

Investigaciones geotécnicas realizadas en el área de la Ciudad de Managua (Nicaragua)

Por :

Dr. Tupak Obando

Ingeniero en Geología. Master y
Doctorado en Geología, y Gestión ambiental
en la Universidad Internacional de Andalucía
UNÍA (Huelva, España).

2009

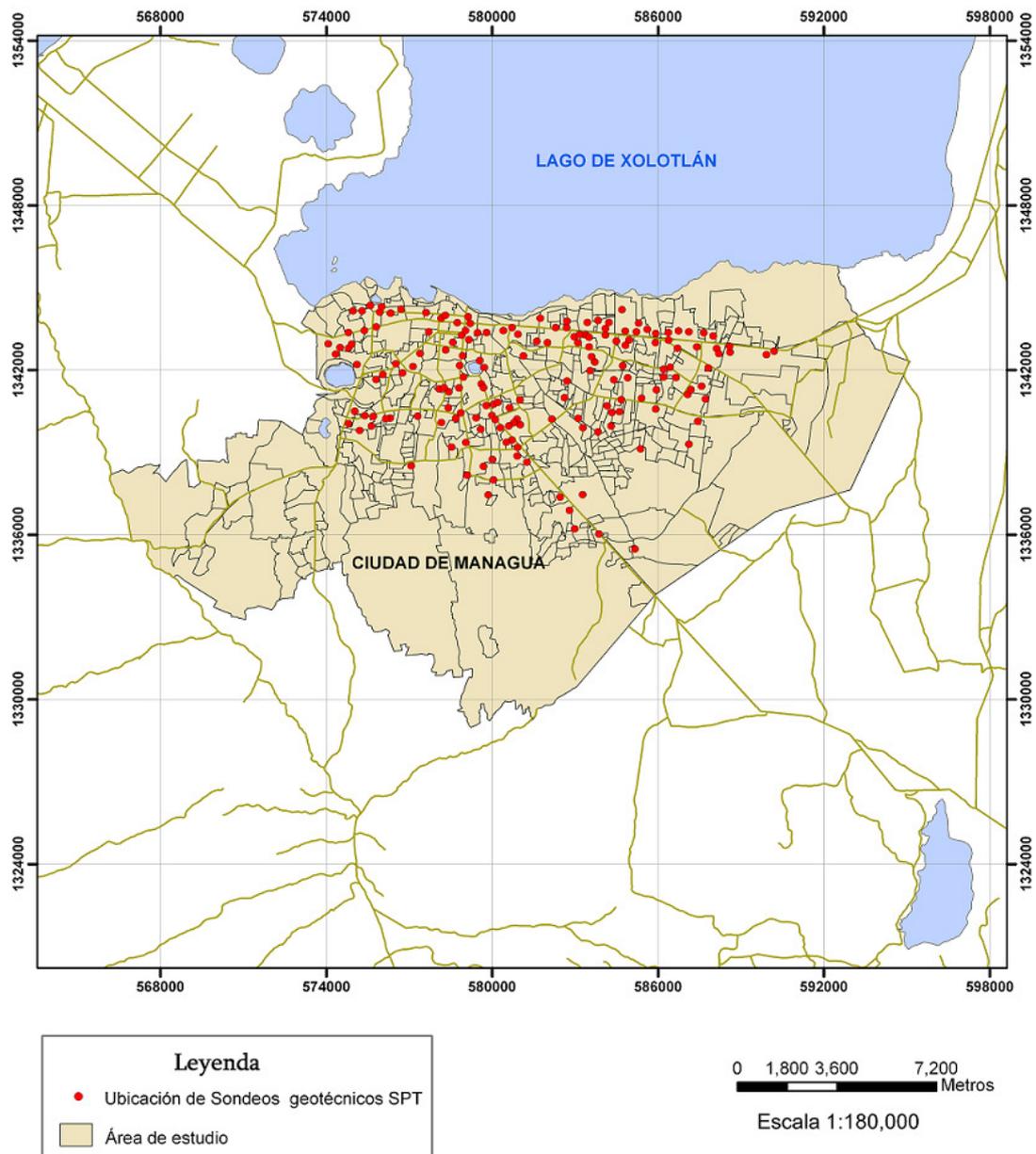
Introducción

En este documento se caracteriza geotécnicamente el área estudiada con énfasis en las propiedades geomecánica de los suelos capitalinos, cuyos detalles se recogen en el presente documento de investigación. Esta información es vital para la proposición de la metodología investigativa de esta tesis. Se propone sistemas de clasificación de los suelos en función de parámetros dinámicos y mecánicos del terreno. Se plantea información sobre los ensayos de Penetración estándar (SPT), condiciones de aplicación, instrumental usado para su realización y otros datos numéricos y atributivo relativo a propiedades deformacionales del subsuelo.

