



PROYECTO: “ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA EL DETALLE DE INGENIERÍAS DE LA LÍNEA ROLDÓS – OFELIA”

PRODUCTO 1 CAPÍTULO B: INFORME GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO TOMO 1

RESPONSABLES:

	NOMBRE(S)	CÉDULA(S)	FIRMA(S)
ELABORADO POR	Ing. Galo Plaza	170303726-5	
REVISADO POR, JEFE DE ÁREA	Ing. Jorge Valverde	170382052-0	
APROBADO POR	Ing. Carlos Baldeón	170437889-0	

CÓDIGO: QC-OR-TT-GEO1-MC-001

ABRIL 2016

Índice

TOMO 1

1. RESUMEN	21
2. INTRODUCCIÓN	23
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	23
4. PROPÓSITO Y ALCANCE	24
5. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	25
5.2. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.	25
5.3. GEOMORFOLOGÍA.....	26
5.4. TECTÓNICA.....	27
5.5. HIDROGEOLOGÍA	27
5.6. GEOLOGÍA DEL TRAZADO DE LA LÍNEA.....	28
5.6.1. <i>Características litológicas</i>	29
5.6.2. <i>Características Estructurales y Morfológicas</i>	30
5.7. AMENAZAS O PELIGROS (RIESGOS) GEOLÓGICOS	31
5.7.1. <i>El Peligro Sísmico</i>	32
5.7.2. <i>El Peligro Volcánico</i>	32
5.7.3. <i>El peligro por Deslizamientos</i>	33
5.8. GEOLOGÍA DE LOS SITIOS DE OBRA	34
6. ESTACIONES	35
6.1. ESTACIÓN 1, LA OFELIA	35
6.1.1. <i>Investigación de campo</i>	35
6.1.1.1. Generalidades.....	35
6.1.1.2. Exploración	35
6.1.1.3. Niveles Freáticos.....	36
6.1.2. <i>Investigación de Laboratorio</i>	36
6.2.3.1. Ensayos de Clasificación	36
6.2.3.2. Ensayos de Consolidación	36
6.2.3.3. Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	37
6.1.3. <i>Condiciones generales del Sitio</i>	37
6.1.3.1. Ubicación del sitio.....	37
6.1.3.2. Topografía.....	37
6.1.3.3. Geología del Sector	37
6.1.3.4. Estratigrafía del Sitio.....	39
6.1.4. <i>Recomendaciones del estudio</i>	40

6.1.4.1.	Criterio de Cimentación	40
6.1.4.2.	Cimentación de la Estructura	40
6.1.4.3.	Capacidad de Carga	40
6.1.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	43
6.1.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	43
6.1.4.6.	Licuación de los Suelos	43
6.1.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	44
6.2.	ESTACIÓN 2, MARISCAL SUCRE.....	45
6.2.1.	<i>Investigación de campo</i>	45
6.2.1.1.	Generalidades.....	45
6.2.1.2.	Exploración	45
6.2.1.3.	Niveles Freáticos.....	46
6.2.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	46
6.2.2.1.	Ensayos de Clasificación	47
6.2.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	47
6.2.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	47
6.2.3.1.	Ubicación del sitio.....	47
6.2.3.2.	Topografía.....	48
6.2.3.3.	Geología del Sector.....	48
6.2.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	49
6.2.3.5.	Parámetros Mecánicos	50
6.2.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	51
6.2.4.1.	Criterio de Cimentación	51
6.2.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	51
6.2.4.3.	Capacidad de Carga	51
6.2.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	53
6.2.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	54
6.2.4.6.	Licuación de los Suelos	54
6.2.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	54
6.3.	ESTACIÓN 3, COLINAS DEL NORTE.....	56
6.3.1.	<i>Investigación de campo</i>	56
6.3.1.1.	Generalidades.....	56
6.3.1.2.	Exploración	56
6.3.1.3.	Niveles Freáticos.....	57
6.3.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	57
6.3.2.1.	Ensayos de Clasificación	57
6.3.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	58
6.3.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	58
6.3.3.1.	Ubicación del sitio.....	58
6.3.3.2.	Topografía.....	58
6.3.3.3.	Geología del Sector.....	58

6.3.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	60
6.3.3.5.	Parámetros Mecánicos	61
6.3.4.	Recomendaciones del estudio.....	62
6.3.4.1.	Criterio de Cimentación	62
6.3.4.2.	Cimentación de las Estructuras.....	62
6.3.4.3.	Capacidad de Carga	62
6.3.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	65
6.3.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	66
6.3.4.6.	Licuación de los Suelos	66
6.3.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	66
6.4.	ESTACIÓN 4, ROLDÓS	68
6.4.1.	Investigación de campo	68
6.4.1.1.	Generalidades.....	68
6.4.1.2.	Exploración	68
6.4.1.3.	Niveles Freáticos.....	69
6.4.2.	Investigación de Laboratorio	69
6.4.2.1.	Ensayos de Clasificación	69
6.4.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	69
6.4.3.	Condiciones generales del Sitio	70
6.4.3.1.	Ubicación del sitio.....	70
6.4.3.2.	Topografía.....	70
6.4.3.3.	Geología del Sector	70
6.4.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	71
6.4.4.	Recomendaciones del estudio.....	72
6.4.4.1.	Criterio de Cimentación	72
6.4.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	73
6.4.4.3.	Capacidad de Carga	73
6.4.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	75
6.4.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	75
6.4.4.6.	Licuación de los Suelos	76
6.4.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	76
7.	PILONAS	78
7.1.	PILONA 1	78
7.1.1.	Investigación de campo	78
7.1.1.1.	Generalidades.....	78
7.1.1.2.	Exploración	78
7.1.1.3.	Niveles Freáticos.....	79
7.1.2.	Investigación de Laboratorio	79
7.1.2.1.	Ensayos de Clasificación	79
7.1.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	79

7.1.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	80
7.1.3.1.	Ubicación del sitio.....	80
7.1.3.2.	Topografía.....	80
7.1.3.3.	Geología del Sector.....	80
7.1.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	80
7.1.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	81
7.1.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	82
7.1.4.1.	Criterio de Cimentación.....	82
7.1.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	82
7.1.4.3.	Capacidad de Carga.....	82
7.1.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	84
7.1.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	85
7.1.4.6.	Licuación de los Suelos.....	85
7.1.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	85
7.2.	PILONA 2.....	87
7.2.1.	<i>Investigación de campo</i>	87
7.2.1.1.	Generalidades.....	87
7.2.1.2.	Exploración.....	87
7.2.1.3.	Niveles Freáticos.....	88
7.2.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	88
7.2.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	88
7.2.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	88
7.2.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	88
7.2.3.1.	Ubicación del sitio.....	88
7.2.3.2.	Topografía.....	89
7.2.3.3.	Geología del Sector.....	89
7.2.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	89
7.2.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	90
7.2.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	91
7.2.4.1.	Criterio de Cimentación.....	91
7.2.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	91
7.2.4.3.	Capacidad de Carga.....	91
7.2.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	93
7.2.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	94
7.2.4.6.	Licuación de los Suelos.....	94
7.2.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	94
7.3.	PILONA 03.....	96
7.3.1.	<i>Investigación de campo</i>	96
7.3.1.1.	Generalidades.....	96
7.3.1.2.	Exploración.....	96
7.3.1.3.	Niveles Freáticos.....	97

7.3.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	97
7.3.2.1.	Ensayos de Clasificación	97
7.3.2.2.	Ensayos de Resistencia	97
7.3.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	97
7.3.3.1.	Ubicación del sitio.....	97
7.3.3.2.	Topografía.....	98
7.3.3.3.	Geología del Sector.....	98
7.3.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	98
7.3.3.5.	Parámetros Mecánicos	99
7.3.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	100
7.3.4.1.	Criterio de Cimentación	100
7.3.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	100
7.3.4.3.	Capacidad de Carga	100
7.3.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	102
7.3.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	103
7.3.4.6.	Licuaación de los Suelos	103
7.3.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	103
7.4.	PILONA 4	105
7.4.1.	<i>Investigación de campo</i>	105
7.4.1.1.	Generalidades.....	105
7.4.1.2.	Exploración	105
7.4.1.3.	Niveles Freáticos.....	106
7.4.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	106
7.4.2.1.	Ensayos de Clasificación	106
7.4.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	106
7.4.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	106
7.4.3.1.	Ubicación del sitio.....	106
7.4.3.2.	Topografía.....	107
7.4.3.3.	Geología del Sector.....	107
7.4.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	108
7.4.3.5.	Parámetros Mecánicos	108
7.4.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	109
7.4.4.1.	Criterio de Cimentación	109
7.4.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	109
7.4.4.3.	Capacidad de Carga	109
7.4.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	111
7.4.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	112
7.4.4.6.	Licuaación de los Suelos	112
7.4.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	112
7.5.	PILONA 5	114
7.5.1.	<i>Investigación de campo</i>	114

7.5.1.1.	Generalidades.....	114
7.5.1.2.	Exploración	114
7.5.1.3.	Niveles Freáticos.....	115
7.5.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	115
7.5.2.1.	Ensayos de Clasificación	115
7.5.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	116
7.5.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	116
7.5.3.1.	Ubicación del sitio.....	116
7.5.3.2.	Topografía.....	116
7.5.3.3.	Geología del Sector.....	116
7.5.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	117
7.5.3.5.	Parámetros Mecánicos	118
7.5.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	118
7.5.4.1.	Criterio de Cimentación	118
7.5.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	119
7.5.4.3.	Capacidad de Carga	119
7.5.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	121
7.5.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	121
7.5.4.6.	Licucción de los Suelos	122
7.5.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	122
7.6.	PILONA 6	124
7.6.1.	<i>Investigación de campo</i>	124
7.6.1.1.	Generalidades.....	124
7.6.1.2.	Exploración	124
7.6.1.3.	Niveles Freáticos.....	125
7.6.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	125
7.6.2.1.	Ensayos de Clasificación	125
7.6.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	125
7.6.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	125
7.6.3.1.	Ubicación del sitio.....	125
7.6.3.2.	Topografía.....	126
7.6.3.3.	Geología del Sector.....	126
7.6.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	127
7.6.3.5.	Parámetros Mecánicos	127
7.6.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	128
7.6.4.1.	Criterio de Cimentación	128
7.6.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	128
7.6.4.3.	Capacidad de Carga	128
7.6.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	130
7.6.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	131
7.6.4.6.	Licucción de los Suelos	131

7.6.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	131
7.7.	PILONA 7.....	133
7.7.1.	<i>Investigación de campo</i>	133
7.7.1.1.	Generalidades.....	133
7.7.1.2.	Exploración.....	133
7.7.1.3.	Niveles Freáticos.....	134
7.7.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	134
7.7.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	134
7.7.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	135
7.7.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	135
7.7.3.1.	Ubicación del sitio.....	135
7.7.3.2.	Topografía.....	135
7.7.4.	<i>Geología del Sector</i>	135
7.7.4.1.	Estratigrafía del Sitio.....	136
7.7.4.2.	Parámetros Mecánicos.....	137
7.7.5.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	137
7.7.5.1.	Criterio de Cimentación.....	137
7.7.5.2.	Cimentación de la Estructura.....	138
7.7.5.3.	Capacidad de Carga.....	138
7.7.5.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	140
7.7.5.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	140
7.7.5.6.	Licuaación de los Suelos.....	141
7.7.5.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	141
7.8.	PILONA 8.....	143
7.8.1.	<i>Investigación de campo</i>	143
7.8.1.1.	Generalidades.....	143
7.8.1.2.	Exploración.....	143
7.8.1.3.	Niveles Freáticos.....	144
7.8.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	144
7.8.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	144
7.8.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	145
7.8.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	145
7.8.3.1.	Ubicación del sitio.....	145
7.8.3.2.	Topografía.....	145
7.8.3.3.	Geología del Sector.....	145
7.8.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	146
7.8.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	147
7.8.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	147
7.8.4.1.	Criterio de Cimentación.....	147
7.8.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	148

7.8.4.3.	Capacidad de Carga	148
7.8.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	150
7.8.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	150
7.8.4.6.	Licuación de los Suelos	151
7.8.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	151
7.9.	PILONA 9	153
7.9.1.	<i>Investigación de campo</i>	153
7.9.1.1.	Generalidades.....	153
7.9.1.2.	Exploración	153
7.9.1.3.	Niveles Freáticos.....	154
7.9.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	154
7.9.2.1.	Ensayos de Clasificación	154
7.9.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	154
7.9.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	154
7.9.3.1.	Ubicación del sitio.....	154
7.9.3.2.	Topografía.....	155
7.9.3.3.	Geología del Sector	155
7.9.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	155
7.9.3.5.	Parámetros Mecánicos	156
7.9.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	156
7.9.4.1.	Criterio de Cimentación	156
7.9.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	157
7.9.4.3.	Capacidad de Carga	157
7.9.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	159
7.9.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	159
7.9.4.6.	Licuación de los Suelos	160
7.9.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	160
7.10.	PILONA 10	162
7.10.1.	<i>Investigación de campo</i>	162
7.10.1.1.	Generalidades.....	162
7.10.1.2.	Exploración	162
7.10.1.3.	Niveles Freáticos.....	163
7.10.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	163
7.10.2.1.	Ensayos de Clasificación	163
7.10.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	164
7.10.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	164
7.10.3.1.	Ubicación del sitio.....	164
7.10.3.2.	Topografía.....	164
7.10.3.3.	Geología del Sector	164
7.10.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	165
7.10.3.5.	Parámetros Mecánicos	166

7.10.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	166
7.10.4.1.	Criterio de Cimentación	166
7.10.4.2.	Cimentación de la Estructura	167
7.10.4.3.	Capacidad de Carga	167
7.10.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	169
7.10.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	169
7.10.4.6.	Licuación de los Suelos	170
7.10.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	170
7.11.	PILONA 11	172
7.11.1.	<i>Investigación de campo</i>	172
7.11.1.1.	Generalidades.....	172
7.11.1.2.	Exploración	172
7.11.1.3.	Niveles Freáticos.....	173
7.11.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	173
7.11.2.1.	Ensayos de Clasificación	173
7.11.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	173
7.11.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	173
7.11.3.1.	Ubicación del sitio.....	173
7.11.3.2.	Topografía.....	174
7.11.3.3.	Geología del Sector.....	174
7.11.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	175
7.11.3.5.	Parámetros Mecánicos	176
7.11.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	176
7.11.4.1.	Criterio de Cimentación	176
7.11.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	176
7.11.4.3.	Capacidad de Carga	176
7.11.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	179
7.11.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	179
7.11.4.6.	Licuación de los Suelos	179
7.11.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	180
7.12.	PILONA 12	181
7.12.1.	<i>Investigación de campo</i>	181
7.12.1.1.	Generalidades.....	181
7.12.1.2.	Exploración	181
7.12.1.3.	Niveles Freáticos.....	182
7.12.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	182
7.12.2.1.	Ensayos de Clasificación	182
7.12.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	182
7.12.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	182
7.12.3.1.	Ubicación del sitio.....	182
7.12.3.2.	Topografía.....	183

7.12.3.3.	Geología del Sector.....	183
7.12.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	184
7.12.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	185
7.12.4.	Recomendaciones del estudio.....	186
7.12.4.1.	Criterio de Cimentación.....	186
7.12.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	186
7.12.4.3.	Capacidad de Carga.....	186
7.12.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	189
7.12.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	189
7.12.4.6.	Licuación de los Suelos.....	189
7.12.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	190
7.13.	PILONA 13.....	191
7.13.1.	<i>Investigación de campo.....</i>	<i>191</i>
7.13.1.1.	Generalidades.....	191
7.13.1.2.	Exploración.....	191
7.13.1.3.	Niveles Freáticos.....	192
7.13.2.	<i>Investigación de Laboratorio.....</i>	<i>192</i>
7.13.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	192
7.13.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	192
7.13.3.	<i>Condiciones generales del Sitio.....</i>	<i>192</i>
7.13.3.1.	Ubicación del sitio.....	192
7.13.3.2.	Topografía.....	193
7.13.3.3.	Geología del Sector.....	193
7.13.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	194
7.13.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	195
7.13.4.	<i>Recomendaciones del estudio.....</i>	<i>196</i>
7.13.4.1.	Criterio de Cimentación.....	196
7.13.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	196
7.13.4.3.	Capacidad de Carga.....	196
7.13.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	198
7.13.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	199
7.13.4.6.	Licuación de los Suelos.....	199
7.13.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	199
7.14.	PILONA 14.....	201
7.14.1.	<i>Investigación de campo.....</i>	<i>201</i>
7.14.1.1.	Generalidades.....	201
7.14.1.2.	Exploración.....	201
7.14.1.3.	Niveles Freáticos.....	202
7.14.2.	<i>Investigación de Laboratorio.....</i>	<i>202</i>
7.14.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	202
7.14.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	202

7.14.3.	Condiciones generales del Sitio	202
7.14.3.1.	Ubicación del sitio.....	202
7.14.3.2.	Topografía.....	203
7.14.3.3.	Geología del Sector.....	203
7.14.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	204
7.14.3.5.	Parámetros Mecánicos	204
7.14.4.	Recomendaciones del estudio	205
7.14.4.1.	Criterio de Cimentación	205
7.14.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	205
7.14.4.3.	Capacidad de Carga	205
7.14.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	208
7.14.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	208
7.14.4.6.	Licuación de los Suelos	208
7.14.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	209
7.15.	PILONA 15	210
7.15.1.	Investigación de campo	210
7.15.1.1.	Generalidades.....	210
7.15.1.2.	Exploración	210
7.15.1.3.	Niveles Freáticos.....	211
7.15.2.	Investigación de Laboratorio	211
7.15.2.1.	Ensayos de Clasificación	211
7.15.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	211
7.15.3.	Condiciones generales del Sitio	211
7.15.3.1.	Ubicación del sitio.....	211
7.15.3.2.	Topografía.....	212
7.15.3.3.	Geología del Sector.....	212
7.15.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	214
7.15.3.5.	Parámetros Mecánicos	214
7.15.4.	Recomendaciones del estudio	215
7.15.4.1.	Criterio de Cimentación	215
7.15.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	215
7.15.4.3.	Capacidad de Carga	215
7.15.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	218
7.15.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	218
7.15.4.6.	Licuación de los Suelos	218
7.15.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	219
7.16.	PILONA 16	220
7.16.1.	Investigación de campo	220
7.16.1.1.	Generalidades.....	220
7.16.1.2.	Exploración	220
7.16.1.3.	Niveles Freáticos.....	221

7.16.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	221
7.16.2.1.	Ensayos de Clasificación	221
7.16.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	221
7.16.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	221
7.16.3.1.	Ubicación del sitio.....	221
7.16.3.2.	Topografía.....	222
7.16.3.3.	Geología del Sector	222
7.16.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	223
7.16.3.5.	Parámetros Mecánicos	223
7.16.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	224
7.16.4.1.	Criterio de Cimentación	224
7.16.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	224
7.16.4.3.	Capacidad de Carga	224
7.16.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	227
7.16.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	227
7.16.4.6.	Licuaación de los Suelos	227
7.16.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	228
7.17.	PILONA 17	229
7.17.1.	<i>Investigación de campo</i>	229
7.17.1.1.	Generalidades.....	229
7.17.1.2.	Exploración	229
7.17.1.3.	Niveles Freáticos.....	230
7.17.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	230
7.17.2.1.	Ensayos de Clasificación	230
7.17.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	230
7.17.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	230
7.17.3.1.	Ubicación del sitio.....	230
7.17.3.2.	Topografía.....	231
7.17.3.3.	Geología del Sector	231
7.17.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	232
7.17.3.5.	Parámetros Mecánicos	233
7.17.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	233
7.17.4.1.	Criterio de Cimentación	233
7.17.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	233
7.17.4.3.	Capacidad de Carga	233
7.17.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	236
7.17.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	236
7.17.4.6.	Licuaación de los Suelos	236
7.17.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	237
7.18.	PILONA 18	238
7.18.1.	<i>Investigación de campo</i>	238

7.18.1.1.	Generalidades.....	238
7.18.1.2.	Exploración	238
7.18.1.3.	Niveles Freáticos.....	239
7.18.2.	Investigación de Laboratorio.....	239
7.18.2.1.	Ensayos de Clasificación	239
7.18.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	240
7.18.3.	Condiciones generales del Sitio	240
7.18.3.1.	Ubicación del sitio.....	240
7.18.3.2.	Topografía.....	240
7.18.3.3.	Geología del Sector.....	240
7.18.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	242
7.18.3.5.	Parámetros Mecánicos	243
7.18.4.	Recomendaciones del estudio	243
7.18.4.1.	Criterio de Cimentación	243
7.18.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	243
7.18.4.3.	Capacidad de Carga	243
7.18.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	245
7.18.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	245
7.18.4.6.	Licucción de los Suelos	245
7.18.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	246
7.19.	PILONA 19.....	247
7.19.1.	Investigación de campo.....	247
7.19.1.1.	Generalidades.....	247
7.19.1.2.	Exploración	247
7.19.1.3.	Niveles Freáticos.....	248
7.19.2.	Investigación de Laboratorio.....	248
7.19.2.1.	Ensayos de Clasificación	248
7.19.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	248
7.19.3.	Condiciones generales del Sitio	248
7.19.3.1.	Ubicación del sitio.....	248
7.19.3.2.	Topografía.....	249
7.19.3.3.	Geología del Sector.....	249
7.19.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	249
7.19.3.5.	Parámetros Mecánicos	250
7.19.4.	Recomendaciones del estudio	250
7.19.4.1.	Criterio de Cimentación	250
7.19.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	251
7.19.4.3.	Capacidad de Carga	251
7.19.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	253
7.19.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	253
7.19.4.6.	Licucción de los Suelos	254

