



Consultoría y
Construcciones
Civiles Ltda.

INFORME DE RESULTADOS ESTUDIO DE SUELOS

PROYECTO: ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FISICA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO DE ATENCIÓN AL JOVEN “CARLOS LLERAS RESTREPO”, LOCALIZADO EN LA CALLE 65C No 94 C – 80 BARRIO ROBLEDO LA POLA

INFORME
Versión 3
Julio 2015

Preparado por:
Consultoría y Construcciones Civiles

Bogotá, 07 de mayo de 2015

Señores
Curaduría Urbana
Medellín - Antioquia

Yo, Orlando Gómez, Ingeniero Civil, debidamente titulado e inscrito con matrícula profesional No. 25202-173087 otorgada por el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA) hago entrega del estudio de suelos y recomendaciones de cimentación para el proyecto "ESTUDIO DE VULNERABILIDAD FISICA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO DE ATENCIÓN AL JOVEN "CARLOS LLERAS RESTREPO", EN LA CALLE 65C No 94 C – 80 BARRIO ROBLEDO LA POLA", localizado en la ciudad de Medellín - Antioquia. Se informa que este estudio fue realizado de acuerdo a la normatividad vigente incluyendo la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10.

En consecuencia asumo la responsabilidad por los análisis y diseños geotécnicos y se exonera a la curaduría de toda responsabilidad que conlleve el presente estudio.

Atentamente,



Orlando Gómez M.

ORLANDO GOMEZ

Ingeniero Civil

Universidad Nacional de Colombia

M.P: 25202186116 CND

Tabla de contenido

1.	GENERALIDADES.....	5
1.1.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	5
1.2.	ALCANCE DEL ESTUDIO	5
1.3.	COMPLEJIDAD DEL PROYECTO	6
1.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
2.	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	7
2.1.	EXPLORACIÓN MEDIANTE SONDEOS GEOMECÁNICOS	7
3.	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.....	10
4.	VARIACIÓN ESPACIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO.....	14
4.1	SUBSUELO	16
4.2	NIVEL FREÁTICO	17
5.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO	18
6.	SOFTWARE DE DISEÑO	20
7.	SISTEMA DE CIMENTACIÓN ACTUAL	20
7.1.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN ACTUAL	20
7.2.	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS	21
7.3.	COMPORTAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN ANTE CARGAS DINÁMICAS.....	22
7.4.	CONCLUSIONES	23
8.	RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN	24
8.1.	ASENTAMIENTOS	24
8.2.	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DEBIDO AL REFORZAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN 25	
8.3.	CALCULO DE FACTORES DE SEGURIDAD	27
8.3.1.	Factor de Seguridad Indirecto.....	27
8.3.2.	Factor de Seguridad Directo	27
8.3.3.	Factor de Seguridad en Condición de Sismo.....	28
8.4.	PLACAS DE CONTRAPISO	28
8.5.	MUROS DE CONTENCIÓN.....	28
9.	FACTORES DE DISEÑO SÍSMICO	29
10.	LIMITACIONES DEL DISEÑO	30

Índice de Figuras

Figura 1. Localización del proyecto.....	5
Figura 2. Localización de los sondeos	7
Figura 3. Localización de los sondeos	8
Figura 4. Perfil estratigráfico Sondeo 1.....	14
Figura 5. Análisis de las perforaciones realizadas, Spt y definición de los estratos para el análisis geotécnico	15
Figura 6. Parámetros de resistencia efectivos Arcilla	19
Figura 7. Asentamientos inmediatos (m)	22
Figura 8. Asentamientos por consolidación (m)	22
Figura 9. Evaluación factor de seguridad sismo (m)	23
Figura 10. Asentamientos por consolidación (m)	25
Figura 11. Asentamientos inmediatos (m)	25
Figura 12. Asentamientos totales. 5 años	26
Figura 13. Asentamientos totales. 50 años	26
Figura 14. Calculo del Factor de Seguridad Directo	27
Figura 15. Determinación del Factor de Seguridad – Sismo.....	28

Índice de Tabla

Tabla 1. Exploración realizada.....	8
Tabla 2. Clasificación de los estratos que conforman el perfil de suelo.....	16
Tabla 3. Resultados de los apiques realizados en el proyecto	17
Tabla 4. Parámetros de Diseño	18
Tabla 5. Parámetros de resistencia efectivos	19
Tabla 6. Parámetros de diseño sísmico	29

1. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio Medellín – Antioquia en la calle 65C No 94c – 80 barrio Robledo La Pola. En la Figura 1 se presenta la localización del proyecto.



Figura 1. Localización del proyecto

1.2. ALCANCE DEL ESTUDIO

- DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO: Basados en la información y exploración realizada, se definirá el perfil de suelo y sus propiedades principales de compresibilidad y resistencia al cortante.

- ESTIMACIÓN DE ASENTAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE CIMENTACIÓN: Usando las cargas, dimensiones y configuraciones de la estructura de cubierta, se procederá a calcular asentamientos elásticos.
 - De acuerdo a las características del proyecto a construir (diseño estructural) y características geotécnicas del subsuelo, se evaluarán los estados límite de falla (capacidad de carga admisible) y servicio (asentamientos).
- GENERACIÓN DE UN INFORME: El producto final contendrá un resumen de los pasos descritos anteriormente, esquemas y detalles de los sistemas propuestos de cimentación y observaciones o recomendaciones generales a tener en cuenta.

1.3. COMPLEJIDAD DEL PROYECTO

De acuerdo con lo establecido en el Título H de las normas NSR-10 el proyecto materia de estudio se ha clasificado como CATEGORÍA BAJA, según la tabla H.3.1-1 teniendo en cuenta el número total de niveles y las cargas máximas de servicio aplicadas a la estructura vinculando tanto la carga viva como la carga muerta.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en diferentes estructuras de hasta 3 pisos. Las estructuras están construidas en pórticos de concreto reforzado con separación entre columnas de hasta 6 m con cargas máximas por columna de 70 toneladas.

EDIFICIO	AREAS "LEVANTAMIENTOS ARQUITECTONICOS" (m2)	SEDE	Altura (m)	Pisos	
Porteria y control policia	144.5	Santa Rita	5.2	1	
Administración y alojamiento operador	382.96		5.8	2	
Auditorio	168.7		5	1	
Servicios de apoyo - casablanca	395.44		5	1	
Sin uso (Antiguas celdas)	107.68		3.4	1	
Área granja	-				
Alojamiento mujeres y sanidad	270.48		4.3	2	
Servicios generales y taller panaderia	737.77		7.5	2	
Alojamientos	1640.22		6.8	2	
Talleres y aulas	1724.74		14.1	3	
Alojamientos, aulas, servicios de apoyo, servicios generales, aulas y sanidad	3459.4	San	12.8	3	
Alojamientos	846.6	Francisc	9.3	2	
TOTAL M2	9878.49				

2. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

2.1. EXPLORACIÓN MEDIANTE SONDEOS GEOMECÁNICOS

La exploración del subsuelo se llevó a cabo mediante la ejecución de 12 sondeos a 6,0 metros de profundidad y 9 apiques para identificar cimentación. En los sondeos se efectuaron ensayos corridos de penetración estándar (SPT.) con equipo de perforación a percusión, donde se sacaron muestras semi - alteradas para los respectivos ensayos de laboratorio. La distribución de los sondeos se muestran en la Figura 2 y Figura 3 y el resumen de exploración se presenta en la Tabla 1.