La información geotécnica empleada para el análisis dinámico procede básicamente de dos fuentes:

a.- Sondeos y datos geotécnicos recogidos en la publicación “Análisis del Comportamiento dinámico de los Suelos durante Sismos en el Área de Managua, Nicaragua”, de Franklin Moore (1,991)

b.- Serie de sondeos y datos geotécnicos reunidos en la publicación “Análisis del Espectro de Respuesta en el Área de la Ciudad de Managua”, de Rainer Parrales (2,001) Todos estos sondeos corresponden a ensayos de penetración estándar (Norma ASTM D-1586) y cuyas profundidades dependen de la existencia de un material extremadamente compacto y considerable espesor (generalmente más de 4 metros) que dificultó la continuación de la prueba de penetración estándar. La ubicación de estos sondeos se presenta en el **Mapa que sigue.**



Mapa No 1 . LOS PUNTOS REPRESENTAN MEDICIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS PARA MANAGUA

En la Tabla adjunta se presenta la lista de estos sondeos indicando su ubicación, profundidad y descripción con base a la estructura o sitio de su ubicación. En este estudio se emplean solo los sondeos que tuvieron información completa y confiable, en lo especial lo referente al número de golpes N, Velocidad de Corte, Módulo Cortante y Clasificación del Material. Se descartaron sondeos de profundidad muy somera o que estuvieran muy cercanos a otros de mayor profundidad, siendo utilizados en este caso para fines de verificación y completar los sondeos utilizados en este trabajo.

Para la Clasificación de los suelos se empleó el sistema planteado en el **artículo 25** relativo a la *Influencia del Suelo y Períodos del Edificio* recogidos en acápite de “Normas Mínimas para Determinar la Carga debida a Sismos” del Reglamento Nacional de la Construcción de año 2007. Dicho sistema propuesto considera los suelos agrupados en cuatro clases de terreno (**Tabla No 1**), en función de sus particularidades físicas:

Tabla No 1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN VELOCIDAD DE CORTE

Categoría	Descripción	Velocidad de Corte
Tipo I	Afloramiento rocoso	$V_s > 750$ m/s
Tipo II	Suelo firme	$360 < V_s \leq 750$ m/s,
Tipo III	Suelo moderadamente blando	$180 \leq V_s < 360$ m/s,
Tipo IV	Suelo muy blando	$V_s < 180$ m/s

(Fuente: RNC, 2007)

Por su lado, **Moore (1991)**, considera ventajoso zonificar el subsuelo de Managua con base a la compacidad de estos (**Tabla 4**), de acuerdo a la tenacidad mecánica de los materiales geológicos. Para esto, **Faccioli, E. et al. (1973)**, propone la zonación de los suelos agrupados en tres categorías (las zonas descritas van de más superficial: I, a más profundidad: III)

Tabla No 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN VALORES DE N

Zona	Rango de N	Compacidad	Material
I	$N < 10$	Suelta	Arenas limosas (en algunos sitios arcillas y relleno)
II	$10 < N < 50$	Media a compacta	Arenas medias densas, pómez, gravas, conglomerados y cantera
III	$N > 50$	Duro a muy compacto	Predomina la cantera

(Fuente: Moore, 1991)

5.1.- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

De acuerdo con **Vallejos (2002)**, este ensayo de penetración dinámica se realiza en el interior del suelo durante la perforación. Permite obtener un valor de N de resistencia a la penetración, correlacionable con otros parámetros geotécnicos (velocidad de corte, modulo cortante, y otros). **(Foto No 1)**



Foto No 1. EQUIPO DE PERFORACIÓN PARA SONDEOS GEOTÉCNICOS. Fuente: Vallejos (2002)

Expresó, que la frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo de 2 a 5 metros, o incluso mayor, en función de las características del terreno.

El procedimiento consiste en hincar en el terreno barreno metálico contando el número de golpes necesario para hincar tramos de 15 cm. El golpeo para la hincada se realiza con una maza de 63.5 kg cayendo libremente desde una altura de 76 cm sobre una cabeza de golpeo o yunque. La lectura del golpeo del primero y último tramo no debe tener en cuenta, por la alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso, y por posible sobre-compactación en el segundo. La suma de los valores del golpeo de los dos tramos centrales de 15 cm es el valor N, denominado también



Foto No 2. TOMAMUESTRAS, PUNTAZAS Y ELEMENTOS DEL ENSAYO SPT. Fuente: Vallejos (2002)

resistencia a la penetración estándar. En ocasiones, dada la alta resistencia del terreno, no se consigue el avance del tomamuestras. En estos casos, el ensayo se suspende cuando se exceden 100 golpes para avanzar un tramo de 15 cm, y se considera rechazo. **(Foto No 2)**

Afirmó, que el resultado de los ensayos SPT **(Foto 3)** pueden ser afectados por factores como:

- Preparación y calidad del sondeo: limpieza y estabilidad de las paredes de perforación



Foto No 3. EQUIPO DE SPT (Foto T. Ernesto Obando R.)

