

**DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS DINÁMICOS DE LOS DEPÓSITOS
ARCILLOSOS PRESENTES EN LA CALLE 127 CON AVENIDA BOYACA, EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ DC.**

CERQUERA VASQUEZ ERICCSO JAN POOL

CLEVES CAMPIÑO AURA MARIA



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

**DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS DINÁMICOS DE LOS DEPÓSITOS
ARCILLOSOS PRESENTES EN LA CALLE 127 CON AVENIDA BOYACA, EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ DC.**

.

CERQUERA VASQUEZ ERICCSO JAN POOL

CLEVES CAMPIÑO AURA MARIA

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar a:
Ingeniero Civil**

Asesor Disciplinar: Ing. Edison Garzón Montano

Asesor Metodológico: Janeth Martínez

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
4 de mayo 2015**

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE TABLAS	7
CAPITULO 1	9
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	9
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	12
CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA	13
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	13
2.2. MARCO TEORICO	16
2.2.1. PARAMETROS DINAMICOS DEL SUELO	16
2.2.1.1. MODULO DE CORTE EN SUELOS Y ENROCADOS.....	18
2.2.2. CICLOS DE HISTERESIS Y AMORTIGUAMIENTO	19
2.2.3 TEORIA DE LA PROPAGACION ONDULATORIA	21
2.2.3.1 CLASIFICACION DE ONDAS	21
2.2.3.2. VELOCIDAD DE ONDAS.....	23
2.2.4. CURVAS DINAMICAS	23
2.2.4.1. Kokusho.....	24
2.2.4.2. Seed e Idriss	24
2.2.4.3. Vucetic y Dobry	25
2.2.4.4. Ishibashi y Zhang (1993):.....	25
2.2.5 CORRELACIONES	27
2.2.6 PARAMETROS DINAMICOS	27
CAPITULO 3. DISEÑO METODOLOGICO	32
3.1. LINEA DE INVESTIGACION.....	32
3.2 SUB LINEA DE INVESTIGACIÓN	32
3.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	32

3.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.4 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	33
3.5 FASES DE INVESTIGACIÓN	34
3.5.3 FASE 3.....	34
CAPITULO 4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
4.1 FASE 1. CARACTERIZACION GEOTECNICA PRELIMINAR DE LA ZONA.	36
4.1.1 Geología	37
4.1.2 Columna estratigráfica.	41
4.1.3 Microzonificación sísmica.....	42
4.1.4 Hidrogeología.....	43
4.1.5 Topografía.	44
4.2 FASE 2.....	45
4.2.1 PERFIL DEL SUELO DE ACUERO A ENSAYO DOWN HOLE	45
4.2.3 ENSAYO SPT Y CLASIFICACION DEL PERFIL ESTATIGRAFICO.	51
4.2.3.1 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO SPT.....	51
4.2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO	56
4.2.4.1 PROCEDIMIENTO	56
4.2.4.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.....	60
4.2.4.2.1 HUMEDADES NATURALES.....	60
4.2.4.2.2 LIMITES DE CONSISTENCIA	60
4.2.4.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.5. PARAMETROS ESTATICOS	65
4.3 FASE 3. PARAMETROS DINAMICOS.....	67
4.3.1 MODULO CORTANTE G_0	67
4.4 ANALISIS DE RESULTADOS.....	77

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Relación ensayo Compresión Confinada y Ensayo triaxial.....	17
Ilustración 2 Variación ciclo de histéresis.	18
Ilustración 3 Representación hiperbólica u linealizada de la curva esfuerzo deformación.	19
Ilustración 4 Ciclo de histéresis.	20
Ilustración 5 Amortiguamientos.	21
Ilustración 6 Relación entre densidad de masa del medio y velocidad C_p	22
Ilustración 7 Curvas de degradación de modulo.....	24
Ilustración 8 Curvas de reducción de módulo de corte normalizado de arenas.	25
Ilustración 9 Curva de reducción de módulo de corte según índice de plasticidad.	25
Ilustración 10. Influencia del esfuerzo efectivo de confinamiento en el módulo de corte.	26
Ilustración 11. Rango de deformación para el cálculo de parámetros dinámicos.	28
Ilustración 12 Localidad de Suba.	30
Ilustración 13 Ubicación espacial zona de estudio.	31
Ilustración 14 Ubicación del sondeo de exploración.	35
Ilustración 15 Zona de amenaza sísmica Bogotá.	36
Ilustración 16 Falla de Bogotá.	38
Ilustración 17 Falla del piedemonte llanero.	38
Ilustración 18 Geología de la zona de estudio Calle 127 por Av. Boyacá.	39
Ilustración 19 Corte de acuerdo a ilustración 15 fallas y formaciones de incidencia en la zona de estudio.	40
Ilustración 20 Columna estratigráfica zona de estudio.	41
Ilustración 21 Zonificación geotécnica según IDIGER.	42
Ilustración 22 Mapa Topográfico Calle 127 por Av. Boyacá.	44
Ilustración 23. Grafica de Distancia vs tiempo. Autoría Propia.	47
Ilustración 24 Regresión de la gráfica profundidad vs tiempo.	47
Ilustración 25. Grafica velocidad de corte serultante Vs profundiad	48
Ilustración 26. Grafica distancia Vs tiempo. Autoría Propia	50
Ilustración 27. Ubicación del sondeo de exploración. Tomado de google maps. Modificado para efectos científicos de la presente investigación.	51
Ilustración 28. Descapote y retiro de relleno del material presente en el punto escogido para el sondeo de exploración.	52
Ilustración 29. Condición de resequedad de la primera muestra extraída en la zona de estudio.	52
Ilustración 30. Recuperación muestreador de cuchara partida.	52
Ilustración 31. Lentes de arena. Autoría propia.	53

Ilustración 32. Prueba de resistencia con penetrometro. Autoría propia.....	53
Ilustración 33. Muestreador de cuchara partida. Autoría propia.....	54
Ilustración 34. Muestras recuperadas. Autoría propia.....	54
Ilustración 35. Determinación Limite líquido. Autoría propia	56
Ilustración 36. Determinación limite líquido. Autoría propia	56
Ilustración 37. Determinación de la humedad natural. Autoría propia	57
Ilustración 38. Procedimiento limite plástico. Autoría propia.....	57
Ilustración 39 Peso sumergido. Autoría Propia	58
Ilustración 40 Proceso de parafinado de todas la muestras. Autoría Propia	58
Ilustración 41 Determinación de la gravedad especifica. Autoría Propia.	59
Ilustración 42 Grafica de humedad vs número de golpes. Autoría propia.	61
Ilustración 43 Grafica de humedad vs número de golpes. Autoría propia.	62
Ilustración 44 Grafica de la humedad Vs el numero golpes. Autoría propia.	64
Ilustración 45 Grafica de degradación de modulo para la muestra 4. Autoría Propia	69
Ilustración 46.Grafica módulo de degradación de modulo para una profundidad entre 7.1- 7.5m.Autoria Propia.	70
Ilustración 47. Grafica de degradación de modulo para una profundidad entre 10-10.5 m. Autoría propia	71
Ilustración 48. Comparación entre la curva experimental y la curva teórica para un índice de plasticidad de 163.....	72
Ilustración 49. Comparación de la curva teórica para un índice de plasticidad de 50, con el índice de plasticidad experimental de 63.Autoria Propia	73
Ilustración 50. Comparación entre la curva experimental para un índice de plasticidad de 63 y la curva teórica para un índice de plasticidad de 50.Autoria Propia.....	74
Ilustración 51. Comparación graficas curva degradación de modulo. Autoría propia.....	74

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Correlaciones de N para determinar la velocidad de onda Vs, para distintos materiales.....	27
Tabla 2 Relación de poisson.	29
Tabla 3 Sismos de mayor influencia Bogotá	37
Tabla 4 Clasificación geotécnica Calle 127 por Av. Boyacá.	43
Tabla 5 Tabla datos ensayo Down Hole.	46
Tabla 6 Vs promedio para cada tipo de estrato. Autoría Propia.....	48
Tabla 7 Clasificación del suelo de acuerdo a la velocidad Vs. Autoría Propia.....	49
Tabla 8 Clasificación del perfil de acuerdo a la velocidad Vs. Autoría Propia.....	50
Tabla 9 Perfil estratigráfico encontrado en el campo durante la ejecución del ensayo SPT. Autoría propia	55
Tabla 10 Resultados para la humedad natural. Autoría propia.	60
Tabla 11 Datos de laboratorio para el límite líquido. Autoría Propia.....	60
Tabla 12 Datos de laboratorio para el limite plástico de la muestra 2.....	61
Tabla 13 Resultados límites de consistencia muestra 2. Autoría Propia	62
Tabla 14 Datos de laboratorio para el limite liquido de la muestra 4. Autoría Propia.....	62
Tabla 15 Datos de laboratorio para el límite plástico de la muestra. Autoría Propia	63
Tabla 16 Resultados límites de consistencia muestra 4. Autoría propia	63
Tabla 17 Datos tomados en laboratorio para el limite liquido de la muestra 5. Autoría Propia.....	63
Tabla 18 Datos de laboratorio para el limite plástico de la muestra 5. Autoría propia	64
Tabla 19 Resultados límites de consistencia para la muestra 5. Autoría Propia.	65
Tabla 20 Resultados de la gravedad especifica. Autoría propia	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21 Parámetros estáticos.....	65
Tabla 22 Resultados de G0 en función del número SPT. Autoría propia.....	68
Tabla 23 Normalización módulo de corte para una profundidad comprendida entre 4.1 - 4.6 m. Autoría Propia.....	69
Tabla 24 Normalización módulo de corte para una profundidad comprendida entre 7.1- 7.5m. Autoría Propia	70
Tabla 25 Normalización módulo de corte para una profundidad entre 10-10.55 m. Autoría Propia.....	71
Tabla 26 Deformación angular promedio y normalización del módulo cortante. Autoría Propia.....	74

ANEXOS

Anexos 1 Mapa actualizado Geotécnico Bogotá D.C.	80
Anexos 2 Mapa Geológico Bogotá D.C.	80
Anexos 3 Mapa microzonificación sísmica Bogotá D.C.....	80
Anexos 4 Mapa hidrogeológico sísmica Bogotá D.C.	80
Anexos 5 Resultados de ensayos triaxial, velocidad de onda y Down Hole. Instituto de Desarrollo urbano.....	80

CAPITULO 1

1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En la actualidad Bogotá ha sufrido un proceso de urbanización desmesurado, el cual está dado en función de un aumento exponencial de la población, dado según el DANE¹ para 2015 la población de Bogotá llegara a 7.878.783 habitantes las cuales se encuentran distribuidas en las diferentes localidades de Bogotá, tal es el caso de la localidad de suba en donde conviven cerca de 1.174.736 habitantes las cuales representan el 15% del total de la población, esto genera que gran parte del territorio de la localidad de suba se vea ocupadas por estructuras residenciales, las cuales albergan un gran número de familias en un margen de 84,47 hab/hect². Esta situación genera la necesidad de una infraestructura adecuada, la cual contenga factores de seguridad que permitan salvaguardar la vida de los individuos ante un evento sísmico. Dado que en un marco histórico general en Colombia se han presentado a través del tiempo un total de 23 sismos considerables, los cuales lograron causar daños en edificaciones y muertes en personas de una manera importante, causando la muerte aproximadamente 22.063 personas, sin contar con los eventos sísmicos aislados los cuales se presentan de manera natural en todo el país, debidos al escenario de subducción presente en la costa pacífica colombiana el cual es responsable de la gran mayoría de los sismos superficiales que pueden presentarse a lo largo y ancho de país.

La situación anteriormente nombrada se vuelve aún más preocupante cuando se cruzan las variables sismo, depósitos arcillosos y vidas humanas. Tal es el caso del sector comprendido entre las calles 127 y avenida Boyacá un punto estratégico ubicado sobre un espesor de arcillas lacustres considerables, ya que estudios modernos datan que el espesor de las arcillas lacustres de Bogotá aumenta en función de la distancia a los cerros orientales hasta llegar a depósitos de 600m en el costado occidental de la ciudad³.

¹ DANE. "Proyección de población población 2005-2020"

²Secretaria del habitat " Diagnostico localidad de suba". Internet: (file:///C:/Users/user/Downloads/Diagnostico_Suba_dic2011.pdf). [con acceso el 26 de febrero]

³ Céspedes Sebastián. "o "revela que el suelo arcilloso de Bogotá, es proclive al hundimiento". En: CM&. Bogotá. D.C. 10, septiembre, 2012

Este gran espesor de arcillas quizás podría no responder de la manera más adecuada ante la llegada de las ondas de cuerpo P y S, siendo las ondas P "ondas de cuerpo que se propagan a mayor velocidad, por lo que a cualquier distancia del foco son registradas primero"⁴ y por ende las ondas S "Ondas de desplazamiento transversal a la dirección de propagación, y de velocidad menor a las ondas P"

Por los motivos anteriormente nombrados, hoy en día no solo se hace necesaria la caracterización mecánica de estos depósitos arcillosos, también es necesario generar análisis dinámicos que permitan comprender el comportamiento de los distintos materiales bajo condiciones de pequeñas, medianas y grandes deformaciones desde las cuales se obtiene los parámetros dinámicos característicos necesarios para generar estudios de respuesta sísmica para las diferentes aspectos constructivos. Bajo el escenario anterior, ¿Cuáles serían los parámetros dinámicos de los depósitos arcilloso presentes en la calle 127 con avenida Boyacá bajo la aplicación de una carga dinámica?, esta pregunta de investigación se genera en función de lo consignado en la microzonificación de Bogotá la cual es clara y enfática en mencionar, que serán necesarios estudios detallados que permitan conocer las condiciones dinámicas locales para cada zona de estudio específica.

⁴ ONDAS DE CUERPO P Y S. [en línea] <<http://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Ondas+de+Cuerpo>>

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar indirectamente los parámetros dinámicos de los depósitos arcillosos, localizados en la calle 127 con avenida Boyacá en la ciudad de Bogotá DC.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer un diagnostico geotécnico previo de la zona a través de la identificación de factores geológicos, hidrológicos, topográficos, geomorfológicos y sísmicos.
- Establecer el perfil estratigráfico típico de la zona de estudio, y sus características geotecnicas básicas.
- Establecer los parámetros de comportamiento dinámico a partir de ensayos de laboratorio y de campo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La problemática presente en la ciudad de Bogotá ha despertado muchos puntos de estudio en los cuales se ha tratado de dar una respuesta más eficiente que permita generar y construir diseños acordes con las condiciones lacustres naturales que se encuentran en la sabana de Bogotá, de acuerdo a esto, es importante aclarar que los eventos sísmicos en Colombia juegan un papel fundamental para el desarrollo de cualquier proyecto de infraestructura, debido a que el escenario crítico de subducción en las costas colombianas influye en la generación de los distintos eventos sísmicos que han sido vividos el territorio colombiano a través de los años.

En la norma NSR 10 se clasifica a Bogotá como una zona de amenaza sísmica intermedia, en donde la ocurrencia de sismos es y será un factor impredecible, generando la necesidad de caracterizar los parámetros dinámicos, con los cuales se generan estudios de respuesta sísmica que permiten comprender a ciencia cierta el fenómeno experimentado por un suelo ante la llegada de una onda sísmica. Además de lo mencionado anteriormente, este tema de estudio es importante como campo de investigación para la facultad de ingeniería civil de La Universidad La Gran Colombia, como tema de innovación, ya que en proyectos anteriores de grado no se habían analizado este tipo de variables.

Desde el punto de vista económico, necesario para garantizar la viabilidad de este proyecto de investigación se utilizarán los equipos disponibles en la Universidad La Gran Colombia, como es el caso del tubo de pared delgada shelby y demás instrumentos necesarios para la recuperación de las muestras inalteradas, así como también la máquina de triaxial necesaria para la delimitación de los parámetros dinámicos. De igual forma es importante mencionar que todos los recursos necesarios para el desplazamiento de personal estarán a cargo de los investigadores, siempre y cuando la universidad no disponga de un presupuesto mínimo para el desarrollo de la presente investigación.

CAPITULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, en la ciudad de Bogotá, se están realizando diversos modelos de comportamiento dinámico para evaluar el comportamiento sísmico de los suelos típicos de la ciudad, bajo este marco de investigación se mencionan a continuación una serie de investigaciones que sirven base investigativa para el desarrollo del presente proyecto de grado:

Para un control sísmico de la ciudad en 1997 se realizó la instalación de acelerógrafos, a través de un convenio interadministrativo entre el Fondo de prevención y atención de emergencias FOPAE, el instituto Colombiano de geología y minería e Ingeominas,⁵ adquiriendo así 30 acelerógrafos que actualmente conforman la llamada “red de acelerógrafos de Bogotá” donde algunos tienen la función del método geofísico Down Hole (profundidad de roca), y otros superficiales; de esta manera se comenzó a generar historiales sísmicos, llamados “Catalogo de eventos de la RAB” que brindan los datos generales para un sismo, como lo es la aceleración, velocidad y desplazamientos.

Posteriormente, se remonta de manera general al decreto 193 de 2006 donde se presentan especificaciones respecto a la demanda sísmica de diseño de estructuras con ayuda de los espectros de diseño y la microzonificación sísmica de Bogotá, en problema consistía que a nivel dinámico, la zonificación adoptada simplificaba el comportamiento real de los suelos, ya que en muchos casos a nivel general el suelo es homogéneo, pero de acuerdo a factores antrópicos, naturales, riesgo, esfuerzos, entre otros, genera variación en sus resultados; y como resultado se obtenía espectros de diseño que no tenían una confiabilidad uniforme para todos los periodos estructurales.⁶

De esta manera FOPAE, realizo un nuevo estudio que contiene modelos geotécnicos – geológicos, con énfasis en amenaza sísmica y señales de diseño, junto a las señales RAB, para obtener la respuesta sísmica del terreno, teniendo en cuenta las propiedades de velocidad de corte, amortiguamiento, la de

⁵ FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA. Informe final. En: Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones. Colombia, 2010. p 2.

⁶ Ibid., p. 50.

gradación del módulo de corte, resultados de ciclos de histéresis, condiciones de frontera y topografía⁷ que son estudiados para deformaciones bajas ya que para obtener un registro de deformaciones grandes, es necesario la intensidad de un sismo, ya que de esta manera el suelo deja su comportamiento lineal.