7.19.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	254
7.20.	PILONA 20.....	256
7.20.1.	<i>Investigación de campo.....</i>	256
7.20.1.1.	Generalidades.....	256
7.20.1.2.	Exploración.....	256
7.20.1.3.	Niveles Freáticos.....	257
7.20.2.	<i>Investigación de Laboratorio.....</i>	257
7.20.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	257
7.20.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	257
7.20.3.	<i>Condiciones generales del Sitio.....</i>	257
7.20.3.1.	Ubicación del sitio.....	257
7.20.3.2.	Topografía.....	258
7.20.3.3.	Geología del Sector.....	258
7.20.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	258
7.20.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	259
7.20.4.	<i>Recomendaciones del estudio.....</i>	260
7.20.4.1.	Criterio de Cimentación.....	260
7.20.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	260
7.20.4.3.	Capacidad de Carga.....	260
7.20.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	262
7.20.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	263
7.20.4.6.	Licuación de los Suelos.....	263
7.20.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	263
7.21.	PILONA 21.....	265
7.21.1.	<i>Investigación de campo.....</i>	265
7.21.1.1.	Generalidades.....	265
7.21.1.2.	Exploración.....	265
7.21.1.3.	Niveles Freáticos.....	266
7.21.2.	<i>Investigación de Laboratorio.....</i>	266
7.21.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	266
7.21.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	266
7.21.3.	<i>Condiciones generales del Sitio.....</i>	266
7.21.3.1.	Ubicación del sitio.....	266
7.21.3.2.	Topografía.....	267
7.21.3.3.	Geología del Sector.....	267
7.21.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	268
7.21.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	268
7.21.4.	<i>Recomendaciones del estudio.....</i>	269
7.21.4.1.	Criterio de Cimentación.....	269
7.21.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	269
7.21.4.3.	Capacidad de Carga.....	269

7.21.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	272
7.21.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	272
7.21.4.6.	Licuación de los Suelos	272
7.21.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	273
7.22.	PILONA 22	274
7.22.1.	<i>Investigación de campo</i>	274
7.22.1.1.	Generalidades.....	274
7.22.1.2.	Exploración	274
7.22.1.3.	Niveles Freáticos.....	275
7.22.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	275
7.22.2.1.	Ensayos de Clasificación	275
7.22.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	276
7.22.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	276
7.22.3.1.	Ubicación del sitio.....	276
7.22.3.2.	Topografía.....	276
7.22.3.3.	Geología del Sector.....	276
7.22.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	277
7.22.3.5.	Parámetros Mecánicos	278
7.22.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	278
7.22.4.1.	Criterio de Cimentación	278
7.22.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	279
7.22.4.3.	Capacidad de Carga	279
7.22.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	281
7.22.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	281
7.22.4.6.	Licuación de los Suelos	282
7.22.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	282
7.23.	PILONA 23	284
7.23.1.	<i>Investigación de campo</i>	284
7.23.1.1.	Generalidades.....	284
7.23.1.2.	Exploración	284
7.23.1.3.	Niveles Freáticos.....	285
7.23.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	285
7.23.2.1.	Ensayos de Clasificación	285
7.23.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	285
7.23.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	285
7.23.3.1.	Ubicación del sitio.....	285
7.23.3.2.	Topografía.....	286
7.23.3.3.	Geología del Sector.....	286
7.23.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	287
7.23.3.5.	Parámetros Mecánicos	287
7.23.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	288

7.23.4.1.	Criterio de Cimentación	288
7.23.4.2.	Cimentación de la Estructura	288
7.23.4.3.	Capacidad de Carga	288
7.23.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	290
7.23.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	291
7.23.4.6.	Licuación de los Suelos	291
7.23.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	291
7.24.	PILONA 24	293
7.24.1.	<i>Investigación de campo</i>	293
7.24.1.1.	Generalidades.....	293
7.24.1.2.	Exploración	293
7.24.1.3.	Niveles Freáticos.....	294
7.24.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	294
7.24.2.1.	Ensayos de Clasificación	294
7.24.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	295
7.24.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	295
7.24.3.1.	Ubicación del sitio.....	295
7.24.3.2.	Topografía.....	295
7.24.3.3.	Geología del Sector.....	295
7.24.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	296
7.24.3.5.	Parámetros Mecánicos	297
7.24.4.	<i>Recomendaciones del estudio</i>	298
7.24.4.1.	Criterio de Cimentación	298
7.24.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	298
7.24.4.3.	Capacidad de Carga	298
7.24.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	301
7.24.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	301
7.24.4.6.	Licuación de los Suelos	301
7.24.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	302
7.25.	PILONA 25	303
7.25.1.	<i>Investigación de campo</i>	303
7.25.1.1.	Generalidades.....	303
7.25.1.2.	Exploración	303
7.25.1.3.	Niveles Freáticos.....	304
7.25.2.	<i>Investigación de Laboratorio</i>	304
7.25.2.1.	Ensayos de Clasificación	304
7.25.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	305
7.25.3.	<i>Condiciones generales del Sitio</i>	305
7.25.3.1.	Ubicación del sitio.....	305
7.25.3.2.	Topografía.....	305
7.25.3.3.	Geología del Sector.....	305

7.25.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	306
7.25.3.5.	Parámetros Mecánicos	307
7.25.4.	Recomendaciones del estudio	308
7.25.4.1.	Criterio de Cimentación	308
7.25.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	308
7.25.4.3.	Capacidad de Carga	308
7.25.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	311
7.25.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	311
7.25.4.6.	Licuación de los Suelos	311
7.25.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	312
7.26.	PILONA 26	313
7.26.1.	Investigación de campo.....	313
7.26.1.1.	Generalidades.....	313
7.26.1.2.	Exploración	313
7.26.1.3.	Niveles Freáticos.....	314
7.26.2.	Investigación de Laboratorio.....	314
7.26.2.1.	Ensayos de Clasificación	314
7.26.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	314
7.26.3.	Condiciones generales del Sitio	314
7.26.3.1.	Ubicación del sitio.....	314
7.26.3.2.	Topografía.....	315
7.26.3.3.	Geología del Sector	315
7.26.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	316
7.26.3.5.	Parámetros Mecánicos	317
7.26.4.	Recomendaciones del estudio	317
7.26.4.1.	Criterio de Cimentación	317
7.26.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	317
7.26.4.3.	Capacidad de Carga	317
7.26.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos	320
7.26.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	320
7.26.4.6.	Licuación de los Suelos	320
7.26.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	321
7.27.	PILONA 27	322
7.27.1.	Investigación de campo.....	322
7.27.1.1.	Generalidades.....	322
7.27.1.2.	Exploración	322
7.27.1.3.	Niveles Freáticos.....	323
7.27.2.	Investigación de Laboratorio.....	323
7.27.2.1.	Ensayos de Clasificación	323
7.27.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	323
7.27.3.	Condiciones generales del Sitio	323

7.27.3.1.	Ubicación del sitio.....	323
7.27.3.2.	Topografía.....	324
7.27.3.3.	Geología del Sector.....	324
7.27.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	325
7.27.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	326
7.27.4.	Recomendaciones del estudio.....	326
7.27.4.1.	Criterio de Cimentación.....	326
7.27.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	326
7.27.4.3.	Capacidad de Carga.....	326
7.27.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	329
7.27.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	329
7.27.4.6.	Licuación de los Suelos.....	329
7.27.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	330
7.28.	PILONA 28.....	331
7.28.1.	Investigación de campo.....	331
7.28.1.1.	Generalidades.....	331
7.28.1.2.	Exploración.....	331
7.28.1.3.	Niveles Freáticos.....	332
7.28.2.	Investigación de Laboratorio.....	332
7.28.2.1.	Ensayos de Clasificación.....	332
7.28.2.2.	Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	333
7.28.3.	Condiciones generales del Sitio.....	333
7.28.3.1.	Ubicación del sitio.....	333
7.28.3.2.	Topografía.....	333
7.28.3.3.	Geología del Sector.....	333
7.28.3.4.	Estratigrafía del Sitio.....	334
7.28.3.5.	Parámetros Mecánicos.....	335
7.28.4.	Recomendaciones del estudio.....	336
7.28.4.1.	Criterio de Cimentación.....	336
7.28.4.2.	Cimentación de la Estructura.....	336
7.28.4.3.	Capacidad de Carga.....	336
7.28.4.4.	Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos.....	338
7.28.4.5.	Resistividad Eléctrica del Sitio.....	339
7.28.4.6.	Licuación de los Suelos.....	339
7.28.4.7.	Estabilidad de los Taludes y Cortes.....	339
8.	RELLENO Y COMPACTACIÓN.....	341
8.1.	GENERALIDADES.....	341
8.1.1.	Relleno.....	341
9.	CONCLUSIONES.....	342

10. RECOMENDACIONES	345
11. OBRAS DE PROTECCIÓN.....	346
12. CONSULTA GEOTÉCNICA.....	346
13. LIMITACIONES DEL REPORTE	346
14. BIBLIOGRAFÍA.....	346

TOMO 2

APÉNDICES

B1 CURVAS DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

B2 REGISTRO DE PERFORACIÓN

B3 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

B4 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN SUCS

B5 PANEL FOTOGRÁFICO

B6 MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR, ESCALA 1:50000, HOJA EL QUINCHE, 1990.

B7 MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR, ESCALA 1:50000, HOJA NONO, 1978.

B8 MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR, ESCALA 1:50000, HOJA CHAUPICRUZ, 1982.

B9 MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA – ECUADOR; IG-EPN, DGP – SUIM, 1999.

ÍNDICE DE PLANOS

B10 MAPA GEOLÓGICO, CORTE GEOTÉCNICO, UBICACIÓN DE SONDEOS

B11 MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA: LÍNEA ROLDÓS- OFELIA (TOMADO Y MODIFICADO DEL MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA – ECUADOR; IG-EPN, DGP – SUIM, 1999).

1. Resumen

El presente reporte contiene el informe del estudio de suelos, practicado en los sitios ubicados a lo largo del eje propuesto, para implantar una línea de teleférico, que servirá como medio de transporte público, al sector norte de la ciudad de Quito. El propósito de este estudio es explorar las condiciones del subsuelo, para caracterizar cada uno de los sitios de implantación de los apoyos y estaciones, así como para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos correspondientes a los estratos superiores. El objetivo específico de este estudio es el de proporcionar los parámetros mecánicos, para calcular la capacidad de carga y las características de deformabilidad de los suelos, que servirán de soporte para las estructuras, que formarán parte del proyecto.

El marco geológico regional, la geología del trazado y de los sitios de obra, así como las amenazas geológicas descritas a continuación validan, sintetizan y complementan la información del Estudio Geológico-Geotécnico realizado por la U. Católica (2015), y que forma parte de la información de base para este estudio. El presente estudio se confronta con la información geológica oficial disponible (DGGM, 1982, 1980, 1978), las observaciones en el terreno realizadas para este trabajo y la experiencia del autor.

El área del terreno destinado al proyecto está definida por una franja delgada de aproximadamente 3.70116 kilómetros de longitud, siguiendo una pendiente con desnivel de 122.56 metros, entre las estaciones Ofelia y La Roldós. Además, este reporte presenta las recomendaciones constructivas que garanticen la seguridad de otras estructuras complementarias del teleférico.

El terreno del proyecto se localiza dentro de la zona urbana de la ciudad y cuenta con la infraestructura necesaria. La topografía del sector es de pendientes medias y altas, orientadas hasta el sector de la Av. Mariscal Sucre en sentido sur – norte y oriente – occidente, y se desarrollan a partir de allí hasta el sector de La Roldós en sentido norte – sur y occidente – oriente. Las áreas de terreno donde se ubicarán los apoyos, que son de pequeñas áreas, y las estaciones son relativamente planas, con pequeños desniveles relativos a su alrededor. Los niveles de cimentación recomendados están referenciados a los niveles actuales del terreno, en cada sitio. La profundidad del estudio cubre la corteza

superior del terreno únicamente, debido a que la naturaleza del proyecto es también superficial.

La profundidad de los sondeos inicialmente propuesta estuvo comprendida dentro de un rango de 8 a 10 metros, variando para cada sitio, en función del tipo de materiales encontrados, de la facilidad de acceso y de la información previa disponible, ya que las cimentaciones proyectadas inicialmente serían del tipo directo y el rango de las presiones de influencia cubriría esta profundidad. El número de sondeos para cada sitio también fue variable, por las mismas consideraciones ya expuestas. Adicionalmente a las perforaciones, se realizaron pozos a cielo abierto o calicatas, para la obtención de muestras inalteradas, en su mayor parte, o alteradas en el caso de suelos granulares y no cohesivos, para medir en laboratorio los parámetros mecánicos de resistencia de los suelos superficiales, que servirán de apoyo para las estructuras.

La campaña de trabajos de laboratorio consistió en la ejecución de ensayos de clasificación, según el sistema SUCS y de ensayos de corte: triaxiales y/o de corte directo, siguiendo las normas respectivas.

Finalmente, se completa el informe con el trabajo de gabinete, que consiste en preparar las recomendaciones y conclusiones, sobre la base de los resultados obtenidos en campo y laboratorio, para el diseño de las cimentaciones de los elementos de carga, su implantación y profundidades de desplante.

Se reporta en este informe los valores de capacidad de carga admisible para las profundidades de desplante propuestas y las recomendaciones para la construcción de las cimentaciones de las estructuras proyectadas, de acuerdo a los niveles arquitectónicos presupuestos para el proyecto, y de otras obras complementarias, para cada estructura y cada sitio de apoyo.

2. Introducción

La Empresa Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas EPMMOP, adjudica a la Empresa Pública de Administración y Gestión de Servicios y Productos de Proyectos de Investigación de la Escuela Politécnica Nacional, EPN-TECH-EP, el contrato correspondiente, mediante Régimen Especial, para los “Estudios Complementarios para el Detalle de la Línea Roldós – Ofelia”.

Este constituye el primer estudio geotécnico contratado con el informante, por parte de la EPN-TECH-EP, para este proyecto, con el objeto de evaluar las características físicas y mecánicas de los materiales superficiales en el sitio.

Como información de base la entidad contratante ha entregado los siguientes documentos:

- Estudio preliminar para la implementación de tres líneas de transporte por cable en barrios altos del Distrito Metropolitano de Quito.
- Ejecución de la topografía y la determinación de la viabilidad geológica-geotécnica de dos líneas del sistema de transporte por cable de Quito.
- Estudio de viabilidad preliminar del proyecto del sistema de transporte por cable de Quito.
- Encuesta de movilidad para el sistema de transporte por cable de DMQ.
- Consultoría para el estudio de demanda del sistema de transporte por cable del DMQ.
- Consultoría para la asistencia técnica del proyecto Quito - Cables.

Los sondeos exploratorios se ubicaron en los sitios del terreno, donde se ha definido la localización de las torres y pilonas, que soportarán las mayores cargas del proyecto, con el propósito de preparar un perfil estratigráfico interpretado de los sondeos.

3. Descripción del Proyecto

La Empresa Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas proyecta construir la primera línea del Sistema de Transporte Público por Cable del Distrito Metropolitano de Quito.

Esta línea se localiza en el sector norte de la ciudad y conecta los barrios La Ofelia y La Roldós, con dirección occidente – oriente, donde se ubicarán las respectivas estaciones. La línea consta de 28 apoyos, los cuales consistirán en pilonas de alturas variables, las cuales soportarán los cables por donde circularán las cabinas. Adicionalmente contará con estaciones intermedias, de abordaje de pasajeros, las cuales serán estructuras de poca altura. La línea tendrá una longitud total de 3701,16 metros. Las estructuras del proyecto comprenden 4 estaciones denominadas: La Ofelia, La Mariscal, Colinas del Norte, La Roldós y 28 Pilonas numeradas del 1 al 28.

4. Propósito y Alcance

El propósito de este estudio es obtener información suplementaria sobre las condiciones del subsuelo, calcular la capacidad de carga admisible del terreno, en los niveles de cimentación propuestos y presentar las recomendaciones pertinentes, para la construcción de la cimentación de cada estructura, y para las obras de protección correspondientes. Los objetivos específicos de este estudio son los siguientes:

- Realizar el reconocimiento en campo de la zona en la cual se implantará el proyecto.
- Realizar las exploraciones de campo en los sitios, que según a criterio de los profesionales, amerite la ejecución de perforaciones complementarias, barrenos manuales y calicatas o pozos a cielo abierto.
- Complementar y validar los estudios entregados correspondientes a Geología y Geotecnia, con ensayos de penetración estándar (con recuperación de muestras a cada metro de profundidad), triaxiales o de corte directo. Por validar la información geológica entregada se refiere a comprobar, que la información utilizada y expuesta en el Estudio Geológico-Geotécnico realizado por la U. Católica (2015), está publicada, y que con esta se describen las características geológicas generales y los peligros de la zona del proyecto, en dicho estudio.
- Evaluar en laboratorio las características de las muestras recuperadas.
- Preparar un informe de laboratorio con la caracterización geotécnica de los sitios.
- Validar la información, que se refiere a comprobar que esta información geológica utilizada y expuesta en el Estudio Geológico-Geotécnico realizado por la U.

Católica (2015), está publicada, y que con esta se describen las características geológicas generales y los peligros de la zona del proyecto, en dicho estudio.

5. Marco Geológico Regional

El Marco Geológico y Tectónico regional se desarrolla en base a la información disponible que permite exponer resultados aplicables al tipo de proyecto y a la escala de trabajo, de acuerdo a los términos de referencia.

La línea La Ofelia - La Roldós del sistema de transporte público por cable a construirse en el Distrito Metropolitano de Quito se ubica en la Cuenca de Quito, localizada entre el flanco este del volcán Pichincha y el límite oeste del valle interandino. Este espacio físico ha sido descrito y caracterizado en el Informe Preliminar del Estudio definitivo Geológico-Geotécnico, de dos líneas del sistema de transporte público por cable, a construirse en el Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha (U. Católica, 2015) como un ambiente geológico formado por un sistema de fallas activas inversas holocénicas (1,0 a 0,5 millones de años), con buzamiento hacia el oeste y constituido por rocas de tipo lava y depósitos volcánicos heterogéneos de textura gruesa, agrupados en la Formación Machángara, cubiertas por los depósitos de la Formación Cangahua.

5.2. Estratigrafía y Litología.

La estratigrafía en la zona del proyecto está representada por las Formación Machángara (Pleistoceno Medio) conformada por los Miembros, Volcánicos Basales y Quito, y la Formación Cangahua (Holoceno) (U. Católica, 2015). La litología de la Formación Machángara presenta en el centro norte de la cuenca de Quito, hacia la base, una secuencia de lavas andesíticas, depósitos de avalanchas, flujos de lodo, flujos piroclásticos y lahares (Miembro Volcánicos Basales), sobrepuestos por depósitos fluviales, flujos de lodo menores y más homogéneos, tobas blancas con espesores de hasta 15m, flujos piroclásticos, caída de pómez y cenizas, y oleadas piroclásticas con cenizas de espesores entre 0,2 a 0,5 m (Miembro Quito). Esta secuencia está generalmente cubierta por los depósitos periclinales (que se depositan siguiendo la topografía preexistente) de la Formación Cangahua, que se componen de toba volcánica alterada de alta compacidad, de colores amarillento a marrón y granulometría de limo y arena, intercalados con capas de

ceniza, pómez, arenas, paleosuelos y en partes flujos de lodo y el material de canales aluviales.

La cangahua superficial tiene espesores entre 15 a 20 metros y se diferencia de la más antigua y profunda porque estas últimas tienen mayor cementación, coloración marrón intenso y más alto contenido de clastos volcánico. La cangahua también forma la matriz de avalanchas, aglomerados y flujos de lodos y presenta fracturas y grietas de decompresión que originan caídas de bloques en taludes verticales.

La Cuenca de Quito de dirección general norte-sur presenta en su eje longitudinal mayoritariamente depósitos aluviales, lacustres y lagunares de ceniza, y hacia el este y oeste se ubican las rocas y depósitos volcánicos cubiertos por la Formación Cangahua (DGGM, 1982). También se describen en esta zona depósitos coluviales compuestos de arena y pómez de hasta 5 m de espesor y Cangahua de hasta 30 metros de espesor conformada principalmente por toba de grano medio, color café-amarillo y toba arenosa de una segunda fase de deposición (DGGM, 1980,1978).

