

UNIVERSIDAD DEL BÍO- BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROFESOR PATROCINANTE:

ING. CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

ANEXOS

FELIPE GUÍÑEZ CONTRERAS

Concepción, Abril de 2016

Contenido

ANEXO 1: ASPECTOS GEOLOGICOS.....	2
1.1. Generalidades.	2
1.2. Ciclo de las rocas.	2
1.3. Geología de Penco.....	3
2.1.1 Paleozoico	5
2.1.2 Mesozoico.	7
2.1.3 Cenozoico.	8
2.1.4 Depósitos Superficiales (Unidad Informal).....	9
ANEXO 2: CLASIFICACION DE SUELOS.....	14
2.1. Descripción de Suelos Comunes	14
2.2. Distribución de Tamaños de las Partículas.....	16
2.3. Análisis por Tamizado.....	17
2.4. Análisis por Sedimentación.....	17
2.5. DESCRIPCION DE LA GRADACION	18
2.6. Consistencia de las Arcillas y Límites de Atterberg	19
2.7. Determinación del Limite Líquido.	20
2.8. Determinación del Limite Plástico	21
2.9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	22
ANEXO 3: ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR.....	24
3.1. Procedimiento General.....	24
3.2. Factores que Afectan el S.P.T	25
3.2.1 Sobrepresión	25
3.2.2 Energía Transmitida las Barras Perforadoras	26
3.2.3 Frecuencia del Numero de Golpes	28
3.2.4 Diámetro y Limpieza de la Perforación	28
3.2.5 LONGITUD Y TIPO DE BARRAS.....	29
3.2.6 Factores Humanos	31

ANEXO 1: ASPECTOS GEOLOGICOS.

1.1. Generalidades.

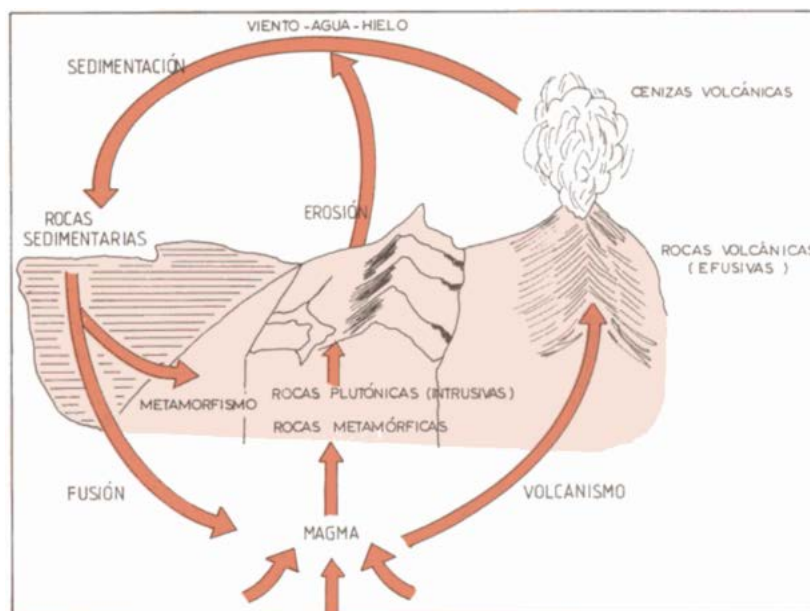
La litosfera es la parte sólida del globo terráqueo, y ella se define como la envoltura o corteza externa de la Tierra. Se encuentra formada por una gran variedad de rocas, y en la superficie está cubierta corrientemente por una capa vegetal u otros depósitos de sedimentación. La profundidad de la litosfera es variable, fluctúa entre 50 y 300 km.

Las rocas corresponden a uno de los principales materiales con los que está edificada la corteza terrestre o litosfera. Atendiendo a su origen, las rocas se clasifican en tres tipos, ígneas, sedimentarias y metamórficas.

1.2. Ciclo de las rocas.

El ciclo de las rocas inicia en el magma, constituido por materias rocosas fluidas que desde el interior de la Tierra llegan hasta la superficie, bien mediante cristalización para formar rocas plutónicas, empujadas por la presión interior y deformaciones por las fuerzas laterales, o bien por medio de los volcanes, que al enfriarse originan las rocas volcánicas. Los materiales superficiales se alteran rápidamente, mediante la acción de los agentes del modelado: viento, agua y hielo, los cuales al ser transportados a otros lugares se sedimentan, se comprimen y se endurecen, dando lugar a las rocas sedimentarias. Estas, por su profundidad, facilitan que los estratos inferiores se fundan a causa de la elevada temperatura, produciéndose entonces una transformación química y mecánica de estas materias para llegar a formar rocas metamórficas. Parte de la materia fundida regresa al magma y el ciclo se vuelve a iniciar, Ver Figura N°1.

Figura N° 1: Ciclo de las Rocas

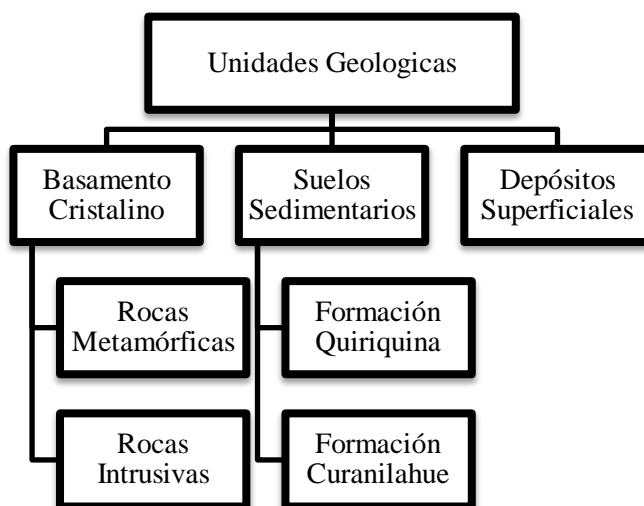


Fuente: (1998). Recuperado de Manual de la Geografía de Chile.

1.3. Geología de Penco

Las rocas y sedimentos presentes en el área en estudio han sido clasificados por Galli (1967) en grupos, resumidos en el siguiente mapa conceptual, ver Figura N°2.

