

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó una evaluación de la amenaza sísmica y respuesta dinámica del sitio donde se evalúan las condiciones de diseño del puente de la Avenida Boyacá con Avenida José Celestino Mutis, en la ciudad de Bogotá D.C. Se consideraron los eventos sísmicos que se han identificado como los más importantes para la amenaza sísmica de Bogotá. Para cada una de las fuentes identificadas se obtuvieron acelerogramas a nivel de roca de sismos reales de manera que se contara con una amplia gama de acelerogramas representativos de la amenaza. Se consideraron las siguientes fuentes:

- Sismos cercanos (de 15 a 20 Km.) de sismos con magnitudes en el rango entre 5.5 y 6.5 (6.0 en promedio)
- Sismos regionales de magnitud 7.0 a 7.5 a distancias de 60 km.
- Sismos lejanos de magnitud 8.0 originados en la zona de subducción a unos 400 Km.

Se utilizaron 14 de los 37 sismos establecidos por la DPAE como alternativos según el decreto 193 de 2006 a los utilizados en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Adicionalmente se utilizó el sismo de México empleado en la Microzonificación Sísmica de Bogota.

Las propiedades de los suelos se evaluaron a partir de los datos de investigación del subsuelo realizada por la firma Restrepo y Uribe, el ensayo geofísico realizado por la firma de Alejandro Ulloa, los ensayos de laboratorio realizados por la firma Laboratorio Ensayos Suelos Ltda., y los ensayos triaxiales cíclicos y de velocidad de onda (bender elements) realizados por la Universidad Javeriana. Se contó además con la información de otros estudios de este tipo realizados en Bogotá, en particular el Estudio de microzonificación Sísmica de Bogotá, los estudios de respuesta local para los siguientes proyectos: Caicu (Rodríguez, J. A, (Mayo de 2006)), Centro Comercial ABC (JEoprobe Ltda., Septiembre de 2006), Calle 26 con Avenida Boyacá (JEoprobe Ltda., Septiembre de 2006), entre otros. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los artículos de Rodríguez, E. (2002, 2003 y 2004),

Rodríguez, J. A. (2005 a, b), Rodríguez, J. A., Escallón, J. P. (2006 y 2007), Rodríguez, J. A., Ramírez, F., Escallón, J. P. (2007), entre otros.

La zona del proyecto se encuentra localizada en la franja de transición entre las zonas 3 y 4 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá. Con base en la información del estudio de suelos, se realizó la caracterización de los materiales en profundidad. En la caracterización de las propiedades dinámicas del depósito se consideró un rango representativo de variación de las curvas del módulo de corte y de relación de amortiguamiento con la deformación, obtenidas en laboratorio a partir de cinco ensayos triaxiales cíclicos de deformación controlada sobre muestras representativas extraídas en el sitio, concurrentemente se realizaron ensayos de velocidad de onda (bender elements) sobre las mismas muestras. La información fue complementada con datos de otros proyectos cercanos o representativos de las condiciones del sitio en estudio y relacionados en las referencias o datos reportados en la literatura.

En los análisis se consideró la variabilidad del módulo máximo de deformación por corte obtenido a partir de la velocidad de onda de corte obtenida de ensayos de down hole realizados en la zona, para lo cual se evaluó el rango de variación del perfil de velocidades complementando la información con la de estudios realizados cerca de la zona del proyecto, y con valores de V_s calculados a partir de los valores de IP, relación de vacíos y el esfuerzo de confinamiento (Rodríguez, J. A., y Escallón, J. P., (2006)), y a partir de los valores de SPT corregidos (N1)60 (FHWA-NJ-2001-032). Además se consultaron los datos de profundidad de los depósitos reportados en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá. Por lo tanto para determinar la respuesta dinámica en la zona en estudio, se analizaron 2 modelos constituidos por un depósito de 260 m de espesor, considerando un perfil mínimo y uno máximo de velocidad de onda de corte, incorporando de esta forma en los análisis de respuesta la naturaleza heterogénea de los suelos.

Adicionalmente se consideraron tres escenarios en función de la fuente sismogénica para los análisis de respuesta dinámica, los cuales son: amenaza sísmica de fuente cercana, intermedia y lejana. Para cada perfil de V_s se calcularon las envolventes para cada escenario de amenaza sísmica, las cuales corresponden al promedio de los resultados. Por último se promediaron los resultados de las envolventes de los perfiles de V_s para cada escenario de amenaza sísmica. Los valores de diseño se definieron iguales o mayores a los valores mínimos aceptados por el Decreto 193.

A partir de los resultados obtenidos de aceleraciones absolutas a nivel de la superficie del terreno se recomienda utilizar un espectro de aceleraciones absolutas que tome los valores del espectro de la zona 3 hasta 0.25 segundos, de 0.25 segundos hasta 0.3 segundos que ascienda desde 0.4375g hasta 0.6g, continúe con 0.6g hasta 0.6 segundos, que descienda hasta llegar a un valor de 0.4g en 0.8 segundos, que continúe con 0.4g hasta 2.25 segundos, que descienda hasta un valor de 0.245g en 2.6 segundos, y que de 2.6 segundos en adelante continúe con el promedio de los valores mínimos de las zonas 3 y 4 de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En la **Tabla 4.1** se presentan los valores de S_a (g) del espectro de diseño recomendado.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 4.1. Valores de Sa (g) de diseño.

