ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)

ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 60\left(\frac{0.06628\,L^{0.77}}{S^{0.385}}\right)$
LONGITUD DEL RIO DESDE AGUAS ARRIBA HSTA LA SALIDA	KM	L	
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA	M/M	S	

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGERNCY (1970)

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGENCY (1970)			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 3.26036\frac{(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA DE MÉTODO RACIONAL. VER TABLA 17		C	
LONGITUD DEL FLUJO SUPERFICIAL	M	L	
PENDIENTE DE LA SUPERFICIE	%	S	

CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA	DATOS DE LA MICROCUENCA	UNIDAD	RESULTADOS
	AREA	Km²	0.02
	COTA SUP.	msnm	912.00
	COTA INF.	msnm	838.00
	LOG. CAUCE	km	0.44
	COEF. DE ESCORRENTIA		0.25
	TC KIRPICH	min	4.18
	TC Aviaton Agence	**min**	**22.71**
	TIEMPO DE CONCENTRACION	min	4.20
	PENDIENTE	m/km	168.18
	AREA	Ha	2.00

Tabla 21. Cálculo del tiempo de concentración Tc

De acuerdo a los resultados obtenidos en el tiempo de concentración, se establecen las intensidades máximas de precipitación conforme a las curvas IDF como se muestra en la siguiente tabla:

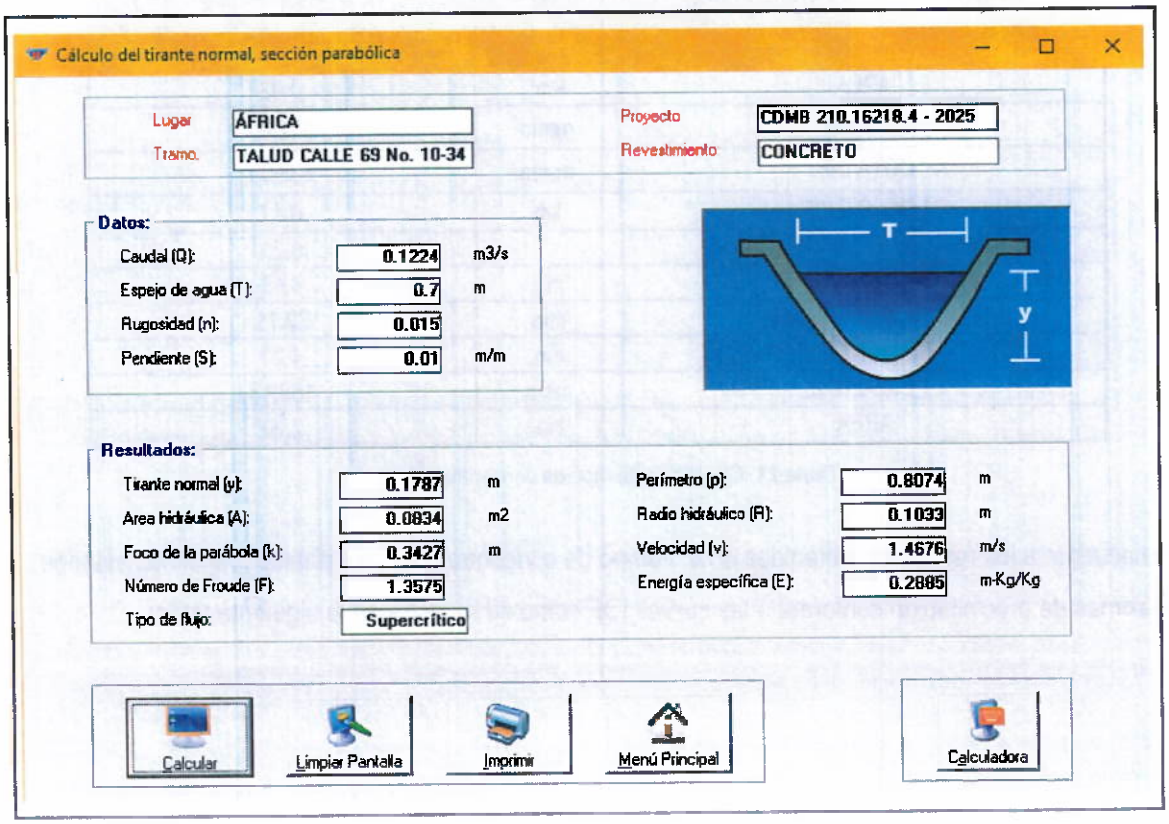
PERIODO DE RETORNO	INTENSIDADES MÁXIMAS ESTACIÓN LA CDMB EN MM/H	
	DURACIÓN 10 MINUTOS	DURACIÓN 20 MINUTOS
Tr = 50 AÑOS	113,40	92,20
Tr = 100 AÑOS	122,40	99,50

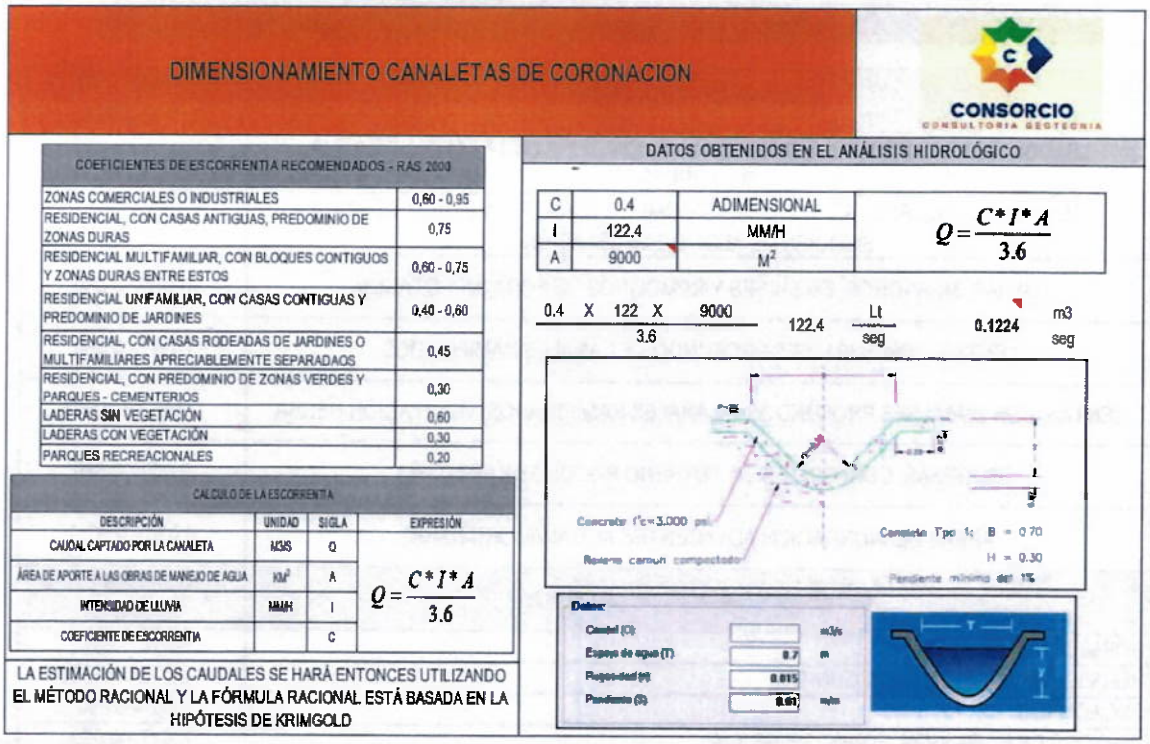
Tabla 22. Intensidades máximas para la Estación La CDMB

Con los anteriores valores y aplicando el Método Racional se obtienen los caudales máximos para los diferentes periodos de recurrencia de los aguaceros que producen a su vez los picos de escorrentía.

Es por ello necesario establecer las áreas de drenaje de la ladera de incidencia directa para las estructuras conforme la propuesta de estabilización particular a fin de controlar la degradación de la ladera.

7.7.8. DIMENSIONMIENTO CANALETAS DE CORONACIÓN





DIMENSIONAMIENTO CANALETAS DE CORONACION

CONSORCIO
CONSULTORIA GEOTECNIA

COEFICIENTES DE ESCORRENTIA RECOMENDADOS - RAS 2000	
ZONAS COMERCIALES O INDUSTRIALES	0,60 - 0,95
RESIDENCIAL, CON CASAS ANTIGUAS, PREDOMINIO DE ZONAS DURAS	0,75
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR, CON BLOQUES CONTIGUOS Y ZONAS DURAS ENTRE ESTOS	0,60 - 0,75
RESIDENCIAL UNIFAMILIAR, CON CASAS CONTIGUAS Y PREDOMINIO DE JARDINES	0,40 - 0,60
RESIDENCIAL, CON CASAS RODEADAS DE JARDINES O MULTIFAMILIARES APRECIABLEMENTE SEPARADAOS	0,45
RESIDENCIAL, CON PREDOMINIO DE ZONAS VERDES Y PARQUES - CEMENTERIOS	0,30
LADERAS SIN VEGETACIÓN	0,60
LADERAS CON VEGETACIÓN	0,30
PARQUES RECREACIONALES	0,20

CALCULO DE LA ESCORRENTIA			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
CAUDAL CAPTADO POR LA CANALETA	M3/S	Q	$Q=\frac{C*I*A}{3.6}$
ÁREA DE APORTE A LAS OBRAS DE MANEJO DE AGUA	KM^2	A	
INTENSIDAD DE LLUVIA	MM/H	I	
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		C	

LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES SE HARÁ ENTONCES UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL Y LA FÓRMULA RACIONAL ESTÁ BASADA EN LA HIPÓTESIS DE KRIMGOLD

DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

C	0.4	ADIMENSIONAL	$Q=\frac{C*I*A}{3.6}$
I	122.4	MM/H	
A	9000	M^2	

$\frac{0.4 \times 122 \times 9000}{3.6}$ 122.4 $\frac{Lt}{seg}$ 0.1224 m3 seg

Concreto f'c=3,000 psi
Relleno común compactado
Cuneta Tipo 1: B = 0.70
H = 0.30
Pendiente mínimo del 1%

Datos:
Caudal (Q)
Espejo de agua (T)
Rugosidad (n)
Pendiente (S)

Ilustración 62 Capacidad hidráulica, canaleta proyectada

VARIABLES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS

COFICIENTE DE RUGOSIDAD:

Es un valor determinado de acuerdo con el acabado de las paredes de los canales, canaletas, disipadores o tuberías, por lo cual es dependiente del material utilizado en la construcción, Manning define dicho coeficiente de acuerdo a la siguiente tabla:

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING[5]

CORRIENTES NATURALES	NUMERO DE MANNING
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE	0,027 - 0,033
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE, ALGO DE VEGETACIÓN	0,033 - 0,004
LIMPIAS, MEANDROS, EMBALSES Y REMOLINOS DE POCA IMPORTANCIA	0,035 - 0,050
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS	0,060 - 0,080
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS, VEGETACIÓN DENSA	0,100 - 0,20001
RUGOSAS, CORRIENTES EN TERRENO ROCOSO DE MONTAÑA	0,050 - 0,080
ÁREAS DE INUNDACIÓN ADYACENTES AL CANAL ORDINARIO	0,030 - 0,2001
CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	**NUMERO DE MANNING**
HORMIGÓN	0,013 - 0,017
HORMIGÓN REVESTIDO CON GUNITA	0,016 - 0,022
ENCACHADO	0,20 - 0,030
PAREDES DE HORMIGÓN, FONDO DE GRAVA	0,017 - 0,020
PAREDES ENCACHADAS, FONDO DE GRAVA	0,023 - 0,033
REVESTIMIENTO NITUMINOSO	0013 , 0,016
CUNETAS Y CANALES SIN REVESTIR	**NUMERO DE MANNING**
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE UNIFORME LISA	0,020 - 0,025
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE IRREGULAR	0,025 - 0,035
EN TIERRA CON LIGERA VEGETACIÓN	0,035 - 0,045
EN TIERRA CON VEGETACIÓN ESPESA	0,040 - 0,050
EN TIERRA EXCAVADA MECANICAMENTE	0,028 - 0,033
EN ROCA, SUPERFICIE UNIFORME Y LISA	0,030 - 0,035
EN ROCA, SUPERFICIE CON ARISTAS E IRREGULARIDADES	0,035 - 0,045

[5]http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/leccin_2__principios_de_mecnica_de_fluidos_e_hidrulica.html

Para el caso el lugar de estudio se tomó como coeficiente n de manning el valor de 0.015 que corresponde a cunetas revestidas de hormigón.

Talud (Z):

El valor de la pendiente de talud se asume de 1, de tal forma que el flujo lateral de ingreso al canal se realice a un ángulo de 45°

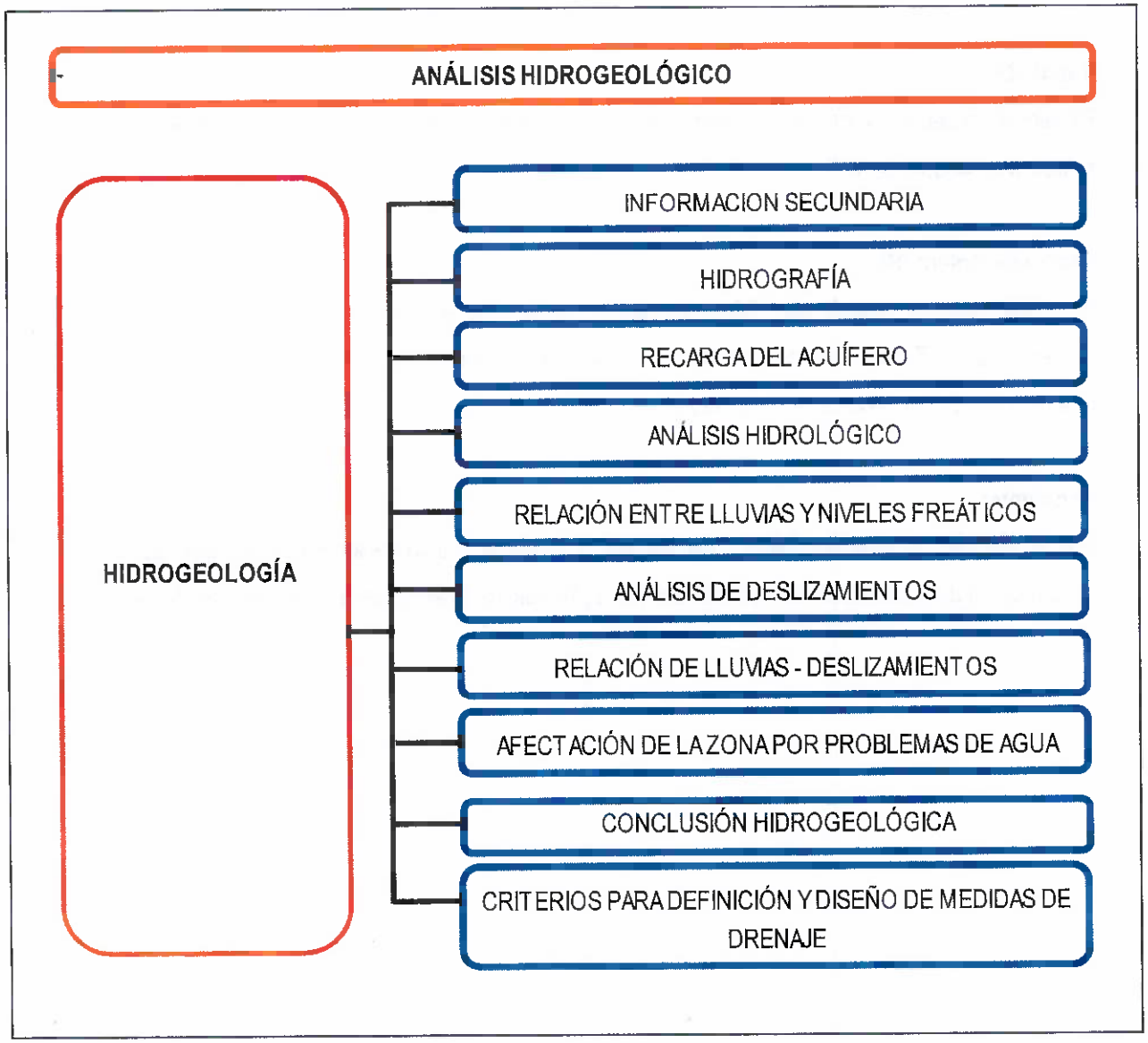
Ancho de Solera (B):

Para este caso se considera de 20 cm de tal forma que sea fácil de construir ya que se acopla a herramientas manuales comunes y a la fácil movilidad del obrero debido a que la excavación formara una base de 34 cm sobre el terreno natural.

Pendiente:

Esta se acopla con base al terreno, como se define la cuneta para captación de zona específica, esta se construirá de acuerdo con lo establecidos por el Manual de Drenaje para carreteras del INVIAS

8. HIDROGEOLOGÍA



8.1. IINFORMACIÓN SECUNDARIA

- **Colombia, Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS-UIS: MEMORIA EXPLICATIVA DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA EN EL MACIZO DE SANTANDER (2007).** Este estudio se realizó en un área de 134 km2 (ver siguiente figura), cuyo objeto se referencia en estudiar el macizo de Santander como zona de recarga para abastecer a la población de agua potable debido a las limitaciones que existen, en él se evalúa un balance hídrico a largo plazo. Se plantea finalmente un modelo conceptual de recarga y circulación de agua subterránea a través de la zona del Macizo de Santander, teniendo en cuenta la complejidad estructural de toda el área, la distribución litológica y la presencia de importantes espesores de roca meteorizada. Estos tres aspectos se constituyen como protagonistas del proceso de infiltración y flujo del agua en el Macizo de Santander. Para el presente estudio se contará con el uso del modelo de recarga y circulación del flujo para comparar con lo encontrado en cada sector en estudio.

- **INGEOMINAS, Modelo Geológico - Geofísico para el área metropolitana de Bucaramanga (2004).** En este estudio se hace una recopilación de sondeos eléctricos verticales realizados por el INGEOMINAS en 2001 y 2002 mostrando un modelo geo-eléctrico preliminar, que nos sirve como base para observar el comportamiento en las diferentes zonas en estudio.

- **INGEOMINAS, EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, SANTANDER A ESCALA 1:25000:** En este estudio a partir de análisis de inventarios de puntos de recolección de aguas en diferentes zonas del área metropolitana pudieron encontrar diferentes tipos de acuíferos:

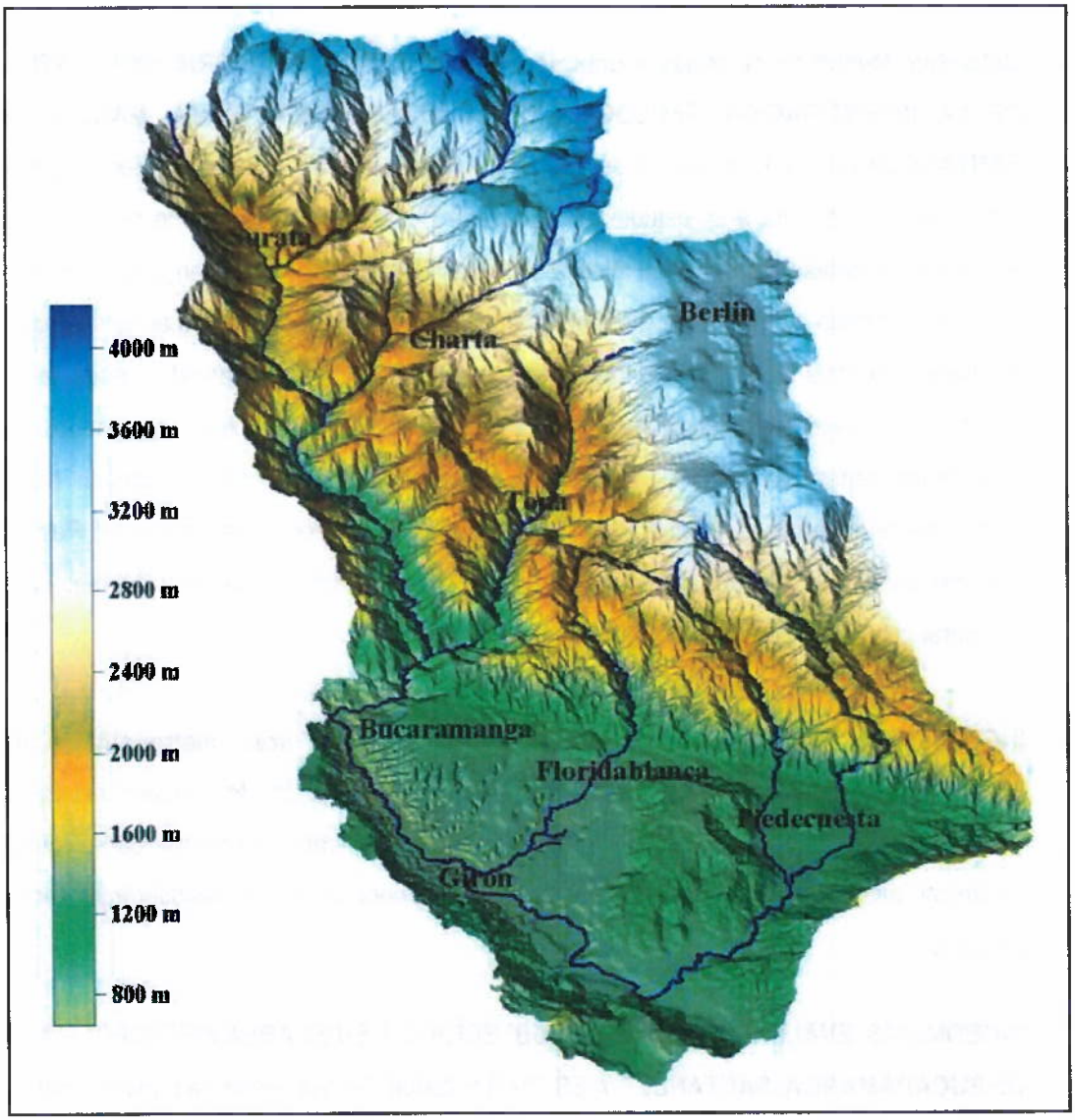


Ilustración 63 Localización cuenca en estudio con un área de 464km². Tomado de INGEOMINAS, 2007.

- Acuífero Órganos: Este acuífero fue captado por 13 pozos de los cuales 6 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran entre 3.2 a 37.5 m, encontrándose los niveles más profundos hacia la parte occidental del acuífero, es decir, hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga. Este también fue captado por 6 aljibes de los cuales 5 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que fluctúan entre 0.1 a 19 m y al igual que sucede

con los niveles estáticos medidos en los pozos, los niveles más profundos se encuentran hacia la parte occidental del acuífero.

- Acuífero Gravoso: Se encuentran 12 pozos de los cuales para 7 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que van de 2.65 a 22.2 m; al igual que para el acuífero Órganos los niveles más profundos están hacia la parte occidental del acuífero, es decir hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga.

- Acuífero Terrazas y depósitos aluviales: Captado por 19 aljibes de los cuales 17 de ellos se le puede medir el nivel estático. Los niveles varían entre 0 y 9.2m, predominando los niveles someros.

- Acuífero depósitos coluviales: Los niveles estáticos oscilan entre 1.4 a 13.7 m. en cuatro aljibes se pudo medir el nivel estático y va de 0.9 a 2.2 m.

- Acuífero Macizo de Santander: Se encuentra entre los 1400 a 3370 m, siendo 1600-200 m el intervalo de altura más predominante.

- Acuífero Girón: Captado por 11 pozos de los cuales a 6 de ellos fue posible medirles el nivel estático, el cual fluctúa entre 0.4 y 9.5 m.

- **CDMB - Gómez Sully. RELACIONES ENTRE NIVELES FREATICOS, PRECIPITACIONES Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES-1989:** Este estudio recopila información meteorológica, piezómetro e información de deslizamientos del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de observar el comportamiento de los niveles con base en las precipitaciones y su influencia en la escarpa occidental en todo lo que tiene que ver con la ocurrencia de deslizamiento. Para el presente estudio la base y uso de información será de suma importancia ya que evalúa hidrogeológicamente la terraza de Bucaramanga, que el lugar donde se asienta el sector en estudio.

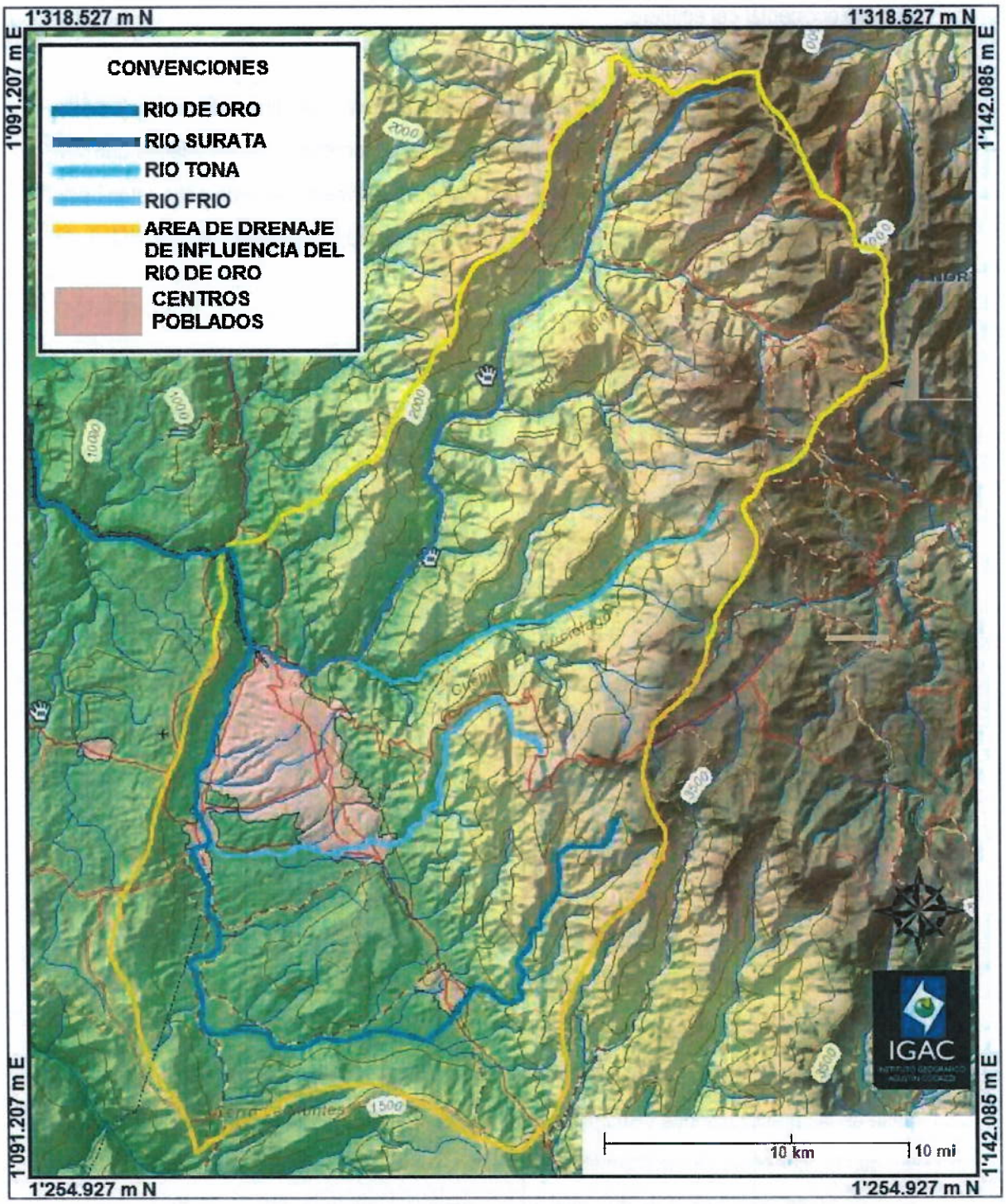


Ilustración 64 Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores).