- Longitud del varillaje y diámetro del sondeo: condicionan el peso del elemento a hincar y la fricción con las paredes del sondeo.

- Dispositivo del golpeo: puede ser manual o automático, existiendo diferencias notables entre los resultados de ambos. Deben emplearse dispositivos automáticos, pues garantizan la aplicación de misma energía de impacto en todos los casos.

Según **Delgado (2000)**, las variables que inciden en los resultados del SPT son:

- Peso y altura de caída del martillo
- Profundidad de perforación
- Limpieza del fondo de perforación
- Flujo de material hacia la perforación
- Diámetro de la perforación
- Presencia de material grueso o muy fino
- Descuido en el conteo de golpes
- Estado de los equipos
- Dejar caer bruscamente la barra de perforación
- Lavado excesivo.

Algunos especialistas como **Kulhawy y Mayne (1990)**, ilustran en la Tabla 3 los factores que afectan el SPT.

Tabla 3. FACTORES INFLUYENTES EN LOS RESULTADOS DE UN SPT

	el peso; (son comunes las variaciones de 5 a 7 por ciento)	
El martillo golpea excéntricamente el collar de la barra de barreno	Reducción de energía del martillo	Aumenta
Falta de caída libre del martillo debido a la deficiencia de lubricación de roldanas, nuevo cable rígido sobre el peso, más de dos vueltas sobre el cabrestante, soldadura incompleta de cable en cada caída	Reducción de energía del martillo	Aumenta
El muestreador es manejado sobre el fondo del revestimiento	Muestreador manejado en suelo disturbado, artificialmente densificado.	Aumenta grandemente
Conteo descuidado de los golpes	Resultados inexactados	Aumenta o disminuye
Empleo de un muestreador no convencional	Correcciones con muestreador convencional no son válidas	Aumenta o disminuye
Grava gruesa o cantos rodados en el suelo	El muestreador se atora u obstruye	Aumenta
Uso de barra torcida de barrenos	Transferencia inhibida de energía al muestreador	Aumenta

Fuente: Rennat, E. et. al. (1997)

Vallejos (2002), señala que cuando el ensayo se realiza por debajo del nivel freático se utilice la corrección propuesta por Terzaghi y Peck en el año 1948, aplicable a suelos pocos permeables (limos y arenas finas):

$$N = 15 + [N' - 15]/2]$$

Válida para $N' > 15$, siendo N el valor corregido y N' el valor medido.

El amplio uso del SPT ha permitido establecer una serie de correlaciones con diferentes parámetros geotécnicos como por ejemplo, modulo cortante velocidad de ondas de corte y compacidad de suelos granulares, y otros, los cuales se explican a continuación.

Delgado (2000), resumen el procedimiento SPT de la manera siguiente; consiste en determinar el número N de golpes de un martillo con peso de 63.5kg (140lb) y 762mm (30 pulgadas) de altura de caída, necesario para hincar en el suelo inalterado un tomamuestra partido normal en una distancia de 305 mm (1 pie). Después que el tomamuestra toca fondo, el martillo debe golpearlo a través de las barras hasta penetrarlo 150mm (6 pulgadas); en este momento se inicia propiamente el ensayo y es cuando el técnico debe contar el número N de golpes necesario para avanzar los siguientes 305mm (1.0 pie). (**Figura No 1**)

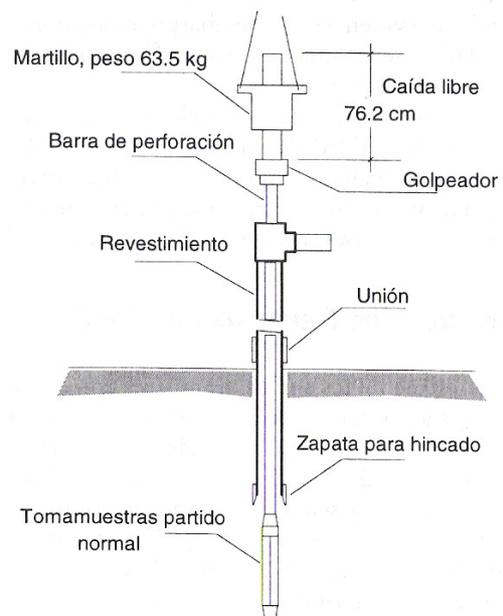


Figura No 1. ESQUEMA DE LA DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA TOMAR LA MUESTRA Y EJECUTAR EL SPT

Por su parte, **Peck (1991)**, dice que para considerar la falta de apoyo, los golpes de los primeros 15 cm de penetración no se toman en cuenta; los necesarios para aumentar la penetración de 15 a 45 cm constituyen el valor N. Esta misma fuente, menciona que los resultados de la penetración estándar pueden correlacionarse aproximadamente con algunas propiedades importantes del suelo simplificadas en la **Tabla 6**.

