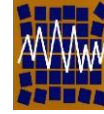




Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

No. A07-03 COMPORTAMIENTO DINAMICO DE SUELOS BLANDOS DE BOGOTA.

J. A. Rodríguez¹

*1.- Departamento de Ingeniería Civil Pontificia Universidad Javeriana.
Carrera 7 No. 40-60, Bogotá, Colombia
e-mail: rodriguezja@javeriana.edu.co*

RESUMEN

La sabana de Bogotá corresponde a una gran cuenca sedimentaria de origen fluvial y lacustre que fue llenada por depósitos de suelos a lo largo del último millón de años. Los depósitos presentan una transición desde los bordes donde se encuentran suelos aluviales y coluviales predominantemente granulares formando abanicos y conos, hacia la parte central del antiguo lago donde predominan arcillas y limos arcillosos muy blandos. El espesor máximo de los depósitos alcanza cerca de 500 m. En el artículo se presenta una síntesis de resultados de ensayos triaxiales cíclicos de laboratorio sobre los suelos blandos de la Sabana de Bogotá, utilizando el triaxial dinámico GDS de la Universidad Javeriana. Estos ensayos se respaldan por mediciones de velocidad de onda de corte mediante ensayos de down hole en el terreno a partir de estudios de cuatro sitios típicos. Se presentan las curvas de comportamiento dinámico de estos suelos y se discuten las limitaciones de su determinación mediante los ensayos de laboratorio utilizados.

Palabras Clave: triaxial dinámico, down hole, suelos blandos, Bogotá, microzonificación.

1. INTRODUCCIÓN

Los análisis de respuesta dinámica de los suelos ante carga sísmica requieren el conocimiento de las propiedades dinámicas de los suelos en términos del módulo de rigidez y de la relación de amortiguamiento, para un rango de deformaciones que incluya el comportamiento lineal (bajas deformaciones) y el comportamiento de degradación no-lineal (deformaciones mayores a 10^{-4}

aproximadamente). Los ensayos triaxiales cíclicos permiten conocer las propiedades dinámicas en el rango no lineal de deformaciones. Las curvas dinámicas del modulo de rigidez normalizadas por el modulo G_0 (a bajas deformaciones) y las de la relación de amortiguamiento D , dentro del rango de deformaciones que incluye el comportamiento lineal y no-lineal, pueden construirse a partir de los datos obtenidos de ensayos de laboratorio como bender elements, columna resonante y triaxial cíclico, o a partir de los datos obtenidos de ensayos geofísicos. No obstante, las curvas obtenidas de esa manera tienen incertidumbre por el número limitado de ensayos de laboratorio que se pueden hacer y la calidad de los resultados de los mismos que son muy sensibles al estado de las muestras y al tipo y procedimiento del ensayo.

En el presente artículo se presentan datos de ensayos triaxiales cíclicos y de mediciones de velocidad de onda de corte utilizados para los análisis de respuesta dinámica de varios sitios de la Sabana de Bogotá. Se discuten además los parámetros geotécnicos de los cuales se ha podido comprobar dependen las curvas dinámicas de los suelos de la Sabana, y la evolución de los procedimientos de ensayo a fin de disminuir el grado de incertidumbre de las curvas. Los sitios de estudio están ubicados en la ciudad de Bogotá como sigue, sitio 1 en la Calle 13 con Carrera 30, sitio 2 en la Calle 26 con Carrera 30, sitio 3 en la Calle 55 con Avenida Caracas, y sitio 4 en la Calle 59 con Carrera 74. En la Figura 1.1 se muestra el mapa de división de la ciudad de Bogotá en 5 zonas de comportamiento sísmico diferente, obtenido del estudio de microzonificación sísmica, también se muestra la ubicación de los sitios de estudio.

Las zonas de la microzonificación de Bogotá mostradas en la Figura 1.1 presentan las siguientes características: La zona 1 se encuentra ubicada en los cerros orientales, la zona 2 esta formada por áreas de piedemonte, las zonas 3 y 4 están constituidas por suelos arcillosos blandos de origen lacustre, donde los mayores espesores se alcanzan en la zona 4, y por ultimo la zona 5 esta constituida por suelos de origen predominantemente aluvial y lacustre.

2. CASOS DE ANALISIS

El sitio de la calle 13 con carrera 30 se encuentra ubicado en los límites de las zonas 2, 3 y 5, el sitio de la calle 26 con carrera 30 esta ubicado sobre el límite de las zonas 2 y 3 a 1700 m del sitio de la calle 13 en dirección N, el sitio de la calle 55 con Avenida Caracas también se encuentra en el límite de las zonas 2 y 3, pero a unos 7 Km de distancia del sitio de la calle 13 en dirección N-E, y el último sitio de análisis se encuentra ubicado en la zona 4 a unos 16 Km de distancia del sitio de la calle 13 en dirección N-O. Los suelos de los sitios de análisis presentan una transición de suelos rígidos en el sitio de la calle 13 con carrera 30 hasta suelos muy blandos en el sitio de la calle 59 con carrera 74, en la Figura 2.1 se muestran los perfiles de velocidad de onda de corte (S) de los sitios de estudio obtenidos a partir de ensayos de down hole con medición de V_s y V_p , donde se aprecia la disminución de la rigidez y el aumento de los espesores de suelos en dirección S-N y E-O, lo que indica que en todo el centro del antiguo lago que ocupaba la Sabana de Bogotá se tienen los suelos más blandos de toda el área y los mayores espesores, mientras en los bordes de la cuenca se tienen los suelos más rígidos.

