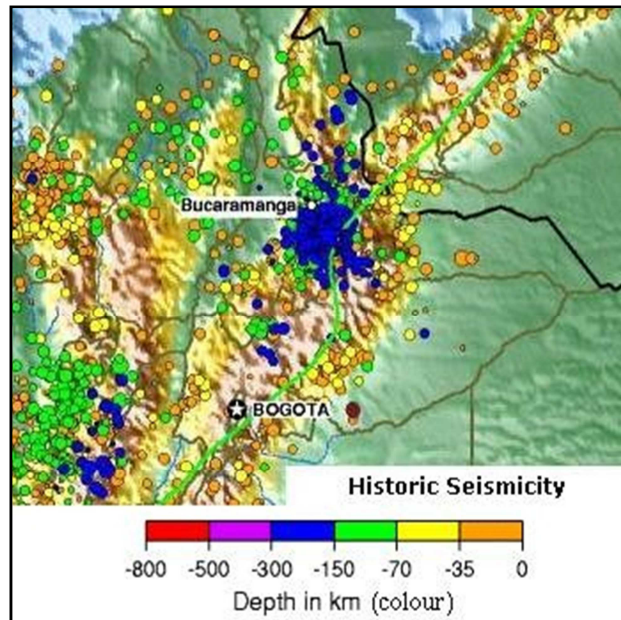


## Amenaza sísmica y movimientos sísmicos para diseño

### Neotectónica

De acuerdo con los resultados de las Fase I y II de la Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga, la sismicidad y el marco litoestructural del bloque Andino, en la región nororiental de Colombia, se atribuye a una tectónica compresiva activa a partir del Mioceno Superior, generada por la convergencia Este-Oeste de las placas Litosféricas Suramericana y de Nazca, además del choque en dirección Noreste-Sureste del bloque Panamá y la influencia de la Placa Caribe.

### Sismicidad Histórica en la zona de Bucaramanga



La sismicidad de Bucaramanga es muy frecuente con varios sismos al día, la mayoría de los cuales proviene del nido sísmico de Bucaramanga.

En el mapa de sismos del USGS se observa un cluster de sismos profundos (Más de 150 Km) en la zona de Bucaramanga; estos sismos por su profundidad no representan una amenaza sísmica real sobre la ciudad; se observa además, que en las zonas de los diversos nidos sísmicos en el mundo no ocurren sismos poco profundos de gran magnitud (Zarifi y otros, 2006); o sea que el nido sísmico actúa como un sistema de disipación de los eventos sísmicos superficiales (Zarifi Z., Havskov J., Hanyga A. (2006) An Insight into the Bucaramanga nest. Tectonophysics,2006. Advances in Geophysics, 2003).

El inventario histórico del Padre Jesús Emilio Ramírez, denominada “Historia de los terremotos en Colombia” compila los principales datos sobre los sismos ocurridos en el país desde los tiempos de la conquista (siglo XVI) hasta el año de 1963.


De los 597 sismos que reporta para todo el territorio nacional, 111 aparecen ubicados con epicentro en algún lugar del departamento de Santander.

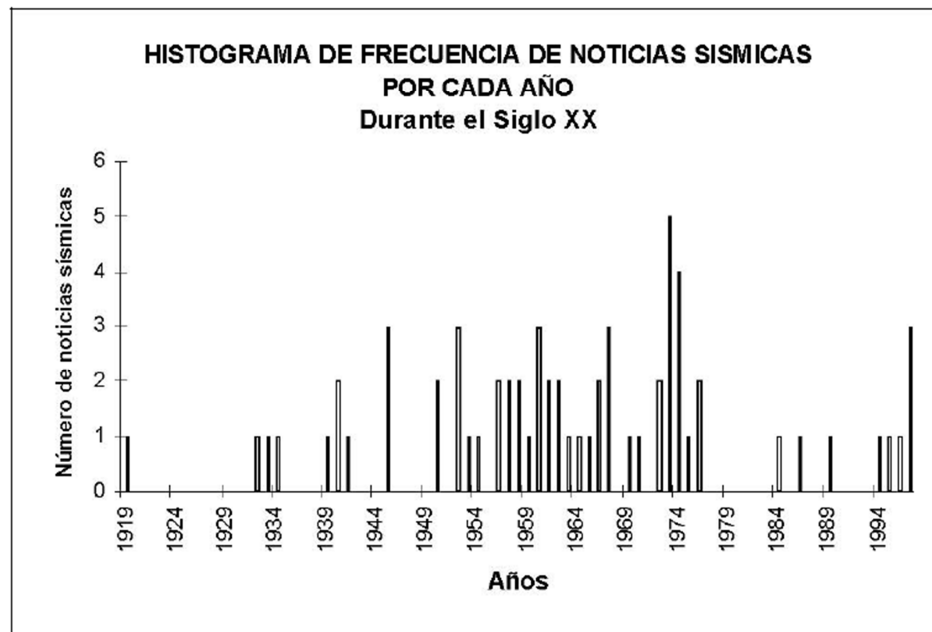
La reedición de la obra del padre Ramírez, donde se publica un nuevo catálogo de sismos hasta 1974, muestra la constante actividad sísmica de la zona del Macizo de Santander, donde además de las localidades anteriores se destacan las de Umpalá, Pamplona y Los Curos, como zonas de alta frecuencia en la ocurrencia de sismos.

