2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA



Figura. 3 Localización del proyecto en plancha 413 de la ciudad de Florencia

2.1 GEOLOGÍA GENERAL

El Macizo de Garzón hace parte de la región montañosa de la Cordillera Oriental y ocupa un 60% del área de la Plancha 413 – Florencia, en un tren con dirección SW – NE. Se caracterizada por una variedad de climas que abarca desde los templados suaves hasta los fríos intensos. En función de los diferentes relieves y las características climáticas que tiene la región, pueden distinguirse dos zonas importantes: el Macizo de Garzón de alta montaña con procesos erosivos considerables y una zona de vertientes con pendientes suaves y ondulaciones de pocos metros sobre el nivel del mar. En su mayoría se encuentran rocas del Complejo de Garzón acompañadas de rocas de las formaciones Villeta, Saldaña, Pepino y Grupo Orito; con presencia de depósitos recientes de origen aluvial y terrazas.

2.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

Complejo Garzón (PRcgr)

Las primeras referencias de las rocas precámbricas que conforman el Macizo de Garzón fueron dadas por Grosse (1935 a, b), quien realizó una descripción general de las características litológicas superficiales de esta unidad al nororiente de Garzón; allí describe

anfibolitas, neises, granitos lenticulares y pegmatitas de probable edad arcaica y encuentra bloques de mármol en la quebrada Cara de Perro que considera que proceden posiblemente del mismo sistema de estratos. Luego Royo y Gómez (1942) menciona neises y rocas graníticas de edad pre - terciarias en esta zona. Para Trumpy (1943), el macizo se trata principalmente de neises feldespáticos alcalinos y biotíticos, cortados por diques de pegmatitas y diques de inyección irregulares. Olsson (1956) asigna una edad precámbrica para el basamento del Macizo de Garzón y lo correlaciona con el Escudo de Guayana.

En la zona de estudio se considera un predominio de anfibolitas y neises por lo cual esta formación se ha calificado en cuanto a textura como cristalina bandeada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura. La unidad se encuentra en el sector noroeste a noreste de la Plancha 413 - Florencia, su densidad de fracturamiento se ve diferenciada en cada zona, en la parte oeste se encuentra una densidad de fracturamiento considerable en relación a pequeñas fallas locales y en la parte noreste la densidad de fracturamiento es muy pobre.

El suelo presente en la unidad se encuentra variando de 0,9 a 1 m. donde su consolidación es pobre, con alta meteorización de minerales arcillosos y erosión moderada, el clima predominante es de tipo templado húmedo, encontrándose algunas capas de materia orgánica como lentes.

Formación Saldaña (Tjsal)

En la zona de estudio se considera un predominio de lavas volcánicas y piroclásticas de textura clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría muy dura.

La unidad se encuentra en el noroeste de la Plancha 413 - Florencia y su densidad de fracturamiento es homogénea con características bajas, resaltando su poco contacto tenue con algunas fallas regionales; el suelo presente en la unidad geológica se encuentra variando de 0,25 a 0,75 m, su consolidación es pobre, alta meteorización de minerales arcillosos y erosión ligera, el clima predominante es muy frío húmedo.

Formación Caballos (K1K2cb)

En la zona de estudio se considera un predominio de cuarzoarenitas de textura clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura. La unidad se encuentra en el sector central superior de la Plancha 413 - Florencia y su densidad de fracturamiento es homogénea, presenta un contacto tenue con algunas fallas regionales; el suelo se encuentra variando de 0,2 a 0,25 m de espesor, baja consolidación, alta

meteorización de minerales arcillosos y erosión ligera. El clima predominante es de muy frío húmedo.

Formación Villeta (K2v)

En toda la zona de estudio se considera un predominio de calizas por lo cual esta formación se ha calificado en cuanto a textura como clásticas consolidadas y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura.

La unidad se encuentra en dos sectores de la Plancha 413 - Florencia, en donde su densidad de fracturamiento es baja para las dos partes, en contacto con rocas más jóvenes debido a un pequeño fallamiento local; el suelo presente en la unidad se encuentra variando de 0,15 a 0,20 m, donde su consolidación es media, baja meteorización de minerales arcillosos y sin erosión. El clima predominante es de tipo extremadamente frío húmedo.

Formación Rumiyaco (K2E1rum)

En toda la zona de estudio se considera un predominio de arcillolitas de textura clástica, consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura. La unidad presenta una densidad de fracturamiento muy baja a nula y la influencia de fallamiento es muy pobre; el suelo muestra características de baja meteorización y sin presencia de erosión, con espesores aproximados de 0,22 m. Su clima es de tipo muy frío húmedo.