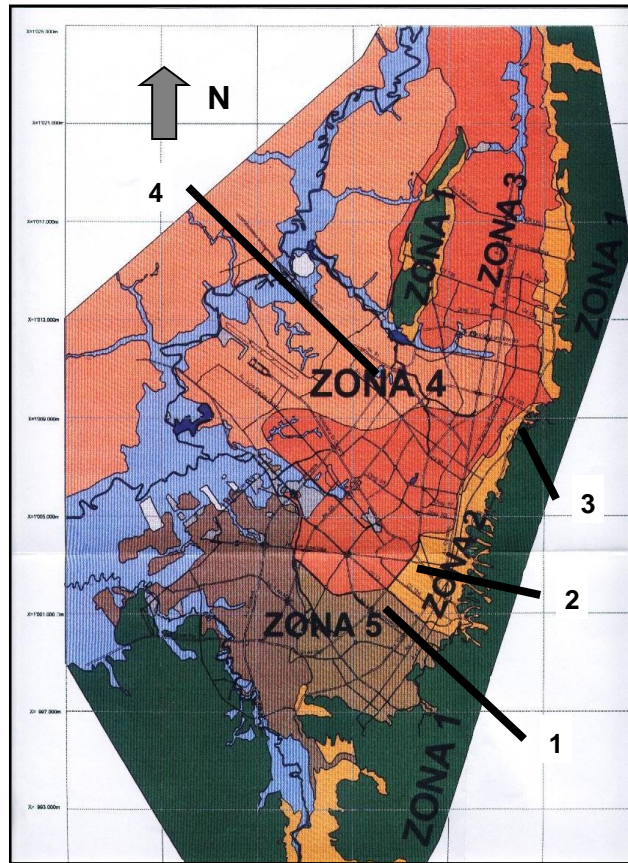


Figura 1.1 – Zonas de la microzonificación sísmica de Bogotá

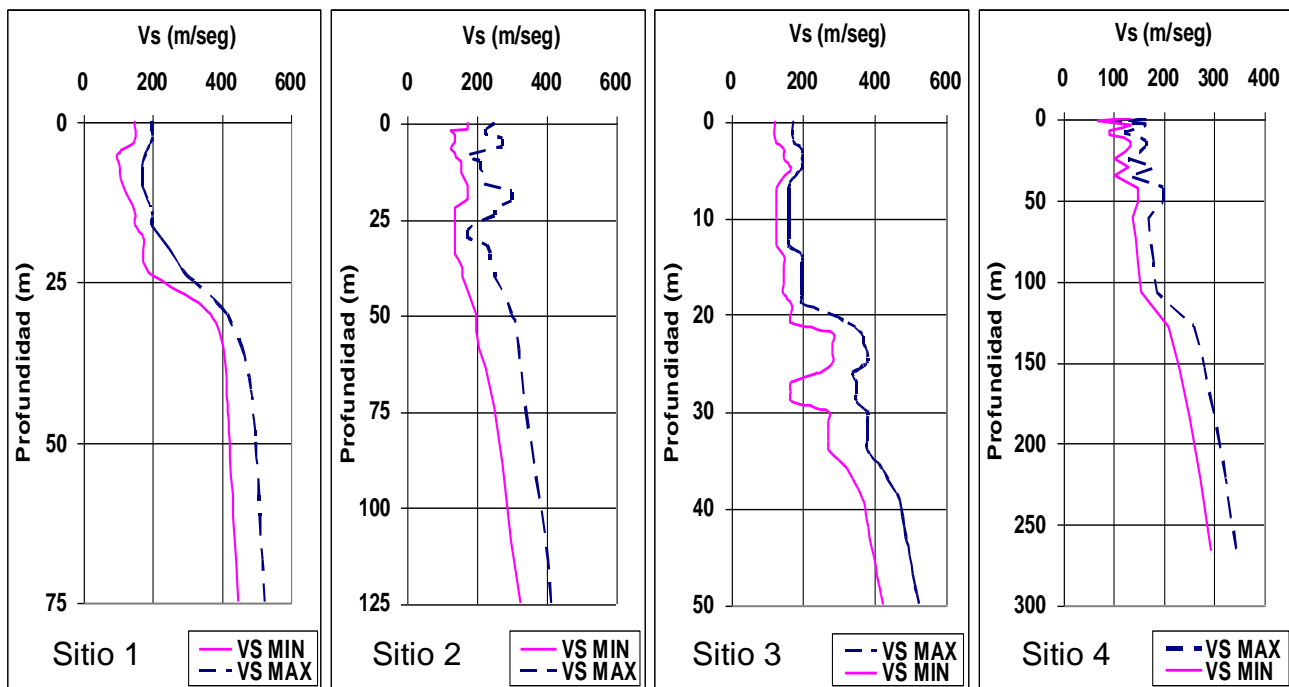


Figura 2.1 – Perfiles de Velocidad de Onda de corte (S) en los Sitios de Análisis

2.1. Sitio 1, Calle 13 con Carrera 30

En este sitio el depósito de suelos es de aproximadamente 75 m de profundidad, en el perfil de suelos se encuentran básicamente limos y arcillas con intercalaciones de materiales granulares, la estratigrafía es heterogénea.

En este sitio se ejecutaron tres ensayos triaxiales cíclicos de deformación controlada de acuerdo con la norma ASTM D3999-91. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Javeriana utilizando un equipo GDS de 2HZ. Los ensayos triaxiales se realizaron sobre muestras inalteradas obtenidas mediante tubos de pared delgada (shelby) de tres pulgadas de diámetro a profundidades de 8, 12 y 19 m. Los ensayos se hicieron con 12 ciclos de carga controlados de manera totalmente automática por el equipo GDS, para cada nivel de deformación. En cada ciclo de carga se obtuvieron los valores del módulo de elasticidad y de relación de amortiguamiento, los cuales se presentan en las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4. Para los ensayos se definieron las presiones de consolidación de acuerdo con los esfuerzos efectivos promedio de confinamiento al nivel de las muestras teniendo en cuenta el peso unitario de los suelos en el perfil y la posición del nivel freático.

A partir de los valores del módulo de elasticidad se obtuvieron los valores del modulo de rigidez utilizando una relación de poisson de 0.3 que normalmente se obtiene de mediciones de down hole de ondas de corte (S) y de ondas de compresión (P) en los suelos de la Sabana. En las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4, también se muestran las curvas de E normalizado con respecto a valores de E_0 calculados con base en las ecuaciones dadas por Ishibashi y Zhang (1993) y aquellas dadas por las tendencias observadas de los datos. Cabe notar que las expresiones de Ishibashi y Zhang (1993) para calcular las curvas dinámicas se basan en las observaciones de Dobry y Vucetic (1987), Seed y Idriss (1970), Iwasaki et al., (1978) y Kokoshu (1980).

Con base en los resultados de Seed e Idriss (1970) y de datos de estudios realizados por el autor, relacionados en las referencias, se ha observado una tendencia general para los suelos de la ciudad en función del confinamiento y el índice de plasticidad del suelo. Lo cual permite tomar un rango de las curvas que representan el comportamiento de cada depósito analizado. Sin embargo de todas maneras existe incertidumbre con respecto a esto, razón por la cual se deben considerar rangos de variación razonables con base en los resultados de los ensayos de laboratorio disponibles para cada depósito. Este rango tiene en cuenta efectos tales como la posible variación de las curvas debidas al diferente estado de esfuerzos de consolidación con respecto a las condiciones reales en el terreno que son una condición Ko mientras que la condición del ensayo es de consolidación isotrópica, y otros efectos que no se han podido cuantificar, tales como la tasa de carga, el número de ciclos, y la afectación de las condiciones de la muestra debido a los cambios de esfuerzos y deformaciones inducidas por el muestreo, aún si las muestras no sufren absolutamente ningún maltrato durante ese proceso lo cual es altamente improbable.

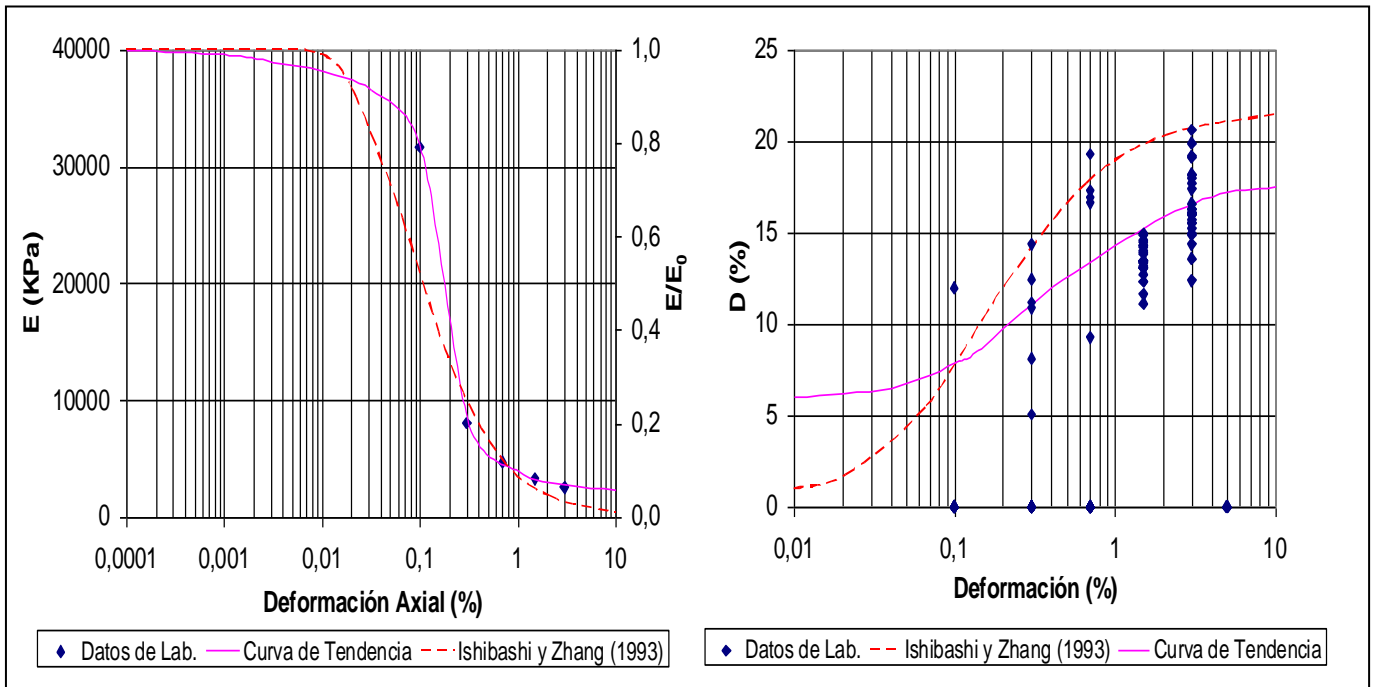


Figura 2.2 – Valores del modulo E, del modulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 1 muestra 1, profundidad 8m, CH)