*Inventario de movimientos sísmicos importantes*

De acuerdo a Ingeominas (2007), a partir de la revisión de documentos, libros, archivos notariales y publicaciones periódicas de fuente nacional principalmente, se encontraron 70 noticias sísmicas, la mayoría correspondientes al siglo XX, entre las cuales también se incluyen los dos grandes terremotos ocurridos en Cúcuta el 18 de mayo de 1875 y el 9 de julio de 1950.

De acuerdo a Ingeominas (2007), a pesar de que no es significativo el reporte de daños que se tiene en la ciudad de Bucaramanga, por causa de estos dos sismos (Ramírez, 1975 a; Ramírez, 1953; Ramírez, 1975 b), éstos se incluyen ya que se informa que fueron sentidos y causaron pánico entre la ciudadanía.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>		<b>Página</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417	<b>22</b>




Histograma del número de noticias sísmicas encontradas en cada año para el Area Metropolitana de Bucaramanga, a partir de 1919, año en que se consigue la primera noticia en este siglo hasta 1997 (Ingeominas, 2007).

A continuación se presenta información sobre los efectos más relevantes que han dejado algunos sismos en la ciudad de Bucaramanga:

- El sismo de Abril 4 de 1952 (No se encontró información técnica)
- El sismo de Diciembre 14 de 1952 (No se encontró información técnica)
- El sismo de Abril 22 de 1956 (No se encontró información técnica)
- El sismo de septiembre 2 de 1964 (sismos de magnitudes 3.7 y 4.8 con epicentro en Cúcuta, Villa Zulia y Lourdes en Norte de Santander)
- El sismo de julio 29 de 1967 (sismo de magnitud 6.3, con coordenadas de epicentro 6.8N y 73.0W en el sector de Betulia - Santander); Este es el sismo de mayor magnitud que se haya sentido en Bucaramanga y hubo un total de 20 muertos y 150 heridos, especialmente en el municipio de Betulia.

No hay información técnica precisa, debido a que Ingeominas no había instalado todavía la red sísmica nacional.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	<b>Página</b> <b>23</b>
Δ	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417

### Aceleraciones para diseño

No existe información técnica local en Bucaramanga para soportar la especificación de una aceleración para diseño; sin embargo, Ingeominas ha propuesto aceleraciones basadas principalmente en el análisis conceptual de la tectónica regional sin soporte instrumental concluyente.

La siguiente tabla propuesta por Ingeominas, presenta el valor de aceleración máxima del terreno obtenida para los análisis de amenaza para fuentes individuales, que se encuentren dentro de un radio de 200 kilómetros de la zona de estudio.

Se puede observar que la amenaza está controlada por la posible ocurrencia de un sismo a lo largo de las Fallas Bucaramanga-Santa Marta, Suárez, Salinas y la Frontal de los Llanos Orientales; sin embargo, el mencionado estudio sintetizó los escenarios sísmicos en 2 posibles escenarios: Falla Bucaramanga y Frontal de los Llanos Orientales, considerando que los efectos generados por un sismo en las fallas Suárez y Salinas estarían cubiertos por dichos escenarios escogidos.


Amenaza sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga considerando fuentes sismogénicas individuales (INGEOMINAS, 2001).