Dentro de la información sísmica se catalogó los registros de vibración ambiental del estudio, a pesar de sus limitaciones en suelo duro, brinda una caracterización superficial donde los periodos de vibración oscilan entre 0.2 y 0.6 segundos, con este procedimiento se dio publicación al mapa actualizado de zonificación geotécnica, mostrado en el anexo 1, desde el punto de vista geotécnico, la formación sabana contiene arcillas de origen lacustre de consistencia blanda y en la formación Subachoque como arcillas arenosas de origen aluvial.⁸

Con estos datos existió otra unión entre la asociación de ingeniería sísmica, Asociación Colombiana de Geotecnia y la universidad de los Andes, los cuales realizaron modelaciones de respuesta unidimensionales en 169 partes de la ciudad, junto a sus respectivas curvas de degradación y amortiguamiento calculadas para los diferentes depósitos. Con estas modelaciones y resultados, se modificó los espectros de respuesta de la microzonificación sísmica de 1997 así como de detalle detalles mínimos de los dados en el decreto 194 de 2006, teniendo como conclusión los siguientes suelos homogéneos:

- **Roca o zona montañosa:** Arenisca, arcillolitas y su deformación depende de su humedad.
- **Piedemonte o conos de deyección:** Se compone por materiales que se han transportado y depositado en forma de cono o abanico, predomina material granular.
- **Suelos duros:** Arcillas pre consolidadas, origen aluvial.
- **Suelos blandos:** Arcillas blandas, origen lacustre.
- **Ronda de ríos y humedales:** Pertenecen los cuerpos de agua, humedales y zonas de inundación.⁹

Para clasificar de esta manera el suelo, se tuvo en cuenta su comportamiento geomecánico, dividiendo inmediatamente los tipos de roca entre areniscas, arcillolitas, teniendo mejor comportamiento las areniscas, por otro lado, en las zonas de piedemonte la geometría y pendiente fueron típicas para su clasificación junto a la

⁷ Ibid., p. 75.

⁸ Ibid., p. 62

⁹ SCG SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA. Modelo Geotecnico de la La Sabana de Bogota y caracterizacion dinamica bidimensional de los suelos de Bogota. En: Convenio administrativo FOPAE –SGC No 460 de 2006. Bogota, Colombia, 2007. p. 10.

presencia de material granular, que fueron modeladas de manera bidimensional por la Sociedad Colombiana de Geotecnia para obtener la variación superficial de la aceleración máxima.¹⁰

¹⁰ Ibid., p. 12.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. PARAMETROS DINÁMICOS DEL SUELO

Para determinar el comportamiento de un suelo durante la ocurrencia de un sismo, Es necesario tener en cuenta las propiedades dinámicas. Las cuales brindan como resultado una caracterización dinámica completa. Entre los parámetros dinámicos característicos podemos encontrar:

- Módulo dinámico equivalente de Young
- Módulo dinámico al esfuerzo cortante, G
- Módulo dinámico de deformación volumétrica, K
- Relación de Poisson, ν
- Amortiguamiento, ζ
- Propiedades esfuerzo-deformación
- Parámetros de licuación
- Resistencia al esfuerzo cortante en función de la velocidad de aplicación de la carga.¹¹

Para obtener el análisis de estos parámetros, se pueden realizar tres diferentes tipos de ensayos, torsión cíclica, columna resonante y triaxial cíclico, en estos ensayos se pretende obtener datos como módulo de Young (E), relación entre el esfuerzo y la deformación axial, amortiguamiento y modulo cortante (G).

Los rangos aproximados de aplicabilidad de los ensayos son:

- Torsión (10^{-3} a 5)%
- Triaxial Cíclico (10^{-2} a 5)%
- Columna resonante (10^{-4} a 10^{-2})¹²

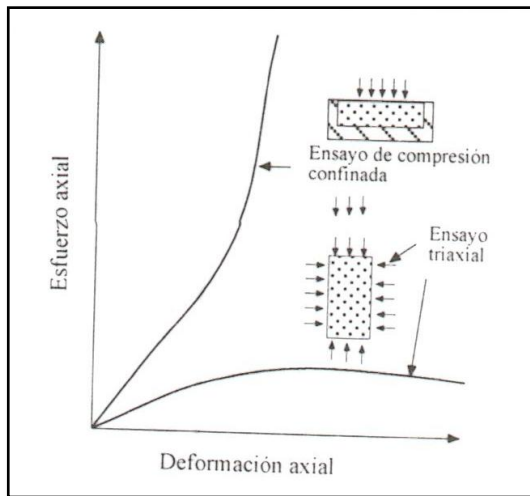
Siendo entre estos el de torsión más aplicable por su economía y por disminuir en buen grado la incertidumbre pero presenta una gran dificultad relacionada con la obtención de parámetros bajo grandes deformaciones, además de esto, en términos de análisis dinámico ofrece mejor cobertura ya que típicamente se realiza el ensayo de compresión confinada, donde se da una relación general de

¹¹ DIAZ, Jorge A. Caracterización dinámica de los suelos – Ensayos de campo y laboratorio. En: Curso de actualización en ingeniería sísmica y dinámica de suelos. México, 2013. p. 6-11.

¹² SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 474

esfuerzos, mientras en el ensayo triaxial se ejerce una deformación con mayor control, presión de cámara y simulación bajo la condición deseada; de esta manera se obtiene datos reales del suelo bajo sismo, realizando así diseños óptimos de prevención en caso de catástrofe, como se muestra en la ilustración 1.

Ilustración 1 Relación ensayo Compresión Confinada y Ensayo triaxial.



Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 475

Dentro del comportamiento general de los suelos, se obtiene que para bajas deformaciones, su esfuerzo deformación es lineal, con un pequeño porcentaje visco- elástico, este comportamiento se da para deformaciones menores a 10^{-5} , desde este punto a 10^{-3} la gráfica se representa NO lineal, a medida que aumenta la deformación y progresivamente el suelo pasa a ser plástico, como se muestra en la ilustración 3.

Para el cálculo de los parámetros dinámicos, se utiliza:

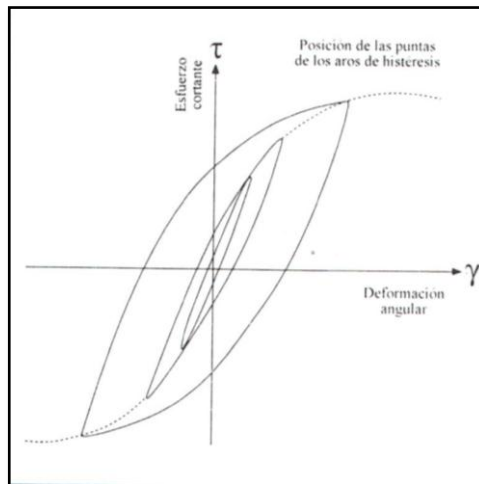
$$\text{Módulo de corte}$$

$$G = \frac{E}{2 + (1 + \nu)}$$

Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 475

Siendo ϑ 0.5 en caso del suelo encontrarse saturado.¹³

Ilustración 2 Variación ciclo de histéresis.



Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 476

2.2.1.1. MODULO DE CORTE EN SUELOS Y ENROCADOS

En este punto es necesario recalcar que el modulo cortante y la capacidad de amortiguamiento depende 100% de la deformación.

Las relaciones esfuerzo contra deformación de tipo hiperbólico representan de un modo razonablemente aproximado la no linealidad, es decir, la dependencia del esfuerzo y la inelasticidad. Por la condición plana, la relación hiperbólica es:¹⁴

Relación hiperbólica esfuerzo – deformación

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{\varepsilon}{\left[\left(\frac{1}{E_i} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} \right)_{ult} \right]}$$

Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 475

¹³ V SEMINARIO COLOMBIANO DE GEOTECNIA, (5: 10-13, Agosto, 2004: Paipa, Colombia). Memorias. Bogotá: Universidad Javeriana, 2004.

¹⁴ DUNCAN, J.M.; BYRNE, PETER; WONG, KAI; MABRY, PPHILLIP. Strength, Stress – Strain and bulk modulus parameters for finite element analysis of stresses and movements in soil masses, University of California, Berkeley. "Citado por." SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 491.

En esta ecuación:

σ = Esfuerzos normales principales.

ε = Cambio de volumen.

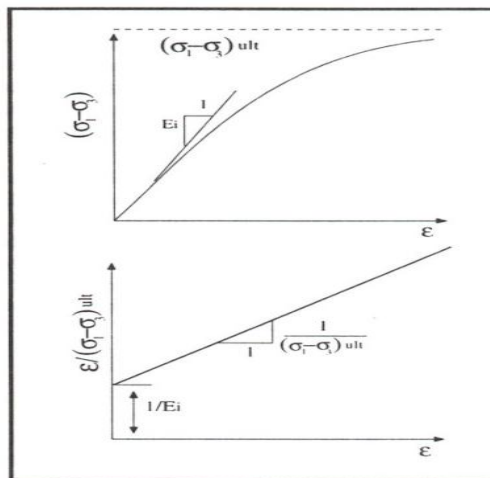
E_1 = Modulo de tangente inicial.

$\sigma_1 - \sigma_3$ = Valor asintótico de la diferencia de esfuerzos.

Este efecto se puede evidenciar en la ilustración 2 anteriormente nombrada.

A continuación en la ilustración 3 se detalla la representación tanto lineal como hiperbólica de la curva esfuerzo deformación, para suelos duros, como las arenas de mayor densidad, los puntos aparecen como una suave curva con concavidad hacia arriba, mientras los blandos se representan con concavidad hacia abajo.

Ilustración 3 Representación hiperbólica u linealizada de la curva esfuerzo deformación.



Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 482.

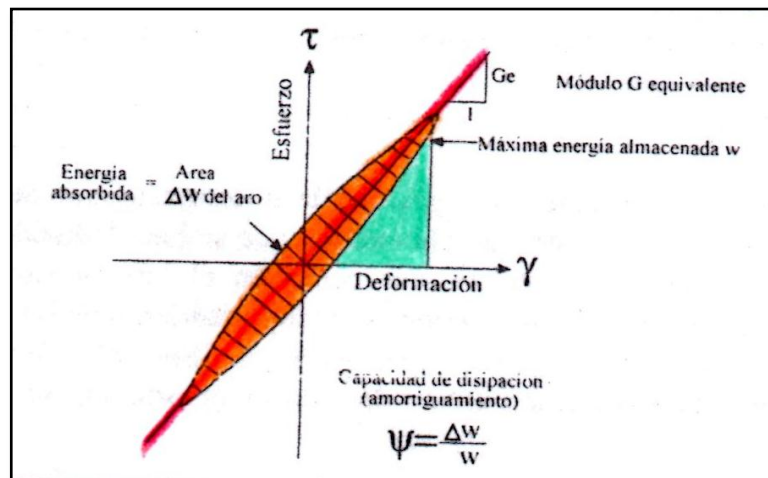
Los suelos de regiones volcánicas, y los suelos residuales, tienen características que no son recomendables para caracterizar, ya que se muestra que varían en cierto grado y sus ensayos son limitados.

2.2.2. CICLOS DE HISTERESIS Y AMORTIGUAMIENTO

Con el uso de estos ensayos, también se obtiene las curvas de histéresis, representada en la ilustración 4, donde el ciclo se representa de manera ideal, se observa el modulo G equivalente como la pendiente de la línea que une los extremos del ciclo (color rojo), definiendo también otra propiedad del llamada amortiguamiento, siendo esta la capacidad del suelo para disipar la energía en los procesos de carga y descarga, se denota la formación del ciclo de histéresis de acuerdo al esfuerzo y deformación del suelo, permitiendo relacionar el

amortiguamiento (D) de la siguiente manera: (se representa el área del ciclo de histéresis color naranja y el área de máxima energía elástica color verde)

Ilustración 4 Ciclo de histéresis.



Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 477

El valor del amortiguamiento es dependiente del valor de la deformación máxima que se alcanza en cada ciclo del ensayo; el primer ciclo de histéresis se denota lineal, y medida que aumenta la deformación angular, se aprecia el cambio en el ciclo dando a entender la disipación de energía del ensayo, y el modulo G Siendo la pendiente de la línea que une los dos extremos del ciclo de histéresis, por lo tanto se puede notar que entre mayor sea la deformación, mayor área el ciclo de histéresis, menor el valor de G y finalmente, en cuanto a la capacidad de disipación de energía por ciclo, el suelo no la pierde, ya que durante el ensayo, él está manteniendo los esfuerzos normales, verticales y horizontales.

Amortiguamiento

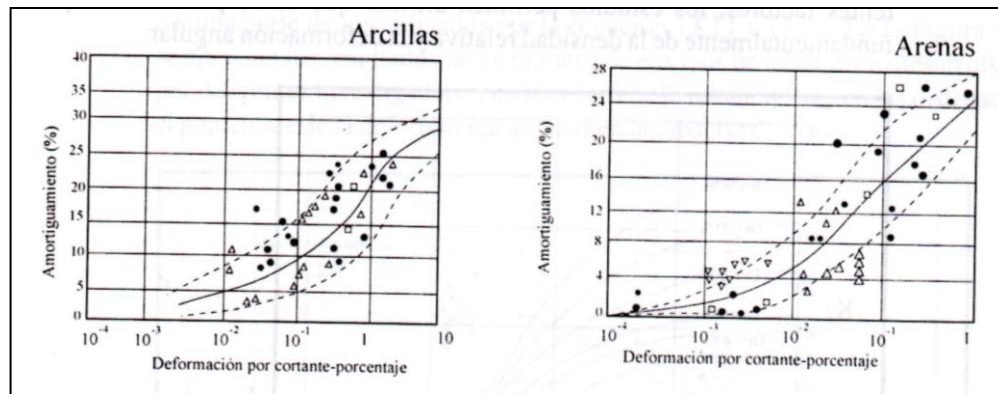
$\text{Amortiguamiento} = \frac{\text{Area ciclo de histeresis}}{\text{Area maxima energia elastica}}$
--

Recuperado de V SEMINARIO COLOMBIANO DE GEOTECNIA, (5: 10-13, Agosto, 2004: Paipa, Colombia). Memorias. Bogotá: Universidad Javeriana, 2004.

En el caso del amortiguamiento, se puede evaluar de manera crítica con ayuda de la ilustración 5 donde el porcentaje critico se define a partir de las arcillas u arenas saturadas en términos de la deformación angular, estos valores se utilizan

comúnmente de manera preliminar ya que es aconsejable siempre tener los valores reales para cada material, en este caso, el amortiguamiento, crece rápidamente con la deformación, pero para deformaciones mayores el crecimiento desacelera.¹⁵

Ilustración 5 Amortiguamientos.



Recuperado de SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 482

En el caso de los suelos de sur américa, no se encuentran datos de comportamiento dinámico, por ende no se puede dar resultados de manera ciega a pesar de que a nivel general los suelos presentan respuestas similares.

2.2.3 TEORIA DE LA PROPAGACIÓN ONDULATORIA

El suelo presente en la calle 127 por Av. Boyacá, es un medio elástico, el cual está sujeto a la liberación de esfuerzos, los cuales producen la propagación de distintos pulsos de onda interna y externa, las cuales pueden llegar a afectar el estado natural del suelo presente en dicha zona.

2.2.3.1 CLASIFICACION DE ONDAS

Existen dos tipos de ondas las cuales pueden llegar afectar la condición elástica del suelo presente en la zona de estudio, Alberto Sarria nos presenta la siguiente clasificación referente a las ondas internas las cuales se subdividen en “compresionales llamadas ondas P que se desplazan con una mayor velocidad que las ondas S y tienen unos periodos más cortos; en cambio las ondas S son portadoras de mayor energía por tener mayor amplitud”¹⁶ por último se encuentran

¹⁵ SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995. p. 481

¹⁶ SARRIA MOLINA, Alberto. Métodos Geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil. Bogotá D.C: ediciones uniandes, 1996. p. 24

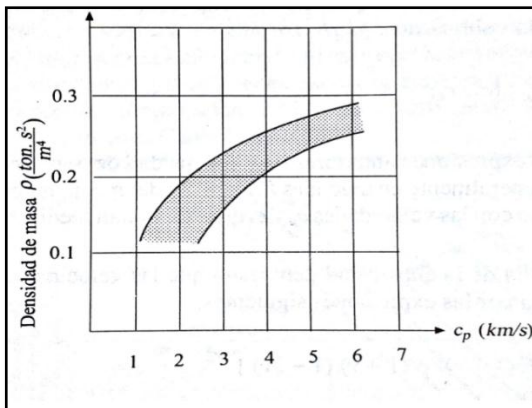
las ondas superficiales la cuales son divididas por Alberto sarria en “ ondas reyleigh, llamadas ondas R y ondas love, denominadas ondas L”¹⁷, las ondas mencionadas anterior mente presentan velocidades similares a las de las ondas S, pero no generan un grado de importancia en cuanto al nivel destructivo en el contacto con un medio elástico como lo es el suelo.

La propagación de los diferentes tipos de ondas mencionados anteriormente, a través de un medio elástico está condicionada estrictamente por las propiedades mecánicas que estos puedan presentar, es decir que al conocer la velocidad de propagación de una onda a través de un medio elástico conocido, podrá llegar a determinarse las propiedades elásticas características de dicho material. Bajo esta condición mencionada anteriormente es importante aclarar que:

Dado que la velocidad C_p en el agua es bastante alta, los materiales blandos y saturados tienden a transmitir el estado de esfuerzos por el medio líquido; por esta razón, se pueden presentar grandes incertidumbres asociadas a la evaluación de las ondas P para los materiales saturados, especialmente en el caso de empleo en la geotecnia.¹⁸

Lo mencionado anteriormente quiere decir que cuanto más firme o denso sea el material, más grande será la velocidad de la onda P, o en orden inverso cuanto mayor sea la velocidad V_p mayor será la densidad del material, dicha relación se observa en el siguiente Abaco (ilustración 6)

Ilustración 6 Relación entre densidad de masa del medio y velocidad C_p .



SARRIA MOLINA, Alberto. Métodos Geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil. Bogotá D.C: ediciones UNIANDES, 1996. p. 27

¹⁷ Ibid., p. 24

¹⁸ Ibid., p. 25

2.2.3.2. VELOCIDAD DE ONDAS.

La velocidad de las ondas V_p y V_s está dada en función de los parámetros elásticos como lo son. El módulo de corte, la relación de Poisson, módulo de rigidez al cortante y la densidad característica del suelo, tal y como puede observarse en las siguientes ecuaciones.

Velocidad de onda	
$C_p = [E (1-\nu)/\rho (1+\nu) (1-2\nu)]^{1/2}$	1.
$C_s = [G/\rho]^{1/2}$	2.

Recuperado de SARRIA MOLINA, Alberto. Métodos Geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil. Bogotá D.C: ediciones uniandes, 1996. p. 121

Es importante aclarar que según Alberto Sarria, “la velocidad ondulatoria indicada corresponde a la velocidad de la transmisión de la energía elástica y no debe confundirse con la velocidad de las partículas del medio trasmisor que es varios órdenes de magnitud mayor”¹⁹

2.2.4. CURVAS DINÁMICAS

La curva de degradación del módulo, es una presentación del módulo secante dividido por el modulo cortante máximo en función de la deformación cortante.²⁰ Dentro de sus funciones esta mostrar de manera practica el comportamiento dinámico del suelo, a continuación se muestra la configuración básica en la gráfica 7, donde se muestra su comportamiento de acuerdo a la deformación, donde el suelo pasa de ser elástico a plástico, en este orden, las deformaciones serian, pequeñas: (10^{-6} - 10^{-5}), medianas (10^{-5} - 10^{-3}) y grandes (10^{-3} - 10^{-2})²¹ y como caso especial el punto elasto- plástico (10^{-4} y 10^{-3}).

¹⁹ SARRIA MOLINA, Alberto. Métodos Geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil. Bogotá D.C: ediciones uniandes, 1996. p. 121

²⁰ ORTIZ, Maria. GAITAN, Juan Felipe. CAMACHO, Javier. Modelo unificado de curvas de degradacion del modulo cortante en arenas del ría Guayaruba. [en linea] <http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200010&lng=es&nrm=iso>[citado en 24 de Febrero de 2015]

²¹ VUCETIC, M., Cyclic threshold shear strain in soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 120(12), pp. 89-107, 1994.