T (seg)	Sa (g)	T (seg)	Sa (g)	T (seg)	Sa (g)	T (seg)	Sa (g)
0,00	0,25	1,05	0,40	2,65	0,24	3,75	0,17
0,01	0,26	1,10	0,40	2,70	0,24	3,80	0,17
0,05	0,29	1,15	0,40	2,75	0,23	3,85	0,17
0,10	0,33	1,20	0,40	2,80	0,23	3,90	0,16
0,15	0,36	1,30	0,40	2,85	0,22	3,95	0,16
0,20	0,40	1,40	0,40	2,90	0,22	4,00	0,16
0,25	0,44	1,50	0,40	2,95	0,22	4,05	0,16
0,30	0,60	1,60	0,40	3,00	0,21	4,10	0,16
0,35	0,60	1,70	0,40	3,05	0,21	4,15	0,15
0,40	0,60	1,80	0,40	3,10	0,21	4,20	0,15
0,45	0,60	1,90	0,40	3,15	0,20	4,25	0,15
0,50	0,60	2,00	0,40	3,20	0,20	4,30	0,15
0,55	0,60	2,10	0,40	3,25	0,20	4,35	0,15
0,60	0,60	2,20	0,40	3,30	0,19	4,40	0,15
0,65	0,55	2,25	0,40	3,35	0,19	4,45	0,14
0,70	0,50	2,30	0,38	3,40	0,19	4,50	0,14
0,75	0,45	2,35	0,36	3,45	0,18	4,55	0,14
0,80	0,40	2,40	0,33	3,50	0,18	4,60	0,14
0,85	0,40	2,45	0,31	3,55	0,18	4,65	0,14
0,90	0,40	2,50	0,29	3,60	0,18	4,70	0,14
0,95	0,40	2,55	0,27	3,65	0,17	4,75	0,13
1,00	0,40	2,60	0,25	3,70	0,17	4,80	0,13

Bogotá D.C, Marzo 28 de 2006.

Jorge A. Rodriguez O.

Jorge Alberto Rodriguez O. IC, MSCE, PhD

Mat. 25202-26120 CND

5. BIBLIOGRAFIA

- Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica del proyecto Caicu (Calle 43A con Carrera 68a Bis). (Rodríguez J. A., Mayo, 2006).
- Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica del Centro Comercial ABC Salitre (Diagonal 22 B No. 63 - 30). (Rodríguez J. A., Mayo, 2006).
- Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica de la Troncal de Transmilenio Calle 26 con Avenida Boyacá. (JEoprobe Ltda., Septiembre, 2006).
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), (1997), Estudio general de amenaza sísmica de Colombia.
- Bardet, J. P., (2000) Programa EERA, Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis.
- Decreto 193 de Junio de 2006, de la Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Dobry R. Vucetic M., (1987), Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits, Proceedings, International symposium on geotechnical engineering of soft soils, Volume 2, pp 51 – 87.
- Electric Power Research Institute, (1989), Probabilistic seismic hazard evaluations at nuclear plant sites in the Central and Eastern United States: Resolution of the Charleston earthquake issue, Technical report NP-6593-D, Research project P101-53, prepared for the seismicity owners group.
- Estudios de suelos para los puentes sobre la Autopista Norte, calle 100 y calle 170 (Ingeoriesgos Ltda.)
- Estudio de suelos realizado para el proyecto Súper Ley Lagos de Córdoba (Ingeniería y Geotecnia Ltda., 1995).

- Estudio de Respuesta Sísmica Local Calle 59ª No. 74-59. (Rodríguez J. A., Septiembre, 2004).
- Estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas proyecto Etapa IV Parque Central Salitre. (Rodríguez J. A., Enero, 2005).
- Estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas proyecto Carrera 52 con Diagonal 22A Salitre Tecnurbana. (Rodríguez J. A., Febrero, 2005).
- Ishibashi, I., (1992), Discussion to Effect of soil plasticity on cyclic response by M. Vucetic and R. Dobry, JGE ASCE, Vol 118 No 5, pp597-602.
- Ishibashi, I. and Zhang, X., (1993), Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, Soils and Foundations, Vol 33 No1, pp 182-191.
- Ishihara, K., (1996), Soil Behavior in Earthquake Geotechnics, Oxford University Press.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., and Takagi, Y., (1978), Shear modulus of sands under torsional shear loading, Soils and Foundations, Vol 18, No 1, pp 39-56.
- Katayama, I., Fukui, F., Goto, M., Makihara, Y., and Tokimatsu, K. (1986). Comparison of dynamic deformation characteristics of dense sand between undisturbed and disturbed samples. Proceedings of the 21st Annual Conference of JSSMFE, pp. 583-4 (in Japanese).
- Kokoshu, T., (1980), Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range, Soils and Foundations, Vol 20, No 2, pp 45-60
- Kramer L., (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Ed Prentice Hall.
- Krinitzsky and Chang, (1988), Magnitude-Related earthquake ground motions, Bull. Assoc. Eng. Geol., XXV, 399 – 423.
- Alberto Lobo-Guerrero Uscátegui y Alberto Lobo-Guerrero Sanz (LOBO-GUERRERO GEOLOGIA LTDA)

- Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá, (Ingeominas y Uniandes, 1997).
- Modelo Geotécnico de la Sabana de Bogota (Sociedad Colombiana de Geotecnia, 2006)
- Norma Sismo Resistente NSR98 Ley 400 de 1998.
- Rodríguez, J. A., (1994) A new Method for Interpretation of Surface Waves Measurements in Soils, PhD Dissertation, North Carolina State University.
- Rodríguez, J. A., (2005a). Comportamiento Dinámico de Suelos Blandos de Bogotá. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Novenas Jornadas.
- Rodríguez, J. A., (2005b). Respuesta Dinámica de Suelos Blandos de Bogotá. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Novenas Jornadas.
- Rodríguez, J. A., Escallón J., (2006), Evaluación de las Propiedades Dinámicas a Bajas Deformaciones de los Suelos de Bogotá. Revista Escuela Colombiana de Ingeniería
- Rodríguez, J. A., Escallón J., (2007), A Geotechnical Model for the Subsoil of the Bogotá Sabana. Thirteen Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (En revisión)
- Rodríguez, J., Ramírez F., Escallón J., (2007), Geotechnical Seismic Characterization for the Microzonation of Bogotá. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Tesalónica, Grecia, 2007.
- Rodríguez, E. (2002). Espectros de respuesta para suelos blandos de Bogotá a partir de estudios recientes de respuesta local. IX Congreso Colombiano de Geotecnia, Noviembre de 2002, Medellín.
- Rodríguez, E y Puentes, J., (2003) Respuesta dinámica de arcillas blandas e interacción sísmica suelo-estructura para cimientos profundos típicos de Bogotá, Bogotá.

- Moreno, C. A., Rodríguez E., (2004). Dynamic behavior of Bogota's subsoil peat and its effect in seismic wave propagation. *13th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Seed H. B., 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.
- Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., and Tokimatsu, K., (1986). Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesionless soils, JGE ASCE, Vol 112, No GT11, pp 1016-1032.
- Yasuda, N., and Matsumoto, N., (1993), Dynamic deformation characteristics of sands and rockfill materials, Canadian Geotechnical Journal, Vol 30, No 5, pp 747-757.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas y Desplazamientos Relativos -
Avenida Boyacá con Avenida José Celestino Mutis - Etapa de Factibilidad
Versión 1 – Mayo 09 de 2007



ALCALDÍA MAYOR
ANEXOS
DE BOGOTÁ D.C.

MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

Determinación del Espectro de Diseño de Respuesta de Aceleraciones Absolutas y Desplazamientos Relativos -
Avenida Boyacá con Avenida José Celestino Mutis - Etapa de Factibilidad
Versión 1 – Mayo 09 de 2007



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

ANEXO 1

REGISTRO DE LA PERFORACION
Instituto de Desarrollo Urbano

REGISTRO DE SONDEO No. 2										
PROYECTO : <u>Avenida Av. Boyacá - Av. J. Celestino Mutis</u>			PERFORACION Nro. : <u>1</u>			TIPO DE PERFORACION: <u>Mec.</u>				
LOCALIZACION : <u>PGH-02-RU-115</u>			FECHA INICIO: <u>2/15/2007</u>			PROFUNDIDAD: <u>50.00</u> METROS				
TABLA DE AGUA: <u>3.50</u> METROS			FECHA TERMINO: <u>19/2/07</u>			COTA DEL TERRENO : <u>0</u>				
PESO DEL MARTILLO DE MUESTREO: <u>140 Lb</u>			CAIDA: <u>0.70 M.</u>			PERFORACION: <u>2</u> DE <u>2</u>				
INGENIERO : <u>MCN</u>			PERFORADOR : <u>N.A.</u>			HOJA : <u>1</u> DE <u>5</u>				
PERFIL DEL SUELO				Lp	Wn	LL	PENETR. ESTANDAR			RESISTENCIA
ELEV. PROF.	MUESTRA		ESTRA-TIGRAFIA	%	%	%	N (Golpes/pie)			A LA COMPRESIÓN
	Nro.	TIPO								<small>Penetrómetro 4.5cm2</small>
0.0			SUPERFICIE							
1.00			Relleno con gravas y presencia de limo orgánico de color carmelito suelo natural: Limo orgánico de color negro con presencia de raíces							
2.00	1	TS	Limo de color habano con intercalaciones grises.							
2.00	2	SS	Arcilla con intercalaciones de limo de color negro y habano				1	1	2	
3.00			Arcilla limosa de color habano con presencia de raíces y oxidaciones consistencia muy blanda							
4.00										
5.00	3	TS	Arcilla limosa de color gris con intercalaciones carmelitas de consistencia muy blanda							
5.00	4	SS	humedad alta				1	1	1	
6.00										
7.00										
8.00	5	TS	Arcilla limosa de color gris con intercalaciones carmelitas de consistencia muy blanda							
8.00	6	SS	humedad alta				1	1	1	
9.00										
10.0										
Convenciones										SONDEO No. 2
DO Muestra SHELBY										
ST Muestra TUBO PARTIDO										
CO Muestra BOLSA										

REGISTRO DE SONDEO No. 2

PROYECTO : Avenida Av. Boyacá - Av. J. Celestino Mutis
 LOCALIZACION : PGH-02-RU-115
 TABLA DE AGUA : 3.50 METROS
 PESO DEL MARTILLO DE MUESTREO : 140 Lb
 INGENIERO : MCN

