suelo		←		Tierra Compactada			→	←		Arcilla dura				→
Profund. de excavación	(m)	1,5	1,5	1,8	3,0	3,0	3,0	2,3	3,2	3,2	3,4		4,2	5,2
	(pies)	**5**	**5**	**6**	**10**	**10**	**10**	**8**	**10**	**10**	**11**		**14**	**17**
Carga del cucharón	(min)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		0,10	0,11
Giro con carga	(min)	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07		0,09	0,10
Descarga del cucharón	(min)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04		0,04	0,04
Giro sin carga	(min)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07		0,07	0,09
Tiempo total de ciclo	(min)	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,25	0,23	0,25	0,25	0,27		0,30	0,34

Ilustración 19: Ilustración 19: Tiempo de ciclo de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

TABLA PARA CALCULAR TIEMPOS DE CICLO

Tiempo de ciclo	TAMAÑO DE MAQUINA											Tiempo de ciclo
	307	311B	312B	315B L 317B L	318B L	320C	322B	325B	330B	345B Serie II	365B L	375	
10 SEG.													**0,17** min.
15													**0,25** min.
20 SEG.													**0,33** min.
25													**0,42** min.
30 SEG.													**0,50** min.
35													**0,58** min.
40 SEG.													**0,67** min.
45													**0,75** min.
50 SEG.													**0,83** min.
55													**0,92** min.
60 SEG.													**1,0** min.

Ilustración 20: Cálculo del tiempo de ciclo de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

Producción, se logra calcular la misma utilizando los tiempos de ciclo previos.

Metros cúbicos por hora de 60 minutos*

Tiempos de Ciclo Calculados		CARGA UTIL CALCULADA DEL CUCHARON** — METROS CUBICOS SUELTOS																			Tiempos de Ciclo Calculados	
Tiempo en																					Ciclos por min.	Ciclos por seg.
Seg.	Min.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0		
10,0	0,17																				6,0	360
11,0	0,18																				5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270															5,0	300
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080	4,5	270
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	4,0	240
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	3,5	210
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720	3,0	180
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	2,5	150
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	2,0	120
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	1,7	102
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	1,5	90
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	1,3	78
50,0	0,83																				1,2	72

Ilustración 21: Producción de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

Existe un estimador de la eficiencia en Obra lo que se tratará más adelante.

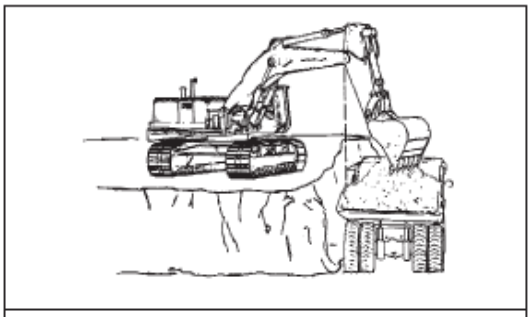
Estimador de Eficiencia en la Obra

Tiempo de trab./h	Eficiencia
60 Min	100%
55	91%
50	83%
45	75%
40	67%

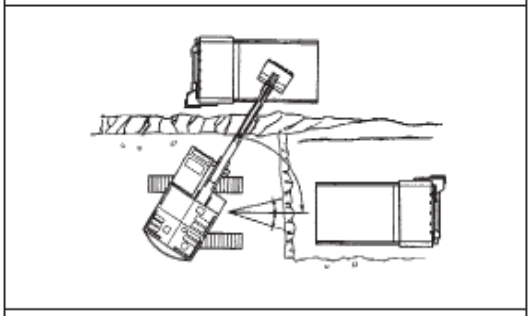
*Producción real/hora = (producción en hora de 60 min.) × (Factor de efic. en la obra)
**Carga útil estimada del cucharón = (Cantidad de material en el cucharón)
= (Capacidad colmada del cucharón) × (Factor de llenado del cucharón)
NOTA: Para estimar la producción de carga del camión, incluya aproximadamente 0,7 minutos para el tiempo de intercambio de camiones.

Ilustración 22: Factor de Eficiencia de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

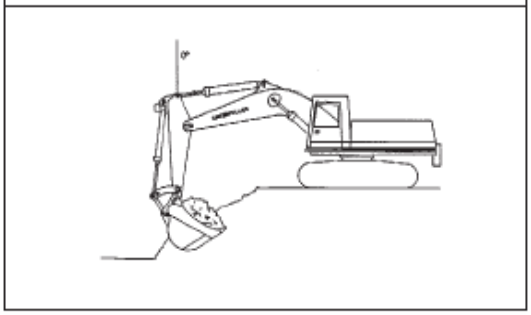
Zonas de trabajo y ángulos de giro óptimos, una característica de las excavadoras de serie 300 en Caterpillar es la versatilidad, en este caso al tener un brazo largo y un tren de rodaje estándar, facilita un movimiento rápido y eficaz de material en el proceso de carga y descarga.



Altura del banco y distancia al camión ideales — Cuando el material es estable, la altura del banco debe ser aproximadamente igual a la longitud del brazo. Si el material es inestable, la altura del banco debe ser menor. La posición ideal del camión es con la pared cercana de la caja del camión situada debajo del pasador de articulación de la pluma con el brazo.



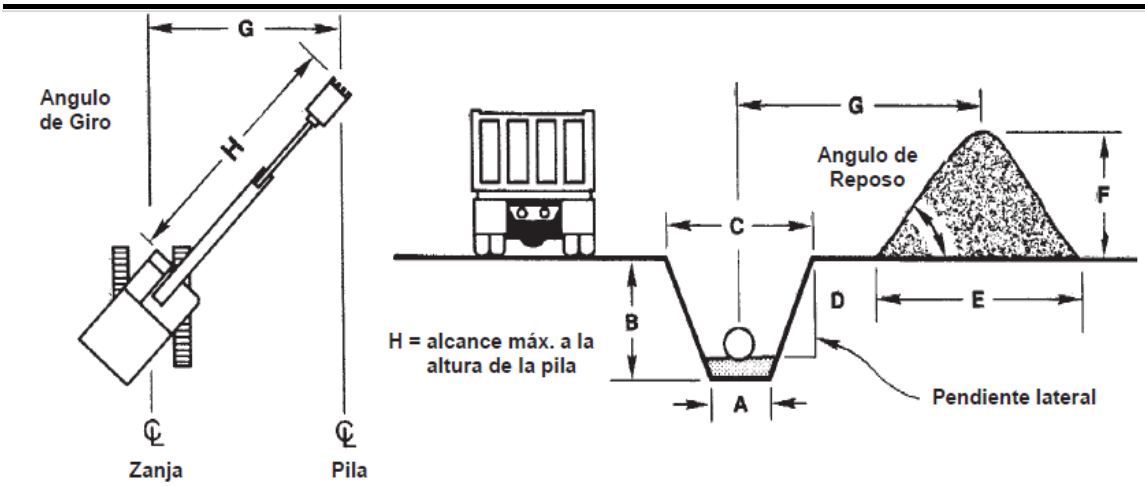
Zona de trabajo y ángulo de giro óptimos — Para obtener la máxima producción, la zona de trabajo debe estar limitada a 15° a cada lado del centro de la máquina o aproximadamente igual al ancho del tren de rodaje. Los camiones deben colocarse tan cerca como sea posible de la lina central de la máquina. La ilustración muestra dos alternativas posibles.



Distancia ideal del borde — La máquina debe colocarse de forma que el brazo esté vertical cuando el cucharón alcanza su carga máxima. Si la máquina se encuentra a una distancia mayor, se reduce la fuerza de desprendimiento. Si se encuentra más cerca del borde, se perderá tiempo al sacar el brazo. El operador debe comenzar a levantar la pluma cuando el cucharón haya recorrido el 75% de su arco de plegado. En ese momento el brazo estará muy cerca de la vertical.

Este ejemplo representa una situación ideal. En una obra determinada no es posible seguir todos los puntos considerados, pero si se siguen estos conceptos el efecto sobre la producción será muy positivo.

Ilustración 23: Ángulo de giro de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*



Volumen de Excavación por metro (o pie) de Longitud de la Zanja

En Unidades métricas

m^3 b/m lineal = (Area de sección de zanja en m^2) × (1,00 m)
Capac. de la zanja (m^3 b/m) = 0,5 (A + C) × B
Volumen de la pila (m^3 s/m) = (m^3 b/m) × (1,00 + % de expansión)

Unidades inglesas

$$yd^3 \text{ b/pie} = \frac{(\text{Area de sección de zanja en pies}^2) \times (1{,}00 \text{ pie})}{27}$$

$$\text{Capac. de la zanja } (yd^3 \text{ b/pie}) = \frac{0{,}5\,(A + C) \times B}{27}$$

Volumen de la pila (yd^3 s/pie) = (yd^3 b/pie) × (1,00 + % expansión)

Esta tabla es una guía general para hallar el ancho del fondo de la zanja para tubos de diferente diámetro exterior.

Diámetro de los tubos		Ancho de zanja		Diámetro de los tubos		Ancho de zanja	
mm	pies	m	pies	mm	pies	m	pies
102	4"	0,49	1'7"	1524	5'0"	2,59	8'6"
152	6"	0,55	1'10"	1676	5'6"	2,80	9'2"
203	8"	0,61	2'0"	1829	6'0"	3,05	10'0"
254	10"	0,70	2'4"	1981	6'6"	3,26	10'8"
305	12"	0,76	2'6"	2134	7'0"	3,47	11'5"
381	15"	0,91	3'0"	2286	7'6"	3,69	12'1"
457	18"	1,03	3'5"	2438	8'0"	3,93	12'11"
533	1'9"	1,16	3'10"	2591	8'6"	4,15	13'7"
610	2'0"	1,25	4'1"	2743	9'0"	4,36	14'4"
686	2'3"	1,37	4'6"	2896	9'6"	4,54	14'11"
838	2'9"	1,58	5'2"	3048	10'0"	4,75	15'7"
914	3'0"	1,70	5'7"	3200	10'6"	4,99	16'5"
1067	3'6"	1,92	6'4"	3353	11'0"	5,21	17'1"
1219	4'0"	2,13	7'0"	3505	11'6"	5,43	17'10"
1372	4'6"	2,38	7'10"	3658	16'2"	5,64	18'6"

NOTA: El ancho de la zanja equivale a 1,25 Bc + 1,0 donde Bc representa el diámetro exterior del tubo, en pies.
Publicada por cortesía de la American Concrete Pipe Assn.

Ilustración 24: Producción de apertura de zanjas de la excavadora 312B, FUENTE: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)*

2. CAPÍTULO II

2.1. Mecánica de Suelos

Éste capítulo trata de la importancia que tiene la mecánica de suelos en el proceso de planteamiento y ejecución de una obra civil, ya que estudia la distribución de todos los esfuerzos aplicados en la masa de suelo y el efecto de ellos en todos los puntos de la misma, tomando en cuenta el tipo de partículas que la componen y su reacción ante estimulaciones del medio físico.

Sin embargo, existe un nivel de incertidumbre alto para un estudio riguroso de la mecánica de suelos que plantea resoluciones matemáticas complejas, por este motivo se ha simplificado su análisis mediante la teoría de la elasticidad. Cabe recalcar que los resultados de la observación y deducción de los distintos problemas del suelo deben verse con criterio y pocas veces concordar con experiencia, para poder lidiar con futuros inconvenientes de manera eficaz.

En la realidad el ingeniero civil/geotécnico o de suelos actúa y logra en gran parte de casos prácticos del estudio de suelos, estimar aproximadamente los fenómenos reales en que está interesado, siendo posible trabajar sus proyectos y materiales con factores que brinden seguridad, economía y rendimiento.

(Badillo, 2010)

2.1.1 Suelo

Las particularidades de los suelos generalmente son descritas de forma colectiva, tales como arcilla blanda o arena fina, siendo evidente que sus propiedades mecánicas son diferentes, por lo cual es necesario realizar de clasificación.

Podría cambiarse la naturaleza de cualquier tipo de suelo sometiéndolo a un tratamiento adecuado de manera controlada, por ejemplo, una arena se densificará más si se vibra convenientemente, concluyendo que el comportamiento del suelo depende de las propiedades granulométricas y de su acomodamiento.

Existen dos variaciones en las propiedades del suelo: propiedades de granos y agregados. Los granos se caracterizan por su forma y tamaño. En arcillas la característica mineralógica de las partículas más pequeñas. Para los agregados existen suelos sin cohesión la densidad relativa y para suelos cohesivos la consistencia.

(Peck, 1973)

2.1.1.1 Principales tipos de suelo

La corteza terrestre se divide en dos categorías: suelo y roca.

Se denomina suelo a todo compuesto natural de corpúsculos minerales que han sido separados por procesos mecánicos de poca densidad, como la agitación del agua, en cambio la roca es un agregado de minerales unidos por fuerzas poderosas cohesivas y permanentes.

Existen suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y química de las rocas (residuales o transportados) y aquellos orgánicos.

Dependiendo del clima, cálido-semimarino o templado, normalmente los suelos residuales no llegan a gran profundidad, por otra parte, en climas cálido-húmedos, con tiempo de exposición prolongado, pueden extenderse varios metros de profundidad y ser estables y firmes, sin embargo, pueden componerse de materiales compresibles, lo que ocasiona problemas con las fundaciones de obras civiles.

Aquellos suelos orgánicos se han generado en el sitio como consecuencia de la descomposición de vegetales y ciertos organismos.