8.2. HIDROGRAFÍA

Los ríos principales del área metropolitana de Bucaramanga son el Rio de oro, Surata, Toná, rio frio, y las quebradas de La flora, Honda, Chiquita, suratoque, La iglesia, Quebrada seca, Cacique, El Horno, san Isidro, Las Navas, La Rosita y Bucaramanga.

El rio de oro es uno de los más importantes que atraviesan el área metropolitana, según el POT de Bucaramanga, este se ubica en la escarpa occidental, nace en el macizo de Santander (Cordillera localizada al oriente de la falla de Bucaramanga – Santander donde quedan el páramo de santurban), desemboca en el los drenajes de Piedecuesta, la quebrada grande, suratoque y el rio loto, en la zona de girón recibe las aguas del rio frio, de la quebrada la iglesia, la quebrada chimita, la rosita que tiene como afluentes a la quebrada del loro y la quebrada seca que tiene a su vez a la quebrada la joya como afluente, estas últimas son los principales drenajes de la meseta de la ciudad de Bucaramanga, en el norte de la ciudad el rio de oro recibe al rio surata en el sector conocido como café Madrid, el cual tiene como afluente al rio toná y a la quebrada Honda, desde este sector a 8.0 Km agua abajo el rio de oro se une con el rio Negro formando el rio Lebrija en el corregimiento bocas del municipio de girón este último desembocando en el rio magdalena.

8.3. RECARGA DEL ACUÍFERO

Esta se realiza como consecuencia de las precipitaciones pluviales sobre el macizo de Santander, aunque no existe porosidad primaria en muchos de los casos ya que en este sector predominan rocas cristalinas debido al entorno geológico el cual está compuesto principalmente por unidades ígneo – metamórficas (Neis de Bucaramanga pEb – Ortogneis de Berlin pDo – Formación silgara pDs – Tonalita del páramo Rico TRt – Cuarzo monzonita de la corcova TRJc - Cuarzo monzonita de Santa Bárbara Jcs – Formación Girón Jg – Formación los Santos Kils – Formación Paja Kip y Formación Tablazo Kit) cuya porosidad y permeabilidad se limita a lo que puede ofrecer la meteorización y/o sistemas de fracturas presentes debido a la tectónica de la zona (porosidad secundaria)[6].

[6] INGEOMINAS – UIS Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander – 2007.

Para el lugar de estudio, el cual se encuentra sobre depósitos del cuaternario como es la formación Bucaramanga Qb, de origen Fluvial, esta cuenta con porosidad primaria, de acuerdo a BERMOUDES Y VASQUEZ; 2004 , los cuales mencionan a los miembros Órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg) como formaciones de interés Hidrológico, por su grado de porosidad e infiltración, pueden conducir y en un momento dado almacenar agua en espesores pequeños, para toda la zona urbana de Bucaramanga la recarga se genera de dos formas, la primera de manera lateral, la cual capta todo el fluido proveniente del macizo de Santander en el contacto que se especifica por la falla de Bucaramanga y la segunda hace referencia a una recarga distribuida que se da en las zonas libre de construcciones o zonas verdes localizadas en la meseta.

8.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la zona de estudio, de acuerdo al análisis de precipitaciones para Bucaramanga, se considera como precipitación promedio 1289 mm por año la estación meteorológica base es la floresta, que registra una intensidad de 158.3 mm/h para una concentración de 10 min y un periodo de retorno de 50 años, así mismo en esta caracterización, se reconoce que la zona de estudio tiene un régimen bimodal, lo cual se analizó en el capítulo que evalúa la hidrología de la zona en estudio. En la siguiente figura se observa un esquema del modelo hidrológico de Bucaramanga.

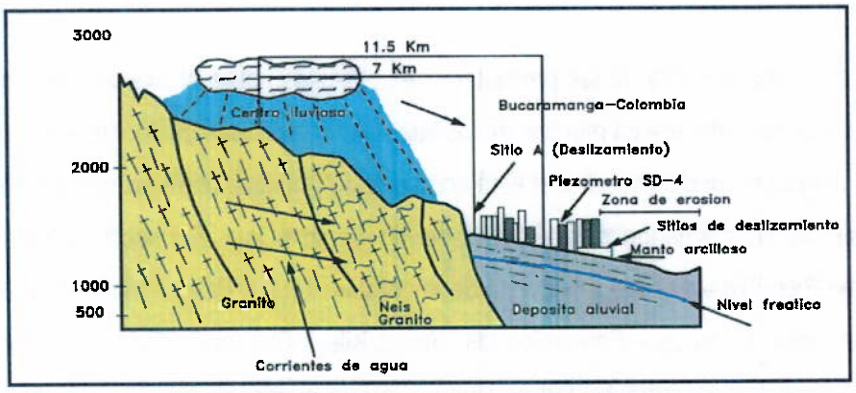


Ilustración 65 Esquema del modelo Hidrológico de Bucaramanga.[7]

[7] Tomado de Suarez Jaime. Libro de deslizamiento en zonas tropicales, capitulo 7. Lluvias, presión de poros y sus efectos.

En la figura anterior se generaliza el flujo de agua que se obtiene durante los procesos de infiltración primaria y secundaria que comienza en el masivo de Santander ingresando de manera lateral al depósito aluvial donde se ubica la zona de estudio y llega a la parte baja en la zona de Girón (Rio de Oro).

De acuerdo a ensayos registrados en el área metropolitana de Bucaramanga y a la formación aluvial descrita en el sector, se obtuvieron medidas de permeabilidad más bajos, 0.00002 m/s, siendo el más típico 0.00010 m/s a grandes profundidades (CDMB - Gómez Sully 1989[8]), además de dar a conocer un coeficiente de almacenamiento el cual es de 0.00611 y una transmisibilidad de 0.0003 m^2/s, determinándose una porosidad de 30% aproximadamente, los valores anteriores son obtenidos de una prueba de bombeo realizado y tomado del estudio de referencia.

Al comparar el ensayo de percolación realizado actualmente en la zona de estudio con los valores típicos mostrado en estudios anteriores, es posible deducir en superficie el alto contenido de infiltración el cual se reduce conforme se aumenta en profundidad, lo mismo ocurre con la porosidad ya que en superficie es superior.

En condiciones generales, cuando existe un evento de lluvia de manera normal o critica, dentro de suelo se genera un frente húmedo, el cual dependerá del grado de saturación, permeabilidad y porosidad, conociendo estas condiciones, se determina su velocidad de acuerdo a lo siguiente:

$$v = \frac{k}{(1 - S) * n}$$

8.5. RELACIÓN ENTRE LLUVIAS Y NIVELES FREÁTICOS

De acuerdo al estudio "Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes", durante el análisis el cual se realiza mediante la medición de precipitaciones

[8] CDMB - Gomez Isidro, Sully. Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes

y el nivel freático en diferentes sectores del área metropolitana de Bucaramanga, se observa el incremento de los niveles piezómetros debido a eventos de lluvia, este incremento del nivel freático sucede dos meses después de ocurrida la precipitación para la zona occidental de la meseta y de manera inmediata para la zona oriental, esto se atribuye al espesor de la capa de la formación Bucaramanga, la cual es amplia al occidente y además por la presencia de la falla Bucaramanga que se encuentra al oriente y que genera mayor fracturamiento de las formaciones.

8.6. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS

De acuerdo a los modelos hidrogeológicos, el agua infiltrada corre de oriente a occidente con un gradiente hidráulico bajo y paralela al terreno, cuando se acerca a la zona de escarpa, el gradiente aumenta y se presentan afloramientos.

Los afloramientos se presentan de dos tipos, el primero ocurre por encima o en el pie del talud, por lo cual allí se presentan mayores velocidades de flujo y fuerzas de filtración, generándose una zona crítica por la cual se debilita la superficie de contacto produciendo caídos de suelo.

El segundo tiene que ver con la obstrucción de la salida del afloramiento por depósitos de deslizamientos recientes (Coluviones). El agua fluye saturando dichas masas, produciendo así un movimiento paulatino, generando perdida de soporte del talud que soportaba el coluvión y generando fallas de corte que desembocan en un fracturamiento del terreno que favorecen en un caso dado el proceso de infiltración agilizando el deslizamiento.

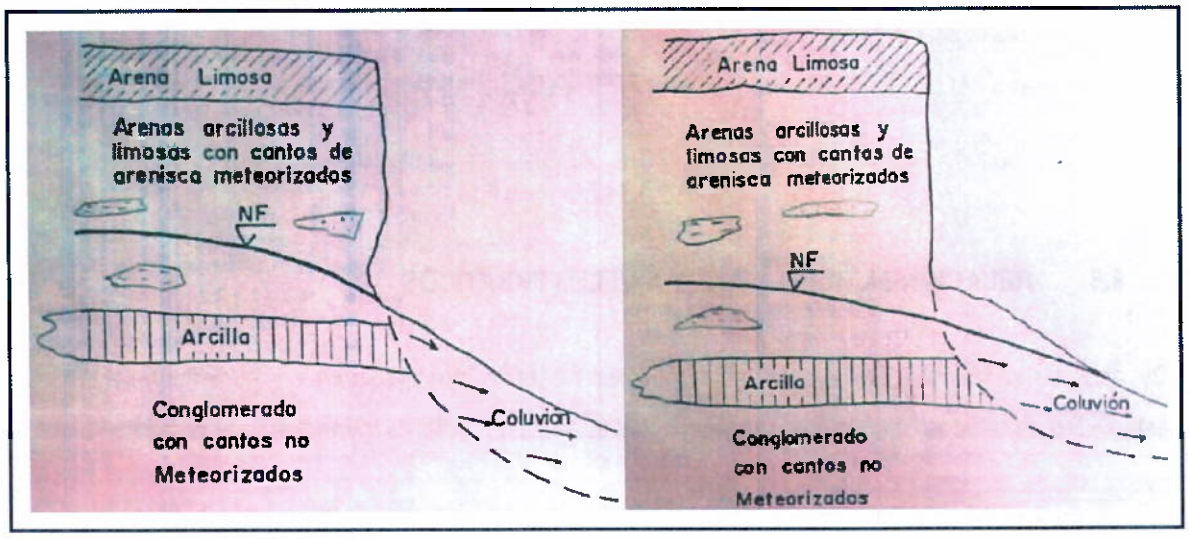


Ilustración 66 Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989)

Para la zona de estudio no se tiene evidencia la presencia de grandes masa de coluvión, así mismo no se evidencia la existencia de afloramientos, por lo que es poco probable la presencia de fallas causada por el acuífero existente o por saturación total del suelo, pero la falla tipo que se puede presentar si es una falla de corte que genere caídos de suelo, ya que es posible la creación de grietas de tensión generadas por los esfuerzos de cimentación debido a la cercanía de viviendas a la escarpa del sector. De acuerdo a Rankine la profundidad de la grieta a tensión se estima mediante la siguiente formula:

$$Z_{CRIT.} = \frac{2 * C}{\gamma \sqrt{\tan\left(45 - {}^{\varphi}/_{2}\right)^{2}}}$$

8.7. RELACIÓN DE LLUVIAS - DESLIZAMIENTOS

De acuerdo al estudio de la CDMB –Gómez Sully de 1989, se evidencia en el análisis de frecuencia de las lluvias en el área metropolitana de Bucaramanga y la frecuencia de los deslizamientos, se concluyó que el deslizamiento ocurre en épocas de verano y no en las épocas de lluvia, se presenta cuando han trascurrido 2 o 3 meses de la lluvia más representativa del periodo de precipitación, y en su mayoría se asocian a lluvia presentadas en periodos secos.

Para la zona de Bucaramanga (el sector de la meseta) y donde existen depósitos aluviales (Girón, Floridablanca y Piedecuesta) los deslizamiento se presenta en periodos entre abril a junio o en agosto a noviembre, son productos del aumento de acuífero que en algunas ocasiones provoca un debilitamiento de la superficie generando fallas de tensión, y en muchas ocasiones al someterse a una precipitación no considerada, genera el deslizamiento al ocurrir mayor infiltración y saturación de las grietas, provocando desprendimientos de suelos.

8.8. AFECTACIÓN DE LA ZONA POR PROBLEMAS DE AGUA

Durante el recorrido por los taludes descubiertos de la zona de estudio, no se evidencio problemas severos de inestabilidad por afloramientos de agua, se encontró problemas de erosión superficial leve por ausencia de capa vegetal.

8.9. CONCLUSIÓN HIDROGEOLÓGICA

De acuerdo a lo recopilado tanto en campo como en estudios anteriores se reconoce que el área metropolitana de Bucaramanga es de interés Hidrogeológico, reconociendo zonas potenciales de recarga por precipitación y procesos de infiltración primaria y secundaria.

La infiltración primaria se relaciona con los depósitos aluviales que se encuentran en la zona de la meseta reconocida por el servicio geológico como Formación Bucaramanga (Qb), la cual contiene dos miembros potenciales de almacenamiento y conducción de agua como son miembro órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg).

La infiltración secundaria tiene que ver con el macizo de Santander y la influencia de la falla de Bucaramanga sobre este, ya que las fracturas de la roca y el grado de meteorización por tectonismo contrarrestan la baja porosidad de las formaciones localizada en el lugar.

Se define en el modelo hidrogeológico que el flujo de agua va de oriente a occidente, siendo parte impórtate del flujo base del rio de Oro, así mismo se reconoce que los procesos de infiltración generados durante los periodos de lluvia causan variaciones en los niveles freáticos asociados al acuífero y con una reacción de dos (2) meses después de acontecido el evento, haciendo énfasis a la zona occidental de la meseta ya que es allí donde existe el mayor espesor aluvial.

Debido a la existencia de flujo dentro del suelo, en las zonas de escarpe durante los años se han generado desprendimiento que pueden ser asociados al aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, dicha variación no ha superado los dos metros de altura en el aumento

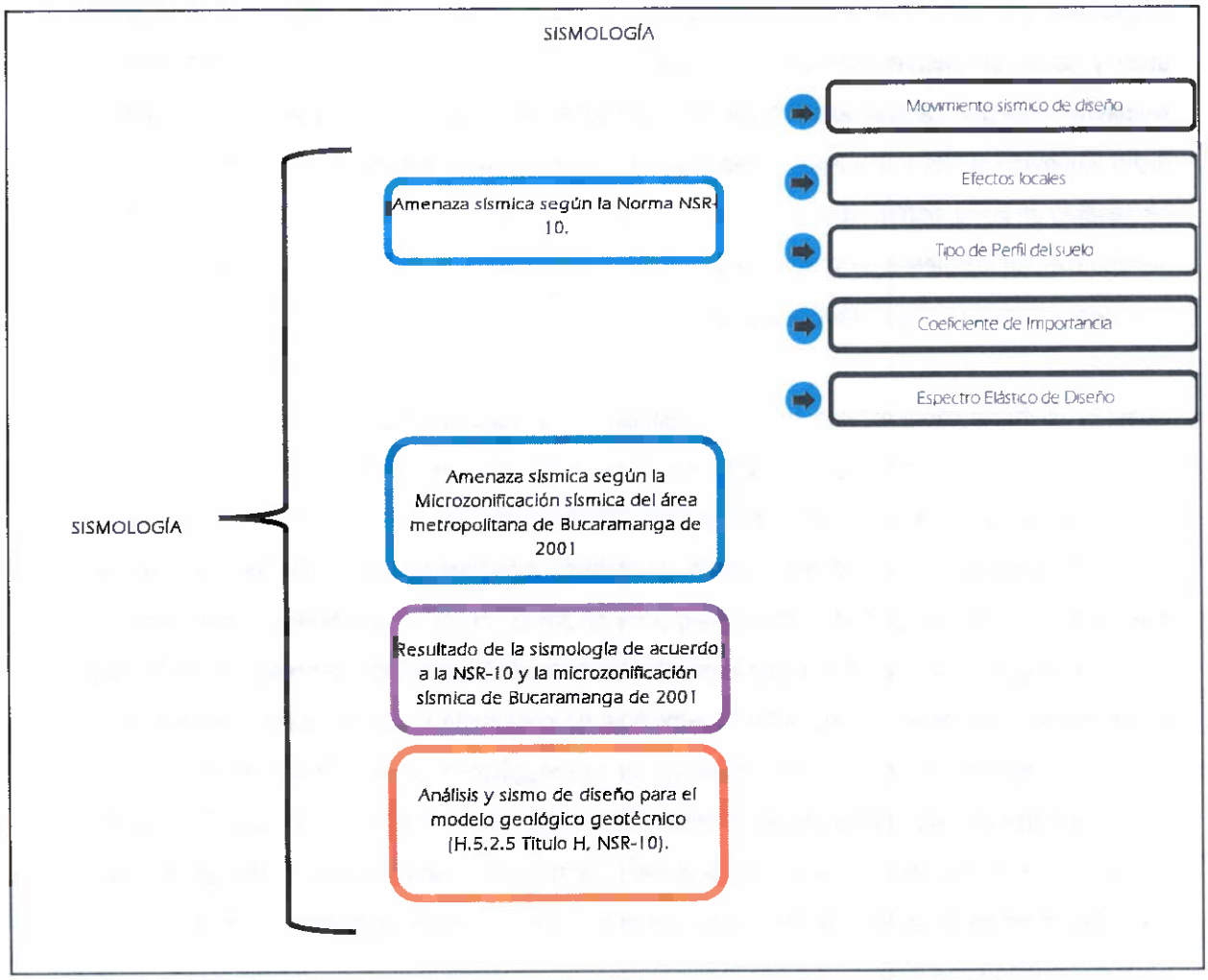
de nivel. Se asocian los deslizamientos a las precipitaciones en la zona principalmente por el afloramiento que se produce del acuífero en zonas de escarpa, dicho afloramiento genera debilitamiento de las propiedades del suelo, es decir produce inestabilidad de la base o intermedio del talud y causa un desprendimiento de la masa del suelo. Si no se produce el desprendimiento, simplemente se generaría un aumento de tensiones del suelo, lo que ocasiona grietas en la superficie, dicho fenómeno ayudara a activar la inestabilidad y producirá falla cortante inmediata cuando exista otro evento de lluvia, pero en general los deslizamientos asociados a los eventos de lluvia en el sector se producen en los meses de verano ya que la reacción del agua subterránea se genera entre dos a tres meses después de generada la precipitación.

Como la influencia sobre el talud es por precipitación, se tomará el tiempo de concentración hallado en el capítulo de análisis hidrológico para determinar ciertas características del frente húmedo el cual es la masa de agua que por efectos de la gravedad ingresa al suelo. El ingreso del frente húmedo al suelo solo se realizar por zonas descubiertas, de acuerdo al análisis de uso o cobertura del suelo, se determinó que más del 50% del área corresponde de zonas arbustivas o arbóreas, entre otras y lo demás corresponde a zona urbana, por lo cual la incidencia de la lluvia solo se presentara en la zona donde existe el escarpe, que es la única superficie no construida y que en ciertos sectores tiene deficiente cobertura vegetal, luego la incidencia de la precipitación se ve reflejada en procesos de erosión superficial o en fenómenos de desprendimiento de masa de suelo, sobre todo en el sector donde el talud es más vertical, ya que allí se generan grietas de tensión producto de las cargas de las viviendas emplazadas en el lugar, las cuales pueden ser infiltradas más rápidamente y producir la falla de corte del bloque de suelo.

8.10. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS DE DRENAJE

Debido a que en la zona no existen afloramientos de agua, más del 50% del área se encuentra descubierta y es propensa a generar infiltraciones, así mismo la mayor parte de la zona se encuentra como cara del escarpe, se recomienda seguir todos los criterios determinados desde el punto hidráulico ya que las medidas de drenaje que se tengan que proponer más adelante dentro de este estudio serán de control superficial.

9. SISMOLOGÍA



En el desarrollo del presente estudio, se analizaron condiciones especiales del subsuelo con el fin de efectuar modelamientos geotécnicos que contemplen los parámetros sísmicos de diseño, por lo cual se han desarrollado metodologías para la determinación de este comportamiento, por medio de fuerzas estáticas ideales, que representan el comportamiento del máximo pico de un sismo probable de acuerdo a la norma NSR 10.

Como no es viable efectuar estudios de efectos locales a todos los proyectos, debido a su complejidad y necesidad de parámetros dinámicos, que son costosos, el estado colombiano ha adoptado unas normas nacionales, donde se caracterizó, por medio de análisis regionales el comportamiento sísmico

de las zonas, de acuerdo a la estructura y actividad tectónica del área, donde se encuentra determinado municipio.

9.1. Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.

Según las normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente, NSR-10 el área metropolitana de Bucaramanga se encuentra en la región 5. (Ver Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa.

Tabla A.2.3-2
Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla 23 Tabla A.2.3-2 Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento

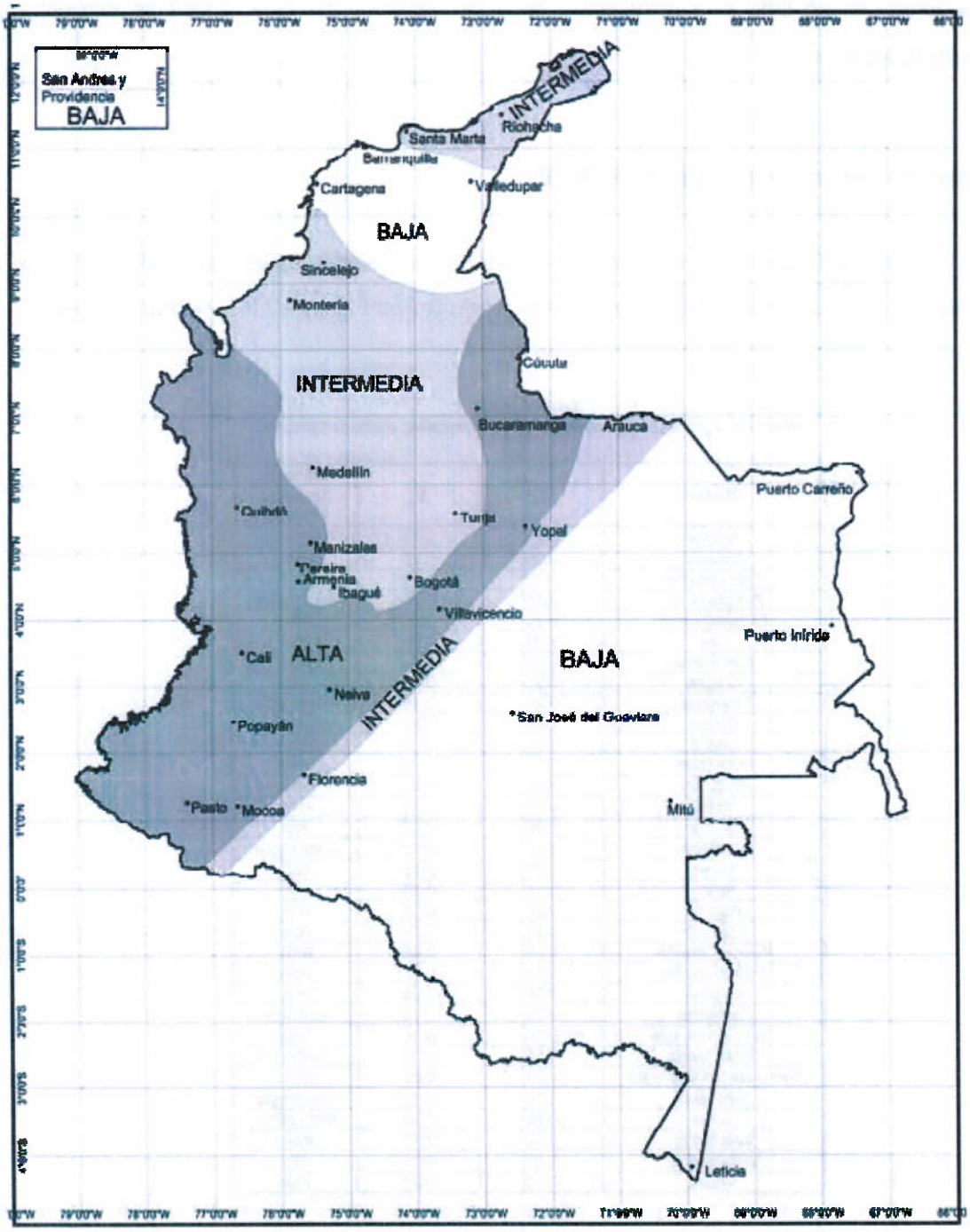


Ilustración 67 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av

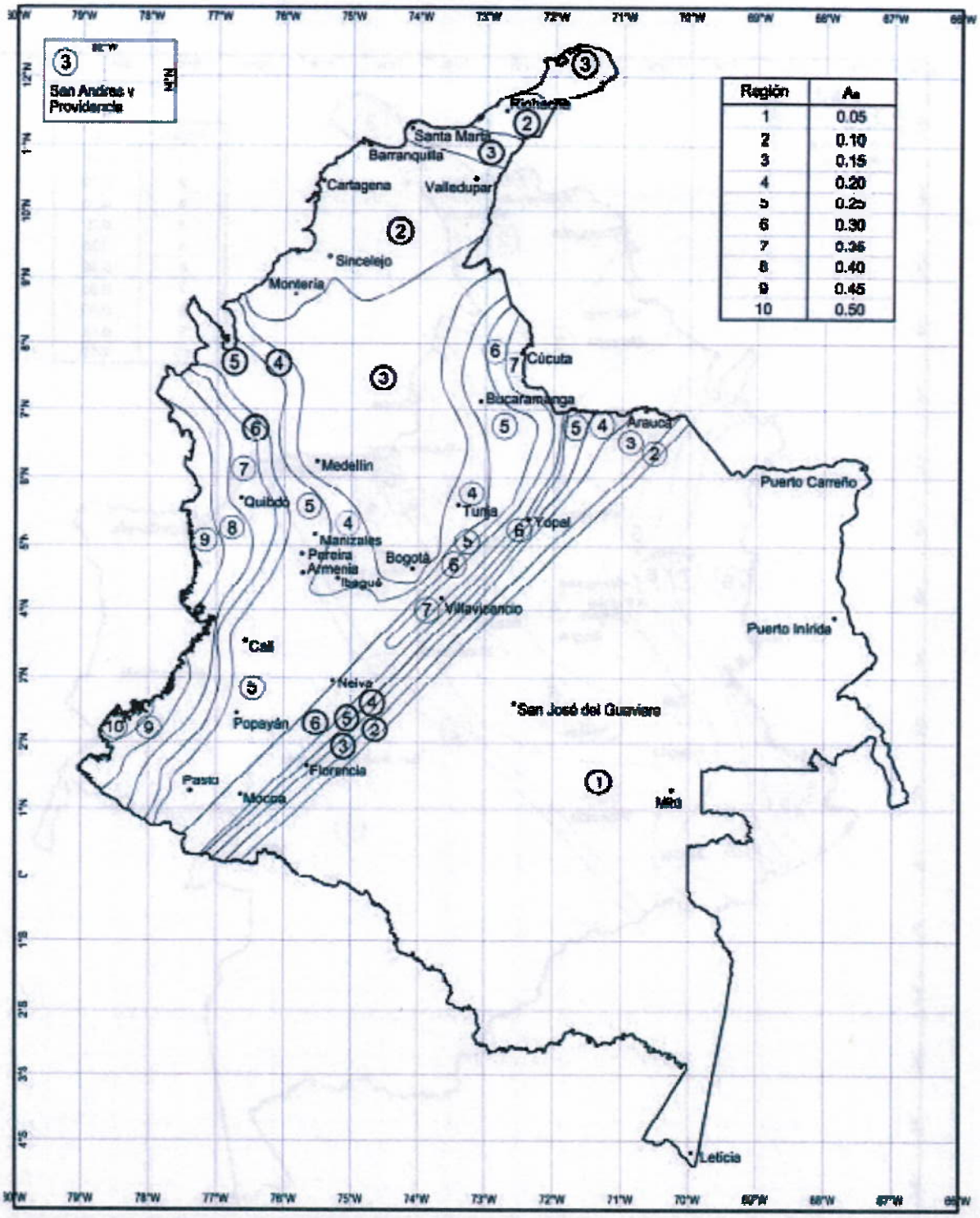


Ilustración 68 A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa) (NSR-10)