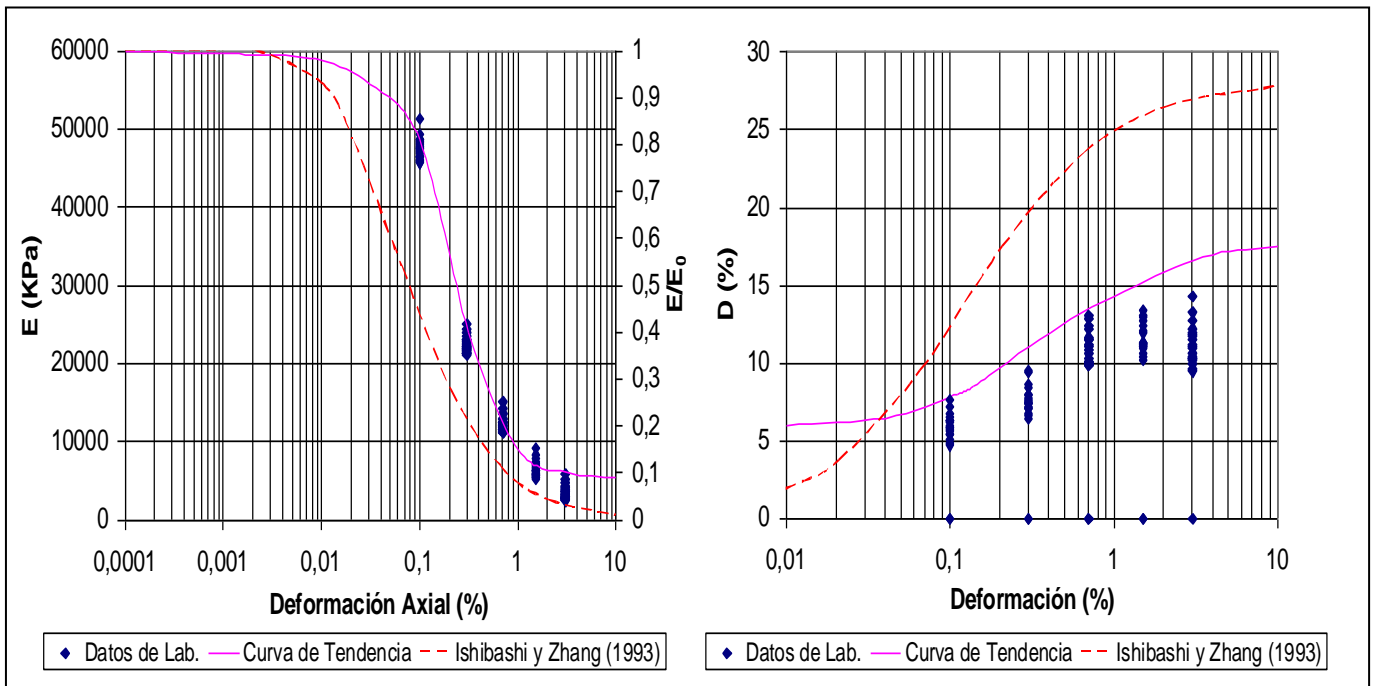


Figura 2.3 – Valores del modulo E, del modulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 1 muestra 2, profundidad 12m, CL)

Se puede observar de las figuras que existe un rango de variación de los datos de cada muestra al mismo nivel de deformación, debido a las causas anteriormente citadas y al hecho de que en ciclos sucesivos de carga la rigidez del material se va degradando. Se observa que este rango de variación es más amplio en los datos de relación de amortiguamiento.

Se observa en la figura 2.4 que los datos de amortiguamiento no siguen una tendencia definida, por lo tanto en este caso los datos de laboratorio no permiten definir la curva de la relación de amortiguamiento con la deformación. Esta situación básicamente se puede deber a algún problema con la calidad de las muestras o a condiciones deficientes del ensayo. Un aspecto que parece influenciar este tipo de comportamiento es el tiempo que la muestra ha permanecido en el laboratorio antes del ensayo.

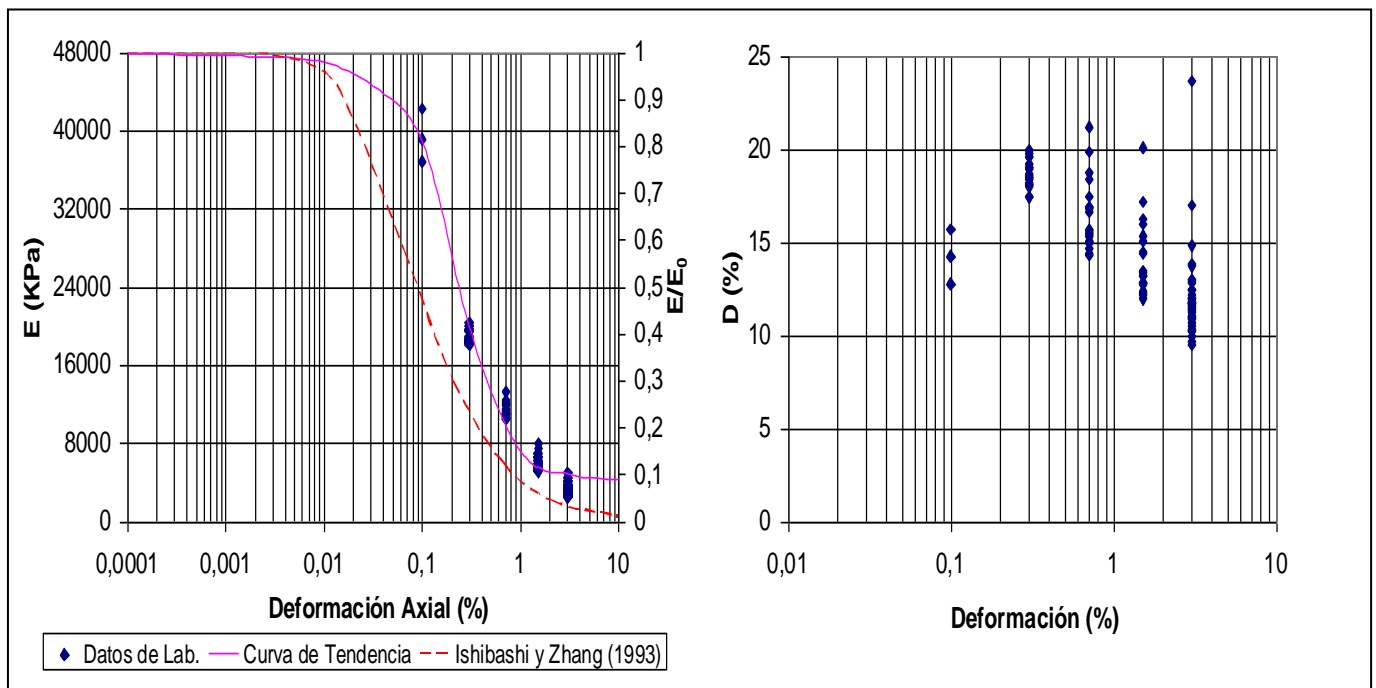


Figura 2.4 – Valores del modulo E, del modulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 1 muestra 3, profundidad 19m, CL)

2.2. Sitio 2, Calle 26 con Carrera 30

En este sitio el depósito de suelos es de aproximadamente 125 m de profundidad, en el perfil de suelos se encuentran predominantemente arcillas con algunas intercalaciones de arenas en los primeros 50 m y arenas arcillosas en la parte inferior del depósito. Para los análisis de respuesta dinámica de la zona también se realizaron ensayos triaxiales cíclicos de deformación controlada siguiendo los mismos procedimientos descritos de manera breve para el sitio de la calle 13 con carrera 30. Los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales cíclicos y las curvas del modulo E normalizado con respecto a E₀ y de

relación de amortiguamiento con la deformación para las diferentes muestras, se presentan en las Figuras 2.5, 2.6 y 2.7.