5.3. Geomorfología.

Los materiales descritos en la Cuenca de Quito han sido interpretados de forma similar, como unidades geomorfológicas (U. Católica, 2015), caracterizando el eje longitudinal por la unidad descrita como Cubeta de Relleno, que forma una planicie de origen fluvio - lacustre, sobre la que se distribuye la ciudad de Quito. Al este han sido reconocidas las Vertientes volcánicas acumulativas, de fuerte pendiente y presencia de aglomerados volcánicos cubiertos de piroclastos, afectadas por procesos erosivos, que han desarrollado narices topográficas lobuladas, con cuestas planas o techos pendientes (en parte de estos espacios se asientan los barrios como el Comité del Pueblo, el Condado, Colinas del Norte, la Roldós, etc.). En esta zona también se describe un Glacis coluvio –aluvial, formado por depósitos de lahares y avalanchas de escombros, proyectados por las quebradas en forma de abanicos, que se interdigitan sobre la planicie lacustre (quebradas Rumihurcu, Chiriyacu, Parcayacu, San Antonio, La Carnicería o la Roldós, etc.) y Techos pendientes, que forman mesas altas poco inclinadas cubiertas por cangahua. Al oeste se presentan entre otras en la denominada Grada de Quito: Las Cuestas que son superficies dorso-estructurales poco inclinadas, La Vertiente Tectónica del borde occidental de la Cuesta con fuerte pendiente,

las Colinas Medias tectonizadas cubiertas de cangahua y el Escarpe de línea de falla con vertientes inclinada susceptibles a deslizamientos.

5.4. Tectónica

Como lo determina Villagómez en el 2003 (U. Católica, 2015), la formación de la Cuenca de Quito está directamente relacionada, con la actividad del sistema de fallas inversas de Quito, cuya expresión morfológica es una serie de lomas alargadas de dirección N – NNE, situadas en el borde este de la ciudad. Esta estructura tectónica ha sido dividida en tres segmentos principales: Lomas Calderón – Catequilla, Lomas Batán – La Bota y Lomas Ilumbisí – Puengasí, por Egüez y Alvarado en 1994 y Villagómez en 2003. Estos segmentos buzan hacia el oeste y probablemente empezaron a propagarse desde el norte en una serie de pulsos, como lo describe Villagómez en el 2003. La tasa de levantamiento máxima del sistema ha sido estimada en 0.8 mm/año y habría iniciado hace 0.5 Millones de años, según Soulas et al. (1991) y Villagómez, (2003) en U. Católica (2015).

El Mapa Tectónico del valle de Quito realizado por Villagómez en el 2003 (U. Católica, 2015) muestra que el trazo de afloramiento del sistema de fallas inversas de Quito, no atraviesa la zona del proyecto. Sin embargo la actividad del sistema de fallas está relacionada, con el alto peligro sísmico identificado en la Cuenca de Quito.

5.5. Hidrogeología

Según los estudios anteriores (U. Católica, 2015), el acuífero Centro Norte de Quito esta caracterizado, como un acuífero único multicapa, en el que constan dos niveles con buenas características hidrogeológicas. Los dos horizontes acuíferos están relacionados entre sí, ya que casi todos los sedimentos presentes son permeables. El estudio determina que la profundidad media del nivel piezométrico de las aguas en la actualidad oscila entre 5 y 17 m., llegando a 43 m en la zona del aeropuerto. Por su dureza total las aguas en general son blandas y potables. Igualmente existen pocos puntos con alto contenido bacteriológico, por lo que las aguas deben ser tratadas para el consumo humano.

La cangahua superficial tiene espesores entre 15 a 20 metros y se diferencia de la más antigua y profunda porque estas últimas tienen mayor cementación, coloración marrón intenso y más alto contenido de clastos volcánico. La cangahua también forma la matriz de avalanchas, aglomerados y flujos de lodos y presenta fracturas y grietas de decompresión que originan caídas de bloques en taludes verticales.

La Cuenca de Quito de dirección general norte-sur presenta en su eje longitudinal mayoritariamente depósitos aluviales, lacustres y lagunares de ceniza, y hacia el este y oeste se ubican las rocas y depósitos volcánicos cubiertos por la Formación Cangahua (DGGM, 1982). También se describen en esta zona depósitos coluviales compuestos de arena y pómez de hasta 5 m de espesor y Cangahua de hasta 30 metros de espesor conformada principalmente por toba de grano medio, color café-amarillo y toba arenosa de una segunda fase de deposición (DGGM, 1980,1978).

Estos materiales han sido interpretados de forma similar como unidades geomorfológicas en la Cuenca de Quito (U. Católica, 2015), caracterizando el eje longitudinal por la unidad descrita como Cubeta de Relleno que forma una planicie de origen fluvio - lacustre, sobre la que se distribuye la ciudad de Quito. Al este han sido reconocidas las Vertientes volcánicas acumulativas de fuerte pendiente y presencia de aglomerados volcánicos cubiertos de piroclastos, afectadas por procesos erosivos que han desarrollado narices topográficas lobuladas con cuesta planas o techos pendientes (en parte de estos espacios se asientan los barrios como el Comité del Pueblo, el Condado, Colinas del Norte, la Roldós, etc.). En esta zona también se describe un Glacis coluvio -aluvial formado por depósitos de lahares y avalanchas de escombros proyectados por las quebradas en forma de abanicos que se interdigitan sobre la planicie lacustre (quebradas Rumihurcu, Chiriyacu, Parcayacu, San Antonio, La Carnicería o la Roldós, etc.) y Techos pendientes que forman mesas altas poco inclinadas cubiertas por cangahua. Al oeste se presentan entre otras en la denominada Grada de Quito: Las Cuestas que son superficie dorso-estructurales poco inclinadas, La Vertiente Tectónica del borde occidental de la Cuesta con fuerte pendiente, las Colinas Medias tectonizadas cubiertas de cangahua y el Escarpe de línea de falla con vertientes inclinada susceptibles a deslizamientos.

5.6. Geología del Trazado de la Línea

La línea La Ofelia - La Roldós del sistema de transporte público por cable a construirse en el Distrito metropolitano de Quito se ubica en la parte norte de la Cuenca de Quito y su trazado constituido por dos tramos atraviesa terrenos conformados por depósitos coluviales (al este) y cangahua (al oeste) (U. Católica, 2015; DGGM, 1980; DGGM, 1978)), y también por depósito aluvial (DGGM, 1982). El nivel freático en estos tramos ha sido identificado a más de 6 m de profundidad y las velocidades para los materiales hasta los 10 m de

profundidad tienen valores entre 342 a 558 m/s, expresando su fácil remoción con maquinaria (U. Católica, 2015).

5.6.1. Características litológicas

Los depósitos coluviales están constituidos por acumulaciones de arena y pómez o de materiales, correspondientes a las formaciones que han sido dislocadas o removidas (p.ej. cangahua) y se ubican al sureste de la quebrada San Antonio, localizando su contacto con la cangahua entre la Pilona 17 y 18 (DGGM, 1978; DGGM, 1980). Los depósitos aluviales están constituidos por material, que el río acarrea como: arenas, arenas tobáceas, conglomerados y limos, y se ubican alrededor de la Estación La Ofelia (DGGM, 1982). De esta forma es posible tener una gran variabilidad de materiales en cortos espacios, tanto en sentido vertical como horizontal. Además, debido al desarrollo urbano de esta zona en los últimos decenios, se tienen rellenos que pueden ser unos limpios y otros con mucha basura y material orgánico.

La toba volcánica conocida como cangahua, que también forma la matriz de los depósitos coluviales y es el terreno de cimentación para las obras de la línea, es mayormente cementada por sílice, por lo tanto poco compresible e impermeable, su resistencia al corte puede ser afectada importantemente por ciclos de secado-mojado y el material expuesto es poco resistente a la erosión lineal (escorrentía superficial). Forma quebradas profundas y encañonadas, taludes verticales con erosión diferencial por estar intercalada con capas de arena y pómez fácilmente deleznable por acción del viento y agua. Los taludes descubiertos y sin protección son susceptibles a la erosión con surcos y cárcavas a veces profundas.

Las observaciones del terreno en superficie y subsuperficie muestran que el trazado está conformado por depósitos aluviales, depósitos coluviales, intercalaciones de aluviales y coluviales, cangahua e intercalaciones de coluviales y cangahua. Los depósitos aluviales se ubican en los alrededores de los sitios de la estación La Ofelia y las pilonas 1 y 2, compuestos principalmente por suelos arenosos. Los depósitos coluviales se ubican entre la Pilona 3 hasta la Pilona 9, compuestos mayormente por suelos arenosos provenientes de cangahua, como matriz de bloques rocosos. Las intercalaciones de aluviales y coluviales se ubican entre la pilona 10 a la Pilona 14, con nivel freático entre los 3 a 10 m de

profundidad. Las intercalaciones de cangahua y coluvial alrededor de la Pilona 15 y 17. La cangahua desde la pilona 16 a la Pilona 28 (Ver Mapas geológicos escala 1:1.000, del Anexo).

5.6.2. Características Estructurales y Morfológicas

Las observaciones en superficie del terreno a lo largo del trazado de la línea La Ofelia-La Roldós, determinan la ausencia de rasgos estructurales mayores, como fallas activas y/o inactivas que atraviesan el trazado, así como buzamientos, diaclasamientos, fracturas y lineamientos fotogeológicos, por lo tanto, no es necesaria la representación de un levantamiento estructural de fallas, fracturas y fisuras. Estas mismas condiciones estructurales han sido mostradas en los levantamientos geológicos desarrollados con anterioridad (DGGM, 1982, 1980, 1978; U. Católica, 2015).

La fisuración de materiales está presente únicamente en los taludes expuestos de la Formación Cangahua, que por su naturaleza y origen es principalmente aleatoria, proveniente de ciclos de desecación y/o decompresión del material superficial. Esta fisuración está relacionada con el proceso de caídas de rocas en los taludes expuestos.

Por otra parte, el trazado presenta laderas con pendientes entre 0 a 30 % desde la estación la Ofelia hasta la Pilona 17 y entre 30 a 70 % entre la Pilona 17 a la Pilona 26 (U. Católica, 2015). Por lo tanto casi el 75% del trazado corresponde en general, a terrenos planos a ligeramente inclinados y tampoco se han identificado a lo largo del trazado, zonas inestables o deslizamientos activos y/o antiguos, que representen inestabilidad actual en los sitios de obra, aún en las laderas más pendientes.

El tramo entre la estación La Ofelia (2750 msnm) y la estación Colinas del Norte (2793 msnm) con una longitud de 2,66 Km., tiene dirección N52°Oeste, entre las cotas 2714 a 2793,4 msnm, y atraviesa terrenos mayormente planos hasta la Pilona 17 (2736,1msnm), conformados por las unidades geomorfológicas denominadas Cubeta de Relleno y Glacio - coluvio - aluvial. En este tramo el trazado atraviesa 5 quebradas, dos de las cuales han sido rellenadas o/y embauladas y corresponden a las quebradas Rumihurcu (entre Pilonas 6 y 7) y Chiriyacu (entre Pilonas 11 y 12). Las otras tres corresponden a dos ramales de la quebrada Parcayacu (entre Pilonas 14 y 15, y pilonas 16 y 17) y la quebrada San Antonio.

Según el Informe Preliminar Geológico-Geotécnico (U. Católica, 2015) este tramo atraviesa terrenos conformados por coluviales.

El tramo entre la estación Colinas del Norte (2793 msnm) y la estación La Roldós (2874msnm), con una longitud de 1,05 km., tiene dirección N17°Oeste, entre las cotas 2793 y 2891 msnm y atraviesa la parte inferior de varias narices topográficas lobuladas (colinas bajas), con vertientes de aproximadamente 30 grados de inclinación. En este tramo, el trazado atraviesa un ramal rellenado de la quebrada San Antonio (entre las Pilonas 19 y 20) y la quebrada La Carnicería o quebrada la Roldós. Este tramo atraviesa terrenos conformados por cangahua (U, Católica, 2015).

5.7. Amenazas o Peligros (Riesgos) Geológicos

Las amenazas geológicas son un factor de los riesgos geológicos, conjuntamente con la vulnerabilidad de los elementos expuestos y la capacidad de respuesta de los sistemas. En este trabajo, a partir de la información disponible, se caracterizan las amenazas geológicas y se identifican las medidas de mitigación, para reducir el riesgo en la etapa antes de la construcción.

El Distrito Metropolitano de Quito, donde se ubica el trazado de la línea La Ofelia - La Roldós, del sistema de transporte público por cable a construirse en el norte de la ciudad, está expuesto a las amenazas sísmicas, volcánicas, por movimientos en masa (Deslizamientos) e inundaciones, debido a su contexto geológico, geomorfológico y climático.

Una estimación general de estos peligros para el trazado de la línea La Ofelia - La Roldós, ha sido descrita a partir de la información existente, determinando una alta amenaza sísmica, caída de ceniza proveniente de varios volcanes activos y en erupción como amenaza volcánica, peligro bajo a medio por movimientos en masa y peligro medio por inundaciones (U. Católica, 2015).

5.7.1. El Peligro Sísmico

El peligro o amenaza sísmica es el más importante para el proyecto, dado la presencia de fallas activas y el nivel de peligro alto determinado, la condición de edificación distinta de las obras, y la ubicación en ladera y/o en los alrededores de suelos de poca compacidad y saturados de algunas pilonas. Este nivel de peligro alto está caracterizado por la ubicación en la zona sísmica V, con un factor z igual a $0,4g$, que representa la aceleración sísmica máxima en roca esperado para el sismo de diseño, para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (NEC, 2015; U. Católica, 2015). De otra parte, el estudio de la microzonificación sísmica del Distrito Metropolitano de Quito, muestra la respuesta de los depósitos de suelo, a través de varios factores (F_a , F_d , F_s), que sirven para determinar el espectro de diseño y caracterizar la sismicidad local (NEC, 2015).

Con anterioridad a estos resultados, el estudio histórico de la sismicidad ha demostrado también, que la Cuenca de Quito, se ubica en una zona de Intensidades sísmicas máximas de IX, como lo muestra el Mapa de distribución de las Intensidades Máximas en el Ecuador, elaborado por Egred en 1991 (Bonilla y Ruiz, 1992).

Para mitigar el riesgo sísmico se recomienda el diseño sísmo resistente de las obras, especialmente las pilonas, en base a la norma ecuatoriana de la construcción vigente, código -SE-DS (NEC, 2015).

5.7.2. El Peligro Volcánico

El peligro volcánico para el proyecto, está relacionado con la caída de ceniza proveniente, de los volcanes activos y potencialmente activos, de la parte norte de los Andes ecuatorianos, principalmente el Guagua Pichincha, El Cotopaxi, el Tungurahua, el Reventador, y por lahares secundarios provenientes del Guagua Pichincha. El mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Guagua Pichincha-Ecuador, escala 1:60.000 (IG-EPN, DGP-SUIM, 1999), muestra para la zona del proyecto una acumulación máxima de caída de piroclastos (ceniza, arena, piedras) de 10 cm, peligro extremo o alto por flujo de lodos y escombros secundarios (lahares), en el tramo inferior de las quebradas Rumihurcu, Chiriyacu, Parcayacu o Grande, San Antonio, la Carnicería o el Rancho, peligro moderado para el sector de Quito Tennis y bajo para el Condado.

El peligro extremo por lahares significa impacto directo del flujo, llevando materiales gruesos a alta velocidad y alturas importantes, el peligro moderado corresponde a menor energía y depositaciones de lodo mayores a 25 cm, y el peligro bajo son zonas de inundación, con alturas de depositación menores a 25 cm.

Sin embargo los niveles de peligro alto están mayormente fuera del trazado de la línea (quebradas San Antonio, Carnicería o el Rancho) y han sido reducidos a través de las obras de mitigación para lahares, realizadas en varias quebradas (Quebrada Rumihurcu) por el Distrito Metropolitano de Quito, dentro del programa Manejo de Laderas llevado a cabo durante los años anteriores. Por otra parte la caída de ceniza en un sitio depende, entre otros parámetros, de la altura de la columna de emisión y de la dirección de los vientos durante y después de la erupción. La afectación por caída de ceniza del Guagua Pichincha sería, al menos parecida, a lo ocurrido en el norte de Quito después de las erupciones de 1999 (espesor entre 1 a 3 mm).

Para reducir el riesgo volcánico por lahares secundarios se recomienda alejar lo más posible, el sitio de implantación de pilonas de las márgenes de la quebrada Parcayacu.

5.7.3. El peligro por Deslizamientos

El peligro relativo o susceptibilidad por movimientos en masa es mayormente bajo, hasta la pylona 17 (70% de la línea), pero medio a fuerte en pequeñas partes, para el tramo entre la quebrada San Antonio (Estación Colinas del Norte, pylona 18), hasta la quebrada la Carnicería (Pylona 26 antes de la estación La Roldós), por estar ubicado en laderas con pendientes generales de aproximadamente 30 grados (U. Católica, 2015). Sin embargo no se observa en todo el trazado de la línea, ningún deslizamiento activo, ni inactivo, ni antiguo o/y relicto. Para la pylona 18 y la estación Colinas del Norte ubicadas al borde de la ladera y en terreno conformado en parte por relleno no compactado se recomienda un análisis de estabilidad del sitio y la identificación de las obras de estabilización. Para la pylona 26 ubicada al borde de la ladera, se recomienda también el análisis de estabilidad del sitio, para identificar la estabilidad.

El peligro (susceptibilidad) por inundaciones, debido a escorrentía superficial en zona urbana, está identificado como medio en los alrededores de la estación de la Ofelia y en los

tramos inferiores de las quebradas Chiriyacu, Parcayacu, San Antonio (barrios el Condado, Quito Tennis y Golf club, Colegio Militar Parcayacu, Justicia Social (U. Católica, 2015). Sin embargo este nivel de susceptibilidad para la estación la Ofelia ha sido disminuido, con las obras de alcantarillado nuevas como la de la quebrada el Colegio y otras. Los otros sitios están mayormente fuera del trazado de la línea.

5.8. Geología de los Sitios de Obra

Los sitios de obra constituyen 4 estaciones denominadas: La Ofelia, La Mariscal, Colinas del Norte, La Roldós y 28 Pilonas numeradas del 1 al 28. Las características Geológicas y Geomorfológicas de los sitios se describen a continuación, en base a las observaciones en el terreno y resultados de los ensayos, realizadas en este trabajo y los resultados de ensayos SPT del Informe Preliminar Geológico-Geotécnico (U. Católica, 2015). Los resultados se muestran también en los mapas geológicos a escala 1:1000, del Anexo.

6. ESTACIONES

6.1. Estación 1, La Ofelia

6.1.1. Investigación de campo

6.1.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para las estructuras proyectadas para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de dos pozos de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de hasta 7.00 metros de profundidad cada uno, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. Las perforaciones se identifican como EST-1 – PP-01 y EST-1 – PP-02.

Estos trabajos se realizaron el día 02 de abril del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

6.1.1.2. Exploración

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	STN1	8.00	5	SPT
	STN2	10.50	6	SPT
Este estudio	EST-1-PP-01	7.00	4	SPT
	EST-1-PP-02	7.00	3	SPT
	PCA-P01	1.20	1	Corte Directo
	PCA-P02	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
EST-1-PP-01	9987794,13	501342,53	2751
EST-1-PP-02	9987796,97	501328,60	2751
PCA-P01	9987814,01	501327,66	2750,20
PCA-P02	9987813,29	501299,69	2749,30

6.1.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad del sondeo. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

6.1.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

6.2.3.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de las perforaciones. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

6.2.3.2. Ensayos de Consolidación

Como parte de los ensayos de laboratorio se tenía previsto realizar ensayos de consolidación, en los casos donde se localicen, suelos blandos, compresibles, saturados y/u orgánicos. Ninguno de los sitios estudiados presentó este tipo de suelos, que solamente se los encuentra en el sur de la ciudad, en la zona geológica, conocida como la laguna de

Turubamba. Las cenizas volcánicas o suelos tipo cangahua, por lo general, no presentan alta deformabilidad en condición de saturación, que requieran realizar este tipo de ensayo.

6.2.3.3. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Las pruebas de resistencia a la compresión o al corte, sean ensayos de compresión triaxial o de corte directo, se las realiza como complemento a los sondeos y perforaciones, una vez que la profundidad de cimentación está definida. También se las realiza para obtener los parámetros mecánicos representativos de los suelos, del estrato respectivo, para realizar un análisis detallado de estabilidad de taludes, cimentaciones o estructuras de retención. Este estudio es complementario a otro ya realizado, por lo que este tipo de ensayos se los realiza en los sitios donde se consideró necesario hacerlo.

6.1.3. Condiciones generales del Sitio

6.1.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto, Estación La Ofelia, se localiza en los predios del Terminal de Transferencia La Ofelia, en el sector de los parqueaderos, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
G1-SR	9987791,216	501342,161	0-017.800

6.1.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente plana, con pendientes que se extienden en sentido oriente - occidente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana, con pequeños desniveles relativos en su interior y se encuentra recubierta por un sistema de piso asfaltado.

6.1.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El terreno en este sitio correspondería en parte a un depósito aluvial superficial constituido por el material que acarreó una quebrada antigua, que puede estar compuesto de lentes de arena y/o grava (DGGM, 1982). El Mapa Geológico del

Ecuador, El Quinche, escala 1:50.000 (1980) sitúa también en esta zona un depósito coluvial con espesores hasta 5m y el tramo superior de la quebrada Carcelén.