Fuente Sísmica	Am (g)
Todas las fuentes (200 kilómetros)	0.247
Frontal de los Llanos Orientales	0.214
Bucaramanga – Santa Marta	0.166
Salinas	0.118
Suárez	0.106
Benioff Profunda	0.078
Uribante Caparo	0.044
Boconó	0.025
Cimitarra	0.024
Palestina	0.023
Puerto Rondón	0.018

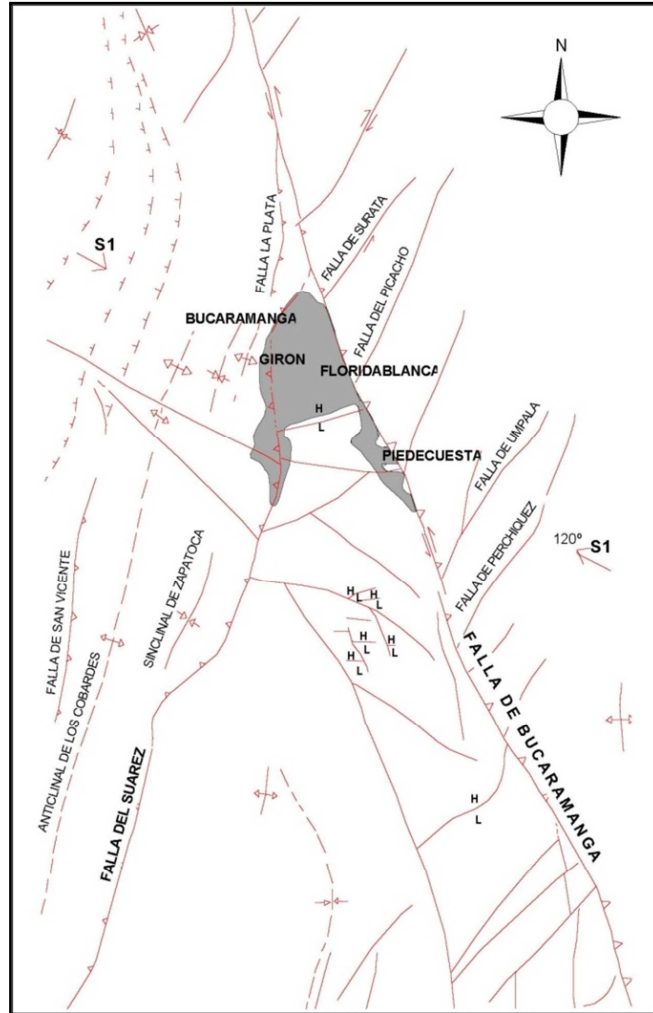
### Marco tectónico general


Las fallas activas con longitud suficiente para generar sismos importantes en Bucaramanga son las fallas de Bucaramanga, del Suárez, de Servitá, de La Salina y del Piedemonte llanero.

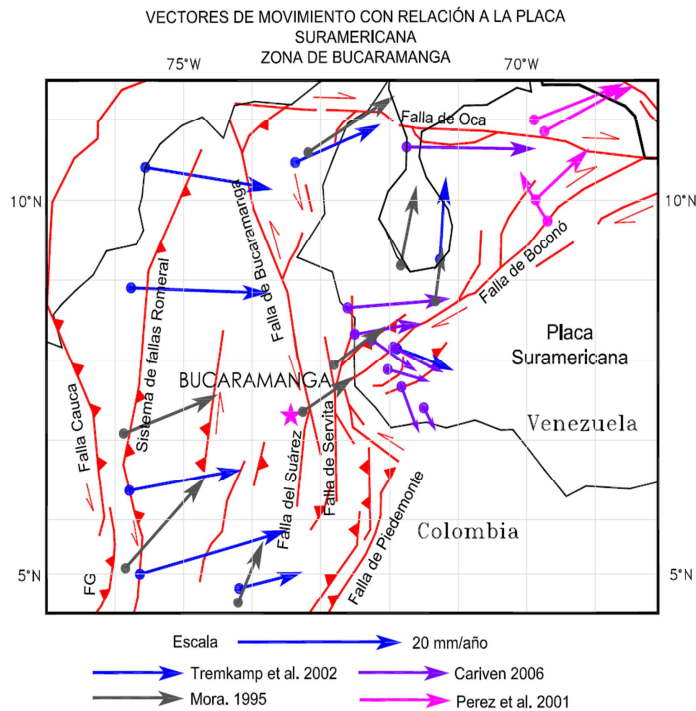
Teniendo en cuenta que los vectores de movimiento de los bloques tectónicos (ver plano) son principalmente hacia el oriente y las fallas geológicas son N-S se generan unos esfuerzos de compresión; sin embargo, la magnitud de las deformaciones para el caso de Bucaramanga es muy inferior a la de los casos de Haití o Chile e incluso del caso de Armenia; igualmente las deformaciones acumuladas son muy pequeñas.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>		<b>Página</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417	<b>24</b>

Mapa Tectónico de Bucaramanga y alrededores (INGEOMINAS, 1997)




 Δ	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>		Página
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417	<b>25</b>



En el siguiente cuadro se muestran las magnitudes, intensidades de los sismos y las superficies de ruptura y desplazamientos que se requieren para que ocurran esos sismos (SIO 2009)