Unos de los suelos más comunes se conocen como arenas y gravas o ripios o cantos rodados, sin cohesión, poco o no alterados. Partículas de 2 milímetros o menos se denominan arenas, aquellas de mayor tamaño hasta 15 o 20 centímetros son gravas, ripio o canto rodado. Algunas con mayores diámetros se llaman piedras-bolas, rodados grandes y piedras-bochas.

Limos inorgánicos de grano fino no muestran ninguna plasticidad, el polvo de roca tampoco tiene plasticidad, el común de estos granos es que la forma de sus partículas son equidimensionales.

Para suelos plásticos, la forma de las partículas es a manera de escama, denominados limos plásticos de consistencia suave, los limos inorgánicos se llaman arcillas.

Estos limos pueden distinguirse de manera rápida sin necesidad de efectuar ensayos con instrumentación, por ejemplo, una porción de limo inorgánico saturado de agua se sacude en la palma de la mano hasta que su superficie quede cubierta por una lámina de agua brillante y luego se la dobla tornándose opaca (ensayo de sacudimiento), si se seca esta porción y se vuelve frágil y disgregable, generalmente son limos impermeables, uno de sus problemas es que suben a manera de líquido viscoso desde el fondo de una perforación o excavación, uno de los suelos más inestables son las arenas finas. (Peck, 1973)

Para limos orgánicos, los granos son finos y más o menos plásticos, contienen material vegetal en láminas finas y sus colores varían de gris a gris muy oscuro, con cantidades apreciables de azufre producto de la descomposición de material orgánico, de muy alta compresibilidad y baja permeabilidad.

Para arcillas, las partículas son microscópicas, plásticas al estar saturadas y secas son duras, haciendo difícil despegar polvo al frotarla, con permeabilidad muy baja.

Para arcillas orgánicas, así como para las turbas, saturadas son sumamente compresibles, sin embargo, las arcillas orgánicas al secarse son muy resistentes.

Para las arenas y gravas la descripción cualitativa es suelta, medianamente densa y densa, para la arcilla es dura, compacta, medianamente compacta y blanda, esta consistencia se

determina mediante ensayos de terreno insitu haciendo perforaciones, donde la dificultad de perforar en la masa de suelo determina la dureza del mismo.

(Peck, 1973)

2.1.1.2 Principales tipos de suelo en Quito

Desde 1992-1994 comenzó el Proyecto: “Manejo del Riesgo Sísmico para Quito-Ecuador”, donde se obtuvo 20 zonas de acuerdo al tipo de suelo, las cuales son:

- Los Flancos orientales del Pichincha (F), existen 7 subdivisiones f; y están formadas por depósitos aluviales, principalmente de cangahua y cenizas volcánicas.

Las zonas f2, f3, presentan características similares y que las zonas f5, f6 y f7 pueden ser compatibles.

- Depósitos lacustres en la depresión central de la ciudad (L), existen 6 subdivisiones, cubierta por suelos lacustres asentados muy probablemente sobre depósitos de Cangahua.

Las zonas l4, l5 presentan características similares; la zona l4 corresponde al sector del Parque la Carolina, donde el nivel freático es alto y los primeros estratos de suelo son de gran espesor y de poca resistencia; algunos especialistas de suelos manifiestan que en La Carolina existía un gran lago, otros descartan esta hipótesis en función del suelo encontrado en la zona. En la zona l5 está cubierta por material aluvional de la zona f5

- Ceniza volcánica con formaciones de cangahua (Q) al lado este de Quito. existen 6 subdivisiones, formadas por Cangahua.

Las zonas q1, q2, q3 y q5 son muy similares. En la zona q4 es una cangahua recubierta con arena volcánica de poca resistencia.

- El Panecillo que es de origen volcánico.

Las áreas de referencia son:

- El Ejido que se halla en la zona L3S
- La Carolina que se encuentra en las zonas L4 y L3N.
- Antiguo Aeropuerto de Quito que se encuentra en la zona L3N
- Panecillo.

(Aguiar, 2013)

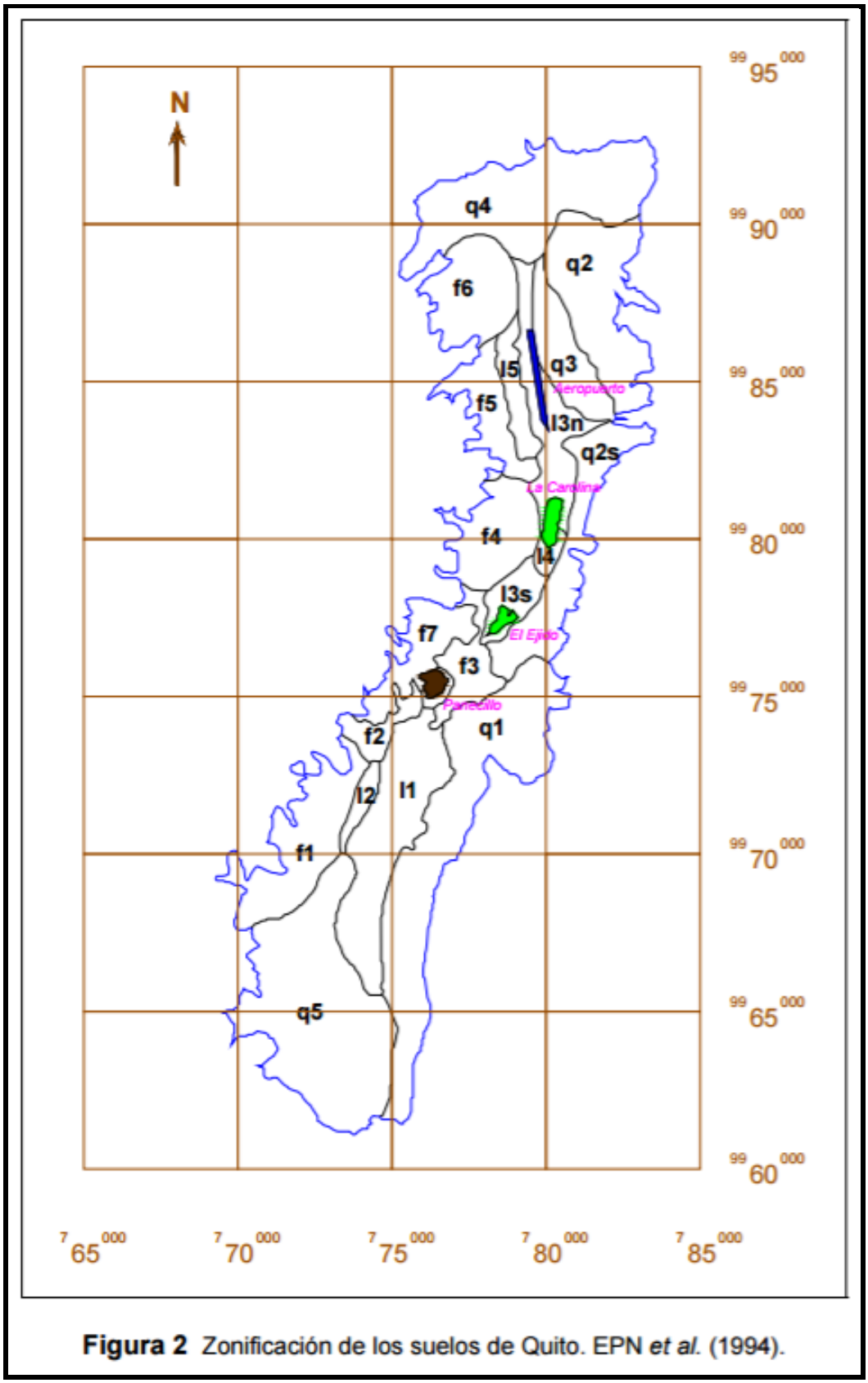


Figura 2 Zonificación de los suelos de Quito. EPN *et al.* (1994).

Ilustración 25:Zonificación de tipos de suelo en el Distrito Metropolitano de Quito, FUENTE: (Aguiar, 2013)

Esta clasificación de suelos en el Distrito Metropolitano de Quito se ha hecho mediante la CEC-2000, que considera 4 tipos de suelos:

Tabla 11:
Tipos de suelo acorde a su dureza, Fuente: (Aguiar, 2013)

S1	S2	S3	S4
Suelo muy duro	Suelo duro	Suelo blando	Suelo muy blando

Estos suelos coinciden con el tipo encontrado en la investigación propuesta, denotando sus características principales como su falta de resistencia (arenas no plásticas).

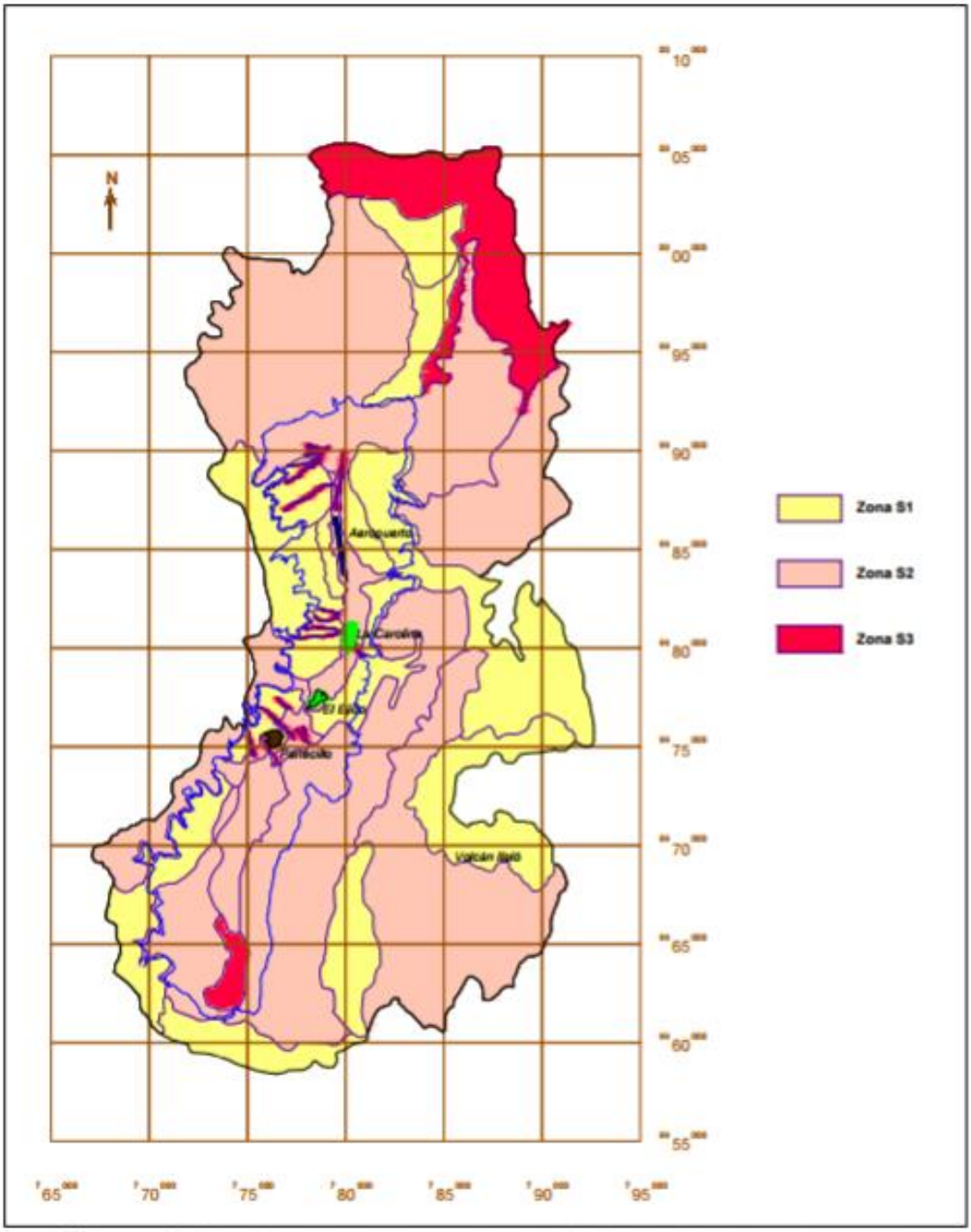


Figura 5 Clasificación de los suelos de Quito. Trabajo de EPN 2002.

Ilustración 26: Tipo de suelo según su dureza, Fuente: (Aguiar, 2013)

2.1.1.3 Tamaño y forma de las partículas de los suelos

Existen variación entre el canto rodado y una molécula grande, donde aquellos granos de tamaño mayor a 0,06 milímetros se consideran a simple vista o con ayuda de una lupa, constituyendo la fracción gruesa y muy gruesa de los suelos.

Aquellos granos que van entre 0,06 a 0,001 milímetros se visualizan mediante microscopios y son una fracción fina de los suelos y los que son menores a 2 micrones son parte de una fracción muy fina de los suelos.

El proceso de separar los agregados por sus tamaños se conoce como análisis granulométrico. Se conoce que en una masa de suelo se encuentran varios tipos de agregados de dos o más fracciones siendo características particulares de un suelo compuesto aquellas de fracción muy fina.

En el caso del hormigón, por ejemplo, sus propiedades están determinadas por el cemento, mientras que el ripio y la arena, que ocupan mayor espacio, actúa de forma inerte.

Aquella parte inerte del suelo lo compone entre un 80 a 90 por ciento de su peso seco total. Las fracciones muy gruesas como la grava están formadas de rocas compuestas de uno o más minerales, de forma molecular angular, redonda y chata, también muestran un grado de descomposición alto, resistencia y disgregación.