El reconocimiento realizado a través de SPT (STN1) hasta 8m de profundidad describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, con compacidad media a alta, provenientes de cangahua con una capa de arena limosa suelta de poca compacidad (relleno limpio y/o aluvial) hasta los 2m de profundidad. El otro SPT (STN2) hasta 10,5 m describe el terreno como suelos SM, ML, con compacidad media a alta, provenientes de cangahua con capas de arena y limo arenoso suelto de poca compacidad (aluvial y/o relleno limpio) hasta los 3 m de profundidad.

El SPT (P2) localizado aproximadamente a 23 m al noroeste de STN2, describe también suelos ML, SM de compacidad media, provenientes de cangahua, con capa limo arenosa suelta de baja compacidad (aluvial y/o relleno limpio) hasta 2m de profundidad.

El reconocimiento realizado durante este trabajo a través de dos trincheras (PCA-P01, PCA-P02) de 1,2 m y 1,0 m profundidad respectivamente describe el suelo como relleno hasta 0,6 y 0,5 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de los 3m de profundidad.



Estación 1 – La Ofelia

6.1.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa superior de arenas limosas de color café, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, poco húmedas y con estructura media. Las arenas contienen porcentajes medios de limos no plásticos, de carácter arcilloso, de igual color, húmedos y con estructura media. El espesor de esta capa es de tres metros. Subyace otra capa de limos arcillo arenosos de color café, de baja plasticidad, húmedos y con estructura dura. Contienen altos porcentajes de arenas finas, bien gradadas, húmedas y con estructura densa. Esta capa se extiende hasta los siete metros, donde subyace un estrato de gravas centimétricas, dentro de una matriz limo arenosa, color café, húmedas y con estructura dura.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 10 y 20%.

Las tablas siguientes muestran los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	5	ARENAS	SM		ARENAS	SM
2,0	5		SM			
3,0	11		SM		LIMOS	ML-CL
4,0	18					
5,0	46	LIMOS	ML			ML-CL
6,0	28					
7,0	24		ML			ML-CL
8,0						

Los suelos clasifican como SM y ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

6.1.4. Recomendaciones del estudio

6.1.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

6.1.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos poco cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

6.1.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **3.00 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 3.00 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	20.77	13
1.00	20.77	21
1.20	20.77	30
1.40	18.24	36
1.50	17.16	39
1.60	16.19	41
1.80	14.61	47
2.00	13.51	54
2.20	12.88	62
2.40	12.73	73
2.50	12.83	80
2.60	13.05	88
2.80	13.84	109
3.00	15.11	136

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 15.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.25 kg/cm^3 .

6.1.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

6.1.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 30 a $40 \Omega\text{-m}$.

6.1.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

6.1.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

6.2. Estación 2, Mariscal Sucre

6.2.1. Investigación de campo

6.2.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para las estructuras proyectadas para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de cuatro pozos de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de hasta 3.20 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. Las perforaciones se identifican como EST-2 – PP-01, EST-2 – PP-01A, EST-2 – PP-01B y EST-2 – PP-02.

Adicionalmente a los sondeos se realizaron dos pozos a cielo abierto o calicata con el objeto de obtener una muestra alterada y otra inalterada de forma cúbica, y la segunda con el objeto de obtener una muestra alterada, que permitan en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. Éstos se identifican como PCA-1–EST.2 y PCA-2–EST.2

Estos trabajos se realizaron el día 31 de marzo y 8 de abril del 2016, respectivamente. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

6.2.1.2. Exploración

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad , m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo	
Estudio anterior	STN3	4.50	5	SPT	
	STN4	8.00	10	SPT	
	STN5	2.00	2	SPT	
	STN6	2.00	1	SPT	
	STN7	4.00	2	SPT	
	STN8	5.00	2	SPT	
	Este estudio	EST-2 – PP-01	2.00	1	SPT
		EST-2 – PP-01A	2.00	1	SPT
EST-2 – PP-01B		2.00	1	SPT	
EST-2 – PP-02		3.20	1	SPT	
PP-P07		0.80	1	SPT	
PP-P08		4.00	2	SPT	
PCA-1–EST.2		1.00	1	Corte Directo	
PCA-2–EST.2		1.00	1	Triaxial UU	
PCA-P07		Superficial	1	Corte Directo	
PCA-P08		1.00	1	Triaxial UU	

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
EST-2 – PP-01	9988412.53	500524.37	2716.20
EST-2 – PP-01A	9988411.40	500524.07	2716.15
EST-2 – PP-01B	9988412.13	500523.57	2716.25
EST-2 – PP-02	9988404.23	500545.71	2718.50
PCA-1–EST.2	9988410.43	500522.28	2716.20
PCA-2–EST.2	9988404.23	500545.71	2718.50

6.2.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

6.2.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

6.2.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de las perforaciones y en las muestras obtenidas de los pozos a cielo abierto. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

6.2.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

6.2.3. Condiciones generales del Sitio

6.2.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto, Estación La Mariscal, se localiza en el sector comprendido entre la calle Fernando Daquilema y Av. Mariscal Sucre, en predios privados entre los 2714 a 2716 msnm, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
G2	9988404,399	500536,971	0+994.290
G2	9988411,536	500527,599	1+006.070

6.2.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente plana, con pequeñas pendientes, menores a cinco grados que se extienden en sentido occidente - oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana con pequeños desniveles en su interior y al momento de estudio contiene varias estructuras de hasta tres pisos.

6.2.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El terreno en este sitio correspondería a los depósitos de la Formación Cangahua sobre Lapilli andesítico con aglomerados y lavas andesíticos (DGGM, 1982) o/y a depósito coluvial de hasta 5 m de espesor (DGGM, 1980).

El reconocimiento realizado a través de SPT hasta los 2 o 7,5 m de profundidad describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, mayormente y SP-SM, provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con capa de arena y limo arenoso de poca compacidad entre 1,5 a 2,0 m de profundidad (STN3), otra similar entre los 1,0 a 1,5 m de profundidad con paleosuelo (raíces) entre los 4,0 a 4,5 m de profundidad (STN4), otra de limo arenoso suelto de poca compacidad hasta 1 m de profundidad, con grava y paleosuelo (raíces) entre 1 a 2m de profundidad y bloques rocoso al fin del sondeo (STN5). En el sondeo STN6 la capa de limo arenoso suelto de poca compacidad se encuentra hasta 1m de profundidad y el paleosuelo entre 1 a 2m de profundidad donde termino el sondeo. En el sondeo STN7 la capa areno limosa suelta de poca compacidad se encuentra entre 1 a 2m de profundidad y el paleosuelo (raíces) entre 2 a 3 m y en el sondeo STN8 una capa de arena limosa con pómez, suelta y de poca compacidad se encuentra entre 1 a 2m de profundidad.

De estos reconocimientos parecería que el terreno en estos sitios corresponde a un coluvial con matriz de cangahua que puede tener bloques rocosos (rechazo al SPT) a diferentes profundidades, capas de poca compacidad hasta los 2 m de profundidad y paleosuelos con raíces y materia vegetal entre 1 a 3 m de profundidad y entre 4,5 a 5 m.

Los suelos de mayor compacidad para la cimentación estarían debajo de los 2 m de profundidad y los sin materia vegetal mayormente por debajo de los 3 m. Se recomienda un reconocimiento a mayor profundidad en el sitio de cimentación.



Sitio alrededor del cual se ubicara la estación la Mariscal. Vista hacia el sur desde la avenida Mariscal Sucre.

6.2.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada predominantemente por arenas limosas de color café, con variaciones de café claro y amarillento, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, húmedas y con estructura media. Las arenas contienen porcentajes medios y altos de limos de igual coloración, de baja a nula plasticidad, húmedos y con estructura media. Contienen además bajos porcentajes de gravas de diámetros centimétricos, de formas subangulares, mal gradadas y con estructura media. Entre los dos y tres metros la coloración de los suelos es negra y desde los tres metros predominan las gravas centimétricas con estructura media y densa. Superficialmente se aprecian bajos y esporádicos porcentajes de lapilli, en forma de granos milimétricos de pómez. En el sector del pozo EST-2 – PP-01A, los primeros 2.00 metros corresponden a limos arenosos de color negruzco, de baja plasticidad, húmedos, de carácter arcilloso y estructura dura. Subyace el estrato de gravas limosas similar a los demás sondeos.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 17 y 26%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
0,0	20	ARENAS		20	ARENAS	SM
1,0	22		SM	R		
1,5	8		SP-SM		GRAVAS	
2,0	10	LIMOS	ML			
2,5	20	ARENAS				
3,0	25		SM			
3,5	47					
4,0	R		SM			
4,5						
5,0						

6.2.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
PCA-1-EST.2	Corte Directo	0.12	18.80	1.59
PCA-2-EST.2	Triaxial UU	0.24	22.30	1.68

6.2.4. Recomendaciones del estudio

6.2.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

6.2.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

6.2.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	33.78	22
1.00	33.78	34
1.20	33.78	49
1.40	33.50	66
1.50	33.27	75
1.60	32.99	84
1.80	32.26	105
2.00	31.30	125
2.20	30.12	146
2.40	28.72	165
2.50	27.93	175
2.60	27.09	183
2.80	25.24	198
3.00	23.16	208

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 23.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.40 kg/cm³.

6.2.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

6.2.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 80 a 90 Ω -m.

6.2.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

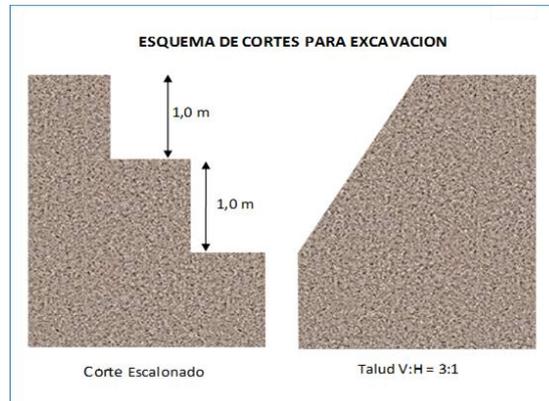
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

6.2.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizotal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

6.3. Estación 3, Colinas del Norte

6.3.1. Investigación de campo

6.3.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para las estructuras proyectadas para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de hasta 10.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como EST3 - PP-02.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-EST.3.

Estos trabajos se realizaron el día 18 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

6.3.1.2. Exploración

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	STN9	8.00	4	SPT
	STN10	8.00	5	SPT
	STN11	10.00	10	SPT
Este estudio	EST3 - PP-02	10.00	5	SPT
	PP-P18	5.00	3	SPT
	PP-P18A	4.00	2	SPT
	PCA-EST.3	0.80	1	Corte Directo
	PCA-P18	1.00	1	Corte Directo
	PCA-P19	1.00	1	Triaxial UU

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
EST3 - PP-02	9989396.21	499156.95	2794.20
PCA-EST.3	9989339.55	499303.79	2273.00

6.3.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad del sondeo. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

6.3.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

6.3.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de las perforaciones y del pozo a cielo abierto. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los

suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

6.3.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

6.3.3. Condiciones generales del Sitio

6.3.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Colinas del Norte, en los predios de un espacio público en los que se encuentran una cancha de fútbol y casa comunal, a los 2793 msnm, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
G3A-SM	9989430,477	499189,599	2+687.880
G3B-SM	9989441,510	499181,874	2+702.020

6.3.3.2. Topografía

La topografía del sector se presenta inclinada, con pendientes mayores a los quince grados que se extienden en sentido occidente - oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura, a su vez se presenta plana correspondiente en parte a relleno y al corte de talud realizado en el borde de una ladera de 30 a 40 grados de inclinación (foto A. B) y en su mayor parte no se encuentra recubierta por un sistema de piso, al momento del estudio contiene dos estructuras de hasta dos pisos en su interior.

6.3.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El terreno en este sitio correspondería a los depósitos de la Formación Cangahua sobre Lapilli andesítico con aglomerados y lavas andesíticos (DGGM, 1980, 1978)

El reconocimiento realizado a través de SPT hasta los 10m de profundidad describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, mayormente y SW-SM, provenientes de

cangahua con capa de relleno (basura) suelto y muy poca compacidad entre 1 a 3 m de profundidad (STN9), capas areno limosas y limo arenosas de compacidad media hasta los 8 m de profundidad (STN10) y otra con capa de arena limosa suelta de poca compacidad (relleno limpio) hasta los 2,0 m de profundidad (STN11). El reconocimiento con SPT (P18) para la Pilona 18 ubicada también en este sitio, muestra un relleno con suelos SM, ML, sueltos y de muy baja compacidad hasta los 9 m de profundidad, que sobre yacen a cangahua de alta compacidad.

El reconocimiento realizado durante este trabajo a través de dos SPT identifica un suelo de muy baja compacidad (relleno) hasta los 9m de profundidad (fin del sondeo) (PP-P18) y otro de mediana compacidad hasta el fin del sondeo (10m) (PP-02).

De estos reconocimientos parecería que el terreno en este sitio corresponde en parte a un relleno de material suelto y muy baja compacidad sobrepuesto a depósitos de cangahua, que conforman el borde de una ladera de entre 30 a 40 grados de inclinación. Se recomienda realizar un perfil topográfico en la ladera hacia arriba y abajo del sitio, determinar la profundidad y el perfil del terreno in situ y el relleno, ubicar la cimentación por debajo del perfil inferior del relleno (micropilotes o pilas prebarrenadas) y realizar un análisis de estabilidad de la ladera y el relleno. Para esto se debe desarrollar el modelo geotécnico del sitio de cimentación con las características de resistencia al corte de los materiales (relleno y cangahua) y determinar el FS en condiciones estáticas y seudoestáticas y varias posibilidades de posición del NF, para determinar la estabilidad del sitio y de las obras.



Foto A. Sitio donde se ubicara la estación Colinas del Norte. Corresponde en parte a un relleno.



Foto B. Vista del relleno sobre cangahua ubicado al borde de la ladera, donde se localizara la estación Colinas del Norte (parte superior y central de la foto).

6.3.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por un potente estrato de materiales de relleno, del orden de los nueve metros, formado por arenas limosas de color café en superficie y café claro a partir de los tres y cuatro metros, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura media. Las arenas contienen altos porcentajes de limos de igual coloración, de baja a nula plasticidad, húmedos y con estructura media. Contienen además bajos porcentajes de lapilli, en forma de partículas de pómez, de diámetros milimétricos y pocas gravas centimétricas, de formas subangulares y estructura media. A los seis metros se localiza un lente delgado, menor a un metro de espesor, de limos arenosos color café, no plásticos y estructura media.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 8 y 25%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	3	ARENAS	SM	16	ARENAS	
2,0	5		SM	20		SM-SC
3,0	R	LIMOS	ML	22		
4,0	R	ARENAS	SM	18		SM
5,0	R	LIMOS	ML	24		
6,0	24	ARENAS	SM	16	LIMOS	ML
7,0	24		SM	18		
8,0	32		SM	24	ARENAS	SM
9,0	26		SW-SM	20		
10,0	32		SM	22		SM

6.3.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y ML en su mayor parte.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.24	27.30	1.70

6.3.4. Recomendaciones del estudio

6.3.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

6.3.4.2. *Cimentación de las Estructuras*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares y pobres características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos no cementados, de consistencia blanda y compacidad relativa baja, debido a la presencia de un relleno colocado sin una adecuada compactación. Se definen dos áreas: Una terraza producto de corte con suelo natural y otra con relleno de hasta 10 metros de espesor, generando un talud, cuya estabilidad debe ser analizada una vez que se haya definido la implantación de la estructura de la estación.

6.3.4.3. *Capacidad de Carga*

Para las estructuras proyectadas se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características de cada sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Área de Bodegas

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	27.40	18
1.00	28.40	28
1.20	28.40	41
1.40	26.15	51
1.50	25.09	56
1.60	24.06	62
1.80	22.12	72
2.00	20.34	81
2.20	18.71	91
2.40	17.24	99
2.50	16.57	104
2.60	15.93	108
2.80	14.77	116
3.00	13.76	124

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 13.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.00 kg/cm^3 .

Área de la Estación

Para este sitio específico donde se encuentran materiales de relleno, de mediana potencia, la capacidad de carga admisible es de 4.00 T/m^2 que resulta insuficiente para la estructura proyectada, por lo que se recomienda diseñar una cimentación, del tipo profunda, consistente en micropilotes o pilas prebarrenadas, en función de la magnitud de las cargas que la estructura pueda aplicar al subsuelo. La profundidad de los micropilotes y/o de las pilas, deberá ser calculada en base a su diámetro, pero en todo caso deberán apoyarse en el suelo natural, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **INDIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **MICROPILOTES o PILAS PREBARRENADAS**
- LONGITUD: **Variable entre 8 y 10 m**
- DIAMETRO DE MICROPILOTES: **15 cm o mayor**
- DIAMETRO DE PILAS: **1.00 m o mayor**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo F (N*=7.50)**

6.3.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio, para las dos zonas ya definidas. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Área	Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
Bodegas	D	V	0.40	1.20	1.19	1.28
Estación	C	V	0.40	1.00	1.60	1.90

6.3.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 40 a 50 Ω -m.

6.3.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

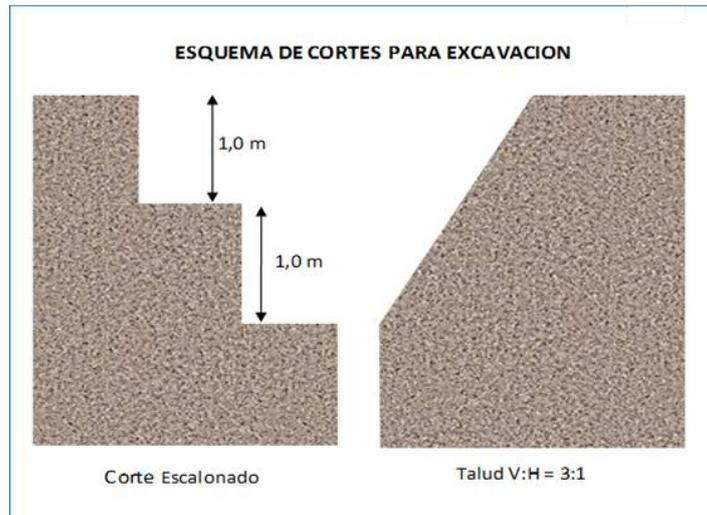
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

6.3.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

6.4. Estación 4, Roldós

6.4.1. Investigación de campo

6.4.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para las estructuras proyectadas para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de hasta 8.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como EST4 - PP-01.

Estos trabajos se realizaron el día 20 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

6.4.1.2. Exploración

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	STN12	8.00	4	SPT
	STN13	8.00	4	SPT
Este estudio	EST4 - PP-01	8.00	4	SPT
	PP-P28	10.00	5	SPT
	PCA-P28	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
EST4 - PP-01	9990412,627	498881,849	2794.20

6.4.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad del sondeo. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

6.4.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

6.4.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

6.4.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Las pruebas de resistencia a la compresión o al corte, sean ensayos de compresión triaxial o de corte directo, se las realiza como complemento a los sondeos y perforaciones, una vez que la profundidad de cimentación está definida. También se las realiza para obtener los parámetros mecánicos representativos de los suelos, del estrato respectivo, para realizar un análisis detallado de estabilidad de taludes, cimentaciones o estructuras de retención. Este estudio es complementario a otro ya realizado, por lo que este tipo de ensayos se los realiza en los sitios donde se consideró necesario hacerlo.

6.4.3. Condiciones generales del Sitio

6.4.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós, en los predios de vivienda privada, entre las calles Principal, Pedro Yerovi y D 9, a los 2874msnm, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
G4-SR	9990395,74	498885,694	3+701.159

6.4.3.2. *Topografía*

La topografía del sector se presenta inclinada, con pendientes mayores a los quince grados que se extienden en sentido oriente - occidente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura, a su vez se presenta plana y al momento del estudio contiene varias estructuras de hasta dos pisos en su interior.

6.4.3.3. *Geología del Sector*

El terreno en este sitio correspondería a los depósitos de la Formación Cangahua sobre Lapilli andesítico con aglomerados y lavas andesíticos (DGGM, 1980)

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de media a alta compacidad y/o cementación, provenientes de cangahua hasta los 8 m de profundidad (STN12) y otro con capa limo arenosa de muy alta compacidad y/o cementación entre 0,5 a 1m de profundidad (STN13).

El reconocimiento realizado en este trabajo, a través de dos SPT describen un suelo de mediana compacidad (0 a 3 m) a muy alta compacidad (rechazo al SPT) hasta los 10m de profundidad ((PP-P28) y en el otro caso hasta los 8m de profundidad (PP-01).

De estos reconocimientos parecería que el terreno en este sitio corresponde a cangahua con suelos de mediana a alta compacidad, desde la superficie del terreno.



Sitio donde se ubicara la estación La Roldós.