Formación Pepino (E2E3Pe)

En toda la zona de estudio se considera un predominio de conglomerados de textura clástica, cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura. La unidad presenta una densidad de fracturamiento moderada asociadas a fallas locales cercanas; el suelo tiene profundidad de 1 a 1,20 m, caracterizado por moderada consolidación al no presentar erosión y meteorización. El clima es muy frío húmedo.

Grupo Orito (E3N1or)

Según McGirk (1949), el Grupo Orito fue definido por Miley & McGirk (1948) en el río Orito; las primeras referencias, en la Cuenca del Putumayo, se remontan a reportes de Texas Petroleum Company, en los cuales el Grupo Orito está conformado por las formaciones Orteguaza y Belén (McGirk, 1949). Otros reportes internos de la compañía Texas indican que el grupo está constituido por las formaciones Orteguaza, Belén y Orito, aunque algunas veces nombran la unidad como Formación Orito solamente. Reportes de Shell subdividen el Grupo Orito en las formaciones Orteguaza y Belén - Orito.

En toda la zona de estudio se considera un predominio de limolitas de textura clástica, consolidada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría moderadamente dura. La densidad de fracturamiento es muy pobre; el suelo generado presenta características de erosión moderada y meteorización baja y consolidación pobre. El clima de tipo templado húmedo.

Depósitos de terraza (Qt)

Se encuentra compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas, representado por bloques de tamaños variados envueltos en una matriz arcillosa y arenácea. En términos de calificación de susceptibilidad los depósitos aluviales, se consideran aquellas zonas con depósitos de cauce y llanuras (planicies de inundación) con la más baja categoría que corresponde a una calificación de 1. Mientras tanto, aquellas zonas donde aparecen depósitos de conos de deyección y abanicos antiguos se consideran con calificación de 5, debido a que representan una amenaza potencial, en el caso de que pueda reactivarse el movimiento de este tipo depósitos.

Depósitos Aluvial (Qal)

Se incluyen bajo esta definición a los materiales depositados en los valles actuales de los ríos y quebradas mayores. Algunos de ellos son amplios y constituyen la llanura aluvial del rio. Localmente conos de deyección disectados por el drenaje actual

LUNA GEO
Construcciones e ingeniería

3 EXPLORACIÓN GEOTECNICA

3.1 EXPLORACIÓN EN CAMPO

Para determinar las características y propiedades geotécnicas del subsuelo, se realizaron tres (3) sondeos tipo SPT hasta alcanzar el rechazo (N>50) o 6.0 metros de profundidad, cumpliendo totalmente con los alcances en profundidad y Área de construcción del proyecto, según los requerimientos del Título H de las Normas NSR-10 y la buena práctica de la ingeniería geotécnica en el País para este tipo de obras. Adicionalmente, para fines de caracterización y clasificación geotécnica se realiza toma de muestras por medio de cuchara partida.

Tabla 3 Número de perforaciones, profundidad alcanzada y nivel freático encontrado

Perforaciones	Ensayo de campo	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	NF (m)
P1	SPT	1°36'35.50"N	75°36'55.42"O	6.5	-
P2	SPT	1°36'35.98"N	75°36'55.04"O	6.5	-
P3	SPT	1°36'35.97"N	75°36'55.55"O	6.5	-

3.2 ENSAYOS EN CAMPO Y LABORATORIO

Todas las muestras obtenidas se identificaron visualmente y sobre una cantidad representativa de ellas, se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos tanto para clasificar los materiales como para determinar sus propiedades mecánicas e in-situ.

1. Clasificación:
   - Granulometría (INV E-213-13)
   - Limites (INV E-126-13)
   - Humedad natural (INV E-122-13)
2. Resistencia:
   - Ensayo de penetración estándar (INV E-111-13)
   - Compresión inconfinada
3. Propiedades "in situ":
   - Muestreo de suelos con tubo partido (INV E-111-13)

LUNA GEO Construcciones e ingeniería

4 CARACTERIZACIÓN GEÓTECNICA

Con el objeto de entender el comportamiento de los suelos, en donde se realizará la implantación de la obra, se adelantaron una serie de ensayos de campo y de laboratorio, los cuales se describen a continuación:

4.1 ENSAYOS REALIZADOS

4.1.1 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

En las perforaciones realizadas se ejecutaron los ensayos de penetración estándar con el fin de caracterizar el perfil del suelo en términos de rigidez y resistencia.

Para la caracterización geotécnica se realiza la corrección del SPT de acuerdo con González (1999), el valor normalizado de penetración N es para 12", correspondiente a la suma de los dos últimos valores registrados y se expresa en golpes/pie. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si: (a) N es mayor de 50 golpes/6", (b) N es igual a 100 golpes/pie o (c) No hay avance luego de 10 golpes.