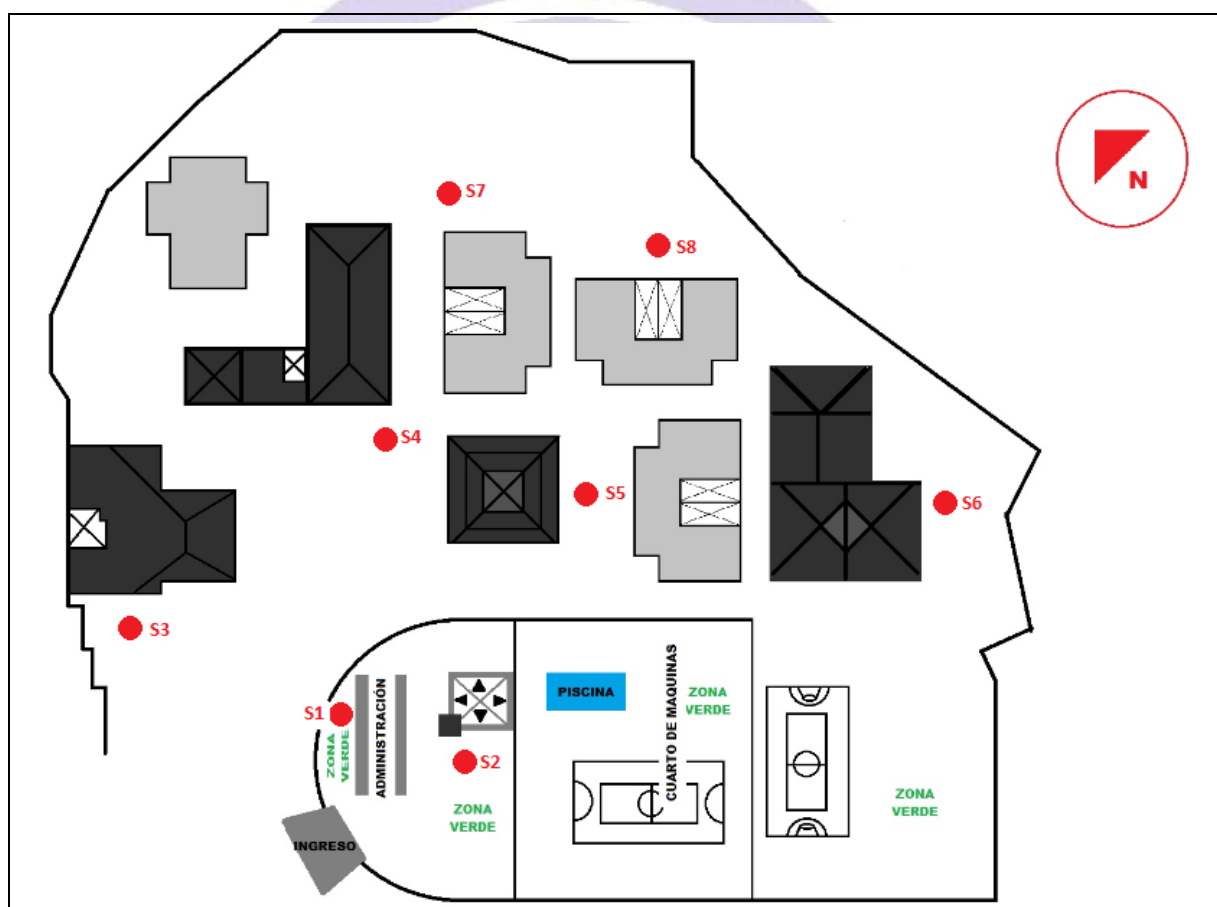


Figura 2. Localización de los sondeos

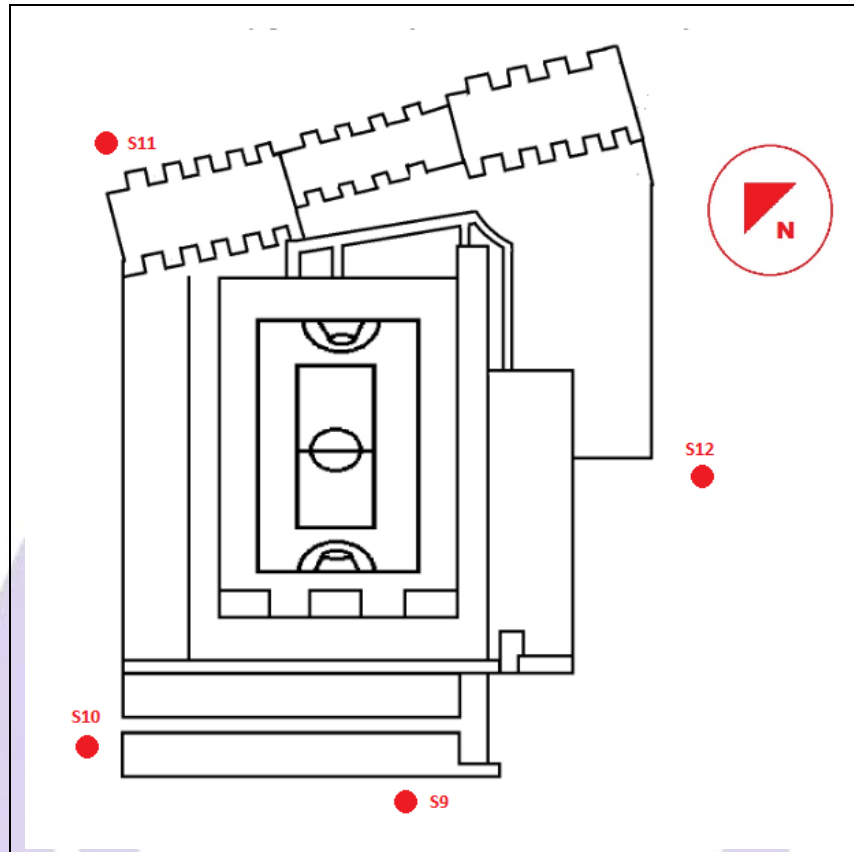


Figura 3. Localización de los sondeos

Tabla 1. Exploración realizada

Sondeo	Profundidad (m)	Ensayo de campo
1	6	SPT
2	6	SPT
3	6	SPT
4	6	SPT
5	6	SPT
6	6	SPT
7	6	SPT
8	6	SPT
9	6	SPT
10	6	SPT
11	6	SPT
12	6	SPT



2.1.1. Muestreador del ensayo de penetración estándar (SPT) de 2 pulg de diámetro exterior

El muestreador del SPT fue introducido en el suelo con un martillo de seguridad y una caída de 30 pulg (aproximadamente, se espera algún error del operados dado el uso del mecanismo cuerda y malacate). Si el número de golpes necesario para profundizar en cualquiera de estos intervalos de 15 centímetros, es superior a 50, el resultado del ensayo deja de ser la suma anteriormente indicada, para convertirse en rechazo (R).

2.1.2. Registro Fotográfico

El registro fotográfico de la ejecución de los sondeos se presenta en el anexo 2.



3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

La descripción de las unidades litológicas que caracterizan el entorno municipal se extrae del estudio de micro-zonificación sísmica, adelantado por el grupo de Sismología de Medellín en 1999, el informe de Restrepo y Toussaint en 1984 y la investigación de Botero en 1963. La distribución areal de dichas unidades incluye: rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y depósitos no consolidados.

Rocas Metamórficas. Dentro de este tipo de rocas aflora un conjunto de unidades que Restrepo y Toussaint denominaron “Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central”, entre las cuales se encuentran el Neis de la Iguaná (KPl), las anfibolitas de Medellín (KPam, Kam) y la unidad de esquistos (Pes).

El Neis de la Iguaná se manifiesta hacia el flanco occidental del Valle de Aburrá, en la cuenca media y baja de la quebrada la Iguaná y se observan afloramientos importantes en los barrios: Calasanz parte alta, El Coco, Ferrini, La Pradera, Blanquizal, Palenque No.2, y la Urbanización Robledales.

En general, los afloramientos del Neis muestran parte del perfil de meteorización de la roca, la cual desarrolla suelos limosos y arcillosos de colores claros con moteos blancos y grises; solamente el frente basal de meteorización se alcanza a observar en el cauce de la quebrada La Iguana a la altura del Barrio El Pesebre y en el cauce de la quebrada La Mina al occidente del Barrio Calasanz. Las anfibolitas de Medellín, en el estudio del Grupo de Sismología de Medellín del 1999, son separadas como las de la margen derecha e izquierda del río Medellín. Esta división la justifican los autores por las diferencias texturales, las relaciones con las unidades adyacentes, las dataciones y la posible estructura tectónica en el fondo del valle de dirección NNE.

Las anfibolitas de la margen izquierda son de texturas isotrópicas a bandeadas, desarrollan perfiles de meteorización profundos, con suelos residuales de texturas limosas y colores amarillo oscuros a amarillo rojizos; afloramientos importantes se observan en el corregimiento de San Cristóbal y en los barrios Picachito, 12 de Octubre (parte alta), San Martín de Porres, Kennedy, Aures, La Pola, Tricentenario y Belalcázar; además, debe resaltarse que constituyen los cerros El Volador, Nutibara y El Picacho.

Las anfibolitas de la margen derecha afloran en forma discontinua sobre toda la margen oriental del río, en el área urbana de Medellín; presentan una textura néisica con bandas y lentes bien formados que en algunos lugares se le permite clasificar como neis anfibólico. Afloramientos importantes se pueden observar en el corregimiento de Santa Elena, en la comuna de El Poblado, por la carretera de Las Palmas y en la parte alta de la quebrada La Aguacatala; además, se presentan meteorizadas, desarrollan suelos residuales de texturas limo-arcillosas a arcillo-limosas, de color pardo rojizo a pardo amarillento, con espesores hasta de 25 metros y en la interfase con la roca fresca, se desarrolla una capa constituida por bloques rocosos en matriz saprolítica.



La unidad de esquistos conforma una secuencia de rocas que aflora principalmente hacia el Sur-oriente y Nor-oriente del municipio, en las cuencas de la quebrada Doña María y en el corregimiento de Palmitas. A estos cuerpos, originalmente Botero (1963) los reunió en el Grupo Ayurá Montebello y consisten en esquistos cuarzo sericíticos y esquistos verdes, exhiben una laminación muy fina y repliegues; están compuestos por cuarzo, sericita y grafito, con cantidades menores de biotita, plagioclasa, esfena, circón y opacos. La variación gradacional a esquistos verdes se da por el aumento de anfíbol, plagioclasa y clorita.

Rocas Ígneas. En el municipio, estas rocas se han agrupado en: Stock de Altavista, Stock de San Diego (KgD), Stock de Las Estancias (KcE), Dunitas de Medellín (KuM) y Formación Quebradagrande (Ksvb). Las dunitas conforman una extensa unidad litológica que cruza el flanco oriental del valle del río Medellín con dirección general nor-noroccidente y se encuentran en las zonas de topografía más abrupta al oriente del municipio, como en la vía a Las Palmas, cerro Pan de Azúcar, cerro Santo Domingo Savio, corregimiento de Santa Elena y la quebrada La Honda.