Las arenas también representan una fracción gruesa porque algunas de ellas se componen de cuarzo y las moléculas del mismo pueden ser angulares o redondeadas. Asimismo, ciertas arenas se componen de escamas de mica, lo que las vuelve esponjosas y elásticas.

Por otra parte, aquellas fracciones finas y muy finas solamente se componen de un mineral, sus moléculas son angulares-tabulares en forma de escama, pero no redondas. El porcentaje de partículas en forma de escama aumenta a medida que el grano disminuye.

(Peck, 1973)

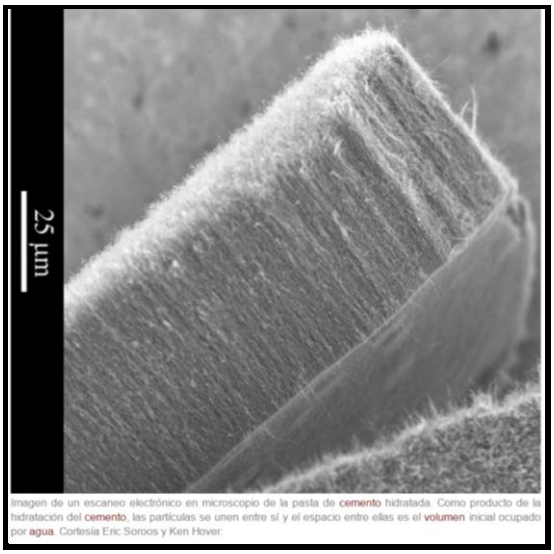


Ilustración 27:Imagen microscópica de la pasta de cemento, FUENTE: (ASOCRETO, 2015)

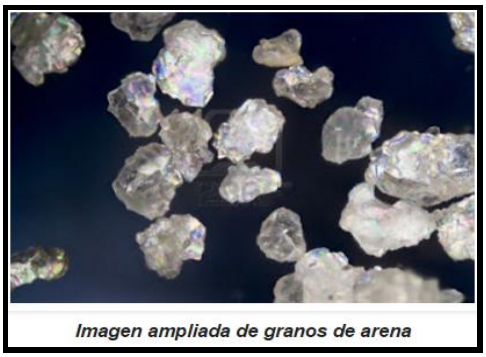


Ilustración 28: Imagen ampliada de granos de arena, FUENTE: (Zamora, 2011)



Ilustración 29: Imagen ampliada de las arcillas, FUENTE: (Maier, 2009)

Para aquellas partículas muy finas, al ser desmenuzadas por medio de fuerzas externas, forman cuerpos aún más pequeños que por medio de su saturación son expuestos a solicitaciones de fuerzas que influyen en ellas para su sedimentación y comportamiento mecánico como masa de suelo. Estos factores vienen dados por la naturaleza eléctrica de las mismas y el tipo de material que las compone, tales como la biotita, cuarzo, caolinita, montmorilonitas e ilitas. (Peck, 1973)

La forma de interacción entre partículas del suelo es muy interesante y ayuda a comprender fenómenos como el hinchamiento y la consolidación, las cuales son provocadas por el acomodamiento de los folículos de partículas de suelo y su forma ante un estímulo externo o fuerza P que tiende a comprimirlos o no.

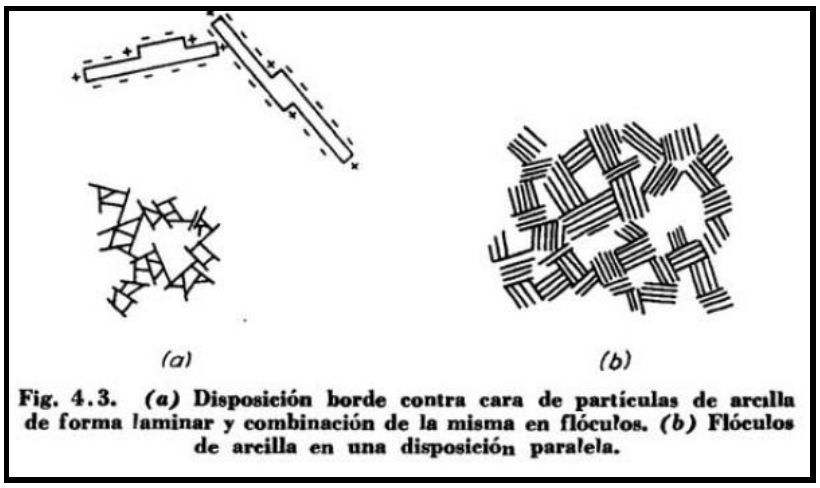


Ilustración 30: Interacción entre partículas de suelo, FUENTE: (Peck, 1973)

Dichos fenómenos no pueden ser si no hay presencia de agua que rodee a las moléculas del suelo, ya que funciona como medio conductor entre cargas eléctricas negativas y positivas del agua, partículas de suelo y elementos químicos en el medio.

2.2 Caracterización de las arenas no plásticas

Al tener una concepción clara de todos los factores que intervienen en una masa de suelo, desde el punto de vista macro, micro, tipo y caracterización, se puede hablar de las arenas no plásticas, motivo de estudio de esta disertación.

Al hablar de arena, se dice que está conformada de granos redondeados de partículas visibles y finas entre 0,006 y 2 milímetros, lo que quiere decir que no tiene cohesión, además al ser no plástica, no está compuesta de láminas de otro tipo de suelo con estructura granular diferente como escamada. (Peck, 1973)

2.2.1 Granulometría

La finalidad del análisis granulométrico es determinar el tamaño de las partículas o granos de una masa de suelo, así como el tipo y la cantidad de los mismos.

El método más utilizado, son tamices donde la abertura más fina de la malla es de 0,07 mm, por lo que está restringido para arenas limpias, de manera que si el suelo analizado tiene partículas más finas se propone separar en dos partes por lavado sobre aquel tamiz. La parte fina es analizada por métodos húmedos de sedimentación o levigación. (Peck, 1973)

Como la granulometría es un fenómeno estadístico es conveniente analizarlo a manera de curvas que muestran el tamaño y uniformidad en porcentaje de las partículas en forma logarítmica.

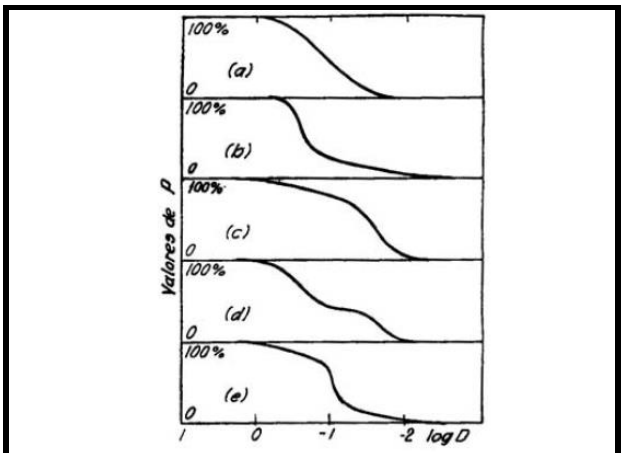


Fig. 5.2. Curvas granulométricas típicas. *(a)* Curva de frecuencia normal; *(b)* y *(c)* curvas para suelos que tienen fracciones finas y gruesas de distinta uniformidad; *(d)* y *(e)* curvas compuestas.

Ilustración 31:Curva granulométrica, FUENTE: (Peck, 1973)

Un método abreviado de granulometría lo plantea Hanzen. A raíz de un ensayo en arenas para filtros se encuentra la permeabilidad de las mismas en estado suelto y se dedujo que

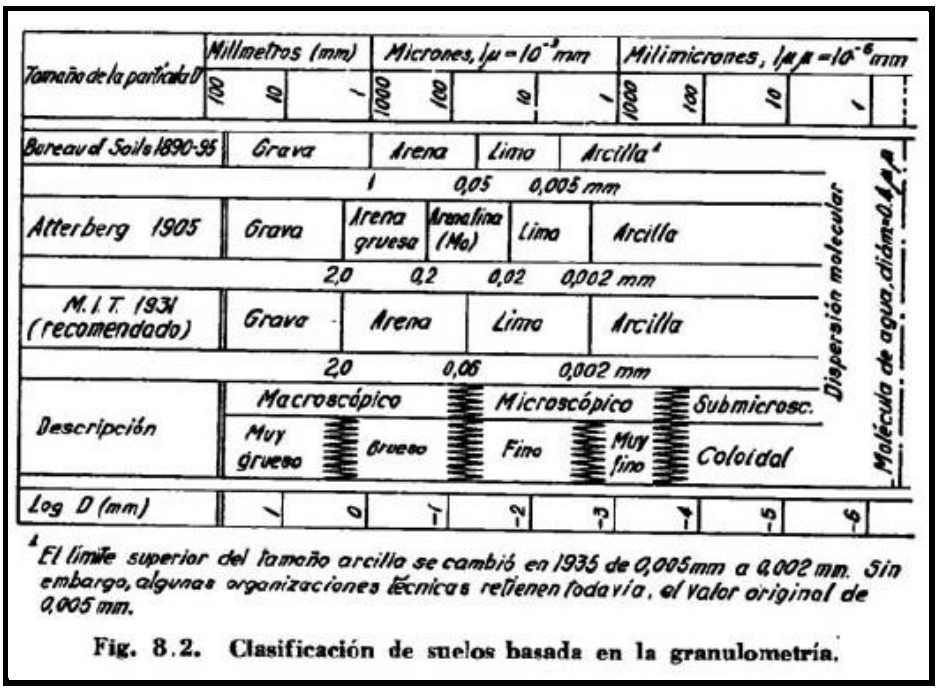
dependen de dos cantidades: el diámetro efectivo (D_{10}) es el tamaño de la partícula que corresponde al P = 10 % de la curva granulométrica, lo que quiere decir que el 10% son partículas finas y el 90% son gruesas, y el coeficiente de uniformidad (U), es igual a $\frac{D_{60}}{D_{10}}$, en el que el D_{60} es el tamaño de partícula que corresponde a un P= 60%. (Peck, 1973)

2.2.1.1 Textura, estructura y consistencia

Dichos términos ayudan a definir textura (grado de fineza y uniformidad) descrita como harinoso, suave, arenoso, áspero, etc. Estructura (disposición de las partículas dentro de la masa de suelo) y consistencia, la cual va de la mano con suelos como las arcillas que pueden tener cohesión muy alta. Excepcionalmente existen suelos, cuya agrupación de granos compuestos forma panales, formados con un denso conglomerado de limos y arcillas.

2.2.2 Clasificación basada en granulometría

Las clasificaciones basadas en características granulométricas de los suelos tienen un amplio uso en descripciones preliminares o generales. Para ello se ha asignado con nombres a las fracciones de suelo estudiado tales como limo o arcilla.



[4] El límite superior del tamaño arcilla se cambió en 1935 de 0,005mm a 0,002 mm. Sin embargo, algunas organizaciones técnicas retienen todavía, el valor original de 0,005 mm.

Fig. 8.2. Clasificación de suelos basada en la granulometría.

Ilustración 32: Clasificación del suelo, FUENTE: (Peck, 1973)

2.2.2.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

El gran número de vacíos de la mayoría de sistemas de clasificación de los suelos provocó una revisión del problema, entonces en 1948 A. Casagrande propuso el SUCS, que establece la división de 3 grupos de suelos: grano grueso, fino y altamente orgánico (turbas). Para separar los suelos de grano grueso del fino se adopta el tamiz número 200 (0.074 mm). En campo, se establece que más del 50% en peso del suelo está compuesto de granos que pueden distinguirse y separarse, a los mismos se los denomina agregado grueso. (Peck, 1973)

Los agregados gruesos se dividen en gravas (G) y arenas (S), acorde al 50% de la visibilidad de los agregados, lo que quiere decir que puedan o no pasar por el tamiz número 4 (partículas mayores a 1mm). (Peck, 1973)

Las gravas y las arenas se dividen en cuatro grupos:

W: ***bien graduados*** **(coeficiente de uniformidad $U > 4$); *limpios* ($< 5\%$ que pasa el tamiz 200: partículas menores de 0,074 mm).**

P: ***pobremente graduados*** **(con granulometría discontinua, o $U < 4$ para gravas ó 6 para arena); *limpios* ($< 5\%$ de partículas menores de 0,074 mm).**

C: ***bien graduados; sucios*** **($> 12\%$ de partículas menores de 0,074 mm); *finos arcillosos* o *plásticos* ($I_p > 7$, ubicado por encima de la línea A en el gráfico de las plasticidades).**

F: ***pobremente graduados; sucios*** **($> 12\%$ de partículas menores de 0,074 mm); *finos limosos o no plásticos* ($I_p < 4$, ubicado por debajo de la línea A en el gráfico de las plasticidades).**

Ilustración 33: Graduación de las partículas de suelo, FUENTE: (Peck, 1973)

Como se menciona anteriormente los estratos de suelos pueden componerse de varios tipos de granos entonces acorde al SUCS se representará como GW y SP, para materiales limites se usa GW y GP. (Peck, 1973)

Los suelos de granos finos se dividen en tres grupos: arcillas inorgánicas (C), limos orgánicos (M) y limos y arcillas orgánicas (O). La subdivisión de cada uno de ellos tiene límites líquidos menor que 50% (L) o mayor que 50% (H). (Peck, 1973)