Magnitud aproximada	Intensidad Mercalli en el epicentro	Duración del sismo (seg)	Mov. de la falla (m)	Longitud de la ruptura (km)
4	IV-V	0-2		0.1
5	VI-VII	2-5	0.01	1
6	VIII-IX	10-15	0.5-1.5	10
7	X-XI	20-50	2	50-100
8	XII	>50-150	5	200-400
9	>XII	>200	20	1000

Teniendo en cuenta que las deformaciones acumuladas no superan los 100 centímetros en 100 años y que la superficie de ruptura no supera los 50 kilómetros (Longitud continua de una traza de falla), en nuestro criterio, el evento de diseño corresponde a un sismo de magnitud 5 a 6 originado en las fallas de Bucaramanga o del Suárez.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	Página <b>26</b>
Δ	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417

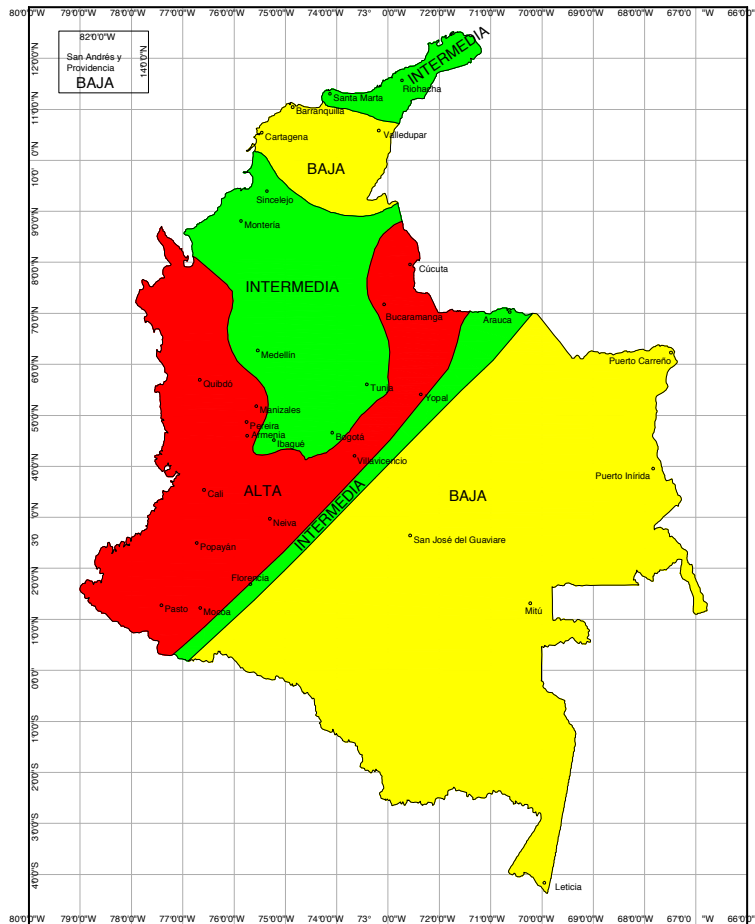
El efecto de un sismo de magnitud 7 en el Piedemonte llanero a más de 100 Km de distancia también debe considerarse para el análisis de amenaza sísmica de la zona Metropolitana de Bucaramanga.


**Requerimientos Amenaza Sísmica NSR-10**

*Zona de amenaza sísmica*

De acuerdo al mapa de amenaza sísmica, la ciudad de Bucaramanga se encuentra localizada en una zona de amenaza sísmica alta.