Ilustración 7 Curvas de degradación de modulo.



Recuperado de ORTIZ, Maria. GAITAN, Juan Felipe. CAMACHO, Javier. Modelo unificado de curvas de degradación del módulo cortante en arenas del río Guayaruba. [en línea] <http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200010&lng=es&nrm=iso>

2.2.4.1. Kokusho en 1980 presentó un conjunto de resultados experimentales de ensayos efectuados sobre arena de Toyoura,²² donde muestra como el módulo normalizado (G/G_0) decrece a medida que la deformación cortante (G) se incrementa.

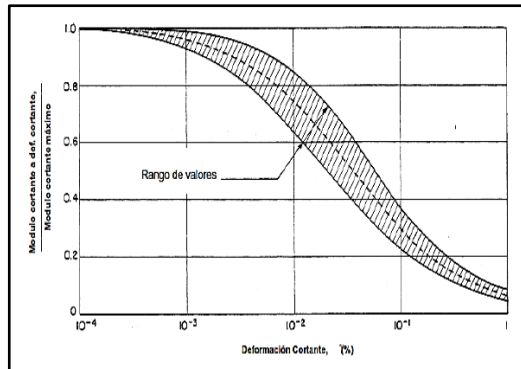
Existen diversos tipos de curvas para representar el módulo de corte y la razón de amortiguamiento de un suelo, teniendo en cuenta también que por cada tipo de suelo, existe variación en la curva.

2.2.4.2. Seed e Idriss (1970); Proponen curvas de la razón de $G/G_{m\acute{a}x}$. En función de distintos niveles de deformación cortante para suelos granulares.²³ Esta grafica se demuestra por 3 curvas, lower (curva inferior), upper (curva superior), y average (curva promedio) que varían de acuerdo a la deformación, mostrado en la ilustración 8.

²² KOKUSHO, T., Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range, Soils and Foundations, vol. 20(2), pp. 45-60, 1980.

²³ BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Comparación de curvas del módulo de corte con resultados triaxiales cíclicos y análisis de respuesta dinámica. [en línea] <<http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODOLOCORTE.pdf>> [citado en 24 de Febrero de 2015]

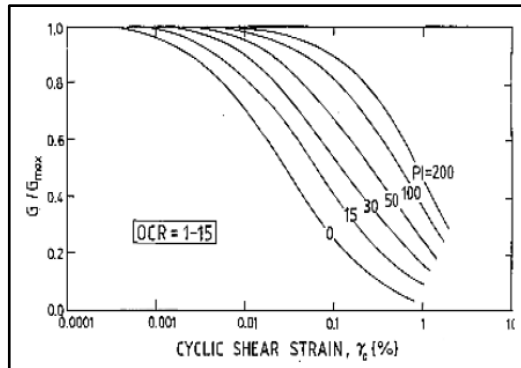
Ilustración 8 Curvas de reducción de módulo de corte normalizado de arenas.



Recuperado de BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Comparación de curvas del módulo de corte con resultados triaxiales cíclicos y análisis de respuesta dinámica. [en línea] <
<http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files>

2.2.4.3. Vucetic y Dobry (1991): en esta curva se propone las curvas de reducción de módulo de corte normalizada y razón de amortiguamiento en función del índice de plasticidad, como se muestra en la ilustración 8.

Ilustración 9 Curva de reducción de módulo de corte según índice de plasticidad.



Recuperado de BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Comparación de curvas del módulo de corte con resultados triaxiales cíclicos y análisis de respuesta dinámica. [en línea] <
<http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODULOCORTE.pdf>>

2.2.4.4. Ishibashi y Zhang (1993): Estos autores no proponen una curva sino directamente una ecuación, siendo esta:

Curva Ishibashi y Zhang

$$\frac{G}{G_{\max}} = k(\gamma) \bar{\sigma}_0^{m(\gamma) - m_0}$$

Recuperado de BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Compracion de curvas del modulo de corte con resultados triaxiales ciclicos y analisis de respuesta dinamica. [en linea] < <http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODULOCORTE.pdf>. >

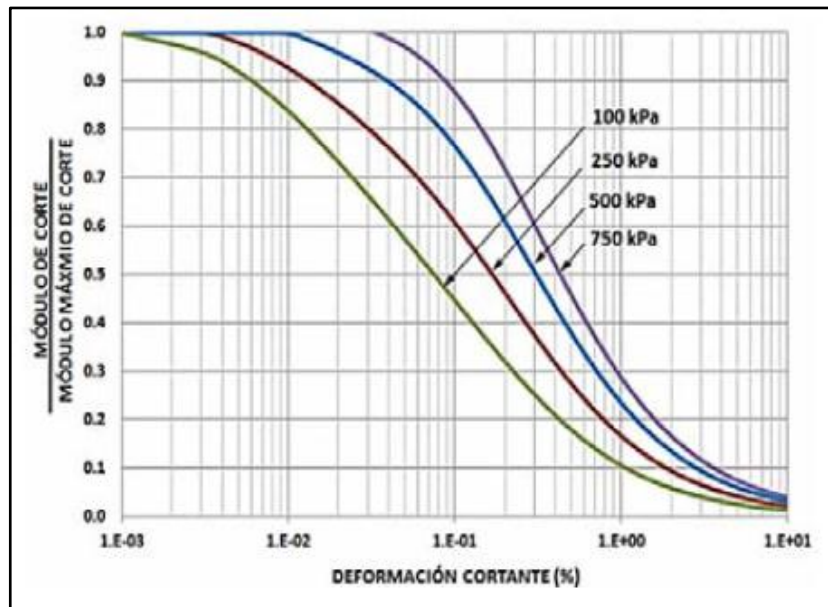
Dónde:

$K(\gamma)$ = Función decreciente de la deformación critica de corte.

$m(\gamma)$ = Función decreciente de γ .²⁴

Para ellos, dentro de la gráfica es considerado el esfuerzo efectivo de confinamiento como uno de los principales factores que influyen en la curva $G/G_{\max}$, lo cual es demostrado en la siguiente ilustración para curvas de; módulo de corte con valores de esfuerzos de confinamiento efectivo de 100, 250, 500 y 750kPa, a medida que el esfuerzo aumenta, la curva se desplaza a la derecha.

Ilustración 10. Influencia del esfuerzo efectivo de confinamiento en el módulo de corte.



. Recuperado de BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Compracion de curvas del modulo de corte con resultados triaxiales ciclicos y analisis de respuesta dinamica. [en linea] < <http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODULOCORTE.pdf>. >

²⁴ BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Compracion de curvas del modulo de corte con resultados triaxiales ciclicos y analisis de respuesta dinamica. [en linea] < <http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODULOCORTE.pdf>. >[citado en 24 de Febrero de 2015]

2.2.5 CORRELACIONES

Con el fin de generar unos parámetros estimativos de las velocidades de onda S y P, a partir del número N resultante de la ejecución de los ensayos Spt, se presentan a continuación las correlaciones más relevantes.²⁵

Tabla 1 Correlaciones de N para determinar la velocidad de onda Vs, para distintos materiales.

Investigadores	Ecuación	Observaciones
Imai y Yoshimura (1970)	$V_s = 76N^{0.33}$	
Ohba y Toriumi (1970)	$V_s = 84N^{0.31}$	
Imai (1977)	$V_s = aN^b$	a=102, b=0.29 Arcilla Holoceno a= 81, b=0.33 Arena Holoceno a=114, b=0.29 Arcilla Pleistoceno a= 97, b=0.32 Arena Pleistoceno
Ohta y Goto (1978)	$V_s = 85.34N^{0.348}$	Para todo tipo de suelo
Okamoto <i>et al.</i> (1989)	$V_s = 125N^{0.3}$	Arena del Pleistoceno
Japan Road Association (2002)	$V_s = 80N^{1/3}$ $V_s = 100N^{1/3}$	Arenas Arcilla
Vs=velocidad de ondas de corte en m/s; N=numero de golpes del SPT		

Recuperado de <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/viewFile/1964/1830>

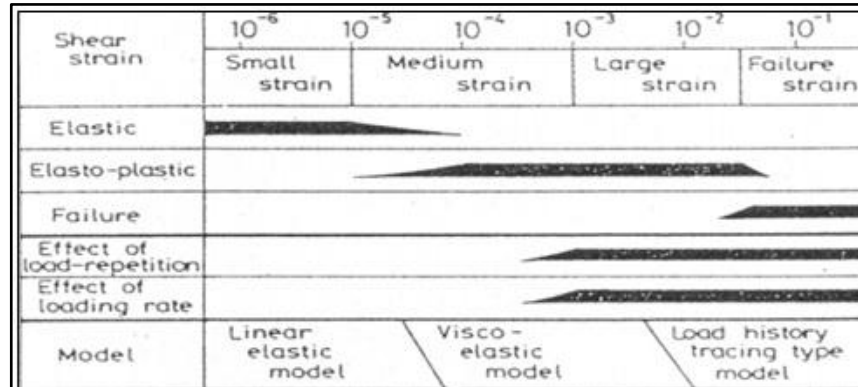
Las correlaciones mencionadas anteriormente son fundamentales para el desarrollo metodológico del presente proyecto de grado, ya que indirectamente permitirían encontrar la velocidad de onda S, necesaria para la delimitación de algunos de los parámetros dinámicos.

2.2.6 PARAMETROS DINÁMICOS

Con el fin de determinar indirectamente los parámetros dinámicos de los depósitos arcillosos en la calle 127 con avenida Boyacá, es necesario aclarar el rango de deformaciones para el cual se calculan los parámetros dinámicos de los suelos.

²⁵ ALFARO CASTILLO, Andrés José, "Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá – Colombia". Internet: (<http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/viewFile/1964/1830>)

Ilustración 11. Rango de deformación para el cálculo de parámetros dinámicos.



Recuperado de: M Rodríguez. Los suelos. [en línea] < file:///C:/Users/user/Downloads/36067-6%20(1).pdf>.

En función de las deformaciones anteriormente mostradas, para las correlaciones que se utilizaran para el cálculo de los parámetros dinámicos trabajaran en un rango de 10⁻⁵, en el cual “Se utilizan modelos elásticos y el parámetro más adecuado para caracterizar el suelo es Gmax”²⁶. Donde el Gmax se calcula como:

Correlación para Gmax

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

M Rodríguez. Los suelos. [en línea] < file:///C:/Users/user/Downloads/36067-6%20(1).pdf>.

Para la correlación mostrada ρ hace referencia a la densidad natural del suelo y v_s a la velocidad de la onda s, la cual se puede obtener por métodos directos o indirectos, las unidades de Gmax son masa por longitud⁻¹ por tiempo⁻².

2.2.6.1 RELACION DE POISSON

Para el cálculo de la relación de poisson se utilizara el tabla propuesta por M rodríguez.

²⁶ : M Rodríguez. Los suelos. [en línea] < file:///C:/Users/user/Downloads/36067-6%20 (1).pdf>.

Tabla 2 Relación de poisson.

Tipo de material	Ratio de Poisson ν
Arcilla	0.4-0.45
Arena	0.30-0.40
Roca	0.15-0.25

M Rodríguez. Los suelos. [en línea] < file:///C:/Users/user/Downloads/36067-6%20(1).pdf>.

2.3 MARCO GEOGRAFICO

El punto de estudio se encuentra ubicado en la calle 127 con avenida Boyacá, esta intercepción pertenece a la localidad de Suba, ubicada en el noroccidente de la ciudad de Bogotá, limitando al norte con Chía, al sur con la localidad de Engativá, al oriente con la localidad de Usaquén y al occidente con el municipio de cota,²⁷ como se muestra en la ilustración 11, es la localidad número 11 de Bogotá, agrandes rasgos está dividida en un total de 1162 barrios³ los cuales se encuentran organizados en 12 upz y posee “una extensión de 10.058,2 hectáreas (Ha), de las cuales la mayor parte corresponde a suelo urbano 6.270,74 Ha”²⁸. Dentro de las UPZ, se encuentra la UPZ #24 NIZA, siendo la más extensa con 757Ha, equivalente al 12% de la localidad.²⁹

Ilustración 12 Localidad de Suba.



Recuperado de LOCALIDAD DE SUBA. [en línea]. <<https://sites.google.com/site/localidadessuba/>> [citado en 19 de marzo de 2015]

²⁷ DIAGNOSTICO LOCALIDAD DE SUBA. Sector hábitat. [en línea] <www.habitatbogota.gov.co> [citado en 19 de marzo de 2015]

²⁸ SECRETARIA DEL HABITAD. “Diagnóstico de la localidad de suba- sector habitad 1 ”.[libro en línea] Disponible desde internet en: < a_dic2011.pdf>[con acceso el 21-02-2015]

²⁹ LOCALIDAD DE SUBA: SECRETARIA DISTRITAL DE GOBIERNO. [en línea]. <http://www.gestionycalidad.org/infosuba/?bloque=contenido2&id=35&id_item=31&id_menu=2&name=2.%20Aspectos%20F%EDsicos%20y%20Geogr%E1ficos> [citado en 19 de marzo de 2015]

Esta UPZ, así mismo se encuentra conformada por diversos corredores viales como la Avenida Alfredo Bateman (Carrera 60), Avenida Boyacá (futuro sistema transmilenio), Avenida el Rincón, Avenida Rodrigo Lara Bonilla (Calle 127), Camino el Prado (Calle 138), Avenida Iberia (Calle 134), Avenida Córdoba (Carrera 46) y avenida villas (Carrera 46).³⁰ En la localidad se puede observar que está conformada por sector residencial, constituida por diversos proyectos de vivienda, apoyado en superficies comerciales ubicadas principalmente en la Avenida Iberia Calle 134 y la Avenida Boyacá.

A continuación se presente la ubicación espacial de la calle 127 por avenida Boyacá con ayuda de imágenes satelitales tomadas de google earth, donde se señala de color rojo el sitio puntual de estudio, ubicado entre dos arterias viales importantes, sector residencial.

Ilustración 13 Ubicación espacial zona de estudio.



Recuperado de GOOGLE EARTH. Modificado para efectos científicos de la presente investigación.

³⁰ BOGOTÁ D.C. ALCALDIA MAYOR. Decreto 175 (31, Mayo, 2006). Por el cual se reglamenta la unidad de planeamiento zonal (UPZ) No. 24, NIZA, ubicada en la localidad de Suba. Bogotá: Alcaldía. 2006. 26p

CAPITULO 3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1. LINEA DE INVESTIGACION.

El presente trabajo de investigación se acoge a los lineamientos prácticos y teóricos generales, establecidos la Universidad la Gran Colombia en la línea de investigación delimitada como suelos y geotecnia, ya que la variable sobre la cual se determinaran los parámetros dinámicos es el suelo.

3.2 SUB LINEA DE INVESTIGACIÓN.

Para dar respuesta a los efectos experimentales necesarios para la ejecución del presente trabajo, se toma como sub línea de investigación la dinámica de suelos, ya que para abordar los parámetros dinámicos es necesario salir de la mecánica clásica de suelos e interactuar con nuevas variables como es el caso de las ondas de cuerpo, relación de amortiguamiento y el módulo de corte, las cuales no son tenidas en cuenta dentro de la mecánica clásica de suelos.

3.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proceso de investigación que se adelantara sobre los depósitos arcillosos ubicados en la calle 127 con avenida Boyacá. Se realizara desde un enfoque deductivo desde el cual se reconocerán parámetros básicos desde la ejecución de ensayos y correlaciones indirectas.

3.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Con base en la problemática y la línea y sub línea de investigación asumida para el proceso de investigación que se adelantara sobre la calle 127 con avenida Boyacá se asume una investigación netamente experimental y deductiva, debido a que la medición de los parámetros dinámicos, necesitan de un proceso netamente experimental que permita la obtención de dichos parámetros numéricos con exactitud.

3.1.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN

La información de necesaria para el desarrollo investigativo del presente proyecto se recolectara de diferentes medios y en distintas formas, como primera instancia se hace necesaria la información geotécnica preliminar del sitio de estudio, “geología, geomorfología, hidrología etc.” Para lo cual se utilizara la base de datos virtual que brinda el Ingeominas, desde la cual se recolectaran informes y mapas de caracterización necesarios para esta fase del proyecto.

Como segunda instancia se recolectaran muestras inalteradas en campo con ayuda de un muestreador shelby de pared delgada, con el cual se ejecutara un sondeo de exploración hasta una profundidad de 15 m para los cuales se recolectaran muestras necesarias para caracterizar el material presente en la zona.

Como tercer y último instrumento se utilizara la biblioteca virtual del IDU, desde la cual se recuperó un ensayo triaxial cíclico de la zona necesario para la generación de la curva de caracterización típica del suelo, presente en la calle 127 con avenida Boyacá tal y como lo data la teoría.

3.4 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

En cuanto al análisis de la información necesaria, se clasificara de la siguiente manera, los planos y memorias recuperadas del Ingeominas se clasificaran de acuerdo a la zona de influencia sobre la zona de estudio, es decir en términos de variables específicas como: fallas geológicas, puntos hidrológicos, se tomaran en cuenta aquellas que puedan generar una influencia directa sobre la zona de estudio.

En cuanto a la información de campo se recogerán muestras de suelo de acuerdo al cambio en los materiales que se pueden presentar en el momento de la ejecución del ensayo, tales cambios pueden reflejarse en color, en la textura y otras características que pueden ser observadas directamente.

Por ultimo para los registros de los ensayos triaxiales cíclicos recuperados se clasificara la información en tablas, con las cuales se calcularan los promedios para cada parámetro resultante de las curvas de histéresis, de igual forma se calcularan los ensayos Down Hole encontrados para la zona de estudio.

3.5 FASES DE INVESTIGACIÓN

3.5.1 FASE 1.

Como primera instancia se realizara un reconocimiento geotécnico preliminar del sitio escogido, el cual permitirá evaluar la influencia de parámetros geológicos, hidrológicos, topográficos, geomorfológicos, antrópicos y la actividad Sísmica, los cuales tienen influencia directa en los parámetros dinámicos depósitos arcillosos escogidos de la zona de estudio.

3.5.2 FASE 2.

Se realizara la exploración del subsuelo en la zona de estudio escogida anteriormente, para lo cual se ejecutara un único sondeo, el cual se realizara hasta una profundidad de 15m de los cuales se recuperara muestras representativas para cada cambio de material registrado durante la ejecución del respectivo sondeo, la ubicación del sondeo puede observarse en la ilustración 14 .

Posteriormente a la ejecución de la recuperación de las muestras, se efectuarán los ensayos de laboratorio básicos, humedad natural, limite líquido y limite plástico, con los cuales se clasificara el material y elaborara un perfil típico para la zona de zona de estudio.

3.5.3 FASE 3.

En esta fase se determinaran los parámetros dinámicos del suelo presente en la zona de estudio desde tres aspectos diferentes:

1. Como primera instancia se determinaran los parámetros dinámicos, a partir de los datos de IP obtenidos en la fase 2 realizando las correlaciones mencionadas en el marco teórico las cuales permiten delimitar parámetros dinámicos de forma indirecta.
2. Como segunda instancia se calcularan las velocidades de onda a partir de los registros de los ensayos Down Hole, registrados para la zona de estudio con los cuales se podrá clasificar el perfil del suelo en contraposición con lo consignado en la norma NSR10. y el perfil generado en la fase 2 a partir de la clasificación a través de los límites de consistencia.