Las dunitas son cuerpos de roca ultrabásica, denominado originalmente por Botero (1963) como serpentinitas. Está compuesta por olivino con accesorios menores como cromita y magnetita y alteración parcial del olivino a minerales del grupo de la serpentina, predominando la antigorita y algo de crisotilo. La meteorización de estas rocas dan como resultado suelos residuales de texturas limo arcillosas, de colores pardo rojizos, con espesores hasta de 35 metros, con altos contenidos de hierro.

El Stock de San Diego es un cuerpo de 9 km² aproximadamente, su composición varía de dioritas a gabros olivínicos, con texturas faneríticas finas y pegmatíticas, compuestas por olivino y orto y clinopiroxenos. Este cuerpo se localiza en el flanco centro – oriental del valle y se extiende desde los barrios Buenos Aires y El Salvador, hasta los sectores de Castropol, el Hotel Intercontinental y el Mirador de El Poblado al sur-oriente del municipio; además, genera suelos residuales de texturas limo arcillosas hasta areno limosas, de color amarillo con manchas pardas y espesores hasta de 45 metros.

El Stock de las Estancias es un pequeño cuerpo plutónico de cuarzodioritas, compuesto mineralógicamente por cuarzo, feldespatos y, en menor proporción micas y horblendas. Se localiza hacia el extremo centro oriental de Medellín, en la cuenca de la quebrada Santa Elena, sobre su margen derecha. Ocupa una extensión aproximada de 1.7 km² y se extiende desde Villatina y San Antonio hasta los barrios Las Mirlas, Las Estancias, Santa Lucía y la parte baja de Villa Turbay. Este stock genera suelos residuales de texturas limosas a areno limosas, con alta susceptibilidad a la erosión laminar y concentrada.

El Stock de Altavista se encuentra aflorando extensamente sobre el flanco occidental de Medellín, en los corregimientos de Altavista y San Cristóbal, y en los barrios Belén, Santa Mónica y San Javier. Se presenta en dos tipos de facies, una de carácter porfídico y otra de carácter granular, en la

primera se observan rocas que se clasifican como pórfidos andesíticos y en la segunda como granodioritas.

El perfil de meteorización del Stock de Altavista sobre las facies porfídicas pueden alcanzar unos 45 metros de profundidad y genera suelos residuales de texturas limo arcillosos de color amarillo con moteos y manchas rojizas. En las facies graníticas es común observar el proceso de meteorización esferoidal y sus suelos residuales son de texturas arenosas a limo arenosas. En general, los suelos residuales de este stock se han explotado tradicionalmente en el municipio como material de construcción y como materia prima para la elaboración de ladrillos y tejas.

Las rocas de la Formación Quebradagrande se relacionan con lo que denominó Botero (1963) informalmente como “rocas verdes”, correspondientes a rocas ígneas del tipo basáltico y andesítico, cuya coloración es producida por la cloritización de los minerales ferromagnesianos. Ésta unidad aflora principalmente hacia el nor-occidente del corregimiento de San Antonio de Prado.

Depósitos no litificados. Cubren más del 60% del área urbana de Medellín. Dentro de esta categoría se incluyen depósitos aluviales, aluvio torrenciales, coluviales y flujos de lodos y escombros; bajo este grupo de depósitos también se agruparon los llenos artificiales de origen antrópico.

Es de anotar que los depósitos de flujos de lodos y escombros representan más del 35% del área total del municipio y dentro de los depósitos antrópicos, el más representativo para Medellín lo constituye el antiguo basurero de Moravia, el cual está localizado cerca de la orilla derecha del río Medellín y sobre el cual se han desarrollado algunos asentamientos humanos subnormales.

Los depósitos aluviales (Qal) se localizan en el fondo del valle y están asociados con la dinámica fluvial del río Medellín. Están compuestos por secuencias de gravas, arenas, limos y arcillas, dispuestos en capas horizontales con gran variabilidad vertical y horizontal. Hacia el costado occidental del valle del río Medellín se desarrolla una franja con éste tipo de depósito cuya amplitud llega hasta los 7 Km. Los principales barrios donde aflora esta unidad sobre la margen derecha son: San Benito, Villanueva, San José y Guayaquil. En la margen izquierda son: San Ignacio, Naranjales, Calasanz, Alcázares y Santa Lucía.

Los depósitos aluvio torrenciales (Qat) están constituidos por una gran cantidad de bloques rocosos con tamaños hasta métricos, mezclados en una matriz de textura limo arenosa, húmeda y suelta. El espesor es variable y va desde menos de 1 metro hasta más de 20 metros, dependiendo de la topografía donde se depositan. Afloran en la margen izquierda del río Medellín, hacia las quebradas Ana Díaz, Altavista, Guayabala, Iguaná y La Gómez; y en la margen derecha hacia las quebradas: La Presidenta, La Volcana, La Poblada y Santa Elena.

Los depósitos coluviales (Qc) se componen de cantos y bloques de roca con tamaños heterométricos y formas angulares, envueltos en una matriz de textura limo arenosa a limo arcillosa. Se presentan en el municipio aleatoriamente con extensiones que no superan los 0.50 km².

Afloramientos importantes se observan en la vía El Tesoro – Las Palmas y en las laderas que enmarcan las quebradas: La Iguana, La Hueso, Ana Díaz, Altavista y La Picacha.

Los flujos de lodos y escombros fueron clasificados en saprolitizados, maduros, frescos y recientes. Los flujos saprolitizados (Qfs), consisten en bloques rocosos heterométricos, envueltos en una matriz de textura entre limo arenosa y arcillo limosa y coloración heterogénea: pardo amarillenta, pardo rojiza, amarilla y gris. Este tipo de depósito se presenta extensamente en la zona de El Poblado, hacia la margen izquierda de la quebrada La Picacha y en el sector de Belén hacia los sectores de las urbanizaciones La Inmaculada y Cazadiana.

Los flujos de lodos y escombros maduros (Qfm), están constituidos por bloques rocosos heterométricos cuya composición depende de la vertiente de la cual se hayan desprendido, de forma que predominan las anfibolitas y algo de dunitas en el sector oriental y noroccidental y en el suroccidental predominan los derivados del stock de Altavista. Dichos bloques poseen un grado de meteorización moderado a alto, con sus bordes saprolitizados y el núcleo relativamente fresco. La matriz que los envuelve posee características que varían de textura según la vertiente y de arcillo limoso a limo arcilloso, con colores pardo, gris y amarillo.

Los flujos de lodos y escombros frescos (Qff) son depósitos con un grado bajo a moderado de incisión y contienen bloques rocosos en estado moderado a bajo de meteorización. Afloran principalmente en el sector sur-oriental del municipio hacia los barrios: Manila, Astorga, El Poblado, La Aguacatala, Santa María de los Ángeles y Los Almendros. Hacia el centro-oriente del municipio en los barrios: de Jesús, Pablo VI, Miraflores, Buenos Aires, Mónaco, Enciso, Sucre, Las Perlas, La Libertad y San Antonio. En el Nor-oriente del municipio en los barrios Carpinelo, La Esperanza, La Montaña, Santo Domingo Savio y San Pablo.

Flujos de lodos y escombros recientes (Qfr) se ubican hacia las partes más bajas de las vertientes y están asociados con los últimos tramos de los cauces actuales. Están compuestos por bloques rocosos, angulosos y frescos, cuya composición depende de la cuenca donde se hayan generado y están envueltos en una matriz de textura limo arenosa, de color parda, húmeda y suelta. Estos afloran principalmente en el tramo final de la quebrada Aguacatala y hacia los barrios Villa Carola, Colombia y San Diego.[1]

4. VARIACIÓN ESPACIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO

De acuerdo a los resultados de los trabajos de campo se presenta la serie estratigráfica del sondeo 1, los demás sondeos se presentan en el Anexo 1. El registro de los apiques se presenta en el Anexo 3. A partir de las muestras recuperadas, se realizaron la mayor cantidad de ensayos posibles para la caracterización del suelo.

REGISTRO DE PERFORACION
SONDEO N° 1

PROFUNDIDAD METROS	DESCRIPCION DE LOS ESTRATOS	Nº	TIPO	DE	A	GOLPES CADA 6 PULGADAS		
0	0,00	CAPA VEGETAL						
	0,10	LIMO CON ALGO DE ARENA COLOR CAFÉ CLARO CON RAICES						
1	1,00	1	SPT	1,00	1,50	2	4	4
2	2,40	2	SPT	2,50	3,00	6	6	6
3	3,20	ARCILLA COLOR AMARILLO PALIDO DE CONSISTENCIA BAJA Y CON PRESENCIA DE GRAVAS PEQUEÑAS						
4	4,30	3	SPT	4,00	4,50	4	4	6
	4,90							
5	5,80	4	SPT	5,50	6,00	8	8	9
6								

Figura 4. Perfil estratigráfico Sondeo 1

Con el fin de definir un perfil de suelo para realizar el análisis geotécnico del mismo, se procedió a agrupar la totalidad de los sondeos junto con el resultado del ensayo SPT. De esta agrupación se observa que el suelo está compuesto por dos estratos, esto se define a partir de la descripción del suelo y de los resultados del ensayo de campo SPT.

