



### 2.3.5.2 Definición de la curva de módulo $G$ y amortiguamiento $\beta$ contra $\gamma_c$

La forma de la curva de degradación del módulo en función de la deformación por corte, representado en la curva  $G/G_{max}$  contra  $\gamma_c$ , depende fuertemente de la plasticidad del suelo. Ver Figura 2.23.

Para integrar los valores de módulos de cortante máximos obtenidos con la metodología del "bender element" y el resto de la curva obtenidas utilizando el aparato triaxial cíclico se utilizó una función de interpolación

propuesta por la cual solo necesita dos parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ .

Para calibrar los resultados obtenidos del modelo, se comparó contra un resultado obtenido de un ensayo realizado en el laboratorio (Figura 2.24), en el que se observa que la aproximación es buena tanto en la forma de la curva como el en valor de  $G_{max}$ .

Para el amortiguamiento se adoptó una metodología similar a la propuesta por Hardin y Drnevich. De esta forma el amortiguamiento también queda ligado al valor de la plasticidad.

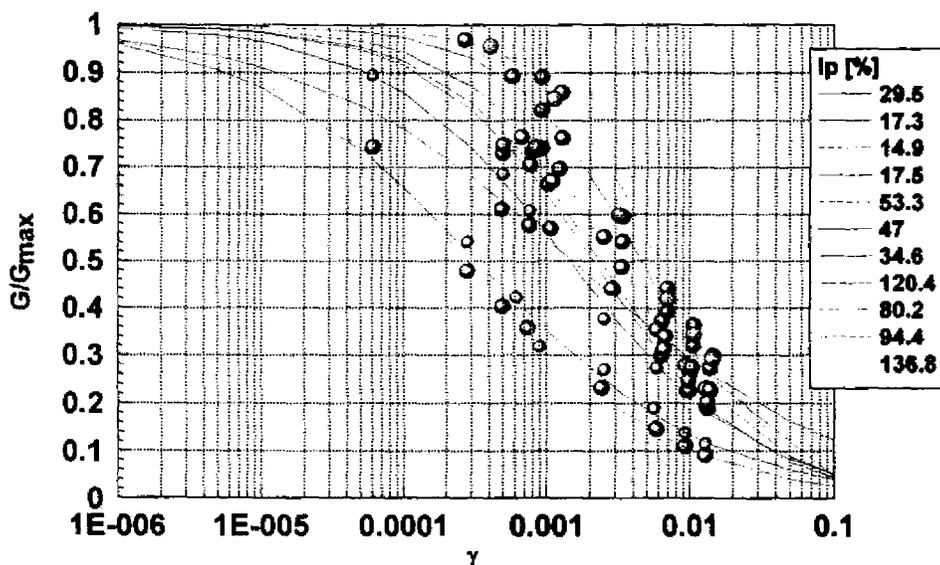


FIGURA 2.23 GRÁFICO DE CURVAS  $G/G_{max}$  EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN CORTANTE PARA DIFERENTES  $I_p$ .