Figura N° 2: Diagrama de Unidades Geológicas presentes en la comuna de Penco



Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

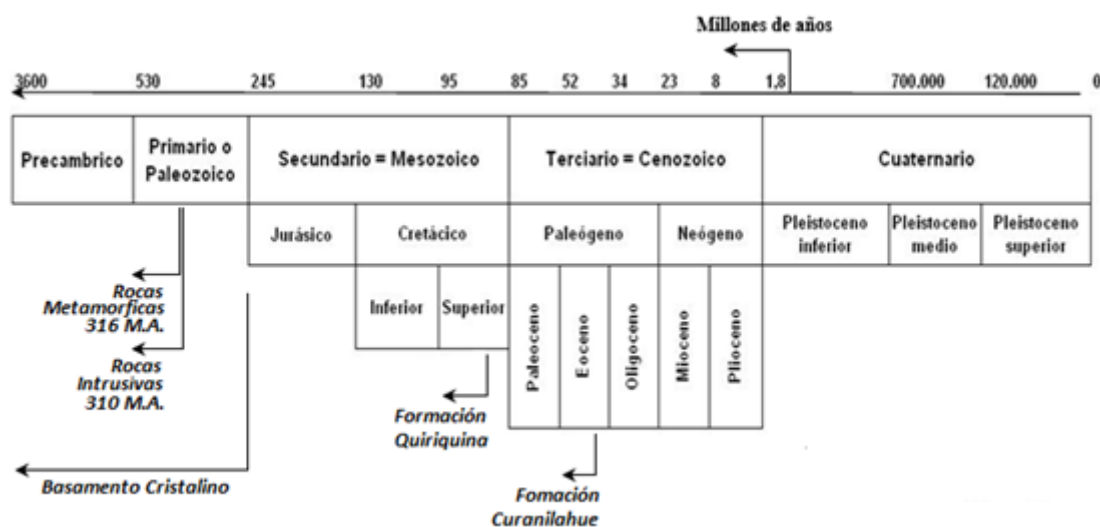
Las rocas y sedimentos presentes en la circunscripción de estudio pueden ser agrupadas en tres grandes conjuntos estratigráficos, diferenciándose entre sí por su edad y expresión topográfica.

La facción más antigua corresponde a las rocas del Basamento Cristalino, conformadas por Rocas Metamórficas y Rocas Intrusivas, respetando su antigüedad en ese mismo orden.

El segundo conjunto estratigráfico, más nuevo que el anterior, está constituido por Suelos Sedimentarios, dentro de los cuales están presentes en el sector de estudio la Formación Quiriquina y la Formación Curanilahue, que se presentan de manera aledaña una a la otra.

Para poder conocer e interpretar de mejor manera cada una de las diferentes formaciones geológicas, es importante conocer su distribución temporal de las distintas unidades geológicas.

Figura N° 3: Distribución temporal de las Eras de formación de las distintas Unidades Geológicas presentes en la zona de estudio



Fuente: Latini; Reyes (1999)

2.1.1 Paleozoico

La tierra se formó a partir de una serie de transformaciones. Para poder entender su evolución, los geólogos han dividido el tiempo transcurrido desde el origen de la tierra hasta la actualidad en Eras Geológicas.

La Era Paleozoica corresponde a la segunda era más antigua, su inicio fue hace 542 m.a. y acabo hace unos 251 m.a. Dentro de esta era se constituyó la formación geológica llamada Basamento Cristalino.

Basamento Cristalino

En el área en estudio afloran rocas metamórficas y las Rocas Intrusivas ambas formaciones correspondientes al periodo Carbonífero Superior, estas se agrupan bajo el nombre genérico de Basamento Cristalino, el cual comprende las rocas más antiguas de la Provincia de Concepción.

El Basamento Cristalino está compuesto por dos unidades litológicas:

Rocas Metamórficas.

Corresponden a aquellas formaciones cuyo origen se encuentra en rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido una alteración debido a las fuertes presiones y elevadas temperaturas que acompañan los movimientos orogénicos en el interior de la corteza terrestre. Su edad corresponde a 316 Millones de años (Hervé, 1977).

Las rocas metamórficas han sido agrupadas en una unidad denominada Basamento Metamórfico Veyl (1961), que se presenta en el sector occidental de la Cordillera de la Costa.

Las rocas metamórficas presentes en el área de Penco, pertenecen a la unidad que denomina Basamento Cristalino, de edad Paleozoico y posiblemente Precámbrico. Además, se establece que el Basamento Cristalino, forma parte del Basamento Metamórfico de Veyl (1961), de la provincia de Concepción. Veyl (1961) divide a estas rocas en dos clases: Rocas Metamórficas posiblemente Precámbricas y Rocas metamórficas posiblemente Paleozoicas.

Las rocas metamórficas afloran en el sector de estudio, se componen principalmente por filitas y pizarras, estas últimas provienen de su correspondiente Roca Sedimentaria, la lutita

que al ser comprimida y cizallada se convierte en pizarra. Las estructuras metamórficas ubicadas en la zona de análisis corresponden a rocas metamórficas foliadas con un amplio contenido de micas. Estas rocas se distribuyen en los cerros que componen la zona de Penco chico.

Rocas Igneas.

Son las originadas por la consolidación del magma. Pueden ser de dos tipos: las intrusivas, que son aquellas rocas en estado de fusión que no llegan a la superficie, pero que se solidifican en el interior; y las extrusivas, que son material interno en estado de fusión que llega a la superficie gracias a una chimenea o grieta y se vierte sobre el suelo solidificando rápidamente. Las rocas intrusivas se presentan generalmente en grandes masas, llamadas batolitos, que ocupan una gran extensión de kilómetros cuadrados y muchos kilómetros en profundidad.

En lo que concierne a la comuna de Penco, presenta una unidad llamada Batolito Costero del Sur, denominando así por Hervé (1976). Dicha formación corresponden a un batolito con distribución regional en la Cordillera de la Costa de la Octava Región que se presenta aproximadamente entre los 31° y los 38° Lat. Sur, manifestándose al Sur Este del área de estudio.

Este Batolito está compuesto por rocas graníticas granitoides (rocas ígneas intrusivas) de edad Carbonífero Superior, aproximadamente con una data de 310 millones de años (Galli, 1967), estos granitoides, compuestos principalmente por granitos, tonalitas, granodioritas que instruyen a las rocas metamórficas e infrayacen por discordancia de erosión, a las rocas sedimentarias clásticas más jóvenes.

Estas rocas se presentan muy alteradas y meteorizadas, compuestas por los minerales: cuarzo, feldespatos, micas y máficos. Todos éstos minerales menos el cuarzo, se alteran con el clima lluvioso generando un material de descomposición con distintos grados de cohesión, conocido genéricamente con el nombre de maicillo. Esta unidad intruye al Basamento Metamórfico.