6.4.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa superficial de limos arcillo arenosos de color café oscuro, de baja plasticidad, húmedos y con estructura media. Los limos contienen altos porcentajes de arenas de igual color, de grano fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura media y pocas gravas centimétricas subangulares y estructura media. El espesor de esta capa es de tres metros. Subyace un estrato de arenas limosas de color café y café claro, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, húmedas y con estructura media a densa. Contienen porcentajes medios de limos no plásticos, de igual color, húmedos y con estructura dura. Se aprecian pocas gravas de diámetros centimétricos, de formas subangulares, mal gradadas y con estructura densa.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 18 y 20%.

Las tablas siguientes muestran los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMOS		10	LIMOS	ML-CL
2,0	16		ML	16		
3,0	18			20	ARENAS	SM
4,0	23	ARENAS	SM	R		
5,0	20			R		SM
6,0	33	LIMOS	ML	R		
7,0	32			R		SM
8,0	32	ARENAS	SM	R		
9,0						
10,0						

Los suelos clasifican como SM y ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

6.4.4. Recomendaciones del estudio

6.4.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

6.4.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

6.4.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**

- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	24.61	16
1.00	24.61	25
1.20	24.61	35
1.40	24.09	47
1.50	23.84	54
1.60	23.60	60
1.80	23.14	75
2.00	22.73	91
2.20	22.35	108
2.40	22.01	127
2.50	21.86	137
2.60	21.71	147
2.80	26.16	168
3.00	21.22	191

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna "Capacidad de carga admisible" en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas "Carga admisible". Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la

capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 21.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.00 kg/cm³.

6.4.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

6.4.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 80 a 90 Ω–m.

6.4.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

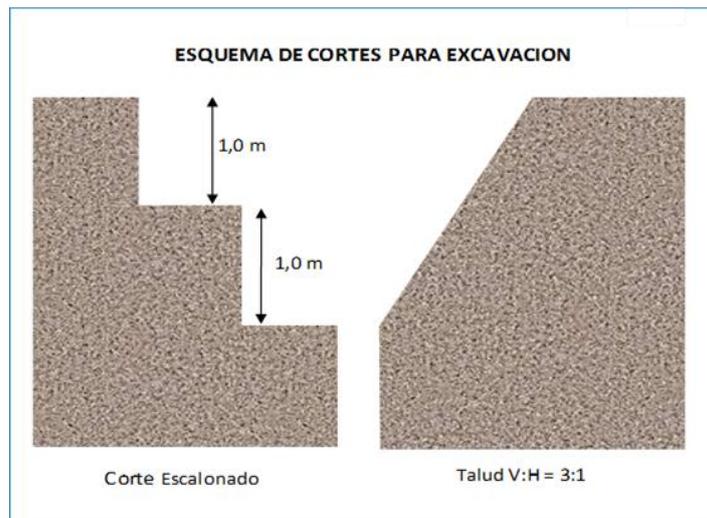
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

6.4.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7. PILONAS

7.1. Pilona 1

7.1.1. Investigación de campo

7.1.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P01.

Este trabajo se realizó el día 17 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.1.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	STN2	10.00	6	SPT
Este estudio	PCA-P01	1.20	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P01	9987813.33	501328.43	2750.20

7.1.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad del sondeo. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.1.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.1.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.1.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.1.3. Condiciones generales del Sitio

7.1.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector del Terminal de Transferencia La Ofelia, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P01	9987807,453	501320,840	0+009.000

7.1.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente plana, con pendientes que se extienden en sentido oriente - occidente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y se encuentra recubierta por un sistema de piso asfaltado.

7.1.3.3. *Geología del Sector*

Contiene las características geológicas del reconocimiento STN2 (estación la Ofelia), por la cual se reemplazó, según el informe de la U. Católica (2015).



Estación Terminal La Ofelia, Pozo PP-1

7.1.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café oscuro, de grano medio a grueso, húmedas.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 16%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	6	ARENAS			ARENAS	SM
2,0	5	LIMOS	ML			
3,0	7	ARENAS				
4,0	33		SM			
5,0	25					
6,0	R	LIMOS	ML			
7,0	43	ARENAS				
8,0	35		SM			
9,0	R					
10,0	R		SM			

7.1.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.09	23.40	1.35

7.1.4. Recomendaciones del estudio

7.1.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.1.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.1.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	17.09	11
1.00	16.92	17
1.20	16.87	24
1.40	16.91	33
1.50	16.95	38
1.60	17.00	44
1.80	17.12	55
2.00	17.26	69
2.20	17.42	84
2.40	17.59	101
2.50	17.68	110
2.60	17.77	120
2.80	17.96	141
3.00	18.16	163

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 18.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.70 kg/cm³.

7.1.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.1.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 40 a 50 Ω -m.

7.1.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

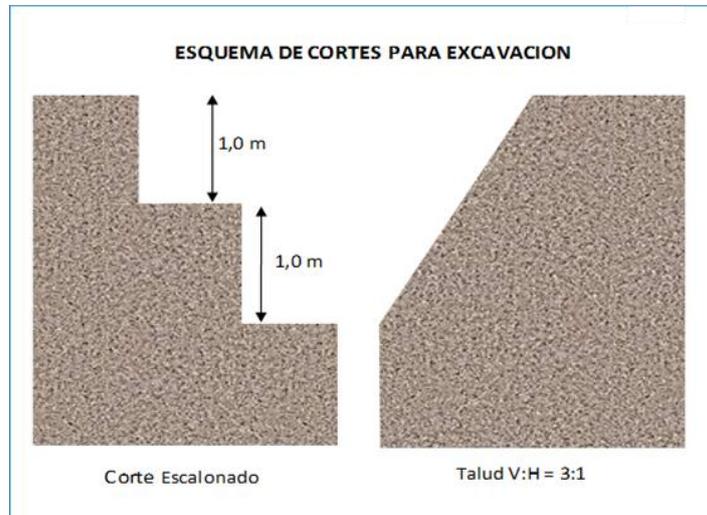
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.1.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.2. Pilona 2

7.2.1. Investigación de campo

7.2.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P02.

Este trabajo se realizó el 17 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.2.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P2	8.00	5	SPT
Este estudio	PCA-P02	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P02	9987812.60	501300.46	2749.30

7.2.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.2.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.2.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.2.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.2.3. Condiciones generales del Sitio

7.2.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en los predios de la estación terminal Micro Regional de Transporte Público La Ofelia, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P02	9987821,896	501301,873	0+032.840

7.2.3.2. Topografía

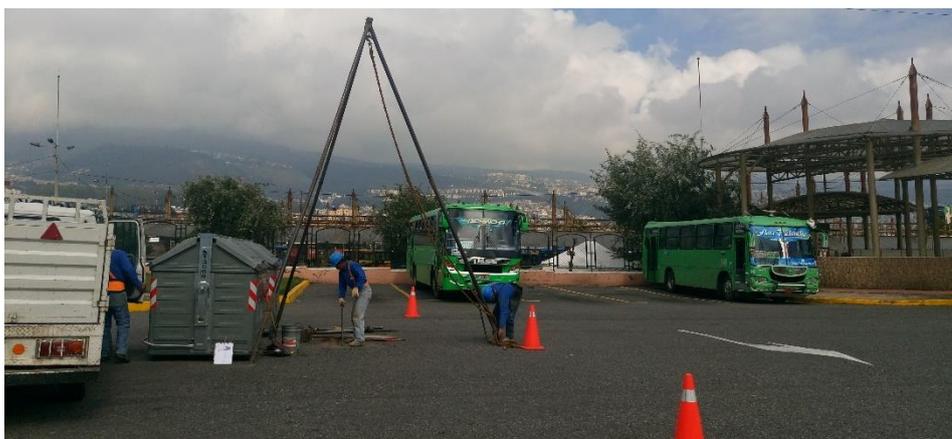
La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente plana, con pendientes que se extienden en sentido oriente - occidente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también plana y se encuentra recubierta por un sistema de piso asfaltado.

7.2.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P2) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con una capa limo arenosa suelta de poca compacidad (aluvial o relleno limpio) hasta los 2 m de profundidad.

El reconocimiento realizado en este trabajo a través de una trinchera (PCA-P02) de 1m profundidad describe el suelo como relleno hasta los 0,5 m de profundidad.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de los 2m de profundidad.



Estación La Ofelia, Pozo PP-2

7.2.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café oscuro, de grano medio a fino, húmedas, con pómez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 17%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	10	LIMOS			ARENAS	SM
2,0	5		ML			
3,0	14					
4,0	16	ARENAS	SM			
5,0	24	LIMOS				
6,0	34		ML			
7,0	29					
8,0	R		ML			

7.2.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.10	21.20	1.38

7.2.4. Recomendaciones del estudio

7.2.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.2.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.2.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	14.99	10
1.00	14.78	15
1.20	14.70	21
1.40	14.69	29
1.50	14.70	33
1.60	14.73	38
1.80	14.79	48
2.00	14.88	60
2.20	14.99	73
2.40	15.11	87
2.50	14.17	95
2.60	15.23	103
2.80	15.37	120
3.00	15.51	140

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 15.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.25 kg/cm³.

7.2.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	fd	fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.2.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a 80 Ω -m.

7.2.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.2.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.3. Piona 03

7.3.1. Investigación de campo

7.3.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P03.

Este trabajo se realizó el día 17 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.3.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P3	4.45	2	SPT
Este estudio	PCA-P03	1.20	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P02	9987812.29	501200.86	2746.10

7.3.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.3.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.3.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.3.2.2. Ensayos de Resistencia

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.3.3. Condiciones generales del Sitio

7.3.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Av. Diego de Vásquez Cepeda, dentro de los predios de un terreno baldío, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P03	9987905,649	501191,905	0+168.047

7.3.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta plana y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.3.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P3) hasta los 5 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) proveniente de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con grava y bloque rocoso al fin del sondeo.

El reconocimiento realizado durante este trabajo, a través de una trinchera (PCA-P03) de 1,2 m profundidad, describe el suelo como relleno hasta 1,0 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 1m de profundidad.



Sitio de la pizona 3. Terreno baldío dentro del cerramiento. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera cerca al poste

7.3.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por limos arcillo arenosos de baja plasticidad, color café oscuro, húmedas.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 17%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	14	ARENAS			LIMOS	ML-CL
2,0	24		SM			
3,0	44					
4,0	47		SM			
5,0	R					
6,0						

7.3.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.13	20.50	1.57

7.3.4. Recomendaciones del estudio

7.3.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.3.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.3.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	17.50	11
1.00	17.20	17
1.20	17.07	25
1.40	17.02	33
1.50	17.02	38
1.60	17.03	44
1.80	17.08	55
2.00	17.16	69
2.20	17.25	83
2.40	17.36	100
2.50	17.42	109
2.60	17.48	118
2.80	17.61	138
3.00	17.74	160

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 17.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.55 kg/cm³.

7.3.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.3.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a 80 Ω -m.

7.3.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.3.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.4. Pilona 4

7.4.1. Investigación de campo

7.4.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P04.

Este trabajo se realizó el día 8 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.4.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P4	7.50	4	SPT
Este estudio	PCA-P04	1.50	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P04	9988032.13	501025.25	2734.00

7.4.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.4.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.4.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.4.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.4.3. Condiciones generales del Sitio

7.4.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Av. John F. Kennedy en los parqueaderos exteriores del estadio de Liga de Quito, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P04	9988034,061	501023,762	0+382.645

7.4.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes, que se extienden en sentido occidente - oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta plana y se encuentra recubierta por un sistema de piso adoquinado.

7.4.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P4) hasta los 7 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, de compacidad media a alta provenientes de cangahua, con una capa areno limosa suelta de poca compacidad (aluvial o relleno limpio) hasta 1 m de profundidad.

El reconocimiento realizado durante este trabajo, a través de una trinchera (PCA-P04) de 1,5 m profundidad, describe el suelo como relleno hasta 1,4 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 1,4 m de profundidad.



Sitio de la pizona 4. Terreno dentro del cerramiento en los predios del estadio del club Liga Deportiva Universitaria. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el parqueadero cerca al cerramiento (la marca roja en la pared indica la dirección de la línea la Ofelia-Colinas del Norte-la Roldós).

7.4.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café, de grano medio a grueso, húmedas, con pómez y gravas. El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 15%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	6	ARENAS	SM		ARENAS	SM
2,0	38					
3,0	49	LIMOS	ML			
4,0	16					
5,0	44		ML			
6,0	35					
7,0	48	ARENAS	SM			

7.4.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos. Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.14	24.40	1.60

7.4.4. Recomendaciones del estudio

7.4.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.4.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

7.4.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	26.47	17
1.00	26.09	26
1.20	25.95	37
1.40	25.94	51
1.50	25.96	58
1.60	26.01	67
1.80	26.13	85
2.00	26.30	105
2.20	26.49	128
2.40	26.70	154
2.50	26.82	168
2.60	26.93	182
2.80	27.18	213
3.00	27.43	247

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 27.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 4.00 kg/cm³.

7.4.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.4.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 40 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 40 a 50 Ω -m.

7.4.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.4.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizotal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.5. Pilona 5

7.5.1. Investigación de campo

7.5.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de dos pozos de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de hasta 2.40 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P05 y PP-P05A.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P05.

Estos trabajos se realizaron los días 17 y 21 de marzo del 2016 respectivamente. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.5.1.2. *Exploración*

Los pozos fueron realizados utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P5	2.50	1	SPT
Este estudio	PP-P05	2.30	1	SPT
Este estudio	PP-P05A	2.40	1	SPT
Este estudio	PCA-P05	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P05	9988182.40	500828.03	2728.00
PP-P05A	9988183.78	500824.63	2728.05
PCA-P05	9988182.34	500827.08	2728.00

7.5.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.5.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.5.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de las perforaciones y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.5.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.5.3. Condiciones generales del Sitio

7.5.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector del colegio Andrés Bello en la calle Pablo Picasso, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P05	9988184,978	500825,535	0+631.777

7.5.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, cuyas pendientes se extienden en sentido occidente - oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.5.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P5) hasta los 2 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, de compacidad alta a muy alta (rechazo al SPT), provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con bloque rocoso al fin del sondeo.

El reconocimiento realizado durante este trabajo, a través de 2 ensayos SPT identifica suelos de mediana compacidad hasta los 2,3 m (PP-P05) y 2,4 m (PP-P05A), con bloque rocoso al fin de los sondeos (rechazo al SPT). La trinchera (PCA-P05) de 1m de profundidad describe el suelo como relleno hasta 0,4 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 1m de profundidad.



Sitio de la pila 5. Terreno dentro del cerramiento en los predios del colegio Andrés Bello. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera norte de la calle P. Picaso (la marca roja en la pared indica la dirección de la línea la Ofelia-Colinas del Norte-la Roldós).

7.5.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una mezcla de limos y arenas dispuestos en porcentajes variados. Las arenas son de color café, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas, con bajos porcentajes de lapilli, en forma de granos milimétricos de pómez y con estructura semidensa. Los limos son de color café oscuro, de baja plasticidad, húmedos y con estructura semidura. El espesor de esta capa es de dos metros en promedio. Subyace un estrato de gravas de diámetros centimétricos, de formas subangulares, mal gradadas, con matriz areno limosa de color café y estructura media.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 9 y 19%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	49	ARENAS		16	ARENAS	
2,0	R		SM	R		SM
3,0						
4,0						
5,0						
6,0						

7.5.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.14	24.70	1.67

7.5.4. Recomendaciones del estudio

7.5.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los

asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.5.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

7.5.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	27.65	18
1.00	27.28	27
1.20	27.16	39
1.40	27.16	53
1.50	27.20	61
1.60	27.26	70
1.80	27.41	89
2.00	27.60	110
2.20	27.81	135
2.40	28.05	162
2.50	28.18	176
2.60	28.31	191
2.80	28.58	224
3.00	28.86	260

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 29.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 4.40 kg/cm³.

7.5.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	fd	fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.5.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad

reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a 140 Ω -m.

7.5.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

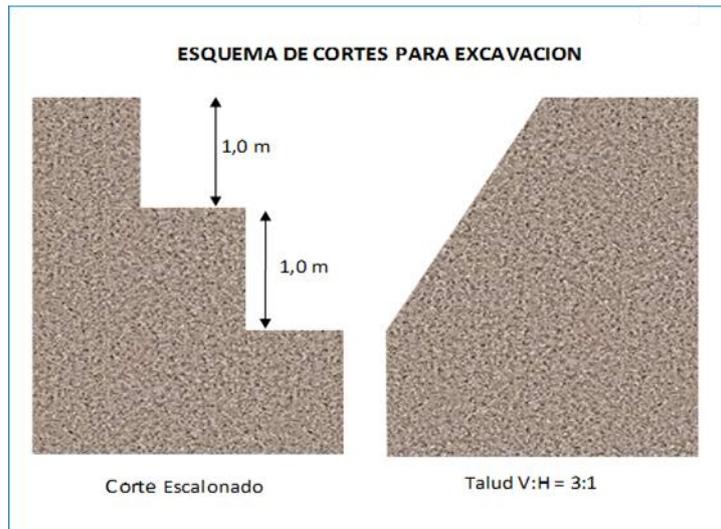
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.5.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.6. Pilona 6

7.6.1. Investigación de campo

7.6.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P06.

Este trabajo se realizó el día 8 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.6.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P6	5.00	3	SPT
Este estudio	PCA-P06	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sitio

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P06	9988285.35	500697.43	2724.00

7.6.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.6.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.6.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.6.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.6.3. Condiciones generales del Sitio

7.6.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la calle Piedras Negras, dentro de un terreno baldío de propiedad privada tras del cerramiento con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P06	9988285,445	500693,174	0+797.950

7.6.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.6.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P6) hasta los 6 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, de compacidad alta a muy alta (rechazo) provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con una capa areno limosa suelta de poca compacidad hasta los 3 m de profundidad y bloque rocoso al fin del sondeo.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P06) de 1m profundidad describe el suelo como relleno hasta 0,8 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 3 m de profundidad.



Sitio de la piona 6. Terreno dentro del cerramiento en los predios de propiedad privada. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera (la marca roja en la acera indica la dirección de la línea la Ofelia-Colinas del Norte-la Roldós).

7.6.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café oscuro, con grano medio a fino, húmedas, con pómez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 19%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	7	ARENAS	SM		ARENAS	SM
2,0	3					
3,0	3		SM			
4,0	43					
5,0	48		SM			
6,0	R	GRAVAS	GM			

7.6.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.13	22.40	1.79

7.6.4. Recomendaciones del estudio

7.6.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.6.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.6.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	21.75	14
1.00	21.46	21
1.20	21.37	31
1.40	21.37	42
1.50	21.40	48
1.60	21.45	55
1.80	21.56	70
2.00	21.71	87
2.20	21.88	106
2.40	22.07	127
2.50	22.16	139
2.60	22.26	151
2.80	22.47	176
3.00	22.69	204

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 22.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.30 kg/cm³.

7.6.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	fd	fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.6.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 40 a 50 Ω -m.

7.6.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

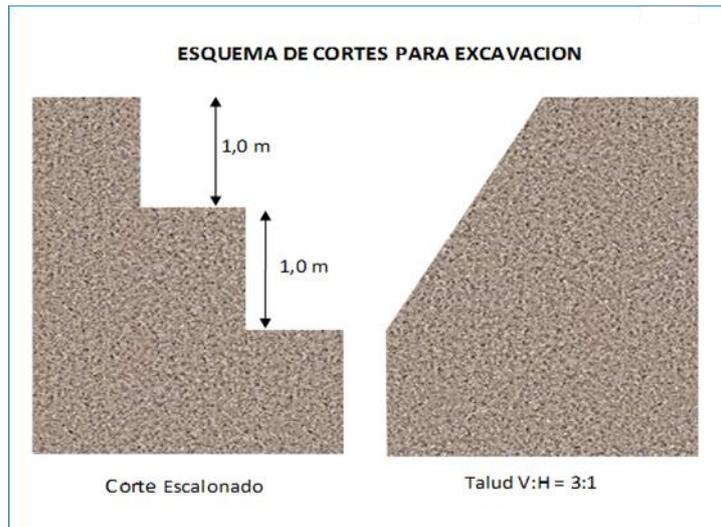
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.6.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.7. Piona 7

7.7.1. Investigación de campo

7.7.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 0.80 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97, adicionalmente se realizaron 8 intentos. La perforación se identifica como PP-P07.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P07.

Estos trabajos se realizaron entre los días 1 y 8 de abril del 2016 respectivamente. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.7.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	-----	-----	-----	-----
Este estudio	PP-P07	0.80	1	SPT
Este estudio	PCA-P07	Superficial	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P07	9988341.15	500626.02	2721.70
PCA-P07	9988339.87	500623.30	2721.70

7.7.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.7.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.7.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.7.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.7.3. Condiciones generales del Sitio

7.7.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la calle San José del Condado, en predios de propiedad privada, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P07	9988337,221	500625,183	0+883.410

7.7.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también ligeramente inclinada y se encuentra libre al momento de realizar el estudio.

7.7.4. Geología del Sector

Las características geológicas del terreno de cimentación serían similares a las descritas para la estación La Mariscal. Suelo de tipo SM en la superficie como matriz de bloques rocosos (deposito coluvial).



Pilona 07. Pozo a cielo abierto PCA-P07 y perforación.