Según **Delgado (2000)**, la energía efectiva entregada al martillo de seguridad es del orden de 60% de la energía teórica de 475J, valor basado en el producto de valores normalizados: peso del martillo por la altura de caída.

Tabla 4. CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DE PENETRACIÓN Y LAS PROPIEDADES DEL SUELO A PARTIR DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

Arenas (Bastante Segura)		Arcillas (Relativamente Insegura)	
Número de Golpes por 30 cm, <i>N</i>	Compacidad Relativa	Número de Golpes por 30 cm, <i>N</i>	Consistencia
0-4	Muy suelta	Menos de 2	Muy blanda
4-10	Suelta	2-4	Blanda
10-30	Media	4-8	Media
30-50	Compacta	8-15	Firme
Más de 50	Muy compacta	15-30	Muy firme
		Más de 30	Dura

Fuente: Peck (1991)

De igual manera, **Badillo et. al. (2006)**, opina que la utilidad e importancia de la prueba de penetración estándar radican en las correlaciones realizadas en el campo y laboratorio de diversos suelos, sobre todo arenas, que permite relacionar la compacidad, ángulo de fricción interna, en arenas, y el valor de la resistencia a la compresión simple q_u , arcillas, con el número de golpes en este suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm especificados. Para obtener estas relaciones basta realizar la prueba estándar en estratos accesibles o de los que se puedan obtener muestras inalteradas confiables y a los que se les pueda determinar los valores determinados; haciendo suficiente número de comparaciones pueden obtenerse correlaciones estadísticas dignas de confianza. En la práctica esto se ha logrado en los suelos friccionantes, para los que existen tablas y gráficas dignas de crédito y aplicables al trabajo práctico.

En la **Figura 2** se observa que al aumentar el número de golpes se tiene mayor compactación relativa de la arena y, consecuentemente, mayor ángulo de fricción interna. También se ve que en arenas limpias medianas o gruesas para el mismo número de golpes, se tiene un mayor que en arenas limpias finas o que en arenas limosas.

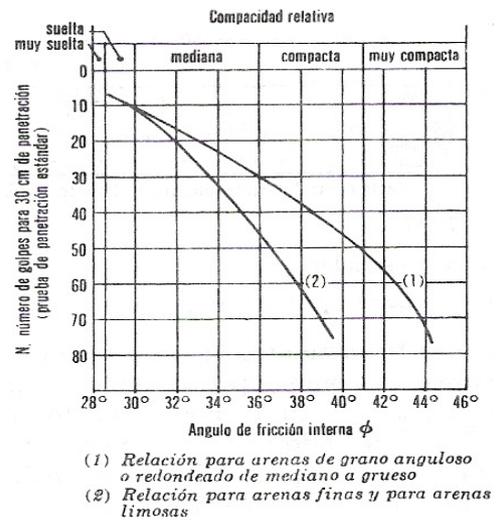


Figura 2. CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES PARA 30 CM DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DE LAS ARENAS. Fuente: Badillo et. al. (2006)

Badillo et. al. (2006), sugiere que para pruebas en arcillas, Terzaghi y Peck, dan la correlación que se resumen en la **Tabla 6**, cuyo uso es reservado. Puede observarse en la **Tabla 7** que, prácticamente, el valor de q_u , en kg/cm^2 se obtiene dividiendo entre 8 el número de golpes.

Tabla 5. CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA DE PENETRACIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE. Fuente: Badillo et. al. (2006)

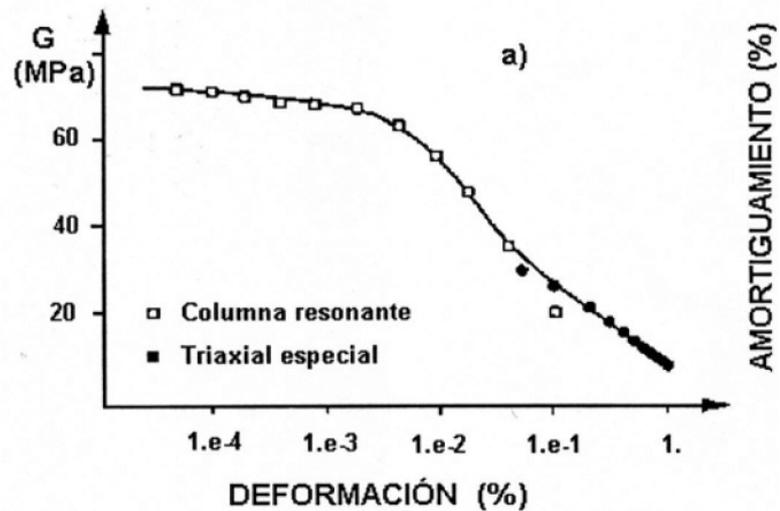
Consistencia	No. de golpes, N	Resistencia a la compresión simple, q_u kg/cm^2
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2-4	0.25-0.50
Media	4-8	0.50-1.0
Firme	8-15	1.0 -2.0
Muy firme	15-30	2.0 -4.0
Dura	> 30	> 4.0