En Concepción y sus alrededores, no existen muchos afloramientos de granito no alterado. El granito está compuesto principalmente de feldespatos, predominando la ortoclasa. El cuarzo se presenta en menor cantidad, así como la biotita y minerales accesorios. La alteración de estas rocas graníticas les proporciona un color amarillento característico. Estas rocas tienen una estructura inequigranular, debido a la presencia de los grandes cristales de ortoclasa (1 a 5 cm.).

Las rocas graníticas del Batolito Costero, presentes en la zona, infrayacen en discordancia de erosión a las rocas sedimentarias clásticas más jóvenes de las formaciones Quiriquina.

Las relaciones estratigráficas permiten asignarle una edad Paleozoico Superior-Pre Triásico inferior. Finalmente, Hervé et al (1976), en dataciones del basamento cristalino, estima una edad de 320 millones de años (Carbonífero superior basal). Destaca por su nula permeabilidad, por lo cual el acuífero asociado escurre entre el suelo y el basamento plutónico en dirección este a oeste hasta la bahía de Concepción.

2.1.2 Mesozoico.

Corresponde a la tercera Era Geológica de la tierra. Esta se subdivide en tres periodos: Triásico, Jurásico y Cretáceo. Estos transcurrieron aproximadamente hace unos 225 y 135 millones de años. Dentro de este periodo se crearon las siguientes formaciones geológicas.

Rocas Sedimentarias

Son aquellas formadas por partículas derivadas de otras rocas preexistentes, ígneas o metamórficas. Su material originario puede ser rocas de cualquier origen y que han sido depositadas después de un transporte por los ríos, océano, corrientes, vientos o hielos.

En su estado original, los sedimentos son blandos, pero con el tiempo se endurecen formando rocas compactas, a consecuencia de ciertos procesos como la compactación, cementación y alteraciones químicas. Algunas rocas sedimentarias se caracterizan por la disposición en capas o estratos de los materiales que la componen. Cuando los estratos tienen algunas características comunes –variedad litológica, edad geológica o ambas cosas-, reciben el nombre de formaciones. Normalmente son denominadas por la localidad geográfica donde están presentes.

Formación Quiriquina (Cretácico Superior)

Esta unidad, fue definida por Steinmann (1895), bajo el nombre de Quiriquina-Schichten, y la localidad tipo se encuentra en la isla Quiriquina (36°37'S y 73°03'W). Perteneciente al periodo Cretácico Superior, se le asigna una edad que fluctúa aproximadamente entre 70-65 millones de años (Biró, 1982). Comprende una secuencia sedimentaria de origen marino, con abundante contenido fosilífero, que se distribuye en una delgada franja costera de la provincia de Concepción. Aflora principalmente en el litoral y se dispone bajo la Formación Curanilahue y sobre el Basamento metamórfico. Debido a su gran contenido fosilífero, su estudio ha sido intenso a partir del siglo pasado.

El contacto entre esta formación y el Batolito costero es de naturaleza irregular y existen muy pocos lugares donde es visible. La secuencia comienza con un conglomerado basal, compuesto por clastos centimétricos de rocas graníticas, con un espesor aproximado de un metro. Le sobreyace una secuencia de areniscas pardas de grano fino, con una potencia estimada en 25 m. Sobre las areniscas pardas, se encuentran 20 m. de areniscas finas verdes, sin concreciones ni fósiles.

En general, estas rocas se presentan meteorizadas, argilizadas localmente y presentando oxidación de minerales ferrosos, observándose bandas rojizas centimétricas en los niveles superiores.

En otras localidades, cercanas a la comuna de Penco, la Formación Quiriquina aparece mejor expuesta, principalmente en Tomé, Cocholgue y la Isla Quiriquina.

2.1.3 Cenozoico.

Corresponde a la última Era geológica de la Tierra, se inició hace unos 65 m.a. y se extiende hasta la actualidad. Dentro de este periodo para la zona de estudio destaca la concepción de la Formación Curanilahue, además de los depósitos superficiales.

Formación Curanilahue (Eoceno)

Esta formación compuesta por sedimentos continentales, que presentan mantos carboníferos, y por algunas intercalaciones marinas. Es ampliamente distribuida en el Golfo de Arauco.

La localidad tipo se encuentra en la localidad de Curanilahue (Muñoz Cristi, 1956), en la parte oriental de la meseta de Arauco.

La Formación Curanilahue, según Galli (1967), es descrita como una secuencia de areniscas amarillentas con mantos de carbón, que sobreyacen en discordancia de erosión a la Formación Quiriquina en la Ciudad de Concepción.

En la zona de estudio la Formación Curanilahue está compuesta por arenisca de grano medio a grueso de colores pardo amarillento con intercalaciones de limolita del Eoceno Inferior, aproximadamente entre 40-50 millones de años (Biró, 1982) con fósiles vegetales.

El ambiente de depositación de la Formación Curanilahue, es continental: pantanos costeros y abundante vegetación, lo que se infiere por la presencia de restos vegetales: improntas y material carbonoso. La predominancia de sedimentos retrabajados de las rocas graníticas y sus productos de alteración, indican una intensa meteorización.

2.1.4 Depósitos Superficiales (Unidad Informal)

Dentro de los suelos de la comuna de Penco, se encuentran unidades geológicas inconsolidadas, las cuales pueden ser catalogadas de seis formas diferentes.

Arena de dunas y limo asociado.

La arena de dunas y el limo asociado están distribuidos, principalmente en áreas cercanas a las playas de las bahías de San Vicente y Concepción. Las dunas se presentan en filas de varios kilómetros de largo y en áreas montadas de forma irregular.

El agente de transporte para estos depósitos es el viento, particularmente el de la estación seca de seis meses, que sopla desde el suroeste. En algunas áreas el viento concentra minerales pesados en los depósitos de dunas, teniendo éstas un espesor variable según el lugar.

La arena de dunas tiene espesores variables, según las localidades. Esta arena es mediana a fina, de color castaño amarillento oscuro, gris pardo y gris oliva, limpio, muy uniforme, sin cementación y permeable. El limo eólico asociado se distribuye a sotavento de algunas áreas de dunas. El limo probablemente se originó por el viento que lo separó de la arena de dunas,

que, mezclado con arena muy fina, forma depósitos de roca arcillosa de color castaño amarillento oscuro. Estos depósitos no presentan cementación ni estratificación visible en las paredes verticales.