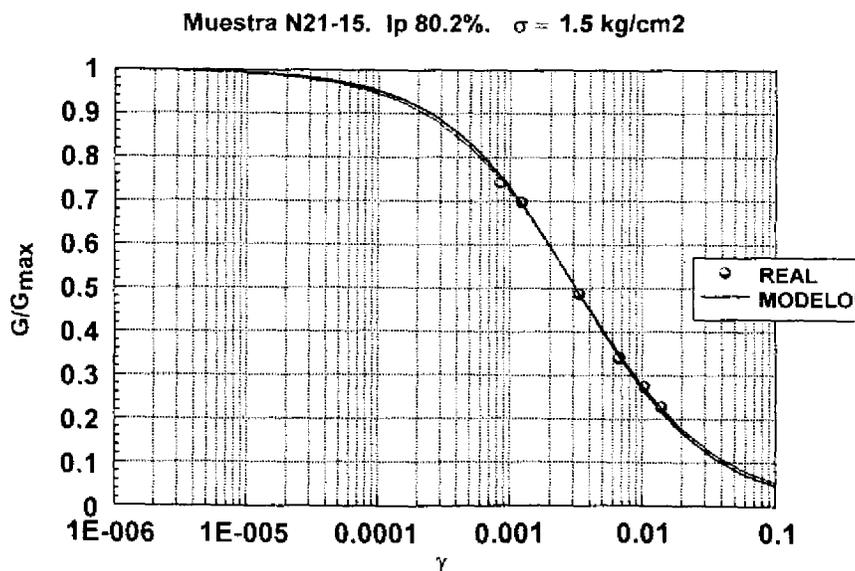


FIGURA 2.24 GRÁFICO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO CONTRA ENSAYO DE LABORATORIO

### 2.3.5.3 Ensayos in situ

En las Figuras 2.25 y 2.26 se muestran los resultados de algunos de los ensayos in situ: en la Figura 2.25 se muestra la curva obtenida a partir de un ensayo presiométrico cíclico en la cual se observa claramente la degradación del módulo a medida que aumenta la amplitud de los ciclos. Para interpretar estos resultados es necesario realizar un análisis inverso utilizando un método numérico. Esto debido a que la deformación alrededor de la sonda presiométrica no es homogénea. Estos resultados plantean una esperanzadora posibilidad de reducción del costo de los estudios de microzonificación sísmica. En la Figura 2.26 se muestran las medidas obtenidas en los ensayos Down Hole. Cabe anotar que los resultados de estos ensayos fueron comparables a las medidas directas en laboratorio realizadas con la metodología del "bender element".

### 2.3.6 Zonificación geotécnica de síntesis

En la zonificación Geotécnica de síntesis se tuvieron en cuenta los estudios geológicos realizados por INGEOMINAS, la zonificación geotécnica (INGEOMINAS, 1988) y los estudios de Martínez et al (1990,1992). Además, se incluyeron en los análisis los

resultados de la investigación geotécnica de este estudio concretamente en lo referente a propiedades índice predominantes en cada zona y su variación con la profundidad, mapa de valores de la correlación entre el índice de plasticidad y el límite líquido y los mapas de zonificación analítica presentados en el informe del subproyecto número 10 del presente estudio (Universidad de los Andes e INGEOMINAS, 1996). Finalmente se consultó a Ingenieros Geotecnistas con conocimiento del subsuelo de la ciudad, obteniendo como resultado el Mapa de Zonificación Geotécnica de la ciudad de Santafé de Bogotá (Figura 2.27 - Mapa No. 2).

Los límites de las zonas establecidas concuerdan en general con los de estudios realizados con anterioridad. El límite más significativo es el que separa la zona de arcillas duras con la de arcillas blandas, el cual se ubica aproximadamente al sur de la Avenida de los Comuneros. Las zonas en las que se dividió la ciudad son las siguientes:

- Zona montañosa caracterizada por la presencia de areniscas duras resistentes a la erosión y arcillolitas cuya resistencia y deformabilidad dependen de su humedad.