5.1.1.- Módulo cortante

Hoy día es conocido que para el estudio pleno del comportamiento de un depósito de suelo se solicita entender uno de los parámetros físicos importantes en el fallo del terreno (asentamientos, deslizamientos, licuefacción y otros), como es el Módulo Cortante y otros que se dilucidarán más adelante.

Muchos trabajos sobre comportamiento cíclico de suelos han estudiado la relación tensión de corte - deformación de corte usando como primera aproximación la teoría de la elasticidad. Así definen un módulo de corte G , apropiado a nuestro nivel de deformaciones, que disminuye al aumentar éstas (Figura 3).

Figura 3. RELACIÓN ESFUERZO - DEFORMACIÓN DE CORTE. Fuente: Establecido por A. Ledesma et. al. (2000)



Algunos expertos señalan diversos modelos más simples y más comúnmente utilizados para el estudio del comportamiento dinámico de los suelos que trabajan con la teoría de la elasticidad son los **modelos de suelo lineal equivalentes** que consideran a un suelo como un material visco elástico lineal. En ellos el comportamiento no lineal es tenido en cuenta mediante la dependencia de los parámetros de rigidez (G) y amortiguamiento del suelo con la deformación. Sin embargo, no permiten que se desarrollen deformaciones permanentes. La rigidez del suelo es caracterizada normalmente por el módulo de corte máximo ($G_{\text{máx}}$), el cual se encuentra para pequeñas deformaciones, y por una curva de reducción del módulo ($G/G_{\text{máx}}$) en la que se observa como el módulo de corte decrece para grandes deformaciones. (Figura 4)

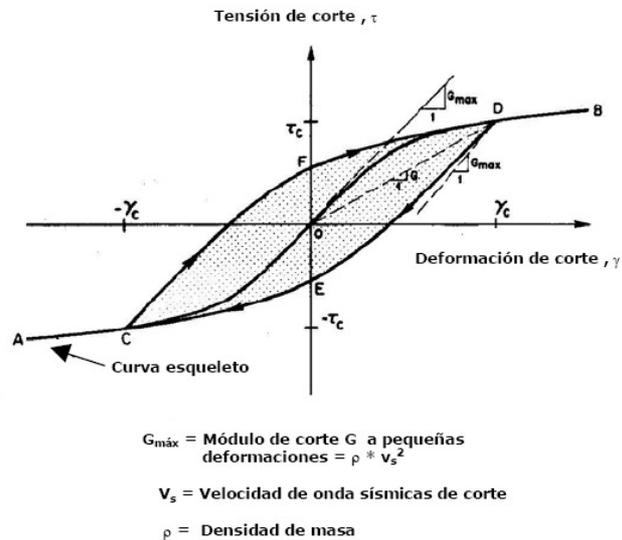


Figura 4. CURVA HISTERÉTICA (CURVA ESQUELETO) ESFUERZO - DEFORMACIÓN

Este modelo lineal equivalente, ha sido en reiteradas ocasiones corroborados con estudios realizados por varios especialistas como Dobry y Vucetic (1987), y Steven L. Kramer (1996), quienes opinan que en dicho modelo intervienen una carga cíclica simétrica de corte en el subsuelo y una deformación cíclica de corte que da origen a una curva esqueleto esfuerzo-deformación con tal como se plantea en la figura anterior.

En términos generales, dos importantes parámetros “lineal equivalentes” se pueden obtener directamente de la curva. El primero es el *módulo de corte secante*:

$$G = G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c} = \text{pendiente de la recta OD}$$

Este parámetro ofrece información de la inclinación de la curva. La inclinación depende de la rigidez del suelo que se puede describir, en cualquier punto, durante el proceso de carga mediante el módulo de corte tangente, G_{tan} (**Figura 5**). Obviamente G_{tan} varía a lo largo de un ciclo de carga, pero su valor medio se puede aproximar por $G_{sec} = G_s$.