PERFORACION Nro. : 2
 FECHA INICIO : 2/15/2007
 FECHA TERMINO : 19/2/07
 CAIDA : 0.70 M.
 PERFORADOR : _____

TIPO DE PERFORACION : Mec.
 PROFUNDIDAD : 50.00 METROS
 COTA DEL TERRENO : 0
 PERFORACION : 2 DE 2
 HOJA : 2 DE 5

PERFIL DEL SUELO				Lp	Wn	LL	PENETR. ESTANDAR			RESISTENCIA		
ELEV. PROF.	MUESTRA		DESCRIPCION	%	%	%	N (Golpes/pie)			A LA COMPRESIÓN		
	Nro.	TIPO								Penetrometro (kg/cm2)		
10.0 SUPERFICIE												
11.0	7	TS	consistencia muy blanda algo carmelito claro. consistencia muy blanda humedad alta									
	8	SS						1	1	2		
12.0												
13.0												
14.0	9	TS	consistencia muy blanda algo carmelito claro. consistencia muy blanda humedad alta									
	10	SS						1	1	1		
15.0												
16.0			Limo de color carmelito claro con presencia de material orgánico consistencia blanda humedad alta									
17.0	11	TS										
	12	SS						1	2	2		
18.0			Limo de color carmelito claro con presencia de material orgánico consistencia blanda humedad alta									
19.0												
20.0												
			<p align="center"><u>Convenciones</u></p> <p>DO Muestra SHELBY ST Muestra TUBO PARTIDO CO Muestra BOLSA</p>				<table border="1"> <tr> <td align="center">SONDEO No. 2</td> </tr> </table>					SONDEO No. 2
SONDEO No. 2												

REGISTRO DE SONDEO No. 2

PROYECTO : Avenida Av. Boyacá - Av. J. Celestino Mutis
 LOCALIZACION : PGH-02-RU-115
 TABLA DE AGUA: 3.50 METROS
 PESO DEL MARTILLO DE MUESTREO: 140 Lb
 INGENIERO : MCN

PERFORACION Nro. : 2
 FECHA INICIO: 2/15/2007
 FECHA TERMINO: 19/2/07
 CAIDA: 0.70 M.
 PERFORADOR :

TIPO DE PERFORACION: Mec.
 PROFUNDIDAD: 50.00 METROS
 COTA DEL TERRENO : 0
 PERFORACION: 2 DE 2
 HOJA : 3 DE 5

PERFIL DEL SUELO				Lp	Wn	LL	PENETR. ESTANDAR			RESISTENCIA			
ELEV. PROF.	MUESTRA		ESTRA-TIGRAFIA	DESCRIPCION	%	%	%	N (Golpes/pie)			A LA COMPRESIÓN		
	Nro.	TIPO									Penetrometro (kg/cm ²)		
20.0				SUPERFICIE									
	13	TS		Arcilla limosa de color gris con algo de color carmelito. Consistencia muy blanda humedad alta									
21.0	14	SS						1	1	1			
22.0				Arcilla limosa de color gris con algo de color carmelito. Consistencia muy blanda humedad alta									
23.0													
	15	TS		Arcilla limosa de color gris con algo de color carmelito. Consistencia muy blanda humedad alta									
24.0	16	SS						1	2	2			
25.0													
26.0													
	17	TS		Arcilla limosa de color gris con algo de color carmelito. Consistencia muy blanda humedad media								perdida de agua a los 26 m. por fisuras	
27.0	18	SS						1	2	1			
28.0													
29.0				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad media									
30.0	19	TS											
				<u>Convenciones</u>									
				DO Muestra SHELBY ST Muestra TUBO PARTIDO CO Muestra BOLSA								SONDEO No. 2	

REGISTRO DE SONDEO No. 2

PROYECTO : C.A.S. CAFAM FLORESTA
 LOCALIZACION : Ver plano No 1
 TABLA DE AGUA: 2.45 METROS
 PESO DEL MARTILLO DE MUESTREO: 140 Lb
 INGENIERO : MCN

PERFORACION Nro. : 2
 FECHA INICIO: 2/15/2007
 FECHA TERMINO: 19/2/07
 CAIDA: 0.70 M.
 PERFORADOR :

TIPO DE PERFORACION: Mec.
 PROFUNDIDAD: 50.00 METROS
 COTA DEL TERRENO : 0
 PERFORACION: 2 DE 2
 HOJA : 4 DE 5

PERFIL DEL SUELO

ELEV. PROF.	MUESTRA		ESTRA- TIGRAFIA	DESCRIPCION	Lp %	Wn %	LL %	PENETR. ESTANDAR			RESISTENCIA		
	Nro.	TIPO						N (Golpes/pie)			A LA COMPRESIÓN Penetrometro (kg/cm2)		
30.0				SUPERFICIE									
	20	SS		Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad media				1/12'	2				
31.0													
				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
32.0													
				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
33.0													
	21	TS											
34.0	22	SS				2	2	2					
				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
35.0													
36.0													
				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
37.0	23	TS											
	24	SS				2	2	2					
38.0													
				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
39.0													
	25	TS											
40.0	26	SS				2	2	3					
				<u>Convenciones</u>								SONDEO No. 2	
				DO Muestra SHELBY ST Muestra TUBO PARTIDO CO Muestra BOLSA									

Posición del agua a 5.2m.

Posición del agua a 5.6m.

REGISTRO DE SONDEO No. 2

PROYECTO : Avenida Av. Boyacá - Av. J. Celestino Mutis
 LOCALIZACION : PGH-02-RU-115
 TABLA DE AGUA : 3.50 METROS
 PESO DEL MARTILLO DE MUESTREO : 140 Lb
 INGENIERO : MCN