3. Como tercera instancia se relacionaran los valores del índice de plasticidad con reducción de módulo de corte normalizada y razón de amortiguamiento, lo que permitirá generar una curva dinámica típica con la cual se analiza el comportamiento dinámico del suelo, y su relación con las correlaciones existentes.

Ilustración 14 Ubicación del sondeo de exploración.



Recuperado de Google earth. Modificado para efectos científicos de la presente investigación.

CAPITULO 4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 FASE 1. CARACTERIZACION GEOTECNICA PRELIMINAR DE LA ZONA.

En esta fase, de manera detallada se observa la geología, geomorfología, geotecnia, hidrogeología, topografía, del sitio de estudio, teniendo en cuenta su posicionamiento en el país, influencia en el, junto a la norma NSR – 10 disponible para la clasificación, y algunos detalles preliminares realizados por diferentes entidades.

Colombia, a nivel nacional es una zona que se encuentra en un alto grado de riesgo sísmico, influenciada por tres placas tectónicas, Nazca, Caribe y finalmente la placa suramericana, por ende tenemos una gran actividad sísmica en diferentes partes del país, además de tener una geología joven que aumenta el grado de vulnerabilidad con respecto a otros continentes, estas actividades se encuentran clasificadas en la norma NSR- 10, de acuerdo a las fallas de cada zona y su ubicación respecto a las placas continentales y los sismos que han ocurrido a nivel histórico, de acuerdo a estas características la norma brinda la siguiente clasificación en la ilustración 15 sísmica del país, brindando coeficientes de aceleración para cada una de ellas, Bogotá al ser la capital y estar cercana a la franja de alta amenaza ha recibido un valor de 0.2.

Ilustración 15 Zona de amenaza sísmica Bogotá.



Recuperado de MONTANA, Lucas. Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico. Proyecto de grado magister en Ingeniería civil. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2005. 80p.

4.1.1 Geología

Bogotá, en su geología posee una de las fallas más importantes del país, “falla del piedemonte llanero”,³¹ una de las mayores generadoras de sismos importantes como se resaltan en la tabla 1,

Tabla 3 Sismos de mayor influencia Bogotá

Ano	Epicentro	Intensidad de Mercalli
1973	Páramo de Chingaza	VII
1785	Páramo de Chingaza	VIII
1826	Sopó	VII
1827	Timaná Huila	VIII
1917	Páramo de Sumapaz	VIII
1923	Paratebueno	VII
1967	Los Cuachos	VII

Recuperado de MONTANA, Lucas. Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico. Proyecto de grado magister en Ingeniería civil. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2005. 80p.

Según el mapa geológico de Bogotá D.C, la ciudad se ve influenciada por diversas formaciones y fallas geológicas, que conllevan a un peligro inminente de sismo, unas teniendo más influencia que otras como se muestra a continuación:

- Falla de piedemonte llanero: Configurado geomorfológicamente por el sistema de fallas de la falla frontal de la cordillera oriental, (Ilustración 17) es el límite entre el bloque Andino y la placa Suramericana, es una zona de alta movilidad tectónica, por el empuje de la placa Nazca hacia la placa Suramérica.³²
- Escarpe de Monserrate: Escarpe de falla, que se encuentra erosionado, se levanta abruptamente del nivel general de la ciudad a 2600m, 7km al S altura de 370m en el cerro el cable, luego 408m en Monserrate y 306 Guadalupe, finalizando en Usaquén.³³

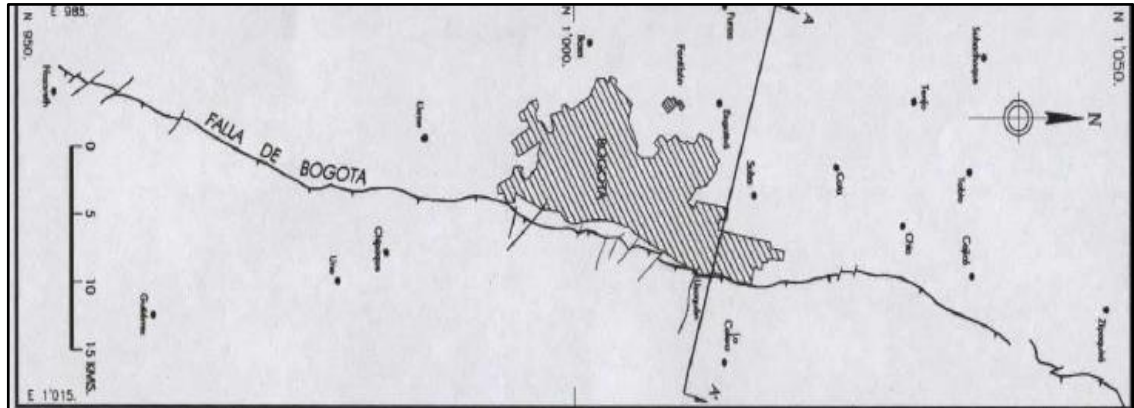
³¹ MONTANA, Lucas. Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico. Proyecto de grado magister en Ingeniería civil. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2005. 80p.

³² LA SISMICIDAD EN EL PIEDEMONTE LLANERO Y LA AMENAZA SISMICA DE LA SABANA DE BOGOTA. [en línea] <http://www.researchgate.net/publication/265551395_La_sismicidad_en_el_Piedemonte_Llanero_y_la_amenaza_sismica_de_la_Sabana_de_Bogota>

³³ X CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, (29, Julio, 2005: Bogotá, Colombia). Memorias. Bogotá: SCG, 2005.

- Falla de Bogotá: Es de cabalgamiento con rumbo N15E y N25E, con buzamiento suave al oriente, corta el flanco occidental del anticlinal de Bogotá, y está compuesta por tres fallas individuales entrelazadas. Ilustración 16.

Ilustración 16 Falla de Bogotá.



Recuperado de X CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, (29, Julio, 2005: Bogotá, Colombia).
Memorias. Bogotá: SCG, 2005.

Ilustración 17 Falla del piedemonte llanero.

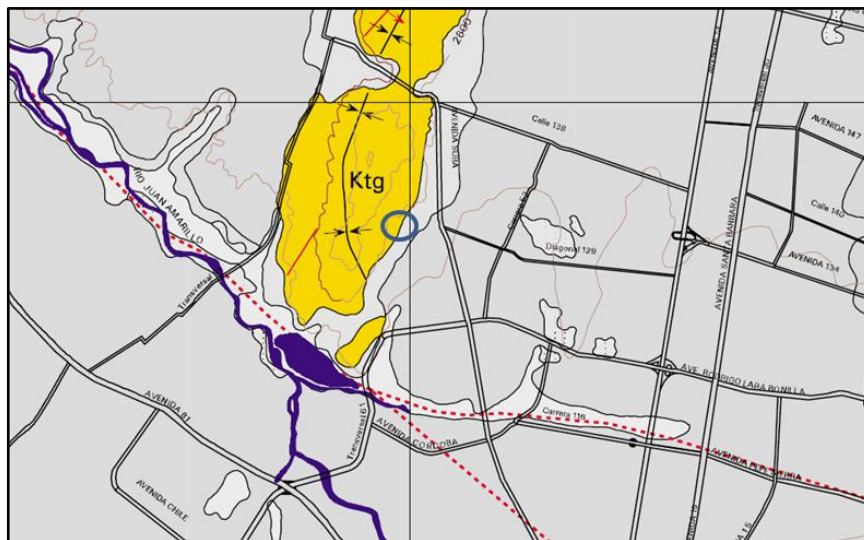


Recuperado de FONDO DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIA. Terremotos. En: Amenaza sísmica de Bogotá. Colombia, 2010. p 2.

En la zona de estudio encontramos fallas como los son:³⁴(Anexo 2, Mapa Geológico Bogotá D.C.)

³⁴ GUERRERO, Alberto. Geología del Subsuelo de nororiente de la Ciudad de Santafé de Bogotá D.C. Trabajo de grado para Geólogo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias, 1994. 100p.

Ilustración 18 Geología de la zona de estudio Calle 127 por Av. Boyacá.



Recuperado de MAPA GEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA. [en línea]. < http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/geologico_bogota.pdf>

- Formación Guaduas (ktg): En la parte superior predominio de arcillolitas, con intercalaciones de arenisca y mantos de carbón.
- Depósitos Fluvio – lacustres (Qta): Depósitos de arcilla, con intercalaciones de bancos de arena y grava, capas de ceniza volcánica y turba.³⁵
- Falla de los lagartos: Limita por el sur al centro de Suba y Tabio, es una falla de avance diferencial asociado al cabalgamiento de la fallas de Suba y Tabio, posee mayor avance en el lado norte y casi nulo en el lado sur. Ilustración 19.
- Formación Tunjuelo: Fossiliza la traza de la falla de Bogotá en diversos lugares, y genera que uniformidad entre el escarpe de la falla y los depósitos de la formación Sabana, da a conocer los desplazamientos que ha tenido la falla de Bogotá y de sus ramales, ya que se ven reflejados en depositación por parte de la formación Tunjuelo.
- Fallas transversales cerros de Bogotá: compuesto por las fallas de Chico, La Vieja, Cedritos y Tibabita, de carácter sin tectónico.³⁶

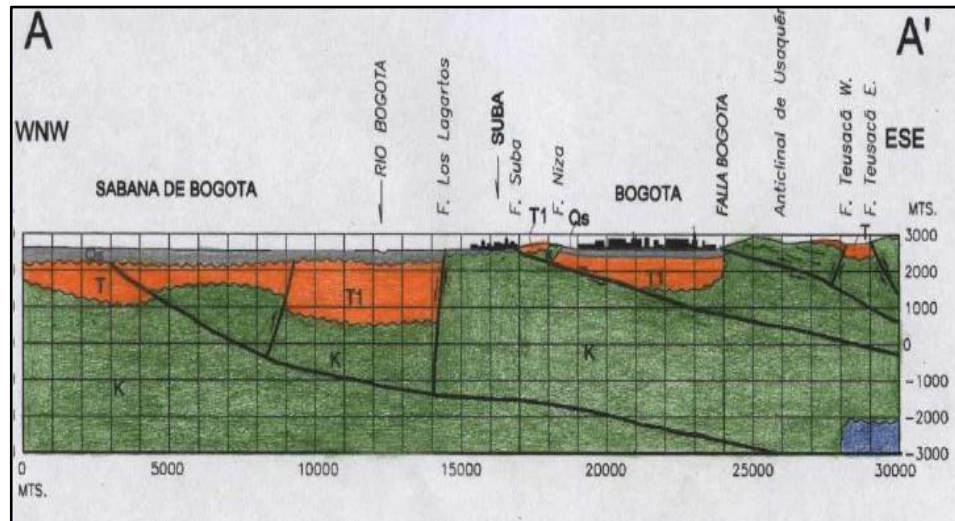
35

MAPA GEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA. [en línea]. < http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/geologico_bogota.pdf>

³⁶ GUERRERO, Alberto. Geología del Subsuelo de nororiente de la Ciudad de Santafé de Bogotá D.C. Trabajo de grado para Geólogo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias, 1994. 100p.

- Anticlinal de Usaquén: Es una estructura asimétrica, extendida hacia el sur con dirección N-S, se desarrolla en rocas del grupo Guadalupe y fue atravesada por el túnel de Usaquén del proyecto Chingaza, posee formación arenisca dura.³⁷

Ilustración 19 Corte de acuerdo a ilustración 15 fallas y formaciones de incidencia en la zona de estudio.



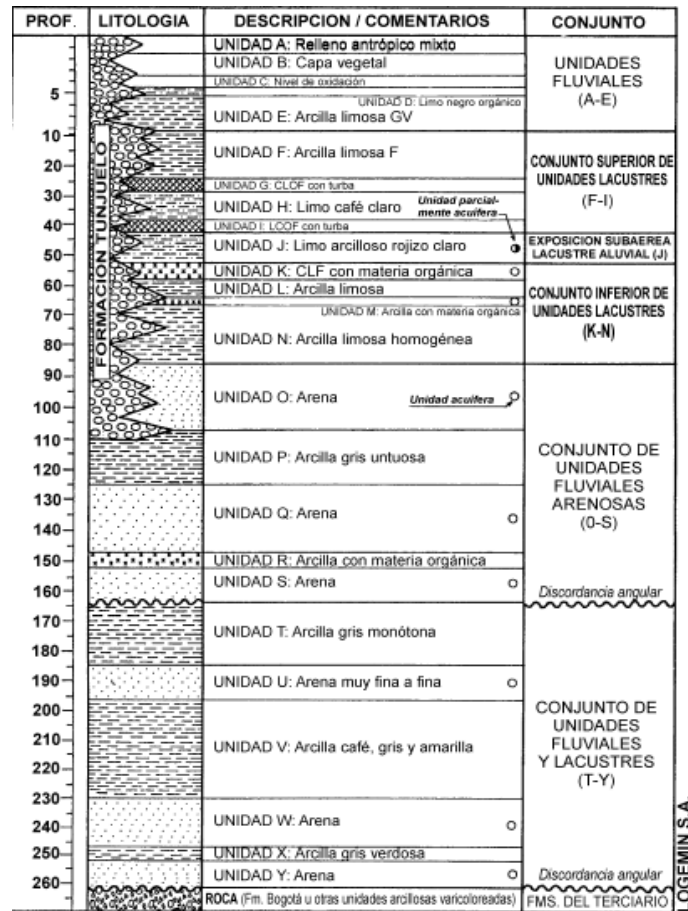
Recuperado de X CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA, (29, Julio, 2005: Bogotá, Colombia).
Memorias. Bogotá: SCG, 2005.

A partir de estos sismos en Bogotá se ha generado la microzonificación sísmica que ha permitido tener el conocimiento sísmico detallado de la ciudad, así como la zonificación de acuerdo a su tipo de suelo, de acuerdo se obtiene que la zona de estudio está ubicada en la zona 1 dividida en A y B, siendo la A, cerros orientales y suroccidentales y B, cerros de Suba. El perfil estratigráfico aproximado de la zona se detalla en el siguiente capítulo.

³⁷ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Informe de prefactibilidad. En: Geología Tunel vial la aurora. Colombia 1998 p2.

4.1.2 Columna estratigráfica.

Ilustración 20 Columna estratigráfica zona de estudio.



Recuperado de GUERRERO, Alberto. Geología del Subsuelo de nororiente de la Ciudad de Santafé de Bogotá D.C. Trabajo de grado para Geólogo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geo ciencias, 1994. 100p.

Según la columna estratigráfica presentada en la ilustración 20, encontrada en tesis anteriores, se puede observar que el suelo es variable por encontrarse en la zona de piedemonte, zona caracterizada por reservar suelos transportados sea por agua, vientos, existencia de glaciares o gravedad, que han sido generados a través del tiempo, otro aspecto se dirige a ser una zona de depósito lacustre donde predominan suelos blandos, de grano fino, en este caso predomina la arcilla, y de baja resistencia, con niveles freáticos cercanos a superficie y con alguna presencia de suelo orgánico entre sus estratos, características que se

observan hasta los 260 metros de profundidad donde se encuentra la presencia de roca y cambio de resistencia.

De acuerdo a lo anterior se puede observar de manera general que el comportamiento del suelo tiene tendencia a ser débil y por su grado de humedad más vulnerable aun a los sismos.

4.1.3 Microzonificación sísmica

Ilustración 21 Zonificación geotécnica según IDIGER.



Recuperado de GEOPORTAL SIRE. [en línea] < <http://geoportal.sire.gov.co:8001/GeoPortalV2/mapa.jsf> >

En la ilustración 21 (anexo 3. Mapa microzonificación sísmica Bogotá D.C.) se puede observar que la zona se encuentra afectada por dos tipos de zonificaciones cercanas, en primera instancia, piedemonte A, siendo la zona de transición entre cerro y zona plana, generalmente posee depósito coluvial con estratigrafías predominantes de grava, arena, limo y ocasionalmente presencia de arcilla; y Cerros, caracterizado por tener presencia de roca, en esta zona se puede presentar amplificación local de aceleración sísmica por su topografía, en estos puntos también existe inestabilidad por las pendientes existentes, lluvias fuertes, factores antropicos y la existencia de agua superficial y subterránea, la clasificación detallada de la clasificación geotécnica, se encuentra en la tabla número 4, de donde se puede concluir que en estos puntos es recomendable realizar estudios geotécnicos abiertos a la estabilidad de taludes con estudios de análisis de nivel freático y sus efectos con el suelo, incluyendo los efectos sísmicos.³⁸

³⁸ MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA. [en línea] <<http://ing-davirbonilla.com/microzonificacion-sismica-de-bogota/>>

Tabla 4 Clasificación geotécnica Calle 127 por Av. Boyacá.

Remocion en masa	Amenaza baja
Microzona 1997	Piedemonte de cerros de Suba
Geologia	Llanura de inundacion
Geotecnico 1997	Rondas de rios y humedales
Geomorfologia	Escarpes y frentes estructurales
Zona de respuesta sismica 2010	Cerros

Recuperado de GEOPORTAL SIRE. [en linea] < <http://geoportal.sire.gov.co:8001/GeoPortalV2/mapa.jsf>>

Estos estudios son recomendados por la microzonificación sísmica ya que en caso de ocurrir un sismo de escala moderada, en estos cerros, nuestra ciudad se vería gravemente afectada, en las zonas de Los mártires, Candelaria, Suba Chapinero y Usaquén, causando danos estructurales y no estructurales, según estadísticas, existirían hasta 9000 heridos y 1900 muertos.³⁹

4.1.4 Hidrogeología

De acuerdo al mapa hidrogeológico de Bogotá, en el anexo 2, la zona se encuentra en un complejo acuífero conformado por niveles de arcillas, limos y algunas arenas finas con alguna presencia también de gravas, en lo que corresponde a la zona de cerros, las arcillolitas, limotitas podrían formar acuíferos de moderada importancia; en general la zona es reconocida entre años secos y medio.⁴⁰

Como parte de los humedales, las avenidas Suba, Boyacá y 127 poseen la fragmentación del humedal Córdoba, en tres sectores diferentes, teniendo la primera fragmentación localizada al norte de la avenida 127 con área de 4.9 Ha.

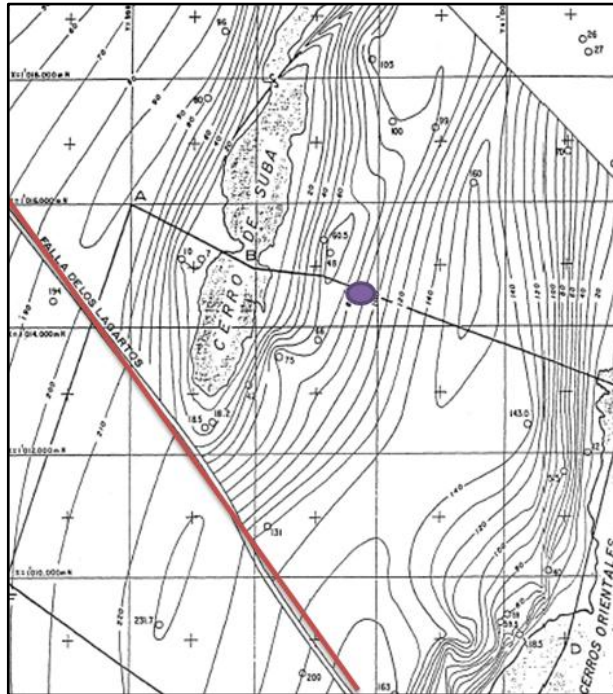
Por otro lado el siguiente fragmento se encuentra entre las avenidas 127 y Suba recibiendo el agua del río Córdoba esta área es de 16.96Ha; el tercer fragmento, está localizado entre las avenidas Suba y Boyacá teniendo como área 18.01Ha.