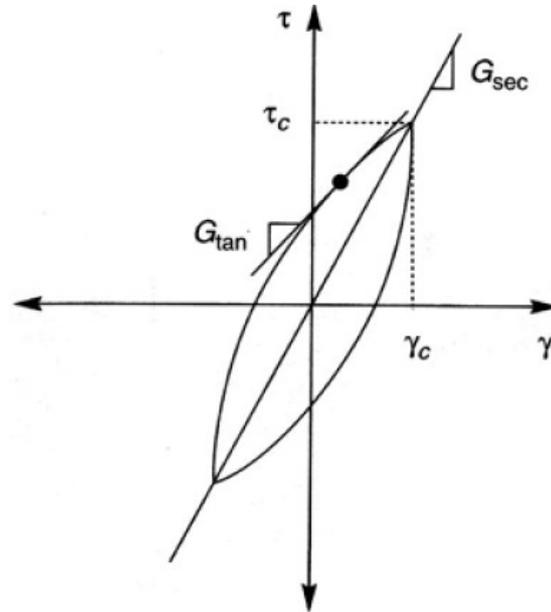


Figura 5. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE G_{SEC} Y G_{TAN} . Fuente: Propuesto por KRAMER

(1996)

El valor de $G_{m\acute{a}x}$ es el valor de G_s obtenido para una deformación cíclica nula, siendo por tanto, el valor del módulo de corte secante es alto para amplitudes de deformación bajas, pero que disminuye a la vez que la amplitud de deformación crece. Para valores superiores a 10-2 % de deformación cíclica la relación entre módulos, $G_s/G_{m\acute{a}x}$, cae a valores inferiores a 1.

En un modelo “lineal equivalente” la caracterización de la rigidez de un elemento de suelo requiere, por tanto, considerar $G_{m\acute{a}x}$ y la forma en que $G_s/G_{m\acute{a}x}$ (módulo reducido) varía con la amplitud de deformación cíclica y otros parámetros. La variación del

Por otro lado, debido a que en la mayoría de los ensayos sísmico-geofísicos se inducen deformaciones de corte pequeñas de aproximadamente $3 \cdot 10^{-4} \%$, se puede usar la velocidad de ondas de corte medida para valorar G_{\max} como:

$$G_{\max} = \rho v_s^2$$

El uso de las velocidades de onda de corte es en general la forma más fiable de evaluar “in situ” G_{\max} para un depósito de suelo particular, y para ello se usan principalmente los ensayos sísmico-geofísicos de Cross-Hole, Down-Hole y Up-Hole.

Es preciso expresar, que en los inicios de la ingeniería geotécnico-sísmica, los comportamientos del módulo reducido (G/G_{\max}) para suelos de grano grueso y grano fino se analiza por separado, dato corroborado por Seed e Idriss (1970). Sin embargo, estudios recientes han revelado una transición gradual entre el comportamiento del módulo reducido para suelo no plástico de grano grueso y el del suelo plástico de grano fino. Algunos investigadores (Zen et al., 1978; Kokusho et al. 1982; Dobry y Vucetic, 1987; y Sun et al. 1988), señalaron la influencia de la plasticidad de un suelo en la curva del módulo reducido (**Figura 6**), en que se muestra el umbral de deformación al corte cíclico lineal, es mayor para suelos altamente plásticos que para suelos poco plásticos, siendo importante en procesos como la amplificación o atenuación de los movimientos sísmicos

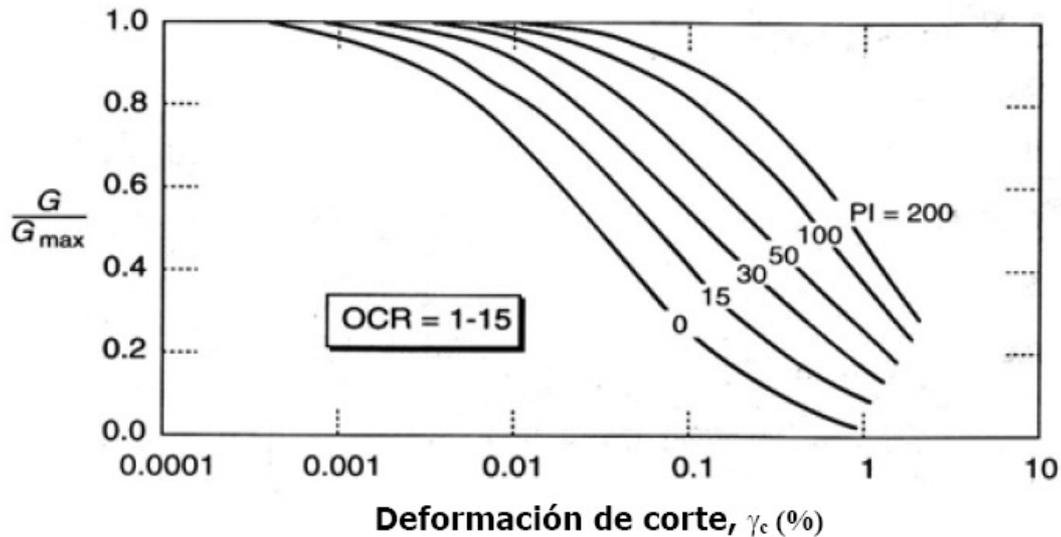


Figura 6. INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD EN LA CURVA DE REDUCCIÓN DEL MÓDULO.
Fuente: Propuesto por KRAMER (1996)