7.7.4.1. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa superficial de arenas limosas de color café oscuro, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, húmedas y con estructura densa. El espesor de esta capa es menor a un metro y sobre yace a un estrato de gravas decimétricas y centimétricas, de formas subangulares, bien gradadas y con estructura densa. Las gravas están dentro de una matriz areno limosa similar a la capa superior.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y son del orden del 15%.

Las tablas siguientes muestran los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0		NO REALIZADO		R	ARENAS	SM
2,0				R	GRAVAS	GM
3,0						

7.7.4.2. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y GM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.14	25.50	1.49

7.7.5. Recomendaciones del estudio

7.7.5.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.7.5.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

7.7.5.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	28.72	18
1.00	28.30	28
1.20	28.14	41
1.40	28.13	55
1.50	28.16	63
1.60	28.20	72
1.80	28.34	92
2.00	28.52	114
2.20	28.73	139
2.40	28.96	167
2.50	29.08	182
2.60	29.21	197
2.80	29.47	231
3.00	29.75	268

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 30.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 4.50 kg/cm³.

7.7.5.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.7.5.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto,

están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 80 a 90 Ω -m.

7.7.5.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.7.5.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.8. Pilona 8

7.8.1. Investigación de campo

7.8.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 4.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P08.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P08.

Estos trabajos se realizaron el día 31 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.8.1.2. Exploración

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	----	----	----	----
Este estudio	PP-P08	4.00	2	SPT
Este estudio	PCA-P08	1.00	1	Triaxial UU

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P08	9988391.27	500558.48	2719.80
PCA-P08	9988391.27	500558.48	2719.80

7.8.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.8.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.8.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.8.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.8.3. Condiciones generales del Sitio

7.8.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Av. Antonio José de Sucre, en predio de propiedad privada, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P08	9988388,774	500557,487	0+968.490

7.8.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por un sistema de piso de hormigón.

7.8.3.3. Geología del Sector

Las características geológicas del terreno de cimentación serían similares a las descritas para la estación La Mariscal. Suelo de tipo SM-SC, con pómez, a 1 m de profundidad, como matriz de bloques rocosos (deposito coluvial).



Pilona 08. Pozo de perforación PP-P08

7.8.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa superior de arenas limosas y arcillosas de color café oscuro, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, húmedas y con estructura media a densa. Las arenas contienen porcentajes medios y altos de limos de igual color, de baja a nula plasticidad, húmedos y con estructura media a dura. Contienen además pocas gravas de diámetros centimétricos, mal gradadas, de formas subangulares y estructura media. Se aprecian bajos porcentajes de lapilli en formas de partículas milimétricas de pómez.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 20 y 23%.

Las tablas siguientes muestran los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0		NO REALIZADO		18	ARENAS	SM-SC
2,0				18		
3,0				20		SM
4,0				24		
5,0						
6,0						

7.8.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y SM-SC en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	0.13	17.60	1.25

7.8.4. Recomendaciones del estudio

7.8.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los

asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.8.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.8.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	12.77	8
1.00	12.53	13
1.20	12.40	18
1.40	12.35	24
1.50	12.34	28
1.60	12.34	32
1.80	12.36	40
2.00	12.40	50
2.20	12.45	60
2.40	12.51	72
2.50	12.55	78
2.60	12.58	85
2.80	12.66	99
3.00	12.74	115

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 13.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.00 kg/cm³.

7.8.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.8.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto,

están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 50 a 60 Ω -m.

7.8.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.8.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.9. Pilona 9

7.9.1. Investigación de campo

7.9.1.1. Generalidades

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P09.

Este trabajo se realizó el día 8 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.9.1.2. Exploración

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	----	----	----	-----
Este estudio	PCA-P09	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P09	9988429.21	500502.55	2714.90

7.9.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.9.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.9.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.9.2.2. Ensayos de Resistencia a la Compresión

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.9.3. Condiciones generales del Sitio

7.9.3.1. Ubicación del sitio

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Av. Antonio José de Sucre, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P09	9988428,397	500505,459	1+033.900

7.9.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa vegetal.

7.9.3.3. Geología del Sector

Las características geológicas del terreno de cimentación serían similares a las descritas para la estación La Mariscal.

El reconocimiento realizado durante este trabajo a través de una trinchera (PCA-P09) de 1m profundidad describe el suelo como relleno hasta 0,9 m.



Sitio de la pila 9. En la acera sur de la avenida Mariscal Sucre. La calicata se realizó en la acera

7.9.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limo arcillosas de color café, con grano medio a fino, poco húmedas, con pomez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 10%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	11	ARENAS			ARENAS	SM-SC
2,0	9		SM			
3,0	38					
4,0	R		SM			

7.9.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM-SC en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos. Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.13	28.20	1.51

7.9.4. Recomendaciones del estudio

7.9.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la

capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.9.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.9.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	36.06	23
1.00	35.68	36
1.20	35.61	51
1.40	35.70	70
1.50	35.79	81
1.60	35.90	92
1.80	36.17	117
2.00	36.49	146
2.20	36.85	178
2.40	37.23	214
2.50	37.43	234
2.60	37.64	254
2.80	38.06	298
3.00	38.50	346

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las

columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 38.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 5.70 kg/cm³.

7.9.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.9.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto,

están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a 80 Ω -m.

7.9.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

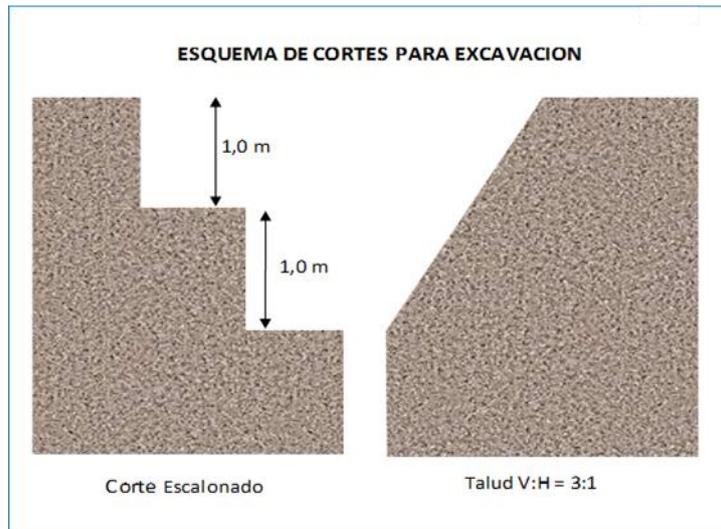
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.9.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.10.Pilona 10

7.10.1. Investigación de campo

7.10.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 10.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P10.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P10.

Estos trabajos se realizaron entre los días 8 y 14 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.10.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	----	----	----	----
Este estudio	PP-P10	10.00	5	SPT
Este estudio	PCA-P10	2.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P10	9988448.54	500476.81	2714.00
PCA-P10	9988447.33	500475.41	2714.10

7.10.1.3. Niveles Freáticos

Luego de realizados los sondeos se procedió a detectar la presencia de los niveles freáticos en cada pozo y a medir su profundidad. Se realizaron varias mediciones hasta encontrar que las variaciones de profundidad son mínimas y estables. La siguiente tabla resume las profundidades de los niveles encontrados. Sin embargo estos valores pueden variar según la época climática de la zona.

Nivel Freático

Sondeo	Profundidad, m
PP – P10	-4.70

7.10.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.10.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas del pozo de perforación y del pozo a cielo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices

estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.10.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.10.3. Condiciones generales del Sitio

7.10.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Av. Antonio José de Sucre, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P10	9988450,451	500476,500	1+070.300

7.10.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.10.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado durante este trabajo, a través de SPT (PP-P10) hasta los 10 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos de compacidad media proveniente de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con una capa de muy poca compacidad hasta los 2 m de profundidad y nivel freático a los 4,7 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 3 m de profundidad.



Sitio de la piona 10. Entre la acera norte de la calle y la propiedad privada. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera.

7.10.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa superior de materiales de relleno compuesto por gravas, arenas y limos, con estructura suelta, de color café, poco húmedos y de 2.40 metros de espesor. Subyace un estrato de arenas limosas de color café, de grano medio a grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, poco húmedas y con estructura suelta en los primeros tres metros y estructura media hasta la base del sondeo. Las arenas contienen porcentajes medios y bajos de limos de igual color, no plásticos, húmedos y con estructura blanda a media. Contienen además bajos porcentajes de lapilli en forma de granos milimétricos de pómez y pocas gravas centimétricas, subangulares y con estructura media.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 11 y 31%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0		NO REALIZADO		5	ARENAS	SM
2,0				3		
3,0				18		SM
4,0				18		
5,0				16		SM
6,0				20		
7,0				18		SP-SM

7.10.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y SP-SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial y/o de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.10	29.40	1.53

7.10.4. Recomendaciones del estudio

7.10.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la

capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.10.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.10.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre

el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	35.36	23
1.00	35.23	35
1.20	35.34	51
1.40	35.61	70
1.50	35.77	80
1.60	35.96	92
1.80	36.37	118
2.00	36.83	147
2.20	37.32	181
2.40	37.83	218
2.50	38.09	238
2.60	38.36	259
2.80	38.90	305
3.00	39.46	355

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 40.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 6.00 kg/cm³.

7.10.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.10.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto,

están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 80 a 90 Ω -m.

7.10.4.6. *Licuación de los Suelos*

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

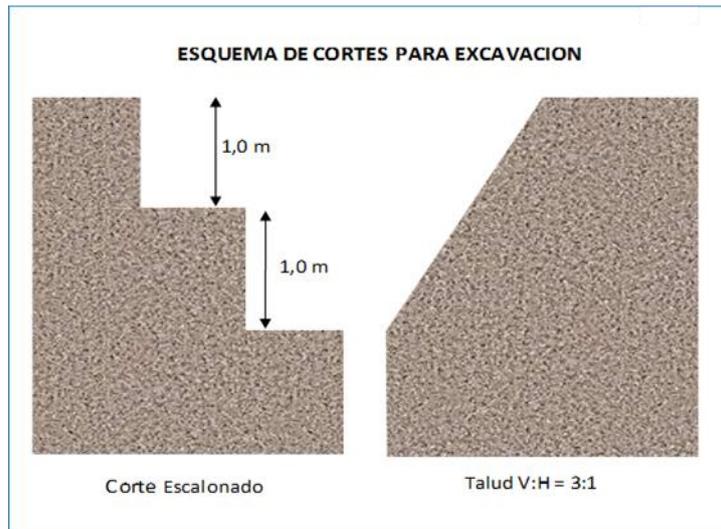
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.10.4.7. *Estabilidad de los Taludes y Cortes*

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.11.Pilona 11

7.11.1. Investigación de campo

7.11.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P11.

Este trabajo se realizó el día 17 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.11.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apíquese realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La tabla 1 detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P11	15.50	8	SPT
Este estudio	PCA-P11	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P11	9988492.34	500419.35	2713.10

7.11.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.11.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.11.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.11.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.11.3. Condiciones generales del Sitio

7.11.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la calle Pizarro, en los predios de propiedad privada con cerramiento, en las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P11	9988495,906	500416,811	1+145.300

7.11.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.11.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P11) hasta los 15 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, SP-SM de compacidad media a alta, provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con nivel freático a los 3m de profundidad y una capa areno limosa suelta de poca compacidad (aluvial) entre los 3 a 7 m.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P11) de 1m profundidad describe el suelo como SM.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 7m de profundidad.



Sitio de la pizona 11. Entre la acera norte de la calle y la propiedad privada. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera.

7.11.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café oscuro, con grano medio a grueso, poco húmedas, con pómez. El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 10%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	12	ARENAS	SM		ARENAS	SM
2,0	17					
3,0	1		SM			
4,0	2					
5,0	5	LIMOS	ML			
6,0	1					
7,0	6	ARENAS	SM			
8,0	12					
9,0	10		SM			
10,0	29					
11,0	38		SM			
12,0	50					
13,0	30		SP-SM			
14,0	27					
15,0	44		SM			

7.11.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.00	29.20	1.57

7.11.4. Recomendaciones del estudio

7.11.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.11.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.11.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50. \left\{ 4.88.\sigma_0 + \left[(4.88.\sigma_0^2) + 757.94.K.N.S.\sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	20.81	13
1.00	20.50	21
1.20	20.37	29
1.40	20.35	40
1.50	20.36	46
1.60	20.639	52
1.80	20.47	66
2.00	20.59	82
2.20	20.73	100
2.40	20.88	120
2.50	20.96	131
2.60	21.05	142
2.80	21.22	166
3.00	21.41	193

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 21.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.10 kg/cm^3 .

7.11.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.11.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a $80 \Omega\text{-m}$.

7.11.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

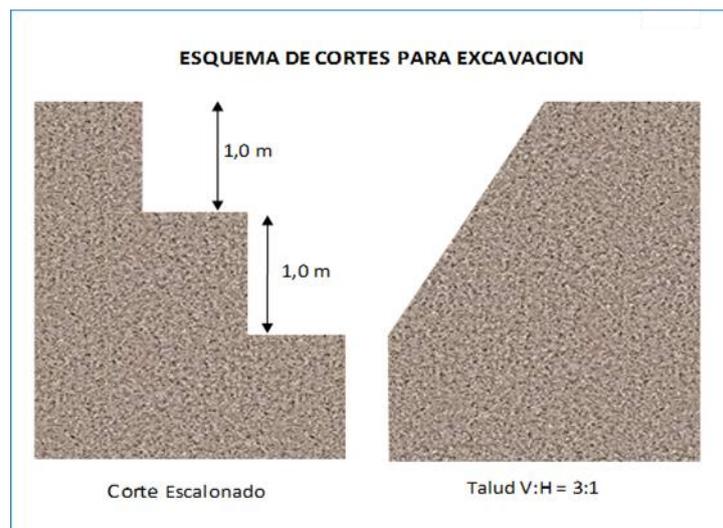
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.11.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.12.Pilona 12

7.12.1. Investigación de campo

7.12.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P12.

Este trabajo se realizó el día 29 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.12.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P12	15.50	8	SPT
Este estudio	PCA-P12	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P12	9988627.52	500243.26	2721.70

7.12.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.12.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.12.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.12.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.12.3. Condiciones generales del Sitio

7.12.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Urb. El Condado en la calle Juan B, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P12	9988625,423	500246,739	1+359.100

7.12.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta plana y se encuentra recubierta por una mínima capa de contrapiso de hormigón.

7.12.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P12) hasta los 15 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a alta, provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con nivel freático a los 10m de profundidad y una capa de arena y lapilli de pómez poco compacta entre 1 a 2m de profundidad y clastos volcánicos hacia la base entre los 11 a 15 m.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P12) de 1m profundidad describe el suelo como ML

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 3 m de profundidad.



Sitio de la pilona 12. Entre la acera de la calle y la propiedad privada, en la urbanización el Condado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera y en la calle.

7.12.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por limos arenosos de color café, de baja plasticidad, húmedos.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 16%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	12	ARENAS	SM		LIMOS	ML
2,0	10					
3,0	21		SM			
4,0	28					
5,0	19	LIMOS	ML			
6,0	25					
7,0	34		ML			
8,0	17					
9,0	23	ARENAS	SM			
10,0	29					
11,0	22		SM			
12,0	50					
13,0	25		SM			
14,0	39					
15,0	40	LIMOS	ML			

7.12.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como ML en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.19	26.30	1.43

7.12.4. Recomendaciones del estudio

7.12.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.12.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.12.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Tabla 7. Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	37.91	24
1.00	37.18	37
1.20	36.81	53
1.40	36.66	72
1.50	36.64	82
1.60	36.64	94
1.80	36.71	119
2.00	36.83	147
2.20	37.01	179
2.40	37.21	214
2.50	37.33	233
2.60	37.45	253
2.80	37.70	296
3.00	37.97	342

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 38.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 5.70 kg/cm^3 .

7.12.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.12.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a $80 \Omega\text{-m}$.

7.12.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

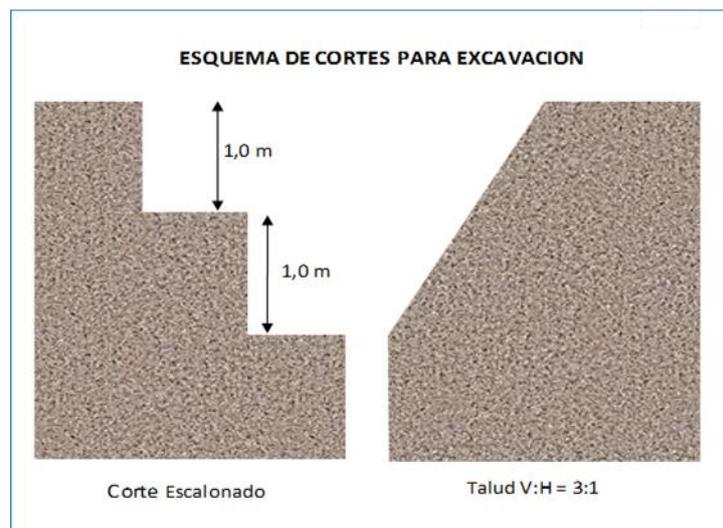
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.12.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.13.Pilona 13

7.13.1. Investigación de campo

7.13.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P13.

Este trabajo se realizó el día 29 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.13.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P13	13.50	6	SPT
Este estudio	PCA-P13	1.00	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P13	9988739.02	500100.51	2728.30

7.13.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.13.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.13.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.13.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.13.3. Condiciones generales del Sitio

7.13.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Urb. El Condado en la calle D, en terreno baldío, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P13	9988737,019	500100,192	1+543.300

7.13.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa vegetal.

7.13.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P13) hasta los 13 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, de compacidad media a alta, inclusive muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con una capa de arena limosa poco compacta entre 2 a 3m de profundidad y otra capa de grava y bloques con arena limosa (aluvial y/o flujo de escombros) entre 4 a 7m y una capa de muy baja compacidad a los 9m.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P13) de 1,1m profundidad describe el suelo como SM

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 4 m de profundidad.



Sitio de la pila 13. En terreno baldío de propiedad privada, en la urbanización el Condado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio al interior de la acera.

7.13.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café, de grano medio a fino, poco húmedas.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 6%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	12	ARENAS			ARENAS	SM
2,0	9		SM			
3,0	10					
4,0	17	LIMOS	ML			
5,0	30					
6,0	R					
7,0	R					
8,0	15					
9,0			ML			
10,0	11		ML			
11,0	17					
12,0	47		ML			
13,0	36		ML			

7.13.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.02	31.90	1.48

7.13.4. Recomendaciones del estudio

7.13.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.13.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media.

7.13.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	26.70	17
1.00	27.39	27
1.20	28.14	41
1.40	28.93	57
1.50	29.33	66
1.60	29.74	76
1.80	30.57	99
2.00	31.40	126
2.20	32.25	156
2.40	33.10	191
2.50	33.53	210
2.60	33.96	230
2.80	34.82	278
3.00	35.68	321

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 36.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 4.90 kg/cm³.

7.13.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.13.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a 80 Ω -m.

7.13.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

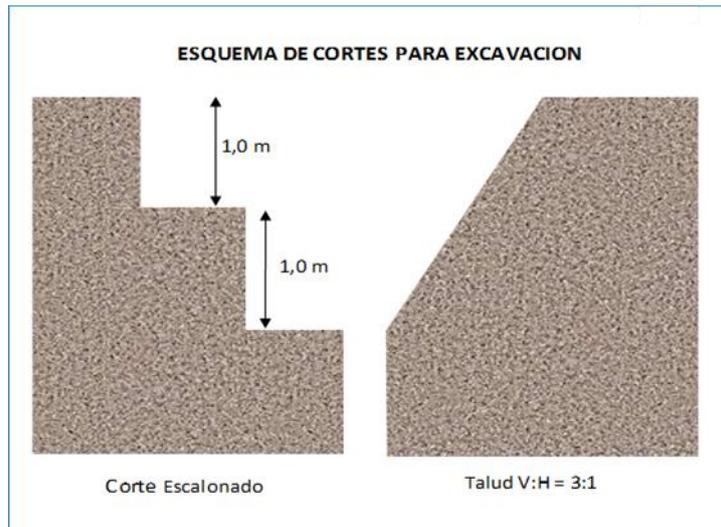
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.13.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.14.Pilona 14

7.14.1. Investigación de campo

7.14.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P14.

Este trabajo se realizó el día 29 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.14.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P14	13.50	6	SPT
Este estudio	PCA-P14	0.80	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P14	9988868.28	499926.83	2732.10

7.14.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.14.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.14.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.14.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.14.3. Condiciones generales del Sitio

7.14.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Urb. El Condado en la calle Gonzalo Cordero, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P14	9988868,312	499927,794	1+760.000

7.14.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa vegetal.

7.14.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P14) hasta los 13 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, ML-CL, de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con una capa de arena limosa suelta y muy poca compacidad hasta los 2 m de profundidad y con grava a los 3m, y un nivel de muy alta compacidad y/o cementación (rechazo al SPT) con bloques rocosos grandes al fin del sondeo.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P14) de 1m profundidad describe el suelo como SM.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 3 m de profundidad.



Sitio de la pila 14. En el parterre de la calle, en la urbanización el Condado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio al interior del parterre.