PERFORACION Nro. : 2
 FECHA INICIO : 2/15/2007
 FECHA TERMINO : 19/2/07
 CAIDA : 0.70 M.
 PERFORADOR : _____

TIPO DE PERFORACION : _____ Mec.
 PROFUNDIDAD : 50.00 METROS
 COTA DEL TERRENO : 0
 PERFORACION : 2 DE 2
 HOJA : 5 DE 5

PERFIL DEL SUELO				Lp	Wn	LL	PENETR. ESTANDAR			RESISTENCIA			
ELEV. PROF.	MUESTRA		ESTRA-TIGRAFIA	DESCRIPCION	%	%	N (Golpes/pie)			A LA COMPRESIÓN			
	Nro.	TIPO								Penetrometro (kg/cm2)			
40.0				SUPERFICIE									
41.0				Arcilla limosa de color carmelito Consistencia muy blanda humedad alta									
42.0	27	TS		Arcilla limosa de color gris algo porosa y fisurada consistencia blanda									
43.0	28	SS		Humedad alta			2	3	3				
44.0				Arcilla limosa de color gris consistencia blanda humedad alta									
45.0													
46.0	29	TS		Arcilla limosa de color gris consistencia blanda humedad alta							Posición del agua a 5.8m.		
47.0													
48.0	30	SS					2	3	3				
49.0													
50.0	31	TS		Arcilla limosa de color gris consistencia blanda humedad alta									
	32	TS											
				FIN DE SONDEO									
				<u>Convenciones</u>							SONDEO No. 2		
				DO Muestra SHELBY ST Muestra TUBO PARTIDO CO Muestra BOLSA									



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

ANEXO 2

ENSAYO DE DOWN HOLE

Instituto de Desarrollo Urbano



**INFORME SOBRE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
DOWNHOLE REALIZADO EN LA AVENIDA BOYACA CON
AVENIDA JOSE CELESTINO MUTIS Y EN PUENTE ARANDA**



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD**

Instituto de Desarrollo Urbano



PROFESIONALES ASOCIADOS

ULLOA Y DIEZ LTDA
Calle 93B # 17-42 Of 206
Tel 6222345 6222356
e-mail: ulloadiezltda@cable.net.co

Bogotá, Marzo de 2007

INFORME SOBRE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DOWNHOLE REALIZADO EN LA AVENIDA BOYACA CON AVENIDA JOSE CELESTINO MUTIS Y EN PUENTE ARANDA

1. INTRODUCCIÓN

En desarrollo de los estudios geotécnicos que adelanta actualmente RESTERPO Y URIBE INGENIEROS se llevaron a cabo dos ensayos tipo Downhole para medición de ondas de corte y compresionales del subsuelo.

Los ensayos downhole están diseñados específicamente para medir los tiempos de llegada de las ondas compresionales y de corte y con base en estos tiempos se calculan las velocidades y conocidos los pesos unitarios de los diferentes estratos que componen el subsuelo, se calculan los módulos de Elasticidad (E), de Corte máximo (G_0), de deformación Volumétrica (K) y la relación de Poisson (ν). Estos parámetros a su vez, son la base para hacer simulaciones y generar estudios de respuesta sísmica local.

La norma que aplica es la ASTM D4428.

1.1 Objetivos

Los objetivos específicos de los ensayos realizados son:

- Medir los tiempos de llegada de las ondas compresionales y de corte y calcular las velocidades compresionales (V_p) y de corte (V_s) para cada estrato geofísico del subsuelo.
- Calcular los módulos elásticos del subsuelo los cuales son el módulo de corte máximo G_0 , el módulo de elasticidad E, el módulo de Bulk K y la relación de Poisson.

1.2 Localización

Los ensayos se realizaron en los cruces de la Avenida Boyacá con Avenida Jose Celestino Mutis el primero y en la Avenida de Las Américas con Calle 13, Puente Aranda, el segundo.

2. METODOLOGIA

2.1 Ensayos downhole

La ejecución de los ensayos downhole se hizo utilizando la metodología descrita y publicada por la casa matriz del sismógrafo (Geometrics), la cual a su vez es una aplicación de las normas ASTM D5777 (Refracción sísmica) y 4428 mencionadas.

En esencia la documentación relativa a los ensayos downhole describe en forma resumida la teoría y métodos presentados en la publicación "Shear Waves, Techniques and Systems" cuyo autor es Douglas Crice.

El equipo empleado fue un sismógrafo de 12 canales con computador externo, con sonda triaxial y los accesorios correspondientes, marca Geometrics modelo Geode, fabricado en Noviembre de 2005 en la casa matriz en San José (California, USA). Las ondas se produjeron mediante el empleo de golpes de comba sobre platinas metálicas.

El procedimiento llevado para llevar a cabo un ensayo consiste esencialmente en lo siguiente (Figura 1):

- Instalar el sismógrafo con sus accesorios y conectar la sonda triaxial.
- Colocar la sonda en el fondo o en el principio de la perforación, adherida firmemente a uno de los lados.
- Generar ondas compresionales mediante golpes verticales en el suelo.
- Leer el tiempo de llegada y grabarlo.
- Generar ondas de corte mediante golpes laterales en las paredes de una trinchera o contra una viga apoyada contra el piso y sobre la cual se coloca un vehículo.
- Los golpes deben darse a un lado primero y luego al otro, grabando cada señal por separado.
- Subir o bajar la sonda cada metro hasta la profundidad que se desee y repetir el procedimiento.

El primer golpe se hace para obtener una señal sísmica perpendicular al terreno, es decir, se obtiene una señal de tipo compresional en la cual el tiempo de las ondas refractadas llega primero que las demás siendo fácilmente distinguibles en el sismograma.

Como quiera que las ondas de corte (shear waves) llegan después de las compresionales mezcladas con las demás ondas, es difícil y a veces imposible distinguirlas en un registro común y corriente, por lo cual se ideó el ensayo Down Hole.

Mediante los golpes laterales a la trinchera o a la viga, se generan señales horizontales ricas en ondas de corte y aprovechando la posibilidad de polarizar la señal que tiene el sismógrafo empleado, es posible distinguir la onda de corte por su forma, frecuencia y amplitud así como por sus "picos" que son en un sentido cuando se golpea por un lado (hacia arriba o hacia abajo) y en el otro sentido cuando se golpea el otro lado.