Según Franklin Moore en su estudio **Análisis del Comportamiento Dinámico de lo Suelos durante Sismos en el área de Managua (Nicaragua)**, este módulo de corte (G) está en función de la cantidad de los esfuerzos y deformaciones aplicados al suelo. Para la cuantificación del valor de G , se emplean métodos de campo y laboratorio, la mayoría de estos laboriosos y costosos. Tenemos los siguientes:

- a)- Procedimientos geofísicos
- b)- Ensayo triaxial cíclico
- c)- Ensayo de columna de resonancia

Pese a esto, actualmente, se han establecido relaciones experimentales de campo en función de valores del número de golpes (N) suministrado al terreno obtenido de procedimiento geotécnico conocido como Prueba de Penetración Estándar (SPT, siglas en inglés). **Moore (1990)**, opina que las relaciones citadas son importantes por accesibilidad de datos a partir de estudios geotécnicos realizados en desarrollos urbanos. Una de estas relaciones de variables es la de Osaki e Iwasaki propuesta en el año 1973 para cuantificar el valor inicial del inicial de G_0 . Dada por la expresión:

$$G_0 = 1200N^{0.8}$$

Donde:

G_0 : Módulo dinámico de un estrato para deformaciones pequeñas.

N: Número de golpes en el SPT.

Sin embargo, el autor de la presente investigación, tras una amplia tarea de compilación y análisis de datos geotécnicos ha logrado formular una ecuación matemática de G en función de los números de golpes para la Ciudad de Managua como se verá más adelante.

Parrales, 2001, expresa que el módulo de corte depende sobre todo de la magnitud de las deformaciones, cuyo cálculo se logra aplicando procedimientos de laboratorio y de campo. Estos últimos, parten del conocimiento de las velocidades de ondas sísmicas generadas a través del uso de explosivos y/o el impacto de cargas en el suelo. Algunas pruebas de campo, son el método Dowhole, el método de refracción sísmica y el SASW. Para el caso de la determinación del valor G por esta vía se emplea la ecuación siguiente:

$$G = \text{densidad de la masa} \times V_s^2$$

Densidad de la masa = Peso volumétrico/g (gravedad)

Destacó, que hay métodos indirectos para determinar el módulo cortante, por medio de relaciones experimentales entre G y el número de golpes por cada 30 cm de la prueba de penetración estándar (ASTM D-1586). Algunas relaciones matemáticas conocidas fueron propuestas por Ohsaki e Iwasaki (1973), Ohta y Goto (1976), Hardin y Black (1968)

En la actualidad, según **López, S. (2005)**, se ha desarrollado un nuevo modelo, componente importante, para suelos arenosos, que define un parámetro de medición del estado de degradación de la rigidez de los suelos desde el inicio de la aplicación de carga dinámica. **Expresó**, que este modelo constituye una herramienta útil para simular el comportamiento del terreno influenciado por geo-estructuras, y sometidos a

solicitaciones sísmicas. Afirmó, que este modelo fue aplicado y validado tomando como escenario geográfico piloto la Presa de San Fernando en California (USA), en donde acontecieron procesos de licuación del suelo en el año 1971, siendo este lugar afectado por sismo de considerable magnitud. Dicho modelo matemático se define como sigue:

$$\psi = \frac{G_0}{G_0 - G}$$

Donde:

G_0 y G son módulo tangencial elástico de cizalla inicial y actual, respectivamente. A continuación, el símbolo ψ parámetro de degradación física del suelo toma valores que oscilan entre el infinito (cuando comienza la carga) a 1 (cuando G es cero). Es decir, Al comienzo de la carga, tiende a infinito, mientras que para los suelos de alta la degradación, tiende a 1

5.1.2.- Velocidad de Corte

Parrales (2001), explica que uno de varios parámetros dinámicos influyente en la conducta del suelo lo constituye la velocidad de corte, medio a través del cual se lograr obtener el valor G de los materiales del subsuelo. Uno de los modelos matemáticos más usados para el cálculo de la velocidad de corte fue propuesto por Imai y Fumoto en el año 1975, teniendo como expresión numérica la siguiente:

$$V_s = 89.8N^{0.341}$$

En la confección del mapa de iso-velocidades de ondas de corte de los suelos de la ciudad de Managua se consideran los valores del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}) del suelo contenido en la investigación “Análisis de Espectros de Respuesta en el Área de la Ciudad de Managua”, de **Rainer Parrales (2001)**

No obstante, se ha formulado una relación numérica de la velocidad de corte en función del número de golpes a partir del análisis minucioso de datos geotécnicos en el área de la ciudad de Managua, expresó Tupak Obando, autor de la presente investigación.