*Plano de amenaza sísmica*



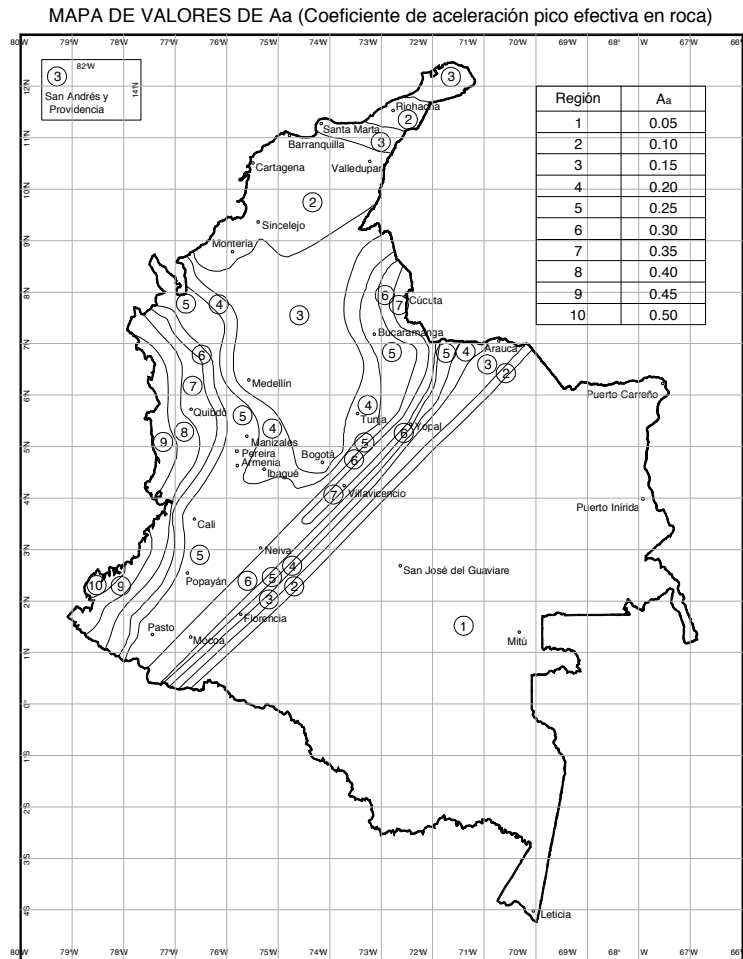
	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>		<b>Página</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz		<b>27</b>
	Estudio Geotécnico No. 4417		

Valores de  $A_a$  y  $A_v$

De acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10, los movimientos sísmicos de diseño son los siguientes:

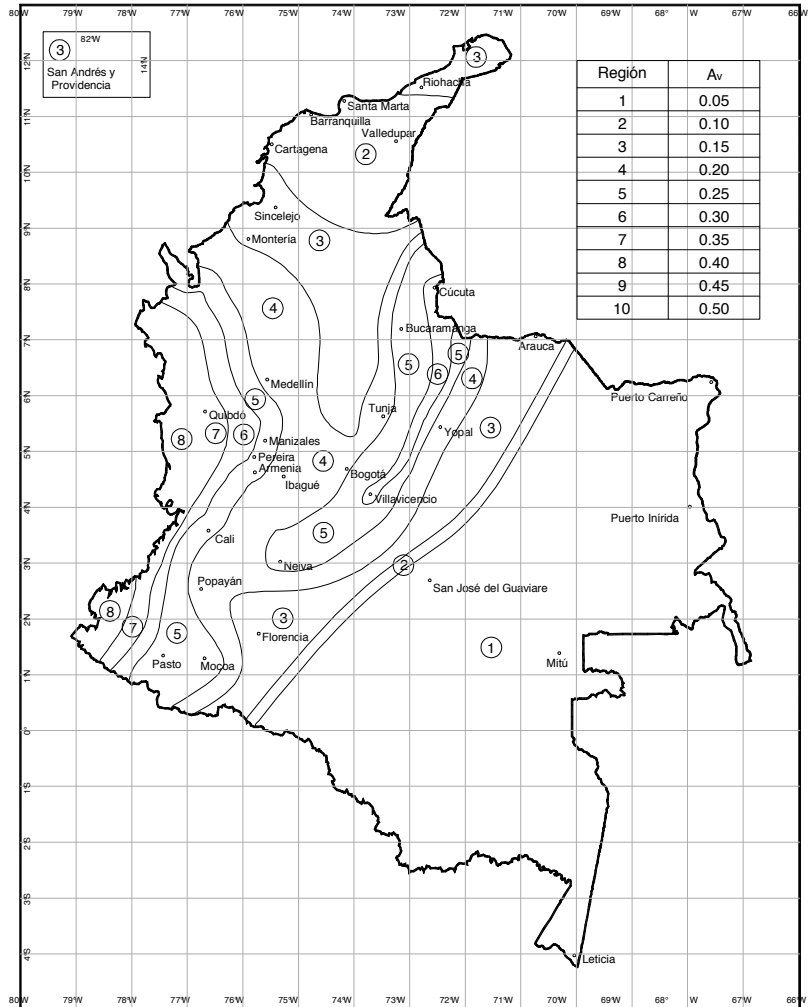
- $A_a$  (aceleración horizontal pico efectivo en roca): 0.25
- $A_v$  (velocidad horizontal pico efectivo): 0.25

Plano de  $A_a$



Plano de  $A_v$

MAPA DE VALORES DE  $A_v$  (Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva)



Δ

PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA

Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz

Estudio Geotécnico No. 4417

Página

29

## Efectos locales

### *Clasificación de perfil de suelo*

De acuerdo al NSR-10 (Tabla A.2.4-1) el tipo y perfil de suelo es: C

Perfil de suelo muy denso o roca blanda que cumple con la condición  $\bar{N} \geq 50$

Donde  $\bar{N}$  = número medio de golpes del ensayo de penetración estándar realizado de acuerdo a la norma ASTM D1586 haciendo corrección por energía  $N_{60}$ .