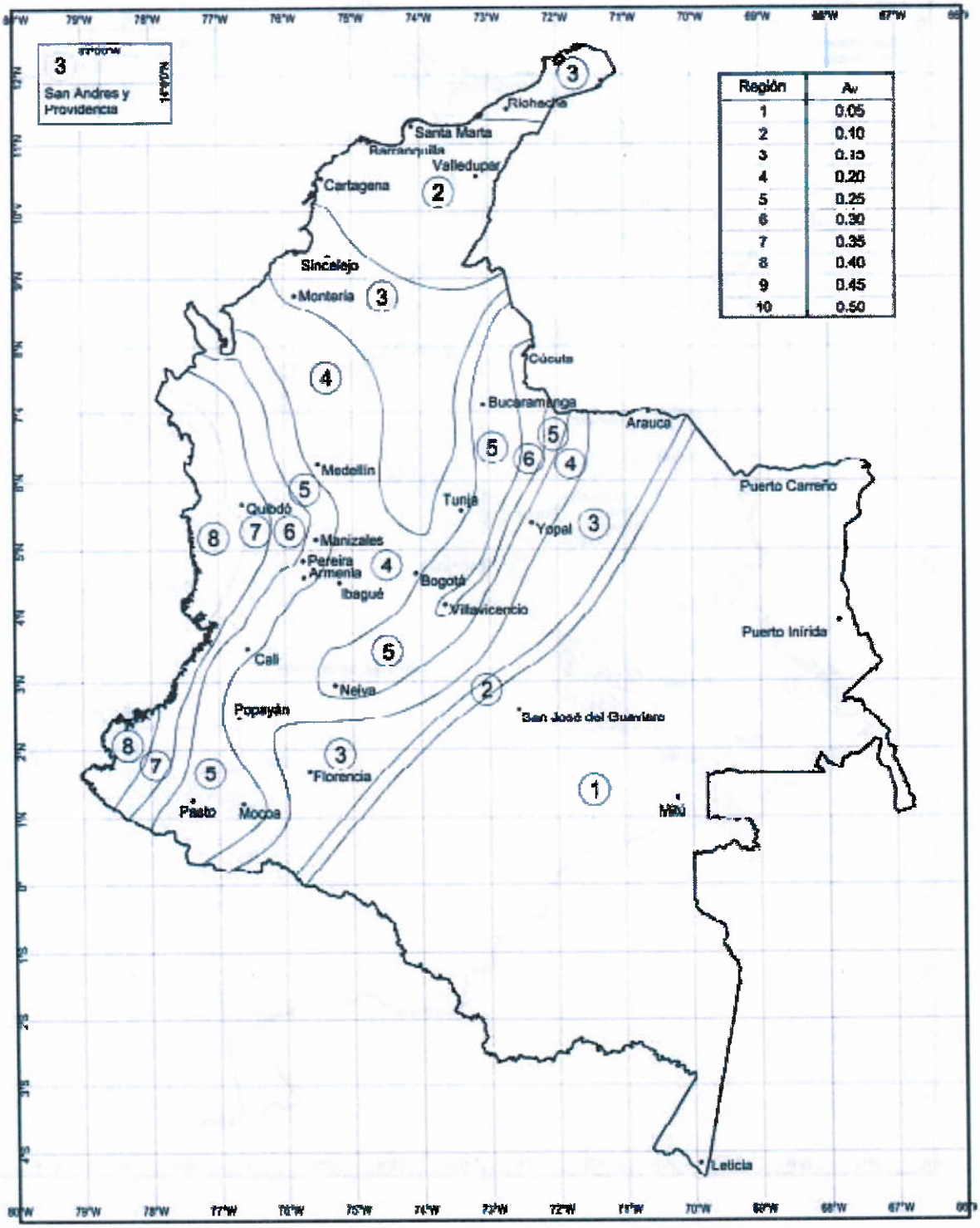


Ilustración 69 A.2.3-3 - Mapa de valores de Av) (NSR-10)

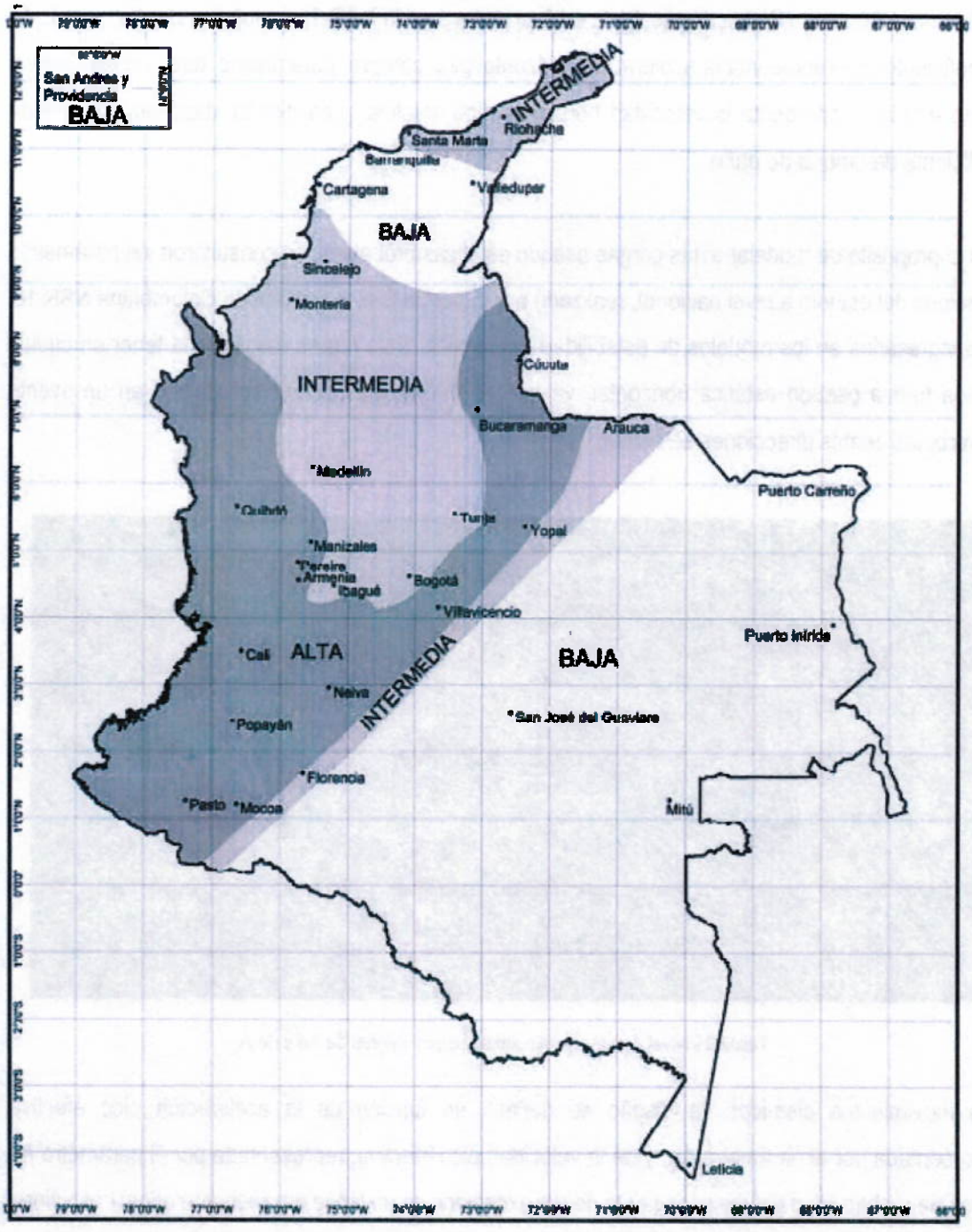


Ilustración 70 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av (NSR-10)

Según lo anterior, el sector de estudio se define como amenaza sísmica alta. (Ver ilustración A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av). Aa = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Av = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Ad= coeficiente de umbral de daño.

Con el propósito de modelar estas cargas pseudo estáticas probables, se consultaron los parámetros obtenidos del estudio a nivel nacional, realizado por la norma Sismo Resistente Colombiana NSR 10, para ingresarlos en los modelos de estabilidad geotécnica. Esta norma recomienda tener en cuenta solo la fuerza pseudo estática horizontal, ya que es la que más aporta solicitación en un evento sísmico, las demás direcciones se omiten.

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado en mapas de las figuras A,2,3-2 y A,2,3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0,50	10	Alta
0,45	9	Alta
0,40	8	Alta
0,35	7	Alta
0,30	6	Alta
0,25	5	Alta
0,20	4	Intermedia
0,15	3	Intermedia
0,10	2	Baja
0,05	1	Baja

Tabla 24 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa, y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro Av, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes para el Municipio de Bucaramanga, son:

Departamento	Municipio	Cod Municipio	Aa	Av	Z A S	Ae	Ad
Santander	Bucaramanga	68001	0,25	0,25	Alta	0,15	0,09

Tabla 25 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A (NSR10)

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25

Tabla 26 Nivel de amenaza sísmica para el sector de Estudio según el municipio en el que se ubica Aa y de A (NSR10)

9.1.1. Efectos locales

El perfil de suelo debe ser determinado por el ingeniero geotecnista a partir de unos datos geotécnicos debidamente sustentados.

9.1.2. Tipo de Perfil del suelo.

Se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio, Fa y Fv; Fa = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional. Fv = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez Media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
		N≥ 50 - Su ≥ 100 Kpa
D	Perfil de suelos rígidos	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
		50> N ≥ 15 - 100 Kpa > Su ≥ 50 Kpa
E	Suelos que cumplan con el criterio de Vs	180 m/s > Vs
	Espesores H mayores a 3m de arcillas blandas	IP>20 - w≥ 40% - 50 Kpa > Su
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: - F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados - F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H> 3m de estos materiales) - F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H> 7.50m con IP>75) - F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>36)	

Tabla 27 A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo (NSR10)

De acuerdo a las características geológicas del terreno sobre el área de análisis, este se caracteriza por poseer un perfil de suelo TIPO C (perfil de suelos muy densos o roca blanda). Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados en el presente estudio independientemente del tipo de obra proyectada.

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Aa≤ 0,1	Aa=0,2	Aa=0,3	Aa=0,4	Aa≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 28 A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. suelo (NSR10)

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Av≤ 0,1	Av=0,2	Av=0,3	Av=0,4	Av≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 29 A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro.suelo (NSR10)

PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9

Tabla 30 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa (tabla A.2.4-3) y Fv (tabla A.2.4-4) suelo (NSR10)

9.1.3. Coeficiente de Importancia.

Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1,50
III	1,25
II	1,10
I	1,00

Tabla 31 A.2.5-1Valores del coeficiente de importancia, I (NSR10)

Se define el grupo de tipo de uso de la estructura de mitigación que se plantee con su respectivo grupo y su coeficiente de importancia de la siguiente manera:

GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta

Tabla 32 Valores del coeficiente de importancia para el presente estudio (NSR10)

9.1.4. Espectro Elástico de Diseño.

La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño.

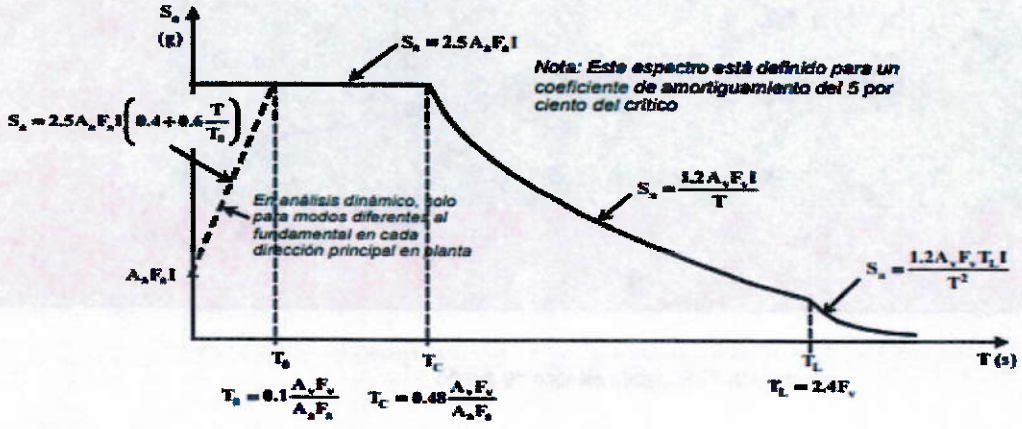


Ilustración 71 A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g (NSR-10)

	T	Sa
To	0,146	0
	0,146	0,894

	T	Sa
Tc	0,702	0
	0,702	0,894

	T	Sa
TL	4,560	0
	4,560	0,138

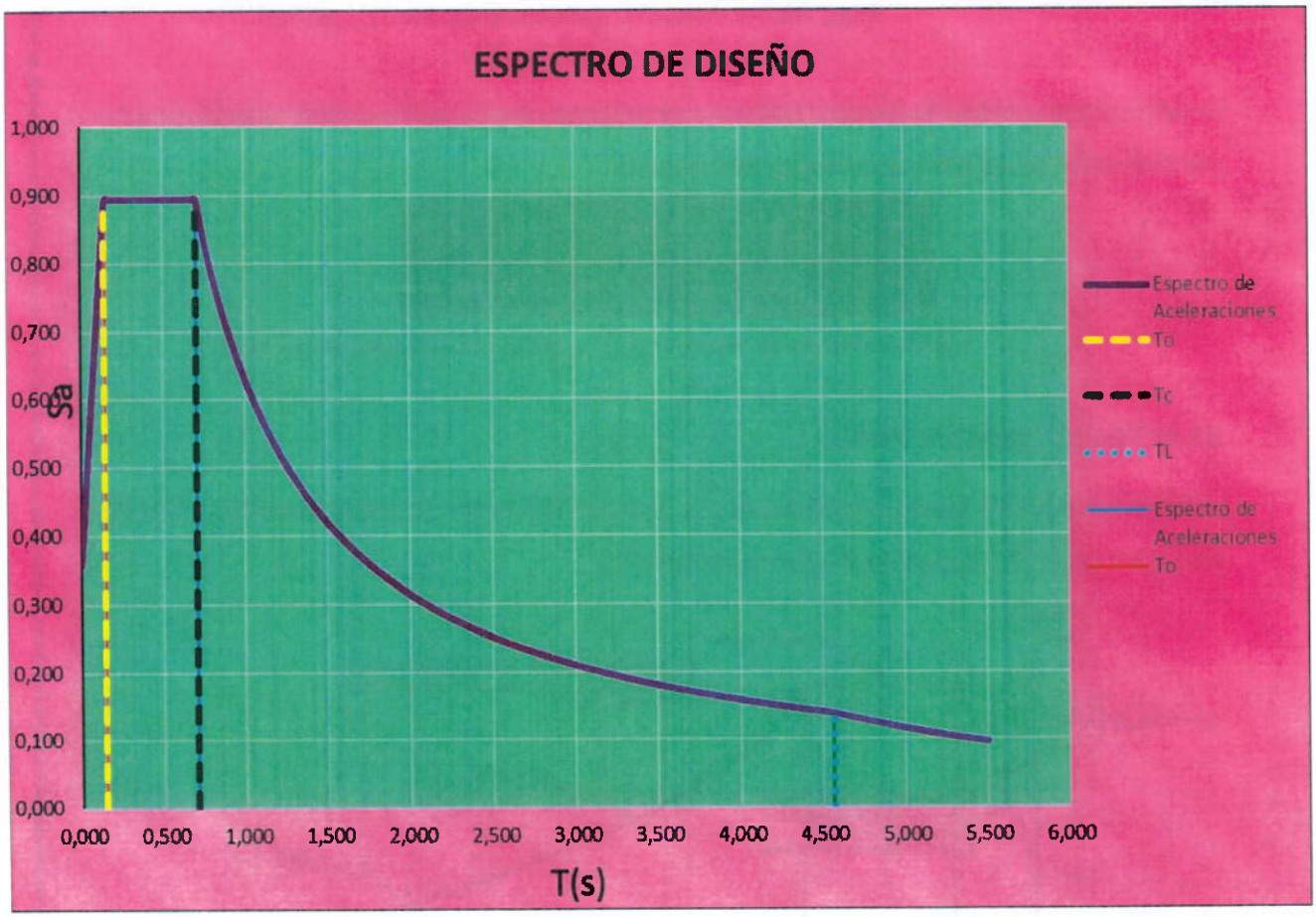


Ilustración 72 Espectro elástico de diseño

9.2. Amenaza sísmica según la zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Junio de 2001).

En total son tres zonas de respuesta dinámica diferente para las cuales se pueden hacer las siguientes observaciones (Ver mapa de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa):

Zona 1 - Roca: Esta zona comprende los depósitos de roca correspondientes a la formación Girón (1G), cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R), los depósitos considerados como roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso, que comprende las zonas identificadas como 1N, 3 y 7. Teniendo una forma espectral y aceleraciones máximas similares a lo propuesto por la NSR98.

Zona 2 – Suelo Rígido: donde se encuentra la mayor parte de la población del área metropolitana de Bucaramanga, y corresponde a depósitos de suelo rígido y reúne las zonas geotécnicas 2, 4 y 5. Presenta aceleraciones espectrales máximas considerablemente altas. Dicha forma espectral, así como los valores máximos están en concordancia con la propuesta de la norma UBC97 para sitios donde efectos de campo cercano son esperados; tal y como podría ser el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Zona 3 - Llenos: corresponde a los llenos (6), que deben tener consideraciones especiales, dadas las aceleraciones espectrales tan altas obtenidas. Es pertinente mencionar que los datos geotécnicos para caracterizar estas zonas son muy pobres y como tal la incertidumbre de su respuesta dinámica es bastante elevada. Sin embargo, es de anotar que el espectro propuesto aquí ha sido reducido en su amplitud máxima. Es también importante aclarar que pueden existir llenos de menor tamaño que no han sido cartografiados.

Existen 2 zonas adicionales para las cuales no existe un espectro de respuesta debido a que se encuentran en zonas de áreas restringidas para su uso en edificación como son la zona de coluviones y las rondas de los ríos.

Con base en el estudio de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga de 2001, se sectoriza los valores sísmicos en tres zonas fundamentales debido a la cercanía de la falla Bucaramanga – Santa Marta.

	Zona 1 (Roca)	Zona 2 (Suelo Rigido)	Zona 3 (Llenos)
To (s)	0,10	0,05	0,15
Tc (s)	0,50	0,4	0,5
TL (s)	4,00	3,6	4
Am (g)	0,30	0,4	0,65
Sm (g)	0,63	0,9	1,25

Tabla 33 Parámetros de control para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga. (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga)

La tabla anterior indica los datos inmersos en el desarrollo de los espectros de respuesta para las tres zonas de respuesta dinámica (Roca, Suelo Rígido y Llenos); a continuación, se describen las variables necesarias para construir el espectro:

Am: aceleración máxima del terreno en un periodo (T=0s),

Sm: valor máximo de aceleración espectral, el cual corresponde a la parte plana del espectro.

To: periodo que define el inicio de la parte plana del espectro.

Tc: periodo que define el final de la parte plana del espectro.

TL: Periodo posterior en el que las aceleraciones espectrales se vuelven constantes (Am/4).