Barro, Turba y otros materiales.

Estos materiales se distribuyen en extensos pantanos de mareas y de inundación invernal, adyacentes a las dunas costaneras de la bahía de Concepción, entre la desembocadura del río Andalién y el Morro de Talcahuano, en el curso principal de inundación o derrame del río Bio Bio.

Estos depósitos consisten en arena con limo, arcilla, materiales orgánicos finos y turba, de color gris. Los depósitos de pantanos de mareas adyacentes a la bahía de San Vicente se sedimentaron durante la invasión de agua de mareas detrás de las dunas costaneras. Los depósitos de pantanos de mareas adyacentes a la bahía de Concepción deben su origen a las mismas causas y, además, a las inundaciones del río Andalién. Las aguas del río Andalién cubren a veces los pantanos durante varios días del invierno, que en las inundaciones alcanzan niveles extraordinarios. Durante esos lapsos, finos sólidos en suspensión se depositan sobre las marismas. La proximidad de la superficie freática (especialmente en invierno) y la formación de pantanos, contribuyen al crecimiento de mucha materia vegetal que en partes son especies de agua salobre. La vegetación muerta puede convertirse en turba.

Arena de playa

Cerca de 7 Km de playa marina se presentan en la comuna de Penco, dentro de los cuales una porción presentan estar cubiertos por relleno artificial en los puertos de Penco y Lirquén. Los depósitos de arena de playa se distribuyen en la zona litoral angosta limitada por los niveles del mar bajamar y en las más altas mareas que bordean la bahía de concepción.

En un punto de la playa de Penco adyacente al mapa geológico, situado en terrenos de la estación ferroviaria, el autor perforo con el taladro IIG la sección siguiente.

Tabla N° 1: Litología descrita por Galli, sector Playa Penco

Horizonte	Metros	Litología
-----------	--------	-----------

1	0,0-1,8	Relleno artificial (carbón, escombros, etc.).
2	1,8-4,6	Arena de playa, gruesa a muy gruesa, limpia, gris amarillenta, con rodados, fragmentos de filita, cuarzo, mica y fósiles.
3	4,6-8,3	Arena Limosa, gris castaña, algo plástica, con granos mayores a 2 mm y micas.
4	8,3-19,6	Arcilla, gris plomiza brillante; hacia arriba es arenosa; hacia abajo es homogénea y presenta algunos rodados de granito.

Fuente: Galli, (1967). Geología Urbana y Suelo de Fundación de Concepción y Talcahuano.

El espesor del horizonte 2 puede probablemente correlacionarse con los posibles espesores de la arena de playa del área.

Los depósitos de playa consisten en arena limpia, uniforme, mediana a muy gruesa, color negro castaña a gris oscura, mineralógicamente inmaduros, de magnetita, fragmentos de basalto, plagioclasas y restos de conchas marinas. En partes se presentan concentraciones de minerales pesados de olivina y magnetita, trozos de roca, escoria y materiales depositados por la resaca.

Arena coluvial y de relleno de cárcavas.

Muchas laderas están cubiertas por material procedente de la meteorización de las rocas. En ciertas áreas la unidad incluye suelos en sitio sobre la roca y materiales aluviales, eólicos y de derrumbes menores.

La arena coluvial y de relleno de cárcavas consiste en materiales recientes, angulares, de maicillo, arena con limo y arcilla, y en partes con fragmentos de roca, de colores castaño amarillento y rojizos.

Materiales derrumbados

La unidad incluye los materiales de los grandes derrumbes del área. Los depósitos de materiales derrumbados están en equilibrio inestable y se han formado en tiempo reciente por el movimiento y acumulación de roca meteorizada y suelo, en su mayor parte, que se

encontraban en una posición estable en lugares más altos de las laderas. La actividad de las laderas se produce por erosión y transporte de agua torrencial meteórica, por caída de rocas o por desplome rápido, entre otros procesos causados por la fuerza de gravedad. La roca subyacente, que puede estar meteorizada, fracturada o contener arcilla muy plástica a bentonítica; períodos ocasionales de lluvias persistentes; temblores y la alteración del terreno original por el hombre, son otros factores que provocan esa actividad.

Los materiales derrumbados están compuestos por suelos vegetales, roca meteorizada y fresca; y restos orgánicos, sin cementación, dispuestos en forma caótica, con un relieve con fracturas que en partes permiten una rápida percolación del agua lluvia. En todas las áreas derrumbadas se presenta una topografía característica de pequeñas lomadas y hondonadas, con algunos árboles, postes, etc., en posición inclinada, y un suelo sobre roca muy meteorizada con indicaciones de reptación hacia el pie de las laderas.

Arena Andalién.

La arena Andalién se distribuye en el lecho y en las terrazas bajas formadas por el río Andalién. Las inundaciones extraordinarias de este río, además de sedimentar sobre las terrazas, depositan materiales finos en el área de marismas situada adyacente a la bahía Concepción. Cerca de los cerros la arena Andalién se apoya sobre granito o engrana con materiales coluviales graníticos y de roca clástica.

La unidad consiste en arena en general fina, con limo y arcilla, sin cementación, de color castaño amarillento moderado. En su mayor parte son fragmentos de rocas graníticas de la Cordillera de la Costa. En ciertas partes del lecho se presentan acumulaciones de arena muy gruesa conglomerádica, limpia.

Relleno Artificial.

La expansión de los radios urbanos y la construcción de puertos originaron grandes áreas de relleno artificial. Por ejemplo, el puerto de Lirquén contiene un relleno marítimo de 10 hectáreas, esto durante el período 2008-2010. El relleno artificial ha sido aplicado en sectores donde la superficie freática está muy cerca o sobre la superficie del terreno natural, donde las

aguas fluviales inundan frecuentemente, donde se ha ganado terreno a los ríos o al mar o donde había terrenos muy indeseables para fundar viviendas, industrias o vías de acceso.

ANEXO 2: CLASIFICACION DE SUELOS

2.1. Descripción de Suelos Comunes

Las arenas y las gravas son agregados sin cohesión de fragmentos angulares o redondeados, poco o no alterados, de rocas y minerales. En la Tabla N°2 se muestra la descripción de las partículas según sea el tamaño de estas.