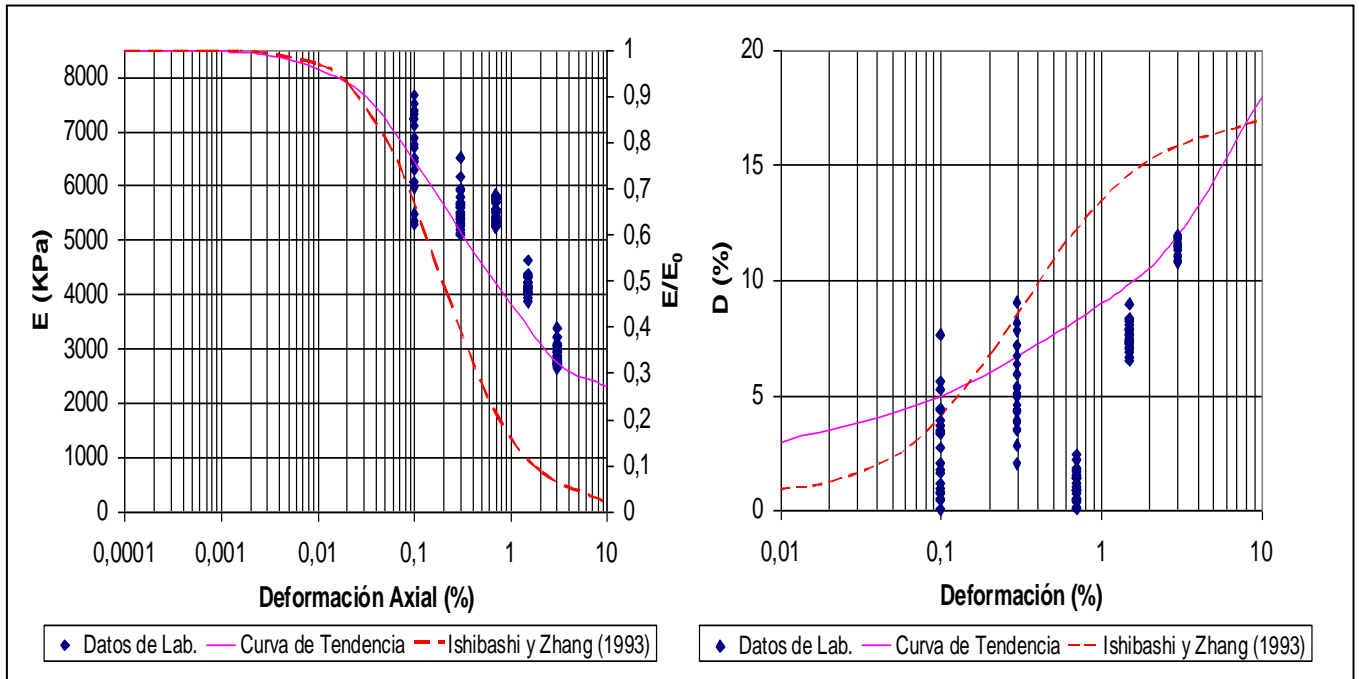


Figura 2.5 – Valores del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 2 muestra 1, profundidad 9m, MH)

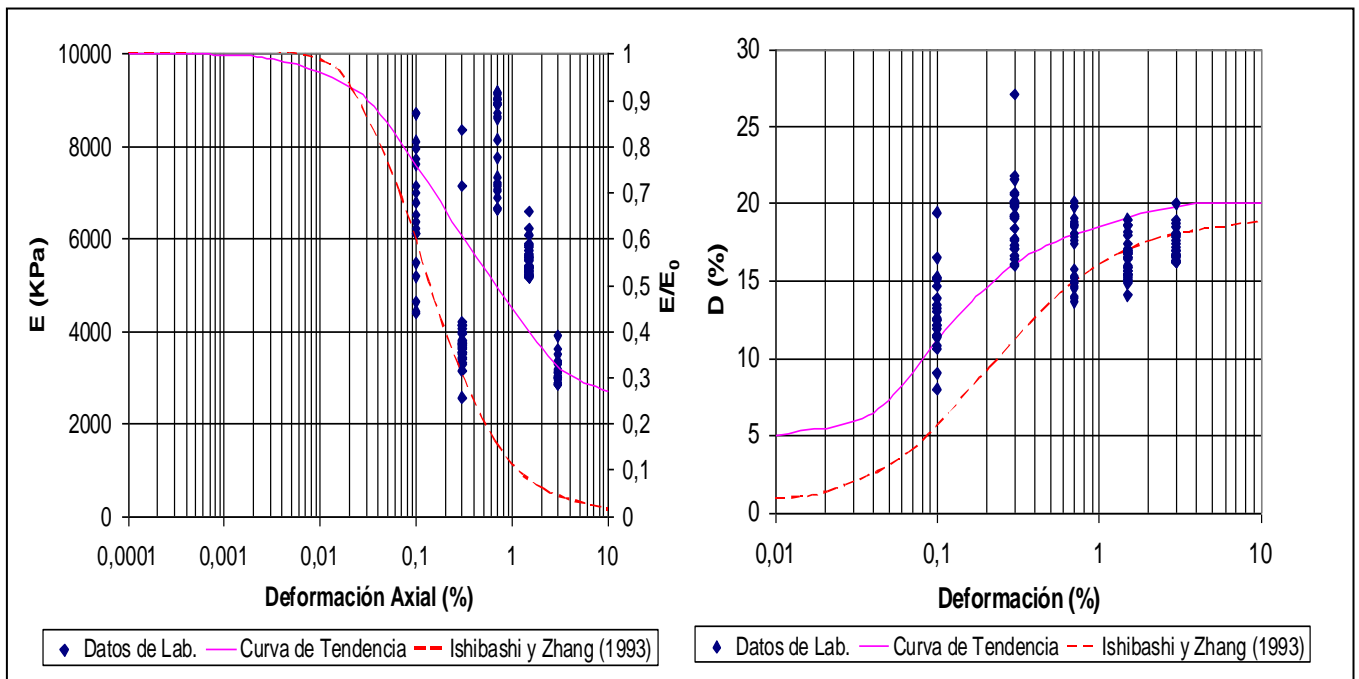


Figura 2.6 – Valores del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 2 muestra 2, profundidad 24m, MH)

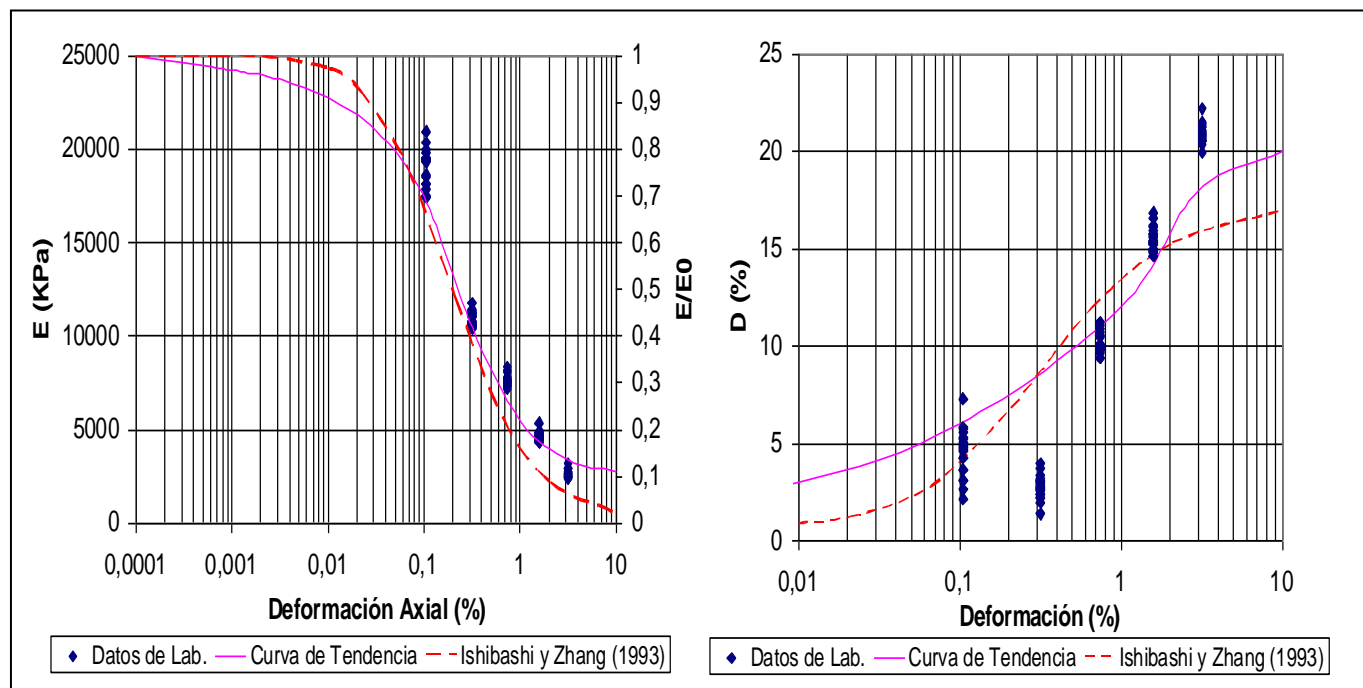


Figura 2.7 – Valores del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 2 muestra 3, profundidad 50m, CH)