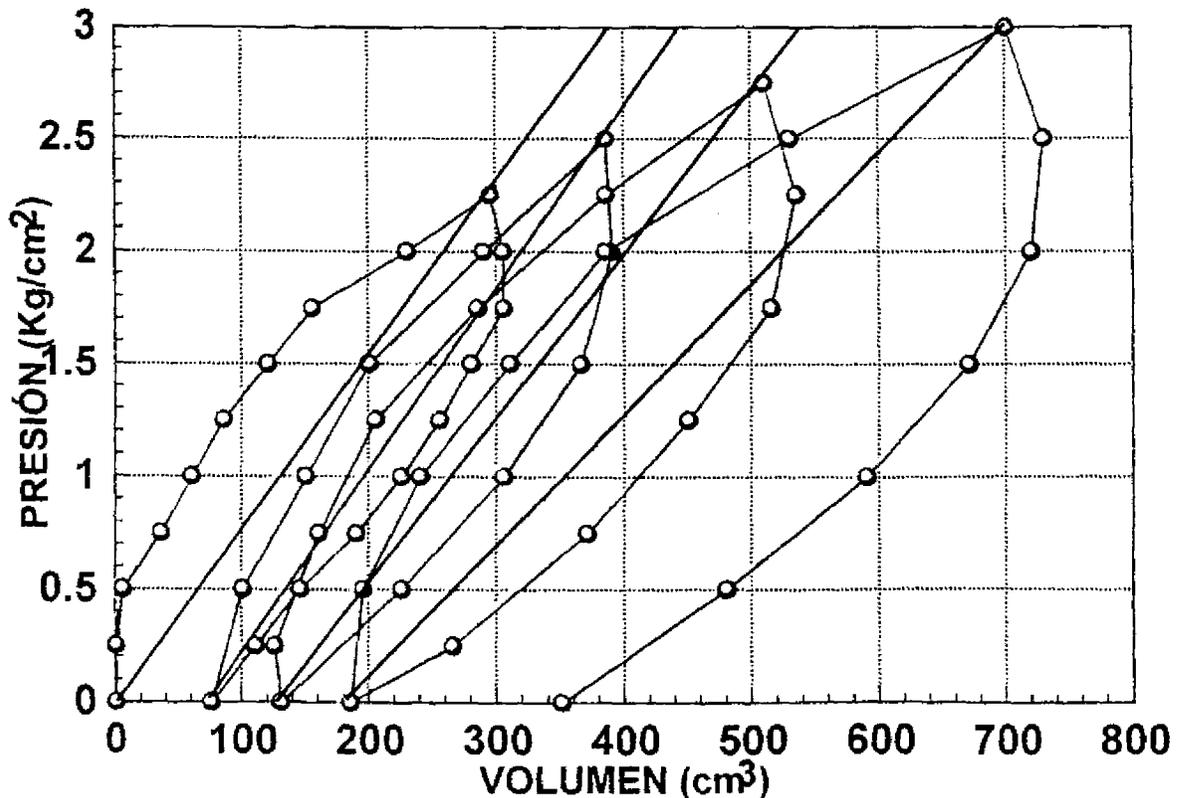


FIGURA 2.25 RESULTADOS TÍPICOS DE UN ENSAYO PRESIOMÉTRICO CÍCLICO

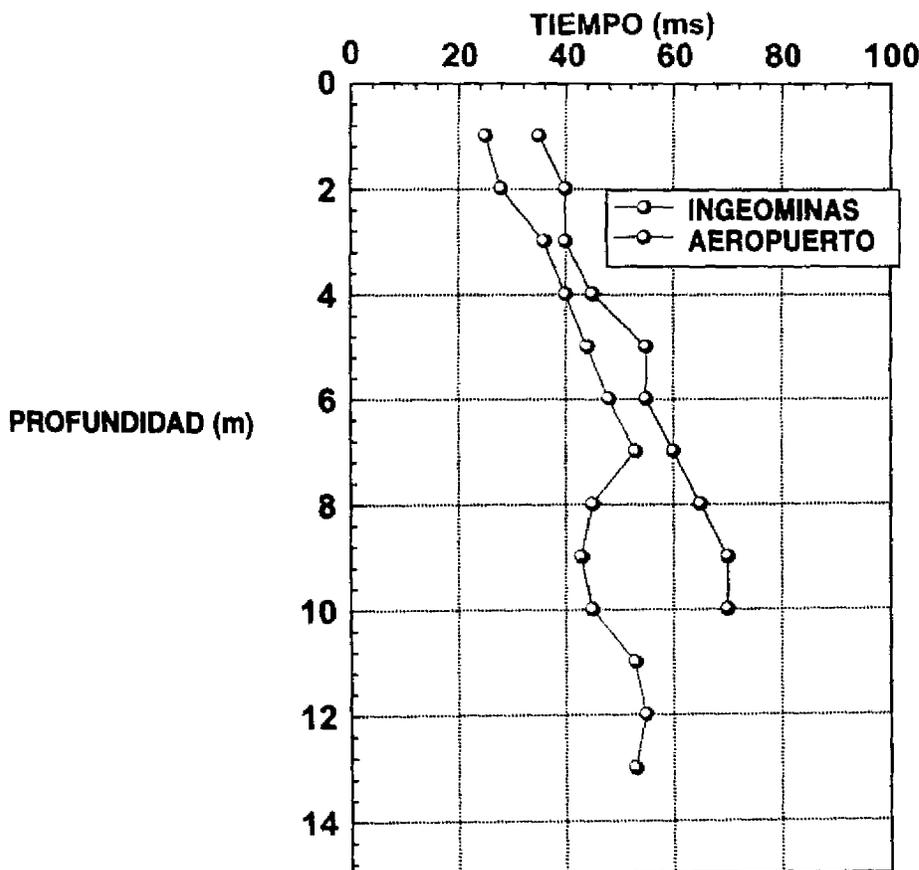


FIGURA 2.26 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DOWN HOLE

- Zona de piedemonte o de conos de deyección conformada por materiales que bajo el efecto de la gravedad han sufrido movimientos y se han depositado en forma de cono o abanico.
- Zona de suelos duros en donde predominan las arcillas preconsolidadas con intercalaciones de arena y suelos arenosos de origen aluvial. La zona arcillosa se caracteriza por su baja plasticidad, encontrándose el límite líquido en un rango entre 20% y 70 % en los primeros 30 m. En profundidad la arcilla tiende a volverse más arenosa y presenta un límite líquido de alrededor del 30 %. Adicionalmente, se encuentra una capa de turba aproximadamente a 30 m de profundidad con un espesor de 4 m en promedio. La parte occidental de esta zona, se caracteriza principalmente por la presencia de arenas de grano fino a muy fino, con poca presencia de arcillas.
- Zona de suelos blandos caracterizada por la presencia de arcillas blandas de alta compresibilidad. Se encuentra que en los primeros 60 m de profundidad es posible encontrar límites líquidos en un amplio rango que varía de 30 % a más de 200 %, disminuyendo en pro-

fundidad a un valor del orden de 30%. Hacia la parte sur oriental de la zona se encuentran suelos preconsolidados en un espesor del orden de 10 m; espesor que disminuye hacia la parte nor-occidental. En esta zona es común encontrar una pequeña capa de arena a una profundidad aproximada de 50 m e intercalaciones de capas de turbas que en su mayoría no superan los 5 m de espesor.

- Zona de Rondas de ríos y humedales a la cual pertenecen los cuerpos de agua de la ciudad: humedales, antiguos lagos y zonas de inundación.

Con respecto al Mapa de Zonificación Geotécnica es importante hacer las siguientes anotaciones:

- Los límites de las zonas son aproximados y solamente constituyen una guía. Es probable encontrar discrepancias importantes en los límites de las zonas.
- En ningún caso la información tanto del Mapa como de este estudio deberá utilizarse para diseños.

Las descripciones y las características de cada zona solo son válidas para propósitos de esta zonificación.