En el capítulo 7 se indican los valores de  $\bar{N}$  para cada uno de los sondeos realizados.

### *Coefficiente $F_a$ de períodos cortos del espectro*

El valor de  $F_a$  para períodos cortos del espectro (tabla A.2.4-3) es: 1.15.

### *Coefficiente $F_v$ de períodos intermedios del espectro*

El valor de  $F_a$  para períodos intermedios del espectro (tabla A.2.4-4) es: 1.55.

## Criterios del espectro de diseño (A.2.6 NSR-10)

Para el análisis de la acción sísmica se recomienda utilizar el espectro elástico de diseño de la Norma NSR-10, definido mediante los siguientes parámetros el cual está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5% del crítico.

Donde:

$S_a$  : Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.

$A_a$ : Aceleración horizontal pico efectivo en roca (*Figura A.2.3-2*).  $A_a = 0.25$

$A_v$ : Velocidad horizontal pico efectivo (*Figura A.2.3-3*).  $A_v = 0.25$

$F_a$ : Coeficiente de amplificación  $F_a$  de períodos cortos del espectro (*Tabla A.2.4-3*).

$F_a = 1.15$

$F_v$ : Coeficiente de amplificación  $F_v$  de períodos intermedios del espectro (*Tabla A.2.4-4*).

$F_v = 1.55$



$I$ : Coeficiente de importancia (Numeral A.2.5 NSR-10)

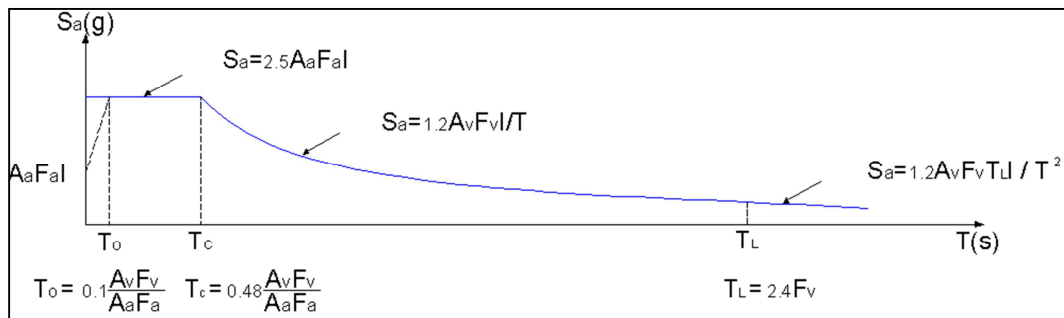
Grupo de uso I: Estructuras de ocupación normal (*Tabla A.2.5-1*).  $I = 1.0$

$T_o$ : Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.

$T_c$ : Periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para períodos cortos y la parte descendente del mismo.

$T_L$ : Periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para períodos largos.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>		<b>Página</b> <b>30</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417	



Cálculo de periodos:

$$T_o = 0.1 \cdot 0.25 \cdot 1.55 / (0.25 \cdot 1.15) = 0.134s$$

$$T_c = 0.48 \cdot 0.25 \cdot 1.55 / (0.25 \cdot 1.15) = 0.646s$$

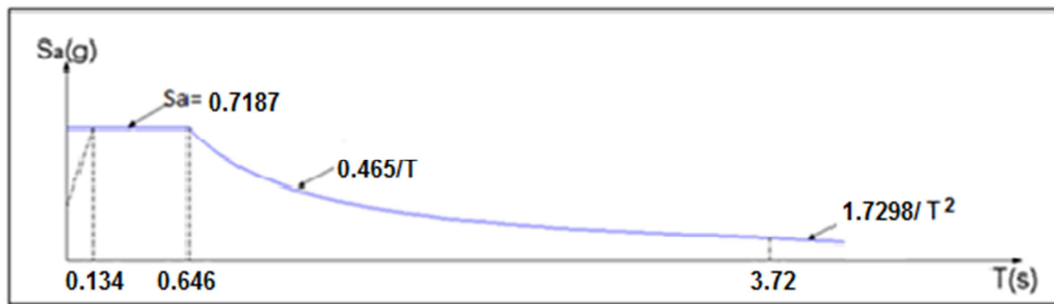
$$T_L = 2.4 \cdot 1.55 = 3.72s$$

$$S_a = 2.5 \cdot 0.25 \cdot 1.15 \cdot 1.0 = 0.7187 \text{ para } T < T_c$$

$$S_a = 1.2 \cdot 0.25 \cdot 1.55 \cdot 1.0 / T = 0.465 / T \text{ para } T_c < T < T_L$$

$$S_a = 1.2 \cdot 0.25 \cdot 1.55 \cdot 3.72 \cdot 1.0 / T^2 = 1.7298 / T^2 \text{ para } T > T_L$$