Las muestras inalteradas fueron obtenidas a 9, 24 y 50 m de profundidad. Se puede observar de las figuras que existe al igual que en los ensayos de la calle 13 con carrera 30 un rango amplio de variación de los datos de cada muestra al mismo nivel de deformación, debido a las causas anteriormente citadas, fenómeno que es mas pronunciado en los datos de relación de amortiguación. Es frecuente observar que las muestras tienen una tendencia de comportamiento inicialmente a bajas deformaciones la cual posteriormente cambia a mayores deformaciones.

2.3. Sitio 3, Calle 55 con Avenida Caracas

En este sitio el depósito de suelos es de aproximadamente 50 m de profundidad, en el perfil de suelos se encuentran predominantemente arcillas y limos en los primeros 20 m y arenas y gravas desde los 20 m de profundidad hasta la base del depósito. En este sitio se hicieron ensayos triaxiales cíclicos de esfuerzo controlado con el equipo GDS de la Universidad Javeriana, a razón de que se ha podido determinar que los ensayos a esfuerzo controlado permiten una mejor definición del comportamiento del suelo y control del ensayo. Para cada nivel de esfuerzos se hicieron diez ciclos y para cada ciclo se calculó el módulo de elasticidad equivalente del ciclo y la relación de amortiguamiento. Debido a que en cada ciclo la deformación, y por lo tanto el módulo y el amortiguamiento cambian ligeramente por la respuesta del suelo, esta forma de ensayo permite identificar la curva dinámica de manera más completa que en los

ensayos de deformación controlada. Por otra parte se logran datos para niveles de deformación a partir de 10^{-5} por lo que se pudieron definir mejor las curvas dinámicas completas a partir de estos ensayos.

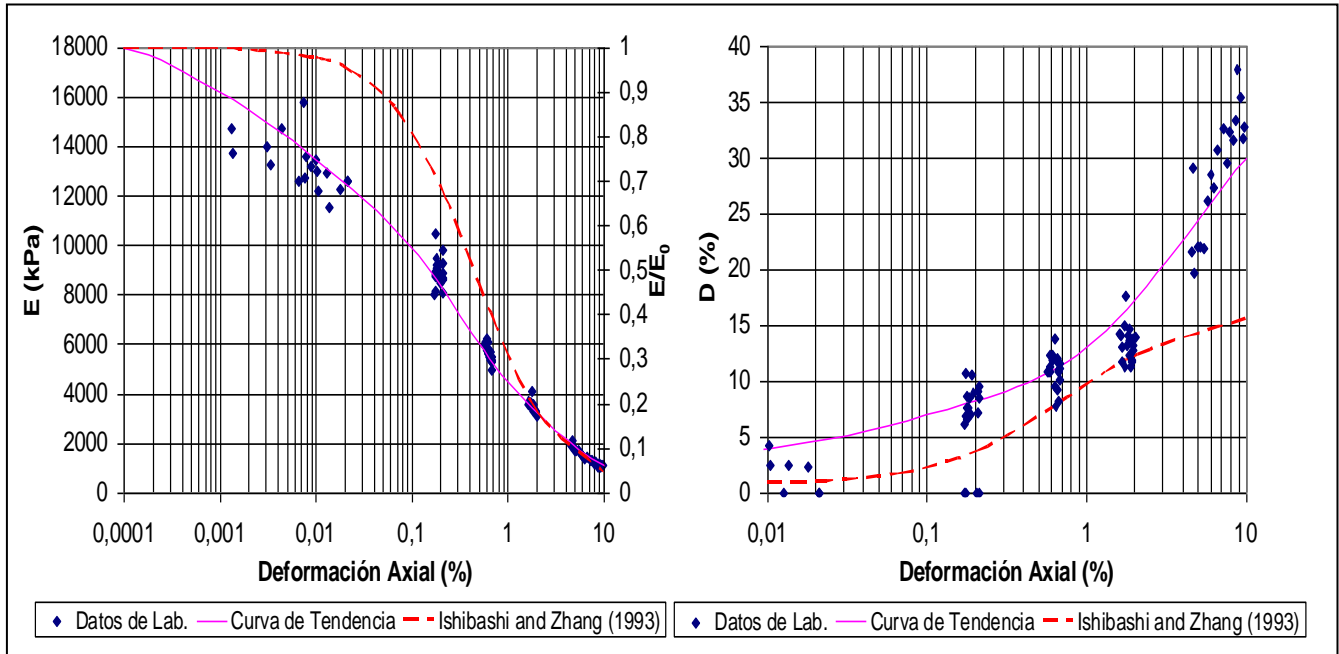


Figura 2.8 – Datos del Módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 3 muestra 1, profundidad 10m, CH)

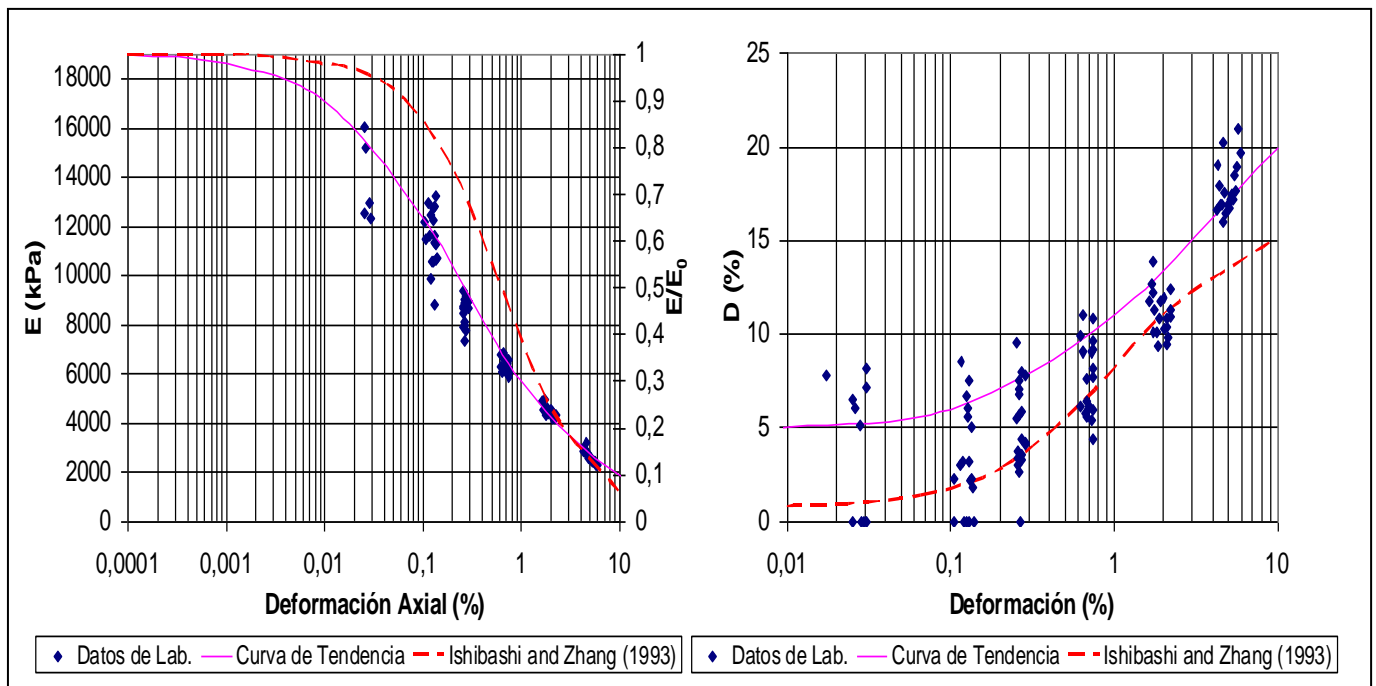


Figura 2.9 – Datos del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 2 muestra 2, profundidad 20m, MH)

Las curvas de variación del módulo de corte con la deformación son iguales a las del módulo de elasticidad si se considera que la relación de poisson, o la relación entre el módulo de corte y el de compresibilidad volumétrica son constantes para la muestra durante la prueba, lo cual se considera que es una suposición razonable.