Para diferenciar las arcillas inorgánicas C, limos inorgánicos M y suelos orgánicos O, se toma en cuenta la plasticidad de los mismos. Sus combinaciones son: CH, CL, OH, OL, ML y MH. (Peck, 1973)

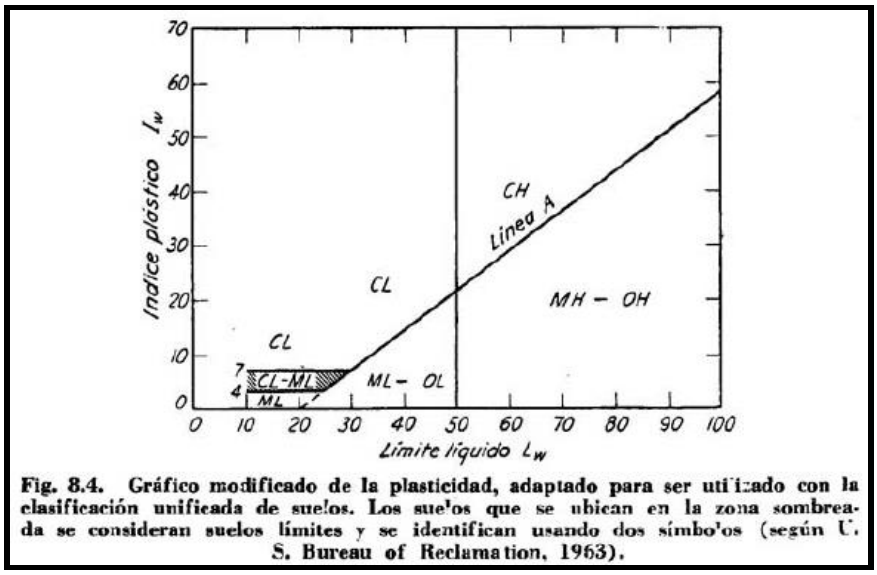


Fig. 8.4. Gráfico modificado de la plasticidad, adaptado para ser utilizado con la clasificación unificada de suelos. Los suelos que se ubican en la zona sombreada se consideran suelos límites y se identifican usando dos símbolos (según U. S. Bureau of Reclamation, 1963).

Ilustración 34: Plasticidad del suelo, FUENTE: (Peck, 1973)

Clasificación de suelos de granos finos. Sistema de clasificación unificado

Grupo	Resistencia seca	Reacción al ensayo de sacudimiento	Rigidez en el límite plástico
ML	ninguna o muy baja	rápida a lenta	nula
CL	mediana a alta	nula o muy lenta	mediana
OL	muy baja a mediana	lenta	pequeña
MH	muy baja a mediana	lenta a nula	pequeña a mediana
CH	alta a muy alta	nula	alta
OH	mediana a alta	nula a muy lenta	pequeña a mediana

Lecturas seleccionadas

El estudio definitivo de la clasificación de suelos como el de las bases para el Sistema de Clasificación Unificada de los Suelos están contenidos en Casagrande A.: "Classification and identification of soils", *Trans. ASCE*, (1948), vol. 113, págs. 901-992.

Ilustración 35:Clasificación del suelo según los granos finos, FUENTE: (Peck, 1973)

2.3 Compacidad relativa del suelo

Para suelos granulares especialmente, está en función de la densidad relativa que la compone el porcentaje de vacíos.

2.3.1 Factores

2.3.1.1. Coeficiente de Uniformidad (curva de uniformidad)

Como se menciona en la parte de granulometría, el coeficiente de uniformidad se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas que componen el suelo, es una relación igual a $\frac{D_{60}}{D_{10}}$, en el que el D_{60} es el tamaño de partícula que corresponde a un P=

60%, y el diámetro efectivo (D_{10}) es el tamaño de la partícula que corresponde al P = 10 % de la curva granulométrica. (Peck, 1973)

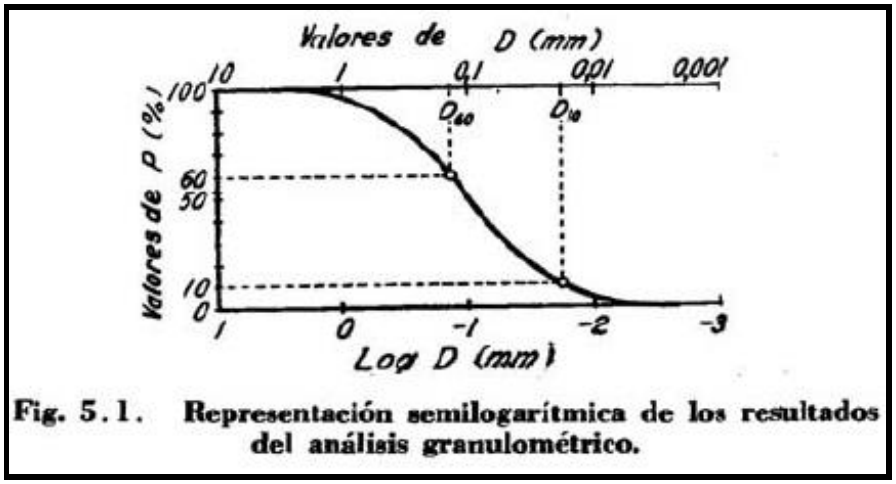


Fig. 5.1. Representación semilogarítmica de los resultados del análisis granulométrico.

Ilustración 36:Compacidad relativa, FUENTE: (Peck, 1973)

2.3.1.2 Porosidad, contenido de humedad y peso unitario.

Porosidad

La porosidad n es el cociente entre el volumen total de vacíos y el volumen total con el de sólidos.

$$n = \frac{V_v}{V} \qquad e = \frac{V_v}{V - V_v}$$

La relación entre vacíos y porosidad:

$$e = \frac{n}{1 - n} \qquad n = \frac{e}{1 + e}$$

En una masa no cohesiva, con granos homogéneos depende de su disposición, donde la porosidad de un depósito natural de arena depende de la forma, uniformidad y condiciones de sedimentación de sus granos, varía entre el 25 y 50 porciento.

Densidad en suelos arenosos

El estado de la densidad en suelos arenosos se expresa mediante:

$$D_r = \frac{e_o - e}{e_o - e_{min}}$$

Donde:

- e_o= relación de vacíos del suelo en su estado más suelto-estable
- e_{min}=relación de vacíos en el estado más denso que puede dar el laboratorio.
- e=relación de vacíos del suelo natural en el terreno

Para una arena mediana o gruesa en su estado más suelto, que corresponde a una relación de vacíos e_o, deberá ser secada y luego vertida en un recipiente a una altura pequeña. Para arenas finas y muy finas, se colocarán en agua para luego ver la suspensión de las partículas después de haberse sedimentado, donde el valor de e_o es igual al del sedimento obtenido.

La densidad relativa de la arena tiene un valor que es prácticamente independiente de la presión estática a la que el material ha estado sometido, la misma depende del procedimiento por el cual el material ha sido compactado o sedimentado.

(Peck, 1973)

También puede ser expresada en términos del peso específico seco

$$D_r(\%) = \frac{\gamma_d - \gamma_{d(min)}}{\gamma_{d(máx)} - \gamma_{d(min)}} \times \frac{\gamma_{d(máx)}}{\gamma_d} \times 100$$

(DAS, 2012)

Contenido de Humedad

Contenido de humedad w es la relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso del suelo seco expresada en porcentaje. Para arenas situadas sobre el nivel de aguas freáticas, suelen estar ocupados por aire parte de sus vacíos. (Peck, 1973)

$$S_r(\%) = \frac{100\ e_o}{e}$$

El grado de saturación de arenas se describe comúnmente como seca, húmeda o mojada.

Grado de saturación de las arenas

Condición de la arena	Grado de saturación (%)
Seca	0
Ligeramente húmeda	1-25
Húmeda	26-50
Muy húmeda	51-75
Mojada	76-99
Saturada	100

Ilustración 37:Grado de saturación de las arenas, FUENTE: (Peck, 1973)

Para diferentes tipos de arenas y sus complementos sobre el nivel de aguas freáticas:

Tabla 12:
Grado de saturación de las arenas. FUENTE: (Peck, 1973)

Arenas Gruesas	Ligeramente húmedas
Arenas Finas o Limosas	Muy Húmedas

Peso Unitario del suelo

El peso unitario del suelo, definido también como peso unitario del agregado (suelo más agua) por unidad de volumen, depende del peso de los elementos sólidos, porosidad y grado de saturación.

Tabla 6.2 °

Pesos específicos absolutos de los elementos sólidos más importantes de los suelos

	g/cm³		g/cm³
Yeso	2,32	Dolomita	2,87
Montmorillonita °°	2,4	Aragonita	2,94
Ortoclasa	2,56	Biotita	3,0–3,1
Caolinita	2,6	Augita	3,2–3,4
Illita °°	2,6	Hornblenda	3,2–3,5
Clorita	2,6–3,0	Limonita	3,8
Cuarzo	2,66	Hematita hidratada	4,3±
Talco	2,7	Magnetita	5,17
Calcita	2,72	Hematita	5,2
Muscovita	2,8–2,9		

° Datos tomados de E. S. Larsen y H. Berman (1934).
°° Valores teóricos calculados sobre la base de los pesos atómicos de los elementos del reticulado cristalino (según R. E. Grim).

Ilustración 38: Pesos específicos de granos finos, FUENTE: (Peck, 1973)

- $\gamma_s = mitad\ del\ peso\ específico\ absoluto\ de\ elementos\ sólidos$
- $\gamma_{10} = peso\ específico\ del\ agua = 1\frac{gr}{cm^3}$
- $n = porosidad\ (expresada\ como\ una\ relación)$
- $Peso\ unitario\ del\ suelo\ seco\ (S_r = 0\%)$:

$$\gamma_d = (1-n)\gamma_s$$

- $Peso\ unitario\ del\ suelo\ saturado\ (S_r = 100\%)$:

$$\gamma = (1-n)\gamma_s + n_{\gamma_{10}} = \gamma_s - n(\gamma_s - \gamma_{10})$$

(Peck, 1973)

Para granos de arena de término medio el peso específico absoluto es de $2{,}65\frac{gr}{cm^3}$,

En la siguiente tabla se indican con valores aproximados las porosidades y pesos unitarios de suelos saturados.

Porosidad, relación de vacíos y peso unitario de suelos típicos en estado natural

Descripción del suelo	Porosidad n (%)	Relación de vacíos e	Contenido de humedad w (%)	Peso unitario γ_d g/cm³	Peso unitario γ g/cm³
1. Arena uniforme, suelta	46	0,85	32	1,43	1,89
2. Arena uniforme, densa	34	0,51	19	1,75	2,09
3. Arena graduada, suelta	40	0,67	25	1,59	1,99
4. Arena graduada, densa	30	0,43	16	1,86	2,16
5. Morena glaciar con partículas de todo tamaño	20	0,25	9	2,12	2,32
6. Arcilla glaciar blanda	55	1,2	45	..	1,77
7. Arcilla glaciar resistente	37	0,6	22	..	2,07
8. Arcilla blanda ligeramente orgánica	66	1,9	70	..	1,58
9. Arcilla blanda muy orgánica	75	3,0	110	..	1,43
10. Bentonita blanda	84	5,2	194	..	1,27

w = contenido de humedad del suelo saturado, en por ciento del peso del suelo seco.
γ_d = peso unitario del suelo seco.
γ = peso unitario del suelo saturado.

Ilustración 39: Porosidad, FUENTE: (Peck, 1973)

2.3.1.3 Permeabilidad

Un material es permeable cuando existen vacíos continuos entre sus partículas.

Su efecto en el ámbito constructivo es decisivo ya que existen dificultades, por ejemplo, en la excavación a cielo abierto en arena bajo agua.

Hay que tener en cuenta que, para materiales como la arcilla, hormigón denso o una roca sana, la permeabilidad no está fuera, de hecho, tiene una importancia práctica porque el agua al circular por el material poroso ejerce presión conocida también como presión de filtración y puede llegar a ser muy alta. Sin embargo, es tan pequeña la cantidad de agua que escurre generalmente en campo abierto, que se vapora y se considera despreciable.

La mayoría de los problemas que enfrenta el ingeniero civil en el estudio de los suelos tratan sobre la filtración del agua a poca profundidad, con poca variación en la altura del líquido.