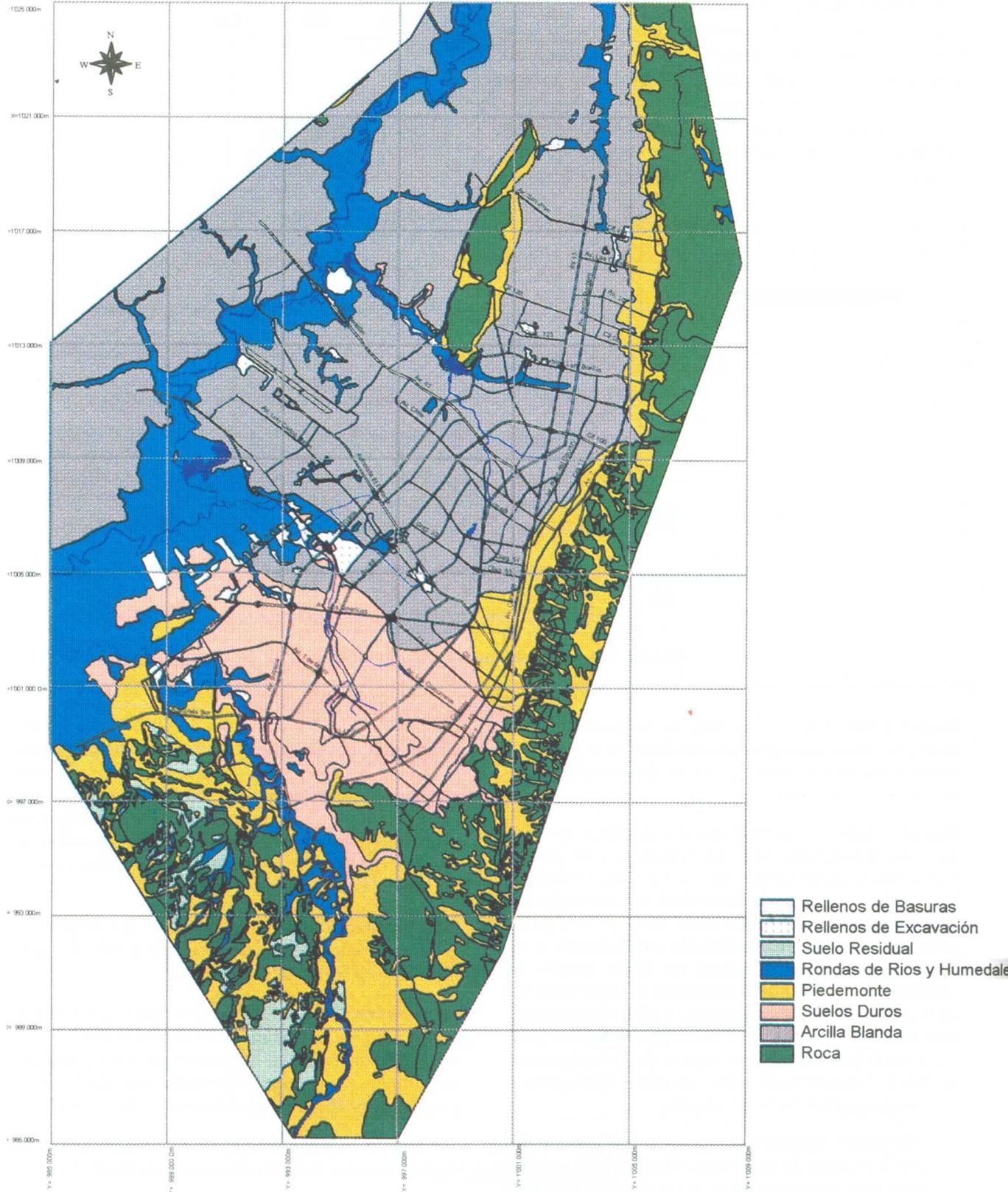


FIGURA 2.27 MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

## 2.4 Referencias

- Arévalo G.S R y Pinzón V.I.D. 1989 "Análisis Sedimentológico de núcleos extraídos del pozo estratigráfico Funza II, Municipio de Funza". Departamento de Geociencias. Universidad Nacional. Santafé de Bogotá.
- Caro P., Padilla J., Vergara H, 1996. "Mapa Geológico de Santafé de Bogotá". VI Congreso Colombiano de Geología. Sociedad Colombiana de Geología - INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS - Departamento de Planeación Distrital, 1988. "Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá". Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1990. "Proyecto Base de Datos Hidrogeológica". Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1995-a. "Estudios Geológicos". Proyecto Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No. 2. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1995-b. "Recopilación de Información Geotécnica". Proyecto Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No. 8. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS - Universidad de los Andes, 1996-a. "Microtrepidaciones". Proyecto Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyectos No. 6. Santafé de Bogotá.
- INGEOMINAS, 1996-b. "Estudios Geofísicos". Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyecto No. 7. Santafé de Bogotá.
- Universidad de los Andes e INGEOMINAS. 1996. "Ensayos de laboratorio y Zonificación Geotécnica". Proyecto Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, Subproyectos Nos. 10 y 11. Santafé de Bogotá.
- Martínez J.M., Piñeros J y Rubiano D.M., 1990. "Propuesta preliminar de zonificación geotécnica para Bogotá". VI Jornadas Geotécnicas Sociedad Colombiana de Ingenieros. Sociedad Colombiana de Geotécnica. Bogotá.
- Martínez J.M. y Prieto J.C., 1992. "Características de las arcillas blandas de Santafé de Bogotá" VII Jornadas Geotécnicas y I Foro sobre la Geotecnia de la Sabana. Sociedad Colombiana de Ingenieros-Sociedad Colombiana de Geotecnia. Santafé de Bogotá.
- Pérez R, 1988. "Modelo Gravimétrico de la Cuenca de la Sabana de Bogotá, en los alrededores de Funza, Mosquera y Madrid". Tesis de Grado. Universidad Nacional. Santafé de Bogotá.
- Rivera A., Pérez R., Vásquez L., 1996. "Modelación por prospección geofísica hecha para Santafé de Bogotá". VI Congreso Colombiano de Geología. Sociedad Colombiana de Geología - INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.