Espectro en función del periodo:



Cálculo del periodo fundamental aproximado (A.4.2.2 NSR-10)

$T_a = C_t h^\alpha$  (A.4.2-3), donde:


$C_t$ : Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura, depende del material y el sistema estructural (Tabla A.4.2-1).

$C_t = 0.049$ , para sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de los muros de concreto o mampostería.

$h$ : Altura en metros, medida desde la base al piso más alto del edificio.

$\alpha$ : Exponente para calcular el periodo fundamental aproximado (Tabla A.4.2-1).

$$\alpha = 0.75$$

 ▽ Δ	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	Página <b>31</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417

$$T_a = C_t h^\alpha = 0.049(63)^{0.75} = 1.095 \text{ s}$$

$$S_a = 1.2 * 0.25 * 1.55 * 1.0 / 1.095 = 0.4246 \text{ (g)}$$

Cálculo del cortante basal de la edificación:

$$V_s \text{ (cortante Basal)} = S_a (T_a)^* w \text{ (peso de la estructura)}$$

### Evaluación geotécnica de efectos sísmicos

#### *Incidencias de la litología y tipos de suelo*

La roca sana propiamente dicha no apareció en los sondeos realizados.

Las propiedades y comportamiento dinámico de los suelos, se determinaron por correlación con los ensayos de SPT

#### *Evaluación del potencial de licuación*

Si un suelo saturado y sin cohesión es sometido a vibraciones sísmicas, el suelo se contrae y desarrolla presiones de poro positivas a menos que ocurra drenaje rápido.

Si la presión de poros alcanza niveles tan altos como la presión geostática vertical, la presión efectiva desaparece (presión efectiva = 0).



En ese caso el suelo pierde la totalidad de su resistencia, se comporta como un líquido y ocurren deformaciones significativas (Cornforth, 2005).

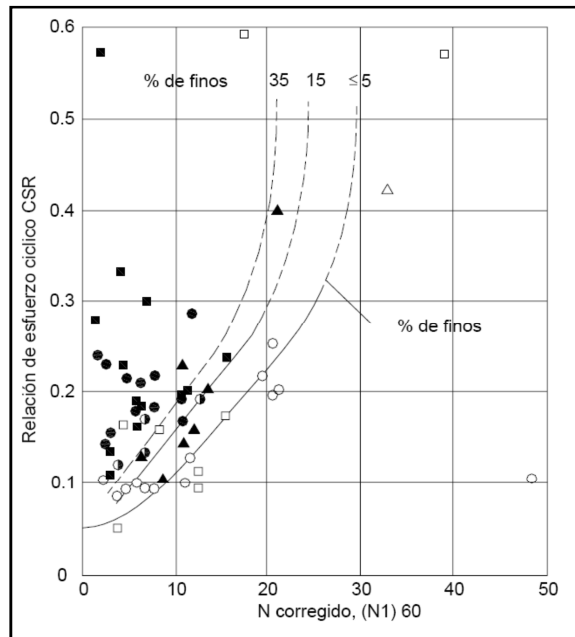
El sistema más utilizado para evaluar la resistencia a la licuación de un suelo no cohesivo, se basa en la experiencia con suelos de composición similar y la relación de la licuación con el ensayo de penetración estándar SPT.

Generalmente los suelos con alta susceptibilidad a la licuación poseen un N corregido de 10 o menor y se encuentran saturados, aunque en ocasiones reproduce licuación con valores de N hasta de 15.

Los valores de N del ensayo de SPT a nivel de cimentación del proyecto, son en todos los casos superiores a 50 y corresponden a suelos aluviales duros.

Los suelos que presentan valores de N inferiores a 50 se removerán en las actividades de excavación para la construcción de los cimientos.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	<b>Página</b>  <b>32</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417



En la gráfica anterior, si el punto de la relación entre el esfuerzo cíclico CSR y el N corregido queda hacia la izquierda (sector de elementos oscuros), se concluye que ocurre licuación.

Si el punto queda hacia la derecha (sector de elementos claros), se concluye que no ocurre licuación.