Una vez conocidos los tiempos de llegada tanto de las ondas P como de las ondas S, se calcula su velocidad simplemente como $V = s/t$ en donde s es el espacio y t el tiempo. El espacio usualmente se toma inclinado desde el punto en donde se golpeó hasta la profundidad de medición (Valores R, x, z en la figura 1) y el tiempo como la diferencia de lecturas en esa misma capa, o bien trazando líneas rectas s-t cuya pendiente es la velocidad.

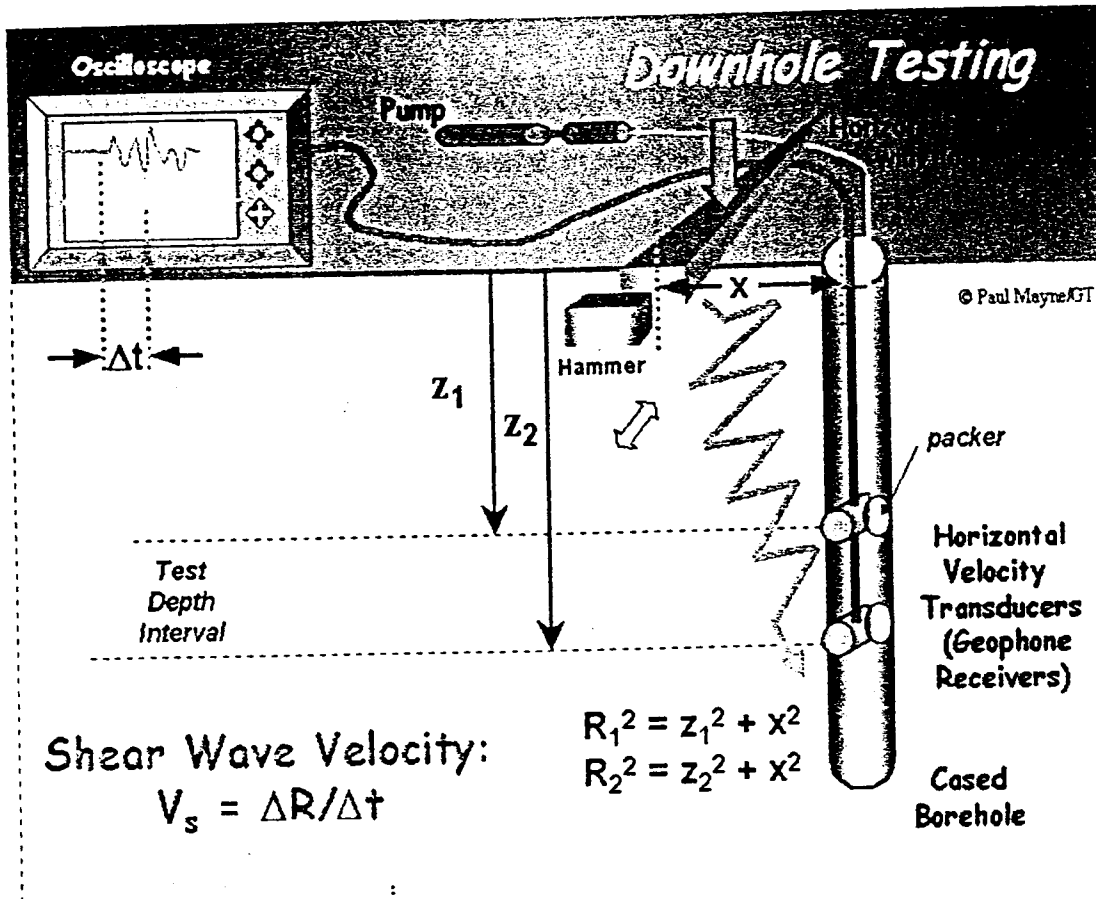


Figura 1. Ensayo downhole (Tomado de Geometrics Inc, Downhole Technic)

En la figura las convenciones son las siguientes:

Oscilloscope = Sismógrafo

Pump = bomba de aire

Packer= empaque o elemento de ajuste de la sonda a la tubería.

Trasduder= geófono

Shear wave velocity= velocidad de onda de corte

2.2 Interpretación Sísmica

La interpretación se hizo empleando el paquete SEISIMAGER el cual se compone de varios programas de computador para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Oyo Geophysics,2005).

Este paquete de programas está homologado y es suministrado por la casa fabricante del sismógrafo.

El método interpretativo empleado es el conocido como tiempos de retraso o 'Delay Times' y las etapas para la interpretación son las siguientes:

a) Tiempos de llegada de las ondas

Estos tiempos se definen con el empleo del programa PickWin de una manera semiautomática. El programa genera unos tiempos de llegada de las ondas, los cuales deben ser revisados y ajustados manualmente cuando es necesario.

b) Entrada de datos y creación de archivos

Una vez definidos los tiempos de llegada para cada disparo o shotpoint, deben reunirse los archivos (disparos) que componen una línea o un downhole (3 a 5 disparos en este caso, con 12 geófonos cada uno) y generar un nuevo archivo que corresponde a la línea sísmica o spread.

A continuación se asignan también en forma semiautomática las capas a las que pertenece cada lectura de tiempos de llegada y se prepara el gráfico Tiempo-Distancia. El programa PlotRefra calcula las velocidades, los espesores y las profundidades de las capas.