El líquido que escurre en una masa de suelo pasa por medio de canales de sección transversal muy irregular, por ello la velocidad de escurrimiento también varía, pero al hablar de velocidad media de escurrimiento podría decirse que la sección transversal de los canales es circular. Conociendo que existe una relación directa entre la porosidad (sección de los canales) y el diámetro de las partículas se dice que k está en función del diámetro de las mismas al cuadrado, basándose en la ley de Poiseuille.

$$k = constante \times D^2$$

(Peck, 1973)

Relación de vacíos y permeabilidad

Ante la compresión y vibración de una masa de suelo las partículas que lo componen tienden a disgregarse o acomodarse, rediciendo su volumen de vacíos por lo tanto la permeabilidad del suelo también disminuye.

$$k = 1{,}4e^2 k_{0{,}85}$$

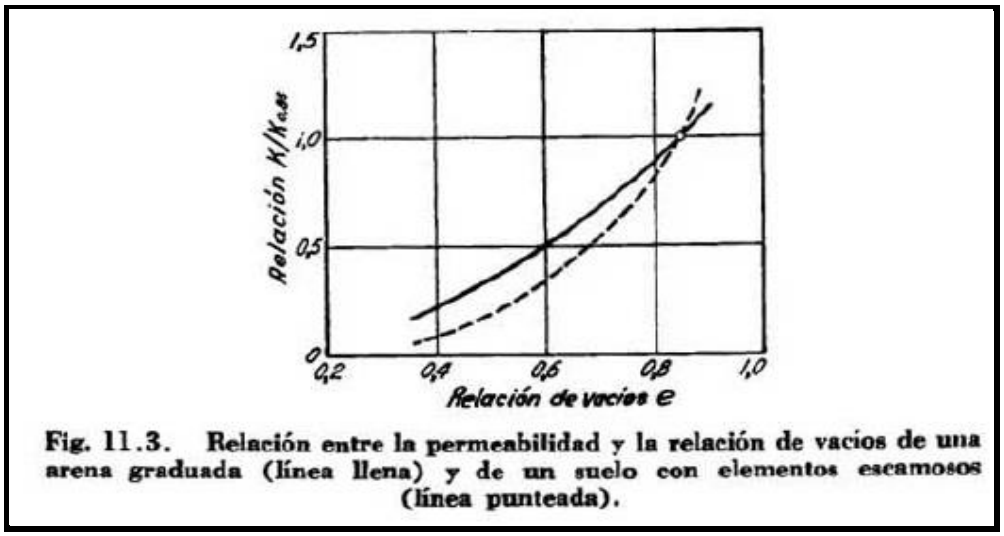


Fig. 11.3. Relación entre la permeabilidad y la relación de vacios de una arena graduada (línea llena) y de un suelo con elementos escamosos (línea punteada).

Ilustración 40: Permeabilidad y relación de vacíos, FUENTE: (Peck, 1973)

Tabla 11.1

***Permeabilidad y condiciones de drenaje de los suelos** **

Coeficiente de permeabilidad k en cm/seg (escala logarítmica)

	10^{-2}	10	1.0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje	Bueno							Pobre		Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava.				Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada.				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición.		
					Suelos "impermeables" modificados por la vegetación o por descomposición.**							
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.		
	Por cálculo partiendo de la curva granulométrica. Solo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.									Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia.		

* Según A. Casagrande y R. E. Fadum (1940).
** Véase N. del T. al pie de pág. 52.

Ilustración 41: Permeabilidad y condiciones de drenaje, FUENTE: (Peck, 1973)

2.3.1.4 Erosión

En ingeniería civil muchas veces se tiene que encauzar la circulación natural de agua en suelos para enviarla a zanjas o pozos. Dicha desviación se llama drenaje, los pozos de drenaje son revestidos comúnmente con tubos perforados y los conductos que los contienen se llaman zanjas, entre el suelo y los tubos se coloca una capa de material permeable grueso que actúe como filtro.

El arrastre de material entre suelo grueso y suelo fino produce arrastre o erosión si la velocidad del agua es elevada. La erosión produce pequeños manantiales en diferentes cotas del terreno que poco a poco progresan al interior del mismo, siendo una amenaza para diques de embalse, puentes, entre otras obras civiles. Siendo una solución práctica la construcción de filtros en los lugares de mayor erosión.

(Peck, 1973)

2.4 Densidad Relativa de los suelos arenosos acorde al caso de estudio

En este apartado se demostrará cómo se obtiene la densidad relativa tomada de los estudios de suelos analizados del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Para ello en el apartado 2.2 y 2.3 del capítulo 2 se explican conceptos básicos de mecánica de suelos y así profundizar el análisis de la densidad relativa. Además, se propondrán nuevos conceptos básicos en un estudio de suelos como: ensayo de penetración estándar, NSOP y N60.

2.4.1 SPT

El ensayo de penetración estándar, es parte de los ensayos de muestreo insitu más utilizados en exploración geotécnica, que se realizan de forma práctica generalmente en suelos granulares finos. El conteo de golpes del martillo se lo realiza a partir de tres o cuatro tramos de 15cm de avance, la suma del número de golpes a partir del segundo y tercer tramo se denomina (N).

Es uno de los ensayos más antiguos donde se supone que la energía de golpeo empleada en el trabajo es del 100%, sin embargo, no se desprecia la perdida de energía en forma de rozamiento por parte de los equipos que componen el mecanismo de toma de muestra. Diversos estudios a lo largo del tiempo demostraron que en el ensayo se desarrolla sólo un 60% de la energía teórica. (N60)

Del número de golpes se derivan correlaciones por medio de las cuales se pueden determinar características importantes del suelo para el diseño de fundaciones de obras civiles.

Equipo necesario

- Equipo de perforación: brocas, puntas cola de pescado, con diámetros de 162mm y mayores de 56 mm
- Equipos de percusión y lavado
- Tubos de acero: conectan el tubo partido con el cabezote y la guía sobre los que cae el martillo
- Muestreador de tubo partido:

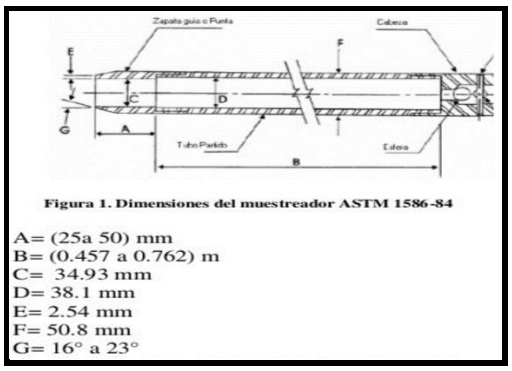


Ilustración 42: Dimensiones del muestreador. Fuente: (Soriano, 2009)

- Martillo y equipo de hincado:

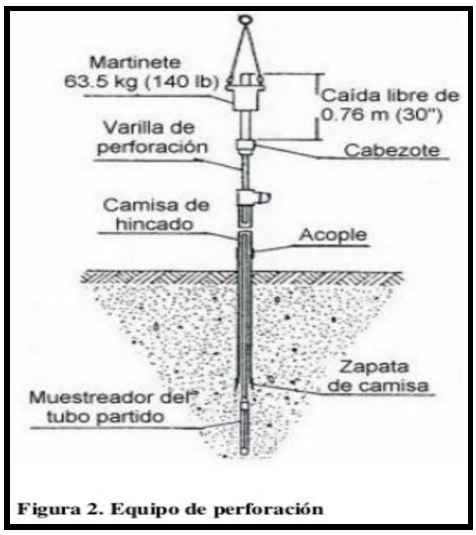


Ilustración 43: Martillo de Hincado. Fuente: (Soriano, 2009)

- Sistema de caída del martillo: usa un malacate y un tambor, que mediante un sistema de cuerdas y poleas permiten levantar el martillo dejándolo caer.

Ejecución del ensayo

a) Ejecutar perforación: en suelo limpio y estable, para obtener resultados relativamente inalterados, el avance es aproximadamente 1.5m en suelos no tan homogéneos
b) Conectar la tubería de acero con el muestreador de cuchara partida, dejando caer naturalmente hasta la profundidad del ensayo
c) Montar cabezote en la parte superior de tubería y el martillo

d) Marcar el equipo cada 0.15m para observar el avance del muestreador a medida que cae el martillo
e) Contar número de golpes conforme avance 0.15m y en una altura de caída del martillo de 76cm.

Existen condiciones de rechazo:

- ✓ Cuando pasen 50 golpes dentro de los 15cm
- ✓ Cuando llegue a los 100 golpes dentro de los 15cm
- ✓ Cuando no hay avance del muestreador a los 10 golpes

f) Sacar el muestreador, anotar la longitud de la muestra y describirla conforme a su color, estratificación, composición y condición.

Correcciones del ensayo

- ✓ Por energía: relación entre el impacto respecto a la cabeza de golpeo, aproximadamente 0.6 o N60
- ✓ Para suelos granulares: el factor de corrección será el de presión efectiva de sobre carga. A mayor profundidad generalmente aumenta el valor de N.

$$C_N = 0.77LOG\ 200/p$$

Donde p es la presión efectiva del suelo en (t/m2).

2.4.2 N60

Corrección del ensayo SPT respecto a suelos granulares donde el N de diseño se define:

$$N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_S * \eta_R}{60}$$

(DAS, 2012)

N_{60}= número de penetración estándar, corregido por condiciones de campo
N=Número de golpes
η_H=Eficiencia del martillo (%)
η_B=Diámetro de la perforación
η_S=Corrección por muestreador
η_R=Longitud de la varilla

$(\mathrm{DAS}, 2012)$

Tabla 12.3 Variaciones de η_H, η_B, η_S y η_R [ecuación (12.4)]

1. Variación de η_H

País	Tipo de martillo	Lanzamiento del martillo	η_H (%)
Japón	Anillos	Caída libre	78
	Anillos	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	Seguridad	Cuerda y polea	60
	Anillos	Cuerda y polea	45
Argentina	Anillos	Cuerda y polea	45
China	Anillos	Cuerda y polea	60
	Anillos	Cuerda y polea	50

Ilustración 44: Factor de corrección por N60. Fuente: (DAS, 2012)

2. Variación de η_B

Diámetro (mm)	η_B
60–120	1
150	1.05
200	1.15

Ilustración 45: Factor de corrección por N60. Fuente: (DAS, 2012)

3. Variación de η_S

Variable	η_s
Muestreado estándar	1.0
Con revestimiento para arena densa y arcilla	0.8
Con revestimiento para arena suelta	0.9

Ilustración 46:Factor de corrección por N60. Fuente: (DAS, 2012)

4. Variación de η_R

Longitud de la varilla (m)	η_R
>10	1.0
6–10	0.95
4–6	0.85
0–4	0.75

Ilustración 47:Factor de corrección por N60. Fuente: (DAS, 2012)

Correlación entre el N60 y densidad relativa de un suelo granular

Dicha relación puede ser debido a que la presión de sobrecarga efectiva y la historia del esfuerzo del suelo afectan de manera significativa los valores del N60 y al ensayo de SPT.

$$(N_1)_{60} = C_N * N_{60}$$
$$(\text{DAS}, 2012)$$

Donde:

(N1)60 = valor corregido N para un valor estándar de $\sigma_O \sim 100\ KN/m2$

CN=factor de corrección

N60= valor N obtenido del campo

(DAS, 2012)

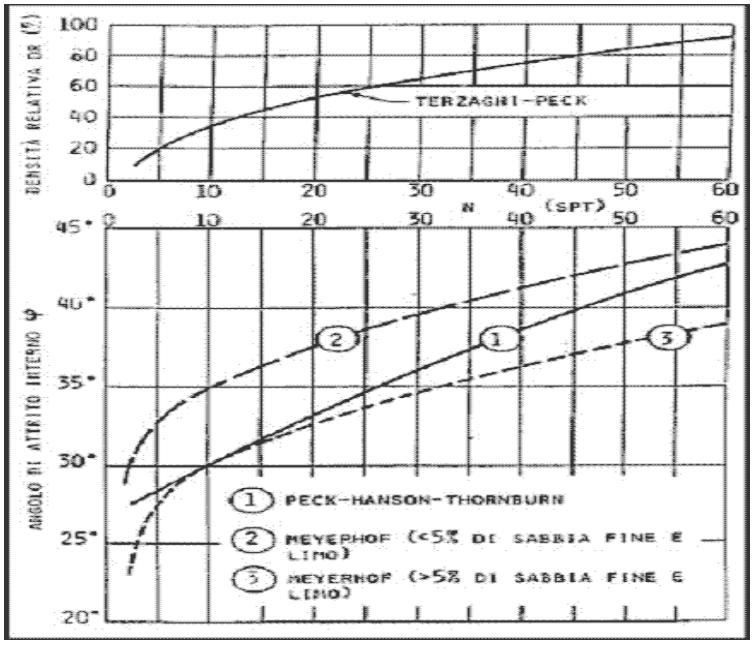


Ilustración 48: Tablas de rangos entre densidad relativa y N spt. Fuente: (Civil B. d., 2010)

Tabla 12.6 Relación entre el valor *N* corregido y la densidad relativa en arenas

Número de penetración estándar, $(N_1)60$	Densidad relativa aproximada, D_r (%)
0–5	0–5
5–10	5–30
10–30	30–60
30–50	60–95

Ilustración 49: Densidad relativa de arenas acorde con el ensayo spt. Fuente: (DAS, 2012)

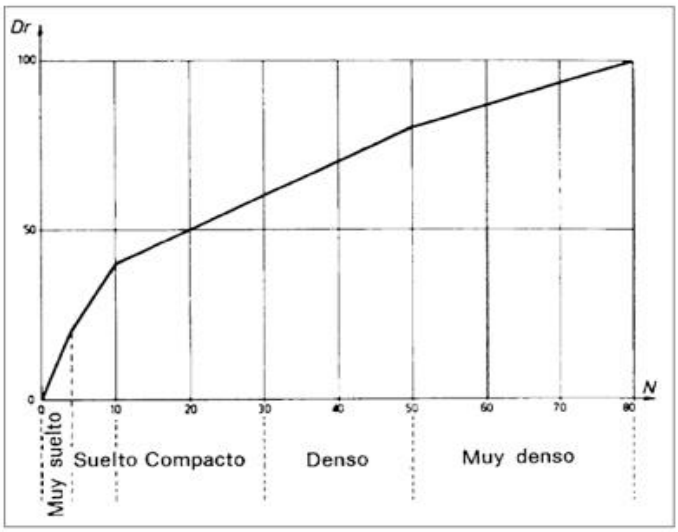


Ilustración 50: Valores de Densidad Relativa acorde al N del SPT. Fuente: (Civil A. I., 2010)

2.5 Ejemplo del caso de estudio

El Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, utiliza correlaciones del estudio SPT para obtener los datos de densidad relativa de materiales granulares mediante fórmulas y tablas establecidas por Braja M. Das.