Tabla N° 2: Descripción de las partículas según su tamaño

Descripción de las Partículas	Tamaño de las partículas (mm)		
	AASHTO (*)	ASTM (**)	Unificado (***)
Grava	75 – 2	> 2	75 – 4.75
Arena	2 - 0.05	2 – 0.075	75 – 4.75
Limo	0.05 – 0.002	0.075 – 0.005	< 0.075 finos
Arcilla	< 0.002	< 0.005	

Fuente: Guiñez, F. (2016).Elaboración propia.

(*) American Association of State Highway and Transportation Officials

(**) American Society for Testing and Materials

(***) Sistema de clasificación Unificado

Los depósitos de suelo que presentan características de adhesión y plasticidad asociadas con la presencia de una cantidad significativa de arcilla son descritas generalmente con el término de suelos cohesivos.

En cambio, las partículas con tamaños correspondientes a arena y grava tienen una pequeña relación entre el área superficial y el volumen. De esta forma, las fuerzas superficiales son despreciables en relación a las fuerzas gravitacionales. Es por esto que las arenas y las gravas se designan con el término de suelos sin cohesión o granulares.

El término suelo grueso, se utiliza para determinar los materiales que son ante todo arenas o gravas, y el término suelo fino, para denominar a los materiales que ante todo son limos o arcillas.

Los limos inorgánicos, son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad. Las variedades menos plásticas consisten en partículas más o menos equidimensionales de cuarzo y, en algunos países, se los distingue con el nombre de polvo de roca. Los tipos más plásticos contienen un porcentaje apreciable de partículas en forma de escamas y se denominan limos plásticos.

A causa de su textura suave, los limos inorgánicos son comúnmente tomados por arcillas, pero pueden distinguirse fácilmente de éstas mediante el ensayo de sacudimiento; que consiste en sacudir una pasta de limo orgánico saturado en la palma de la mano, la pasta expelle suficiente agua como para producir una superficie brillante que, si la pasta es posteriormente doblada entre los dedos, se vuelve nuevamente opaca. Después de secada, la pasta de limo inorgánico es frágil, siendo fácil de despegar polvo de ella si se frota con los dedos.

Los limos orgánicos son suelos de granos finos más o menos plásticos, con una mezcla de partículas de materia orgánica finamente dividida. A veces contienen también fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos. Estos suelos tienen colores que varían de gris a gris muy oscuro, y pueden contener cantidades apreciables de H₂S, CO₂, y otros productos gaseosos originados por descomposición de materia orgánica, lo que les da un olor característico.

Los limos orgánicos tienen muy alta compresibilidad, y su permeabilidad es muy baja.

Las arcillas son agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas.

Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros, sin que sea posible despegar polvo de una pasta frotada con los dedos. Tienen una permeabilidad extremadamente baja.

Las arcillas orgánicas son aquellos suelos de este tipo que derivan algunas de sus propiedades físicas más significativas de la presencia de materia orgánica finamente dividida. Cuando están saturados son generalmente muy compresibles, y secos presentan una resistencia muy alta. Tienen colores que varían de gris oscuro a negro, y pueden poseer un olor característico.

Las turbas son agregados fibrosos de fragmentos macro y microscópicos de materia orgánica descompuesta. Su color varía de un castaño claro a negro. Son altamente compresibles.

Si un suelo se compone de una combinación de dos clases distintas de material, para identificarlo se utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y del que entra en menor proporción como adjetivo calificativo. Por ejemplo, arena limosa indica un suelo en que predomina la arena, que contiene una pequeña cantidad de limo.

Las propiedades de los agregados se describen cualitativamente en relación a su compacidad para suelos gruesos, y en relación a su consistencia para suelos finos.

Estas características son generalmente estimadas en terreno, mientras se efectúa la perforación, basándose en varios factores que influyen la facilidad o dificultad relativa para hacer avanzar las herramientas o para sacar muestras y la consistencia de las muestras obtenidas.

Las morenas son depósitos glaciares no estratificados de arcilla, limo, arena, cantos rodados y piedras. Las tufas son agregados finos de materiales y fragmentos de roca muy pequeños expelidos por volcanes y transportados por el viento y el agua.

Los loess son sedimentos eólicos uniformes y cohesivos, comúnmente de color castaño claro. Su cohesión es debida a la presencia de un cementante que puede ser de naturaleza calcárea o arcillosa. El loess se caracteriza por la presencia de agujeros verticales dejados por las raíces extinguidas.

Marga es un término utilizado en forma vaga para identificar varios tipos de arcillas marinas calcáreas compactas o muy compactas y de color verdoso.

2.2. Distribución de Tamaños de las Partículas

La distribución del tamaño de las partículas es representada usualmente con la curva de gradación o la curva de distribución de tamaños de las partículas.

La curva de gradación se obtiene midiendo la distribución de tamaño de las partículas de una muestra de suelo representativa; en arenas y gravas esto puede hacerse con un análisis por tamizado y con un análisis por sedimentación para la fracción limosa.

2.3. Análisis por Tamizado

Una muestra representativa de masa conocida de suelo se pasa a través de una serie de tamices estándar con aberturas cada vez más pequeñas y luego se mide la masa retenida en cada uno de los tamices. Finalmente se determina el porcentaje en peso de la muestra que pasa a través de cada tamiz para representarlo en función de la abertura correspondiente.

2.4. Análisis por Sedimentación

Las partículas de limo (bajo la malla N°200) tienen tamaños que hacen impracticable un análisis por tamizado, por lo tanto la distribución de tamaños de tales partículas se determina mediante sedimentación en un medio líquido, usando un densímetro y la Ley de Stokes.

Tabla N° 3: Rango de Tamices (Norma ASTM D-422-63)

Malla ASTM	Tamaño abertura
3 pulg.	75 mm.
2 pulg.	50 mm.
1 1/2 pulg.	37.5 mm.
1 pulg.	25 mm.
3/4 pulg.	19 mm.
3/8 pulg.	9.5 mm.
N°4	4.75 mm.
N°8	2.36 mm.
N°10	2 mm.
N°16	1.18 mm.
N°20	850 µm.
N°30	600 µm.
N°40	425 µm.
N°50	300 µm.
N°60	250 µm.
N°100	150 µm.
N°140	106 µm.
N°200	75 µm.

Fuente: Espinace R., 1979.

2.5. DESCRIPCION DE LA GRADACION

La forma de la curva de distribución de tamaños de las partículas indica si el tamaño de las partículas en el suelo varía en un rango amplio o estrecho.