3. RESULTADOS

En el ensayo en campo se mide el tiempo de llegada de las ondas compresionales y de corte. Con base en los tiempos de llegada se calculan las velocidades y a partir de las velocidades se obtienen profundidades de capas en las líneas sísmicas y módulos del subsuelo en el ensayo downhole.

En el Anexo 1 se encuentran los resultados del ensayo downhole. La primera hoja presentada es una tabla que contiene los tiempos de llegada de las ondas (t_p , t_s , tiempo de ondas compresionales y tiempo de ondas de corte respectivamente) y las velocidades obtenidas calculadas como la pendiente de la recta entre puntos.

$$V = s/\Delta t, \text{ en donde}$$

V = velocidad en m/seg

s = espacio entre las medidas consideradas

Δt = diferencia de tiempo entre los dos puntos considerados en segundos

En esta misma hoja se encuentran calculados los módulos del subsuelo los cuales son: Relación de Poisson, Módulo de Corte, Módulo de deformación volumétrica y Módulo de Young.

Se presenta adicionalmente otra hoja que relaciona las variables tiempo y distancia, es decir, muestra los tiempos de llegada metro a metro versus la profundidad de medición.

Se observan en este gráfico cambios de pendiente los cuales son un reflejo de cambios en la velocidad de los estratos del subsuelo.

Todos los parámetros anteriores se calcularon con la densidad obtenida a partir del peso unitario estimado para cada estrato en Ton/m³. Debido a que el módulo G es directamente proporcional a la densidad, debe revisarse si los valores supuestos son correctos para mayor precisión. No obstante, los valores tomados son promedios aceptables y comunes para los materiales considerados.

Las fórmulas empleadas para calcular los módulos se encuentran en diferentes textos y se tomaron directamente de la publicación mencionada de D. Crice:

$$\begin{aligned} \text{Poisson's Ratio } \nu &= \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2} \\ \text{Shear Modulus } G &= d V_s^2 \\ \text{Young's Modulus } E &= 2G (1+\nu) \\ \text{Bulk Modulus } K &= \frac{1}{3} \frac{E}{1-2\nu} \\ d &= \text{density} \end{aligned}$$

Figura 2. Fórmulas empleadas para el cálculo de los módulos (Tomadas de Douglas Crice, Shear waves technics and systems)

3.1 Ensayo de la Avenida Boyacá con Avenida José Celestino Mutis

El ensayo realizado cuyos resultados se muestran en el Anexo 1, muestra tres conjuntos principales de capas. Las dos primeras tiene velocidades bajas, correspondientes a suelos blandos y la última es un suelo de dureza media a juzgar por la velocidad.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Localización (m)	Vp (m/seg)	Vs (m/seg)	Go (Ton/m ²)	E (Ton/m ²)	K (Ton/m ²)	ν (Poisson)
1 a 20	374	132	2990	8542	19856	0,43
20 a 45	426	142	3648	10485	27851	0,44
45 a 50	559	250	11881	32674	43582	0,38

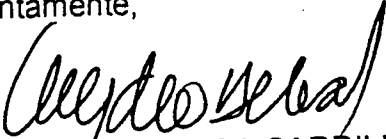
3.2 Ensayo de Puente Aranda

El ensayo realizado cuyos resultados se muestran en el Anexo 2, muestra cuatro conjuntos principales de capas. Las primera tiene velocidades bajas, correspondientes a suelos blandos y van gradualmente aumentado hasta que la última es un suelo de dureza alta a juzgar por la velocidad.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Localización (m)	Vp (m/seg)	Vs (m/seg)	Go (Ton/m ²)	E (Ton/m ²)	K (Ton/m ²)	v (Poisson)
0 a 3	435	168	4831	13643	25818	0,41
3 a 19	361	176	5282	14197	15164	0,34
19 a 30	517	255	11722	31403	32609	0,34
30 a 50	812	343	21240	59092	90379	0,39