En el siguiente mapa se establecen las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

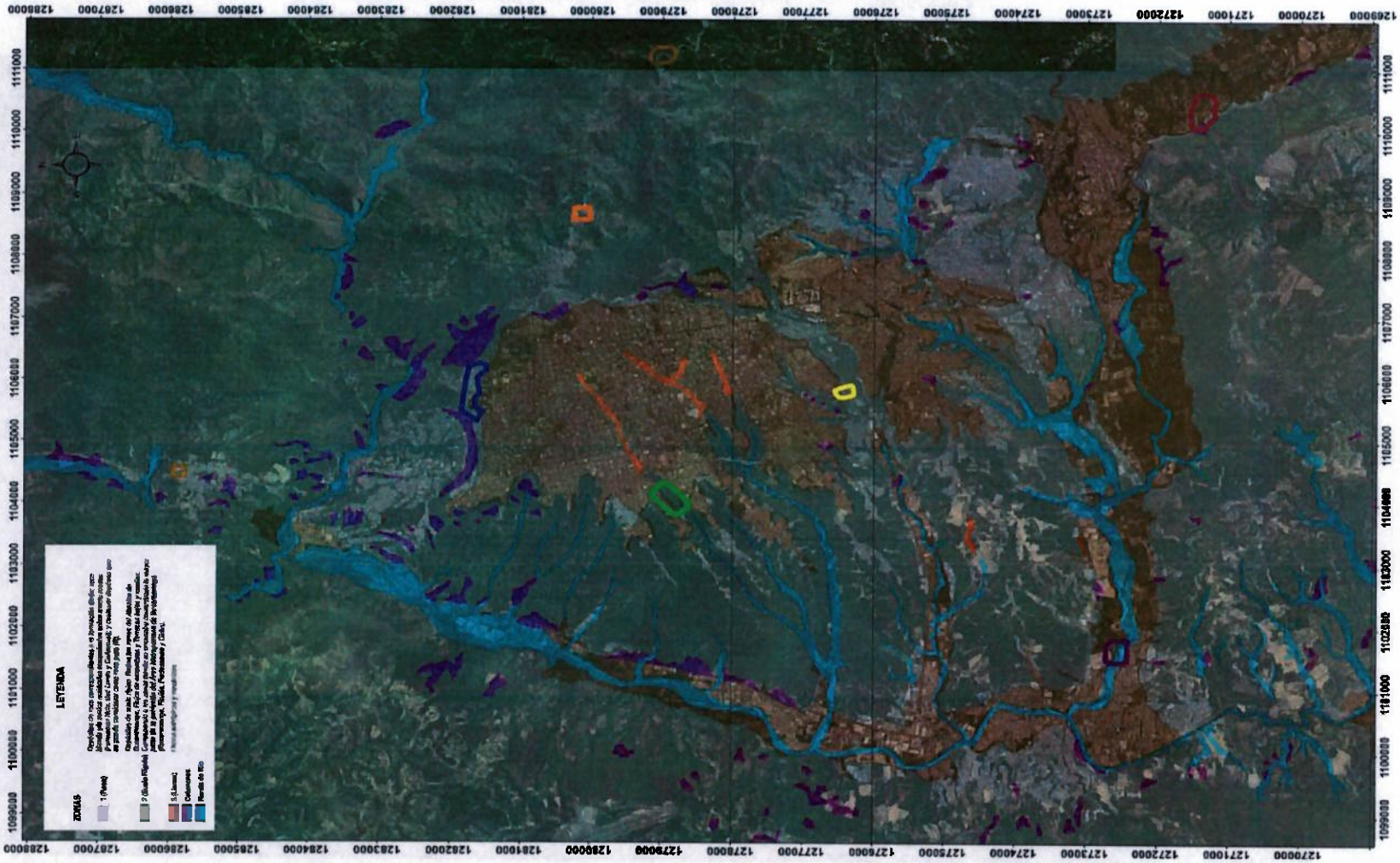


Ilustración 73 Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001, Subdirección de amenazas Geoambientales (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS))

En el siguiente mapa se ubica la zona de estudio respecto a las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

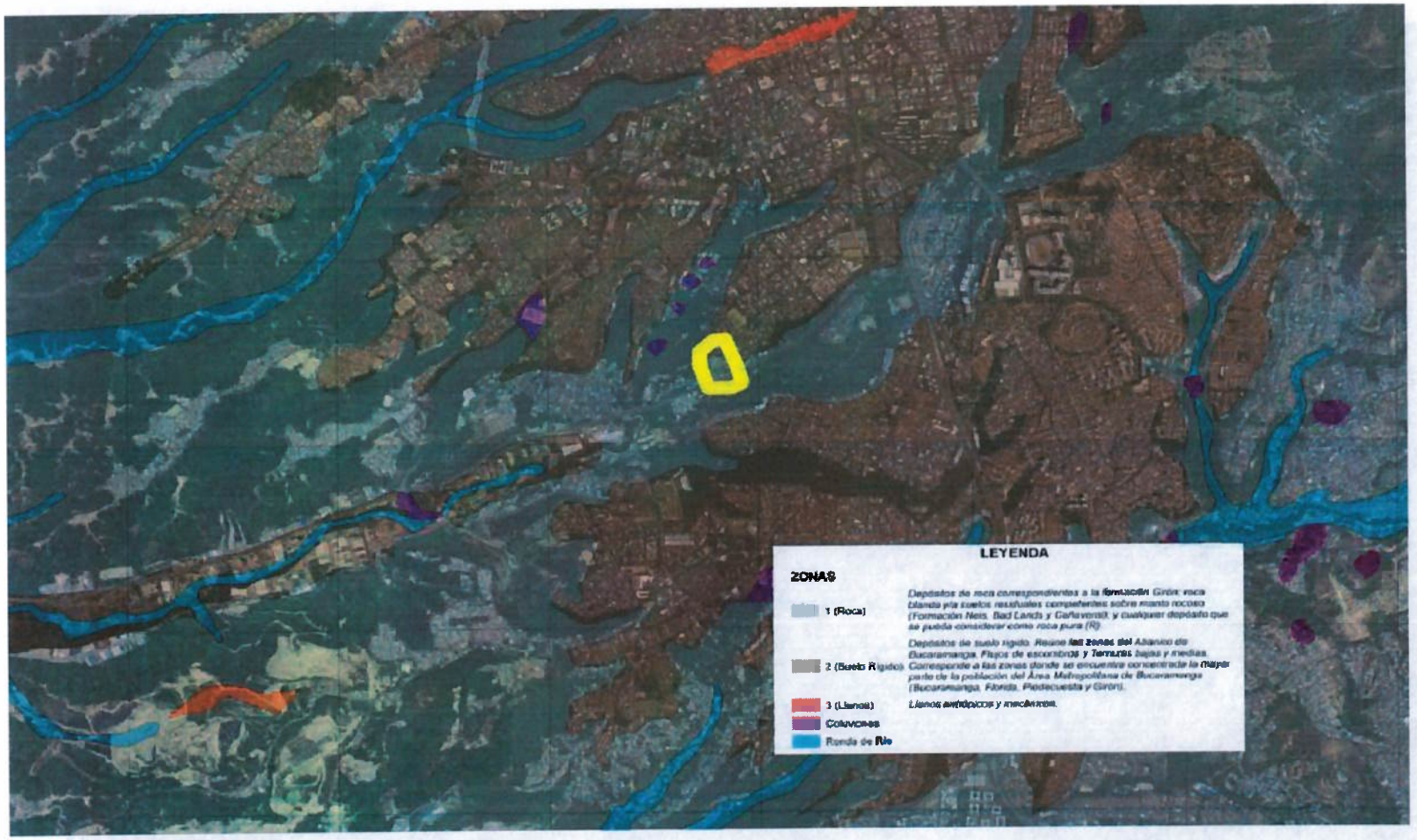


Ilustración 74 Ubicación área de estudio en el Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS)

9.2.1. Espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

A continuación, se muestran los espectros y la forma esquemática con la cual fueron desarrollados para las 3 zonas (Roca, Suelo Rígido y Llenos):

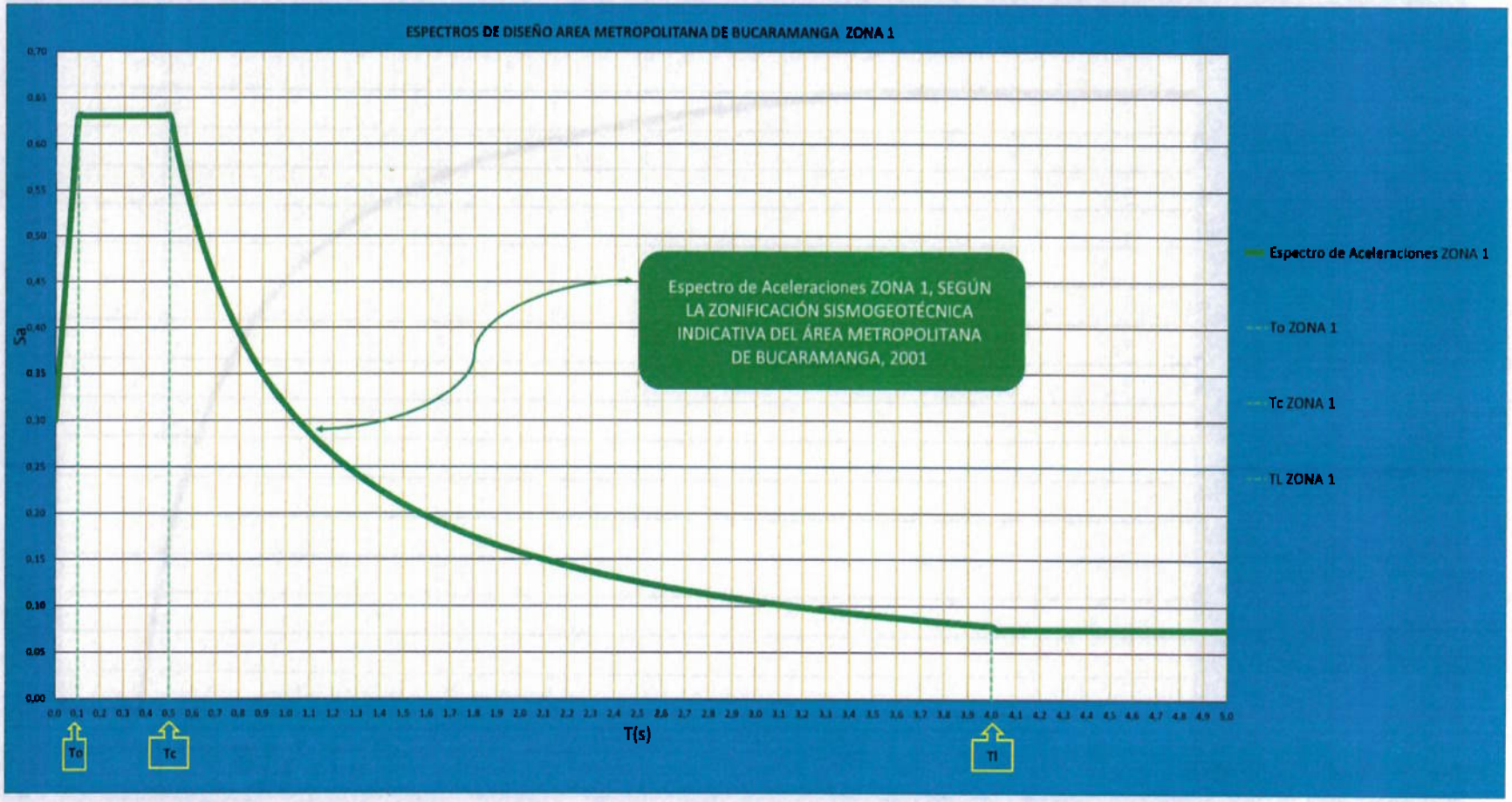


Ilustración 75 Espectro de diseño para la Zona 1 (Roca) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

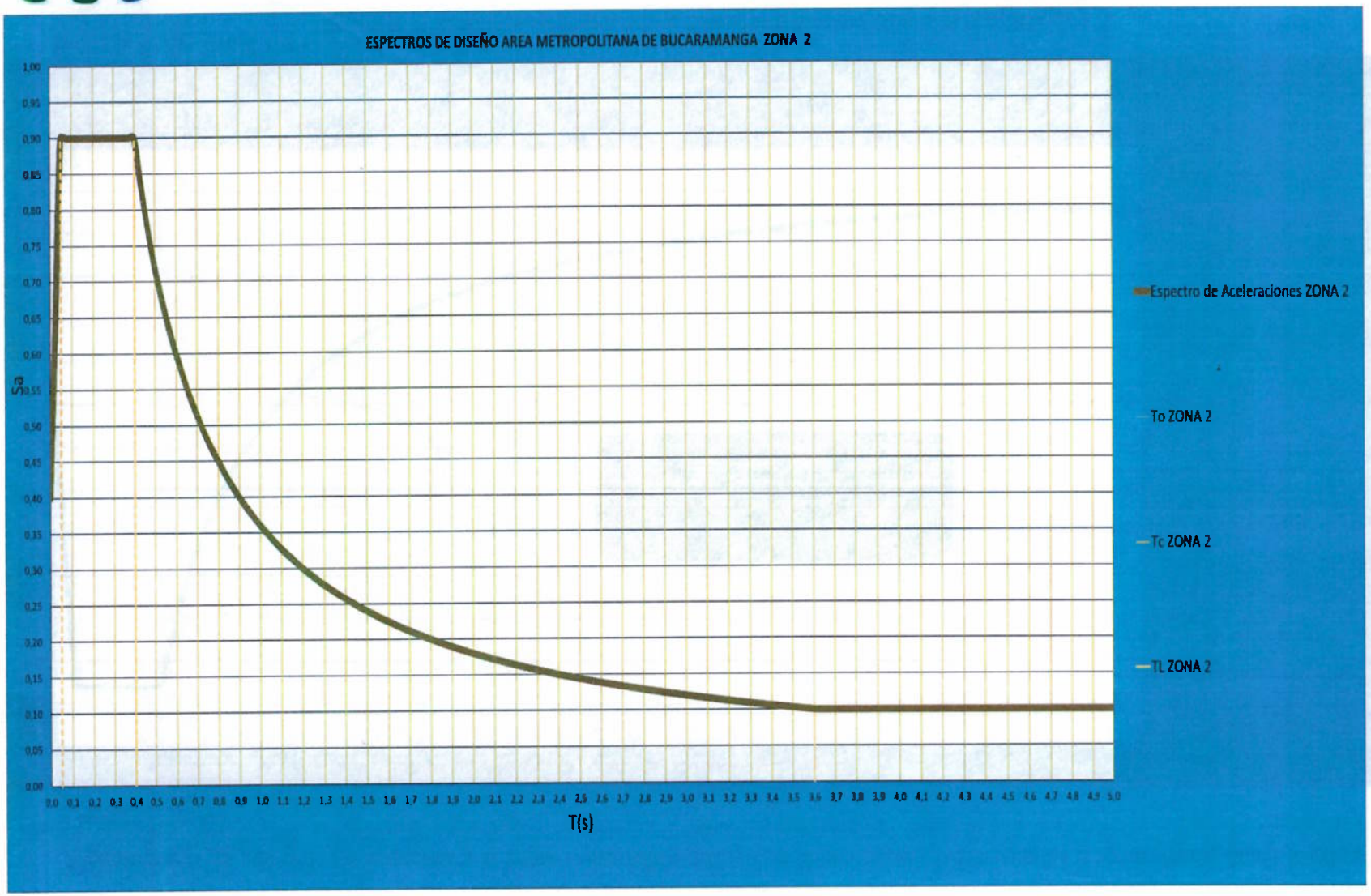


Ilustración 76 Espectro de diseño para la Zona 2 (Suelo Rígido) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

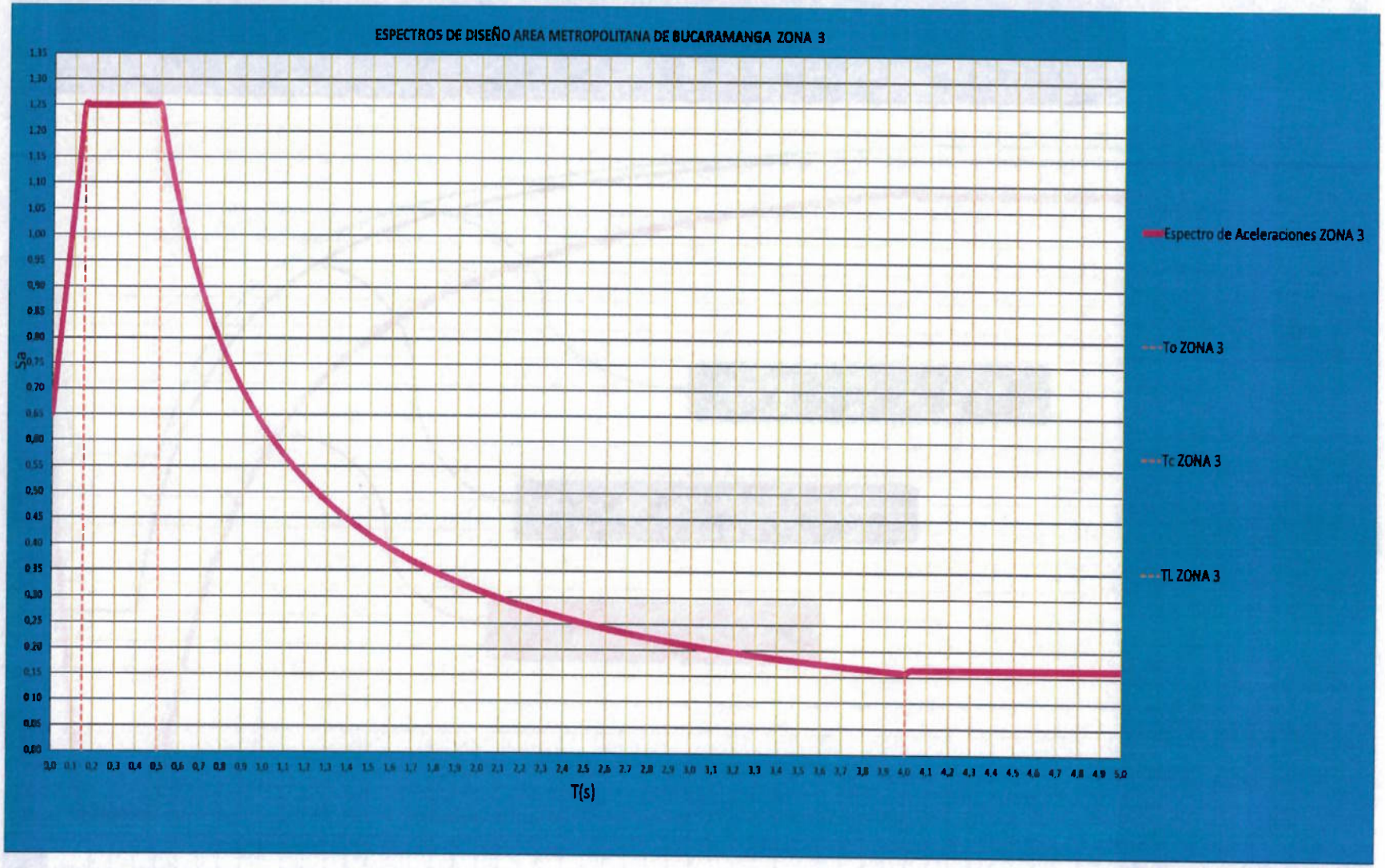


Ilustración 77 Espectro de diseño para la Zona 3 (Llenos) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

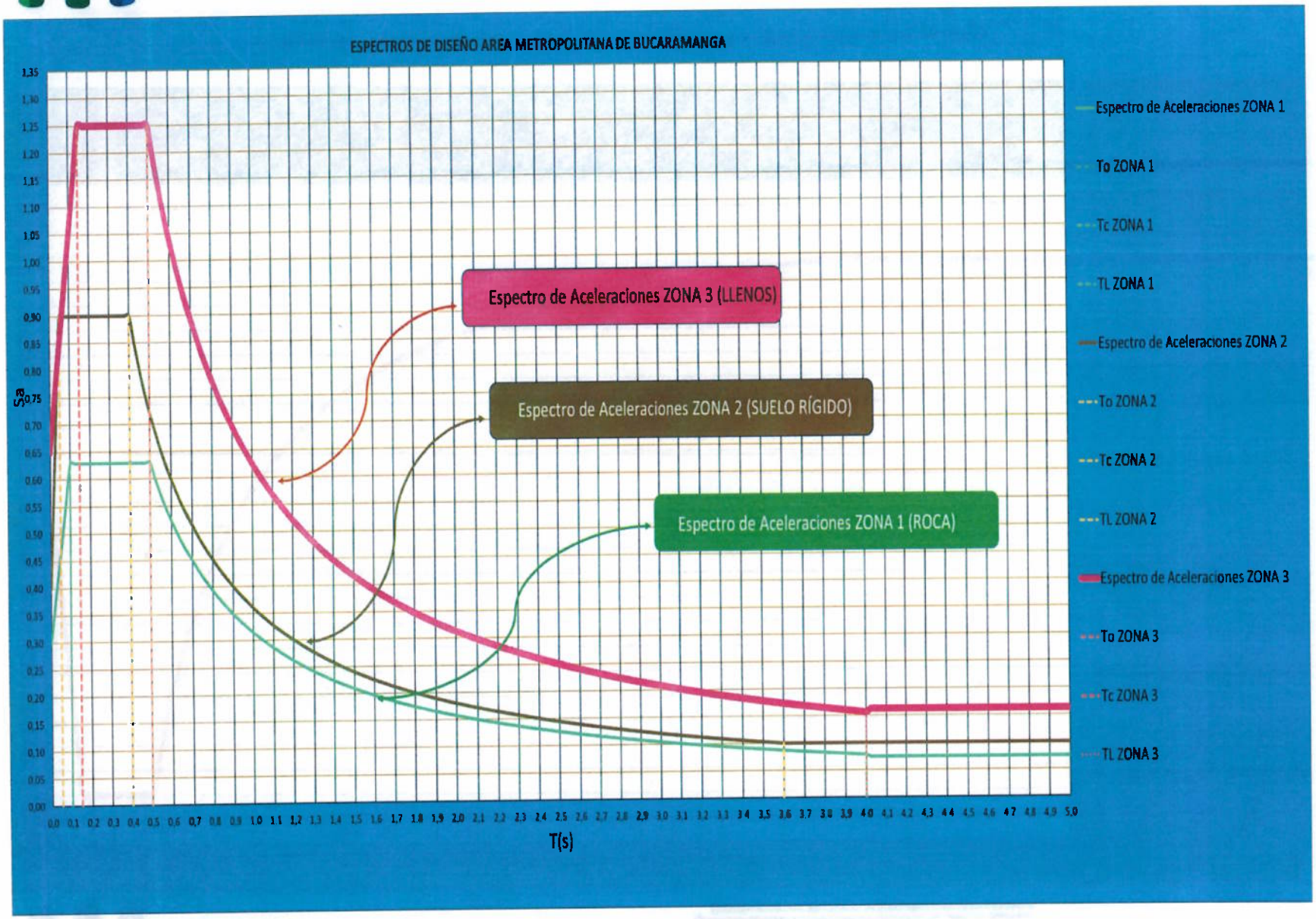


Ilustración 78 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

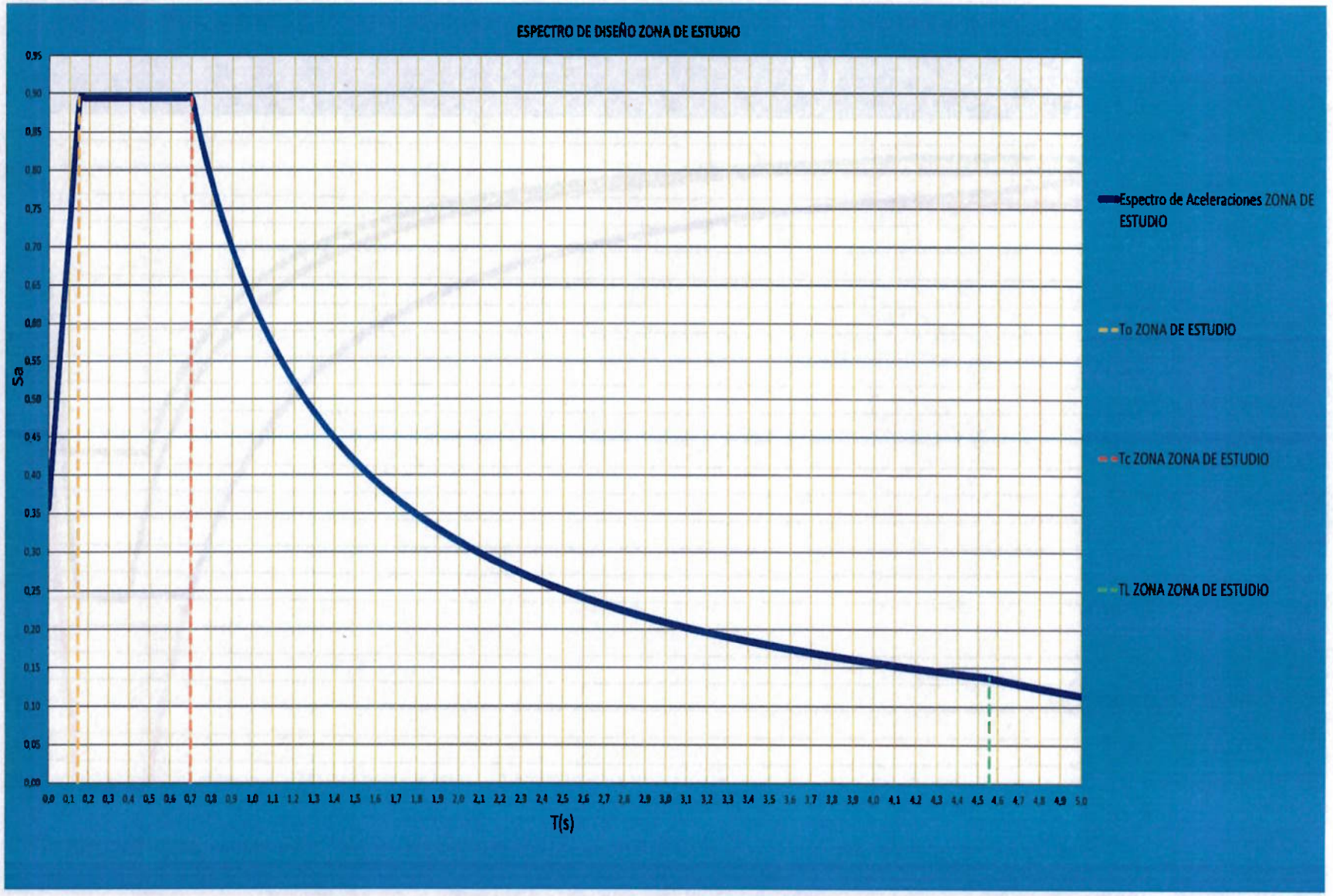


Ilustración 79 Espectro de diseño en zona de Estudio

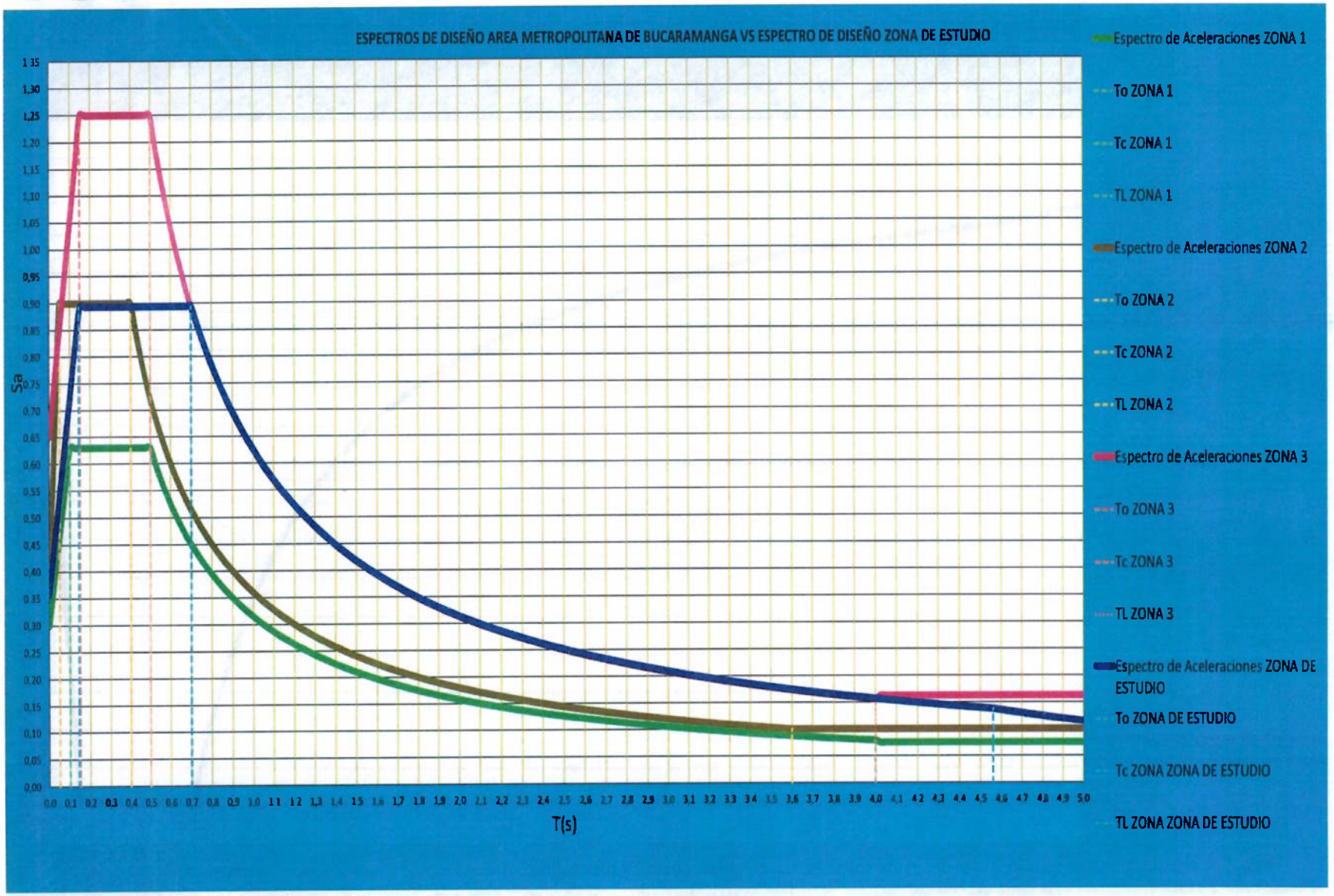


Ilustración 80 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga VS Espectro en zona de Estudio

Esta zonificación presenta un valor para el lugar de estudio de Am igual a 0,358 y según el espectro de diseño del Área metropolitana de Bucaramanga la aceleración máxima del terreno se encuentra entre 0.40g Y 0.30g ya que el sector de estudio se emplaza en el límite de la zonificación (Zona 1 y Zona 2); este último es superior al calculado según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, por ende se establece el mayor para el diseño y caracterización sísmica en la zona de estudio.