Para un sismo de alta intensidad esperado para el municipio de Floridablanca, los esfuerzos generados por el sismo van a producir necesariamente valores de CSR con factores de seguridad cercanos a 1.5 debido a que los suelos a nivel de cimentación tienen una consistencia dura y no saturada, la capacidad de soporte es media, presentan un porcentaje importante de finos (entre el 42% y 70%) y la relación de esfuerzo cíclico CSR es baja (del orden de 0.1).

Para el caso de los suelos del lote estudiado, los puntos se encuentran muy hacia la parte derecha de la gráfica y por lo tanto se concluye que no presentan potencial de licuación. Los valores N son superiores (mayores a 50).

*Comportamiento esperado de los suelos en el momento de sismos*

Los suelos encontrados son materiales relativamente duros, los cuales tienen por sus características físicas un comportamiento aceptable en el momento de sismos.


No se deben esperar asentamientos ni movimientos del terreno relacionados con sismos.

 Δ	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	Página <b>33</b>
	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417

**Información obtenida de estudios anteriores realizados en la zona de alrededor del lote estudiado**

*Detalles obtenidos de los estudios de suelos realizados en los sectores vecinos al lote estudiado.*

- Estudio geotécnico Lote Carrera 39A – Calle 44, Proyecto Monte Castelo – Bucaramanga. Aparece un manto subsuperficial de rellenos y suelos sueltos compuesto por limos arenosos de espesor variable entre 0.5 a 3.5 metros no competentes, seguido de suelos aluviales competentes para la cimentación de las estructuras, compuestos por arenas limosas y limos arenosos, algo resistentes de espesor variable entre 4.5 a 8.5 metros, al profundizar se encuentran suelos aluviales competentes con intercalaciones de bloques de arenisca color blanco y marrón hasta una profundidad no determinada mayor a 1.2 metros.  
En los sondeos realizados apareció el nivel freático aproximadamente a 11.4 metros.
- Estudio geotécnico Lote Calle 39A – Calle 46 Esquina Suroccidental – Bucaramanga. Aparece un manto subsuperficial de suelos organicos compuestos por limos arenosos de espesor variable entre 0.5 y 1.0 metros, seguido de suelos aluviales compuestos por limos arenosos, algo resistentes hasta una profundidad variable entre 1.2 y 2.5 metros, al profundizar se encuentra suelos aluviales competentes compuestos por arenas limosas y limos arenosos, con intercalaciones de bloques de arenisca, resistentes, color marrón y gris hasta una profundidad no determinada mayor de 16.5 metros.  
En los sondeos realizados apareció el nivel freático aproximadamente a 9.35 metros.
- Estudio geotécnico Lote Calle 39A Número 44 - 72 – Bucaramanga. Aparece un manto subsuperficial de suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas, algo resistentes hasta 0.5 metros, seguido de suelos aluviales compuestos por limos arcillosos, resistentes hasta de 8.0 metros; al profundizar se encuentra suelos aluviales competentes compuestos por arcillas limosas, con intercalaciones de bloques de arenisca, resistentes, color blanco, rojo y negro hasta una profundidad no determinada mayor de 18.5 metros.  
En los sondeos realizados apareció el nivel freático aproximadamente a 3.0 metros.

	<b>PROYECTO CARRERA 39A NUMERO 44 – 46 – BUCARAMANGA</b>	Página <b>34</b>
△	Revisó: Ingeniero Jaime Suárez Díaz	Estudio Geotécnico No. 4417

# Investigaciones geotécnicas realizadas

## Criterios utilizados

Para la planeación de las investigaciones geológicas y geotécnicas se utilizaron los criterios generales de geología y geotecnia, de acuerdo al estado del conocimiento de estas ciencias y a los lineamientos específicos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

## Técnicas utilizadas

- Se analizó la información de los estudios geológicos y geotécnicos realizados anteriormente en el área, con el objeto de tener una información básica preliminar de las características geológicas y geotécnicas de toda el área en estudio; Esta información con su respectivo control de campo, permitió mapear a detalle los contactos geológicos superficiales.
- Se realizaron sondeos utilizando equipos de perforación a rotación y se realizaron ensayos de campo en los sondeos.
- Se realizó el monitoreo de los niveles freáticos en los sondeos durante el tiempo de realización del estudio.
- Se obtuvieron las propiedades geotécnicas de los suelos mediante ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio.
- Se realizaron análisis de estabilidad de laderas utilizando software internacional de propiedad de Geotecnología S.A.S.
- Se calcularon los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y excavaciones para el proyecto.

## Sondeos y ensayos de campo

*Requerimientos de número y profundidad de sondeos de acuerdo al reglamento NSR-10.*

El número mínimo de sondeos por cada unidad de construcción está definido por la tabla H.3.2-1 del NSR-10.

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