El ensayo de penetración estándar se practicó con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo (N45) fue normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Ncrr = N * Cn * e1 * e2 * e3 * e4$$

En la cual:

- Ncrr = valor de N corregido
- N = valor de N de campo
- Cn = factor de corrección por confinamiento efectivo
- e1 = factor por energía del martillo ($0.45 \leq e1 \leq 1$)
- e2 = factor por longitud de la varilla ($0.75 \leq e2 \leq 1$)
- e3 = factor por revestimiento interno de tomamuestras ($0.8 \leq e3 \leq 1$)
- e4 = factor por diámetro de la perforación (> 1 para D> 5''', = 1.15 para D=8")

Adicionalmente, el valor del N60 normalizado se calcula a partir de N45 y su cálculo se anexa en el título E.

Tabla 4 Corrección SPT

Perforación	Profundidad (m)	σ´(Kpa)	σ´ (kg/cm2)	NSPT	e2	e3	e4	Rs	Gonzales	Seed - Idriss	Meyerh of-Ishihara	Skempton	AASHTO	CN promedio	e1 (60)	e1 (70)	e1(72)	C(60)	N60SPT1	N45SPT	N70SPT	N72SPT
1	0	0	0,00																			
	0,5	9,25	0,09	10	0,8	1	1	0,09	2,00	2,00	2,00	1,83	1,78	1,92	0,75	0,64	0,63	1,08	11	14	9	9
	1	18,5	0,19	8	0,8	1	1	0,19	1,72	2,00	1,91	1,68	1,55	1,77	0,75	0,64	0,63	1,00	8	11	7	7
	2	37,2	0,38	5	0,8	1	1	0,38	1,42	1,59	1,58	1,45	1,32	1,47	0,75	0,64	0,63	0,83	4	6	4	3
	3	55,9	0,57	7	0,8	1	1	0,57	1,24	1,34	1,34	1,27	1,18	1,28	0,75	0,64	0,63	0,72	5	7	4	4
	4	74,6	0,76	7	0,9	1	1	0,76	1,12	1,17	1,16	1,14	1,09	1,13	0,75	0,64	0,63	0,72	5	7	4	4
	5	93,3	0,95	6	0,9	1	1	0,95	1,02	1,03	1,03	1,02	1,01	1,02	0,75	0,64	0,63	0,65	4	5	3	3
	6	112,3	1,15	4	1	1	1	1,15	0,94	0,95	0,92	0,93	0,95	0,94	0,75	0,64	0,63	0,67	3	4	2	2
	6,5	121,8	1,24		1	1	1	1,24	0,91	0,91	0,88	0,89	0,92	0,90	0,75	0,64	0,63	0,64				
2	0	0	0,00																			
	0,5	9,25	0,09	6	0,8	1	1	0,09	2,00	2,00	2,00	1,83	1,78	1,92	0,75	0,64	0,63	1,08	6	9	6	5
	1	18,5	0,19	8	0,8	1	1	0,19	1,72	2,00	1,91	1,68	1,55	1,77	0,75	0,64	0,63	1,00	8	11	7	7
	2	37,2	0,38	6	0,8	1	1	0,38	1,42	1,59	1,58	1,45	1,32	1,47	0,75	0,64	0,63	0,83	5	7	4	4
	3	55,9	0,57	9	0,8	1	1	0,57	1,24	1,34	1,34	1,27	1,18	1,28	0,75	0,64	0,63	0,72	6	9	6	5
	4	74,6	0,76	8	0,9	1	1	0,76	1,12	1,17	1,16	1,14	1,09	1,13	0,75	0,64	0,63	0,72	6	8	5	5