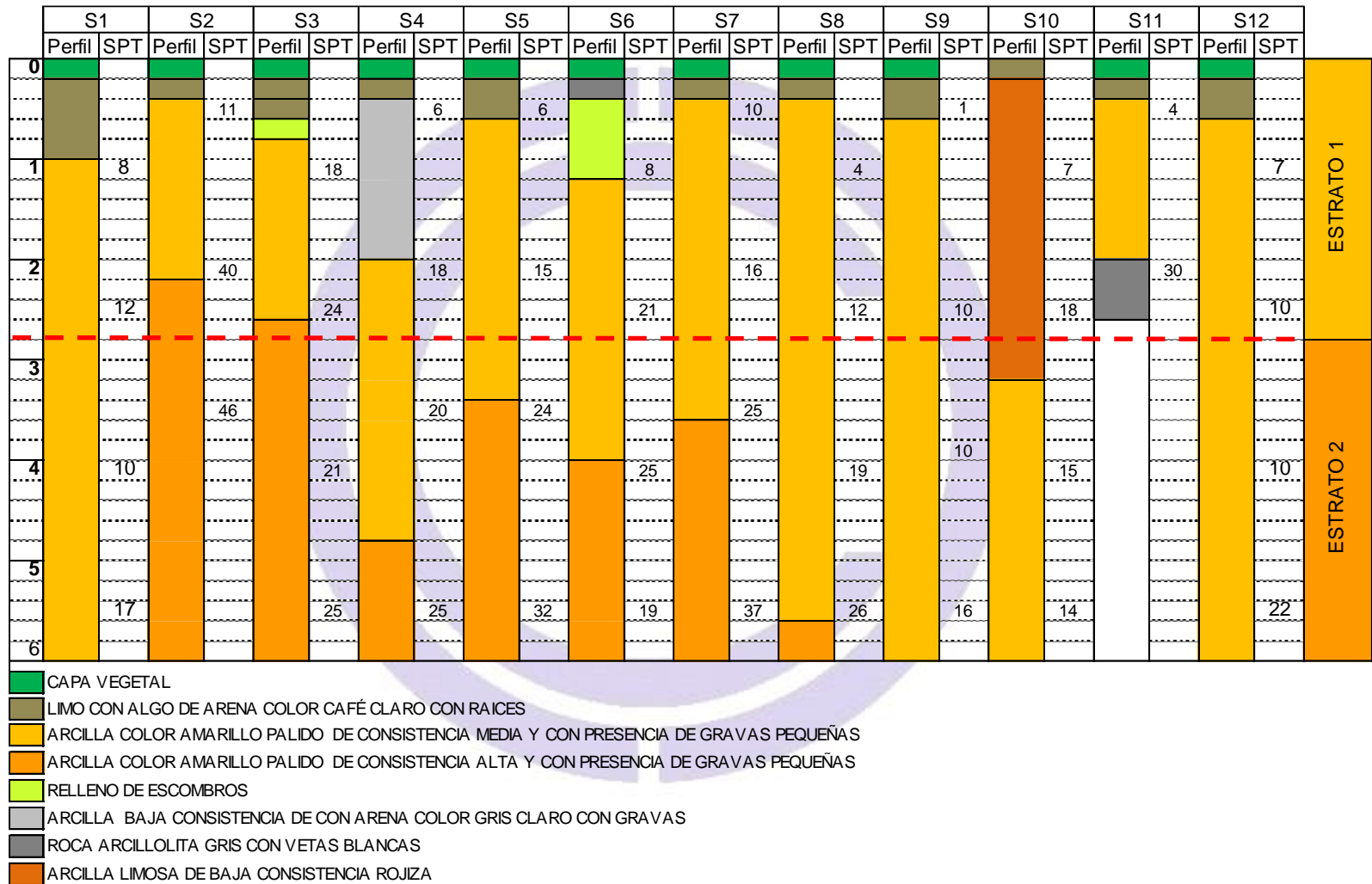


Figura 5. Análisis de las perforaciones realizadas, Spt y definición de los estratos para el análisis geotécnico

4.1 SUBSUELO

A partir del análisis presentado en la Figura 5 se definieron los estratos cuya descripción se presenta a continuación:

- A. 0,0 m –2.0/2.4 m.** Arcilla arenosa de color amarillo, de consistencia entre blanda y media con N del ensayo de penetración estándar de entre 2 y 11 golpes/pie.
- B. 0.7/1,4 m –6.0 m.** Arcilla limosa con presencia de arena y gravas de color amarillo y/o habano de consistencia entre media y muy firme. Con N del ensayo de SPT entre 12 y 32 golpes/pie.

Tabla 2. Clasificación de los estratos que conforman el perfil de suelo.

Prof.	Descripción del estrato	w%	LL%	LP%	IP %	γ	
0	0,0m - 2,0/2,4m Arcilla color amarillo pálido, de consistencia entre blanda y media, con presencia de gravas. Presenta valores de N del ensayo de penetración estándar de entre 2 y 18 golpes/pie.	40,6	53	25	28		
		33,7	65	30	35	2,156	
1							1,789
				62	27	65	1,83
							1,885
2	2,0/2,4 m - 6,0 m Arcilla color amarillo pálido, de consistencia entre media y alta, con presencia de gravas. Presenta valores de N del ensayo de penetración estándar de entre 10 y 40 golpes/pie. ESTRATO 2					1,72	
		44,7	79	39	40	1,833	
		30,6	65	21	44	2,011	
			87	36	51	2,26	
3			74	35	39	1,814	
			89	41	48		
			85	37	48		
							1,715
			65,2				1,626
							1,945
4		53,3					
		57,3	63	31	32	1,793	
		36,5				1,747	
5						1,851	
						1,578	
		18,4	85	44	41	2,007	
6		34,3	72	33	39	1,95	

Adicional a la exploración del subsuelo mediante perforaciones y como se mencionó anteriormente, se realizó la ejecución de 12 apiques cuyo resultado se presenta a continuación:

Tabla 3. Resultados de los apiques realizados en el proyecto

Apique	Localización	Tipo de cimentación	Profundidad de cimentación (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Ancho viga (m)
1	Planta auditorio	Zapata aislada	1,45	1,14	1,14	0,35	0,3
2	Talleres y aulas detalle de fundación	Zapata aislada	2,93	0,8	0,7	0,9	0,4
3	Casa 3	Zapata aislada	2,25	1	1	0,35	0,3
4	Casa 1	Zapata aislada	1,75	1,1	1,1	0,35	0,3
5	Casa Blanca	Cimiento corrido	0,4	---	---	0,4	0,4
6	Servicios Generales	Zapata aislada	1,85	0,8	0,8	0,35	0,3
7	Caso 5	Zapata aislada	1,52	1,1	1,1	0,35	0,3
8	Sede San Francisco	Zapata aislada	0,4	1,54	0,8	0,4	0,4
9	Casa 10	Cimiento corrido	0,8	---	---	0,4	0,8

4.2 NIVEL FREÁTICO

Se detectó el nivel freático entre 2.2 y 3.2 m de profundidad en las perforaciones realizadas. Sin embargo este nivel podrá variar considerablemente de acuerdo con el régimen de lluvias.

5. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras extraídas durante la exploración del subsuelo, y utilizando correlaciones ampliamente reconocidas en la práctica de la ingeniería, a continuación se presentan los parámetros de resistencia al corte y compresibilidad del suelo:

Tabla 4. Parámetros de Diseño

Estrato	Profundidad (m)	γ (ton/m ³)	E (Ton/m ²)
1	0,0 –2.0/2.4 m	1.6	685
2	2.0/2.4– 6.00 m	1.6	1109

Donde:

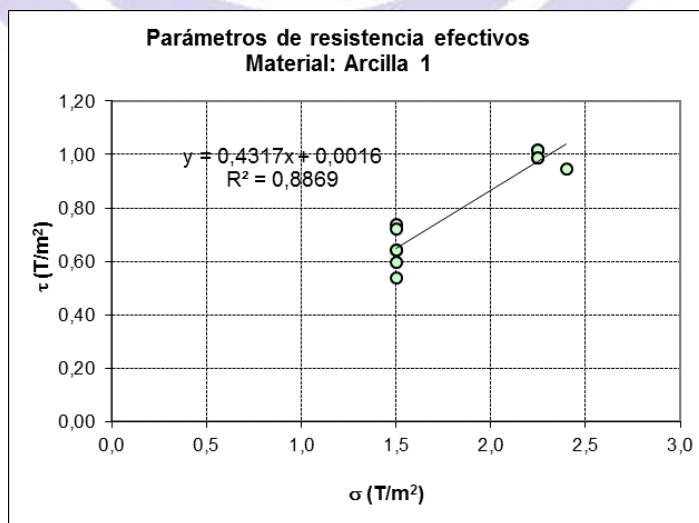
γ = Peso Unitario (ton/m³)

E =Modulo de Elasticidad del suelo.

Cálculo de los parámetros efectivos de resistencia del suelo:

Para el cálculo de los parámetros efectivos de resistencia del suelo, se utilizó el artículo “Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT” de las X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana – SCI- SCG – 1999 de Álvaro J. González G.