De los resultados obtenidos por medio de los ensayos de esfuerzo controlado mostrados en las Figuras 2.8 y 2.9, se puede ver que los rangos de variación de los datos correspondientes con el mismo nivel de deformación es menor para este tipo de ensayos en comparación con los ensayos de deformación controlada realizados en los sitios anteriores por las razones mencionadas, permitiendo así reducir la incertidumbre relacionada con la determinación de las curvas dinámicas.

2.4. Sitio 4, Calle 59 con Carrera 74

En este sitio como ya se mencionó se encuentran suelos blandos de origen lacustre, principalmente arcillas y limos, con arenas que se encuentran a una profundidad entre 110 y 130 m. En este sitio se hicieron ensayos triaxiales cíclicos de deformación controlada a muestras inalteradas, siguiendo los mismos procedimientos empleados para el sitio de la Calle 13 con Carrera 30.

En las Figuras 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales cíclicos y las curvas del modulo E normalizado con respecto a E_0 y de relación de amortiguamiento con la deformación para las diferentes muestras.

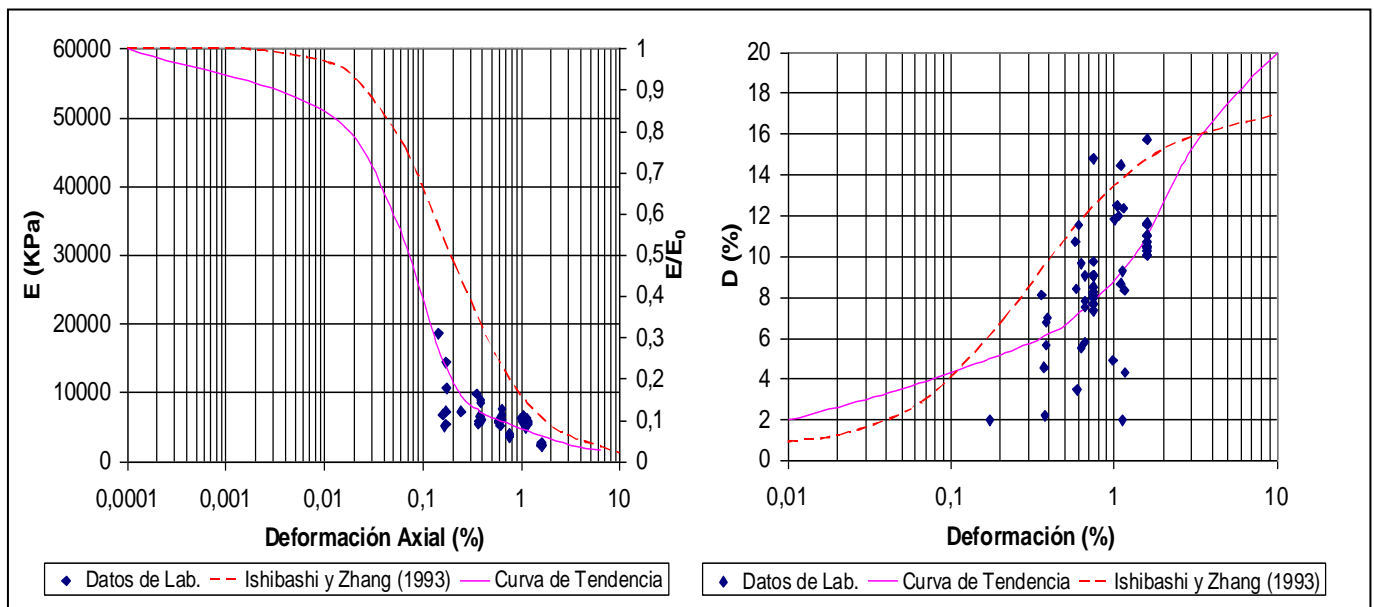


Figura 2.10 – Datos del modulo E, del modulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 4 muestra 1, profundidad 15m, CH)

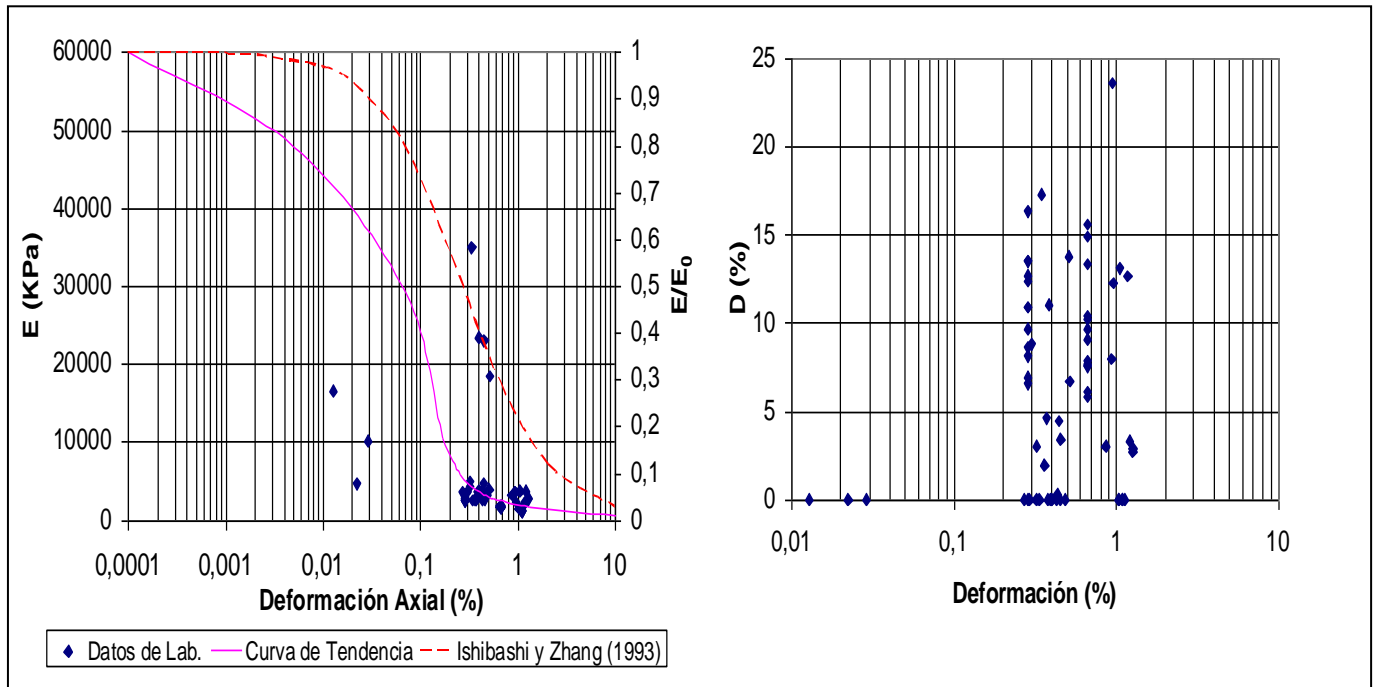


Figura 2.11 – Datos del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 4 muestra 2, profundidad 25m, CH)