	5	93,3	0,95	4	0,9	1	1	0,95	1,02	1,03	1,03	1,02	1,01	1,02	0,75	0,64	0,63	0,65	3	3	2	2
	6	112,3	1,15	6	1	1	1	1,15	0,94	0,95	0,92	0,93	0,95	0,94	0,75	0,64	0,63	0,67	4	5	3	3
	6,5	121,8	1,24		1	1	1	1,24	0,91	0,91	0,88	0,89	0,92	0,90	0,75	0,64	0,63	0,64				
3	0	0	0,00																			
	0,5	8,5	0,09	2	0,8	1	1	0,09	2,00	2,00	2,00	1,84	1,81	1,93	0,75	0,64	0,63	1,09	2	3	2	2
	1	17,25	0,18	2	0,8	1	1	0,18	1,75	2,00	1,94	1,70	1,58	1,79	0,75	0,64	0,63	1,01	2	3	2	2
	2	34,75	0,35	7	0,8	1	1	0,35	1,45	1,64	1,61	1,48	1,34	1,50	0,75	0,64	0,63	0,85	6	8	5	5
	3	53,45	0,55	11	0,8	1	1	0,55	1,26	1,37	1,37	1,29	1,20	1,30	0,75	0,64	0,63	0,73	8	11	7	7
	4	72,15	0,74	11	0,9	1	1	0,74	1,13	1,19	1,18	1,15	1,10	1,15	0,75	0,64	0,63	0,73	8	11	7	7
	5	90,85	0,93	6	0,9	1	1	0,93	1,03	1,05	1,05	1,04	1,02	1,04	0,75	0,64	0,63	0,66	4	5	3	3
	6	109,85	1,12	5	1	1	1	1,12	0,95	0,95	0,93	0,94	0,96	0,95	0,75	0,64	0,63	0,68	3	5	3	3
	6,5	119,35	1,22		1	1	1	1,22	0,91	0,92	0,89	0,90	0,93	0,91	0,75	0,64	0,63	0,65				

LUNA GEO
Construcciones e ingeniería

Carrera 6 #23 – 28, Barrio La Libertad
(+57) 3118568288
ing.carloespana.09@gmail.com
Florencia - Caquetá

4.1.1.1 Nivel freático

No se registra nivel freático en las perforaciones.

4.1.2 Ensayos de laboratorio

A partir de las muestras obtenidas durante las actividades de exploración, se programó una serie de ensayos de laboratorio con el fin de clasificar los materiales identificados y obtener propiedades índices y parámetros de deformabilidad de cada uno de los estratos que compone el perfil de suelo.

Tabla 5 Caracterización del suelo encontrado

Sondeo	Profundidad (m)	Muestra	Humedad (Wn)	Límites de Atterberg.			Granulometria			Clasificación de suelos
			[%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	Grava [%]	Arena [%]	Finos [%]	U.S.C.S
1	0,50 - 1,00	1	27,9	44,2	26,3	17,9	0,0	24,3	75,7	CL
	1,00 - 1,50	2	34,1	63,9	35,6	28,3	0,0	14,8	85,2	MH
	1,50 - 2,00	3	33,0	51,9	36,7	15,3	0,0	12,9	87,1	MH
	2,00 - 3,00	4	27,3	49,5	27,5	22,0	0,0	10,9	89,1	CL
	3,00 - 4,00	5	23,1	44,4	28,6	15,8	0,0	37,8	62,2	ML
	4,00 - 5,00	6	21,7	42,1	26,3	15,8	0,0	13,9	86,1	ML
	5,00 - 6,50	7	25,5	40,3	26,5	13,9	0,0	20,2	79,8	ML
2	0,50 - 1,00	1	33,2	50,7	32,8	17,9	0,0	11,2	88,8	MH
	1,00 - 2,00	2	33,5	53,4	35,3	18,1	0,0	4,3	95,7	MH
	2,00 - 3,00	3	33,8	58,4	35,0	23,5	0,0	6,4	93,6	MH
	3,00 - 4,00	4	28,9	53,2	29,2	24,0	0,0	7,0	93,0	MH
	4,00 - 5,00	5	26,8	45,3	29,2	16,1	0,0	19,7	80,3	ML
	5,00 - 6,50	6	26,9	48,4	28,5	19,9	0,0	21,6	78,4	ML
3	0,50 - 1,00	1	32,4	48,9	31,6	17,3	0,0	11,1	88,9	ML
	1,00 - 1,50	2	35,8	51,5	28,0	23,5	0,0	12,5	87,5	CH
	1,50 - 2,00	3	27,4	43,1	26,1	17,1	0,0	14,7	85,3	CL
	2,00 - 3,00	4	34,5	64,2	27,3	36,9	0,0	20,3	79,7	CH
	3,00 - 4,00	5	32,9	51,8	33,1	18,7	0,0	14,0	86,0	MH
	4,00 - 5,00	6	29,1	44,8	32,6	12,2	0,0	17,9	82,1	ML
	5,00 - 6,50	7	27,5	37,8	26,6	11,2	11,6	17,8	70,6	ML

4.2 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

El perfil estratigráfico de diseño se determina conforme a los resultados en campo (SPT) y a los encontrados en el laboratorio. A partir de ellos, cuidadosamente se estratifica teniendo en cuenta variaciones en el ensayo de SPT, granulometría, límites de Atterberg y parámetros de resistencia con la profundidad.