9.3. Resultado de la sismología de acuerdo a la NSR-10 y la microzonificación sísmica de Bucaramanga de 2001.

De la zonificación sísmica se tienen en cuenta los siguientes valores para el sector de estudio:

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25
PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9
GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta
Mapa A.2.3-2 y A.2.3-3 (NSR-10)	

Tabla 34 Resultados de análisis sismológico

9.4. Análisis y sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico (H.5.2.5 Titulo H, NSR-10).

El sismo de diseño para el análisis Pseudoestatico en taludes se analiza de acuerdo a la aceleración sísmica máxima predominante, como se indicó anteriormente; el resultado respecto de la NSR – 10 establece un Amax de 0.4 g; por ende, se escoge este ya que es mayor al calculado (según la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga) con un Amax de 0.358 g.

Para establecer el sismo de diseño, según la NSR-10 para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, amax obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero). En caso de que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo en lugar de lo estipulado en la sección A.2. El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de amax y se admiten los siguientes valores mínimos de KST / amax, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

El Kst se define como el sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis pseudo-estático en los modelos de estabilidad ante movimientos en masa.

MATERIAL	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,80	Ninguno
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales Térreos	0,50	Amplificación de onda bidimensional

Tabla 35 Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes (NSR-10)

Según las tablas de Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes y la de resultados de análisis sismológico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Material	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo	Kst	amax	Kst
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,8	Ninguno	0,8 * amax	0,400	0,3200
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1	Ninguno	1,0 * amax	0,400	0,4000
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar	0,67 * amax	0,400	0,2680
Todos los materiales Térreos	0,5	Amplificación de onda bidimensional	0,5 * amax	0,400	0,2000

Tabla 36 Resultados sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico

Según los resultados del análisis sismológico plasmados en el presente capitulo, los modelamientos de estabilidad ante movimientos en masa se deben ejecutar con un sismo de diseño de 0,32.

10. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para la evaluación cuantitativa de la amenaza se elaboraron tres perfiles de análisis, trazados transversalmente al relieve, con el fin de representar adecuadamente la geometría de los taludes y definir los planos de falla potenciales del sector Africa. Sobre estos perfiles se realizaron análisis de estabilidad incorporando la variabilidad de los parámetros de los materiales y distintos escenarios detonantes. Adicionalmente, el contexto de amenaza sísmica regional actúa como un factor condicionante que puede detonar movimientos de mayor profundidad y volumen bajo eventos sísmicos de períodos de retorno elevados.

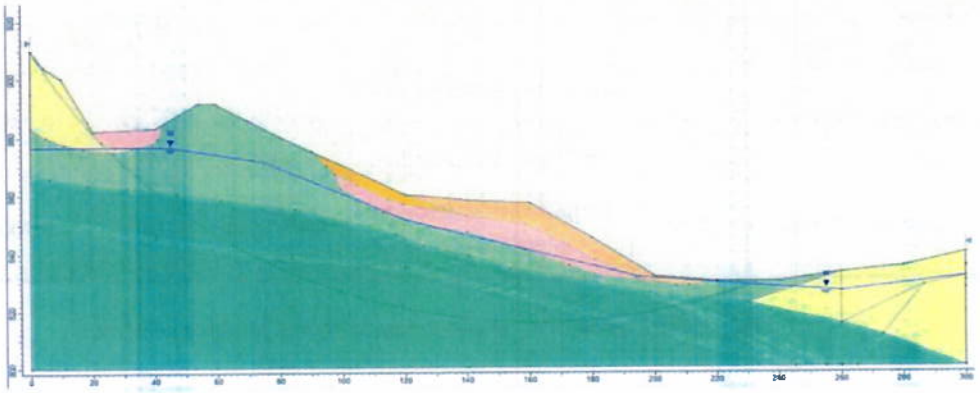


Ilustración 81 Perfil geotécnico 1

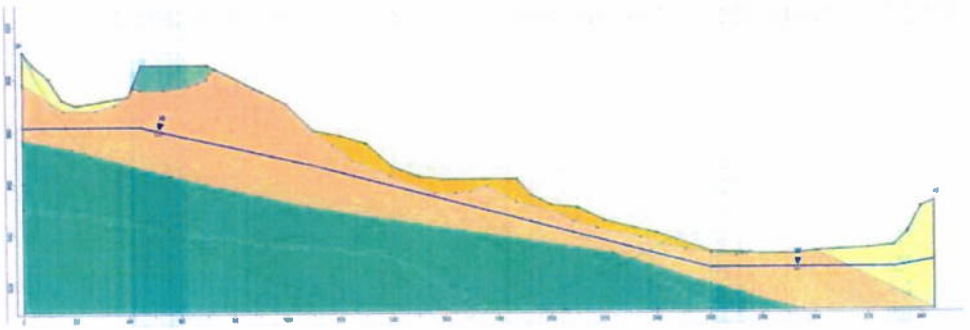


Ilustración 82 Perfil geotécnico 2

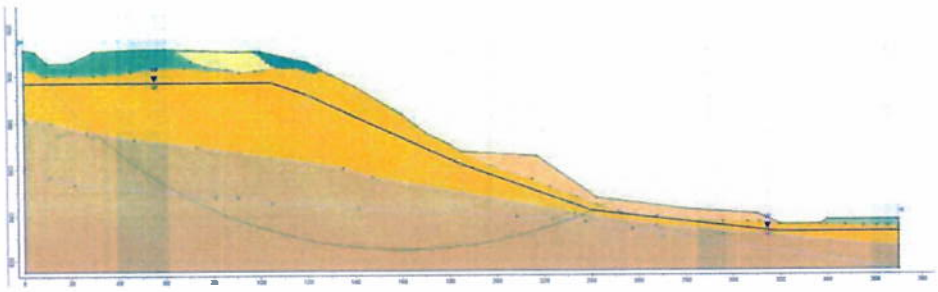


Ilustración 83 Perfil geotécnico 3

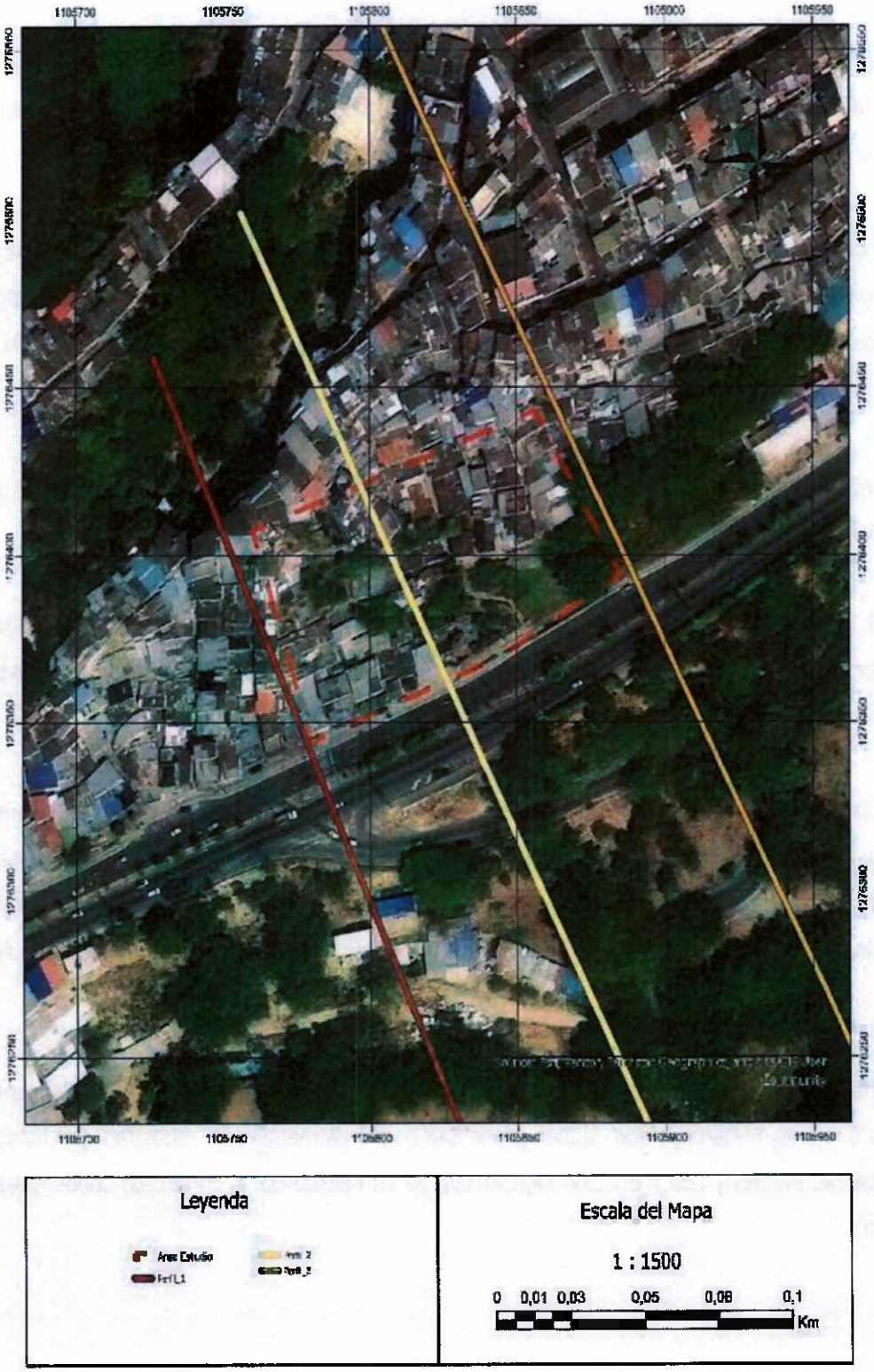


Ilustración 84 Localización de perfiles sector África

Los resultados obtenidos permiten clasificar el área de estudio dentro de la categoría de amenaza alta, debido a la combinación de factores geomorfológicos, geotécnicos y antrópicos que incrementan la susceptibilidad a movimientos en masa.

El relieve del sector se caracteriza por la presencia dominante de pendientes moderadas a abruptas, con rangos frecuentes entre 16° y 35°, y sectores localizados con pendientes muy abruptas y escarpadas, particularmente asociados a cortes antrópicos y bordes de talud próximos a la vía principal.

Estas condiciones geométricas favorecen el desarrollo de superficies potenciales de falla y la concentración de esfuerzos cortantes en los niveles superficiales.

Desde el punto de vista geomorfológico, el sector corresponde a un conjunto de laderas denudacionales activas, con zonas muy disectadas y áreas intervenidas mediante explanaciones para vivienda.

En estas laderas se reconocen procesos persistentes de erosión superficial, retrabajo de material coluvial y desprendimientos recurrentes, los cuales, aunque en muchos casos son de carácter superficial, evidencian una dinámica activa del terreno. La presencia de concavidades y microcanales favorece la concentración de escorrentía, incrementando la inestabilidad durante eventos de lluvia intensa.

En términos geotécnicos, predominan los suelos gravosos del Miembro Órganos y los suelos coluviales antiguos, materiales que, si bien presentan buena permeabilidad, muestran una marcada heterogeneidad interna y una reducción significativa de su resistencia al corte bajo condiciones de saturación.

Los suelos coluviales recientes, aunque de distribución puntual, se localizan en posiciones críticas como pies de talud y concavidades, donde pueden actuar como superficies de deslizamiento superficial y contribuir al retroceso progresivo de la ladera. La interacción entre coluviones antiguos y recientes, sumada a la presencia de cortes no confinados, incrementa la probabilidad de inestabilidad local con potencial de propagación.

La evaluación bajo escenarios detonantes por lluvia intensa indica que la saturación temporal de los niveles superficiales puede generar incrementos relevantes en las presiones de poros, especialmente en sectores con drenaje deficiente y ausencia de sistemas adecuados de manejo de aguas lluvias.

Bajo estos escenarios, los análisis muestran condiciones cercanas al equilibrio límite o inestabilidad incipiente en algunos perfiles, lo que justifica un nivel de amenaza superior.

Adicionalmente, la consideración de la sismicidad regional evidencia que, aunque los movimientos esperados serían predominantemente superficiales, la combinación de vibración sísmica, pendientes pronunciadas y materiales coluviales puede detonar fallas de mayor extensión y volumen.

Las coberturas del suelo, dominadas por tejido urbano continuo y zonas de vegetación secundaria sumadas a la urbanización sobre ladera, la presencia de cortes verticales sin obras de contención y las deficiencias en el manejo de escorrentía superficial generan un efecto acumulativo que incrementa la susceptibilidad del sector.



Leyenda	Escala del Mapa
Amenaza Amenaza Baja	1 : 700 0 0,01 0,01 0,02 0,03 0,04 Km

Ilustración 85 Mapa de amenaza por movimientos en masa, sector África

11. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA Y FRAGILIDAD ESTRUCTURAL, PARA LAS VIVIENDAS DEL BARRIO AFRICA, BUCARAMANGA-SANTANDER.

11.1. INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad de una estructura está asociada a la predisposición de la estructura a sufrir daños ante una determinada acción que amenaza su integridad, este término puede limitarse a una descripción netamente cualitativa o su alcance puede ser más específico y abarcar la aplicación de metodologías y modelos matemáticos que permita estimar de manera cuantitativa su vulnerabilidad.

Caracterizar la vulnerabilidad de una estructura implica, como parte del proceso, entender el funcionamiento de los diferentes elementos que la conforman y la relación entre los mismos y uno de los resultados más importantes es servir de insumo esencial para estimar pérdidas económicas y alcances de propuestas de reparación de los posibles daños.

Varias metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad estructural se encuentran en las diversas normativas a nivel mundial y constantemente se actualizan según la vanguardia de la investigación. En este documento, se presenta la evaluación cualitativa del cumplimiento de los requisitos mínimos que garantizan la estabilidad estructural, así como la identificación de patologías, daños y/o afectaciones presentes en las edificaciones donde se realizó un levantamiento detallado, esto con el objetivo de realizar recomendaciones que permitan mitigar el riesgo u orientar estudios futuros que intervengan problemáticas detectadas.

Durante el trabajo de campo se identifican zonas del municipio donde se presenta afectación en múltiples viviendas, por esta razón, el equipo de asesores en ingeniería estructural realizó levantamientos arquitectónicos y estructurales detallados no invasivos de viviendas típicas; estas viviendas tipo son edificaciones cuya configuración estructural es representativa de las viviendas en la zona.

Con el objetivo de evaluar el estado estructural de las edificaciones se procede a evaluar las patologías encontradas con base en la Norma Sismo Resistente NSR-10 y la "Guía de Patologías constructivas, estructurales y no estructurales" (FOPAE y AIS) para cada tipología estructural identificada.

Se evaluará la vulnerabilidad estructural de las edificaciones por medio de los datos consignados en los formularios estructurales según la "Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa" propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

11.2. OBJETIVOS

11.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Ejecutar la consultoría para realizar estudios que permitan definir la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa y fragilidad estructural para el barrio África en el municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander, aplicando la metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa" propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

11.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las características estructurales; uso, material, proceso constructivo, cimentaciones, afectaciones, fisuras, altura, etc... de las edificaciones por medio del formulario en campo.
- Realizar levantamientos detallados de distintas edificaciones por medio de toma de medidas dentro de la misma, para generar un plano estructural básico.
- Identificar la tipología estructural de la edificación con base en la información previamente levantada en campo.
- Determinar las características (patologías) de las edificaciones a partir de los datos recopilados en campo de acuerdo con la definición del modelo de vulnerabilidad.

- Evaluar cualitativamente el comportamiento de la estructura con base en las disposiciones de la guía de patologías constructivas, estructural y no estructurales propuestas por FOPAE y la AIS y la NSR-10.
- Generar por medio de la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano para la evaluación de la vulnerabilidad por movimiento en masa, la vulnerabilidad estructural de las edificaciones que se encuentran en la zona 1, 2, 3 y 4 definidas por la guía.

11.3. ALCANCE

Se generará una evaluación estructural como insumo para el método de análisis de edificaciones existentes presentado en el capítulo A.10 de la NSR-10, para las edificaciones de interés prioritario seleccionadas a partir de la información adquirida en campo.

En el presente informe se consignan las revisiones normativas aplicables al sistema estructural de las edificaciones en consideración, basados en especificaciones y recomendaciones dadas en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y se presenta evidencia de las patologías encontradas en la inspección visual a las edificaciones.

Es importante destacar que el levantamiento realizado consignado en el presente informe obedece principalmente a inspección ocular y no se realizaron labores de auscultamiento por métodos invasivos. Por esta razón, en algunos casos se incluye información suministrada por los propietarios de las viviendas o funcionarios del municipio respecto a procesos constructivos, detallado de elementos estructurales y demás información relevante que permita caracterizar estructuralmente las edificaciones analizadas. Por ejemplo, en los casos en que no es posible identificar de manera visual las características de los elementos que componen la cimentación, se recurre a información verbal y/o consignada en planos o documentos que aporten información.

La evaluación permite comprender la afectación actual de los componentes estructurales y no estructurales y realizar el diagnostico de posibles causas que derivan en las patologías observadas.

Adicionalmente se generará la vulnerabilidad estructural para las edificaciones, por medio de la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano para la evaluación de la vulnerabilidad por movimiento de masa de las edificaciones que se encuentran en la zona 1, 2, 3 y 4 definidas por la guía.

11.4. DEFINICIÓN DE LA ZONA

El presente estudio se aplica en el municipio de Bucaramanga, Santander, específicamente sobre la autopista Bucaramanga-Girón, en el barrio África. Se localiza en el extremo sur de Bucaramanga, justo sobre las laderas que bordean la Autopista Bucaramanga–Girón. Se encuentra entre zonas residenciales consolidadas en pendiente que descienden hacia la vía principal.



Ilustración 86. Ubicación detallada del área de estudio.
Fuente: Autor.

11.5. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El levantamiento general de la información permite conocer la cantidad total de edificaciones, sus características principales y a la vez clasificar e identificar los tipos de estructuras detectadas en la zona de estudio, para ello, es necesario previamente definir los parámetros que brinden información fundamental para la evaluación de la vulnerabilidad.

11.5.1. PARÁMETROS DEL MODELO

En total son (19) los parámetros definidos para cada edificación y su entorno cercano, los cuales se consideran como los de mayor influencia para la vulnerabilidad de las edificaciones.
Los parámetros definidos para el modelo son los siguientes:

1. Uso.
2. Material.
3. Proceso constructivo.
4. Sistema estructural.
5. Calidad del sistema resistente.
6. Configuración en altura.
7. Ubicación de la edificación.
8. Posición de la edificación.
9. Tipo de cimentación.
10. Tipo de suelo.
11. Muro de contención.
12. Sistema de drenaje.
13. Entorno.

14. Estado de conservación edificación.
15. Diafragma horizontal.
16. Configuración en planta.
17. Tipo de cubierta.
18. Sistema de cubierta.
19. Número de niveles.

11.5.2. DISEÑO DEL FORMULARIO

Debido a que la recopilación de los datos se realiza a través de visitas de inspección a las zonas de estudio, se hace necesario diseñar un formulario parametrizado bajo los reglamentos de construcción sismo resistente vigente en Colombia (NSR10), de manera que permita obtener la información detallada de manera clara y concisa para su posterior análisis e interpretación.

La recolección de datos de campo se realiza por parte de un equipo técnico idóneo apoyado en herramientas digitales, la cual permite tipificar de manera ágil y rápida las viviendas encontradas en las zonas de estudio.

Cada uno de los parámetros se compone de diversas alternativas de respuesta, las cuales son correlacionadas por el equipo técnico de acuerdo con las características evidenciadas en campo para cada edificación.

La parametrización propuesta para el formulario se enuncia a continuación:

PARAMETRO 1. USO
1. Residencial
2. Comercial
3. Ed. Parqueaderos
4. Oficinas

- 5. Industria
- 6. Ed. Comerciales
- 7. Gobierno
- 8. Institucional
- 9. Educación
- 10. Emergencia
- 11. Seguridad
- 12. Salud Privada
- 13. Salud Pública
- 14. Solar
- 15.En construcción
- 16. No Aplica

PARÁMETRO 2. MATERIAL

- 1. Mampostería de ladrillo o bloque
- 2. Tapia o adobe
- 3. Concreto
- 4. Metálica
- 5. Madera
- 6. No Aplica

PARÁMETRO 3. PROCESO CONSTRUCTIVO

- 1. Autoconstrucción
- 2. Proyecto de urbanización

	3. Dirigido por Ingenieros o Arquitectos
	4. No Aplica

PARÁMETRO 4. SISTEMA ESTRUCTURAL	1. Edificación en mampostería confinada en todas las plantas
	2. Edificación en mampostería reforzada en todas las plantas
	3. Edificación en mampostería confinada pero no en todas las plantas
	4. Edificación en mampostería que solo posee vigas de confinamiento sin columnas o columnas sin vigas de confinamiento
	5. Edificación en mampostería que no posee vigas y columnas de confinamiento en ninguna de las plantas
	6. Pórticos en concreto reforzado
	7. Muros en concreto reforzado
	8. Sistema combinado en concreto reforzado
	9. Prefabricados en concreto
	10. Pórticos en acero
	11. Muros en tapia pisada
	12. Muros en adobe
	13. Mixto
	14. No Aplica

PARÁMETRO 5. CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	1. Mampostería de buena calidad con piezas homogéneas y presencia de buen ligamento
	2. Mampostería de buena calidad con piezas no muy homogéneas y bien ligadas

	3. Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas o no muy homogéneas y que se encuentran bien ligadas
	4. Mampostería de buena o baja calidad con piezas no homogéneas o mal ligadas
	5. Edificio con hormigón de buena consistencia
	6. Hormigón de mala calidad, juntas de construcción mal construidas, refuerzo de acero visible, mala calidad de la obra.
	7. Acero, conexiones precalificadas
	8. Acero, conexiones soldadas de mala calidad
	9. No Aplica
PARÁMETRO 6. CONFIGURACIÓN EN ALTURA	1. Edificación con -dMM<10% o edificaciones de un solo piso
	2. 10%<=-dMM<20%
	3. -dMM>20%
	4. dMM>0%
	5. No Aplica
PARÁMETRO 7. UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	1. Edificación ubicada fuera del talud y cumple con los aislamientos establecidos
	2. Edificación localizada arriba de la corona del talud con pendiente del terreno entre 30 y 45° y altura del talud <5m con presencia de muro de contención rígido de igual o mayor altura que el talud y una pendiente general del terreno abajo del pie y arriba de longitud superior a 3 veces la altura del muro.
	3. Edificación ubicada sobre pendientes del terreno menores a 30°
	4. Edificación localizada abajo de pie del talud y altura <5m con muro de contención rígido de igual o mayor altura que el talud y una pendiente general del terreno abajo del pie y arriba de la cabeza del muro no superior a 3%, en una longitud superior a 3 veces la altura del muro.

- 5. Edificación localizada en taludes con pendientes >30° o ubicadas en la zona de aislamiento a taludes
- 6. Edificación construida sobre corte realizado en una ladera con pendiente >30°
- 7. Edificación sobre relleno en ladera
- 8. Ninguna de las anteriores

PARÁMETRO 8. POSICIÓN DE LA CIMENTACIÓN

- 1. La cimentación está ubicada a una misma cota.
- 2. La diferencia máxima de las cotas de cimentación es inferior a 1m.
- 3. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es >1m.
- 4. Ninguna de las anteriores

PARÁMETRO 9. TIPO DE CIMENTACIÓN

- 1. Sistema de pilotes
- 2. Cimentación corrida
- 3. Cimentación sobre losa de cimentación
- 4. Cimentación con Zapatas
- 5. Cimentación en concreto ciclópeo
- 6. No identificada
- 7. No existe

PARÁMETRO 10. TIPO DE SUELO

- 1. Edificación cimentada sobre suelo catalogado tipo C o D
- 2. Edificación que no cumplen requisitos para ser catalogados A o B

	3. Edificación cimentada sobre suelos blandos o rellenos
	4. No existe edificación
PARAMETRO 11. MURO DE CONTENCION	1. La edificación requiere muro de contención
	2. Muro de contención diseñado para resistir empujes del suelo y agua
	3. Muro está cimentado en roca o suelo firme
	4. Muro cuenta con sistema de drenaje y lloraderos.
	5. Materiales del relleno son limpios y compactos
	6. Ninguna de las Anteriores
PARAMETRO 12. SISTEMA DE DRENAJE	1. La edificación cuenta con un sistema adecuado de canales para recolección de aguas lluvias
	2. Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras
	3. Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado
	4. Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente
	5. Ninguna de las anteriores
PARAMETRO 13. ENTORNO	1. Presencia de uniones rotas en el alcantarillado
	2. Presencia de escapes en tubos de suministro
	3. Se observan filtraciones de agua en el suelo
	4. Presencia de sistemas de drenaje limpios

	5. Ninguna de las anteriores
PARAMETRO 14. ESTADO DE CONSERVACION EDIFICACION	1. Muros en buena condición sin fisuras visibles
	2. Muros que presentan fisuras no extendidas producidas por causas diferentes a la acción sísmica o de remoción en masa.
	3. Fisuras con tamaño medio de 2 a 3mm de ancho.
	4. Edificio que no presenta fisuras pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
	5. Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o fisuras de más de 3mm de ancho.
	6. Ninguna de las anteriores
PARAMETRO 15. DIAFRAGMA HORIZONTAL	1. Ausencia de planos a desnivel
	2. El porcentaje de apertura del diafragma es menor de un 30%
	3. La placa de entrepiso o diafragma se apoya de manera adecuada a los muros de soporte y proporciona continuidad y monotolitismo
PARÁMETRO 16. CONFIGURACIÓN EN PLANTA	1. Tipo de irregularidad en planta - Presenta irregularidad de sistema no paralelos
	2. Tipo de irregularidad en planta - Presenta irregularidad desplazamientos de planos de acción
	3. Tipo de irregularidad en altura
	4. Sin irregularidad en planta o en altura
PARÁMETRO 17. TIPO DE CUBIERTA	1. Cubierta estable con viga cumbrera
	2. Cubierta plana

- 3. Cubierta estable bien conectada sin viga cumbrera
- 4. Ninguna de las anteriores

PARÁMETRO 18 SISTEMA DE CUBIERTA

- 1. Placa de concreto
- 2. Estructura metálica y teja
- 3. Estructura en madera y teja
- 4. Otro

PARÁMETRO 19 NÚMERO DE NIVELES

- 1. 1 Nivel
- 2. 2 Niveles
- 3. 3 Niveles

11.6. CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES PARA ESTUDIO DE VULNERABILIDAD

Una vez realizado el levantamiento de datos en campo se procede a realizar el análisis estadístico de la información para la zona de estudio de acuerdo con los parámetros definidos.