7.14.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café claro, de grano medio a fino, poco húmedas.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 5%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	3	ARENAS			ARENAS	SM
2,0	3		---			
3,0	53					
4,0	19	LIMOS	ML			
5,0	22					
6,0	26		ML			
7,0	28					
8,0	30		ML			
9,0	34					
10,0	39		ML-CL			
11,0	R					
12,0	R		----			
13,0	R					

7.14.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la

prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.14	25.50	1.64

7.14.4. Recomendaciones del estudio

7.14.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.14.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media.

7.14.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según la Tabla 6**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	29.69	19
1.00	29.31	29
1.20	29.18	42
1.40	29.20	57
1.50	29.25	66
1.60	29.31	75
1.80	29.48	96
2.00	29.70	119
2.20	29.94	145
2.40	30.21	174
2.50	30.35	190
2.60	30.49	206
2.80	30.91	241
3.00	31.10	280

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 31.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 4.50 kg/cm³.

7.14.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.14.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 30 a 40 Ω-m.

7.14.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.

- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.14.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.15.Pilona 15

7.15.1. Investigación de campo

7.15.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P15.

Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.15.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P15	13.50	7	SPT
Este estudio	PCA-P15	1.20	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P15	9989009.30	499742.63	2736.00

7.15.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.15.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.15.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.15.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.15.3. Condiciones generales del Sitio

7.15.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza al interior de un terreno baldío en el sector de Urb. Prados del Condado en la calle T10, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P15	9989008,690	499743,460	1+991.700

7.15.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también ligeramente inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa de material granular de relleno.

7.15.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P15) hasta los 14 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a alta proveniente de cangahua, con capas delgadas de arena y limo de poca compacidad hasta los 2 m de profundidad y otro nivel de alta compacidad entre 3 a 5m de profundidad.

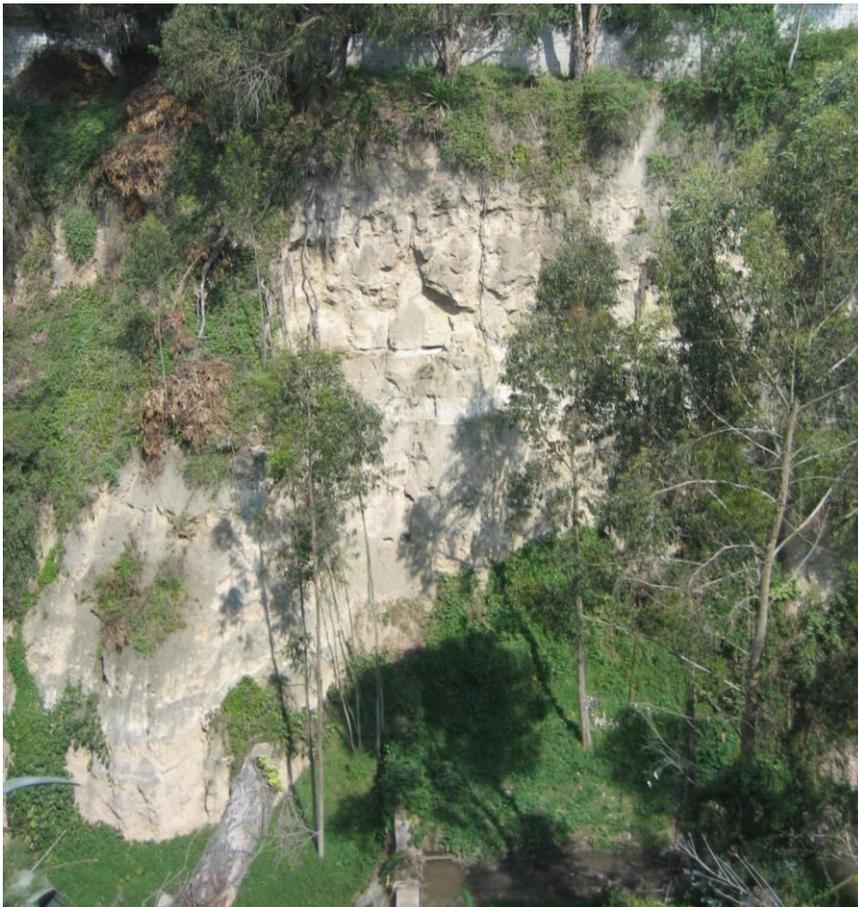
El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P15) de 1,2 m profundidad describe el suelo como SM.

El talud de la margen izquierda de la quebrada Parcayacu ubicada aproximadamente a 30m al sur del sitio de la Pilona muestra una secuencia de 20 m de cangahua intercalada con capas delgada de pómez (foto 15A). El sitio de la Pilona puede estar cubierto por relleno entre 1 a 2m de espesor.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 3 m de profundidad.



Sitio de la pilona 15. Terreno baldío en predio privado hacia adentro de la acera sur de la calle. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio (la marca roja en el adoquinado de la calle indica la dirección de la línea la Ofelia-Colinas del Norte-la Roldós).



Talud sur de la quebrada Parcayacu, a 30 m al sur del sitio de la pilona 15, conformado por cangahua con pequeñas capas intercaladas de ceniza y lapilli.

7.15.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café, de grano medio a grueso, poco húmedas, con pómez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 9%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	10	ARENAS			ARENAS	SM
2,0	14		SM			
3,0	52					
4,0	46	LIMOS	ML			
5,0	56					
6,0	20		ML			
7,0	22					
8,0	37	ARENAS	SM			
9,0	24					
10,0	32		SM			
11,0	26		SM			
12,0	26					

7.15.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la

prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.00	26.90	1.51

7.15.4. Recomendaciones del estudio

7.15.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.15.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos poco cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media baja.

7.15.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	11.63	7
1.00	12.06	12
1.20	12.49	18
1.40	12.92	25
1.50	13.14	30
1.60	13.35	34
1.80	13.78	45
2.00	14.21	57
2.20	14.64	71
2.40	15.08	87
2.50	15.29	96
2.60	15.51	105
2.80	15.94	125
3.00	16.37	147

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 16.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.40 kg/cm^3 .

7.15.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.15.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 50 a 60 $\Omega\text{-m}$.

7.15.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

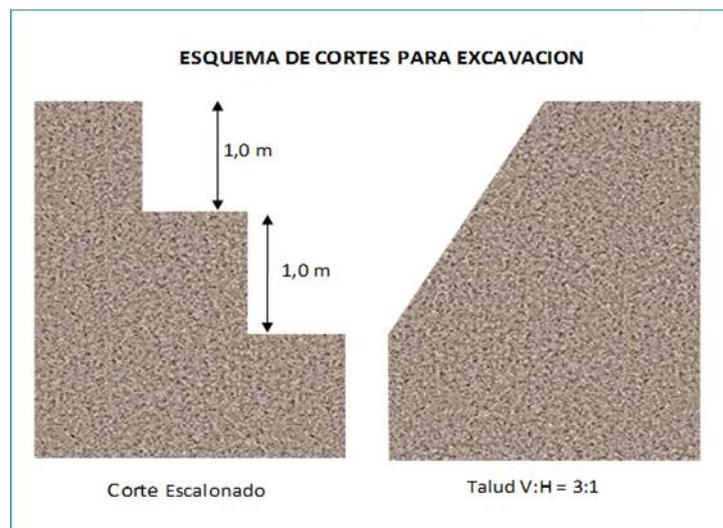
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.

- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.15.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.16.Pilona 16

7.16.1. Investigación de campo

7.16.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P16. Este trabajo se realizó el día 08 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.16.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P16	8.00	4	SPT
Este estudio	PCA-P16	0.80	1	Triaxial UU

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P16	9989077.91	499653.41	2728.80

7.16.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.16.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.16.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente..

7.16.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.16.3. Condiciones generales del Sitio

7.16.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la Urb. Prados del Condado, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P16	9989075,034	499656,341	2+101.205

7.16.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, cuyas pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del terreno en el sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa vegetal al pie del talud.

7.16.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P16) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con un nivel de muy alta compacidad y/o cementación (rechazo al SPT) hasta los 2 m de profundidad y debajo los 7m.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P16) de 0,8 m profundidad describe el suelo como SM-SC.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 1 m de profundidad.



Sitio de la pila 16. Terreno baldío en predio público que conforma una cancha deportiva. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio, al pie del pequeño talud de cangahua.

7.16.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limo arcillosas de color café claro, de grano medio a fino, poco húmedas, con pómez. El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 8%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMOS	ML		ARENAS	SM-SC
2,0	R					
3,0	20	ARENAS	SM			
4,0	21					
5,0	33		SM			
6,0	34					
7,0	55		SM			
8,0	R					

7.16.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM -SC en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	1.28	25.60	1.79

7.16.4. Recomendaciones del estudio

7.16.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.16.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.16.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_o = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	68.96	44
1.00	66.63	67
1.20	65.13	94
1.40	64.12	126
1.50	63.73	143
1.60	63.40	162
1.80	62.88	201
2.00	62.51	250
2.20	62.23	301
2.40	62.03	357
2.50	61.95	387
2.60	61.89	418
2.80	61.80	484
3.00	61.74	556

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 60.00 T/m^2 .

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 9.00 kg/cm^3 .

7.16.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.16.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a 140 $\Omega\text{-m}$.

7.16.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.

- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.16.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.17.Pilona 17

7.17.1. Investigación de campo

7.17.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P17.

Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.17.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P17	15.50	8	SPT
Este estudio	PCA-P17	0.60	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P17	9989218.52	499465.33	2736.00

7.17.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.17.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.17.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.17.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.17.3. Condiciones generales del Sitio

7.17.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Rancho Bajo, en los predios públicos de una cancha de deporte, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P17	9989218,661	499467,740	2+338.268

7.17.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y se encuentra libre al momento del estudio.

7.17.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P17) hasta los 15 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua o coluvial con matriz de cangahua, con nivel freático a los 11,0 m de profundidad, un paleosuelo (raíces) a los 3m y un nivel de muy alta compacidad y/o cementación (rechazo al SPT) hasta 1 m de profundidad y debajo los 9m.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P17) de 0,6 m profundidad describe el suelo como SM.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 3 m de profundidad.



Sitio de la pila 17. Terreno baldío en predio público que conforma una cancha deportiva. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio, al pie del pequeño talud de cangahua.

7.17.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café claro, de grano medio a grueso, húmedas, con grumos y pómez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 14%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMOS	ML		ARENAS	SM
2,0	32					
3,0	24		ML			
4,0	19					
5,0	43	ARENAS	SM			
6,0	24					
7,0	35		SM			
8,0	47					
9,0	51		SM			
10,0	R					
11,0	R	LIMOS	ML			
12,0	45					
13,0	R	ARENAS	SM			
14,0	57					
15,0	R	LIMOS	ML			

7.17.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.21	28.90	1.51

7.17.4. Recomendaciones del estudio

7.17.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.17.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.17.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	53.42	34
1.00	52.46	52
1.20	52.01	75
1.40	51.86	102
1.50	51.85	117
1.60	51.88	133
1.80	52.03	169
2.00	52.27	209
2.20	52.56	254
2.40	52.90	305
2.50	53.09	332
2.60	53.28	360
2.80	53.69	421
3.00	54.12	487

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 54.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 8.10 kg/cm^3 .

7.17.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.17.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a $140 \Omega\text{-m}$.

7.17.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

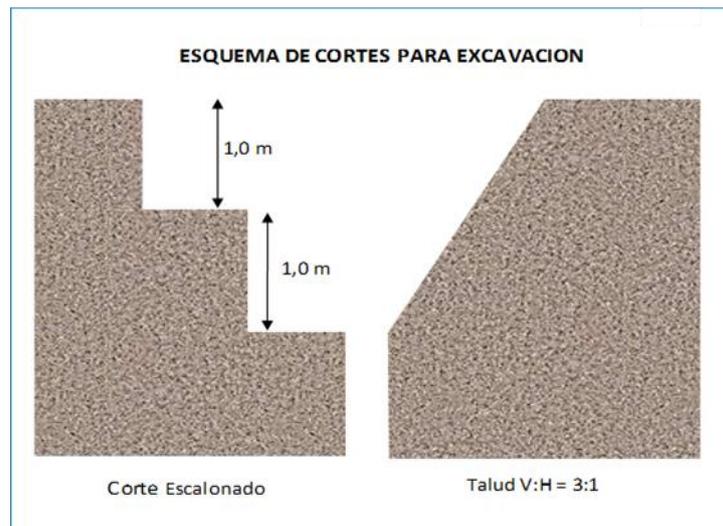
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.

- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.17.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.18.Pilona 18

7.18.1. Investigación de campo

7.18.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de dos pozos de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 5.00 y 4.00 metros de profundidad respectivamente, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. Adicionalmente se realizó una perforación de 9.00 m de profundidad, sin muestreo, para localizar el estrato de suelo natural. Las perforaciones se identifican como PP-P18 y PP-P18A.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P18.

Estos trabajos se realizaron los días 10 y 18 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.18.1.2. *Exploración*

Los pozos fueron realizados utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P18	10.00	5	SPT
Este estudio	PP-P18	5.00	3	SPT
Este estudio	PP-P18A	4.00	2	SPT
Este estudio	PCA-P18	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P18	9989403.74	499206.46	2793.10
PP-P18A	9989400.00	499203.62	2793.10
PCA-P18	9989410.84	499204.48	2793.10

7.18.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.18.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.18.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de las perforaciones y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.18.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.18.3. Condiciones generales del Sitio

7.18.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la cancha de Colinas del Norte, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P18	9989413,828	499211,461	2+660.400

7.18.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y se encuentra recubierta por un sistema de piso adoquinado.

7.18.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P18) hasta los 10 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad muy baja correspondiente a un relleno proveniente de cangahua removida, hasta los 9 m de profundidad, y un nivel de muy alta compacidad y/o cementación (rechazo al SPT) a los 9 m de profundidad.

El reconocimiento realizado durante este trabajo a través de 2 ensayos SPT, identifica un suelo de muy baja compacidad (relleno) hasta los 9 m de profundidad (PP-P18) y otro de mediana compacidad hasta los 10 m de profundidad (PP-02).

De estos reconocimientos y los realizados para la estación Colinas del Norte parecería que el terreno en este sitio corresponde a un relleno de material suelto y baja compacidad sobrepuesto a depósitos de cangahua, que conforman el borde de una ladera de entre 30

a 40 grados de inclinación. Se debe realizar un perfil topográfico en la ladera hacia arriba y abajo del sitio, determinar la profundidad y el perfil del terreno in situ y el relleno, ubicar la cimentación por debajo del perfil inferior del relleno (micropilotes o pilas prebarrenadas) y realizar un análisis de estabilidad de la ladera y el relleno. Para esto se debe desarrollar el modelo geotécnico del sitio de cimentación con las características de resistencia al corte de los materiales (relleno y cangahua) y determinar el FS en condiciones estáticas y pseudoestáticas y varias posibilidades de posición del NF, para determinar la estabilidad del sitio y de las obras.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan a los 10 m de profundidad.



Sitio de la pila 18. Terreno en predio público que conforma una cancha deportiva y sitio recreacional al borde de una ladera. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio.



Sitio de la pila 18. Al borde de un relleno con talud entre 30 a 40 grados, que sobre yace una ladera conformada por cangahua, (parte superior y central de la foto).

7.18.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por un potente estrato de materiales de relleno, compuesto por una mezcla de gravas, arenas y limos, dispuestos en variados porcentajes, con abundantes escombros, partículas de lapilli en forma de granos de pómez, desperdicios, basura y materia orgánica de origen vegetal. La matriz del relleno son arenas limosas de color café claro, de grano grueso, de formas subredondeadas, mal gradadas, poco húmedas y con estructura suelta. Los limos de la mezcla son no plásticos, se encuentran en porcentajes medios, poco húmedos y con estructura blanda. El espesor del relleno es del orden de los 10 metros.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y son del orden del 4 al 12%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	6	ARENAS		3	RELLENO	SM
2,0	2		SM	2	□	
3,0	1			3	□	SM
4,0	5		SM	2	□	
5,0	6			2	□	SM
6,0	9	LIMOS	ML		□	
7,0	10				□	
8,0	4	ARENAS	SM		□	
9,0	9				□	
10,0	R		-----			

7.18.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM (Relleno) en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.39	30.60	1.60

7.18.4. Recomendaciones del estudio

7.18.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.18.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.18.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Para este sitio específico donde se encuentran materiales de relleno, de mediana potencia, la capacidad de carga admisible es de **4.00 T/m²** que resulta insuficiente para la estructura proyectada, por lo que se recomienda diseñar una cimentación, del tipo profunda, consistente en micropilotes o pilas prebarrenadas, en función de la magnitud de las cargas que la estructura pueda aplicar al subsuelo. La profundidad de los micropilotes y/o de las pilas, deberá ser calculada en base a su diámetro, pero en todo caso deberán apoyarse en el suelo natural, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **INDIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **MICROPILOTES o PILAS PREBARRENADAS**
- LONGITUD: **Variable entre 8 y 10 m**
- DIAMETRO DE MICROPILOTES: **15 cm o mayor**
- DIAMETRO DE PILAS: **1.00 m o mayor**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo F (N*=7.50)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

7.18.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 7.5, lo que equivale a un suelo tipo F. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
F	V	0.40	1.00	1.60	1.90

7.18.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 50 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 30 a 40 Ω -m.

7.18.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.

- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.18.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.19.Pilona 19

7.19.1. Investigación de campo

7.19.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P19. Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.19.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	----	----	----	----
Este estudio	PCA-P19	1.00	1	Triaxial UU

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P19	9989469.61	499167.83	2792.90

7.19.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.19.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.19.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.19.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.19.3. Condiciones generales del Sitio

7.19.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de la cancha de Colinas del Norte, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P19	9989467,181	499173,906	2+728.900

7.19.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte -sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y se encuentra recubierta por un sistema de piso adoquinado.

7.19.3.3. Geología del Sector

Las características geológicas del terreno de cimentación serían similares a las descritas para la estación Colinas del Norte. Se tiene suelo ML-CL a 1,0 m de profundidad proveniente de cangahua, con un espesor de relleno de 0,50 m.



Pozo a cielo abierto PCA-P19, sector de la Pilona 19.

7.19.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por limos arcillo arenoso de color café poco oscuro, de baja plasticidad, húmedos.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 15%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0		NO REALIZADO			LIMOS	ML-CL
2,0						

7.19.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como ML-CL en su parte superficial. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	1.40	30.10	1.74

7.19.4. Recomendaciones del estudio

7.19.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los

asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.19.4.2. Cimentación de la Estructura

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.19.4.3. Capacidad de Carga

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	71.06	45
1.00	68.79	69
1.20	67.37	97
1.40	66.42	130
1.50	66.07	149
1.60	65.77	168
1.80	65.33	212
2.00	65.02	260
2.20	64.82	314
2.40	64.69	373
2.50	64.65	404
2.60	64.62	437
2.80	64.60	506
3.00	64.62	582

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las

columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 64.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 9.60 kg/cm³.

7.19.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.19.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a 140 Ω–m.

7.19.4.6. *Licuación de los Suelos*

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

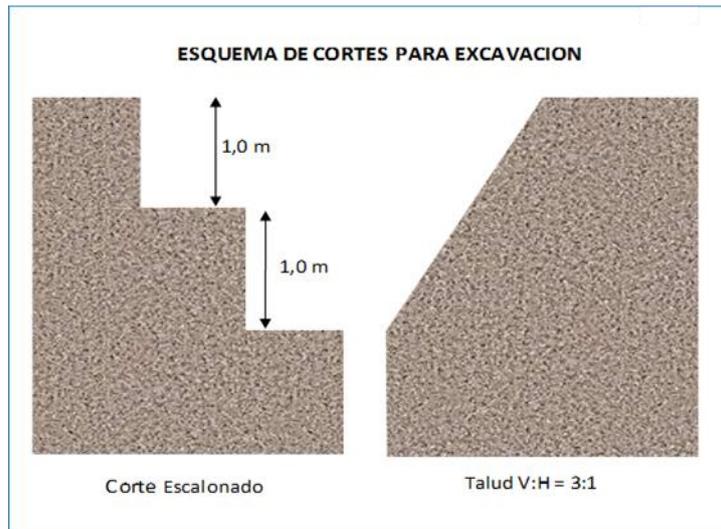
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.19.4.7. *Estabilidad de los Taludes y Cortes*

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.20.Pilona 20

7.20.1. Investigación de campo

7.20.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P20. Este trabajo se realizó el día 18 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.20.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P20	8.00	4	SPT
Este estudio	PCA-P20	1.00	1	Triaxial UU

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P20	9989495.30	499167.04	2791.90

7.20.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.20.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.20.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.20.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.20.3. Condiciones generales del Sitio

7.20.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Colinas del Norte en la calle R2, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P20	9989499,367	499163,916	2+762.600

7.20.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pequeñas pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta horizontal y presenta una estructura de dos pisos al momento del estudio.

7.20.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P20) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a alta proveniente de cangahua, con un nivel limoso de alta compacidad entre los 2 a 4m de profundidad

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P20) de 1m profundidad, con 0.30 m de espesor de relleno, describe el suelo como ML-CL.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1 m de profundidad.