Atentamente,


ALEJANDRO ULLOA CARRILLO
Ingeniero Civil, Msc



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano



ANEXO 3

**ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD**
**DOWN HOLE AVENIDA BOYACA POR AVENIDA JOSE
CELESTINO MUTIS**

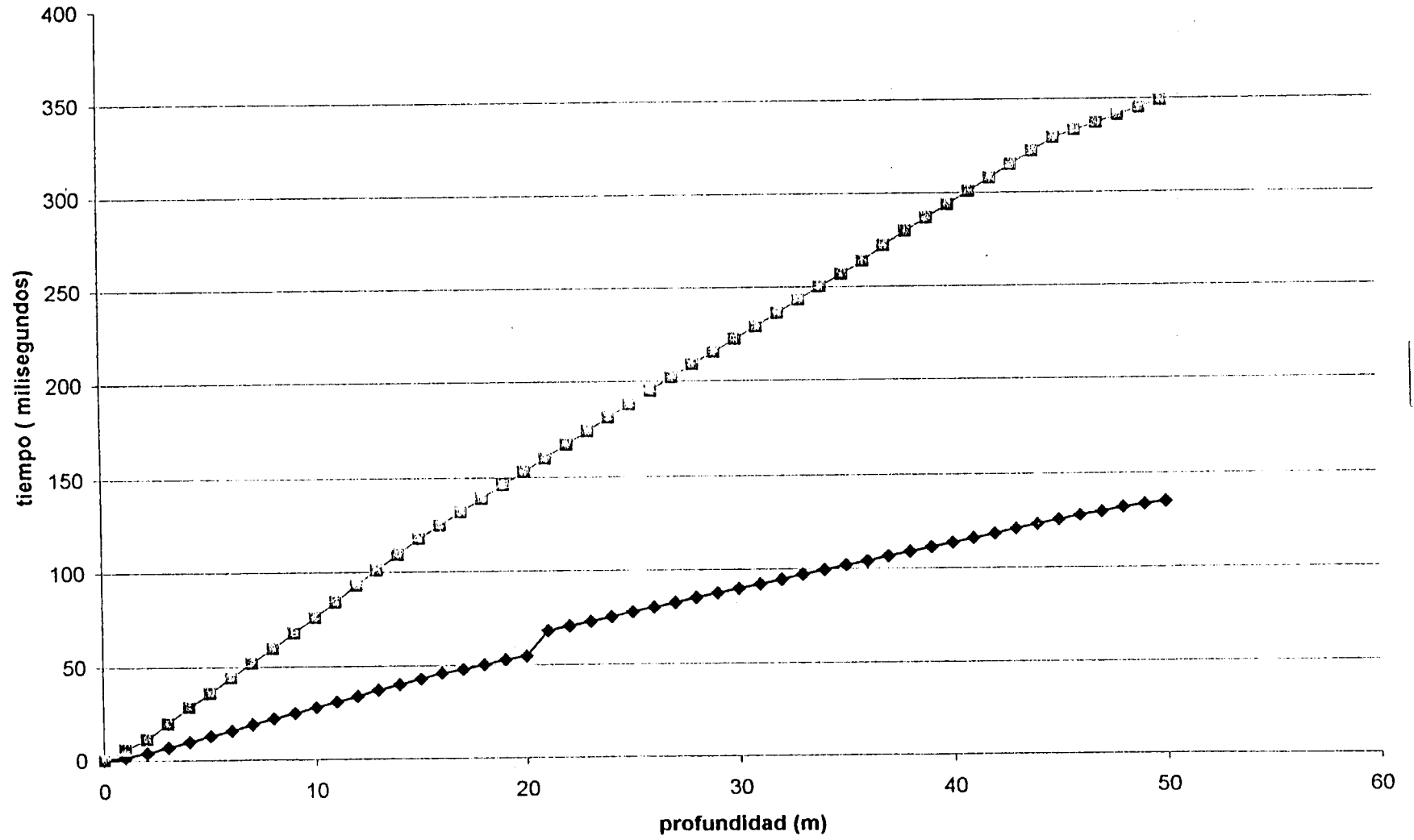
Instituto de Desarrollo Urbano



ULLOA Y DIEZ LTDA
 ENSAYO DOWNHOLE AVENIDA BOYACA CON AVENIDA JOSE CELESTINO MUTIS

Profundidad	tp	ts	Vp	Vs	Promedio Vp	Promedio Vs	Peso Unitario	Módulo Go	Poisson	Módulo E	Módulo K
	0	0	m/seg	m/seg	m/seg	m/seg	Ton /m3	Ton/m2		Ton/m2	Ton/m2
0	0	0									
1	1,90	5,80	526,32	172,41							
2	4,00	11,50	476,19	175,44							
3	7,00	20,00	333,33	117,65							
4	10,10	28,50	322,58	117,65							
5	13,00	38,00	344,83	133,33							
6	16,01	44,50	332,23	117,65							
7	18,10	52,30	323,62	128,21							
8	22,30	60,00	312,50	129,87	374,50	132,83	1,7	2990	0,43	8542	19856
9	25,00	68,00	370,37	125,00							
10	28,10	76,00	322,58	125,00							
11	31,20	84,30	322,58	120,48							
12	34,00	93,00	357,14	114,94							
13	37,10	101,00	322,58	125,00							
14	40,00	109,20	344,83	121,95							
15	43,10	118,00	322,58	113,64							
16	46,00	125,00	344,83	142,86							
17	48,00	132,10	500,00	140,85							
18	50,50	139,00	400,00	144,93							
19	53,10	146,00	384,62	142,86							
20	55,00	153,00	526,32	142,86							
21	68,27	160,10	500,00	140,85							
22	70,78	167,10	500,00	142,86							
23	72,94	174,21	464,64	140,65							
24	75,45	181,20	398,27	143,06							
25	77,90	188,00	407,98	147,06							
26	80,35	195,00	407,98	142,86							
27	82,68	202,10	428,90	140,85							
28	85,14	209,10	406,00	142,86							
29	87,43	215,30	437,88	161,29							
30	89,95	222,40	396,38	140,85							
31	92,32	229,00	422,40	151,52							
32	94,62	236,00	433,35	142,86							
33	97,23	243,10	383,65	140,85							
34	99,38	250,20	464,84	140,85	426,32	142,35	1,8	3648	0,44	10485	27851
35	102,01	257,00	380,16	147,06							
36	104,17	264,10	464,64	140,85							
37	106,78	272,10	381,90	125,00							
38	109,08	280,00	435,60	126,58							
39	111,34	287,00	442,52	142,86							
40	113,74	294,00	416,10	142,86							
41	116,15	301,10	416,10	140,85							
42	118,49	308,00	426,71	144,93							
43	120,93	315,00	409,98	142,86							
44	123,33	322,10	418,10	140,85							
45	125,74	329,00	416,10	144,93							
46	128,00	333,00	550,00	250,00							
47	130,00	337,00	500,00	250,00							
48	132,20	341,10	454,55	243,90	559,24	250,08	1,9	11881	0,38	32674	43582
49	133,80	345,00	625,00	256,41							
50	135,30	349,00	666,67	250,00							

DOWNHOLE AV BOYACA X AV JOSE CELESTINO MUTIS



variacion de velocidades con la profundidad