Si un suelo de granos gruesos contiene proporciones aproximadamente iguales de todos los tamaños de partículas se describe como bien graduado, y por lo general, tiene una curva suave que cubre un amplio rango de partículas.

Se considera como mal graduado, si la curva se caracteriza por tener una parte muy vertical, en este caso el suelo se define como uniforme.

Figura N° 4: Graduación de Partículas.

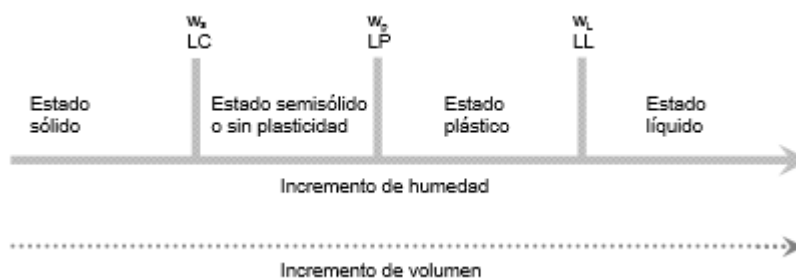


2.6. Consistencia de las Arcillas y Límites de Atterberg

Una de las características más importantes de las arcillas es su plasticidad. La magnitud de la plasticidad que presenta una arcilla natural depende de su composición mineralógica y contenido de humedad. La consistencia de una arcilla varía con el contenido de humedad, desde un estado sólido en condición seca, pasando por un estado semisólido para bajos contenidos de humedad en que el suelo se desmorona y no presenta plasticidad, pasando también por un estado plástico para altos contenidos de humedad, hasta llegar finalmente a un estado prácticamente líquido para contenidos de humedad muy altos.

El contenido de humedad para el cual la consistencia cambia de un estado a otro, varía dependiendo del tipo de arcilla. Como estos cambios son graduales, fue necesario establecer límites arbitrarios entre los diferentes estados denominados Límites de Atterberg.

Figura N° 5: Límites de Atterberg.



Fuente: 2016, tice.inpl-nancy.fr

- Límite de contracción (w_s o LC): Se define como el cambio del estado sólido al estado semisólido o estado no plástico.
- Límite plástico (w_p o LP): Se define como el cambio entre el estado no plástico y el estado plástico.
- Límite líquido (w_L o LL): Se define como el cambio del estado plástico al estado líquido.

“Los límites de Atterberg son contenidos de humedad y por lo tanto son valores adimensionales, además, se expresan en porcentajes”.

El rango de variación de contenidos de humedad en el que la arcilla presenta plasticidad se denomina índice de plasticidad, IP, y está dado por:

$$I_P = w_L - w_P$$

El contenido de humedad, w, que presenta la arcilla en terreno puede compararse con sus límites líquido y plástico mediante el índice de liquidez, IL, que se expresa como:

$$IL = \frac{w - w_P}{w_L - w_P} = \frac{w - w_P}{I_P}$$

La mayor parte de las arcillas naturales se presentan en terreno en un estado plástico, por lo tanto los valores de IL están normalmente en el rango de 0 a 100%. En todo caso, IL puede ser negativo.

Las pruebas de límite líquido y plástico se muestran sobre muestras remoldeadas de suelo y por lo tanto, no puede esperarse que reflejen las características del comportamiento ingenieril, que depende de la macroestructura natural del suelo arcilloso en el terreno. La función principal de estas pruebas es proporcionar bases para la clasificación de los suelos arcillosos y no la de proporcionar criterios para hacer predicciones acerca de su comportamiento ingenieril.

2.7. Determinación del Limite Líquido.

Este ensayo se hace con todos los suelos bajo la malla N°40, aún cuando sea “arena fina”, en cuyo caso LL=0.

La determinación del límite líquido se hace utilizando un aparato diseñado por A. Casagrande, que es el que se muestra en la figura. Se determina mediante el contenido de

humedad correspondiente al estado en las dos mitades de una torta patrón apenas se tocan después de ser partidas en forma normalizada.

Figura N° 6: Instrumento para determinar el Límite Líquido según Casagrande



Fuente: 2013, estudiosgeotecnicos.com

2.8. Determinación del Limite Plástico

El límite plástico de una arcilla se alcanza cuando comienza a desmigajarse si se moldea en rollos de alrededor de 1/8 de pulgada de diámetro.

Figura N° 7: Determinación del límite plástico



Fuente: 2013, estudiosgeotecnicos.com

2.9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

De acuerdo con la distribución de tamaños de las partículas de material que pasa el tamiz de 75 mm., el suelo se clasifica como:

- Suelo granular, si más del 50% es retenido por el tamiz N°200, ó
- Suelo fino, si el 50% o más pasa por el tamiz N°200.

Estos grupos a su vez se dividen en subgrupos, asignándole a cada grupo un símbolo formado por una letra prefijo y un sufijo.

Tabla N° 4: Suelos Granulares

Prefijo	G	Grava	Si el 50% o más de la fracción granular es retenida por el tamiz N°4
	S	Arena	Si más del 50% de la fracción granular pasa por el tamiz N°4
Sufijo	W	Bien gradado	La selección depende de los valores de C_U y C_C
	P	Mal gradado	
	M	Limoso	La selección depende de los valores de w_L e I_P
	C	Arcilloso	

Fuente: Anejo A., 2009, Manual de Mecánica de suelos y Cimentaciones.

Si menos del 5% del material pasa por el tamiz N°200 los sufijos que se utilizan son W ó P dependiendo de los valores de CU y CC.

Si más del 12% pasa por el tamiz N°200 los sufijos que se utilizan son M ó C dependiendo de los valores de wL e IP.

Si el porcentaje de finos está entre el 5 y el 12%, se utiliza una clasificación intermedia con símbolos dobles.

Tabla N° 5: Suelos finos

Prefijo	M	Limo	
	L	Arcilla	
	O	Suelo orgánico	
Sufijo	L	Baja plasticidad	$W_L < 50\%$
	H	Alta plasticidad	$W_L > 50\%$

Fuente: Anejo A., 2009, Manual de Mecánica de suelos y Cimentaciones.

La clasificación se basa solo en los límites de Atterberg de la fracción de suelo que pasa por el tamiz N°40, y se obtiene con la carta de plasticidad de la Tabla A-2.5. Los suelos situados por encima de la línea A son las arcillas inorgánicas, y los suelos situados por debajo de la línea A son los limos y las arcillas orgánicas.

La turba y los demás suelos de bastante contenido orgánico se clasifican por inspección visual (ASTM D-2488-69) y se agrupan con el símbolo Pt.