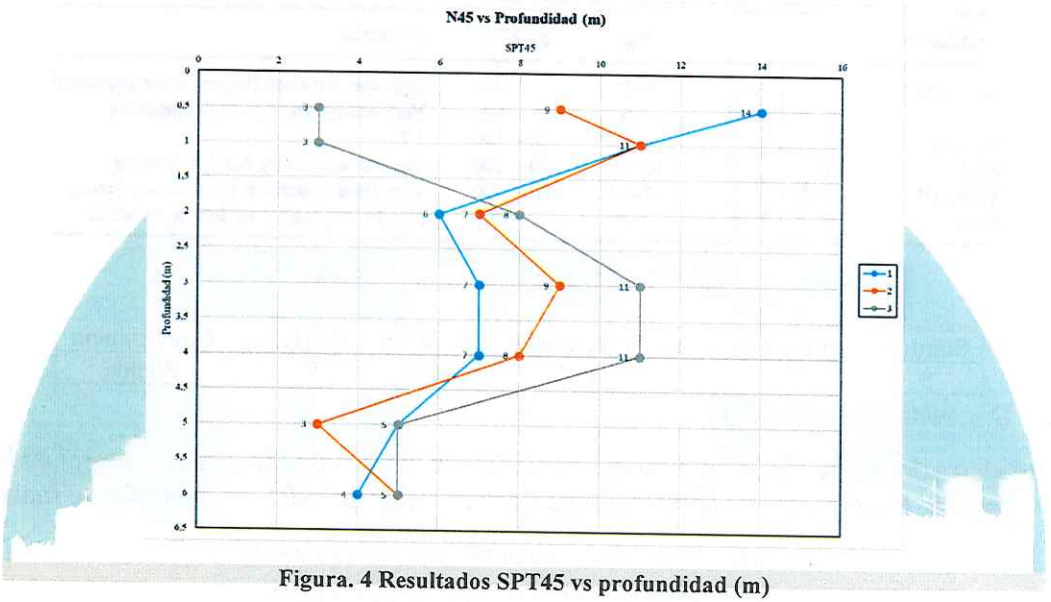


Figura. 4 Resultados SPT45 vs profundidad (m)

De esta forma se presenta los siguientes perfiles estratigráfico:

Perfil General:

- **Estrato 1 0.5 m – 6.0 m:** Se encuentran limos y arcillas de plasticidad baja a alta color naranja con porcentajes de arenas menores a 30%. Su índice de plasticidad promedia 19%, con limites líquidos menores a 49.4%. No se detecta nivel freático. La consistencia de los suelos disminuye en la profundidad, avanzando entre media a blanda.

4.3 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO

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 criterios para la definición de los parámetros geotécnicos de diseño.

4.3.1 Consistencia y resistencia no drenada (Cu)

A partir del número de golpes del SPT (N), se puede determinar la resistencia no drenada de los materiales finos.

Tabla 6 Consistencia y cohesión no drenada según SPT (Bowles, 1997)

Consistency			N'_{70}	q_u, kPa	Remarks
Very soft	NC	Young clay	0–2	<25	Squishes between fingers when squeezed
Soft			3–5	25– 50	Very easily deformed by squeezing
Medium			6–9	50– 100	? ?
Stiff	Increasing OCR	Aged/ cemented	10–16	100– 200	Hard to deform by hand squeezing
Very stiff			17–30	200– 400	Very hard to deform by hand squeezing
Hard			>30	>400	Nearly impossible to deform by hand

Tabla 7 Compresión inconfinada realizada

Sondeo	Profundidad (m)	γ (KN/m3)	Qu (KPa)	Su (KPa)	Consistencia
3	1.5	18.7	194.4	97.2	Blanda

4.3.2 Densidad relativa (Dr)

La densidad relativa se usa comúnmente para indicar la densidad in situ o la compacidad del suelo granular. Esta puede ser correlacionada con el valor del SPT de la siguiente manera:

Tabla 8 Densidad relativa según SPT (Terzaghi y peck, 1967)

SPT, N60	Densidad Relativa, Dr
0-4	Muy suelta
4-10	Suelta
10-30	Media
30-50	Densa
>50	Muy densa

4.3.3 Módulo de Elasticidad (Es)

Se utiliza la siguiente expresión para el cálculo del módulo de elasticidad en suelos granulares con presencia de fino:

Limos y arcillas con: 320*(15+N55) (Bowles, 1996)

Arenas: 500*(15+N55), (Bowles, 1996)

Limos: 400*N60 (CCP-14, 2014)

Arenas ligeramente limosas: 700*N60 (CCP-14)

Suelos finos IP<30%: 500*SU (Bowles, 1996)