- Parámetros de resistencia efectivos Material: Arcilla 1





- Parámetros de resistencia efectivos Material: Arcilla 2

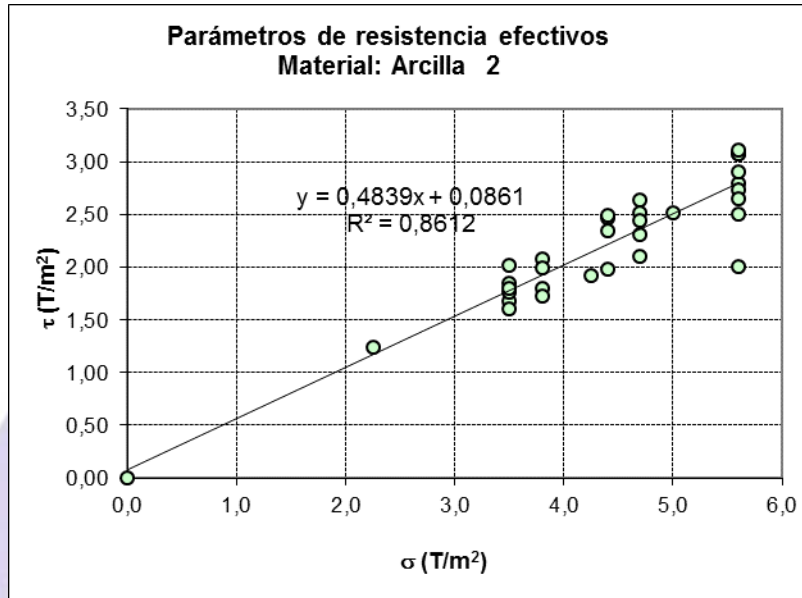


Figura 6. Parámetros de resistencia efectivos Arcilla

Tabla 5. Parámetros de resistencia efectivos

Estrato	Profundidad (m)	ϕ (°)
1	0.0m – 2.0/2,4 m	23
2	0,7/1,4 m – 6.00 m	26

Donde:

ϕ = Angulo de Fricción Interna del Suelo

c = Cohesión

6. SOFTWARE DE DISEÑO

Para desarrollar los diseños que hacen parte de este estudio se utilizaron correlaciones y métodos de diseños clásicos de ingeniería, también se utilizaron los siguientes programas:

- Cbear: software que analiza la capacidad portante de cimentaciones superficiales. Se puede analizar zapatas rectangulares, corridas y cuadradas. También se consideran los efectos del empotramiento, cargas inclinadas y excéntricas, superficie terreno en pendiente, y la sobrecarga. Este programa fue desarrollado por la federal highway administration en 1994.
- Settle 3D versión 2.0 de Rocscience: Programa de elementos finitos para el cálculo de asentamientos.
- PHASE 2 versión 6.0 de Rocscience: Para la modelación mediante métodos de elementos finitos de la interacción suelo-estructura.

7. SISTEMA DE CIMENTACIÓN ACTUAL

A continuación se describe la cimentación existente de acuerdo a la información recopilada durante la ejecución de los apiques:

En los 9 apiques realizados se detectaron zapatas aisladas y corridas de concreto, apoyadas entre 1,22 y 1,95 m desde la superficie sobre la arcilla detectada. Las zapatas encontradas tienen un ancho de entre 0,8 y 1,14 m.

7.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN ACTUAL

A partir de la geometría detectada de los cimientos, la altura actual de hasta 3 pisos y teniendo en cuenta los parámetros efectivos calculados para el suelo de apoyo, se determinó la capacidad portante del suelo utilizando los métodos clásicos de cálculo obteniendo un valor máximo de 45.93Ton/m² según Vesic. A continuación se presenta el calculo de capacidades de cada uno de los cimientos encontrados, es importante mencionar que la capacidad portante del suelo no es única, esta podrá cambiar con la variación de factores como tipo de cimentación, forma, dimensiones y profundidad de empotramiento.

Apique	Tipo de cimentación	Profundidad de cimentación (m)	Carga estimada por columna	Presión de contacto actual	CAPACIDAD PORTANTE Cimiento actual	Factor de seguridad actual
1	Zapata aislada	1,45	30	23,1	34,7	1,50

Apique	Tipo de cimentación	Profundidad de cimentación (m)	Carga estimada por columna	Presión de contacto actual	CAPACIDAD PORTANTE Cimiento actual	Factor de seguridad actual
2	Zapata aislada	2,93	45	80,4	83,7	1,04
3	Zapata aislada	2,25	30	30,0	59,5	1,98
4	Zapata aislada	1,75	30	24,8	44,4	1,79
5	Cimiento corrido	0,4	30	12,5	6,9	0,55
6	Zapata aislada	1,85	30	46,9	47,7	1,02
7	Zapata aislada	1,52	40	33,1	37,1	1,12
8	Zapata aislada	0,4	30	24,4	7,8	0,32
9	Cimiento corrido	0,8	30	6,3	13,7	2,20

De acuerdo con las cargas estimadas por áreas aferentes a partir de las dimensiones establecidas en el presente informe, se tiene que los cimientos se encuentran trabajando actualmente con una presión de contacto presentada en la tabla y por lo tanto se obtienen factores de seguridad menores a 3, los cuales no cumplen con los requerimientos de la NSR-10. Teniendo en cuenta lo anterior se hace necesario reforzar la cimentación para que cumpla con las recomendaciones dadas más adelante en el presente informe.

7.2. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS

Con el fin de evaluar los asentamientos desarrollados dadas las cargas aplicadas por la cimentación del edificio se utilizó el programa Settle 3D que permite realizar un análisis de desplazamientos verticales tanto elásticos como por consolidación bajo la superficie ante cargas aplicadas.

Los asentamientos previstos durante la vida útil serán del orden de 13 cm, de los cuales 9 cm se desarrollarán por consolidación.

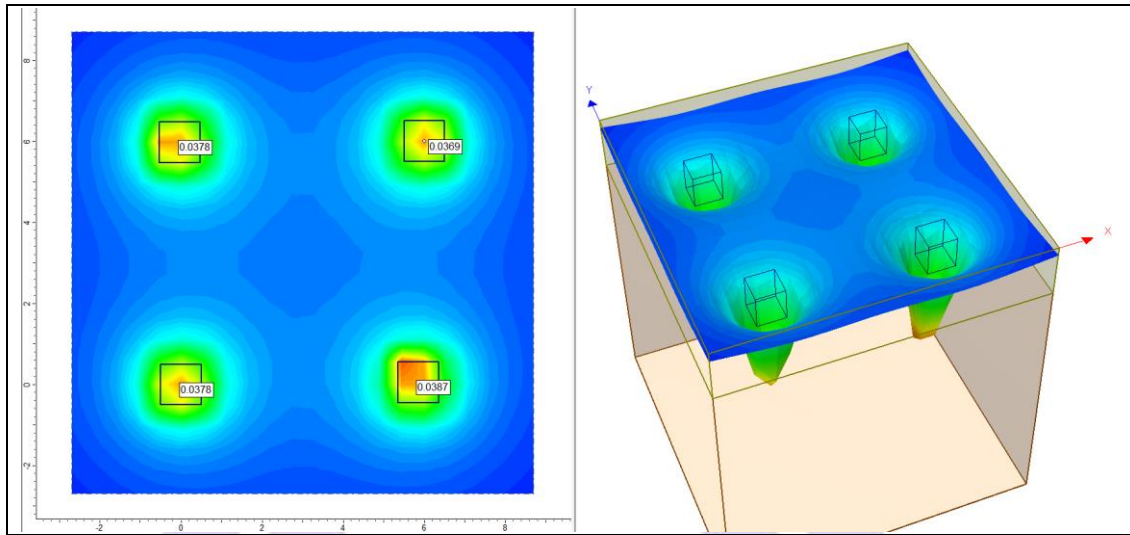


Figura 7. Asentamientos inmediatos (m)

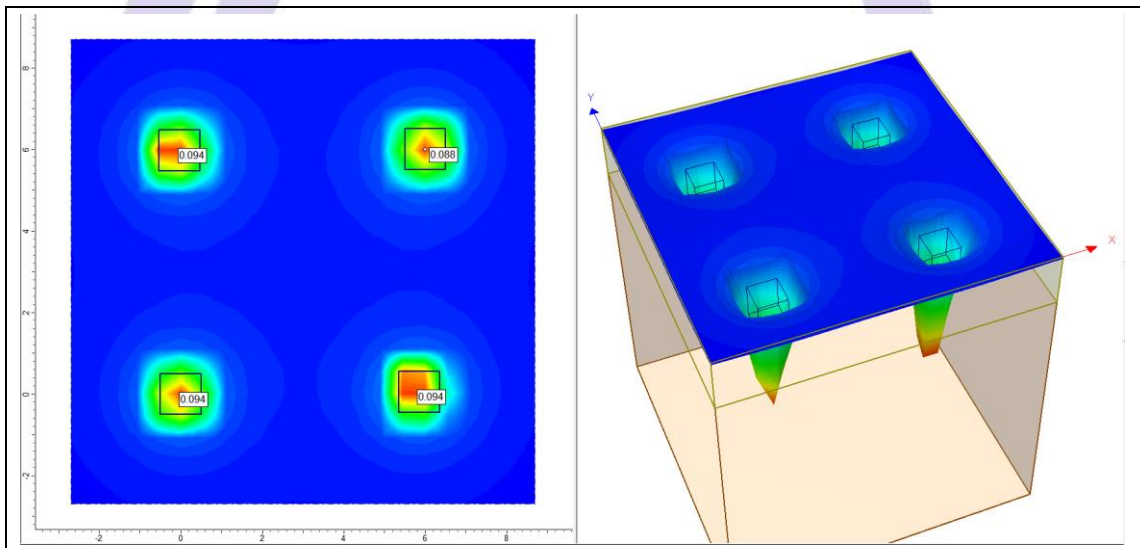


Figura 8. Asentamientos por consolidación (m)