ANEXO 3: ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

3.1. Procedimiento General

El método de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) es tal vez el más conocido y usado en la exploración de suelos, tal vez por su sencillez de ejecución y sobre él existe una literatura muy abundante.

Se han planteado una serie de correlaciones entre los valores del S.P.T. y la Resistencia a la Licuación de suelos (por intermedio de gráficos), dando lugar a un camino para evaluar el Potencial de Licuación, donde se podrán diferenciar condiciones licuables y no-licuables del lugar afectado.

El método ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste en hincar un toma muestras partido de 18" (≈ 45 cm) de largo colocado al extremo de una varilla AW, por medio de un peso (martillo) de 140 lb (≈ 63.5 kg) que se deja caer "libremente" desde una altura de 30" (≈ 76 cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (≈ 15 cm).

El valor normalizado de penetración N es para 12" (1 pie ≈ 30 cm) se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos valores registrados. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si:

- (a) N es mayor a 50 golpes/15 cm,
- (b) N es igual a 100 golpes/pie o
- (c) No hay avance luego de 10 golpes.

Aunque se denomina "estándar", el ensayo tiene muchas variantes y fuentes de diferencia, en especial a la energía que llega al toma muestras.

3.2. Factores que Afectan el S.P.T

3.2.1 Sobrepresión

La sobrepresión influencia a la resistencia a la penetración ya que un mismo suelo a una profundidad pequeña su número de golpes es bajo, pero al aumentar la profundidad se presentará una resistencia a la penetración (N) más elevada.

Los investigadores, Gibbs y Holtz (1957), propusieron modificar el número de golpes cerca de la superficie de suelos sin cohesión para incluir el efecto de la reducida presión de confinamiento, mediante la siguiente relación:

$$N_{SP} = N \left(\frac{3.5}{\bar{\sigma}_v + 0.7} \right)$$

Donde

N: Número de golpes del S.P.T. medido en terreno.

N_{SP} : Valor de N corregido por sobrepresión.

$\bar{\sigma}_v$: Tensión vertical efectiva a la profundidad de estudio. No puede exceder de 2.8 Kg/cm².

3.2.2 Energía Transmitida las Barras Perforadoras

La energía real transmitida a las barras perforadoras varía en distintas zonas de un país (EEUU) y más aún alrededor del mundo. Investigadores (Kovacs, 1983; Schmertman, 1976) han encontrado que estas variaciones pueden encontrarse dentro de un rango de 40% a 90% de la energía libre en teoría debiera transmitirse al martillo.

En la actualidad se utilizan principalmente dos tipos de martillo el Donut y el de Seguridad, básicamente su diferencia está en la eficiencia de entrega de energía sobre la barra, ya que existen variaciones en procedimientos para levantar y dejar caer el martillo (sistemas mecánicos, técnica de la cuerda y la polea, etc.), número de vueltas de la cuerda en la polea (técnica cuerda-polea) y otros factores.

El martillo de Seguridad, es más eficiente en la entrega de energía, logrando una razón entre la máxima entregada y la teórica de un 60%, en tanto el martillo Donut para las mismas condiciones alcanza una razón de energía de un 45%.

Se ha planteado una estandarización de la razón de energía en un 60%, los valores del S.P.T. corregidos de esta forma se designarán como N_{60} , y se determinarán como:

$$N_{60} = N \frac{ER_m}{60}$$

Donde

N: Valor del S.P.T. medido en terreno.

ER_m : Razón de Energía transmitida a las barras por la técnica de caída usada.

N_{60} : Valor de N corregido para una razón de energía del 60%.

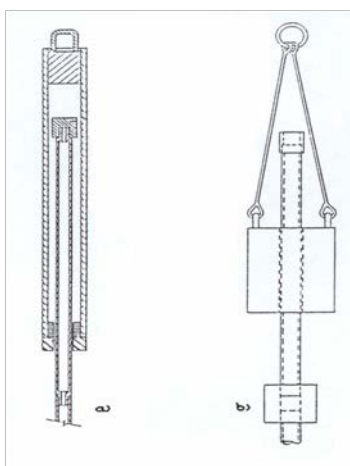
En la Tabla N°6, Seed, 1984 propone factores de corrección por energía para distintos países del mundo, también se incluye la corrección para el caso Chileno.

Tabla N° 6: Resumen de Razones de energía para distintos procedimientos de SPT

PAÍS	TIPO DE MARTILLO	TIPO DE CAÍDA	ENERGÍA ESTIMADA %	FACTOR DE CORRECCIÓN
Japón	Donut	Caída Libre	78	$78/60=1.30$
	Donut	Cuerda-Polea Con impulso	67	$67/60=1.12$
E.E.U.U.	Seguridad	Cuerda-Polea	60	$60/60=1.00$
	Donut	Cuerda-Polea	45	$45/60=0.75$
Argentina	Donut	Cuerda-Polea	45	$45/60=0.75$
Chile	Donut	Cuerda-Polea	45	$45/60=0.75$
China	Donut	Caída Libre	60	$60/60=1.00$
	Donut	Cuerda-Polea	50	$50/60=0.83$

Figura N° 8: Martillos utilizados en ensayos de penetración estándar,

a) Martillo de Seguridad, b) Martillo Donut.



3.2.3 Frecuencia del Numero de Golpes

La frecuencia de golpes del martillo es significativamente menor en Japón que en E.E.U.U; así, en E.E.U.U la frecuencia de golpes es típicamente de 30 a 40 por minuto, pero con el método "tonbi" japonés es del orden de 10 a 25 golpes por minuto y con la técnica de la cuerda-polea con impulso especial es sólo de 17 a 20 golpes por minuto.

Incluso si la Razón de Energía es la misma, se pueden esperar diferencias en los valores de N obtenidos de ensayos realizados con distintas razones de golpes aplicados.

Durante la penetración del muestreador en un suelo no cohesivo se desarrollan presiones de poros. Una frecuencia más baja en la aplicación de golpes, podría permitir que más de este exceso de presión de poros se disipe entre golpes que con una frecuencia más alta; resultando en una condición de tensiones efectivas más grandes y una correspondiente Resistencia a la Penetración, N, más elevada.