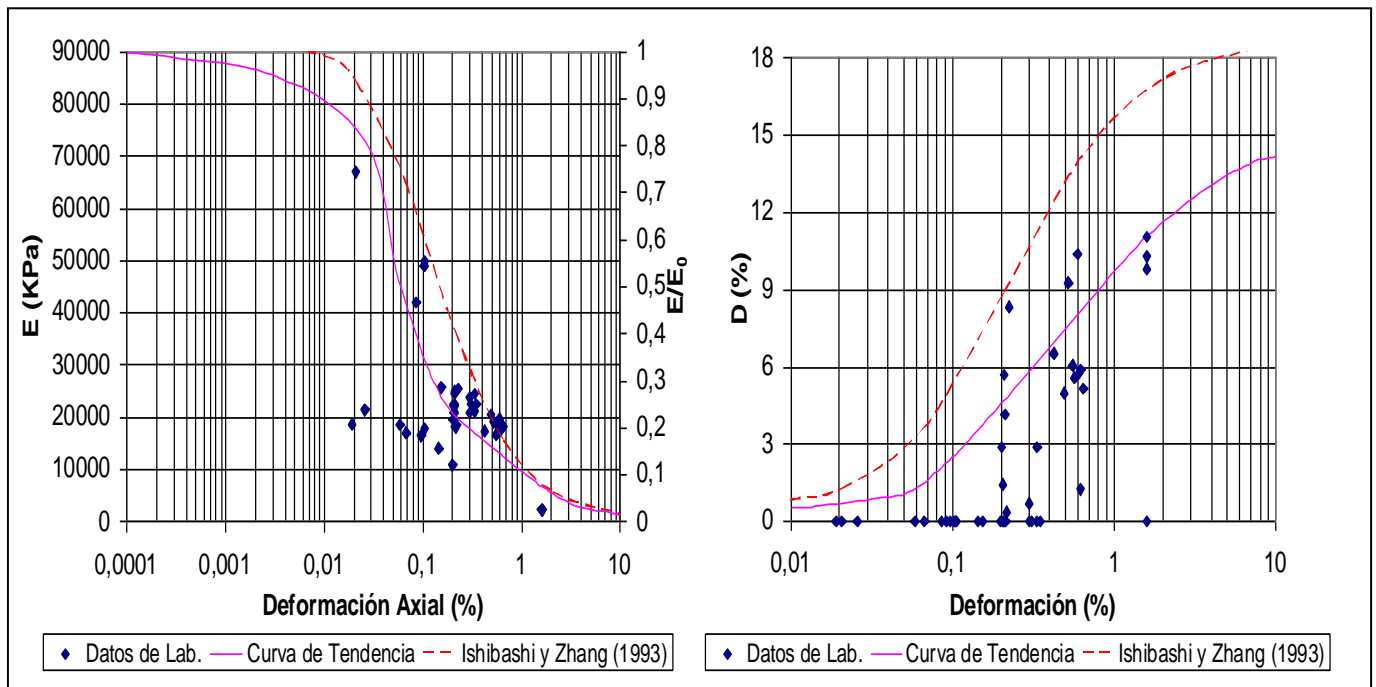


Figura 2.12 – Datos del módulo E, del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 4 muestra 3, profundidad 36m, MH)

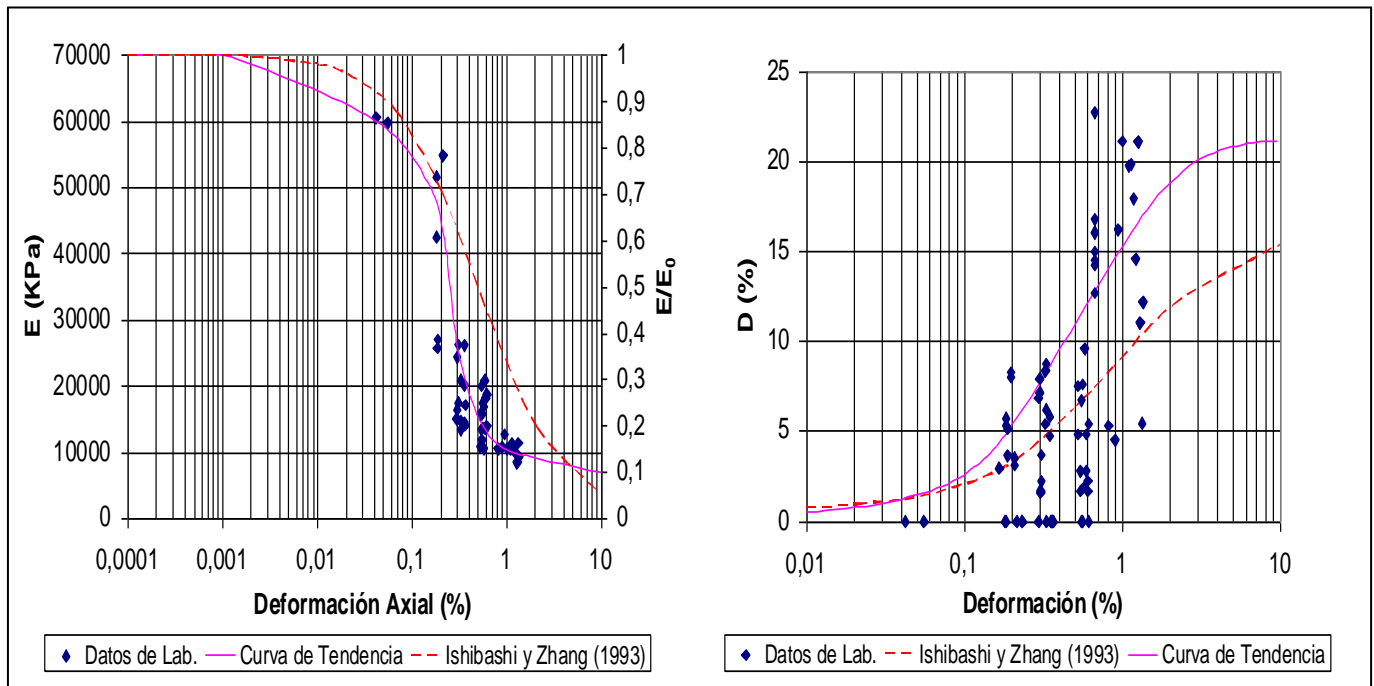


Figura 2.13 – Datos del módulo E , del módulo E normalizado y de relación de amortiguamiento con la deformación (Sitio 4 muestra 4, profundidad 51m, CH)

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Al observar las curvas dinámicas de todos los sitios se puede ver que, por lo general las tendencias encontradas en los suelos de la Sabana determinan que la degradación comienza antes que la degradación dada por las curvas de Ishibashi y Zhang (1993), que la relación de amortiguamiento tiende a dar valores mayores a los esperados, y que las curvas de amortiguamiento no tienden a un valor constante después deformaciones de 1% en la mayoría de los casos. Sin embargo en los suelos de alta rigidez que rodean la cuenca (sitio 1) se da una situación inversa en cuanto a los valores de amortiguamiento y las curvas de tendencia de degradación y las de Ishibashi y Zhang (1993) tienden a dar los valores muy parecidos y el inicio de la degradación se da a niveles de deformación similar.

El comportamiento de las curvas dinámicas determinadas con base en los ensayos triaxiales cíclicos, y ensayos de down hole muestran que las propiedades dinámicas de los suelos de la Sabana dependen de propiedades tales como: el esfuerzo de confinamiento y la plasticidad, debido a la similitud del comportamiento de las curvas de tendencia halladas con base en los datos de laboratorio con las curvas de Ishibashi y Zhang (1993) que consideran dichas propiedades. Sin embargo las condiciones de alta humedad y plasticidad de los suelos en la zona lacustre de la ciudad aun si están sometidos a altos esfuerzos de confinamiento hacen que no haya consistencia con las tendencias encontradas y las curvas de

la literatura aunque siga habiendo dependencia de las mismas propiedades. Esto obliga a la tarea de mejorar las técnicas de muestreo y los procedimientos de laboratorio para llegar a expresiones que definan de manera mas aproximada el comportamiento dinámico de los suelos lacustres de la Sabana de Bogotá.