Tabla 9 Módulo de elasticidad segun SPT

Perforación	Profundidad (m)	σ´(Kpa)	σ´ (kg/cm2)	NSPT	N60SPT1	N55SPT	Es Bowles (KPa)	Es CCP-14 (KPa)	Es promedio (KPa)
1	0	0	0,00						
	0,5	9,25	0,09	10	11	12	8640	4400	6520
	1	18,5	0,19	8	8	9	7680	3200	5440
	2	37,2	0,38	5	4	5	6400	1600	4000
	3	55,9	0,57	7	5	5	6400	2000	4200
	4	74,6	0,76	7	5	6	6720	2000	4360
	5	93,3	0,95	6	4	4	6080	1600	3840
	6	112,3	1,15	4	3	3	5760	1200	3480
	6,5	121,8	1,24						
2	0	0	0,00						
	0,5	9,25	0,09	6	6	7	7040	2400	4720
	1	18,5	0,19	8	8	9	7680	3200	5440
	2	37,2	0,38	6	5	5	6400	2000	4200
	3	55,9	0,57	9	6	7	7040	2400	4720
	4	74,6	0,76	8	6	6	6720	2400	4560
	5	93,3	0,95	4	3	3	5760	1200	3480
	6	112,3	1,15	6	4	4	6080	1600	3840
	6,5	121,8	1,24						
3	0	0	0,00						
	0,5	8,5	0,09	2	2	2	5440	800	3120
	1	17,25	0,18	2	2	2	5440	800	3120
	2	34,75	0,35	7	6	6	6720	2400	4560
	3	53,45	0,55	11	8	9	7680	3200	5440
	4	72,15	0,74	11	8	9	7680	3200	5440
	5	90,85	0,93	6	4	4	6080	1600	3840
	6	109,85	1,12	5	3	4	6080	1200	3640
	6,5	119,35	1,22						

4.3.4 Coeficiente de compresibilidad (Cc)

El coeficiente de compresibilidad describe el comportamiento de las deformaciones por consolidación en su rama virgen frente a cargas impuestas.

Cc: 0.046+0.0140*IP (Nakase et al, 1988)

4.3.5 Coeficiente de recompresión (Cr)

El coeficiente de recompresibilidad describe el comportamiento de las deformaciones por consolidación en su rama histórica de esfuerzos frente a cargas impuestas.

Cr: 0.00194(IP-4.6) (Nakase et al, 1988)

4.3.6 Relación de vacíos (eo)

La relación de vacíos describe la proporción existente de vacíos frente a la fracción sólida.

Eo: 0.02*Wn+0.08 (Al-Ameri & Al-Kahdaar, 2010)

4.3.7 La relación de sobreconsolidación (OCR)

Describe el esfuerzo más alto que han sentido los suelos en su historial de esfuerzos.

$$OCR = ks * \left(\frac{N}{\sigma' vo}\right) * pa$$

Donde Ks en este caso toma un valor de 0.2 y pa corresponde a la presión atmosférica (100 KPa).

4.3.8 Peso unitario (γ)

El peso unitario de los suelos se estimó teniendo en cuenta la tabla 10

LUNA GEO
Construcciones e ingeniería

Tabla 10 Peso Unitario (AS 4678, 2002)

		Bulk unit weight (kN/m³)		Saturated unit weight (kN/m³)	
		Loose	Dense	Loose	Dense
Granular soils	Gravel	16.0	18.0	20.0	21.0
	Well graded sand and gravel	19.0	21.0	21.5	23.0
	Coarse or medium sand	16.5	18.5	20.0	21.5
	Well graded sand	18.0	21.0	20.5	22.5
	Fine or silty sand	17.0	19.0	20.0	21.5
	Rock fill	15.0	17.5	19.5	21.0
	Brick hardcore	13.0	17.5	16.5	19.0
	Slag fill	12.0	15.0	18.0	20.0
	Ash fill	6.5	10.0	13.0	15.0
Cohesive soils	Peat (high variability)	12.0		12.0	
	Organic clay	15.0		15.0	
	Soft clay	17.0		17.0	
	Firm clay	18.0		18.0	
	Stiff clay	19.0		19.0	
	Hard clay	20.0		20.0	
	Stiff or hard glacial clay	21.0		21.0	

4.3.9 Parámetros geomecánicos (φ y c)

4.3.9.1 Ángulo de fricción (φ)

Para la estimación de este parámetro se utilizaron los valores del número de golpes del ensayo de penetración estándar corregidos ($N1_{60}$). De esta forma, se utilizaron las siguientes correlaciones para la determinación del ángulo de fricción del material, sustraídas del artículo "Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT" de la sociedad colombiana de ingenieros en 1999.