7.3. COMPORTAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN ANTE CARGAS DINÁMICAS

El análisis en sismo se realiza mediante el programa SLIDE para un eventual sismo de 0.15 g de aceleración horizontal de acuerdo con el NSR del 2010 como se ilustra a continuación, obteniendo un factor de seguridad de 2.071 el cual es adecuado ante lo exigido por la norma sismoresistente:

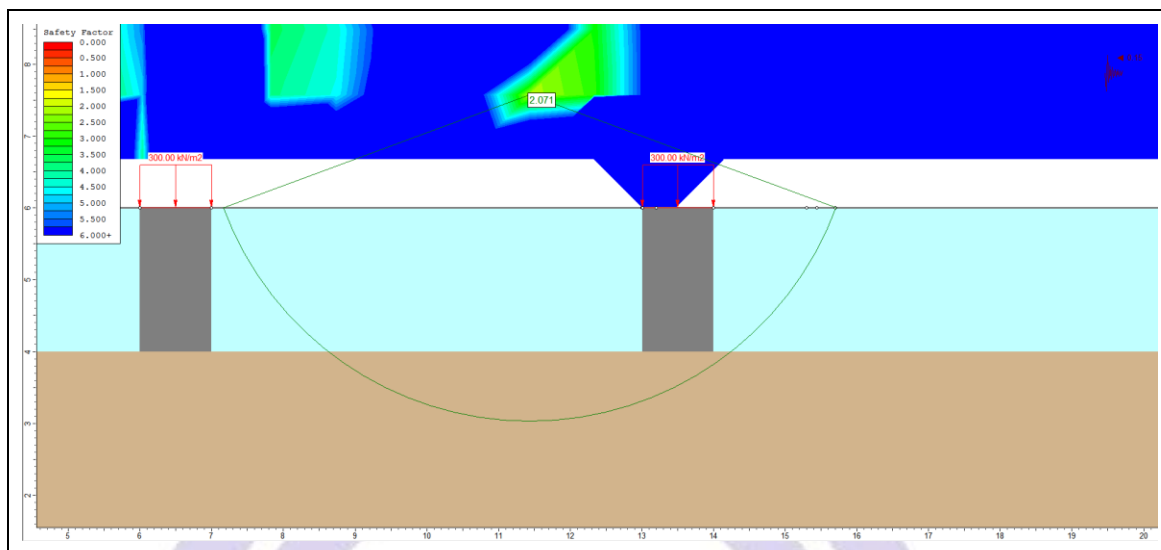


Figura 9. Evaluación factor de seguridad sismo (m)

7.4. CONCLUSIONES

Con base en los trabajos de campo y la totalidad de análisis efectuados, se tiene que la cimentación actual se encuentra trabajando en rangos inaceptables para las cargas existentes. Teniendo en cuenta que la estructura fue construida 5 años, todavía no se han desarrollado la mayor parte de los asentamientos por consolidación. Teniendo en cuenta lo anterior la cimentación se encuentra presenta factores de seguridad insuficientes por lo que se hace necesario verificar que tanto cimientos existentes o cimientos nuevos que surjan de la evaluación estructural, se encuentren trabajando con los parámetros que se establecen a continuación

Es importante resaltar que el ingeniero calculista deberá revisar el estado estructural de los cimientos encontrados, a la luz de los requisitos de la NSR -2010.

8. RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN

Consistirá en zapatas aisladas en concreto reforzado apoyadas a la profundidad que se encuentran los cimientos, siendo el mínimo valor permitido 1.3m de profundidad medidos a partir de la losa de contrapiso sobre la arcilla detectado.

- a) El área de las zapatas se determinará con base en una presión de contacto que se presenta a continuación, la cual está limitada por los asentamientos:

$P = 10.0 \text{ Ton/m}^2$ Cimentación aislada

$P = 8.0 \text{ Ton/m}^2$ Cimentación corrida

Para garantizar la estabilidad de los cimientos los mismos deberán tener por lo menos un ancho de 1 m.

- b) Todos los muros de fachada y divisorios deberán apoyarse sobre cimientos o vigas de amarre.
c) Las zapatas se enlazarán mediante una red de vigas de amarre proyectadas para trasladar un 15% de la carga a los elementos contiguos.
d) El suelo de apoyo deberá ser recubierto con 3 cm de concreto pobre para evitar la alteración del mismo por cambios de humedad.
e) Todos los ductos de aguas como drenajes, redes de alcantarillado y bajantes deben sellarse de tal manera que no se presenten fugas, ya que los suelos de cimentación son susceptibles a cambios de volumen debido a cambios de humedad. Se recomienda que las tuberías a utilizar admitan deformaciones y movimientos como es el caso del PVC.
f) La planta de cimentación deberá ser aprobada por esta consultoría, sin esta aprobación los planos de cimentación no tendrán validez.
g) Esta consultoría debe aprobar el suelo de cimentación.

8.1. ASENTAMIENTOS

Para las condiciones del proyecto y el subsuelo descrito en este informe se esperan asentamientos totales del orden de 7 cm. De los cuales 5 cm serán por consolidación. En la Figura 10 y en la Figura 11 se presentan los asentamientos obtenidos para la cimentación proyectada.

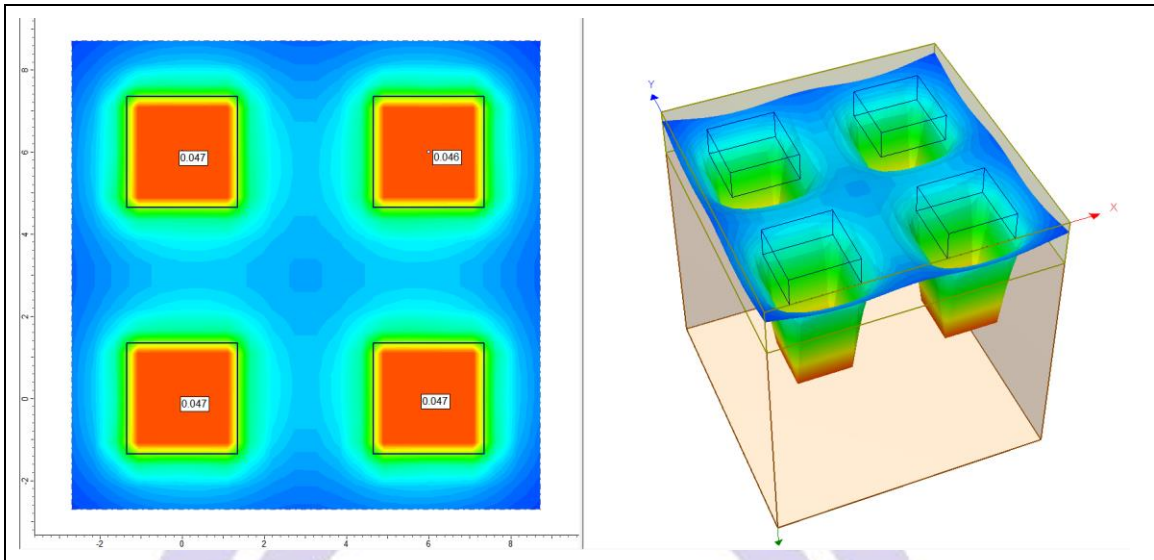


Figura 10. Asentamientos por consolidación (m)

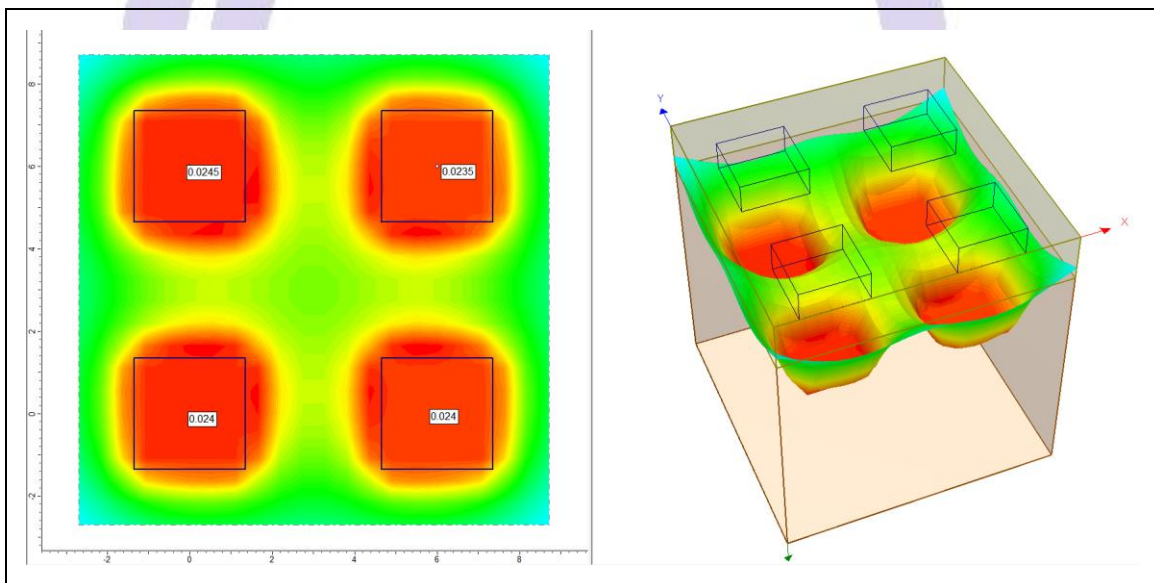


Figura 11. Asentamientos inmediatos (m)