Para realizar el ejemplo se tomará una muestra de 16 datos de arenas no plásticas que se encuentran en estudios de suelos dentro del DMQ, del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, donde los datos principales serán los valores del NSPT, profundidad de dónde fue tomada la muestra, granulometría, sector y tipo de suelo, ya que este trabajo data de arenas no plásticas.

Se utilizará la fórmula establecida por Meyerhof (1957) de la densidad relativa y Cubrinovski e Ishidara (1999), comprobará nuevamente los valores de los resultados.

$$Dr = \left[\frac{N_{60}}{(17 + 24\left(\frac{\acute{\sigma}_o}{\rho_a}\right)}\right]^{0.5}$$

(DAS, 2012)

$$Dr(\%) = \left[\frac{N_{60}\left(0.23 + \frac{0{,}06}{D_{50}}\right)^{1{,}7}}{9} \times \left(\frac{1}{\frac{\acute{\sigma}_o}{\rho_a}}\right)\right]^{0.5} \times 100$$

(DAS, 2012)

El peso unitario de la arena, se ha tomado de un rango (1,43– 1.89 gr/cm3), establecido en la ilustración 39, donde 1.80 gr/cm3 fue el valor considerado.

También para factores del cálculo del N60 se consideran las ilustraciones 44, 45, 46 y 47.

Tabla 13:
Factores para obtener el N60

CN (FACTOR DE CORRECCIÓN PARA SUELOS GRANULARES)	NH (TIPO DE MARTILLO)	NB (DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN)	NS (CORRECCIÓN POR EL MUESTREADOR)
45,00	1,00	1,00	0,75

- La tendencia de rangos de densidad relativa fue del 20%, conforme a los rangos establecidos en la ilustración 54, el material esta suelto, como resultado su trabajabilidad será fácil como lo dice la ilustración 55.

- Rangos de interpolación entre valores de densidad relativa respecto a los valores del factor “m” establecidos por la MOP2000

Tabla 14:
Rangos de interpolación entre Dr VS Factor "m"

RANGOS DE DENSIDAD RELATIVA %	RANGOS DEL FACTOR "m"
0	100
5	99
10	98
15	97
20	96
25	95
30	94
35	93
40	92
45	91
50	90

Como se puede observar los resultados obtenidos tanto de trabajabilidad, denominación, factor “m” y eficiencia, son menores a los resultados iniciales, esto debido a que el número de la muestra es escaso, sin embargo, es importante entender de dónde viene el valor de densidad relativa porque su intervención en la trabajabilidad del suelo y en el desarrollo de este trabajo es muy importante.

Tabla 15:
Resultados del ejemplo

DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN MEYERHOF (1957) (%)	DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN CUBRINOVSKI E ISHIDARA (1999)	DENSIDAD RELATIVA (%)	DENOMINACIÓN	TRABAJABILIDAD	Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000	EFICIENCIA USANDO "m" CALCULADO	EFICIENCIA USANDO CATERPILLAR
20,18	19,88	20,03	SUELTO	FÁCIL	95,99	43,23	49,28

Se considerarán los valores anteriores debido a que el tamaño de la muestra es mayor, a la exactitud de las densidades obtenidas por el laboratorio y a la pulcridad del cálculo del factor “m”.

3. CAPÍTULO III

3.1 Marco Teórico

Una vez comprendidos los conceptos de mecánica de suelos, el objetivo de este capítulo es interpretar y determinar el factor “m” en arenas no plásticas.

El factor “m” es el ángulo de la pendiente que tiene las partículas del agregado en este caso las arenas no plásticas al erosionarse, por lo tanto, al momento de excavar va de la mano con el ángulo de roce interno entre la cuchara de la excavadora y el suelo, trabajabilidad y la resistencia a la penetración (N de golpes de cuchara normal).

Para probar el objetivo 1.3.2.1, se tabularán los valores de densidades relativas de arenas no plásticas encontrados en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en el DMQ.

Dicho procedimiento es necesario, para establecer la trabajabilidad exacta del material y su eficiencia, ya que en el manual MOP2000 se muestran de forma general los tipos de suelos y a su vez los valores del factor “m” (trabajabilidad del material).

Tabla 1.12. Descripción del suelo según la densidad relativa (Lambe & Whitman, 1969).

D_r (%)	Descripción
0 - 15	Muy suelto
15 - 50	Suelto
50 - 70	Medianamente denso
70 - 85	Denso
85 - 100	Muy denso

Ilustración 51: Densidad relativa, FUENTE: (Civil, 2010)

Este procedimiento encontrará el factor “m” mediante la interpolación de datos entre los rangos de densidades relativas respecto a su trabajabilidad.

3.2 Factores “m” anteriores en el uso de Maquinaria

Tipo de material	Factor (m)	Trabajabilidad
Tierra no compacta; arena; grava; y suelo	100%	Muy fácil
Tierra compacta; arcilla seca; y suelos con contenido rocoso <25%	90%	Fácil
Suelo duro con contenido de roca > 25% < 50%	80%	Medio
Roca dinamitada o escarificada; suelos con contenido rocoso >50% <75%	70%	Difícil
Rocas y areniscas	60%	Muy difícil

Ilustración 52: Factores "m" según la MOP 1992, FUENTE: (MOP, 1992)

3.3 Datos obtenidos para la evaluación del factor “m”

3.3.1 Tabulación de Datos

La tabla principal del trabajo propuesto consta de:

Tabla 16:
Ejemplo de tabla de recopilación de datos

ESPECIFICACIÓN / LUGAR	DENSIDAD RELATIVA (%)	DENOMINACIÓN	TRABAJABILIDAD	Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000
2002/POMASQUI	18,63	Suelto	Fácil	96,274

Para simplificar el trabajo se obtiene un rango de valores de densidades relativas, donde el mayor es del 28,98%, lo que quiere decir que generalmente el suelo está suelto acorde a la ilustración número 54 y a su vez los resultados de trabajabilidad denotarán fácil a muy fácil de trabajar con un porcentaje aproximado del 90%, acorde a la ilustración número 55, como se muestra en el anexo 1.

Los rangos que se han establecido para estos casos son:

Tabla 17:
Rangos establecidos para el cálculo del factor "m" mediante interpolación

RANGOS A TRABAJAR	
RANGOS DE DENSIDAD RELATIVA %	**RANGOS DEL FACTOR "m"**
0	100
5	99
10	98
15	97
20	96
25	95
30	94
35	93
40	92
45	91
50	90

De esta manera se obtiene un número exacto del factor “m” acorde al material excavado. Como se muestra en el anexo 1.

Parte importante de este trabajo es la sectorización de resultados:

Tabla 18:
Tabla ejemplo de la sectorización

ESPECIFICACIÓN / LUGAR	**DENSIDAD RELATIVA (%)**	**Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000**	**Eficiencia**
NORTE DMQ			
2002/POMASQUI	18,63	96,274	43,3233
CENTRO NORTE DMQ			
2005/NNU	19,36	96,128	43,2576
CENTRO SUR/SUR DMQ			
2003/FLORESTA	19,31	96,138	43,2621

Los datos mostrados se encuentran distribuidos en todo el DMQ, y su caracterización se encuentra determinada mediante un mapa detallado en la ilustración 26, anexo 2.

3.3.2 Comparación de Resultados

En este apartado se compararán los resultados de la eficiencia mediante el cálculo del factor “m”, producto de los datos tabulados en la hoja electrónica, con aquellos resultados que brindan el uso de la excavadora 312B* del Manual de Caterpillar.

3.3.2.1 Excavación

Utilizando información del capítulo I, la tendencia fue emplear las tablas sugeridas por el manual de Caterpillar, acorde al modelo de la excavadora elegida **312B***, donde los factores de: volumen del cucharón, tiempo de ciclo, factor de eficiencia, factor de ángulo y altura de cota y factor de volumen resultan fundamentales para el cálculo de la eficiencia de la excavadora.

Los valores obtenidos son relativos, debido a que vienen de una normativa teórica, la que no considera que el trabajo en obra suele variar y es poco práctico concluir que la excavadora va a funcionar al 100% en operación.

Tabla 19
Cálculo de Eficiencia por manual Caterpillar

EFICIENCIA SEGÚN CATERPILLAR		
DESCRIPCIÓN	**FACTORES**	**ESPECIFICACIÓN**
Volumen del Cucharón	0,23	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Tiempo de Ciclo	0,21	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de Eficiencia	0,62	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de ángulo y altura de corte	1,04	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de volumen	0,70	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
EFICIENCIA	49,28	

Datos utilizados para el cálculo de la eficiencia acorde al manual de Caterpillar, BASADO EN: (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)

3.3.2.2 Eficiencia

En esta tabla se muestra el cálculo de los datos obtenidos y tabulados, resueltos como se indica en el capítulo 1, acorde a la normativa MOP 2000 y en la sección 3.3.1. Donde por medio de interpolación el valor del factor “m” es igual a 0.9657 o 0.97.

Tabla 20
Datos obtenidos por medio de tabulación de datos de laboratorio de arenas no plásticas

Datos Requeridos para arena	Valores en kg/cm3	Valores en m3	Especificaciones
Densidad del material suelto	**1,6**		**Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotécnica, Localidad de San Juan-Norte de Quito, 2003, Material No Plástico, Arena.**
Densidad del material en banco	**1,8**		**Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotécnica, Localidad de San Juan-Norte de Quito, 2003, Material No Plástico, Arena.**
Densidad del material compactado	**2,01**		**Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotécnica, Localidad de San Juan-Norte de Quito, Material No Plástico, Arena.**
Capacidad Real del Cucharon VR		**0,23**	**Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)**
Capacidad Nominal del Cucharon VN		**0,52**	**Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)**

Los valores de densidad y capacidad, son un promedio de los calculados, y están sustentados en el capítulo 1, BASADO EN: (Merizalde, Maquinaria de Construcción, capítulo 3, 2013)

Tabla 21
Cálculo de la eficiencia usando factor “m”

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA				
Descripción	**Factor**	**Calificación**	**VALOR (%)**	**VALOR PARA CÁLCULO**
Tiempo efectivamente trabajado en minutos /hora transcurrida	Factor i (%)	Bueno	83	0,83
Habilidad del Operador	Factor o (%)	Buena	85	0,85
Nivel de Organización de la administración	Factor a (%)	Buena	85	0,85
FACTOR "m" (%) obtenido mediante correlación de Denominación/Trabajabilidad	*Factor m (%)*	*Muy fácil*	*96,58*	*0,96579798*
Factor de llenado	Factor c	Fu	85	0,85
Material	Factor e (%)	Suelto	100	1
Giro en grados	Factor g (%)	90	100	1
Pendiente del terreno (%)	Factor p (%)	De 0 a -10	110	1,1
Condiciones del Camino	Factor r (%)	Sin neumáticos	100	1
Razón de imprevistos	Factor l (%)	Lluvia	94,5	0,945
Tiempo Muerto de las Máquinas	Factor u (%)	85	85	0,85
		EFICIENCIA I (%)		**43,50**

Cada valor es calculado en el modelo excel que se muestra en el capítulo 4.

Como se pudo observar, la eficiencia de la excavadora Caterpillar 312B*, obtenida mediante tablas del manual de Caterpillar, es de 49,28% mayor a la calculada mediante la obtención del factor “m” que es del 43,50%.

Lo que quiere decir que existe una diferencia del 13.95% para el cálculo de la eficiencia de maquinaria para la excavación de zanjas de alcantarillado, en arenas no plásticas.

Estos resultados se prevén, ya que el material excavado está sumamente suelto, como se muestra en la tabulación (anexo 1).

4. CAPÍTULO IV

4.1 Aplicación

4.1.1 Modelo en Excel

El modelo de Excel consta de 6 hojas electrónicas, donde en cada una de ellas se detalla tanto la obtención del factor “m”, como los parámetros fundamentales que intervienen para su cálculo.

También se computariza la eficiencia usando el factor “m” calculado y la eficiencia según Caterpillar”.

Para un mejor entendimiento revisar los anexos.