11.6.1. BARRIO AFRICA:

Parámetro 1: Uso.

A.1 USO ESTRUCTURA		
1. Residencial	79	94%
2. Comercial	1	1%
3. Industria	0	0%
4. Ed. Comerciales	0	0%
5. Gobierno	0	0%
6. Institucional	1	1%
7. Educación	0	0%
8. Salud privada	0	0%
9. Salud pública	0	0%
10. Solar	0	0%
11. En construcción	0	0%
12. Lote	3	4%
13. Privado	0	0%
Total encuestas:	**84**	100%

Tabla 37. Cuantificación de registros para el tipo de uso de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.



Ilustración 87. Tipo de uso de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 2. Material.

B.1 MATERIAL		
1. Mampostería de ladrillo o bloque	38	45%
2. Tapia o adobe	0	0%
3. Concreto	43	51%
4. Madera	0	0%
5. No aplica	3	4%
6. Acero	0	0%
7. Otros	0	0%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 38. Cuantificación de registros para el tipo de material de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

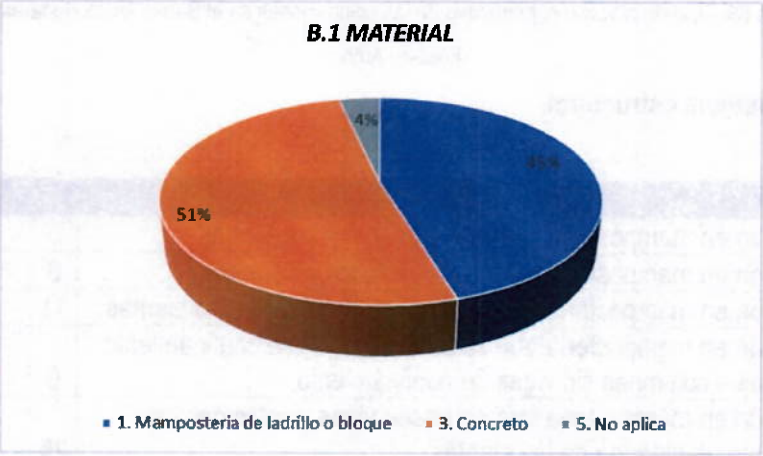


Ilustración 88. Tipo de material de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 3. Proceso constructivo.

B.2 PROCESO CONSTRUCTIVO		
1. Autoconstrucción	81	96%
2. Proyecto de urbanización	0	0%
3. Dirigido por ingenieros o arquitectos	3	4%
4. No aplica	0	0%
5. Otro	0	0%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 39. Cuantificación de registros para el tipo de proceso constructivo de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

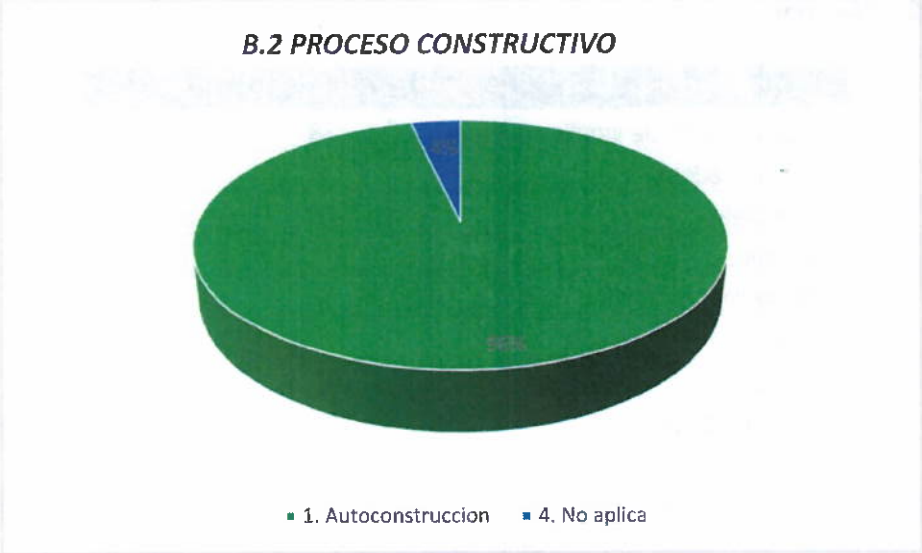


Ilustración 89. Tipo de proceso constructivo de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 4. Sistema estructural.

C.1 SISTEMA ESTRUCTURAL		
1. Edificación en mampostería confinada en todas las plantas	0	0%
2. Edificación en mampostería reforzada en todas las plantas	0	0%
3. Edificación en mampostería confinada pero no en todas las plantas	11	13.1%
4. Edificación en mampostería que solo posee vigas de confinamiento sin columnas o columnas sin vigas de confinamiento	0	0%
5. Edificación en mampostería que no posee vigas y columnas de confinamiento en ninguna de las plantas	26	31%
6. Pórticos en concreto reforzado	43	51.2%
7. Muros en concreto reforzado	0	0%
8. Sistema combinado en concreto reforzado	0	0%
9. Prefabricados en concreto	0	0%
10. Pórticos en acero	1	1.2%
11. Muros en tapia pisada	0	0%
12. Muros en adobe	0	0%
13. Mixto	0	0%
14. Sistema en madera	3	3.6%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 40. Cuantificación de registros para el tipo de sistema estructural de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

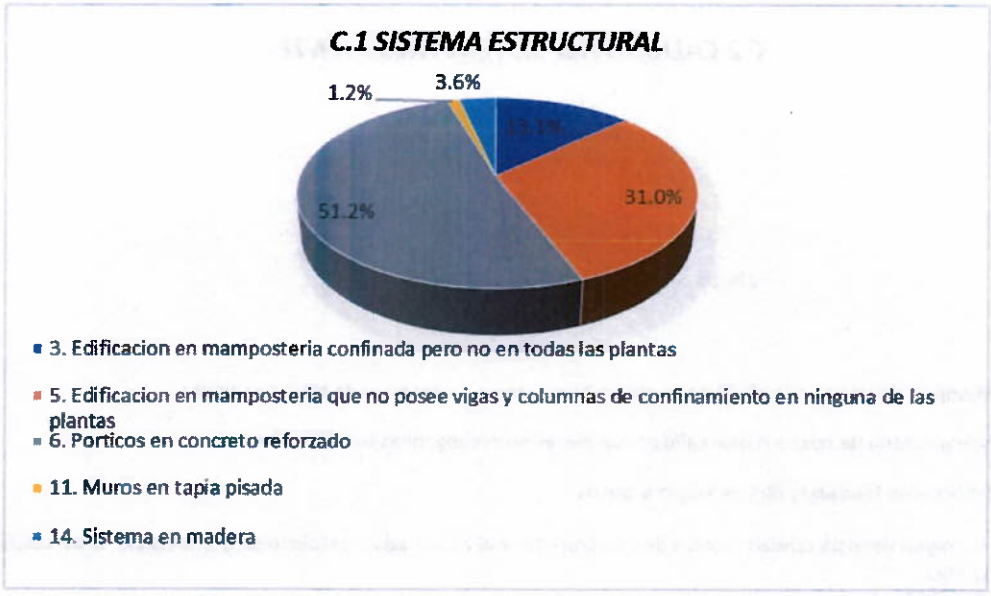


Ilustración 90. Tipo de sistema estructural de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 5. Calidad del sistema resistente.

C. 2 CALIDAD SISTEMA RESISTENTE		
1. Mampostería de buena calidad con piezas homogéneas y presencia de buen ligamento	20	53%
2. Mampostería de buena calidad con piezas no muy homogéneas y bien ligadas	0	0%
3. Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas o no muy homogéneas y que se encuentran bien ligadas	0	0%
4. Mampostería de buena o baja calidad con piezas no homogéneas o mal ligadas	38	37%
5. Edificio con hormigón de buena consistencia	2	0%
6. Hormigón de mala calidad - juntas de construcción mal construidas - refuerzo de acero visible -mala calidad de la obra.	21	0%
7. Acero, conexiones precalificadas	0	0%
8. Otro	0	10%
9. No Aplica	3	0%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 41. Cuantificación de registros para calidad del sistema resistente de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

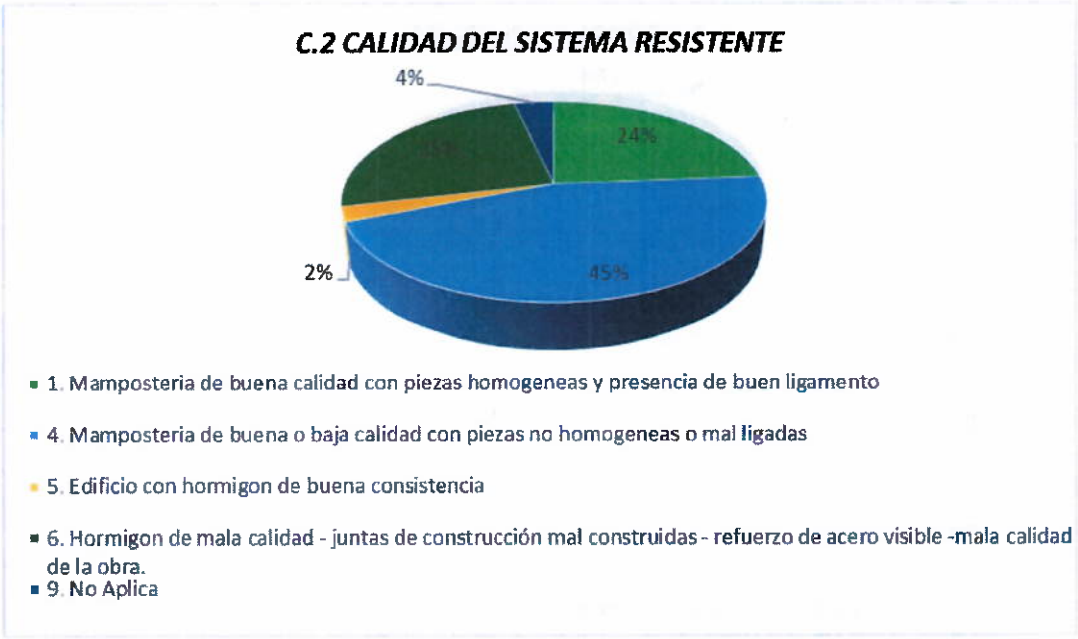


Ilustración 91. Calidad del sistema resistente de las edificaciones para el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 6. Configuración en altura.

C.3 CONFIGURACION EN ALTURA		
1. Edificación con -dM/M<10% o edificaciones de un solo piso	14	17%
2. 10%<=-dM/M<20%	0	0%
3. -dM/M>20%	67	80%
4. No aplica	3	4%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 42. Cuantificación de registros para configuración en altura de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.



Ilustración 92. Configuración en altura de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 7. Ubicación de la edificación.

C. 4 UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		
1. Edificación ubicada fuera del talud y cumple con los aislamientos establecidos	0	0%
2. Edificación localizada arriba de la corona del talud con Pend. 30-45° Htalud<5m-Con muro de contención	0	0%
3. Edificación ubicada sobre pendientes del terreno menores a 30°	8	10%
4. Edificación localizada abajo de pie del talud y altura <5m con muro de contención rígido de igual o mayor altura que el talud	0	0%
5. Edificación localizada en taludes con pendientes >30° o ubicadas en la zona de aislamiento a taludes	0	0%
6. Edificación construida sobre corte realizado en una ladera con pendiente >30°	73	87%
7. Edificación sobre relleno en ladera	0	0%
8. Ninguna de las anteriores	3	4%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 43. Cuantificación de registros para ubicación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

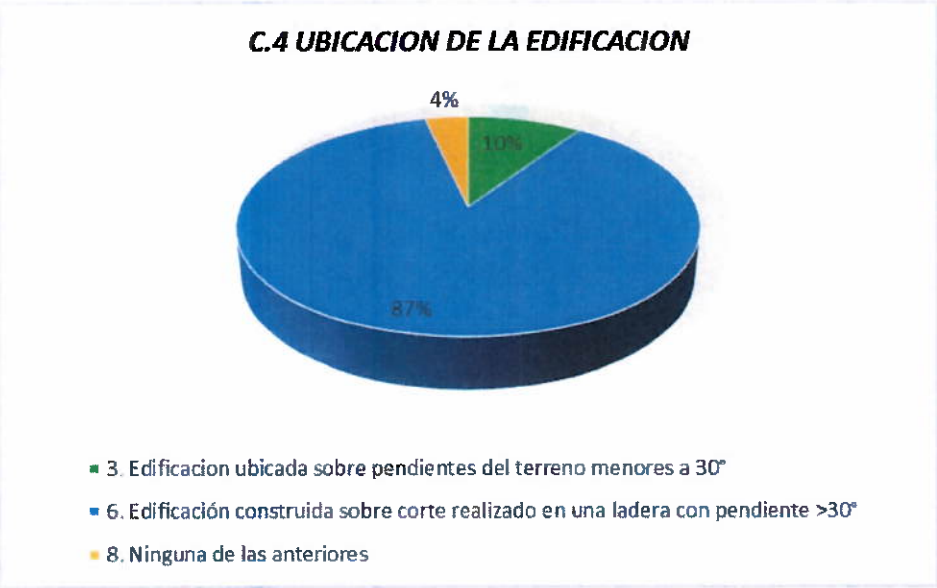


Ilustración 93. Configuración en altura de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 8. Posición de la cimentación.

C.5. POSICION DE LA CIMENTACIÓN		
1. La cimentación está ubicada a una misma cota.	18	21.4%
2. La diferencia máxima de las cotas de cimentación es inferior a 1m.	21	25.0%
3. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es >1m.	42	50.0%
4. Ninguna de las anteriores	0	0.0%
6. No aplica	3	3.6%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 44. Cuantificación de registros para posición de la cimentación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

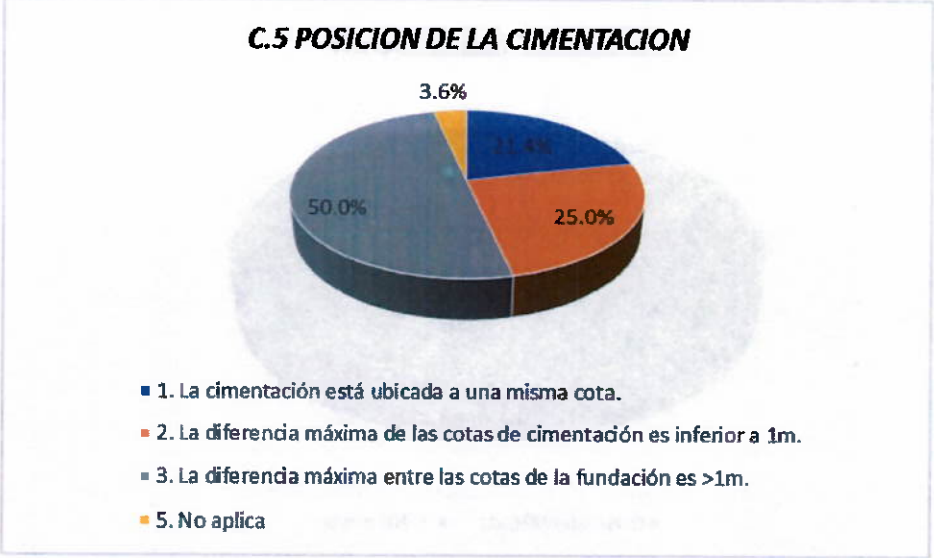


Ilustración 94. Posición de la cimentación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 9. Tipo de cimentación.

C.6 TIPO DE CIMENTACIÓN		
1. Sistema de pilotes	0	0%
2. Cimentación corrida	0	0%
3. Cimentación sobre losa de cimentación	0	0%
4. Cimentación con zapatas	0	0%
5. Cimentación en concreto ciclópeo	0	0%
6. No identificada	81	96%
7. No existe	3	4%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 45. Cuantificación de registros para tipo de cimentación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

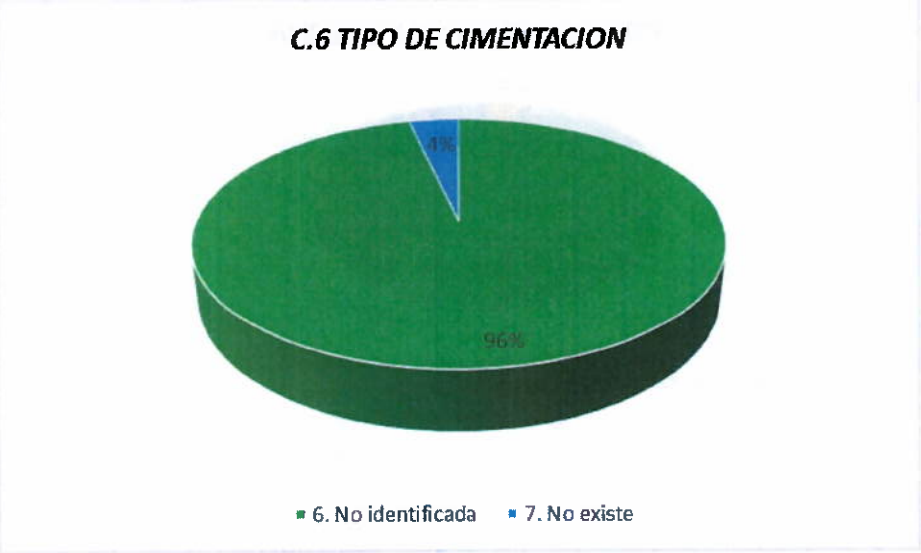


Ilustración 95. Tipo de la cimentación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 10. Tipo de suelo.

C.7 TIPO DE SUELO		
1. Edificación cimentada sobre suelo catalogado tipo C o D	81	96%
2. Edificación que no cumplen requisitos para ser catalogados A o B	0	0%
3. Edificación cimentada sobre suelos blandos o rellenos	0	0%
4. No existe edificación	3	4%
Total encuestas:	**84**	**100%**

Tabla 46. Cuantificación de registros para tipo de suelo de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.



Ilustración 96. Tipo de suelo de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 11. Muro de contención.

C.9. MURO DE CONTENCION		
1. La edificación requiere muro de contención	14	16.67%
2. Muro de contención diseñado para resistir empujes del suelo y agua	0	0.0%
3. Muro está cimentado en roca o suelo firme	0	0.0%
4. Muro cuenta con sistema de drenaje y lloraderos.	0	0.0%
5. Materiales del relleno son limpios y compactos	0	0.0%
6. Ninguna de las Anteriores	70	83.33%
Total encuestas	***84***	***100.0%***

Tabla 47. Cuantificación de registros para muro de contención de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

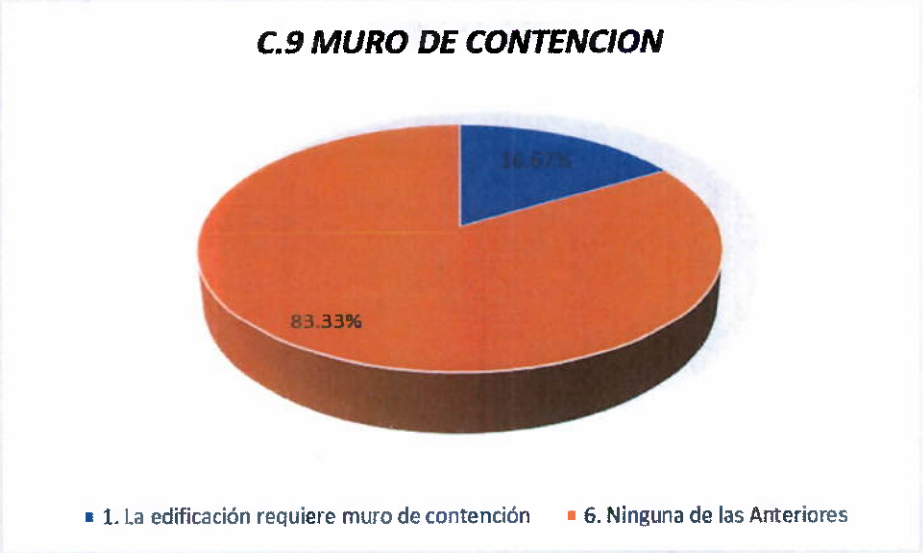


Ilustración 97. Muro de contención de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 12. Sistema de drenaje.

C.10. SISTEMA DE DRENAJE		
1. La edificación cuenta con un sistema adecuado de canales para recolección de aguas lluvias	13	15.0%
2. Existe sistema de alcantarillado para aguas lluvias y aguas negras	8	10.0%
3. Existen drenajes superficiales para las aguas de escorrentía y estas descargan a un sistema de alcantarillado	0	0.0%
4. Los tanques de almacenamiento son herméticos y cimentados adecuadamente	0	0.0%
5. Ninguna de las anteriores	63	75.0%
Total encuestas	***84***	***100.0%***

Tabla 48. Cuantificación de registros para tipo de sistemas de drenaje de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

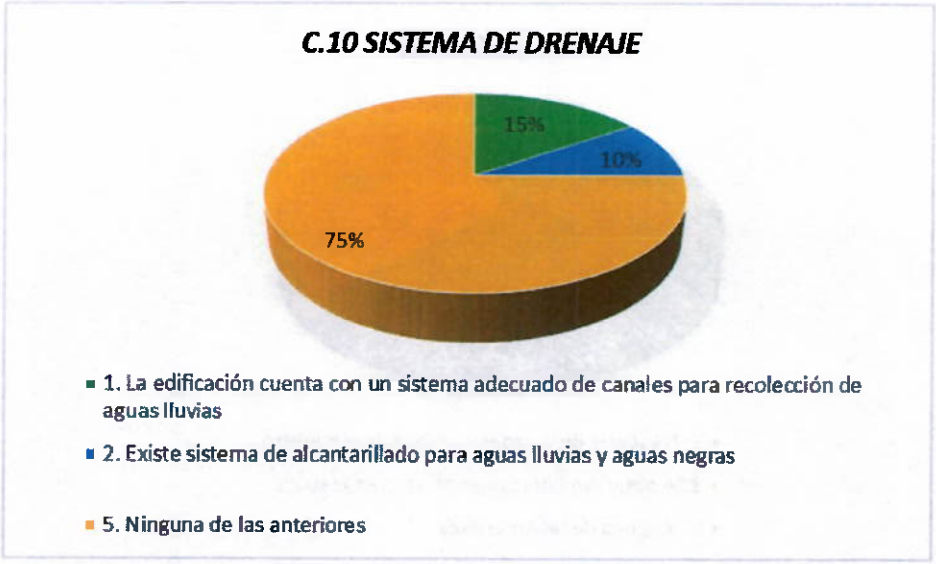


Ilustración 98. Tipo de sistema de drenaje de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.
Fuente: Autor.

Parámetro 13. Entorno.

C.11. ENTORNO		
1. Presencia de uniones rotas en el alcantarillado	0	0.0%
2. Presencia de escapes en tubos de suministro	1	1.2%
3. Se observan filtraciones de agua en el suelo	31	36.9%
4. Presencia de sistemas de drenaje limpios	0	0.0%
5. Ninguna de las anteriores	52	61.9%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 49. Cuantificación de registros para el entorno de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

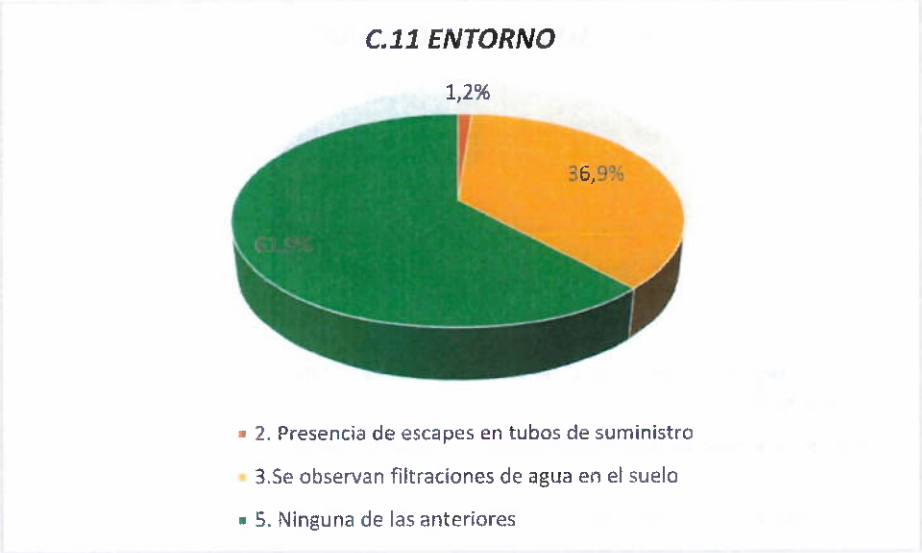


Ilustración 99. Entorno de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 14. Estado de conservación edificación.