8.2. ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEBIDO AL REFORZAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN

El recalce de la cimentación implicará una reducción de la presión de contacto de los cimientos por lo tanto la tasa de asentamientos se verá reducida con respecto a la que se presenta actualmente, además se recomiendan vigas de amarre entre los cimientos para controlar cualquier

asentamiento diferencial. También se debe resaltar que la cimentación existente hubiera tenido 13.5 cm en total de los cuales 8 cm ya se presentaron durante los 5 años que lleva construido el promedio. Para verificar lo anterior, se realizó la modelación de asentamientos para las zapatas existentes y para las zapatas nuevas durante un tiempo de 50 años, teniendo una primera etapa a los 5 años que corresponde al tiempo que lleva construida la estructura, los resultados de esta modelación se presentan a continuación:

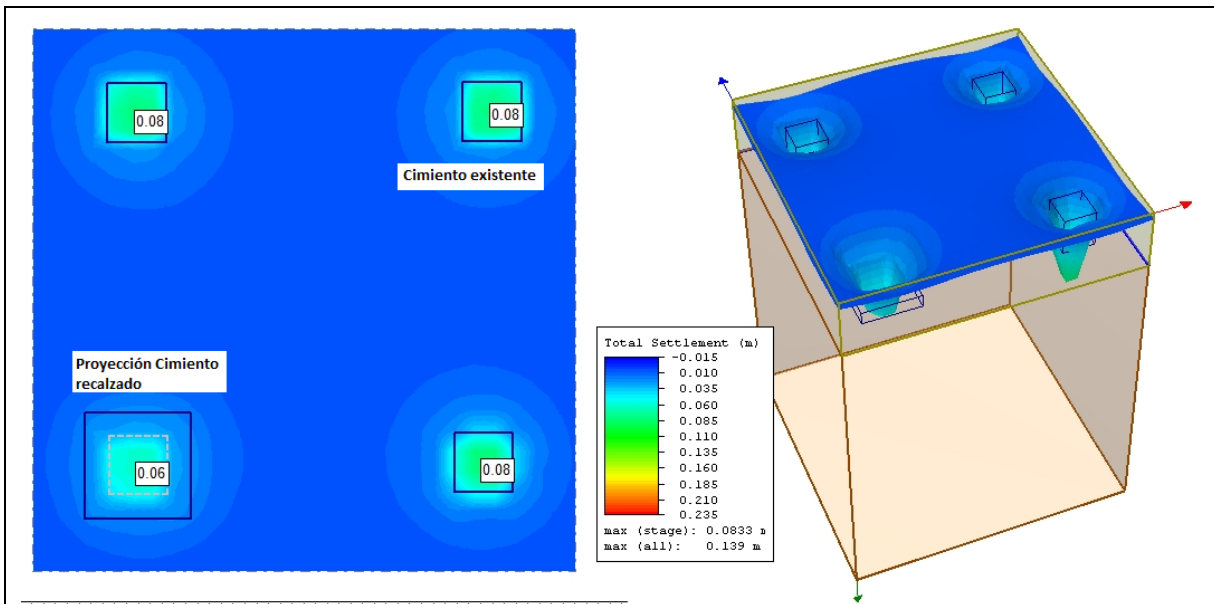


Figura 12. Asentamientos totales. 5 años

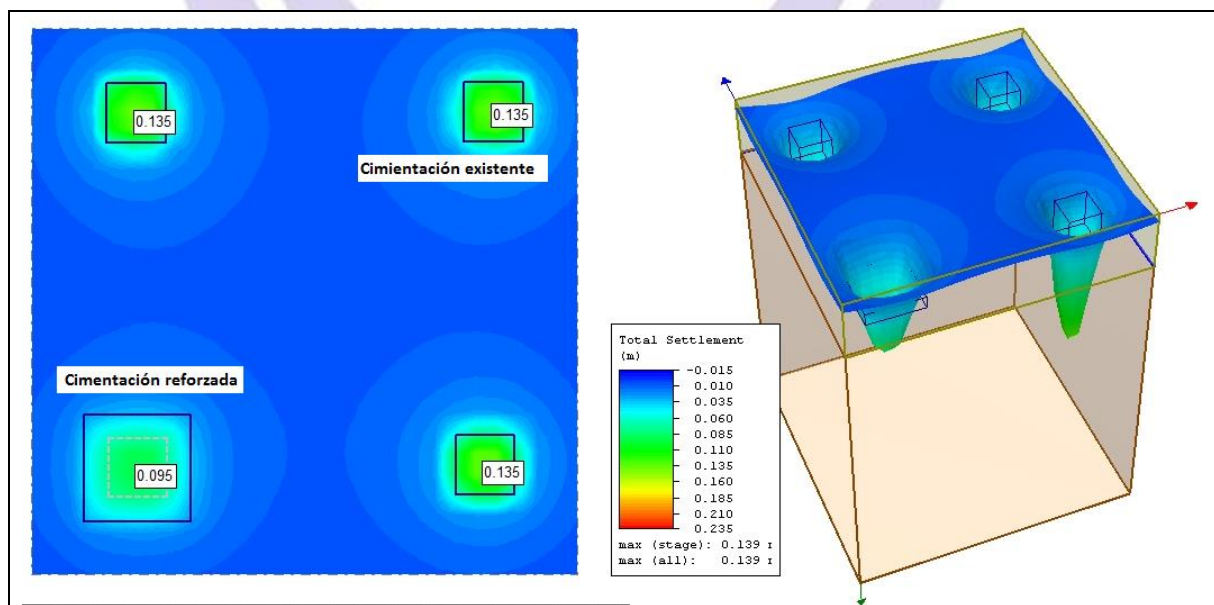


Figura 13. Asentamientos totales. 50 años

8.3. CALCULO DE FACTORES DE SEGURIDAD

8.3.1. Factor de Seguridad Indirecto

El factor de seguridad indirecto para condición estática se establece la relación entre la capacidad de carga última q_u y la capacidad de admisible de trabajo q_{adm} .

$$FS_{indirecto\ estatico} = \frac{32.17 \frac{Ton}{m^2}}{10 \frac{Ton}{m^2}} = 3.22$$

Se tiene un factor de seguridad indirecto de 3.22, que está acorde con los requerimientos de la NSR-2010, consignados en la Tabla H.4.7-1 Factores de Seguridad Indirectos FSICP (Factores de seguridad indirectos ante capacidad portante) Mínimos donde se exige se exige un valor de mínimo 3,0.

8.3.2. Factor de Seguridad Directo

Utilizando el software phase 2 y utilizando la función de Strength reduction factor se obtuvo el factor de seguridad:

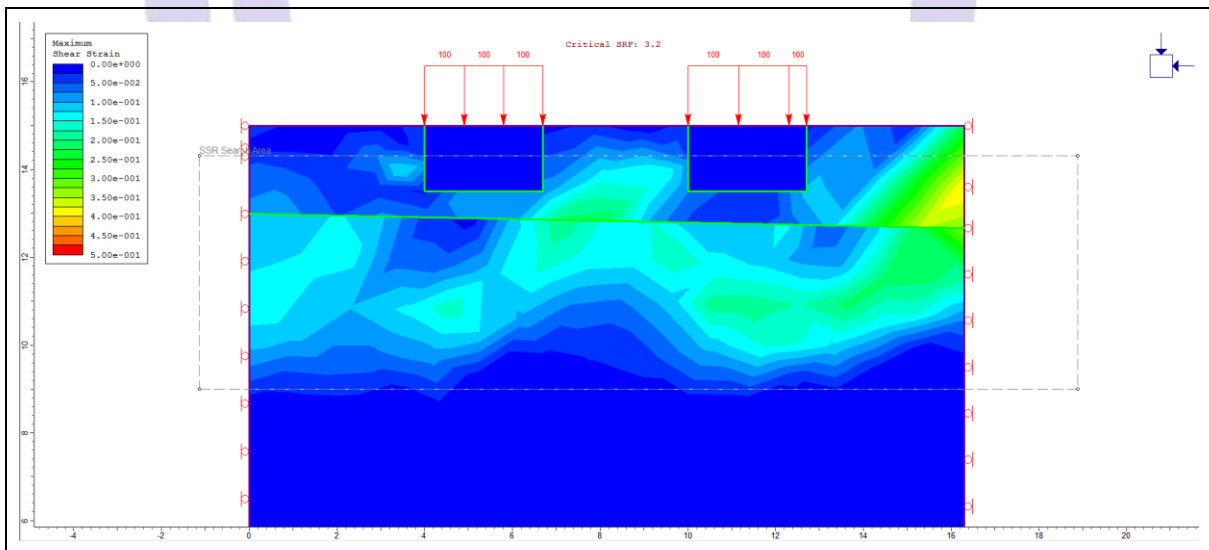


Figura 14. Calculo del Factor de Seguridad Directo

Al modelar en elementos finitos se obtuvo un factor de seguridad de 3,2, valor que se considera adecuado para el tipo de cimentación lo que cumple con lo exigido en la Tabla H.2.4-1 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos, de la NSR-10 donde se exige un FS de mínimo 1,1.