³⁹ ¿Cuál es el riesgo sísmico en Bogotá? . [en linea]< <http://www.registraduria.gov.co/Cual-es-el-riesgo-sismico-en.html>>

⁴⁰ MAPA HIDROGEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA. [en linea]. < http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/geologico_bogota.pdf>

4.1.5 Topografía.

Ilustración 22 Mapa Topográfico Calle 127 por Av. Boyacá.



Recuperado de GUERRERO, Alberto. Geología del Subsuelo de nororiente de la Ciudad de Santafé de Bogotá D.C. Trabajo de grado para Geólogo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geo ciencias, 1994. 100p.

La topografía del sitio, presentada en la ilustración 22 tiende a conformar cerro, cumpliendo lo dicho anteriormente respecto a la clasificación geotécnica de FOPAE, el punto de estudio está ubicado en el piedemonte de la zona, donde se puede hallar diversos tipos de estratificaciones por encontrarse en un sitio estratégico de suelos transportados, además de esto, se puede observar que alrededor existentes zonas planas, que con llevan en muchos casos a ser posibles franjas de inundación y manejo de niveles freáticos altos.

4.2 FASE 2.

Los siguientes apartados estarán destinados a caracterizar el perfil típico de la zona de estudio. Utilizando dos métodos, el primero de ellos será el análisis por medio de los resultados de un ensayo Down Hole que fue retomado para la presente investigación. Y como segunda instancia se clasificara el perfil estratigráfico por medio de la ejecución de un sondeo de caracterización con el cual se elaboran pruebas en campo y laboratorio que permitirán clasificar los materiales presentes en la zona de estudio.

4.2.1 PERFIL DEL SUELO DE ACUERO A ENSAYO DOWN HOLE

El ensayo Down Hole, se basa en tomar los tiempos de viaje de ondas sísmicas a través de la fuente emisora, se representa a través de una curva tiempo de llegada versus velocidad⁴¹, siendo el valor inverso de la pendiente la velocidad de propagación de la onda sísmica, así como también se puede obtener el cálculo de amortiguamiento, ya que este ensayo como punto positivo tiene que puede atravesar todos los materiales, incluyendo las capas ciegas del material,⁴² como deficiencias, se pueden dar cuando existe nivel freático, ruido sísmico y el grado de alteración del suelo.

En función de los datos encontrados en el anexo número 5 y la tabla número 5 mostrada a continuación, de los resultados del ensayo triaxial, ejecutados por el instituto de desarrollo urbano, se retomaron los datos del ensayo Down Hole ejecutados sobre la zona de estudio para el presente proyecto de investigación.

⁴¹ MEDICIONES SISMICAS E INVESTIGACION. [en línea] <
<http://geofisicasismospgf.blogspot.com/p/ensayo-downhole-y-ensayo-crosshole.html>>[citado en 27 de marzo de 2015]

⁴² Ibid., p. 2

Tabla 5 Tabla datos ensayo Down Hole.

Profundidad (m)	Tiempo (s)	Distancia (m)
1	0.0058	2.24
2	0.0095	2.83
3	0.0108	3.61
4	0.0143	4.47
5	0.0188	5.39
6	0.02	6.32
7	0.0225	7.28
8	0.0291	8.25
9	0.0325	9.22
10	0.0365	10.2
11	0.0385	11.18
12	0.0431	12.17

Recuperado de Anexo 5 resultados de ensayos triaxial, velocidad de onda y Down Hole. Instituto de Desarrollo urbano.

En el cálculo del respectivo ensayo, se busca hallar la velocidad de corte por cada metro de profundidad, calculando en primera instancia con el método de tiempos directos, posteriormente el de tiempos corregidos, como método de rectificación de velocidades y ajuste de datos para obtener resultados más concisos, de esta manera se obtiene la curva de estudio mostrada en la ilustración 23, que permite observar el comportamiento del tiempo a medida que aumenta su profundidad, teniendo un comportamiento casi lineal entre los datos.

En la tabla número 6, se puede observar tres tendencias diferentes para la agrupación de datos general. Lo cual hace presumir la existencia de tres estratos diferentes para los cuales se calculará una velocidad promedio que permitirá clasificar el material de acuerdo a norma NSR10, asumiendo tres estratos y realizando las interpolaciones adecuadas, representadas en la ilustración número 24.

Ilustración 23. Gráfica de Distancia vs tiempo. Autoría Propia.

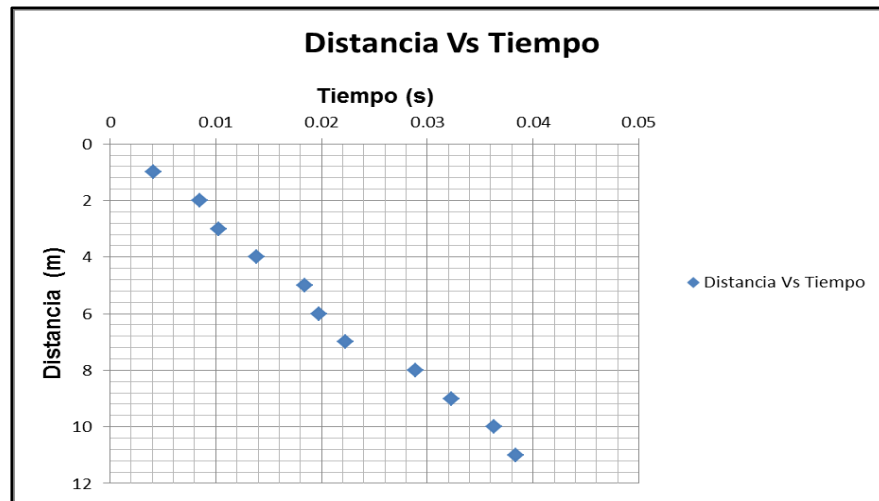
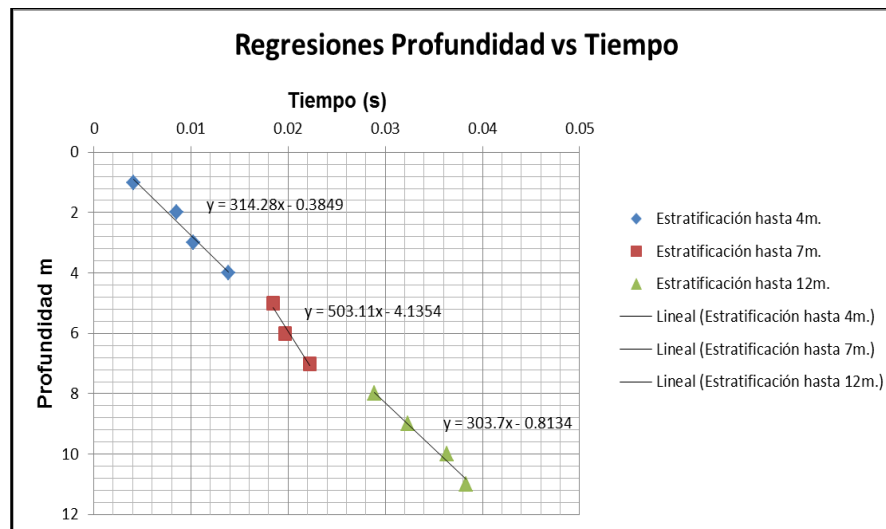


Ilustración 24 Regresión de la gráfica profundidad vs tiempo.

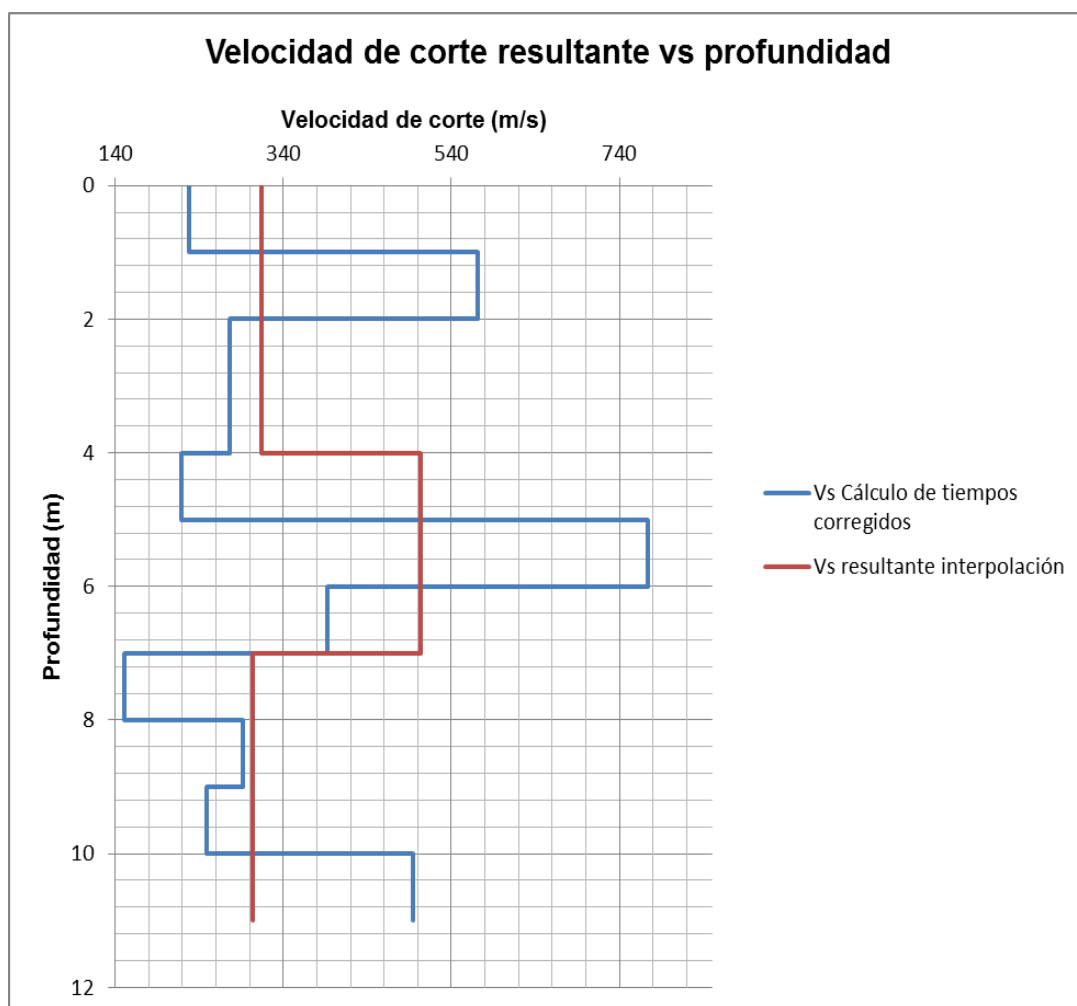


Asumiendo la velocidad promedio para cada estrato como la pendiente presentada para cada rango de interpolación se obtuvieron las velocidades mostradas en la tabla resumen 7, y representadas en la ilustración 25, donde se puede determinar un estrato intermedio de diferentes características al presentado en los primeros 4 estratos y de los 8 a 12 metros, con una velocidad de corte de 503.11 m/s, que da a comprender de manera preliminar que ese estrato tiene mejores características mecánicas.

Tabla 6 Vs promedio para cada tipo de estrato. Autoría Propia.

Tiempo (s)	DISTANCIA (m)	Vs prom(m/s)
0.004101219	1	314.28
0.008497058	2	
0.01024578	3	
0.013873038	4	
0.018434917	5	503.11
0.019727878	6	
0.022273864	7	
0.028875286	8	303.7
0.032301221	9	
0.036318857	10	
0.038341888	11	

Ilustración 25. Grafica velocidad de corte resultante Vs profundidad



En la gráfica número 3 se obtienen los resultados preliminares de la clasificación del suelo, de acuerdo a la NSR-10, de la siguiente tabla:

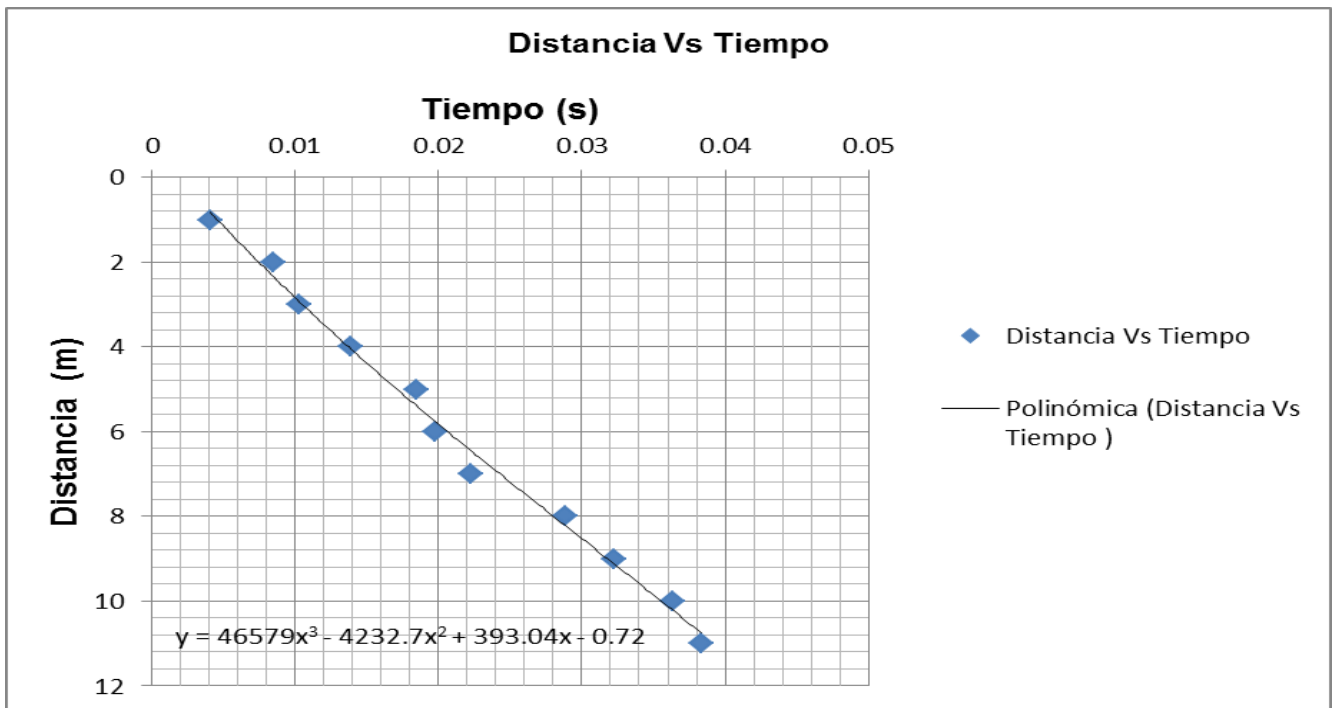
Tabla 7 Clasificación del suelo de acuerdo a la velocidad Vs. Autoría Propia.

ESTRATO	Vs	CLASIFICACION
1	314.28	Perfil E - Arcillas blandas
2	503.11	Perfil C - Perfil de suelo denso
3	303.7	Perfil E - Arcillas blandas

Donde se resalta que el segundo estrato, presenta un cambio de consistencia, dado porque la zona se ubica en piedemonte, lugar donde se encuentran a causa del movimiento del terreno diversos tipos de suelo transportado, en este caso en esta profundidad se observó presencia de arena fina y suelo de consistencia media.

Finalmente, como datos necesarios para el análisis puntual por cada metro de profundidad, se realiza otro diagrama de dispersión presentado en la ilustración número 26, de t^* (tiempo corregido) vs z (profundidad), con esta grafica se busca obtener otra regresión, no lineal, aproximada a los datos, obteniendo la ecuación respectiva, que será dividida para obtener las velocidades de corte para cada punto.

Ilustración 26. Grafica distancia Vs tiempo. Autoría Propia



Derivando y calculando cada punto respectivamente las velocidades finales para cada punto se representan en la siguiente gráfica, teniendo clasificación según la NSR10 Clasificación de los perfiles de suelo. Clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla 8 Clasificación del perfil de acuerdo a la velocidad Vs. Autoría Propia.

Z	Vs	Definicion
1	360.671914	Perfil C Suelos Densos
2	396.006998	Perfil C Suelos Densos
3	412.189797	Perfil C Suelos Densos
4	370.280395	Perfil C Suelos Densos
5	284.470138	Perfil D Arcilla rigida
6	280.419747	Perfil D Arcilla rigida
7	273.809854	Perfil D Arcilla rigida
8	265.109369	Perfil D Arcilla rigida
9	265.394481	Perfil E arcilla blanda
10	269.907748	Perfil E arcilla blanda
11	273.887998	Perfil E arcilla blanda

4.2.3 ENSAYO SPT Y CLASIFICACIÓN DEL PERFIL ESTATIGRAFICO.

Con el fin de clasificar los depósitos arcillosos presentes en la calle 127 con avenida Boyacá, el día 6 de marzo del año 2015 se realizó un sondeo de exploración ubicado en un puto estratégico de la intercepción, esta ubicación puede observarse en la ilustración 27.

Ilustración 27. Ubicación del sondeo de exploración. Tomado de google maps. Modificado para efectos científicos de la presente investigación.



El sondeo se realizó hasta una profundidad consecutiva de 12 m, por medio de perforación manual ejecutada por dos operarios con ayuda de un barreno un muestreador de cuchara partida.

4.2.3.1 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO SPT.

Como puede observarse en la ilustración 28, se procedió al descapote de la capa vegetal así como de 1 m de relleno el cual no representaba ningún aporte considerable para la ejecución del ensayo SPT, posteriormente se procedió a la perforación del primer estrato de suelo el cual se encontró hasta una profundidad de 2,10m.

Ilustración 28. Descapote y retiro de relleno del material presente en el punto escogido para el sondeo de exploración.



Ilustración 29. Condición de resequead de la primera muestra extraída en la zona de estudio.



Dicho estrato presenta una gran oposición a la penetración por parte del barreno debido a la gran resequead que presentaba el material esto puede observarse en la ilustración 29, a continuación, desde la profundidad de 2,10 hasta los 3,90m se encontró con una arcilla de color gris la cual se encuentra tanto saturada debido a la presencia del nivel freático, encontrado a una profundidad de 2,50 m aproximadamente, para este estrato se presentó una dificultad notable en el momento de recuperar la muestra, ya que debió realizarse una fuerza considerable para recuperar el muestreador de cuchara partida esto puede observarse en la ilustración 30.

Ilustración 30. Recuperación muestreador de cuchara partida.



A partir de los 3,90 m de profundidad, como se muestra en la ilustración 31, se encontraron lentes de arena de color gris la cual se encontraba totalmente saturada por la afectación directa del nivel freático, esto impidió que se pudiera recuperar una muestra con tubo de pared delgada shelby.