C.12. ESTADO DE CONSERVACIÓN EDIFICACIÓN		
1. Muros en buena condición sin fisuras visibles	25	29.8%
2. Muros que presentan fisuras no extendidas producidas por causas diferentes a la acción sísmica o de remoción en masa.	1	1.2%
3. Fisuras con tamaño medio de 2 a 3mm de ancho.	0	0.0%
4. Edificio que no presenta fisuras pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.	49	58.3%
5. Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o fisuras de más de 3mm de ancho.	6	7.1%
6. Ninguna de las anteriores	3	3.6%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 50. Cuantificación de registros para el estado de conservación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

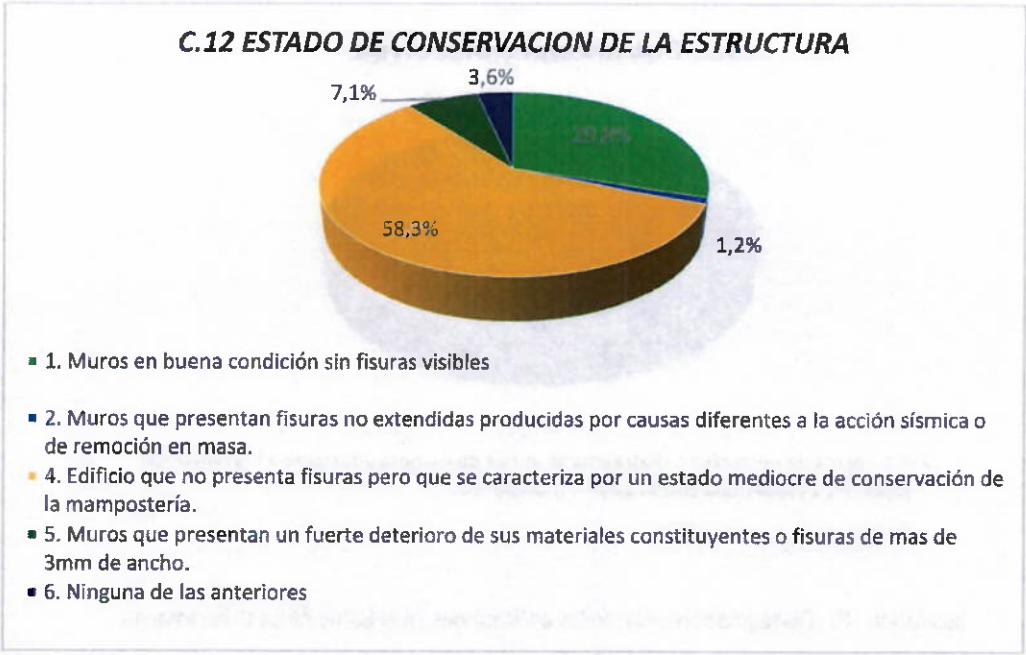


Ilustración 100. Estado de conservación de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 15. Diafragma horizontal.

P.1. DIAFRAGMA HORIZONTAL		
1. Ausencia de planos a desnivel	0	100.0%
2. El porcentaje de apertura del diafragma es menor de un 30%	0	0.0%
3. La placa de entrepiso o diafragma se apoya de manera adecuada a los muros de soporte y proporciona continuidad y monolitismo	10	11.9%
4. Ninguna de las anteriores	74	88.1%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 51. Cuantificación de registros para el diafragma horizontal de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

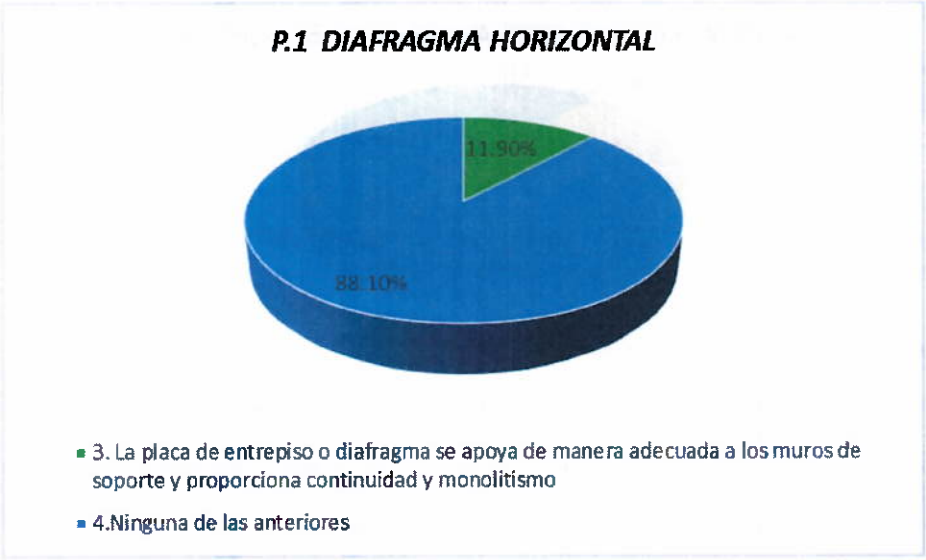


Ilustración 101. Diafragma horizontal de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 16. Configuración en planta.

P.2. CONFIGURACIÓN EN PLANTA		
1. Tipo de irregularidad en planta - Presenta irregularidad de sistema no paralelos	23	27.4%
2. Tipo de irregularidad en planta - Presenta irregularidad desplazamientos de planos de acción	5	6.0%
3. Tipo de irregularidad en altura	0	0.0%
4. Sin irregularidad en planta o en altura	52	61.9%
5. No aplica	4	4.8%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 52. Cuantificación de registros para la configuración en planta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

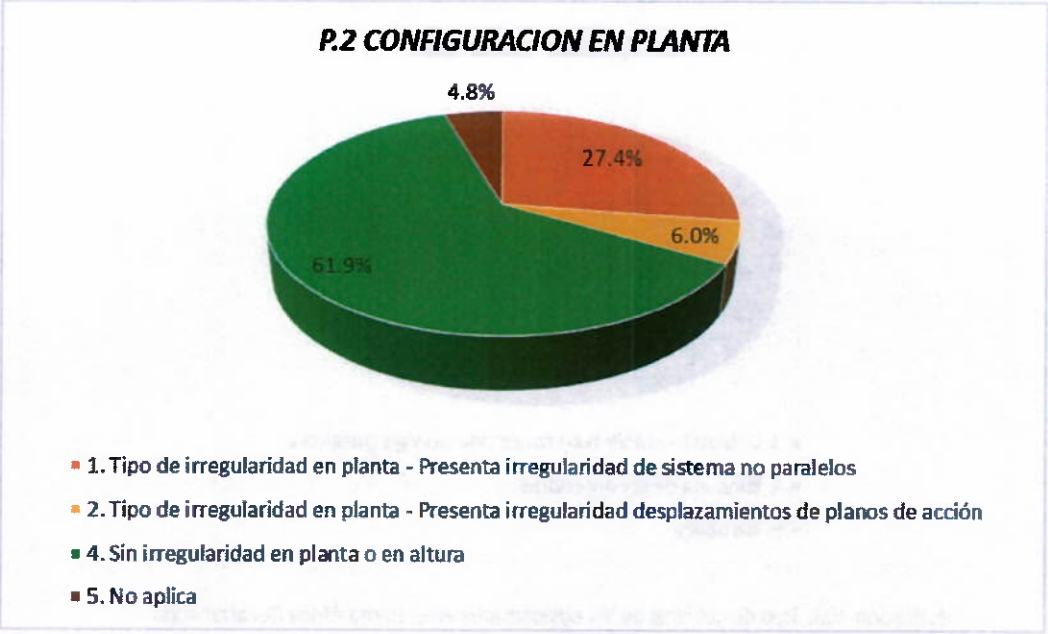


Ilustración 102. Configuración en planta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 17. Tipo de cubierta.

P.3. TIPO DE CUBIERTA		
1. Cubierta estable con viga cumbrera	0	0.0%
2. Cubierta plana	0	0.0%
3. Cubierta estable bien conectada sin viga cumbrera	70	83.4%
4. Ninguna de las anteriores	7	8.3%
5. No aplica	7	8.3%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 53. Cuantificación de registros para el tipo de cubierta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

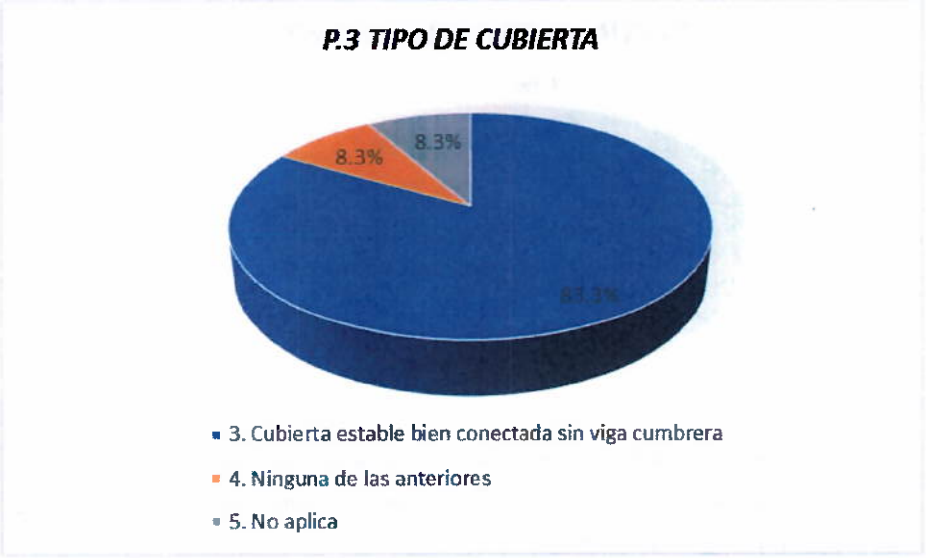


Ilustración 103. Tipo de cubierta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 18. Sistema de cubierta.

P.4 SISTEMA DE CUBIERTA		
1. Placa de concreto	0	0.0%
2. Estructura metálica y teja	75	89.3%
3. Estructura en madera y teja	4	4.8%
4. Otro	1	1.2%
5. No aplica	4	4.8%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 54. Cuantificación de registros para el tipo sistema de cubierta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.



Ilustración 104. Tipo de sistema de cubierta de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

Parámetro 19. Número de niveles.

P.5 NÚMERO DE NIVELES		
1. 0 Nivel	8	9.5%
2. 1 Nivel	22	26.2%
3. 2 Niveles	32	38.1%
4. 3 Niveles	12	14.3%
5. 4 Niveles	7	8.3%
6. 5 Niveles	2	2.4%
7. 6 Niveles	1	1.2%
8. 7 Niveles	0	0.0%
Total encuestas	**84**	**100.0%**

Tabla 55. Cuantificación de registros para el número de niveles de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

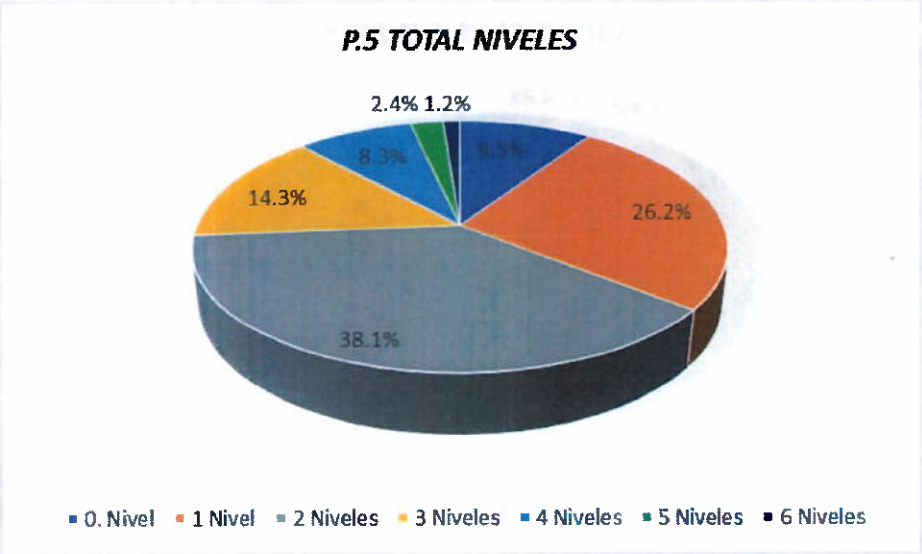


Ilustración 105. Número de niveles de las edificaciones en el Barrio África Bucaramanga.

Fuente: Autor.

11.7. LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL DETALLADO

En el barrio África del municipio de Bucaramanga se llevó a cabo los levantamientos estructurales detallados en el barrio África ubicado en la autopista Bucaramanga-Girón. Las viviendas escogidas para los levantamientos corresponden según los mapas entregados para campo al predio trece, subdivisión A (A-13) y el predio doce, subdivisión B (B-12). El interés especial de realizar una revisión normativa del estado de las estructuras de estas edificaciones radica en evaluar es estado actual de la edificación y el cumplimiento de los requisitos mininos de la NSR-10.

11.7.1. PREDIO A-13 BARRIO AFRICA

El predio cuenta con un área de 50 metros cuadrados en planta, consta de dos niveles construidos con cubierta liviana con descarga en dos direcciones, de uso residencial, su estructura es de sistema pórtico en concreto reforzado, con muros divisorios en mampostería, en las coordenadas aproximadas 7.094414LAT, -73.119882 LONG. Ver siguiente ilustración:

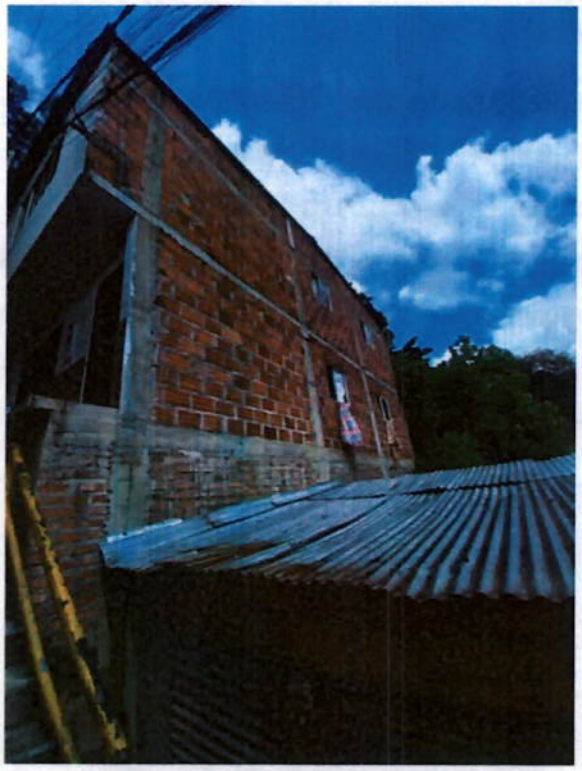


Ilustración 106. Predio A-13, Barrio África, Municipio de Bucaramanga, Santander.
Fuente: Autor.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los elementos estructurales y no estructurales que componen el edificio.

El sistema estructural que compone la edificación corresponde a un pórtico en concreto reforzado esencialmente completo, resistente a momento. Se identifican 2 ejes de columnas en el sentido longitudinal de la edificación y 4 ejes de columnas en sentido transversal conformando un sistema con ejes paralelos.

El sistema de entrepiso corresponde a un sistema de placa maciza de espesor de 0.15 m, con vigas embebidas en la placa.

La estructura cuenta con columnas 0.30x0.30m y vigas de 0.30x0.30m en concreto reforzado con muros de mampostería en ladrillo H-10.

11.7.2. PREDIO B-12 BARRIO AFRICA

El predio cuenta con un área de 50 metros cuadrados aproximadamente, cuyo uso es residencial, su estructura es de sistema de pórticos resistentes a momento, con un método de construcción que presenta falencias e incumple con los requisitos y normativas legales establecidas por la NSR-10, con irregularidades que podrían afectar su desempeño ante daños externos. La estructura cuenta con 2 niveles, con muros divisorios en mampostería sin confinamiento, con un volado de aproximadamente 1.20m sostenido por PTR, el cual genera una inseguridad estructural; esta estructura se encuentra ubicada en las coordenadas aproximadas 7.094724 LAT, -73.119673 LONG, ver siguiente ilustración.

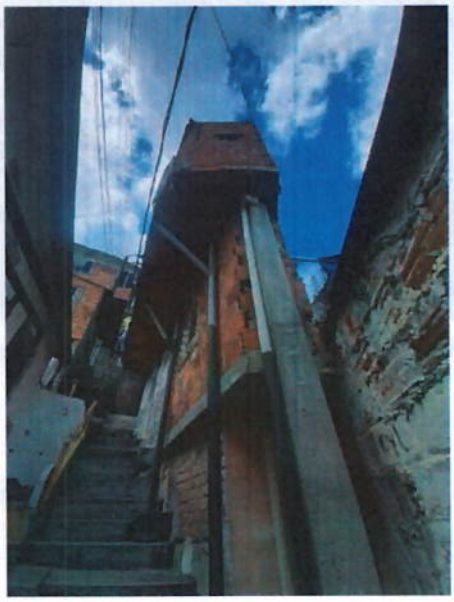


Ilustración 107. Predio B-12, Barrio África, Municipio de Bucaramanga, Santander.
Fuente: Autor.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los elementos estructurales y no estructurales que componen el edificio.

El sistema estructural que compone la edificación corresponde a pórticos resistentes a momentos. Se identifican 2 ejes de columnas, sin embargo, no se pudo evidenciar la serie de columnas transversales, ni las dimensiones del sistema estructural, la estructura presenta una irregularidad geométrica pronunciada y una irregularidad en planta por ejes no paralelos.

El sistema de cubierta consta de una cubierta metálica a un agua sobre vigas de madera.

11.7.3. CONCEPTO TÉCNICO

El concepto técnico está basado en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, la ley 400 de 1997, la ley 1229 de 2008 y las resoluciones expedidas por la "Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes" del Gobierno Nacional, adscrita al ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y creada por el artículo 39 de la ley 400 de 1997, la Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales expedida por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, tercera edición, 2011 y las visitas técnica realizadas durante el mes de diciembre al municipio de Bucaramanga, Santander.

11.7.4. PREDIO A-13 BARRIO AFRICA

Según el material y sistema estructural identificado en la edificación, a continuación, se presenta una revisión breve de aspectos mínimos requeridos por parte de la norma sismo resistente NSR-10 para este tipo de edificaciones.

Basado en el capítulo A.3. – Requisitos generales de diseño sismo resistente de la NSR-10 el sistema estructural de resistencia sísmica para edificaciones localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, como es el caso de la presente estructura, deberá atender los requisitos exigidos para estructuras tipo pórtico en concreto reforzado con capacidad de disipación especial de energía (DES) para estructuras.

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

- La estructura no presenta irregularidad en planta, ni irregularidad en altura.
- La edificación está compuesta por columnas de sección 0.30x0.30m y vigas de 0.30x0.30m.
- **El sistema de entrepiso corresponde a un sistema de placa maciza de espesor 0.15m.**

SISTEMA ESTRUCTURAL

La NSR-10 en artículo A.3.2.2 especifica que toda edificación o cualquier parte de ella debe estar clasificada dentro de uno de los cuatro sistemas estructurales de resistencia sísmica reconocidos, estos sistemas son:

- Sistema de muros de carga
- Sistema combinado
- Sistema de pórtico
- Sistema dual

La existencia de vigas y columnas y la no existencia de muros estructurales clasifican el sistema estructural como un sistema de pórtico, este sistema según la NSR-10 Sec. A.3.2.1.3 se define como: Un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resista todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

ASIMETRÍA ESTRUCTURAL

Para efectos del diseño sísmico, la edificación debe clasificarse como regular o como irregular en planta y en altura o como redundante o con ausencia de redundancia, NSR-10 Sec. A.3.3.1

El edificio no presenta asimetrías tanto en planta como en altura:

- No se presenta irregularidad en altura ($\phi a = 1.0$).
- No se presenta irregularidad en planta ($\phi p = 1.0$).

El factor de redundancia debe tomarse como $\phi r = 1.00$ según la NSR-10 Sec. A.3.3.8.2. no hay perdida de resistencia y no hay perdida de reduciendo en más del 33% la resistencia a cargas horizontales de este piso.

REQUISITOS GENERALES

Los requisitos exigidos para considerar que una estructura de concreto cuenta con capacidad DES se describen a continuación:

C.21.1.4.2. – La resistencia especificada a la compresión del concreto no debe ser menor a 21 MPA (3000 PSI).

- El concreto por inspección visual se ve de buena calidad, asegurando al menos la minina capacidad del concreto, cumpliendo con la resistencia a compresión.

C.21.1.5.2. – Todo el refuerzo corrugado debe resistir fuerzas axiales y de flexión inducidas por sismo en elementos de pórtico y debe cumplir con las disposiciones de la NTC 2289.

- Por inspección visual en ciertos puntos, se ve refuerzo corrugado que cumple con el NTC 2289.

VIGAS

Elemento estructural, horizontal o aproximadamente horizontal, cuya dimensión longitudinal es mayor que las otras dos, y su solicitación principal es el momento flector, acompañado o no de cargas axiales, fuerzas cortantes y torsiones NSR-10, C.2.2.

Las vigas presentan refuerzo a flexión en dirección longitudinal, y refuerzo a cortante en dirección transversal en forma de estribos.

El refuerzo longitudinal se encarga de soportar los esfuerzos de tracción generados por un momento flector, y los estribos confinan la sección y le dan ductilidad a la viga, la cual es la que describe la capacidad de disipación de energía del elemento).

El refuerzo longitudinal tiene restricción en su longitud, por lo que es necesario realizar traslapos a lo largo del eje longitudinal de la viga, generando puntos débiles. Los traslapos deben realizarse en los puntos de menor demanda.

El refuerzo longitudinal debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Los traslapos se deben evitar dentro del nudo, y cerca de los extremos de la viga (zona confinada) ya que es posible que ocurra la pérdida del recubrimiento ante movimientos sísmicos.
- En la parte central de la viga es donde se deben realizar los traslapos, ya que la solicitación de resistencia es menor en ese punto, y no se presenta inversión de momento.
- Cuando se presente un traslapo, se deben colocar refuerzo transversal especial para confinar el punto débil.

El refuerzo transversal confina la sección, y da soporte lateral al refuerzo longitudinal, este debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Se deben usar ganchos sísmicos con doblez a 135° y con una extensión de 6db para evitar que los estribos se abran y se pierda el confinamiento y la ductilidad.
- Las zonas cercanas a los nudos se denominan "zona confinada" y deben tener una separación entre estribos menor.

C.21.5. – Elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía DES deberá satisfacer lo estipulado en C.21.5.1.1 a C.21.5.1.4.

C.21.5.1.1 – La fuerza mayorada de compresión axial en el elemento (Pu) no debe exceder Ag*f'c/10.

C.21.5.1.4 – El ancho del elemento no debe exceder el ancho del elemento de apoyo.

- Los anchos de los elementos son acordes y uniformes.

C.21.5.1.1. - El ancho de los elementos sometidos a flexión no debe ser menor que el más pequeño de 0.3h y 250 mm.

- Las vigas de la edificación presentan dimensiones de 0.30 m de ancho, cumple con lo establecido con la norma.

C.21.5.2.1 – Refuerzo longitudinal: Al menos dos barras deben disponerse en forma continua tanto en la parte superior como en la parte inferior.

C.21.5.2.3. Solo se permite empalmes por traslapo en refuerzo de flexión cuando se proporcionan estribos cerrados de confinamiento o espirales en la longitud de empalme por traslapo. El espaciamiento del refuerzo transversal confina las barras traslapadas no debe exceder al menor entre d/4 y 100 mm. No deben hacerse empalmes por traslapo dentro de los nudos, ni en zonas de confinamiento (distancia igual a dos veces la altura del elemento medida desde la cara del nudo y

donde por análisis se indique fluencia por flexión causada por desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.

C.21.5.3.- Refuerzo transversal: deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en una distancia igual a dos veces la altura del elemento medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz en ambos extremos del elemento en flexión.

El primer estribo debe estar situado a 50 mm de la cara del apoyo. Y los estribos en la zona de confinamiento deberán estar espaciados a una distancia que no exceda d/4, 8 veces el diámetro de la barra, 24 veces el diámetro del estribo o 300 mm.

C.21.5.3.5 - Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de d/2 en toda la longitud del elemento.

COLUMNAS

Las columnas son aquellos elementos estructurales cuya solicitación principal es la carga axial de compresión, acompañada o no de flexión, torsión o cortante, con una relación de longitud a su menor dimensión lateral mayor de 3, NSR-10 Sec. C.2.2. Como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas se clasifican como: columnas con capacidad especial de disipación de energía (DES), columnas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) y columnas de concreto reforzado con capacidad mínima de disipación de energía (DMI).

En el caso de estudio se tendrá en cuanta los lineamientos establecidos en C.21.6 columnas con capacidad especial de disipación de energía (DES), así como los capítulos C.10 Flexión y fuerza axial, C.11 Cortante.

El refuerzo en las columnas se debe disponer en dos capas de refuerzo paralelas a las caras del muro, uno longitudinal que aumenta la resistencia del elemento, proporcionando capacidad de ductilidad en la sección, otro transversal destinado a resistir los esfuerzos cortantes, a impedir el pandeo del refuerzo longitudinal y a producir confinamiento en la sección, ver ilustración 23.

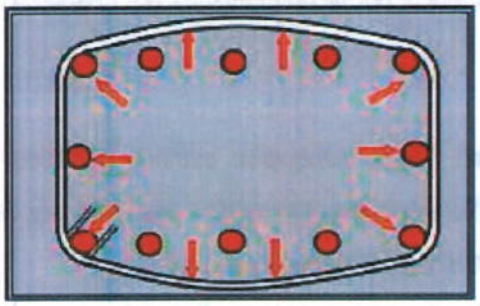


Ilustración 108. Disposición del refuerzo en columnas

Fuente: Autor.

Para un buen comportamiento estructural de las columnas se recomienda utilizar las siguientes especificaciones para el refuerzo:

- Para evitar que los estribos se abran y se pierda el confinamiento del concreto, deben emplearse ganchos sísmicos con un doblez de 135° o más, con una extensión de 6db, pero no menor de 75 mm.
- Por efectos sísmicos, las zonas próximas a los nudos presentan elevadas tensiones que obligan a restringir la separación de los estribos en dicha zona con el fin de garantizar la integridad estructural de la columna.
- Para evitar que los estribos se abran o deformen, como se indica en la ilustración 24, deben colocarse estribos adicionales o ganchos sísmicos para impedir la pérdida del confinamiento.