En la Tabla 3.1 se muestran los datos básicos de las muestras empleadas en los ensayos triaxiales cíclicos realizados en los sitios de estudio. Como se puede observar en la Tabla el sitio 1 presenta los mayores valores de E_0 , peso unitario, y densidad relativa, las menores humedades naturales, propiedades índice y relaciones de vacíos; mientras el sitio 4 presenta una situación contraria donde los suelos presentan altos valores de relaciones de vacíos y humedades, lo cual es característico de suelos de origen lacustre. En la Tabla 3.1 se puede ver que existe una transición de suelos relativamente rígidos en los bordes de la cuenca de sedimentación a suelos muy blandos en la zona donde los depósitos de origen lacustre alcanzan su máximo espesor. También se observa la alta humedad de la muestra 4 del sitio 4 a 50 m de profundidad, lo que muestra que a profundidades importantes los suelos de esta zona siguen siendo muy blandos debido a la baja energía de depositación. Las altas humedades se presentan generalmente en los estratos del depósito con alto contenido de materia orgánica. Se debe anotar que estos estratos son usualmente de poco espesor y las muestras presentan muy baja rigidez en los ensayos de laboratorio. Los valores de rigidez obtenidos de los ensayos de down hole usualmente no son muy representativos pues es muy difícil en el ensayo de down hole evaluar con precisión capas de poco espesor de suelos que tienen una rigidez menor que los adyacentes hacia arriba y hacia abajo. Por esta razón las mayores diferencias entre los valores de E_0 calculados en el laboratorio y a partir de los datos de V_s ocurren en estas muestras. El comportamiento dinámico de estos suelos ha sido evaluado en detalle por Moreno y Rodríguez (2004).

Tabla 3.1 – Propiedades Básicas de las Muestras

# Sitio	# Muestra	Prof. (m)	Clasif. USC	LL (%)	LP (%)	ω_n (%)	γ (KN/m ³)	Gs	e	σ_c (KPa)	E_0 (KPa)	E_0 (Vs) (KPa)
1	1	7.9-8.6	CH	54.9	25.6	44.0	17.2	2.49	1.09	97	40000	94395
1	2	11.9-12.6	CL	31.8	19.8	24.1	19.8	2.61	0.64	117	60000	234091
1	3	18.5-19	CL	37.6	25.2	32.4	18.6	2.60	0.85	154	48000	219903
2	1	9.2-9.9	MH	303.5	242.8	224.9	12.2	2.40	5.39	83	8500	157197
2	2	24.1-24.8	MH	93	51.2	69.4	15.5	2.48	1.71	123	25000	221293
2	3	50.0-50.6	CH	92.3	31.7	50.8	16.5	2.47	1.26	147	24000	212602
3	1	10-10.5	CH	188.9	50.9	119.2	13.4	2.48	3.19	57	18000	123975
3	2	20-20.5	MH	289	98.6	143.3	12.1	2.18	3.49	99	19000	167608
4	1	15	CH	152.60	92	187	13	2.56	3.6	85	60000	95040
4	2	25	CH	152.60	67	110.7	15	2.56	2.2	128	60000	98093
4	3	36	MH	86.7	43	75.2	14.5	2.44	1.7	175	90000	153878
4	4	51	CH	206.10	52	110.7	15.7	2.34	2.1	240	70000	116166

En la tabla también se observa la diferencia que existe entre los valores de E_0 obtenidos de ensayos de laboratorio y aquellos obtenidos por medio de ensayos geofísicos de down hole. Esta situación ocurre normalmente y es debida a que la condición K_0 de esfuerzos in-situ de la muestra se cambia al ser extraída para realizar los ensayos de laboratorio. Estos cambios de esfuerzos y los efectos del muestreo y

preparación de las muestras producen deformaciones que en suelos blandos pueden ser importantes y siempre tienen un efecto sobre su estructura lo cual afecta su rigidez.

4. CONCLUSIONES

Se presentan resultados típicos de ensayos triaxiales cíclicos y de velocidad de onda de corte medida en el terreno mediante ensayos de down hole en la ciudad de Bogotá. Al examinar el comportamiento de los suelos en los sitios analizados se puede ver una transición de suelos en sentido S-N, y en sentido E-O, lo cual es respaldado por los datos de velocidad de onda S y de perforaciones. Se aprecia como van variando las propiedades de los materiales en función de la distancia con respecto a los bordes de la cuenca de sedimentación. Esto es debido a la variación en la energía de depositación que se ve reflejada en mayores relaciones de vacíos y menor rigidez. En el depósito se encuentran varios niveles característicos de suelos orgánicos lo cual está relacionado con variaciones climáticas durante el proceso de formación.

La experiencia en la realización de ensayos dinámicos en el laboratorio de suelos de la Universidad Javeriana muestra que los rangos de variación de los datos de módulo de elasticidad y de relación de amortiguamiento para valores iguales de deformación inducen una incertidumbre en la asignación de las curvas dinámicas del perfil de suelos de un sitio. La comparación con datos reportados en la literatura (Ishibashi y Zhang, 1993) muestra que las tendencias de comportamiento evaluadas en los suelos del perímetro de la cuenca de la Sabana, que son relativamente rígidos y de origen predominantemente aluvial o de abanicos de depositación en el lago de la Sabana son similares a los reportados en la literatura. Los suelos más blandos de origen lacustre, en los que se tienen limos y arcillas, con horizontes muy orgánicos y con aporte de cenizas volcánicas presentan diferencias con lo esperado a partir de ensayos realizados en otros suelos. Estos suelos blandos presentan una estructura y composición particulares, que pueden ser la razón de las diferencias. Estas diferencias también pueden estar relacionadas con el proceso de muestreo y ensayo. Los ensayos triaxiales cíclicos de esfuerzo controlado permiten disminuir este nivel de incertidumbre en cierto grado. Sin embargo es primordial disminuir aun mas los niveles de incertidumbre, minimizando los efectos del muestreo y buscando conservar los niveles de esfuerzo de la muestra a los que estaba sometida in-situ. En general siempre se nota una mayor dispersión de los datos de amortiguamiento, lo cual es consecuencia de que el área de cada ciclo de carga puede variar de manera importante y a la mayor sensibilidad de esta variable a las condiciones del ensayo.

REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (1997). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia.
- Britto, A.M., Gunn, M.J. (1987). Critical State Soil Mechanics Via Finite Elements.
- Brune, J. N., (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic S waves from earth. *Journal of Geophysics* **75**, 4997-5009.

- Dobry, R., Vucetic, M. (1987). Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits. Proceedings. *International symposium on geotechnical engineering of soft soils* **2**, 51 – 87.
- Ingeominas y Universidad de los Andes. (1997). Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá; publicaciones Ingeominas; Santa Fé de Bogota; Ministerio de Minas y Energía (MZSB,1997)
- Ishibashi, I., and Zhang, X. (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils and Foundations* **33:1**, 182-191.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., and Takagi, Y. (1978). Shear modulus of sands under torsional shear loading. *Soils and Foundations* **18:1**, 39-56.
- Kokushu, T. (1980). Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *Soils and Foundations* **20:2**, 45-60.
- Kramer, L., (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall.
- Moreno, C. A., Rodriguez E. (2004). Dynamic behaviour of Bogotá's subsoil peat and its effect in seismic wave propagation. *13th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Rodríguez, J. A. (2005a). Asesoría geotécnica y sismológica para el estudio de respuesta de amplificación local Puente de la Calle 13 con Carrera 30, Bogotá.
- Rodríguez, J. A. (2005b). Asesoría geotécnica y sismológica para el estudio de respuesta de amplificación local Puente de la Calle 26 con Carrera 30, Bogotá.
- Rodríguez, J. A. (2005c). Asesoría Geotécnica y Sismológica para la Evaluación de la Amenaza Sísmica Edificio Avenida Caracas con Calle 55, Bogotá.
- Rodríguez, J. A. (2004d). Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Calle 59A 74-35 Normandía, Bogotá.
- Rodríguez, E., y Puentes J. (2003). Respuesta dinámica de arcillas blandas e interacción sísmica suelo-estructura para cimientos profundos típicos de Bogotá.
- Seed, H., and Idriss, M. (1970). Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis. *Report No. EERC 70-10*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.