Según **Henríquez (2007)**, el uso de velocidad de propagación de las ondas de corte, como un índice de la resistencia a la licuación, se justifica con el hecho de que la misma y la resistencia a la licuación, están influenciados por la densidad, confinamiento, historia de tensiones y edad geológica existente en el terreno. El uso de la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) presenta las siguientes ventajas:

- 1) La velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) puede ser medida con precisión mediante varios ensayos in situ y otros métodos sísmicos y geofísicos.
- 2) Su medición es posible en suelo donde resulta difícil la toma de muestras, como las gravas, y en sitios donde los sondeos no son permitidos.
- 3) Se pueden realizar mediciones en pequeños especímenes en laboratorio, permitiendo la comparación directa entre el comportamiento en laboratorio y el comportamiento en el campo.
- 4) Están directamente relacionada con pequeñas deformaciones como el módulo de corte máximo G_{max} , el cual es un parámetro necesario para la evaluación analítica de las deformaciones tangenciales dinámicas.

No obstante, Henríquez (2007), señala dos principales limitantes del uso de las velocidades de ondas de corte para la evaluación de la resistencia a la licuación. Estas son las siguientes:

- 1) La carencia de una muestra para la identificar los finos que no son susceptibles a sufrir licuación.
- 2) Las mediciones son sensitivas a la frágil cementación inter-granular, la cual puede ser producida por envejecimiento u otro proceso de cementación, siendo eliminados en largas deformaciones. Por ello, deben ejecutarse sondeos y ensayos de penetración para identificar los suelos frágilmente cementados y los arcillosos (no susceptible a sufrir licuación).

Según Cees Van Westen et. al., en su estudio **Aplicación de SIG para la evaluación de la amenaza sísmica y el riesgo asociado: Kathmandu, Nepal**, reconocen que la Velocidad de Onda Cortante es un parámetro del suelo muy importante en ingeniería sísmica. Intuitivamente, uno puede entender que un cuerpo muy fuerte o un suelo rígido (o un suelo con una velocidad de onda cortante alta) se comporta de manera diferente bajo la vibración causada por un terremoto. La velocidad de onda es dependiente del modulo de esfuerzo cortante máximo. El modulo cortante puede ser determinado en condiciones de laboratorio. Varias relaciones teóricas y empíricas existen para relacionar velocidad de onda de corte con el modulo cortante.

$$G_{\max} = \gamma \cdot V_s^2$$

Donde:

γ = Densidad de masa (kg/m^3)

V_s = Velocidad onda cortante (m/s)

SÍNTESIS

Se presenta en este documento breve sinopsis de los detalles relevantes e importantes planteados en esta parte:

- El conocimiento geotécnico del subsuelo hasta la fecha aceptado procede de poco más o menos 2,000 ensayos de campo con la Prueba de Penetración Estándar (SPT, siglas en inglés), de donde resultan insumos para el análisis de las propiedades y comportamiento dinámico y mecánicos en Managua.
- Los ensayos en el terreno proporcionan información completa y confiable relativa al número de golpes suministrado al suelo (este parámetro de resistencia oscila entre 10 a 50), velocidad de Onda de Corte (para nuestro caso, las velocidades varían entre 180m/s hasta 750m/s), Modulo cortante y Clasificación del tipo de material (variando entre afloramiento rocoso duro y compacto hasta suelo muy blando). La clasificación del material se realiza cumpliendo con la normativa construcción vigente en el país.
- En algunos casos los parámetros dinámicos del subsuelo antes referido son obtenidos a través de modelos matemáticos propuestos, o bien, pudiese conseguirse a través de experimentaciones en laboratorio geotécnico.

Palabras claves: Sondeos geotécnicos, ensayo de penetración estándar (SPT), velocidad de corte, módulo cortante, compacidad relativa, consistencia de suelos, índice de plasticidad, estado de degradación de la rigidez de los suelos.

Bibliografía

Obando, T. (2,009). Modelación geomecánica y temporal de la licuefacción en suelos de minas no metálicas. Estudio Caso: Ciudad de Managua (Nicaragua). Tesis Doctoral. Editorial Universidad Internacional de Andalucía UNÍA (Huelva, España). Huelva. 900pág.