Finos

- $\varphi = 12.785 + \sqrt{25.858 * N72}(Montenegro, 2014)$

Granulares

- $\varphi = 15 + \sqrt{16.6 * N60}; Kishida$
- $\varphi = 27 + 0.25 * N60; JNR$
- $\varphi = 15 + \sqrt{12.5 * N60}$; JRB
- $\varphi = 28.5 + 0.33 * N60; Peck$

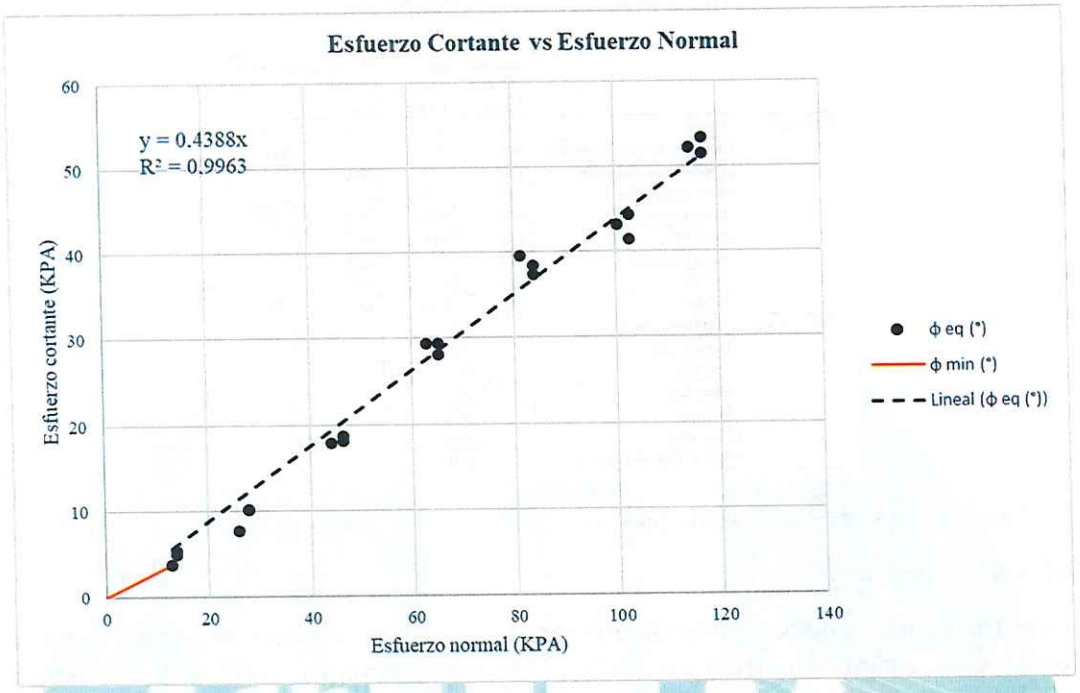


Figura. 5 Determinación de ángulo de fricción de Diseño estrato 1

Tabla 11 Ángulo de fricción en perfil

Estrato	Espesor (m)	φ (°)eq	φ (°)min
1	0.5 – 6.5	23.6	16.3

4.3.9.2 Cohesión

La cohesión drenada se desarrolla cuando la envolvente de falla pasa a través del plano τ-σ. Se tiene en cuenta para suelos cementados, parcialmente saturados y altamente sobreconsolidados. En suelos normalmente consolidados la cohesión toma un valor igual a 0 KPa.

Este valor se estima siguiendo la recomendación de Sorensen and Okkles (2013), que estima la cohesión como el 10% del valor de la cohesión no drenada. No obstante, se debe tener en cuenta que este parámetro puede desaparecer con el tiempo y con la ayudo del agua, por ende, su valor será reducido. Se considera la siguiente cohesión.

$$c' = 0.1 * Su = 0.1 * 97.2\ KPa = 9.7\ KPa; se\ selecciona\ 2.5\ KPa$$

4.4 RESUMEN DE PARAMETROS GEOTECNICOS DE DISEÑO

Perfil

Estrato	Espesor (m)	Clasificación	γ (KN/m3)	γ sat(KN/m3)	φ (°)	C (KPa)	Su (KPa)	Es (KPa)	Cc	Cr	Eo	OCR
1	0.5 – 6.0	MH-CH	18.7	19.0	23.0	2.5	97.2	4300	0.31	0.028	0.75	5.0

LUNA GEO
Construcciones e ingeniería

Carrera 6 #23 – 28, Barrio La Libertad
(+57) 3118568288
ing.carloespana.09@gmail.com
Florencia - Caquetá

5 PERFIL DE SUELO

5.1 FACTORES DE DISEÑO SÍSMICO

A partir de la norma NSR-10, se puede clasificar el proyecto en la zona de amenaza de la siguiente forma:

Tabla 12 Zona de amenaza según NSR-10

Departamento de Caquetá						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Florencia	18001	0.20	0.15	Intermedia	0.10	0.05
Albania	18029	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Belén de los Andaquies	18094	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.05
Cartagena del Chairá	18150	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Currillo	18205	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03