ESPECIFICACIÓN / LUGAR	PROFUNDIDAD DEL ENSAYO (m)	NSPT O N	PISO UNITARIO DE LA ARENA (gr/cm3)	CN (FACTOR DE CORRECCIÓN PARA SUELOS GRANULARES)	NH (TIPO DE MARTILLO)	NB (DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN)	NS (CORRECCIÓN POR EL MUESTREADOR)	NR (LONGITUD DE LA VARILLA)	N60	(N1)60	D50	DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN MEYERHOF (1957) (%)	DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN CUBRINOVSKI E ISHIDARA (1999)	DENSIDAD RELATIVA (%)	DENOMINACIÓN	TRABAJABILIDAD	Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000	EFICIENCIA USANDO "m" CALCULADO	EFICIENCIA USANDO CATERPILLAR
NORTE DMQ																			
2012/POMASQUI	3,50	10,00	1,80	1,16	45,00	1,00	1,00	0,75	5,63	6,50	0,280	18,29	15,80	17,05	Suelto	Fácil	96,59	43,49	49,28
2004/LLANO GRANDE	1,50	5,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	4,05	5,83	0,281	22,25	20,45	21,35	Suelto	Fácil	95,73	43,11	
2012/QUITO NORTE	1,50	4,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	3,24	4,66	0,266	19,90	18,71	19,31	Suelto	Fácil	96,14	43,29	
2013/CALACALÍ	2,00	8,00	1,80	1,34	45,00	1,00	1,00	0,75	6,05	8,12	0,212	24,18	24,49	24,34	Suelto	Fácil	95,13	42,84	
2009/LA PAMPA	7,50	11,00	1,80	0,90	45,00	1,00	1,00	0,75	5,58	5,03	0,195	12,79	12,64	12,72	Muy Suelto	Muy Fácil	97,46	43,88	
2010/MITAD DEL MUNDO	1,50	9,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	7,29	10,49	0,310	29,85	26,39	28,12	Suelto	Fácil	94,38	42,50	
2015/QUITO NORTE	1,50	6,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	4,86	6,99	0,252	24,37	23,46	23,91	Suelto	Fácil	95,22	42,88	
2012/QUITO NORTE/METR	2,50	8,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	5,71	7,24	0,214	21,37	21,20	21,28	Suelto	Fácil	95,74	43,11	
2015/ZONA INDUSTRIAL N	11,00	8,00	1,80	0,77	45,00	1,00	1,00	0,75	3,48	2,69	0,181	8,41	8,56	8,48	Muy Suelto	Muy Fácil	98,30	44,27	
CENTRO NORTE DMQ																			
2012/CSG	7,50	13,00	1,80	0,90	45,00	1,00	1,00	0,75	6,59	5,94	0,137	13,90	16,53	15,22	Suelto	Fácil	96,96	43,66	
2012/QUITO CENTRO NOR	2,50	7,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	5,00	6,34	0,183	19,99	21,39	20,69	Suelto	Fácil	95,86	43,17	
2014/QUITO TENIS	2,80	6,00	1,80	1,23	45,00	1,00	1,00	0,75	4,15	5,11	0,213	17,35	17,12	17,24	Suelto	Fácil	96,55	43,48	
2003/FLORESTA	3,50	8,00	1,80	1,16	45,00	1,00	1,00	0,75	5,20	6,02	0,151	17,59	20,38	18,98	Suelto	Fácil	96,20	43,32	
2015/MONTE OLIVO	1,50	10,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	8,10	11,66	0,230	31,46	31,53	31,50	Suelto	Fácil	93,70	42,19	
SUR DMQ																			
2014/CENTRO SUR	4,00	9,00	1,80	1,11	45,00	1,00	1,00	0,75	5,63	6,26	0,410	17,22	12,84	15,03	Suelto	Fácil	96,99	43,68	
2005/EL RECREO	2,50	10,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	7,14	9,06	0,17	23,89	26,53	25,21	Suelto	Fácil	94,96	42,76	
	3,55	8,25							5,48	6,75	0,23	20,18	19,88	20,03	RESULTADOS		95,99	43,23	49,28

RANGOS DE DENSIDAD RELATIVA %	RANGOS DEL FACTOR "m"
0	100
5	99
10	98
15	97
20	96
25	95
30	94
35	93
40	92
45	91
50	90

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA USANDO EL FACTOR "m" CALCULADO

El factor "m" utilizado no varía demasiado en los sectores analizados en el DMQ, por ello se utiliza un factor general que brinda una eficiencia similar a la indicada en la hoja electrónica anterior.
Este cálculo es acertado debido a que se ha tomado en cuenta los posibles valores que pueden tener todos estos factores dentro de un rango amplio.

DATOS DEL PROBLEMA

Datos Requeridos para arena	Valores en kg/om3	Valores en m3	Referenolas
Densidad del material suelto	1,6		Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotecnia, Locadidad de San Juan-Norte de Quito, 2003, Material No Plástico, Arena.
Densidad del material en banco	1,8		Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotecnia, Locadidad de San Juan-Norte de Quito, 2003, Material No Plástico, Arena.
Densidad del material compactado	2,01		Datos Obtenidos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotecnia, Locadidad de San Juan-Norte de Quito, Material No Plástico, Arena.
Capacidad Real del Cucharon VR		0,23	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Capacidad Nominal del Cucharon VN		0,52	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)

Descripción	Factor	Calificación	VALOR (%)	VALOR PARA CÁLCULO
Tiempo efectivamente trabajado en minutos /hora transcurrida	Factor l (%)	Bueno	83	0,83
Habilidad del Operador	Factor o (%)	Buena	85	0,85
Nivel de Organización de la administración	Factor a (%)	Buena	85	0,85
FACTOR "m" (%) obtenido por correlación de Denominación/Trabajabilidad	Factor m (%)	Muy fácil	96,58	0,97
Factor de llenado	Factor c	Fu	85	0,85
Material	Factor e (%)	Suelto	100	1
Giro en grados	Factor g (%)	90	100	1
Pendiente del terreno (%)	Factor p (%)	De 0 a -10	110	1,1
Condiciones del Camino	Factor r (%)	Sin neumáticos	100	1
Razón de Imprevistos	Factor i (%)	Lluvia	94,5	0,945
Tiempo Muerto de las Máquinas	Factor u (%)	85	85	0,85
			EFICIENCIA I (%)	43,50

EFICIENCIA SEGÚN CATERPILLAR

DESCRIPCIÓN	FACTORES	ESPECIFICACIÓN
Volumen del Cucharón	0,23	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Tiempo de Ciclo	0,21	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de Eficiencia	0,62	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de ángulo y altura de corte	1,04	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
Factor de volumen	0,70	Datos Obtenidos de (Caterpillar Inc. Spanish Performance Handbook, 2012)
EFICIENCIA	49,28	

5. CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

Los parámetros del terreno necesarios para la determinación de trabajabilidad del mismo, en excavación de zanjas de alcantarillado, fueron obtenidos mediante estudios de suelos elaborados dentro del área urbana del Distrito Metropolitano de Quito y analizados por el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- En la investigación, los sectores con mayor influencia de suelos arenosos de grano fino, medio y grueso, de características no plásticas, se detallan en los anexos 1 y 2, dicha observación parte es primordial del trabajo.

- Los estratos investigados en los diferentes sectores del DMQ, alcanzan una profundidad de 1.50 a 4.0 metros en promedio, en los cuales se tiene un porcentaje de humedad del 15 al 25 por ciento; el valor del SPT varía en un rango de 6 a 12 golpes, con un promedio de 8 golpes. El peso unitario obtenido de la ilustración 39 es de 1,8 ton/m3.

- Con los parámetros de suelo definidos, se calcula un porcentaje de densidad relativa del 21%, que corresponde a un material suelto conforme a la ilustración 54 y 55.

- Respecto a la normativa de construcción de zanjas de alcantarillado, señalada en el cap. 1, la excavación tendrá una profundidad de 1.50m a 2.50m a excepción de los colectores (5m), concluyendo que el estudio es satisfactorio para la excavación de zanjas de alcantarillado ya que brinda datos confiables.

- De acuerdo a los parámetros de densidad relativa calculados y por medio de interpolación de datos como se muestra en la tabla 14 e ilustración 52, la trabajabilidad del suelo es del 97%.

- La producción utilizando el factor de eficiencia “I”, mediante la utilización del factor “m” es de 28,26 m3/h. Afín a fórmulas de la MOP2000.

- Para el cálculo de producción utilizando el manual de Caterpillar, acorde a la ilustración 21, es de 36 m3/h (producción media).

- Se concluye que mediante el uso de tablas del manual Caterpillar la producción es de 36m3/h, mayor a la obtenida utilizando un factor de eficiencia acorde al terreno trabajado, de 28.26 m3/h, por lo que se corrobora que los valores teóricos arrojan resultados sobre estimados, lo que afecta a la proyección del tiempo de ejecución de un trabajo en obra y a su vez al presupuesto estimado para acabarlo.

- Los valores del factor “m” que muestra la MOP2000 evidentemente no detalla el proceso de formulación de los datos, además de suponer que mientras mayor sea la trabajabilidad del suelo, la producción incrementará, no es posible asumir dicha

propuesta; ya que “m”, es solamente un parámetro que influye en el cálculo del factor de eficiencia, y a su vez, éste forma parte del cálculo de producción. Es importante reconocer que ante suelos granulares no plásticos es fácil excavar debido a que es un material suelto, pero la estabilidad del terreno, acarreo del material y transporte es deficiente debido a la erodabilidad los granos de arena. Un ejemplo muy claro es excavar en una arcilla con cohesividad, donde el suelo tiende a disgregarse en menos cantidad llenando el cucharón de la excavadora por encima del promedio, a diferencia de las arenas, donde se considera un factor de llenado inferior acorde a la ilustración 10.

- La excavadora 312B* se escogió debido a que las dimensiones del cucharón son óptimas para el ancho admisible de excavación para una zanja de alcantarillado acorde a la normativa de la EPMAPS (numeral 3. “Entibaciones”, ilustración 2).

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda calcular el factor de eficiencia “l”, usando el factor “m” que considera las condiciones del tipo de suelo. En este estudio el valor es de la eficiencia de maquinaria de excavación es 0,43, mientras que en el manual de Caterpillar es de 0,49, lo que quiere decir que el porcentaje sugerido por Caterpillar contiene un error de 13.95% al aplicarlo en arenas no plásticas en DMQ.

- Para incrementar la producción de maquinaria, se recomienda escoger aquella que esté acorde al terreno y tipo de trabajo a realizar, en caso de excavadoras se considerará el largo del brazo de palanca, la capacidad del cucharón, el tren de rodaje.

- Al encontrar un suelo inestable en el proceso de excavación, es necesario entibar conforme a lo establecido en la normativa, debido a que aumenta la seguridad de los trabajadores y la integridad del trabajo efectuado.

6. ANEXOS

ANEXO 1: Tabulación de datos conforme a ensayos del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

DATOS TABULADOS DEL LABORATORIO				
DETERMINACIÓN DEL FACTOR "m"				
ESPECIFICACIÓN / LUGAR	**DENSIDAD RELATIVA (%)**	**DENOMINACIÓN**	**TRABAJABILIDAD**	**Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000**
2002/POMASQUI	18,63	Suelto	Fácil	96,274
2002/POMASQUI	20,07	Suelto	Fácil	95,986
2003/FLORESTA	19,31	Suelto	Fácil	96,138
2004/LLANO GRANDE	18,91	Suelto	Fácil	96,218
2004/LLANO GRANDE	3,33	Muy Suelto	Muy Fácil	99,334
2005/EL RECREO	19,91	Suelto	Fácil	96,018
2005/EL RECREO	20,65	Suelto	Fácil	95,87
2005/EL RECREO	21,01	Suelto	Fácil	95,798
2005/NNU	16,22	Suelto	Fácil	96,756
2005/NNU	17,81	Suelto	Fácil	96,438
2005/NNU	19,36	Suelto	Fácil	96,128
2005/NNU	18,83	Suelto	Fácil	96,234
2006/LLANO CHICO	15,3	Suelto	Fácil	96,94
2006/LLANO CHICO	17,76	Suelto	Fácil	96,448
2006/LLANO CHICO	17,68	Suelto	Fácil	96,464
2006/LA FORESTAL	17,25	Suelto	Fácil	96,55
2006/LA FORESTAL	14,77	Muy Suelto	Muy Fácil	97,046
2006/BARRIO NUÑEZ	28,08	Suelto	Fácil	94,384
2007/SAN JUAN	16,89	Suelto	Fácil	96,622
2007/SAN JUAN	16,19	Suelto	Fácil	96,762
2007/ZAMBIZA	20,82	Suelto	Fácil	95,836
2007/ZAMBIZA	21,81	Suelto	Fácil	95,638
2007/ZAMBIZA	21,55	Suelto	Fácil	95,69
2009/SAN ANTONIO	13,35	Muy Suelto	Muy Fácil	97,33
2009/SAN ANTONIO	13,21	Muy Suelto	Muy Fácil	97,358
2009/CALACALÍ	18,21	Suelto	Fácil	96,358
2009/LA PAMPA	12,24	Muy Suelto	Muy Fácil	97,552
2009/PUCARÁ	23,65	Suelto	Fácil	95,27
2009/SAN JOSÉ	10,07	Muy Suelto	Muy Fácil	97,986
2010/CALDERÓN	12,56	Muy Suelto	Muy Fácil	97,488
2010/CALDERÓN	10	Muy Suelto	Muy Fácil	98
2010/CALDERÓN	12,36	Muy Suelto	Muy Fácil	97,528
2010/CALDERÓN	17,52	Suelto	Fácil	96,496
2010/CALDERÓN	15,61	Suelto	Fácil	96,878
2010/CALDERÓN	18,79	Suelto	Fácil	96,242