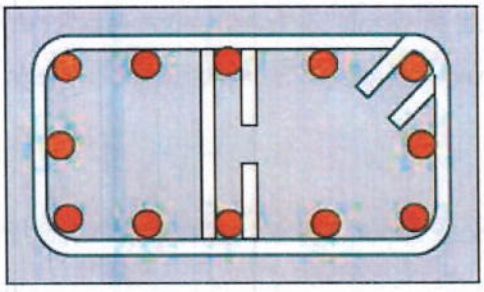


Ilustración 109. Estribos de confinamiento en columnas

Fuente: Autor.

C.21.6.1.1. – Elementos sometidos a flexión y carga axial pertenecientes a pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía DES deberán tener una sección transversal cuya dimensión menor debe ser mínimo de 300 mm y el área de la sección debe ser mínimo de 0.09m2.

- **Las columnas de la edificación presentan dimensión mínima de 0.3 m de ancho, por lo tanto, cumple lo establecido con la norma.**

C.21.6.3. - Refuerzo longitudinal mínimo deberá ser de 0.01Ag y máximo 0.04 Ag.

C.21.6.4. – Refuerzo transversal: Debe suministrarse refuerzo transversal en las cantidades que se especifican a continuación en una longitud "lo" medida desde la cara del nudo a ambos lados.
C.21.6.4.3. – Separación del refuerzo transversal no debe exceder ¼ de la dimensión mínima del elemento, 6 veces el diámetro de barra de refuerzo longitudinal y la separación especificada en la ecuación C.21-5. De cualquier forma, la separación no debe ser mayor a 150 mm ni menor a 100mm.

11.7.5. PREDIO B-12 BARRIO AFRICA

Según el material y sistema estructural identificado en la edificación, a continuación, se presenta una revisión breve de aspectos mínimos requeridos por parte de la norma sismo resistente NSR-10 para este tipo de edificaciones.

Basado en el capítulo E – Casa de uno y dos pisos, donde se exponen los requisitos para la mampostería confinada utilizada en la edificación.

CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

- La estructura presenta irregularidad en planta, e irregularidad en altura.
- La edificación está compuesta por un sistema pórtico en malas condiciones, sin embargo, por inspección visual, se observa que las dimensiones de los elementos estructurales tipo columnas perimetrales cumplen con las dimensiones mínimas establecidas por la normativa NSR-10.

SISTEMA ESTRUCTURAL

La NSR-10 en artículo A.3.2.2 específica que toda edificación o cualquier parte de ella debe estar clasificada dentro de uno de los cuatro sistemas estructurales de resistencia sísmica reconocidos, estos sistemas son:

- Sistema de muros de carga
- Sistema combinado
- Sistema de pórtico
- Sistema dual

La existencia de vigas y columnas y la no existencia de muros estructurales clasifican el sistema estructural como un sistema de pórtico, este sistema según la NSR-10 Sec. A.3.2.1.3 se define como: Un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resista todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

ASIMETRÍA ESTRUCTURAL

Para efectos del diseño sísmico, la edificación debe clasificarse como regular o como irregular en planta y en altura o como redundante o con ausencia de redundancia, NSR-10 Sec. A.3.3.1

El edificio presenta asimetrías tanto en planta como en altura:

- Se presenta irregularidad en altura ($\phi a = 0.9$).
- Se presenta irregularidad en planta ($\phi p = 0.9$).

El factor de redundancia debe tomarse como $\phi r = 0.90$ según la NSR-10 Sec. A.3.3.8.2. por lo cual hay perdida de resistencia y de igual manera hay perdida de resistencia reduciendo en más del 33% la resistencia a cargas horizontales de este piso.

CIMENTACIÓN

E.2.1.3- Sistema de cimentación - La cimentación estará compuesta por un sistema reticular de vigas, que aseguren la transmisión de las cargas de la estructura al suelo de forma integral y equilibrada. Debe existir una viga de cimentación para cada muro estructural.

El sistema de cimentación no se pudo identificar.

E.2.1.5- Configuración en planta – si uno de los anillos tiene una relación (L/H<2) largo sobre ancho mayor que dos, debe construirse una viga intermedia de cimentación, en este caso sus dimensiones pueden reducirse a 200mm por 200mm.

El sistema de cimentación no se pudo identificar.

E.2.2.1- Estructuración de cimientos – Con base en la Tabla E.2.2-1, la estructura de las vigas de cimentación debe ser mínimamente la siguiente:

- Anchura: 250mm
- Altura: 200mm
- Estribos: No. 2 a 200mm (240 fy y 17 fc)
- Acero de anclaje de muros: No. 3 (412 fy y 17 fc)
- Acero Longitudinal: 4 No. 3 (420 fy y 17 fc)

VIGAS

Elemento estructural, horizontal o aproximadamente horizontal, cuya dimensión longitudinal es mayor que las otras dos, y su solicitación principal es el momento flector, acompañado o no de cargas axiales, fuerzas cortantes y torsiones NSR-10, C.2.2.

Las vigas presentan refuerzo a flexión en dirección longitudinal, y refuerzo a cortante en dirección transversal en forma de estribos.

El refuerzo longitudinal se encarga de soportar los esfuerzos de tracción generados por un momento flector, y los estribos confinan la sección y le dan ductilidad a la viga, la cual es la que describe la capacidad de disipación de energía del elemento).

El refuerzo longitudinal tiene restricción en su longitud, por lo que es necesario realizar traslapos a lo largo del eje longitudinal de la viga, generando puntos débiles. Los traslapos deben realizarse en los puntos de menor demanda.

El refuerzo longitudinal debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Los traslapos se deben evitar dentro del nudo, y cerca de los extremos de la viga (zona confinada) ya que es posible que ocurra la pérdida del recubrimiento ante movimientos sísmicos.
- En la parte central de la viga es donde se deben realizar los traslapos, ya que la solicitación de resistencia es menor en ese punto, y no se presenta inversión de momento.
- Cuando se presente un traslapo, se deben colocar refuerzo transversal especial para confinar el punto débil.

El refuerzo transversal confina la sección, y da soporte lateral al refuerzo longitudinal, este debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Se deben usar ganchos sísmicos con doblez a 135° y con una extensión de 6db para evitar que los estribos se abran y se pierda el confinamiento y la ductilidad.
- Las zonas cercanas a los nudos se denominan "zona confinada" y deben tener una separación entre estribos menor.

C.21.5. – Elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía DES deberá satisfacer lo estipulado en C.21.5.1.1 a C.21.5.1.4.

C.21.5.1.1 – La fuerza mayorada de compresión axial en el elemento (Pu) no debe exceder Ag*f'c/10.
C.21.5.1.4 – El ancho del elemento no debe exceder el ancho del elemento de apoyo.

- Los anchos de los elementos no son acordes, ni uniformes.

C.21.5.1.1. - El ancho de los elementos sometidos a flexión no debe ser menor que el más pequeño de 0.3h y 250 mm.

- Las vigas de la edificación presentan dimensiones de 0.20 m de ancho, no cumple lo establecido con la norma.

C.21.5.2.1 – Refuerzo longitudinal: Al menos dos barras deben disponerse en forma continua tanto en la parte superior como en la parte inferior.

C.21.5.2.3. Solo se permite empalmes por traslapo en refuerzo de flexión cuando se proporcionan estribos cerrados de confinamiento o espirales en la longitud de empalme por traslapo. El espaciamiento del refuerzo transversal confina las barras traslapadas no debe exceder al menor entre d/4 y 100 mm. No deben hacerse empalmes por traslapo dentro de los nudos, ni en zonas de confinamiento (distancia igual a dos veces la altura del elemento medida desde la cara del nudo y donde por análisis se indique fluencia por flexión causada por desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.

C.21.5.3.- Refuerzo transversal: deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en una distancia igual a dos veces la altura del elemento medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz en ambos extremos del elemento en flexión.

El primer estribo debe estar situado a 50 mm de la cara del apoyo. Y los estribos en la zona de confinamiento deberán estar espaciados a una distancia que no exceda d/4, 8 veces el diámetro de la barra, 24 veces el diámetro del estribo o 300 mm.

C.21.5.3.5 - Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de d/2 en toda la longitud del elemento.

COLUMNAS

Las columnas son aquellos elementos estructurales cuya solicitación principal es la carga axial de compresión, acompañada o no de flexión, torsión o cortante, con una relación de longitud a su menor dimensión lateral mayor de 3, NSR-10 Sec. C.2.2.

El refuerzo en las columnas se debe disponer en dos capas de refuerzo paralelas a las caras del muro, uno longitudinal que aumenta la resistencia del elemento, proporcionando capacidad de ductilidad en la sección, otro transversal destinado a resistir los esfuerzos cortantes, a impedir el pandeo del refuerzo longitudinal y a producir confinamiento en la sección, ver ilustración 25.

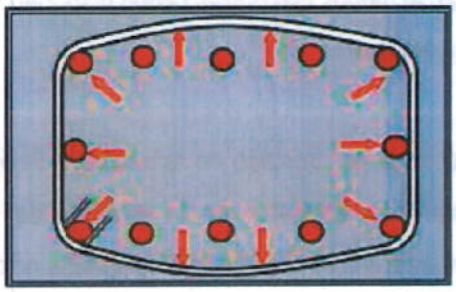


Ilustración 110. Disposición del refuerzo en columnas

Fuente: Autor.

Para un buen comportamiento estructural de las columnas se recomienda utilizar las siguientes especificaciones para el refuerzo:

- Para evitar que los estribos se abran y se pierda el confinamiento del concreto, deben emplearse ganchos sísmicos con un doblez de 135° o más, con una extensión de 6db, pero no menor de 75 mm.
- Para evitar que los estribos se abran o deformen, como se indica en la figura 11 deben colocarse estribos adicionales o ganchos sísmicos para impedir la pérdida del confinamiento.

E.4.3.2 – Columnas de confinamiento – El área transversal de las columnas de amarre no debe ser inferior a 20.000mm2 (200cm2), con espesor igual al del muro que confina (100mm x 200mm mínimo). La vivienda cuenta con columnas de 0,30x0,30m cumpliendo la norma.

E.4.3.4 – Refuerzo mínimo columnas – El mínimo refuerzo de la columna de confinamiento debe ser el siguiente: Refuerzo longitudinal – 4 barras N° 3 (3/8") o 3 barras N° 4 (1/2). Refuerzo transversal – estribos de barra N° 2 (1/4) cada 200mm.

No se pudo identificar el refuerzo de las columnas.

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Los muros no estructurales son los elementos de mampostería u otro material que sirva con fines divisorios de espacios, que soportan su propio peso y tienen una capacidad muy limitada para soportar fuerzas laterales, así como para absorber deformaciones significativas. En estos muros, la falla ocurre por agrietamiento y desplazamiento lateral a lo largo de las grietas. Las grietas pequeñas, debidas al leve movimiento de la estructura portante, por lo general, no son críticas, aunque inducen a

desprendimientos del recubrimiento. En general, para un nivel de seguridad de ocupación inmediata, se admite que las grietas no comprometan la capacidad al cortante del muro y que no haya deformaciones fuera del plano.

E.3.4.1 – Los vanos de un muro no deben ser mayores al 35% del área total del muro.

Los vanos observados en la estructura superaban el 35%. No cumple.

E.3.4.3- Se deben reforzar los vanos con vigas y columnas de concreto reforzado alrededor de los mismo y la longitud total en planta de los vanos debe ser menor que la mitad de la longitud total en planta del muro.

No se observaron refuerzos en vanos. No cumple.

E.3.5.1- Para muros estructurales la distancia libre vertical no puede exceder 25 veces el espesor efectivo del muro (2750mm o 2.75m).

La distancia libre vertical (altura) de los muros no supera los 2.75m. Cumple.

E.3.5.2- Para muros estructurales la distancia libre horizontal no puede exceder 35 veces el espesor efectivo del muro (3850mm o 3.85m).

Los muros cumplen la distancia máxima de 3.85m.

E.3.5.3 – Espesor mínimo de muros estructurales confinados – Según tabla E.3.5-1 para una zona de amenaza sísmica alta y una construcción de un solo piso se tiene un espesor nominal de 110mm.

La edificación cuenta con dos niveles.

E.3.6.2 – Los muros confinados deben ubicarse buscando simetría y rigidez torsional de la edificación.

Los muros no se encuentran ubicados de forma simétrica, ni adecuada. No cumple.

E.3.6.3 – Los muros confinados que se dispongan en cada una de las direcciones deben tener longitudes similares.

Las longitudes de los muros en una dirección no superan las de los muros que lo interceptan. Cumple.

E.4.5.1 – Cintas de amarre – Elementos suplementarios a las vigas de amarre, usados en antepechos de ventanas, remate de culatas, parapetos, etc. Se puede usar cualquiera de los siguientes elementos: (a) Elemento de concreto reforzado de altura mayor o igual a 100mm, ancho igual al elemento que remata y reforzado mínimo con dos barras longitudinales N°3 (3/8). El refuerzo transversal debe ser necesario únicamente para mantener la posición de las barras longitudinales. (b) Elemento construido con piezas de mampostería tupo U, reforzado longitudinalmente con mínimo dos barras N° 3 (3/8) o una barra N° 4 (1/2), e inyectando mortero con resistencia a la compresión mayor a 7.5 MPa.

No cuenta con ninguna cinta de amarre o elemento suplementario. No cumple.

11.7.6. PATOLOGÍAS

La estructura A-13 no presentan irregularidades en planta ni en altura, y es posible identificar redundancia en ambas direcciones principales en planta, factores que favorecen el comportamiento estructural de las edificaciones ante cargas horizontales. Sin embargo, en la estructura B-12 se observan irregularidades en planta y en altura, con un sistema estructural de pésima construcción. En los elementos de concreto reforzado, no se presentan refuerzo a la vista que podrían disminuir la durabilidad de la estructura.

La edificación identificada como A-1, en relación con la mampostería se observan fisuras asociadas a los patrones de falla por flexión, aplastamiento de borde y deslizamiento de juntas como se describen en la Guía de patologías constructivas, evidenciando que, durante la vida útil de la estructura, los elementos estructurales y no estructurales han sido afectados de manera significativa por eventos sísmicos fuertes y/o sobrecargas por el uso de la edificación y su ubicación en laderas inestables.

En la zona crítica del área de estudio correspondiente al barrio África, se identificaron viviendas, entre ellas la vivienda A-1 y la vivienda A-36, que presentan derrumbamiento parcial de sus estructuras como consecuencia de eventos de remoción en masa. Estos procesos están asociados a la inestabilidad de la ladera ubicada en la parte posterior de dichas viviendas, la cual ha generado afectaciones directas sobre las edificaciones. Estos antecedentes evidencian la alta vulnerabilidad por remoción en masa existente en el área de estudio.



Ilustración 111. Derrumbamiento parcial de viviendas causada por eventos de remoción en masa.

Fuente: Autor.

Adicionalmente, se debe considerar que aproximadamente el 96 % de las edificaciones ubicadas en el área de estudio fueron construidas mediante procesos de autoconstrucción. En muchas de estas edificaciones se evidencian deficiencias constructivas, tales como errores de diseño, ejecución inadecuada y el incumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la normativa vigente.

En este contexto, al combinar la condición de inestabilidad del terreno donde se emplazan las edificaciones con la baja calidad del sistema constructivo, se determina que la vulnerabilidad de las edificaciones frente a eventos de remoción en masa es ALTA, con posibilidad de COLAPSO.

De igual manera, la vulnerabilidad de las personas se clasifica como ALTA, con posibilidad de MUERTE o LESIONES GRAVES, lo que representa un escenario de riesgo significativo para la población expuesta.



Ilustración 112. Viviendas con procesos constructivos de **autoconstrucción** ubicadas en la corona y pie de ladera con Vulnerabilidad alta a eventos de remoción en masa.

Fuente: Autor.

Es importante mencionar que las viviendas que presentan colapso parcial o un nivel de riesgo alto frente a eventos de remoción en masa pueden generar un efecto en cadena, el cual podría inducir inestabilidad adicional en los suelos y en las edificaciones aledañas. Este fenómeno incrementa la propagación del daño, ampliando el área afectada y agravando las condiciones de riesgo en el entorno inmediato.

11.8. VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTO EN MASA

Para calcular la vulnerabilidad de cada edificación identificada durante las labores de campo, se utilizó lo establecido por la "Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa" propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

11.8.1. METODOLOGÍA

La presente metodología es propuesta por la "Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa" desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) durante el año 2016. En su capítulo cuatro "Análisis de vulnerabilidad" se describe el procedimiento aplicable fundamentalmente en las zonas ocupadas por edificaciones.

Este documento se encuentra basado en el Decreto 1807 de 2014, del Ministerio de Vivienda, Cuidad y Territorio, donde se establecen las siguientes etapas generales para evaluar la vulnerabilidad:

- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- Caracterización de los elementos expuesto: tipología, exposición y resistencia.
- Tipos de daño o efectos esperados como resultados de los escenarios de vulnerabilidad.
- Zonificación de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se ha de evaluar de forma cuantitativa, al relacionar la intensidad de las masas que se pueden desplazar con la fragilidad de los elementos expuestos, se puede establecer unos niveles de daño para cada edificación, y con base en estos niveles de daño se definen las categorías de vulnerabilidad física.

Para la vulnerabilidad de las personas se define en función de los posibles niveles de afectación en materia de pérdidas probables de vidas o de lesiones corporales, asociadas con los niveles de daño de las edificaciones, previamente evaluados.

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Los elementos expuestos incluyen tanto elemento físico (bienes e infraestructura) como servicios ambientales, recursos económicos y sociales y bienes culturales, que por su ubicación pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza. Los elementos expuestos se reducen a dos grupos: bienes físicos y personas, como se presenta a continuación:

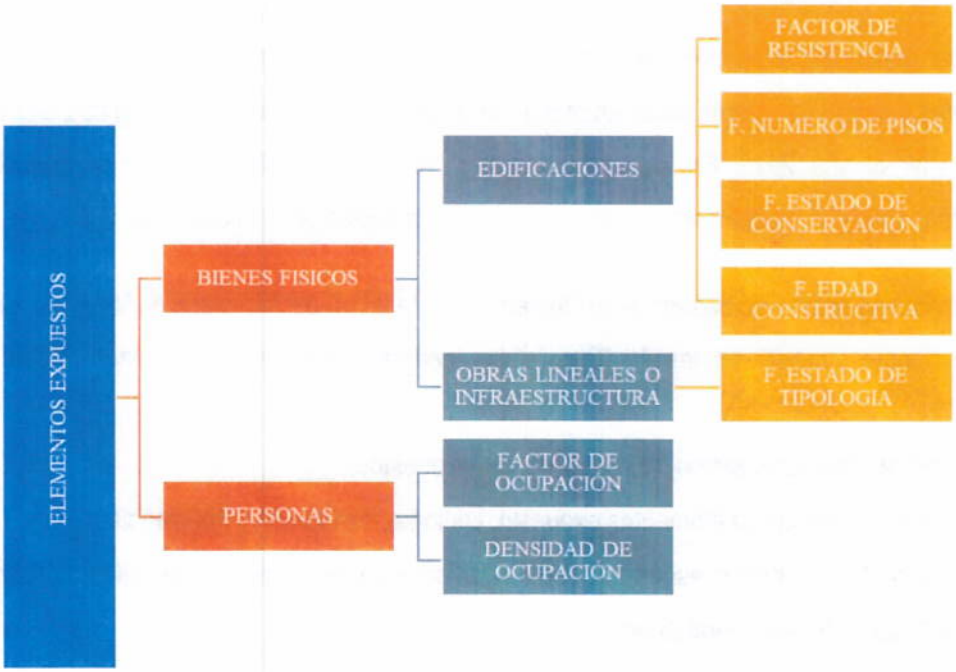


Ilustración 113. Elementos expuestos y subdivisión.

Fuente: Autor.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Parámetros tales como su uso (Residencial de capacidad económica baja, media o alta, Comercial, Institucional, Salud (pública o privada), Educación (pública o privada), Gubernamentales u otro), el número de edificaciones, área construida (m2) y el valor de reposición (millones de COP) permiten identificar los elementos expuestos en materia de infraestructura.

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN
A	Edificaciones con reforzamiento especial
B	Edificaciones reforzadas
C	Mampostería reforzada
D	Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas
E	Estructuras ligeras
F	Construcciones simples

Tabla 56. Tipologías de edificaciones.

Fuente. SGC.

EXPOSICIÓN

De acuerdo con la metodología propuesta en la guía, la vulnerabilidad física es la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. Para evaluar la exposición la guía ha definido cuatro zonas o escenarios:

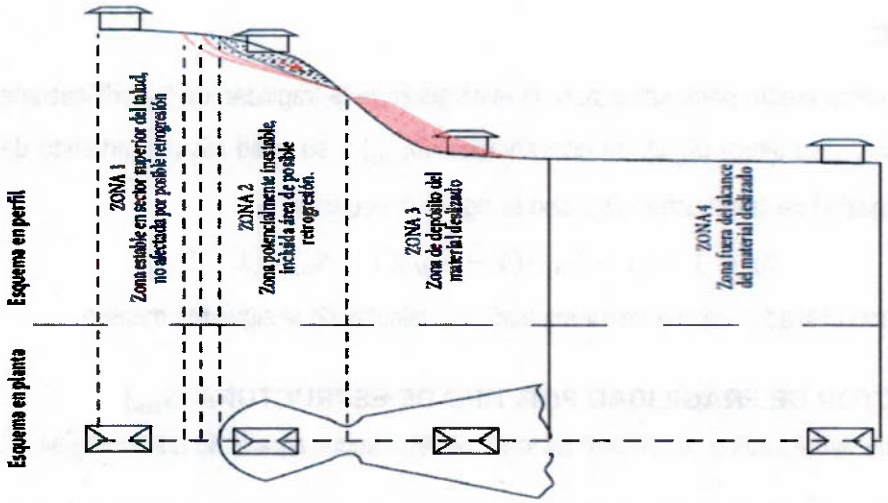


Ilustración 114. Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.

Fuente: Figura 4-2. Pag. 93. Guía del SGC.

- **Zona 1. Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión.**
- **Zona 2. Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.**
- **Zona 3. Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.**

- Zona 4. Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.

Para el análisis de vulnerabilidad se debe establecer la situación de exposición de los elementos y el parámetro de intensidad o magnitud que hay que utilizar:

ZONA	PARAMETRO DE AMENAZA	
	INTENSIDAD	MAGNITUD
2	Velocidad de movimiento	Posibilidad cinemática del movimiento Profundidad de la superficie de falla
3	Velocidad del movimiento Presión del impacto Energía del impacto	Distancia de viaje Altura de la masa deslizada Profundidad de la superficie de falla

Tabla 57. Parámetros de intensidad o amenaza para evaluación de vulnerabilidad.

Fuente: SGC.

FRAGILIDAD

La guía considera cuatro parámetros para la evaluación de la fragilidad de las edificaciones: tipo de estructura (S_{tip}), su altura (S_{alt}), su conservación (S_{con}) y su edad (S_{ed}). Partiendo de estos se calcula la fragilidad de la estructura (S_e) con la siguiente ecuación:

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})$$

Los parámetros utilizados en la anterior ecuación se calculan de la siguiente manera:

- **FACTOR DE FRAGILIDAD POR TIPO DE ESTRUCTURA (S_{tip})**

Para el tipo de estructura se consideran factores de resistencia, a partir de las tipologías;

	TIPOLOGÍA	FRAGILIDAD	S_{tip}
F	Construcciones simples	Muy alta	1,00
E	Estructuras ligeras	Alta	0,90
D	Estructuras con confinamiento deficiente	Media	0,70
C	Mampostería reforzada	Baja	0,50
B	Edificaciones reforzadas	Muy baja	0,30
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente baja	0,10

Tabla 58. Factores de fragilidad por tipología de estructuras.

Fuente: SGC.

- **FACTOR DE FRAGILIDAD POR ALTURA DE LA ESTRUCTURA (S_{alt})**

La fragilidad de la estructura en función de su número de pisos se obtiene por valores de parámetros modificados de acuerdo con la cultura constructiva del país.

TIPOLOGÍA	NÚMERO DE PISOS	S_{alt}
E,F	≥ 2	0,90
D	≥ 4	0,90
D	2 y 3	0,60
Demás tipologías y alturas		0,05

Tabla 59. Factor de fragilidad por altura de la edificación.

Fuente: SGC.

- **FACTOR DE FRAGILIDAD POR ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (S_{con})**

El estado de conservación se evalúa a partir de la inspección visual de las edificaciones y se califica de acuerdo con los siguientes parámetros de fragilidad propuestos:

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Muy bueno	No se observan deformaciones, agrietamiento o envejecimiento.	0	0,00
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados	0 – 0,5	0,05
Deformaciones leves	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales.	0,5 – 1,0	0,25
Deformaciones medias	Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él (pandeo).	1,0 – 5,0	0,5
Deformaciones graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	50, - 10,0	0,75
Deformaciones muy graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. Concreto con fallas por aplastamiento.	>10,0	1,00

Tabla 60. Factores de fragilidad por estado de conservación de la edificación.

Fuente: SGC.

- **FACTOR DE FRAGILIDAD POR EDAD DE LA ESTRUCTURA (S_{ed})**

El parámetro de fragilidad relativo a la edad de la edificación se estima a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño (servicio/vida útil).

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/ VIDA ÚTIL	S_{ed}
≤0,1	0,05
0,1 – 0,4	0,10
0,4 – 0,6	0,30
0,6 – 0,8	0,50
0,8 – 1,0	0,70
1,0 – 1,2	0,80
>1,2	1,00

Tabla 61. Factor de fragilidad por edad de la estructura.

Fuente: SGC.

El profesional a cargo de la evaluación del riesgo deberá determinar la edad de las edificaciones y su periodo de diseño, en caso de que estas tengan un diseño formal. En caso de no obtener información sobre el periodo de diseño de la edificación, este se podrá calcular con base en sus características, en función del tipo de edificación.

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
A Y B	50 años
C Y D	30 años
E	15 años
F	1 – 2 años

Tabla 62. Vida útil en función del tipo de edificación.

Fuente: SGC.

FRAGILIDAD DE PERSONAS

La guía propone la fragilidad de personas como una función exponencial de la fragilidad de las edificaciones:

$$S_{per} = (s_e)^{3.2}$$