Para Florencia se tiene una amenaza sísmica **intermedia:**

- Aa: 0.20
- Av: 0.15
- Ae: 0.10
- Ad: 0.05

5.2 DEFINICIÓN DE TIPO DE PERFIL DEL SUELO

Para la clasificación del perfil del suelo se utilizó el promedio ponderado, ecuación A.2.4-1 de la Norma NSR-10 de la velocidad de onda encontrada a partir de los golpes SPT desde el primer metro de profundidad hasta el rechazo o 6.0 m, obteniéndose:

$$\widetilde{Vs} = \frac{\sum_{i=1}^{n} di}{\sum_{i=1}^{n} \frac{di}{Vsi}}$$

Donde

- Di = El espesor total del estrato, que para este caso será 6 m.
- Vsi= velocidad de onda del estrato.
- N= número de estratos.

Tabla 13 Clasificación de perfiles de suelo según la Norma NSR-10

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/cm²)
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/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
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 ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$
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: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

5.2.1 Estimación de velocidad de onda (Vs)

Se realizado el cálculo de la velocidad de onda teniendo en cuenta el número de golpes y las siguientes correlaciones:

Tabla 14 Correlación para la estimación de velocidades de onda

Fuente	Tipo de suelos	Correlación
Imai (1977)	Todos	$91N^{0.337}$
	Arenas	$80.6N^{0.331}$
	arcillas	$80.2N^{0.292}$
Ohta y Goto (1978	Todos	$85.35N^{0.348}$
Seed y Idriss (1981)	Todos	$61.4N^{0.5}$
Sykora y Stokoe (1983)	Arenas	$100.5N^{0.29}$
Okamoto et al (1989)	Arenas	$125N^{0.178}$
Pitilakis et al (1999)	Arenas	$145N^{0.178}$
	Arcillas	$132N^{0.271}$
Kiku et al (2001)	Todos	$68.3N^{0.292}$
Jafari et al (2002)	Arenas	$22N^{0.77}$

	Arcillas	$27N^{0.73}$
Hasancebi y Ulusay (2007)	Todos	$99N^{0.309}$
	Arenas	$90.82N^{0.269}$
	Arcillas	$97.89N^{0.269}$
Dikmen (2009)	Todos	$58N^{0.39}$
	Arenas	$73N^{0.33}$
	Arcillas	$44N^{0.48}$

N= Valor de SPT normalizado para energía del 60%

Tabla 15 Resultados de Velocidad de onda

Perforación	Profundidad (m)	σ´(Kpa)	σ´ (kg/cm2)	NSPT	N60SPT1	N45SPT1	Promedio (Vs)
1	0	0	0,00				
	0,5	9,25	0,09	10	11	14	183,6
	1	18,5	0,19	8	8	11	164,6
	2	37,2	0,38	5	4	6	130,8
	3	55,9	0,57	7	5	7	140,7
	4	74,6	0,76	7	5	7	140,7
	5	93,3	0,95	6	4	5	130,8
	6	112,3	1,15	4	3	4	119,2
	6,5	121,8	1,24				
2	0	0	0,00				
	0,5	9,25	0,09	6	6	9	149,5
	1	18,5	0,19	8	8	11	164,6
	2	37,2	0,38	6	5	7	140,7
	3	55,9	0,57	9	6	9	149,5
	4	74,6	0,76	8	6	8	149,5
	5	93,3	0,95	4	3	3	119,2
	6	112,3	1,15	6	4	5	130,8
	6,5	121,8	1,24				
3	0	0	0,00				
	0,5	8,5	0,09	2	2	3	104,8
	1	17,25	0,18	2	2	3	104,8
	2	34,75	0,35	7	6	8	149,5
	3	53,45	0,55	11	8	11	164,6
	4	72,15	0,74	11	8	11	164,6

	5	90,85	0,93	6	4	5	130,8
	6	109,85	1,12	5	3	5	119,2
	6,5	119,35	1,22				

De este modo se tiene velocidad de onda promedio de 140.6 **m/s, clasificando el perfil del suelo tipo E.**

5.3 VALORES DE COEFICIENTES DE FA Y FV

El valor de los coeficientes Fa y Fv se obtiene a partir de Aa y del perfil de suelo definido para el proyecto. Para su determinación se hace uso de las siguientes tablas del título A de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10.

Tabla 16 Coeficiente Fa

Tabla A.2.4-3
Valores del coeficiente F_a, para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
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

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla 17 Coeficientes Fv

Tabla A.2.4-4
Valores del coeficiente F_v, para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
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

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.