2010/CALDERÓN	18,2	Suelto	Fácil	96,36
2010/CALDERÓN	19,02	Suelto	Fácil	96,196
2010/FERROVIARIA	18,52	Suelto	Fácil	96,296
2010/CARCELEN	17,85	Suelto	Fácil	96,43
2010/CARCELEN BAJO	23,65	Suelto	Fácil	95,27
2010/CARCELEN BAJO	19,2	Suelto	Fácil	96,16
2010/ALANGASÍ	16,82	Suelto	Fácil	96,636
2010/ALANGASÍ	16,39	Suelto	Fácil	96,722
2010/POMASQUI	12,63	Muy Suelto	Muy Fácil	97,474
2010/POMASQUI	12,35	Muy Suelto	Muy Fácil	97,53
2010/POMASQUI	15,55	Suelto	Fácil	96,89
2010/POMASQUI	18,81	Suelto	Fácil	96,238
2010/POMASQUI	18,83	Suelto	Fácil	96,234
2010/POMASQUI	16,35	Suelto	Fácil	96,73
2010/MITAD DEL MUNDO	16,35	Suelto	Fácil	96,73
2010/MITAD DEL MUNDO	15,89	Suelto	Fácil	96,822
2010/MITAD DEL MUNDO	16,21	Suelto	Fácil	96,758
2010/MITAD DEL MUNDO	17,41	Suelto	Fácil	96,518
2010/POMASQUI	18,92	Suelto	Fácil	96,216
2011/QUITO NORTE	12,38	Muy Suelto	Muy Fácil	97,524
2011/QUITO NORTE	16,58	Suelto	Fácil	96,684
2011/QUITO NORTE	23,56	Suelto	Fácil	95,288
2011/QUITO NORTE	21,45	Suelto	Fácil	95,71
2011/QUITO NORTE	22,77	Suelto	Fácil	95,446
2011/AV. DE LA PRENSA	14,3	Muy Suelto	Muy Fácil	97,14
2011/AV. DE LA PRENSA	12,56	Muy Suelto	Muy Fácil	97,488
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	19,98	Suelto	Fácil	96,004
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	1,447	Muy Suelto	Muy Fácil	99,7106
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	17,51	Suelto	Fácil	96,498
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	12,35	Muy Suelto	Muy Fácil	97,53
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	18,89	Suelto	Fácil	96,222
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	18,98	Suelto	Fácil	96,204
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,21	Suelto	Fácil	95,958
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,03	Suelto	Fácil	95,994
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,06	Suelto	Fácil	95,988
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	24,58	Suelto	Fácil	95,084
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	23,69	Suelto	Fácil	95,262
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	23,65	Suelto	Fácil	95,27
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	16,95	Suelto	Fácil	96,61
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	17,48	Suelto	Fácil	96,504
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	16,58	Suelto	Fácil	96,684
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	25,47	Suelto	Fácil	94,906
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	28,98	Suelto	Fácil	94,204
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	26,58	Suelto	Fácil	94,684
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	20,25	Suelto	Fácil	95,95
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	25,48	Suelto	Fácil	94,904

2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	12,55	Muy Suelto	Muy Fácil	97,49
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	16,97	Suelto	Fácil	96,606
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	18,53	Suelto	Fácil	96,294
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	11,65	Muy Suelto	Muy Fácil	97,67
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	12,35	Muy Suelto	Muy Fácil	97,53
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	2,05	Muy Suelto	Muy Fácil	99,59
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,56	Suelto	Fácil	96,288
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,52	Suelto	Fácil	96,296
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,63	Suelto	Fácil	96,274
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	14,41	Muy Suelto	Muy Fácil	97,118
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	13,25	Muy Suelto	Muy Fácil	97,35
2015/MARISCAL	14,23	Muy Suelto	Muy Fácil	97,154
2015/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	12,23	Muy Suelto	Muy Fácil	97,554
2015/MONTE OLIVO	3,918	Muy Suelto	Muy Fácil	99,2164
2015/MONTE OLIVO	20,09	Suelto	Fácil	95,982
2015/UNIÓN NACIONAL	7,845	Muy Suelto	Muy Fácil	98,431
2015/SAN IGNACIO	15,56	Suelto	Fácil	96,888
2015/POMASQUI	10,25	Muy Suelto	Muy Fácil	97,95
				96,57979798

ANEXO 2: Ejemplo del caso de estudio para la obtención de densidad relativa conforme a Meyerhof, Cubrinovski e Ishidara.

ESPECIFICACIÓN / LUGAR	PROFUNDIDAD DEL ENSAYO (m)	NSPT O N	PESO UNITARIO DE LA ARENA (gr/cm3)	CN (FACTOR DE CORRECCIÓN PARA SUELOS GRANULARES)	NH (TIPO DE MARTILLO)	NB (DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN)	NS (CORRECCIÓN POR EL MUESTREADOR)	NR (LONGITUD DE LA VARILLA)	N60	(N1)60	D50	DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN MEYERHOF (1957) (%)	DENSIDAD RELATIVA CALCULADA SEGÚN CUBRINOVSKI E ISHIDARA (1999)	DENSIDAD RELATIVA (%)	DENOMINACIÓN	TRABAJABILIDAD	Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000	EFICIENCIA USANDO "m" CALCULADO	EFICIENCIA USANDO CATERPILLAR
NORTE DMQ																			
2012/POMASQUI	3,50	10,00	1,80	1,16	45,00	1,00	1,00	0,75	5,63	6,50	0,280	18,29	15,80	17,05	Suelto	Fácil	96,59	43,49	49,28
2004/LLANO GRANDE	1,50	5,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	4,05	5,83	0,281	22,25	20,45	21,35	Suelto	Fácil	95,73	43,11	
2012/QUITO NORTE	1,50	4,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	3,24	4,66	0,266	19,90	18,71	19,31	Suelto	Fácil	96,14	43,29	
2013/CALACALÍ	2,00	8,00	1,80	1,34	45,00	1,00	1,00	0,75	6,05	8,12	0,212	24,18	24,49	24,34	Suelto	Fácil	95,13	42,84	
2009/LA PAMPA	7,50	11,00	1,80	0,90	45,00	1,00	1,00	0,75	5,58	5,03	0,195	12,79	12,64	12,72	Muy Suelto	Muy Fácil	97,46	43,88	
2010/MITAD DEL MUNDO	1,50	9,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	7,29	10,49	0,310	29,85	26,39	28,12	Suelto	Fácil	94,38	42,50	
2015/QUITO NORTE	1,50	6,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	4,86	6,99	0,252	24,37	23,46	23,91	Suelto	Fácil	95,22	42,88	
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	2,50	8,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	5,71	7,24	0,214	21,37	21,20	21,28	Suelto	Fácil	95,74	43,11	
2015/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	11,00	8,00	1,80	0,77	45,00	1,00	1,00	0,75	3,48	2,69	0,181	8,41	8,56	8,48	Muy Suelto	Muy Fácil	98,30	44,27	
CENTRO NORTE DMQ																			
2012/CSG	7,50	13,00	1,80	0,90	45,00	1,00	1,00	0,75	6,59	5,94	0,137	13,90	16,53	15,22	Suelto	Fácil	96,96	43,66	
2012/QUITO CENTRO NORTE/MINISTERIO DE DEFENSA	2,50	7,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	5,00	6,34	0,183	19,99	21,39	20,69	Suelto	Fácil	95,86	43,17	
2014/QUITO TENIS	2,80	6,00	1,80	1,23	45,00	1,00	1,00	0,75	4,15	5,11	0,213	17,35	17,12	17,24	Suelto	Fácil	96,55	43,48	
2003/FLORESTA	3,50	8,00	1,80	1,16	45,00	1,00	1,00	0,75	5,20	6,02	0,151	17,59	20,38	18,98	Suelto	Fácil	96,20	43,32	
2015/MONTE OLIVO	1,50	10,00	1,80	1,44	45,00	1,00	1,00	0,75	8,10	11,66	0,230	31,46	31,53	31,50	Suelto	Fácil	93,70	42,19	
SUR DMQ																			
2014/CENTRO SUR	4,00	9,00	1,80	1,11	45,00	1,00	1,00	0,75	5,63	6,26	0,410	17,22	12,84	15,03	Suelto	Fácil	96,99	43,68	
2005/EL RECREO	2,50	10,00	1,80	1,27	45,00	1,00	1,00	0,75	7,14	9,06	0,17	23,89	26,53	25,21	Suelto	Fácil	94,96	42,76	
	3,55	8,25							5,48	6,75	0,23	20,18	19,88	20,03	**RESULTADOS**		**95,99**	**43,23**	**49,28**

D

ANEXO 3: Sectorización de Datos obtenidos conforme a ensayos del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACTOR "m" EN EL DMQ Y EFICIENCIA			
ESPECIFICACIÓN / LUGAR	**DENSIDAD RELATIVA (%)**	**Factor "m" obtenido por correlación de Dr/MOP 2000**	**Eficiencia**
NORTE DMQ			
2002/POMASQUI	18,63	96,27	43,32
2002/POMASQUI	20,07	95,99	43,19
2004/LLANO GRANDE	18,91	96,22	43,30
2004/LLANO GRANDE	3,33	99,33	44,70
2006/LLANO CHICO	15,30	96,94	43,62
2006/LLANO CHICO	17,76	96,45	43,40
2006/LLANO CHICO	17,68	96,46	43,41
2006/BARRIO NUÑEZ	28,08	94,38	42,47
2007/SAN JUAN	16,89	96,62	43,48
2007/SAN JUAN	16,19	96,76	43,54
2007/ZAMBIZA	20,82	95,84	43,13
2007/ZAMBIZA	21,81	95,64	43,04
2007/ZAMBIZA	21,55	95,69	43,06
2009/SAN ANTONIO	13,35	97,33	43,80
2009/SAN ANTONIO	13,21	97,36	43,81
2009/CALACALÍ	18,21	96,36	43,36
2009/LA PAMPA	12,24	97,55	43,90
2009/PUCARÁ	23,65	95,27	42,87
2009/SAN JOSÉ	10,07	97,99	44,09
2010/CALDERÓN	12,56	97,49	43,87
2010/CALDERÓN	10,00	98,00	44,10
2010/CALDERÓN	12,36	97,53	43,89
2010/CALDERÓN	17,52	96,50	43,42
2010/CALDERÓN	15,61	96,88	43,60
2010/CALDERÓN	18,79	96,24	43,31
2010/CALDERÓN	18,20	96,36	43,36
2010/CALDERÓN	19,02	96,20	43,29
2010/CARCELEN	17,85	96,43	43,39
2010/CARCELEN BAJO	23,65	95,27	42,87
2010/CARCELEN BAJO	19,20	96,16	43,27
2010/ALANGASÍ	16,82	96,64	43,49
2010/ALANGASÍ	16,39	96,72	43,52
2010/POMASQUI	12,63	97,47	43,86
2010/POMASQUI	12,35	97,53	43,89
2010/POMASQUI	15,55	96,89	43,60
2010/POMASQUI	18,81	96,24	43,31
2010/POMASQUI	18,83	96,23	43,31
2010/POMASQUI	16,35	96,73	43,53
2010/MITAD DEL MUNDO	16,35	96,73	43,53
2010/MITAD DEL MUNDO	15,89	96,82	43,57

2010/MITAD DEL MUNDO	16,21	96,76	43,54
2010/MITAD DEL MUNDO	17,41	96,52	43,43
2010/POMASQUI	18,92	96,22	43,30
2011/QUITO NORTE	12,38	97,52	43,89
2011/QUITO NORTE	16,58	96,68	43,51
2011/QUITO NORTE	23,56	95,29	42,88
2011/QUITO NORTE	21,45	95,71	43,07
2011/QUITO NORTE	22,77	95,45	42,95
2011/AV. DE LA PRENSA	14,30	97,14	43,71
2011/AV. DE LA PRENSA	12,56	97,49	43,87
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	19,98	96,00	43,20
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	1,45	99,71	44,87
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	17,51	96,50	43,42
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	12,35	97,53	43,89
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	18,89	96,22	43,30
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	18,98	96,20	43,29
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,21	95,96	43,18
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,03	95,99	43,20
2012/QUITO NORTE/METRO DE QUITO	20,06	95,99	43,19
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,56	96,29	43,33
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,52	96,30	43,33
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	18,63	96,27	43,32
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	14,41	97,12	43,70
2014/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	13,25	97,35	43,81
2015/ZONA INDUSTRIAL NORTE DE QUITO	12,23	97,55	43,90
2015/SAN IGNACIO	15,56	96,89	43,60
2015/UNIÓN NACIONAL	7,85	98,43	44,29
2015/POMASQUI	10,25	97,95	44,08
		96,68	**43,51**
CENTRO NORTE DMQ			
2003/FLORESTA	19,31	96,14	43,26
2005/NNU	16,22	96,76	43,54
2005/NNU	17,81	96,44	43,40
2005/NNU	19,36	96,13	43,26
2005/NNU	18,83	96,23	43,31
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	24,58	95,08	42,79
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	23,69	95,26	42,87
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	23,65	95,27	42,87
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	16,95	96,61	43,47
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	17,48	96,50	43,43
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	16,58	96,68	43,51
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	25,47	94,91	42,71
2012/QUITO CENTRO NORTE/METRO DE QUITO	28,98	94,20	42,39
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	11,65	97,67	43,95
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	12,35	97,53	43,89
2014/AV. 6 DE DICIEMBRE	2,05	99,59	44,82

2015/MONTE OLIVO	3,92	99,22	44,65
2015/MONTE OLIVO	20,09	95,98	43,19
2015/MARISCAL	14,23	97,15	43,72
		96,51	**43,43**
CENTRO SUR/SUR DMQ			
2005/EL RECREO	19,91	96,02	43,21
2005/EL RECREO	20,65	95,87	43,14
2005/EL RECREO	21,01	95,80	43,11
2006/LA FORESTAL	17,25	96,55	43,45
2006/LA FORESTAL	14,77	97,05	43,67
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	26,58	94,68	42,61
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	20,25	95,95	43,18
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	25,48	94,90	42,71
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	12,55	97,49	43,87
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	16,97	96,61	43,47
2012/QUITO CENTRO SUR/METRO DE QUITO	18,53	96,29	43,33
2010/FERROVIARIA	18,52	96,30	43,33
		96,36	**43,36**

Mapa temático, donde se visualiza la dureza del suelo, acorde a la ilustración 26, cap. 2.

S1	S2	S3	S4
Suelo muy duro	Suelo duro	Suelo blando	Suelo muy blando