Ilustración 31. Lentes de arena. Autoría propia.



A partir de los 4,60 m hasta 6,30 metros de profundidad se encontró una arcilla gris de consistencia blanda a la cual se le realizó una prueba de resistencia en campo con penetrometro tal y como puede observarse en la ilustración 32, la cual permitirá delimitar a través de correlaciones propiedades de resistencia índice del suelo.

Ilustración 32. Prueba de resistencia con penetrometro. Autoría propia



Posterior mente se encontró en un mismo estrato tres cambios de materiales el cual inicio con un limo arcilloso negro desde los 6,30 y 6,40m de profundidad, luego una capa de limo con presencia de arena y por ultimo un limo arcilloso gris oscuro. A partir de los 7,60 m de profundidad se encontró una arcilla con presencia de arena fina y betas de oxidación, el sondeo está previsto para llegar a los 15m, pero durante la ejecución del sondeo en el estrato final no se observaron cambios considerables por lo que el sondeo se dio por terminado a los 9,15m de profundidad.

En total se recuperaron 8 muestras las cuales puede observarse en la ilustración 34, dichas muestras se trataron el mayor cuidado posible para lograr conservar las condiciones de humedad naturales, permitiendo así que no se presentaran grandes cambios en el momento de ser llevadas al laboratorio.

Ilustración 34. Muestras recuperadas. Autoría propia



Ilustración 33. Muestreador de cuchara partida. Autoría propia



Amanera de resumen a continuación se presenta el perfil estratigráfico para el sondeo realizado así como los números de golpes del ensayo Spt tomados directamente en campo.

Tabla 9 Perfil estratigráfico encontrado en el campo durante la ejecución del ensayo SPT. Autoría propia

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DINAMICOS DE LOS DEPOSITOS ARCILLOSOS PRESENTES EN LA CALLE 127 POR AV. BOYACA EN LA CIUDAD DE BOGOTA DC UBICACIÓN:BOGOTA CUNDINAMARCA SONDEO 1							
PROFUNDIDAD	MUESTRA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD D (m)	SPT (golp/pie)		
					6"	6"	6"
			RELLENO				
	1.10						
			ARCILLA GRIS CON OXIDACION	1.55-2.00	3	3	2
	2.10						
		NF	ARCILLA GRIS NEGRA CON RAICES				
	2.50						
	3.90						
			ARCILLA GRIS CON PRESENCIA DE ARENA				
	4.60						
			ARCILLA GRIS CONSISTENCIA BLANDA	4.60-5.05	1	1	1
			LIMO ARCILLOSO GRIS OSCURO				
	6.30						
			LIMO ARCILLOSO NEGRO	6.30-6.75	1	1	1
	6.40						
	6.70		CAPA LIMO CON PRESENCIA DE ARENA				
			LIMO ARCILLOSO GRIS OSCURO				
	7.60						
	9.00		ARCILLA CON PRESENCIA DE ARENA FINA CON OXIDACION COLOR GRIS				
				9-9.45	3	4	2
	9.75						

4.2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de clasificar el material y obtener los límites de consistencia claves para la elaboración de la correlaciones relacionadas con la determinación de los parámetros dinámicos, se elaboraron el viernes 6 de marzo las pruebas de laboratorio relacionadas con:

- Limite liquido
- Limite plástico.
- Humedades naturales.
- Gravedad especifica
- Peso específico.

4.2.4.1 PROCEDIMIENTO

Como primera medida se procedió a la determinación del límite plástico conforme a lo establecido en la norma I.N.V. E – 126 – 07. Realizando rollos de material hasta una llegar a un diámetro aproximado de 6mm tal y como puede observarse en la ilustración 36.

Ilustración 36. Determinación Límite Líquido.
Autoría propia



Ilustración 35. Determinación Límite Líquido.
Autoría propia



Como segunda instancia se procedió a la determinación del límite líquido con forme a lo establecido en la norma I.N.V. E – 126. Aplicando el procedimiento exclusivamente a los materiales plásticos encontrados en el sondeo, en la ilustración 38 se observa el registro fotográfico del procedimiento realizado en el laboratorio.

Ilustración 38. Procedimiento limite plástico. Autoría propia



Ilustración 37. Determinación de la humedad natural. Autoría propia



También se determinaron en laboratorio otras características índices de los materiales, como es el caso del peso específico, y la gravedad específica. La primera propiedad se determinó con un procedimiento similar al utilizando para el peso bulk de los materiales. Para el cual se parafinaron las todas las muestras tomando diferentes pesos como es el caso de la muestra ya parafinada, la muestra sin parafinar y la muestra sumergida con los cuales se aplicó la ecuación correspondiente para la obtención de dicho para metro, este procedimiento puede observarse en las ilustraciones 39 y 40.

Ilustración 40 Proceso de parafinado de todas la muestras. Autoría Propia



Ilustración 39 Peso sumergido. Autoría Propia



Como tercera instancia se determinó la humedad natural de las ocho muestras recuperadas durante el sondeo de exploración, en función de lo consignado en la norma I.N.V. E – 122 – 07. Tal y como puede observarse en la ilustración 39. Para lo cual se tomó el peso de la muestra humedad, el peso del recipiente, y el peso seco de la muestra más el recipiente, con los cuales se aplicó la ecuación planteada para la obtención de la humedad natural.

Como último procedimiento se determinó la gravedad específica de los materiales conforme a lo establecido en la norma I.N.V.E 128-07, para lo cual se preparó una lechada de todas las muestras las cuales fueron dispuestas en diferentes picnómetros con el objetivo de ser llevados a un proceso de ebullición tal y como puede observarse en la ilustración 41. Posterior mente a esto se adiciono a cada picnómetro una cantidad adicional de agua destilada con el fin de poder tomar la temperatura de las muestras en rango de tiempo no superior a las 24 horas.

Ilustración 41 Determinación de la gravedad específica. Autoría Propia.



4.2.4.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.

A continuación se presenta los resultados relacionados con todos y cada uno de los parámetros determinados en laboratorio, para cada muestra recuperada durante el sondeo de igual forma se presenta la clasificación del suelo de acuerdo a SUCS y ASTHO.

4.2.4.3. Humedades naturales

La humedad natural de las muestras se determinó para las 7 muestras recuperadas del sondeo de exploración, todos los valores obtenidos se relacionan en la tabla

Tabla 10 Resultados para la humedad natural. Autoría propia.

MUESTRA	# RECIPIENTE	RECIPIENTE (gr)	PESO HUMEDO + RECIPIENTE (gr)	PESO SECO	HUMEDAD %
MUESTRA #1	L12	19.96	30.19	28.72	17.00
MUESTRA #2	L32	19.58	34.43	30.92	31.00
MUESTRA #3	L47	18.52	23.20	20.16	185.00
MUESTRA #4	L82	18.98	70.44	53.60	49.00
MUESTRA #5	L11	19.85	24.29	21.93	113.00
MUESTRA #6	L89	20.19	25.53	22.05	187.00
MUESTRA #7	L102	19.22	114.58	85.06	45.00
MUESTRA #8	L24	18.85	114.50	93.60	28.00
MUESTRA #9	L99	18.68	30.28	25.58	68.00

4.2.4.4. Límites de consistencia

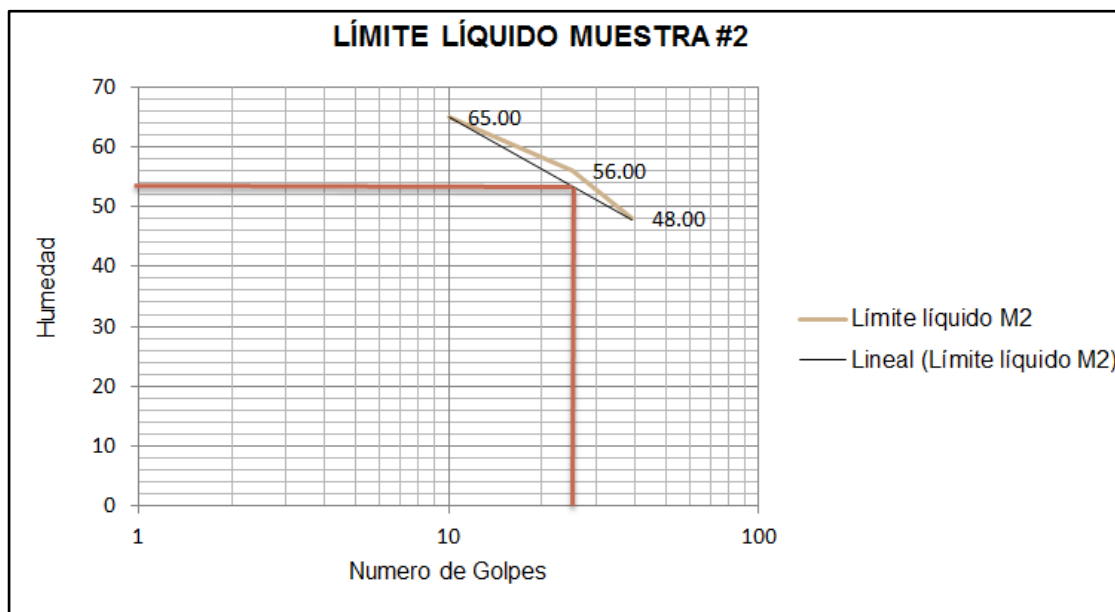
La determinación de los límites de consistencia solo se realizó para las muestras plásticas recuperadas del sondeo de exploración como es el caso de la muestra 2, 4 y 5.

- **Límite líquido muestra 2**

Tabla 11 Datos de laboratorio para el límite líquido. Autoría Propia

RECIPIENTE	L80	L95	2
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	39.32	36.93	38.42
P2 (Muestra seca y recipiente)	32.61	30.38	27.93
P3 (Recipiente)	18.73	18.59	11.72
GOLPES	39	25	7
W %	48	56	65

Ilustración 42 Gráfica de humedad vs número de golpes. Autoría propia.



Graficando las húmedas y los números de golpes en la cazuela de casa grande se obtiene un límite líquido de 54%.

- Límite plástico e índice de plasticidad de la muestra 2**

Tabla 12 Datos de laboratorio para el límite plástico de la muestra 2

RECIPIENTE	L3	L105
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	28.61	34.77
P2 (Muestra seca y recipiente)	26.53	30.73
P3 (Recipiente)	19.16	17.64
%	28	31

Con los datos anteriormente mostrados se obtuvo el límite plástico, así como el límite líquido y la clasificación respectiva para la muestra analizada.

Tabla 13 Resultados límites de consistencia muestra 2. Autoría Propia

RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	54%
LÍMITE PLÁSTICO	30%
INDICE PLASTICIDAD	24%
CLASIFICACION	
SUCS	CH
ASSHTO	Suelo arcilloso
GRUPO	A-4

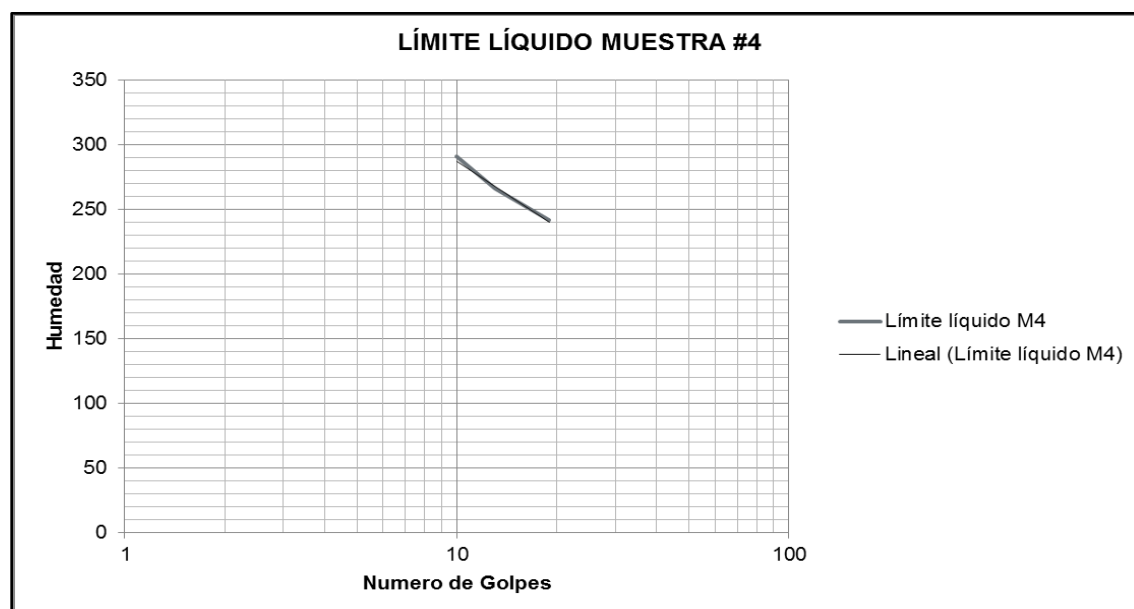
- **Limite líquido muestra 4.**

Tabla 14 Datos de laboratorio para el limite liquido de la muestra 4. Autoría Propia

RECIPIENTE	L7	L23	L43
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	30.7	22.9	29.21
P2 (Muestra seca y recipiente)	22.61	14.77	21.64
P3 (Recipiente)	19.26	11.71	19.04
GOLPES	19	13	10
W %	241.49	265.69	291.15

Con la relación de humedades y número de golpes para cada muestra se obtiene la siguiente gráfica.

Ilustración 43 Grafica de humedad vs número de golpes. Autoría propia.



Para lo cual se obtiene un límite líquido para la muestra número 4 de 232,77%

- **Límite plástico e índice de plasticidad muestra 4**

Tabla 15 Datos de laboratorio para el límite plástico de la muestra. Autoría Propia

RECIPIENTE	L11	L2
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	25.32	11.83
P2 (Muestra seca y recipiente)	21.93	14.28
P3 (Recipiente)	16.93	17.69
%	68	72

Con los datos anteriormente tomados en el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados finales para los límites de consistencia de la muestra 4.

Tabla 16 Resultados límites de consistencia muestra 4. Autoría propia

RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	233%
LÍMITE PLÁSTICO	70%
ÍNDICE PLASTICIDAD	163%
CLASIFICACION	
SUCS	CH
ASSHTO	Suelo arcilloso
GRUPO	A-4

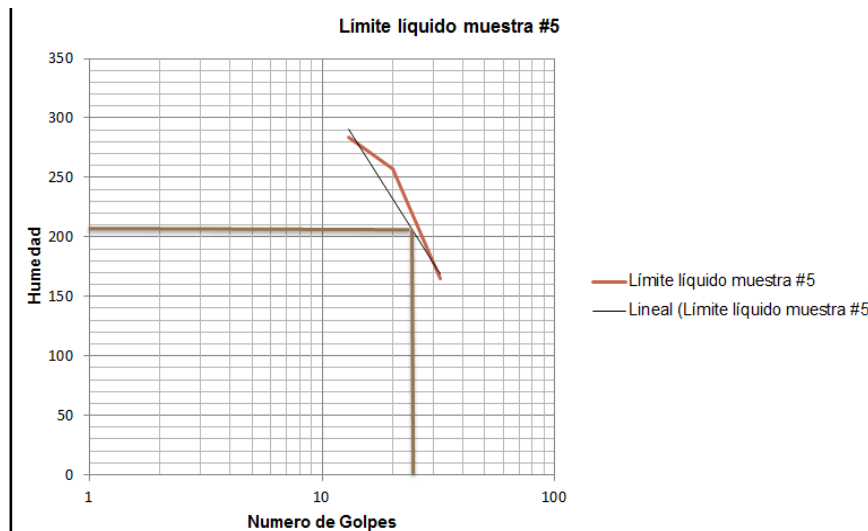
- **Límite plástico muestra 5.**

Tabla 17 Datos tomados en laboratorio para el límite líquido de la muestra 5. Autoría Propia

RECIPIENTE	L53	L91	1
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	32.13	28.25	32.82
P2 (Muestra seca y recipiente)	22.29	15.99	21.62
P3 (Recipiente)	16.32	11.22	17.67
GOLPES	32	20	13
W %	165	257	284

Con los datos anteriormente mostrados se graficó la humedad vs el número de golpes en la cazuela de Casagrande. Y se obtuvo un límite líquido de 205%.

Ilustración 44 Grafica de la humedad Vs el numero golpes. Autoría propia.



- **Límite plástico e índice de plasticidad muestra 5**

Tabla 18 Datos de laboratorio para el límite plástico de la muestra 5. Autoría propia

RECIPIENTE	L83	L57
P1 (Muestra húmeda y recipiente)	23.84	25.16
P2 (Muestra seca y recipiente)	20.69	21.61
P3 (Recipiente)	18.38	19.03
%	136	138

Con los datos anteriormente mostrados se pudo obtener el valor del límite plástico así como también el índice de plasticidad y la clasificación respectiva para dicho material.

Tabla 19 Resultados límites de consistencia para la muestra 5. Autoría Propia.

RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO	205%
LÍMITE PLÁSTICO	137%
INDICE PLASTICIDAD	68%
CLASIFICACION	
SUCS	CH
ASSHTO	Suelo arcilloso
GRUPO	A-4

4.2.5. Parámetros estáticos

Tabla 20 Parámetros estáticos.

MUESTRA	SUCS	ASSHTO	Wn	LL	LP	IP	Gs	Qu	C (Kg/cm2)
MUESTRA #1	CH	Suelo arcilloso A-6	17.00				0.56		
MUESTRA #2	CH	Suelo arcilloso A-6	31.00	54.00%	30.00%	24.00%	1.30	0.7	0.35
MUESTRA #3	CH	Suelo arcilloso A-6	185.00				0.19		
MUESTRA #4	CH	Suelo arcilloso A-6	49.00	232.77%	70.00%	162.77%	5.84	0.5	0.25
MUESTRA #5	CH	Suelo arcilloso A-6	113.00	202.00%	137.00%	65.00%	0.85	0.54	0.27
MUESTRA #6	CH	Suelo arcilloso A-6	187.00				0.46		
MUESTRA #7	CH	Suelo arcilloso A-6	45.00				0.38		

Según la clasificación geotécnica, la estratigrafía general de la zona es “arcilla de alta plasticidad, teniendo un bajo comportamiento mecánico, así como un alto riesgo de asentamientos dados generalmente por sus cambios de volumen con la humedad, este efecto es producido por la plasticidad, que es la que permite que se den las deformaciones sin agrietarse, esto depende el nivel freático de la zona, en nuestro caso es de 2.50 metros debajo de la superficie, además de tener épocas de lluvia constante; un punto a favor en este caso es a existencia de vegetación en su alrededor, que produce resecamiento en la estratificación superior, permitiendo tener menor deformación.

De acuerdo a la clasificación de ASSHTO, se determina que el suelo tiene debilidad cuando se presentan lluvias, en el caso del uso de pavimentos, tanto en base, sub base y capa de rodadura, además de poseer defecto de hinchamiento y contracciones dependiendo del clima, lo cual genera deformaciones a nivel superficial, y por ende danos en la estructuras que se encuentren cimentadas.