8.3.3. Factor de Seguridad en Condición de Sismo

El análisis en sismo se realiza mediante el programa SLIDE para un eventual sismo de 0.15 g de aceleración horizontal de acuerdo con el NSR del 2010 como se ilustra a continuación:

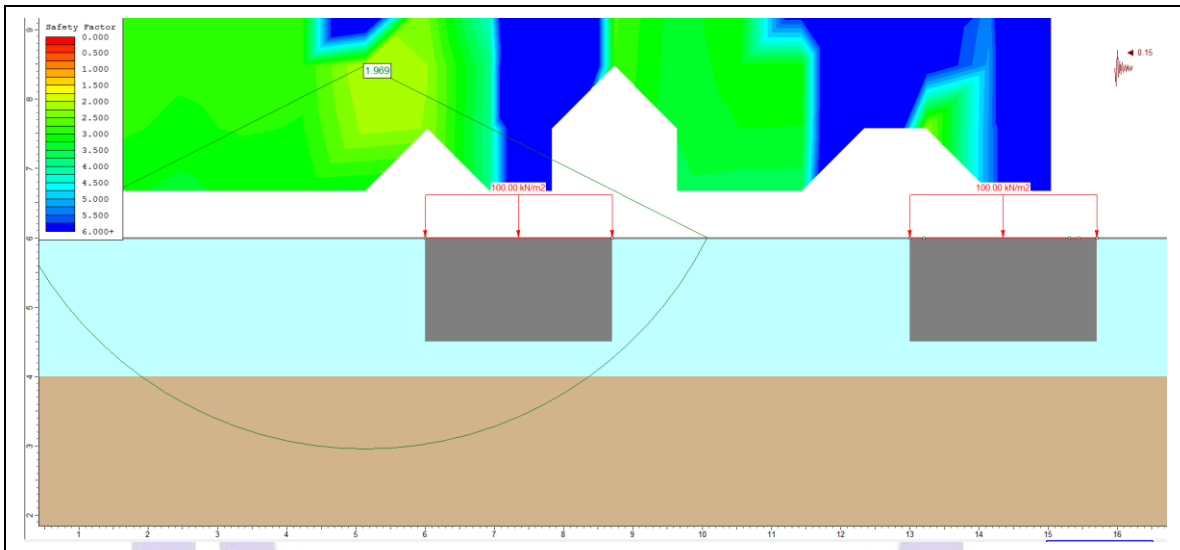


Figura 15. Determinación del Factor de Seguridad – Sismo

8.4. PLACAS DE CONTRAPISO

Las placas tendrán 10 cms de espesor y refuerzo por temperatura. Se fundirá en concreto de 3000 psi y se colocara sobre un colchón de recebo arenoso de 20 cm de espesor. Se fundirá en cuadros alternos hasta de 3.0 m.

8.5. MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros se diseñarán para soportar presiones de tipo hidrostáticas producidas por un material con un peso unitario $\gamma = 1.90 \text{ Ton/m}^3$ y un coeficiente de presión lateral $K_a=0.46$ En caso tal que se presenten sobrecargas en la corona del muro por la cercanía de las estructuras, de las cimentaciones o cualquier otra sobrecarga, los muros deberán diseñarse teniendo en cuenta dicha sobrecarga.

Por detrás de los muros se dispondrán filtros de manera tal que eviten humedades sobre los mismos y eviten presiones hidrostáticas sobre dichos elementos.

9. FACTORES DE DISEÑO SÍSMICO

De acuerdo con la NSR-10 el suelo de este proyecto es de tipo E con los siguientes parámetros de diseño sísmico:

Tabla 6. Parámetros de diseño sísmico

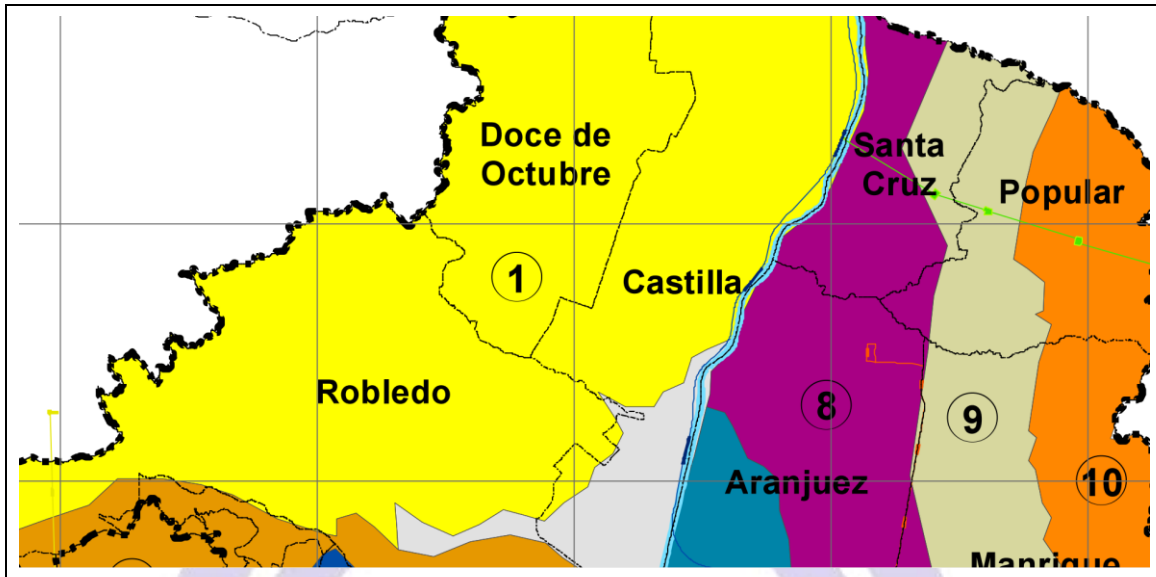
Municipio	Aa	Av
Medellín	0.15	0.20

Este perfil de suelo se define de acuerdo a la Tabla A.2.4-1. Clasificación de los perfiles de suelo, en donde los criterios se basaron principalmente en los resultados del ensayo SPT. Esta tabla se presenta a continuación:

Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $>$ $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $>$ $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $>$ $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) $>$ $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s $>$ \bar{v}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP $>$ 20 w \geq 40% 50 kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²) $>$ \bar{s}_u
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, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H $>$ 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H $>$ 7.5 m con Índice de Plasticidad IP $>$ 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H $>$ 36 m)	

De acuerdo a la microzonificación sísmica de la ciudad de Medellín el proyecto se encuentra ubicado en la zona 1: zona homogénea noroccidental



Zona Homogénea	Sismo de control de daños						Sismo de diseño					
	a_{Smax}	F_a	$S_{amax/l}$	T_0	T_c	\square	a_{Smax}	F_a	$S_{amax/l}$	T_0	T_c	\square
1	0.05	4.50	0.23	0.10	0.50	1.43	0.27	2.60	0.70	0.10	0.60	1.34
2	0.08	2.80	0.22	0.10	0.30	1.17	0.34	2.35	0.80	0.10	0.40	1.17
3	0.07	3.57	0.25	0.10	0.50	1.48	0.30	2.66	0.80	0.20	0.70	1.52
4	0.05	3.60	0.18	0.10	0.60	1.46	0.23	2.17	0.50	0.10	0.65	1.22
5	0.06	3.66	0.22	0.10	0.50	1.42	0.20	3.00	0.60	0.10	0.60	1.26
6	0.05	2.81	0.14	0.10	0.40	1.11	0.20	2.50	0.50	0.10	0.50	1.07
7	0.06	3.66	0.22	0.10	0.50	1.42	0.20	3.00	0.60	0.10	0.60	1.26
8	0.08	2.25	0.18	0.10	0.65	1.52	0.23	2.40	0.55	0.10	0.75	1.37
9	0.06	3.75	0.23	0.10	0.40	1.31	0.26	2.70	0.70	0.10	0.55	1.28
10	0.09	2.78	0.25	0.10	0.40	1.35	0.38	2.10	0.80	0.10	0.50	1.29
11	0.06	3.75	0.23	0.10	0.50	1.43	0.26	2.88	0.75	0.10	0.65	1.43
12	0.06	4.16	0.25	0.10	0.65	1.67	0.26	3.07	0.80	0.15	0.70	1.52
13	0.06	4.16	0.25	0.10	0.40	1.35	0.26	3.07	0.80	0.10	0.50	1.29
14	0.05	2.81	0.14	0.10	0.50	1.23	0.20	3.00	0.60	0.10	0.55	1.21

10. LIMITACIONES DEL DISEÑO

El presente informe y los diseños aquí contenidos se realizaron en base a la información recolectada en campo y los ensayos ejecutados. Si durante la construcción se detectan condiciones diferentes a las aquí descritas, se debe informar al diseñador, con el fin de revisar las estructuras propuestas y el efecto de estas condiciones en el diseño.