Por lo tanto, si una Razón de Energía de 60% fuera utilizada en E.E.U.U y en Japón, los valores de N podrían diferir, a causa de las distintas razones de golpes de martillo aplicadas, de acuerdo a:

$$(N_J)_{60} > (N_{US})_{60} \quad \text{Para arenas sueltas, con } (N_1)_{60} < 20$$

$$(N_J)_{60} < (N_{US})_{60} \quad \text{Para arenas densas, con } (N_1)_{60} > 20$$

3.2.4 Diámetro y Limpieza de la Perforación

Los diámetros de los agujeros usados en Japón son más pequeños que los empleados en E.E.U.U. El diámetro estándar especificado en Japón es de 2.6" (6.604 cm), aunque diámetros

de 3.4" (8.636 cm) y 4.6" (11.684 cm) son a veces usados. En E.E.U.U los diámetros usualmente no son menores a 4" (10.16 cm) y pueden llegar hasta 6" (15.24 cm).

Es razonable esperar que el uso de perforaciones cilíndricas de diámetros más pequeños tiendan a incrementar la Resistencia a la Penetración de un depósito y que para Razones de Energía iguales, el efecto de este factor podría ser la causa de:

$$(N_J)_{60} > (N_{US})_{60}$$

Se ha establecido apropiado considerar para arenas con $(N_1)_{60} < 20$ que.

$$(N_{US})_{60} \approx 0.9 (N_J)_{60}$$

Descripciones usuales del ensayo lo consideran asociado con perforaciones de 2 1/2" (6.35 cm) o 4" de diámetro (Fletcher, 1965), enfatizando la exclusión de diámetros superiores a 4".

Por otro lado, una limpieza inadecuada de la perforación puede variar los resultados del test por un aumento de la fricción, y principalmente por el lodo del fondo que es transportado hacia la válvula esférica superior (que permite la salida de azolve y evita que la muestra se salga fácilmente del tubo), incrementandose el número de golpes. Se tienen similares efectos al tapar las aberturas laterales, con un posible aumento del número de golpes de hasta un 50%.

3.2.5 LONGITUD Y TIPO DE BARRAS

Ensayos realizados por Gibbs y Holtz indicaron que la longitud de la barra de perforación, a lo menos de 65 pies (≈ 20 m), no era demasiado importante. Fletcher (1965), también señaló que esto no era un factor muy influyente. Sin embargo, para longitudes superiores a 200 pies (≈ 60 m), el valor de N puede llegar a ser muy elevado.

Amplios estudios del S.P.T. en la Universidad de Florida (Palacios, 1977; Schmertmann, 1977) han mostrado que cuando la longitud de las barras de perforación es menor que 10 pies (≈ 3 m), hay una reflexión de energía en las barras que reduce la energía disponible para impulsar el tubo muestreador dentro del suelo. De esta forma, la medida de la Resistencia a la Penetración es ficticia, por lo que se propuso que esta pérdida de energía impulsante, en barras cortas de longitud, sea corregida multiplicando los valores de N para profundidades entre 0-10 pies (≈ 3 m) por un factor de 0.75.

En cuanto al tipo de barras, aquí influye el uso de tubos más pesados que lo establecido y la flexibilidad de éstos, ya que absorben una parte de la energía entregada por el golpe del martillo (o martinete).

Se ha recomendado el uso de barras A o AW para perforaciones menores a 15 m y barras N, NW o BW para profundidades mayores.

Las barras AW y BW son equivalentes porque tienen un peso similar. Sin embargo, son preferibles las BW porque sufren menos pandeo al someterlas a los impactos del martillo. En la Tabla N°7, se muestran las principales características de estas barras.

Tabla N° 7: Medidas de las barras de perforación más usuales, donde ϕ_e diámetro exterior, ϕ_i diámetro interior.

Tipo de barra	ϕ_e mm	ϕ_i mm	Peso kg/ml	Recomendada usar en

EW	34.9	22.2	4.6	Cono Eléctrico
AW	44.4	30.9	6.5	Sondeo < 15m
BW	54.0	44.5	6.2	Sondeo > 15m
NW	66.7	57.2	8.0	Sondeo > 15m No usar para muestreo.

3.2.6 Factores Humanos

Es evidente que en la ejecución del ensayo el factor humano tiene una influencia no despreciable. Por lo tanto, ejecutando el S.P.T. en condiciones normales y con cuidado, para evitar errores sistemáticos y al azar, nos puede proporcionar información muy importante. Algunos de estos errores son:

- 1.- Variación en la altura de caída libre (Método Cuerda-Polea) del peso desde 75 cm, puesto que se realiza usualmente al ojo.
- 2.- La caída libre de la masa puede ser trabada por cualquier objeto.
- 3.- Falta de cuidado en la cuenta de los golpes o la medida de la penetración.
- 4.- Uso de una cuerda demasiado larga o liviana.
- 5.- Error al asentar la cuchara partida en un material no distorsionado para el conteo de golpes.
- 6.- El estado de la superficie interior y exterior del tubo muestreador, donde las partes emmoheidas o abolladas pueden modificar considerablemente el rozamiento con las capas del suelo.

7.- La posición de la napa freática en relación al nivel del ensayo. Es importante que el nivel del agua en la perforación este por sobre el nivel de la napa. Una retirada rápida de las herramientas para perforar podría bajar el nivel del agua en la perforación con respecto a la napa y el agua que fluiría en el fondo desprendería el suelo, causando número de golpes bajo para la próxima penetración.

8.- Adecuado apriete en el ensamble de las barras. Coplas mal apretadas disipan energía por pandeo y flexión de las barras.

En la Tabla N°8, se resumen los procedimientos de ejecución recomendados del S.P.T., para su uso en correlaciones empíricas de evaluación de Potencial de Licuación.

Tabla N° 8: Procedimientos del S.P.T. recomendados para usar en correlaciones de Licuación

A. Perforación: De 4" (10cm) a 5" (12.5) de diámetro con barro bentonítico como perforador para estabilidad del agujero.
B. Taladro Perforador: Desviación hacia arriba del barro perforador.
C. Muestreador: $\varnothing_{ext.}=2"$ (5.08 cm) $\varnothing_{inte.}=11/8"$ (3.5 cm) constante, sin revestimiento.
D. Barras Perforadoras: AW para sondeos < 15 m. NW o BW para sondeos mayores.
E. Energía entregada al Muestreador: 4800 kg-cm (60% de la máxima teórica)
F. Frecuencia del Número de Golpes: 30 a 40 golpes/min.
G. Conteo del Número de Golpes: Desde 15cm a 45cm.

H. Cuidado en la ejecución del ensayo.

Fuente: Seed, H.B., 1984.