4.3 FASE 3. PARAMETROS DINÁMICOS

En este numeral se calcularán los parámetros dinámicos, como es el caso del módulo cortante, el módulo de elasticidad, deformación angular y relación de poisson de las muestras de suelo recuperadas en el sondeo de exploración, dicho cálculo se realizará por medio del uso de correlaciones las cuales permiten delimitar estos parámetros de una forma rápida para un rango de deformación de 10^{-5} . Adicionalmente se realizará la respectiva curva de degradación de módulo relacionando los valores obtenidos con resultados de un ensayo triaxial realizado sobre la zona de estudio, recuperado para efectos prácticos de la presente investigación.

4.3.1 Módulo cortante G_0

Para el cálculo del módulo G_0 se retomó la correlación planteada en el marco teórico para el cálculo de del módulo G_0 , el cual relaciona la densidad natural del material con la velocidad de las ondas de cizalla S . el parámetro utilizado como V_s se calculará de dos formas diferentes, la primera de ellas a través del número Spt. Y la segunda a través de los resultados generados en el ensayo Down Hole.

4.3.1.1 Módulo de corte calculado por el N Spt.

En la tabla de 16 se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de la velocidad de onda V_s , a partir de la correlación de Janpan Road Asociaton. A partir de este valor y la densidad natural del material se obtuvo el parámetro G_0 para cada material del perfil estratigráfico.

Tabla 21 Resultados de G0 en función del número SPT. Autoría propia

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DINAMICOS DE LOS DEPOSITOS ARCILLOSOS PRESENTES EN LA CALLE 127 POR AV. BOYACA EN LA CIUDAD DE BOGOTA DC												
UBICACIÓN:BOGOTA CUNDINAMARCA												
SONDEO 1												
PROFUNDIDAD	MUESTRA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	SPT (golp/pie)			N	Vs (m/s)	ρ (Kg/m3)	G0	
					6"	6"	6"					
			RELLENO									
	1.10											
			ARCILLA GRIS CON OXIDACION	1.55-2.00	3	3	2	5	170.998	203.7330518	5957218.815	
	2.10											
			ARCILLA GRIS NEGRA CON RAICES									
	2.50			2.30-2.75	2	2	2	4	158.74	189.7858932	4782298.497	
	3.90											
			ARCILLA GRIS CON PRESENCIA DE ARENA									
	4.60			4.00-4.45	5	1	1	2	100.794	182.2577276	1851634.705	
			ARCILLA GRIS CONSISTENCIA BLANDA									
				4.60-5.05	1	1	1	2	125.992	174.0525829	2762907.927	
			LIMO ARCILLOSO GRIS OSCURO									
	6.30											
	6.40		LIMO ARCILLOSO NEGRO	6.30-6.75	1	1	1	2	125.992	121.2615339	1924903.657	
	6.70		CAPA LIMO CON PRESENCIA DE ARENA									
	7.60		LIMO ARCILLOSO GRIS OSCURO									
			ARCILLA CON PRESENCIA DE ARENA FINA CON OXIDACION COLOR GRIS	7.60-8.05	3	2	4	6	145.37	444.0374281	9383592.93	
	9.00											
					9-9.45	3	4	2	6	145.37	114.8945253	2428001.307
	9.75											

Los valores para el peso específico fueron asumidos del anexo 5

4.3.1.1 Curvas de degradación de modulo.

Debido al vacío conceptual que se presenta en la correlación adoptada anteriormente. Se retomaran los resultados obtenidos de un ensayo de elementos Bender así como un triaxial cíclico para la zona de estudio ver anexo 5. Los cuales fueron efectuados por parte del IDU. Los cuáles serán contrarrestados con el índice de plasticidad encontrados en los ensayos de caracterización de la zona de estudio.

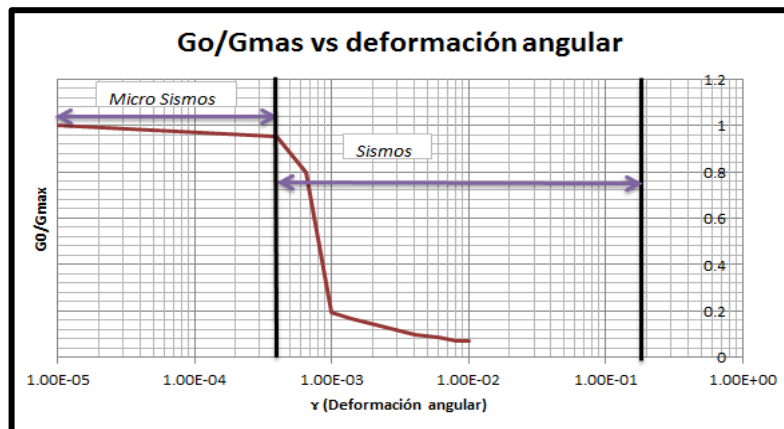
Retomando los módulos de corte G encontrados en el ensayo triaxial y el módulo de corte G del ensayo de velocidad de onda se construyó la siguiente grafica de degradación de modulo en donde se relaciona una normalización del módulo de corte.

Tabla 22 Normalización módulo de corte para una profundidad comprendida entre 4.1 -4.6 m. Autoría Propia

Para una profundidad entre 4.1-4.6 m	RANGO DEFORMACION	γ	G (Kg/cm ²)	G0/Gmax
PUNTOS TRIAXIAL	E-2	0,0134	14.15	0.06936275
	E-3	0,0103	14.9	0.07303922
		0,0070	17.9	0.0877451
		0,0038	20.41	0.10004902
		0,0014	33.99	0.16661765
		0,0010	39.82	0.19519608
PUNTO ELEMENTOS BENDER	E-4	0.0001	204	1

Con base en la normalización anterior se generó la siguiente curva de degradación de modulo para una profundidad comprendida entre 4.1 y 4.6 m.

Ilustración 45 Grafica de degradación de modulo para la muestra 4. Autoría Propia

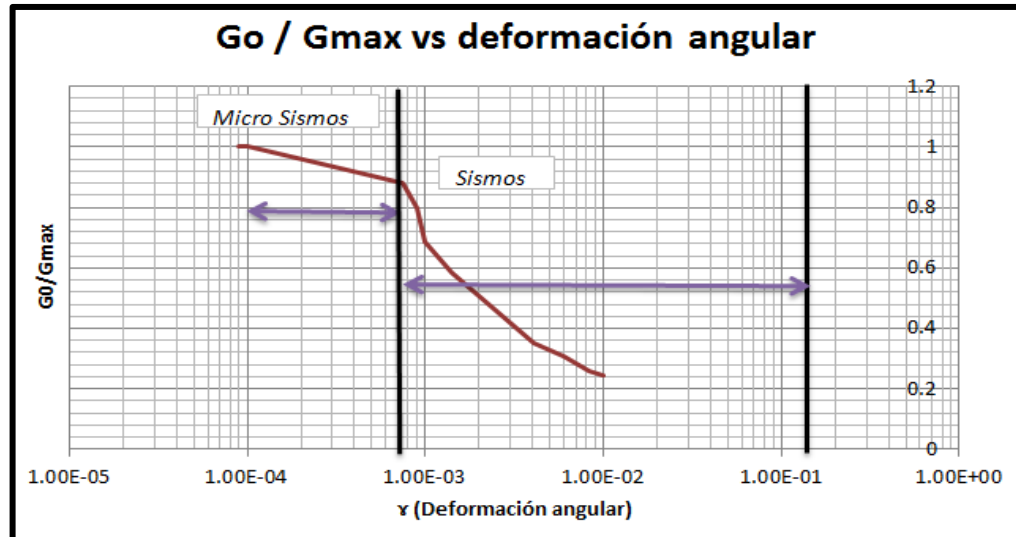


De la misma manera que la curva anterior se construyó una curva de degradación de modulo para una profundidad entre 7.1-7.5m.

Tabla 23 Normalización módulo de corte para una profundidad comprendida entre 7.1-7.5m.Autoria Propia

Para una profundidad entre 7-7.5 m	RANGO DEFORMACIÓN	γ	G (Kg/cm2)	G0/Gmax
PUNTOS TRIAXIAL	E-2	0.01	14.15	0.24396552
	E-3	0.0083	14.9	0.25689655
		0.006	17.9	0.30862069
		0.0041	20.41	0.35189655
		0.0014	33.99	0.58603448
PUNTO ELEMENTOS BENDER	E-4	0.0001	58	1

Ilustración 46.Grafica módulo de degradación de modulo para una profundidad entre 7.1-7.5m.Autoria Propia.



por último se construyó una gráfica normalizada para una profundidad comprendida entre 10 y 10.5 tal y como puede observarse a continuación

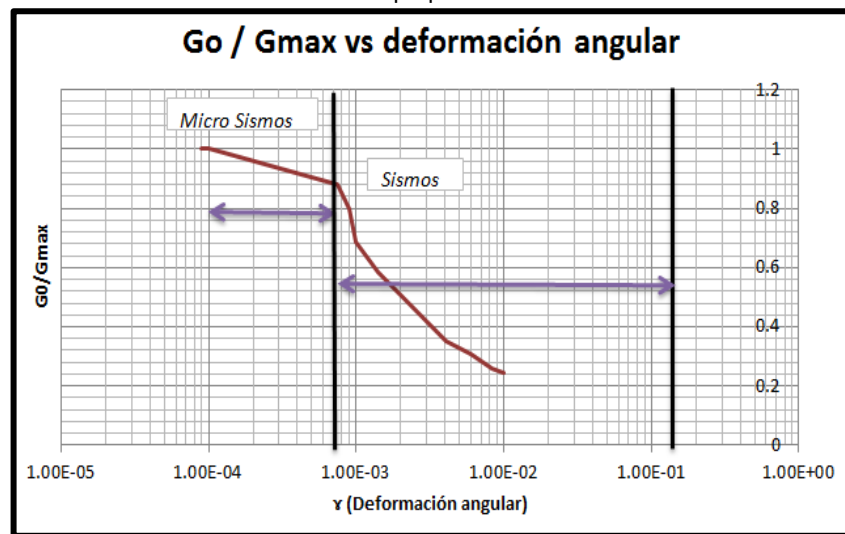
Tabla 24 Normalización módulo de corte para una profundidad entre 10-10.55 m. Autoría Propia

Para una profundidad entre 10-10.5 m	RANGO DEFORMACIÓN	γ	G (Kg/cm ²)	G0/Gmax
PUNTOS TRIAXIAL	E-2	0.0157	16.77	0.1075
	E-3	0.0114	19.24	0.12333333
		0.0082	20.28	0.13
		0.0039	29.43	0.18865385
		0.0015	45.73	0.29314103
		0.0011	57.24	0.36692308
PUNTO ELEMENTOS BENDER	E-4	0.0001	156	1

4.3.1.2 Comparación de curvas de degradación de modulo con curvas teóricas.

En función de los ensayos de clasificación ejecutados en la fase 2, en donde se establecieron parámetros del índice de plasticidad se toma como punto de control la curva teórica desarrollada para cada índice de plasticidad.

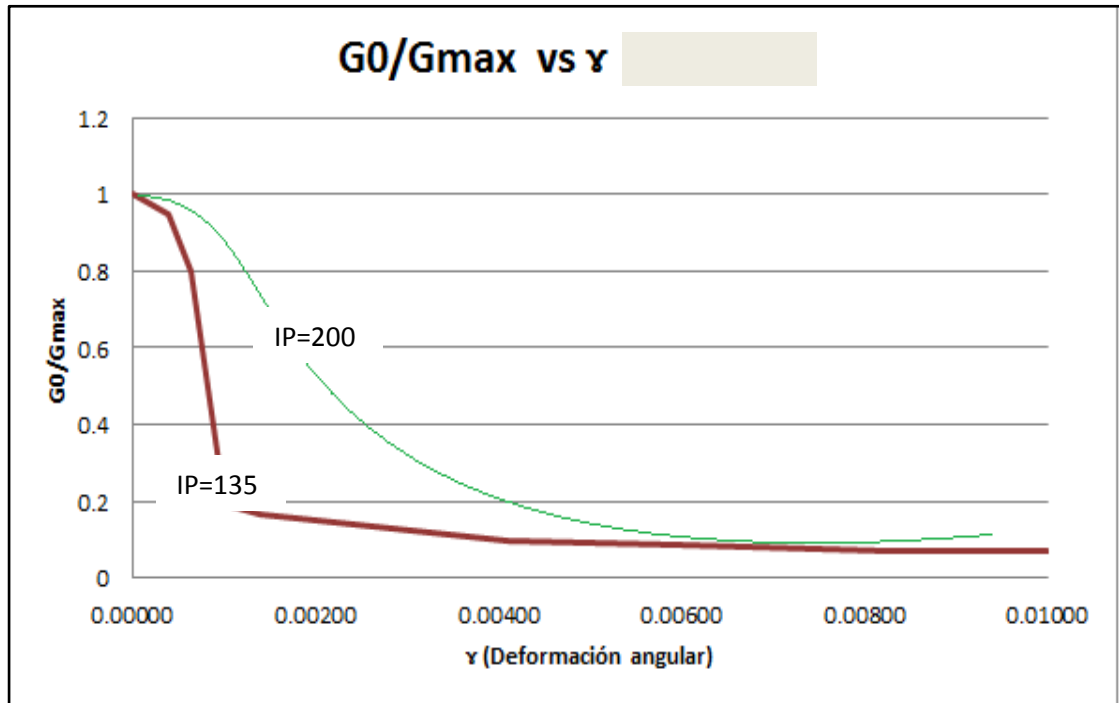
Ilustración 47. Grafica de degradación de modulo para una profundidad entre 10-10.5 m. Autoría propia



- **Profundidad de 4.1-4.6**

Para este estrato se encontró un índice de plasticidad igual a 163 el cual se relaciona de la siguiente manera en la respectiva gráfica.

Ilustración 48. Comparación entre la curva experimental y la curva teórica para un índice de plasticidad de 163.

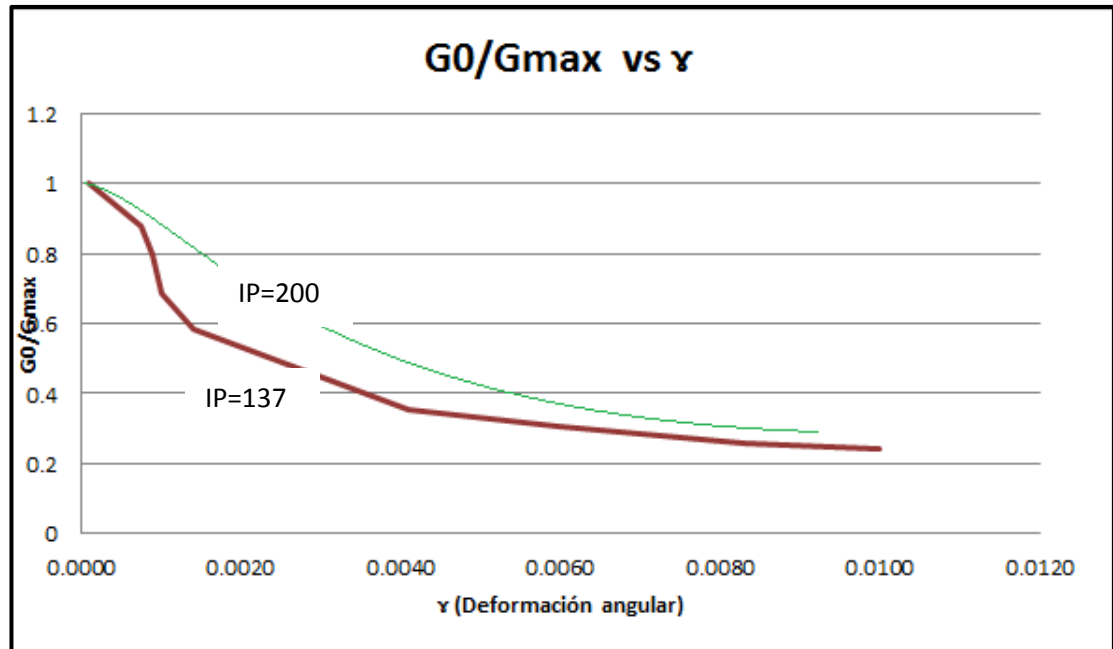


En la gráfica anterior se observa una dispersión evidente de los datos experimentales con respecto a la curva teórica propuesta por Vucetic y Dobry para el índice de plasticidad de 200. Esto también puede estar dado en función a que no existe una curva exacta para el índice de plasticidad encontrado en los ensayos de clasificación.

- **Profundidad de 7.1-7.5m**

Para esta profundidad se encontró un índice de plasticidad aproximado de 137 lo cual permite contrastar con la curva teórica propuesta por Vucetic y Dobry.

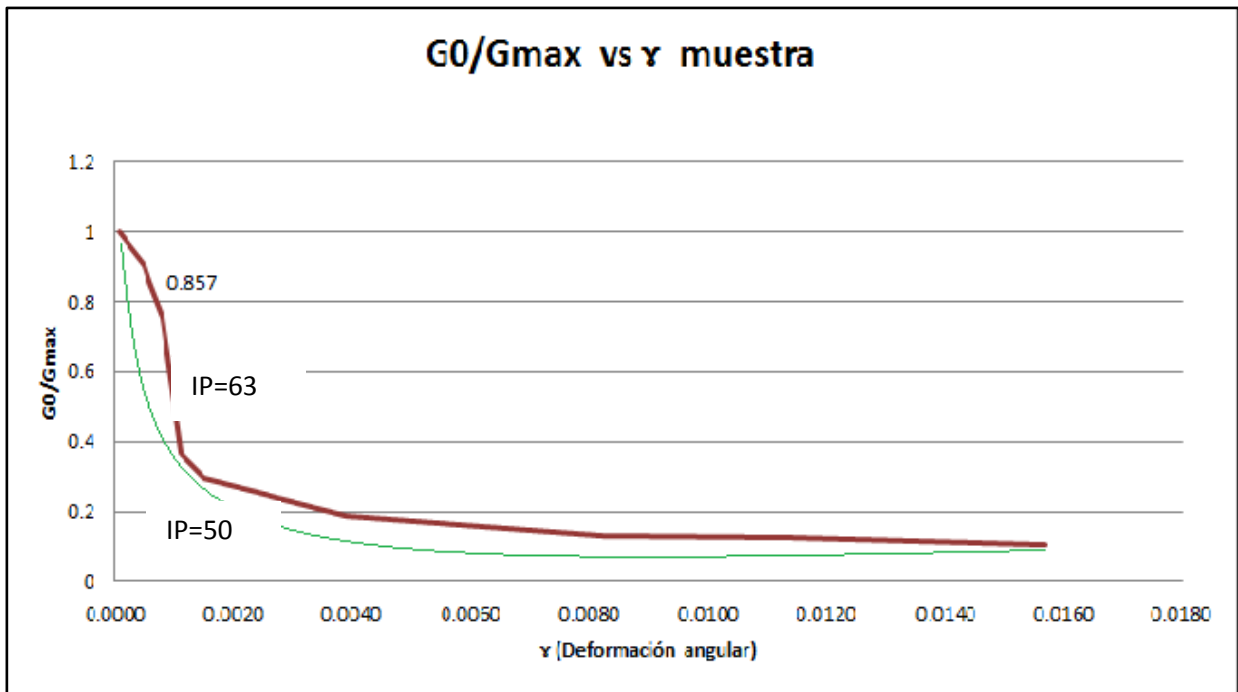
Ilustración 49. Comparación de la curva teórica para un índice de plasticidad de 50, con el índice de plasticidad experimental de 63. Autoría Propia



- **profundidad de 10-10.5m**

Para esta profundidad se encontró un índice de plasticidad aproximado de 63 lo cual permite contrastar con la curva teórica propuesta por Vucetic y Dobry.

Ilustración 50. Comparación entre la curva experimental para un índice de plasticidad de 63 y la curva teórica para un índice de plasticidad de 50. Autoría Propia.



4.3.1.3 Comparación de las tres curvas de degradación de modulo.

A continuación se muestra una comparación de las tres curvas de degradación de modulo obtenidas anteriormente para una deformación promedio.

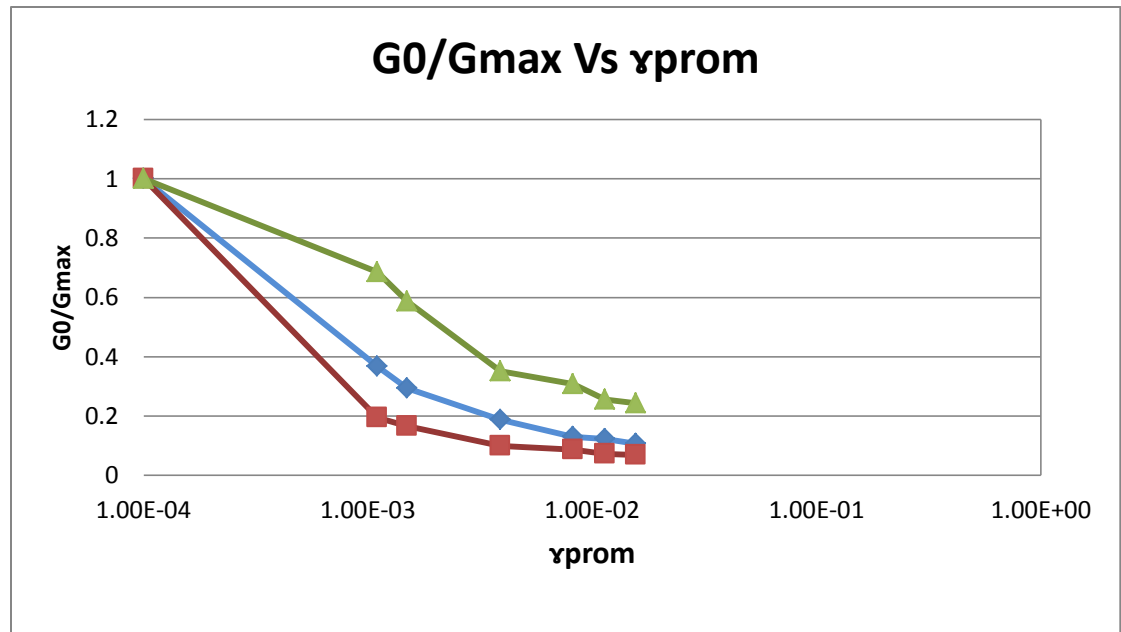
Tabla 25 Deformación angular promedio y normalización del módulo cortante. Autoría Propia.

γ_{prom}	G0/Gmax1	G0/Gmax2	G0/Gmax3
1.30E-02	0.1075	0.06936275	0.24396552
1.00E-02	0.12333333	0.07303922	0.25689655
7.07E-03	0.13	0.0877451	0.30862069
3.93E-03	0.18865385	0.10004902	0.35189655
1.43E-03	0.29314103	0.16661765	0.58603448
1.03E-03	0.36692308	0.19519608	0.68655172
1.00E-04	1	1	1

Ilustración 51. Comparación graficas curva degradación de modulo. Autoría propia

De acuerdo a los ciclos de histéresis, y las áreas dispuestas en ellos, se obtiene la siguiente gráfica, de amortiguamiento versus la deformación del suelo, donde se define los resultados mostrados en la tabla 27 con un grado mínimo de variación con respecto a los resultados generados por estudios anteriores.

Tabla 26 Amortiguamiento obtenido vs amortiguamiento estudios anteriores



AMORTIGUAMIENTO OBTENIDO		AMORTIGUAMIENTO ESTUDIOS ANTERIORES	
0.001	0.153	0.161	0.001
0.0014	0.165	0.166	0.0014
0.0038	0.17	0.189	0.0038
0.007	0.189	0.198	0.007
0.0103	0.191	0.192	0.0103
0.0134	0.192	0.193	0.0134

En la gráfica presentada se puede observar que a medida que llega la onda de sismo, la razón de amortiguamiento aumenta, representando la disipación de energía, que como se observa en la gráfica se disipa en menor grado.

Ilustración 52. Grafica amortiguamiento Vs deformación

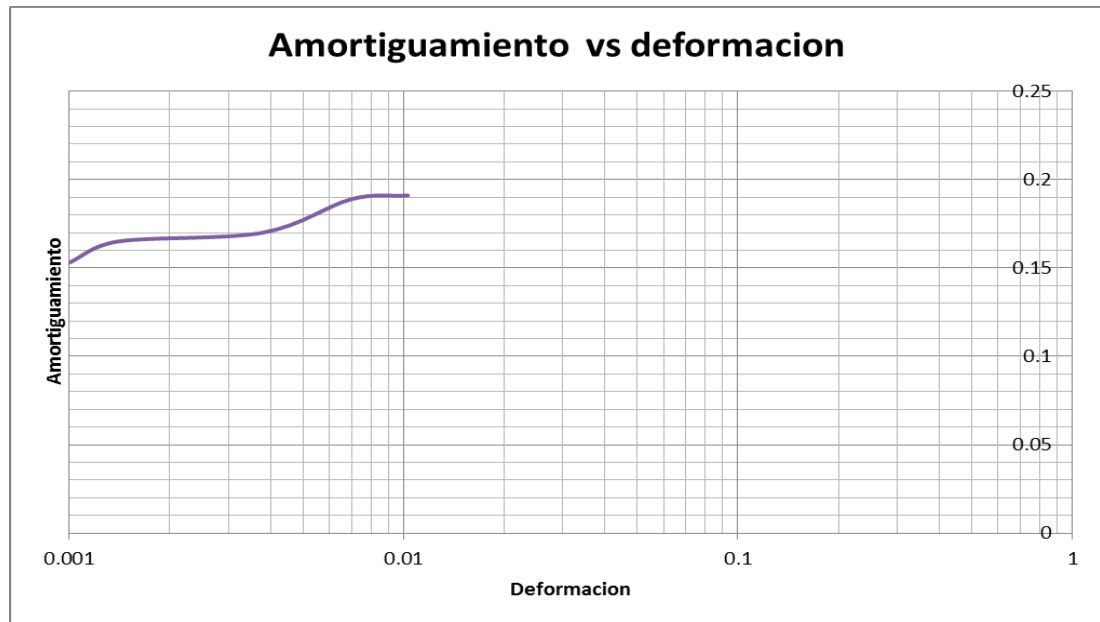


Tabla 28. Tabla resumen parámetros Dinámicos. Autoría Propia

PARAMETROS DINAMICOS Profundidad 7.1-7.5m	
Relacion de poisson	0,43
E (kg/cm2)	80,6736
Gprom(Kg/cm2)	23,52
Amortiguamiento Prom	0,18

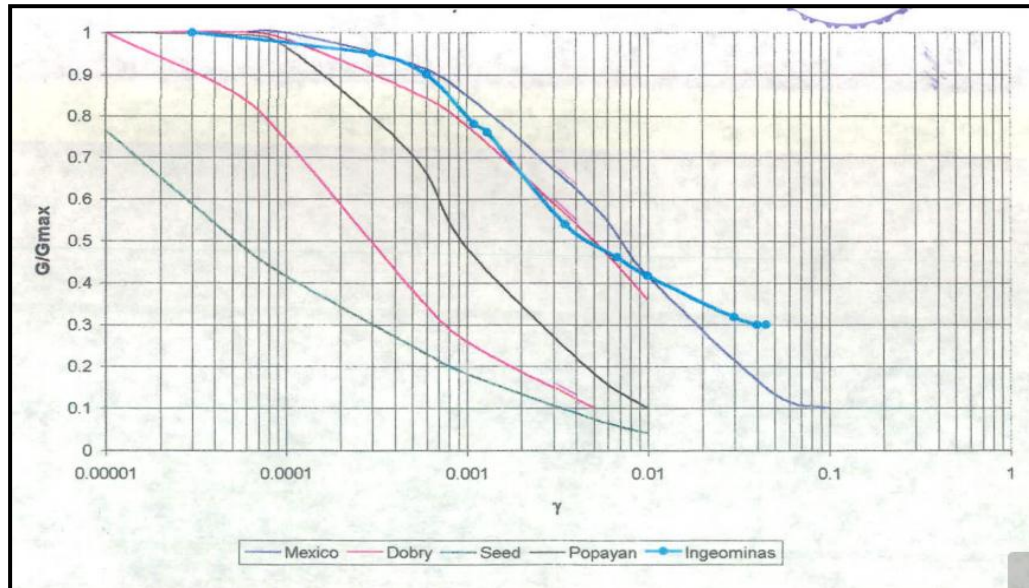
PARAMETROS DINAMICOS Profundidad 10-10,5m	
Relacion de poisson	0,43
E (kg/cm2)	107,8392
Gprom(Kg/cm2)	31,44
Amortiguamiento Prom	0,18

PARAMETROS DINAMICOS Profundidad 4.0-4.6m	
Relacion de poisson	0,43
E (kg/cm2)	46,7509
Gprom(Kg/cm2)	13,63
Amortiguamiento Prom	0,18

Los valores anteriores corresponden a los parámetros dinámicos calculados a través del uso de las correlaciones mencionadas en el marco teórico.

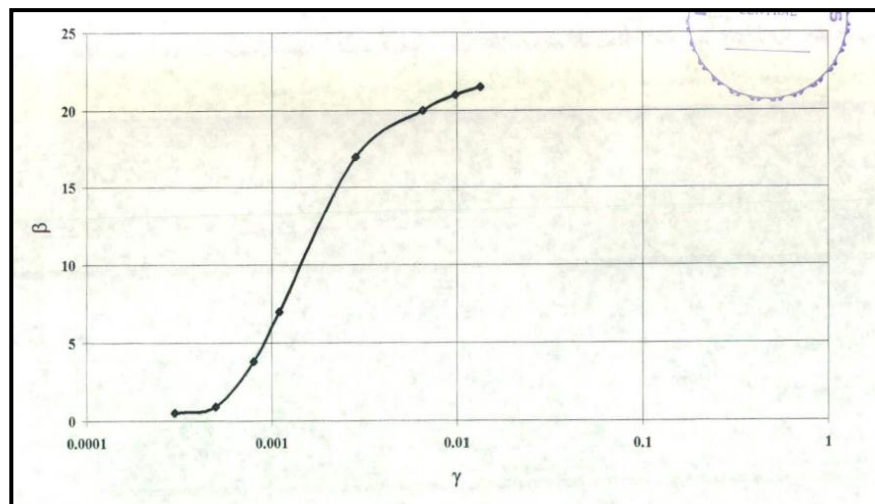
Como graficas de referencia se tomaron lass graficas creadas por el ingeominas para G_0/G_{max} y el amortiguamiento.

Ilustración 53. Curvas teóricas Degradación de modulo Diferentes tipos de arcillas.



Fuente: Microzonificación sísmica de Bogotá. Ingeominas

Ilustración 54. Amortiguamiento típico para arcillas de bogota.



Fuente: Microzonificación sísmica de Bogotá. Ingeominas

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS

- Durante el desarrollo de la fase 2 pudo observarse como en la zona de estudio el perfil estratigráfico no responde a una formación exclusiva de arcilla, ya que se encontraron durante la ejecución de la perforación lentes de arenas lo cuales pueden estar atribuidos a que el punto de estudio se encuentra muy próximo a un cerro el cual efectos de transporte pudo a rastrar materiales y cambiar el perfil característico para esta zona de la sabana de Bogotá.
- La tendencia de la grafica G_0/G_{max} se ajusta con la tendencia generada por el ingemominas en la microzonificación de Bogotá para arcillas blandas. Se observa que las deformaciones se presentan para un rango entre (0.01-0.0001).
- La grafica de amortiguamiento difiere, del modelo planteado por ingeominas cuando el rango de deformaciones se aproxima a 0.001, ya que las condiciones naturales del sitio tienen influencia en la absorción de energía del material.
- El suelo estudiado, según sus propiedades estáticas y resultados de laboratorio, posee un nivel freático cercano a la superficie, que genera una estratificación con altos índices de humedad y limites altos, lo que con lleva a obtener un índice de plasticidad alto, siendo este uno de los factores que influye en caso de sismo, define la curva dinámica llevando más rápido el suelo a su punto de falla con deformaciones angulares más grandes y generadas en menor tiempo.
- Los resultados obtenidos para el módulo de corte G de los depósitos arcillosos por medio del uso de las correlaciones existentes para tal fin, no generaron resultados válidos, que permitirían realizar una comparación y normalización coherente en relación bajo lo aspectado en la curva de degradación de modulo.
- Al realizar la comparación de las curvas experimentales de degradación de modulo, con las curvas teóricas para cada índice de plasticidad puede observarse una dispersión notoria, esto puede deberse a las condiciones típicas naturales como puede ser la humedad natural dado que las humedad naturales estuvieron en un orden de magnitud entre 17-185%, teniendo una

notoria variación entre los estratos, generando que se esta manera el amortiguamiento de cada estrato varíe.

- En relación con los rangos de deformación teóricos aspectados para los sismos y microsismos puede observarse que como en el rango de los sismos se presentan deformaciones grandes las cuales por ende producirán módulos de corte pequeños los cuales llevaran a los depósitos de arcilla a una fatiga en un menor tiempo situación que causara el colapso de cualquier estructura cimentadas en dicho sitio. Una situación muy diferente ocurre con los microsismos ya que generan módulos de corte altos como el producido a profundidad entre 4.1 y 4.6 el cual fue 200 KG/cm² escenario bajo el cual no se generarían afectaciones notorias sobre el subsuelo y las estructuras construidas sobre dichos depósitos.
- De acuerdo a los ciclos de histéresis brindados por el ensayo triaxial, se puede determinar el amortiguamiento del suelo, que va aumentando a medida que los ciclos de carga avanzan, dando el beneficio al suelo de obtener disipación en cada ciclo, recuperándose de las deformaciones originadas de los esfuerzos del sismo.
- La respuesta dinámica de los módulos de corte G de los depósitos arcillosos presentes en la calle 127 con avenida Boyacá dependerá en cierto grado de la ubicación geográfica al foco de un evento sísmico ya que la atenuación producida por la distancia, la topografía natural y las características naturales de los depósitos incrementaran o disminuirán dicho modulo.

5 ANEXOS

Anexos 1 Mapa actualizado Geotécnico Bogotá D.C.

Anexos 2 Mapa Geológico Bogotá D.C.

Anexos 3 Mapa microzonificación sísmica Bogotá D.C.

Anexos 4 Mapa hidrogeológico sísmica Bogotá D.C.

Anexos 5 Resultados de ensayos triaxial, velocidad de onda y Down Hole.
Instituto de Desarrollo urbano.

BIBLIOGRAFIA.

ALFARO CASTILLO, Andrés José, “Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá – Colombia”. Internet: (<http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/viewFile/1964/1830>)

BOGOTA D.C. ALCALDIA MAYOR. Decreto 175 (31, Mayo, 2006). Por el cual se reglamenta la unidad de planeamiento zonal (UPZ) No. 24, NIZA, ubicada en la localidad de Suba. Bogotá: Alcaldía. 2006. 26p

BORJA, Castillo. PRETELL, Ductram. Compracion de curvas del modulo de corte con resultados triaxiales ciclicos y analisis de respuesta dinamica. [en linea] < [http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files /CURVASMODOLOCORTE.pdf](http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/CURVASMODOLOCORTE.pdf). >[citado en 24 de Febrero de 2015]

¿Cuál es el riesgo sísmico en Bogotá? . [en linea]< <http://www.registraduria.gov.co/Cual-es-el-riesgo-sismico-en.html>>

Céspedes Sebastián. “o “revela que el suelo arcilloso de Bogotá, es proclive al hundimiento”. En: CM&. Bogotá. D.C. 10, septiembre , 2012

DANE. “ Proyección de población población 2005-2020”

DIAGNOSTICO LOCALIDAD DE SUBA. Sector hábitat. [en linea] <www.habitatbogota.gov.co> [citado en 19 de marzo de 2015]

DIAZ, Jorge A. Caracterización dinámica de los suelos – Ensayos de campo y laboratorio. En: Curso de actualización en ingeniería sísmica y dinámica de suelos. México, 2013. p. 6-11.

FONDO DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIA. Informe final. En: Zonificacion de la respuesta sismica de Bogota para el diseno sismo resistente de edificaciones. Colombia, 2010. p 2.

GUERRERO, Alberto. Geología del Subsuelo de nororiente de la Ciudad de Santafé de Bogotá D.C. Trabajo de grado para Geólogo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geo ciencias, 1994. 100p.

LA SISMICIDAD EN EL PIEDEMONTES LLANERO Y LA AMENAZA SISMICA DE LA SABANA DE BOGOTA. [en linea] http://www.researchgate.net/publication/265551395_La_sismicidad_en_el_Piedemonte_Llanero_y_la_amenaza_sismica_de_la_Sabana_de_Bogota

ORTIZ, Maria. GAITAN, Juan Felipe. CAMACHO, Javier. Modelo unificado de curvas de degradacion del modulo cortante en arenas del rio Guayaruba. [en linea] <http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200010&lng=es&nrm=iso>[citado en 24 de Febrero de 2015]

MAPA HIDROGEOLOGICO DE SANTA FE DE BOGOTA. [en linea]. <http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/geologico_bogota.pdf>

MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA. [en linea] <<http://ing-davirbonilla.com/microzonificacion-sismica-de-bogota/>>

MONTANA, Lucas. Escenarios de daño en Bogotá para un evento sísmico bajo un modelo probabilístico. Proyecto de grado magister en Ingeniería civil. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2005.

SARRIA ALBERTO. Características dinámicas de los suelos y enrocados. En: INGENIERIA SISMICA. 2 ed. Colombia: Gustavo Caldas, 1995.

SARRIA MOLINA, Alberto. Métodos Geofísicos con aplicaciones a la ingeniería civil. Bogotá D.C: ediciones uniandes, 1996.

SCG SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA. Modelo Geotécnico de la La Sabana de Bogotá y caracterización dinámica bidimensional de los suelos de Bogotá. En: Convenio administrativo FOPAE –SGC No 460 de 2006. Bogotá, Colombia, 2007.

Secretaria del habitad "Diagnostico localidad de suba". Internet: (file:///C:/Users/user/Downloads/Diagnostico_Suba_dic2011.pdf). [con acceso el 26 de febrero]
¹

V SEMINARIO COLOMBIANO DE GEOTECNIA, (5: 10-13, Agosto, 2004: Paipa, Colombia). Memorias. Bogotá: Universidad Javeriana, 2004.

VUCETIC, M., Cyclic threshold shear strain in soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 120(12), pp. 89-107, 1994.