Sitio de la pizona 20. Calle R2. La calicata se realizó en el la calle.

7.20.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por limos arcillo arenosos de color café oscuro, de baja plasticidad, húmedos.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 21%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	22	LIMOS			LIMOS	ML-CL
2,0	38		ML			
3,0	41					
4,0	36		ML			
5,0	22					
6,0	18	ARENAS	SM			
7,0	32					
8,0	37		SM			

7.20.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Triaxial UU	1.56	34.20	1.78

7.20.4. Recomendaciones del estudio

7.20.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.20.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.20.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ₀ = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	50.07	32
1.00	48.49	48
1.20	47.50	68
1.40	46.84	92
1.50	46.60	105
1.60	46.40	119
1.80	46.09	149
2.00	45.88	184
2.20	45.74	221
2.40	45.65	263
2.50	45.62	285
2.60	45.61	305
2.80	45.59	357
3.00	45.61	410

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 45.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 6.70 kg/cm³.

7.20.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.20.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 70 a 80 Ω -m.

7.20.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

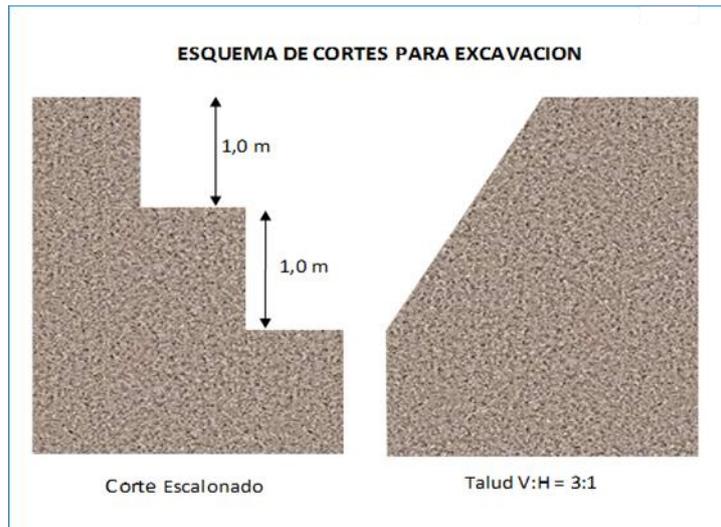
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.20.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.21.Pilona 21

7.21.1. Investigación de campo

7.21.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P21.

Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.21.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P21	8.00	4	SPT
Este estudio	PCA-P21	0.50	1	Corte Directo

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P21	9989564.95	499145.61	2801.90

7.21.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.21.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.21.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.21.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.21.3. Condiciones generales del Sitio

7.21.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle B-24, en terreno baldío de los predios de propiedad privada, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P21	9989562,496	499144,322	2+828.700

7.21.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una capa de relleno granular.

7.21.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P21) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, de compacidad media a muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con un nivel de muy alta compacidad y/o cementación hasta los 2 m de profundidad.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P21) de 0,5 m profundidad describe el suelo como SM-SC.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan después de 1 m de profundidad.



Sitio de la pizona 21. Terreno baldío en predio privado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio.

7.21.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limo arcillosas de color café, de baja plasticidad, húmedos, con grumos.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 15%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMOS			ARENAS	SM-SC
2,0	R		ML			
3,0	38					
4,0	53		ML			
5,0	44					
6,0	33		ML			
7,0	33					
8,0	17	ARENAS	SM			

7.21.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM-SC en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.38	28.60	1.64

7.21.4. Recomendaciones del estudio

7.21.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.21.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.21.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_o = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	62.51	40
1.00	60.93	61
1.20	60.03	86
1.40	59.51	117
1.50	59.35	134
1.60	59.23	152
1.80	59.12	192
2.00	59.11	236
2.20	59.19	287
2.40	59.34	342
2.50	59.42	371
2.60	59.52	402
2.80	59.75	468
3.00	60.00	540

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 60.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 9.00 kg/cm^3 .

7.21.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.21.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a $140 \Omega\text{-m}$.

7.21.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

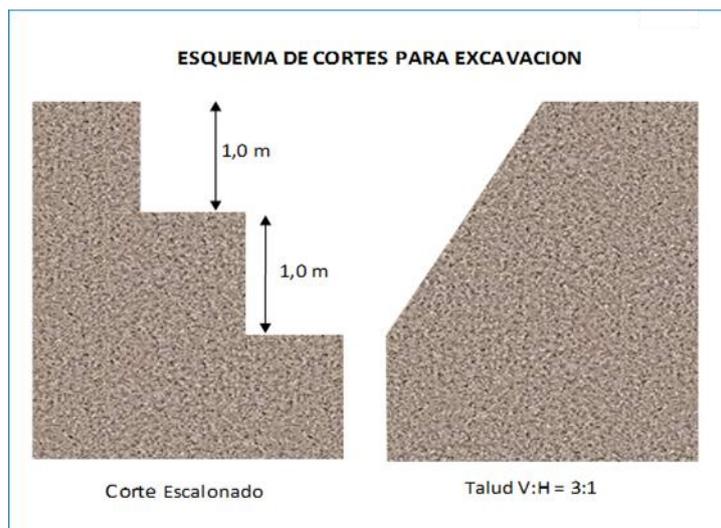
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.21.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.22.Pilona 22

7.22.1. Investigación de campo

7.22.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 8.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P22.

Adicionalmente al sondeo se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P22.

Estos trabajos se realizaron los días 10 y 18 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.22.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P22	8.00	4	SPT
Este estudio	PP-P22	8.00	4	SPT
	PCA-P22	Superficial	1	Triaxial UU

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P22	9989680.55	499109.05	2839.10
PCA-P22	9989679.49	499107.78	2938.00

7.22.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.22.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.22.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.22.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.22.3. Condiciones generales del Sitio

7.22.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle B-22, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P22	9989681,390	499107,419	2+953.190

7.22.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra libre al momento del estudio.

7.22.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P22) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, de compacidad media provenientes de cangahua, con una capa areno limosa suelta de muy baja compacidad hasta 1 m de profundidad.

El reconocimiento realizado en este trabajo a través de un ensayo SPT (PP-P22) identifica un suelo de mediana compacidad hasta los 5 m de profundidad y de muy alta compacidad (rechazo al SPT) hasta los 8 m (fin del sondeo).

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1 m de profundidad.



Sitio de la pizona 22. Pie del talud lado izquierdo de la calle. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio, al pie del talud de la vía, conformado por cangahua.

7.22.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por un potente estrato de arenas limosas de color café, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura suelta a densa. Contienen altos porcentajes de limos no plásticos, de igual coloración, húmedos y con estructura blanda a dura. A partir de los cuatro metros la coloración de los suelos se torna café clara y la estructura es media a densa. Se aprecian pocas gravas de tamaños centimétricos a partir de los cinco metros.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 6 y 15%

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	4	ARENAS		9	ARENAS	SM
2,0	23		SM	16		
3,0	24			26		SM
4,0	22		SM	24		
5,0	19			22		SM
6,0	22		SM	R		
7,0	15			R		SM
8,0	27		SM	R		

7.22.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	1.56	39.40	1.57

7.22.4. Recomendaciones del estudio

7.22.4.1. Criterio de Cimentación

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la

capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.22.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.22.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	62.94	40
1.00	61.14	61
1.20	60.05	86
1.40	59.36	116
1.50	59.12	133
1.60	58.93	151
1.80	58.66	190
2.00	58.51	234
2.20	58.45	283
2.40	58.46	337
2.50	58.48	365
2.60	58.51	396
2.80	58.60	459
3.00	58.73	529

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las

columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 58.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 9.00 kg/cm³.

7.22.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.22.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto,

están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 30 a 40 Ω -m.

7.22.4.6. *Licuación de los Suelos*

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

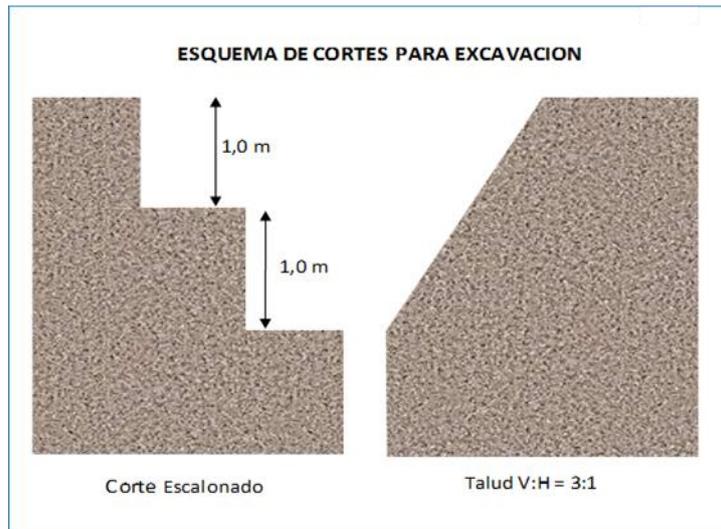
Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.22.4.7. *Estabilidad de los Taludes y Cortes*

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizontal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.23.Pilona 23

7.23.1. Investigación de campo

7.23.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P23. Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.23.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P23	10.00	5	SPT
Este estudio	PCA-P23	Superficial	1	Triaxial UU

Ubicación del sondeo

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P23	9989806.56	499072.21	2886.00

7.23.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.23.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.23.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.23.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.23.3. Condiciones generales del Sitio

7.23.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle B-20, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P23	9989805,433	499068,918	3+083.070

7.23.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra libre al momento del estudio.

7.23.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P23) hasta los 10 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML de compacidad media provenientes de cangahua, con una capa areno limosa suelta de muy baja compacidad entre 1,5 a 2,5 m de profundidad.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P23) de 0,3 m profundidad describe el suelo como ML-CL.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 3 m de profundidad.



Pilona 23. Pie del talud lado izquierdo de la calle. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el sitio, al pie del talud de la vía, conformado por cangahua.

7.23.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por limos arcillo arenosos de color café, de baja plasticidad, poco húmedos.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 10%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	24	ARENAS			LIMOS	ML-CL
2,0	8		SM			
3,0	16					
4,0	12		SM			
5,0	23					
6,0	19	LIMOS	ML			
7,0	20					
8,0	26		ML			
9,0	29					
10,0	32	ARENAS	SM			

7.23.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	0.30	22.30	1.59

7.23.4. Recomendaciones del estudio

7.23.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.23.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.23.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	22.81	15
1.00	22.16	22
1.20	21.76	31
1.40	21.50	42
1.50	21.40	48
1.60	21.32	55
1.80	21.21	69
2.00	21.13	85
2.20	21.09	102
2.40	21.06	121
2.50	21.06	132
2.60	21.06	142
2.80	21.07	165
3.00	21.09	190

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 21.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.00 kg/cm³.

7.23.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.23.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 50 a 60 Ω -m.

7.23.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

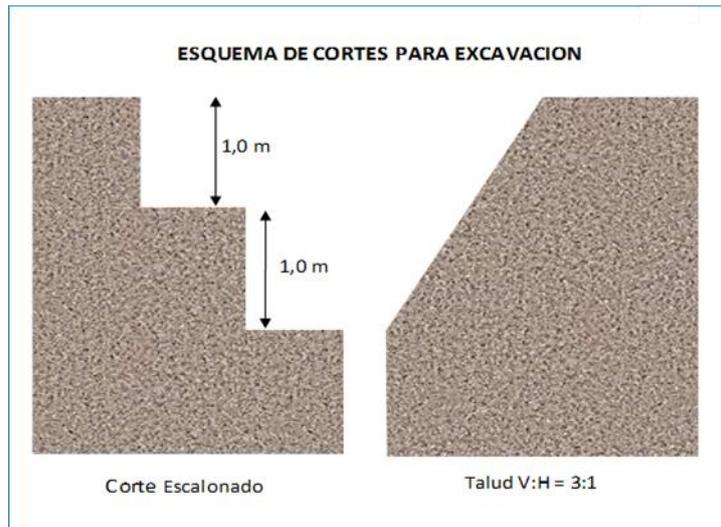
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.23.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.24.Pilona 24

7.24.1. Investigación de campo

7.24.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 8.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P24.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P24.

Estos trabajos se realizaron los días 10 y 12 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.24.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P24	17.50	9	SPT
Este estudio	PP-P24	8.00	4	SPT
Este estudio	PCA-P24	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P24	9989880.42	499048.20	2897.90
PCA-P24	9989877.18	499048.36	2898.00

7.24.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.24.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.24.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.24.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.24.3. Condiciones generales del Sitio

7.24.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle B19, en el predio de propiedad privada, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P24	9989877,950	499046,410	3+159.000

7.24.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente horizontal y se encuentra en el patio, libre al momento del estudio.

7.24.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P24) hasta los 17 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, CL, ML de compacidad media a alta provenientes de cangahua, con una capa areno limosa de baja compacidad a los 3 m de profundidad.

El reconocimiento realizado durante este trabajo, a través de un ensayo SPT (PP-P24) identifica suelos de compacidad muy alta (rechazo al SPT) hasta los 8 m de profundidad y un nivel de compacidad media a los 7 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 3 m de profundidad.



Sitio de la pylon 24. Entre la acera y terreno baldío en predio privado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera.

7.24.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por un estrato de limos arcillo arenosos de color café, de baja plasticidad, húmedos y con estructura dura y muy dura. Los limos presentan un carácter arcilloso, forman grumos y contienen porcentajes medios y altos de arenas de igual color, de grano fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura densa y muy densa. Contienen además bajos porcentajes de gravas centimétricas a partir de los cinco metros. A partir de los siete metros predominan las arenas sobre los limos, son de grano medio a fino, contienen partículas milimétricas de pómez en bajos porcentajes, su estructura es densa y muy densa y su coloración es café cremosa.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 16 y 21%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	15	ARCILLA	CL	R	LIMO	ML-CL
2,0	24	□		R		
3,0	10	ARENA	SM	R		ML-CL
4,0	24			R		
5,0	13		SM	R		ML-CL
6,0	15			R		
7,0	23		SM	R	ARENA	SM
8,0	27			R		
9,0	24		SM			
10,0	21					
11,0	19		SM			
12,0	30					
13,0	33		SM			
14,0	39					
15,0	34		SM			
16,0	49					
17,0	52		SM			
18,0						

7.24.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al

tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.38	30.90	1.64

7.24.4. Recomendaciones del estudio

7.24.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.24.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de muy buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos bien cementados, de consistencia dura y compacidad relativa alta.

7.24.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona

la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	78.59	50
1.00	76.71	77
1.20	75.67	109
1.40	75.10	147
1.50	74.94	169
1.60	74.84	192
1.80	74.77	424
2.00	74.84	299
2.20	75.02	363
2.40	75.27	434
2.50	75.41	471
2.60	75.57	511
2.80	75.93	595
3.00	76.32	687

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 75.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 10.00 kg/cm^3 .

7.24.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.24.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 40 a 50 $\Omega\text{-m}$.

7.24.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

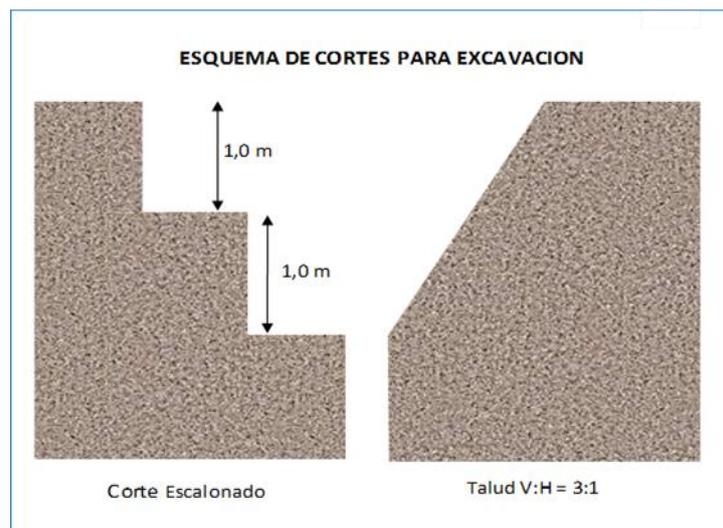
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.24.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 5.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 5.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.25.Pilona 25

7.25.1. Investigación de campo

7.25.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 9.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P25.

Adicionalmente al sondeo se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra inalterada de forma cúbica, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos del estrato superior. El sondeo se identifica como PCA-P25.

Estos trabajos se realizaron los días 10 y 12 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.25.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P25	15.50	8	SPT
Este estudio	PP-P25	9.00	4	SPT
	PCA-P25	0.80	1	Triaxial UU

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P25	9989943.11	499018.47	2883.40
PCA-P25	9989947.93	499027.15	2882.30

7.25.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.25.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.25.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y en la muestra inalterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.25.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra inalterada se procedió a realizar un ensayo de compresión Triaxial del tipo No consolidado – No drenado, UU (ASTM 2850), con el contenido de humedad natural, en tres probetas cilíndricas, de 35 milímetros de diámetro y con una relación altura – diámetro igual a 2. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.25.3. Condiciones generales del Sitio

7.25.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle B17, en los predios de propiedad privada, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P24	9989943,658	499026,016	3+227.800

7.25.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta ligeramente plana y contiene una estructura de dos plantas al momento del estudio.

7.25.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P25) hasta los 15 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, ML-CL de compacidad media a alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con una capa limo arcillosa de poca plasticidad y muy alta compacidad y/o cementación hasta 1m de profundidad.

El reconocimiento realizado en este trabajo, a través de un ensayo SPT (PP-P25) identifica suelos de compacidad media hasta los 9 m de profundidad (fin del sondeo), con niveles de muy alta compacidad a los 5 y 7 m.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1.50 m de profundidad.



Sitio de la pizona 25. Entre la acera sur de la calle y la construcción realizada en predio privado. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera.

7.25.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una sucesión de capas de arenas limosas y limos arenosos, de dos y tres metros de espesor. Superficialmente se encuentran limos arenosos de color café, de baja plasticidad, de carácter arcilloso, húmedos y con estructura media a dura. Contienen porcentajes medios de arenas de igual color, grano medio a fino, bien gradadas, húmedas y con estructura media a densa. Subyace un lente de arena de pómez, de dos metros de espesor, de grano fino, de color crema, húmedas y con estructura densa. Contienen bajos porcentajes de limos no plásticos, húmedos y con estructura dura. Contienen además pocas gravas centimétricas, subangulares y estructura densa. Subyace otra capa de arena limosa color café con estructura media y con altos porcentajes de limos de baja plasticidad. A partir de los nueve metros se localiza una capa de arenas limosas de color café, de grano fino, húmedas y con estructura densa, con porcentajes medios de limos no plásticos y estructura dura.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 13 y 25%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Estudio Anterior				Estudio Actual		
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMO	ML-CL	16	LIMO	ML-CL
2,0	34			20		
3,0	49		ML	18		ML-CL
4,0	50			20		
5,0	21	ARENA	SM	R	ARENA	SM
6,0	29			16		
7,0	31		SM	20	LIMO	ML-CL
8,0	18			R		
9,0	26	LIMO	ML	R	ARENA	SM
10,0	31					
11,0	38		ML			
12,0	25					
13,0	36		ML			
14,0	35					
15,0	36		ML			

7.25.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM y ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al

tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba triaxial. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Triaxial UU	0.32	19.80	1.76

7.25.4. Recomendaciones del estudio

7.25.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.25.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.25.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ -4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	20.07	13
1.00	19.54	20
1.20	19.21	28
1.40	19.01	37
1.50	18.93	43
1.60	18.88	48
1.80	18.79	61
2.00	18.75	75
2.20	18.72	91
2.40	18.72	108
2.50	18.72	117
2.60	18.73	127
2.80	18.75	147
3.00	18.78	169

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 18.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 2.70 kg/cm^3 .

7.25.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.25.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a 140 Ω -m.

7.25.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

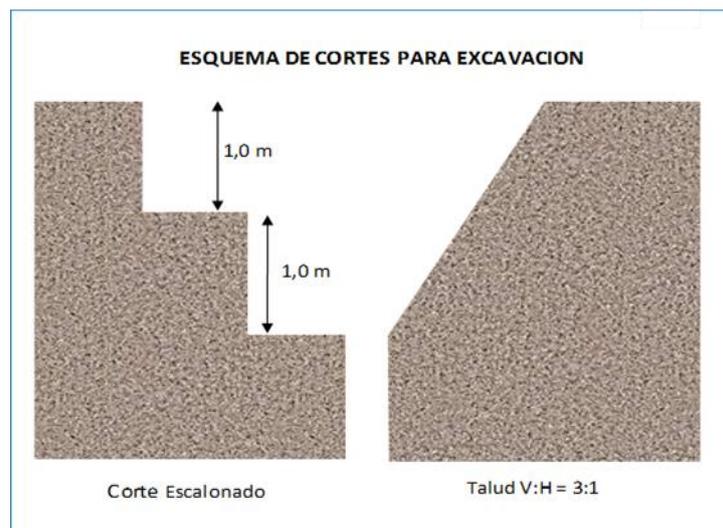
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.25.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.26.Pilona 26

7.26.1. Investigación de campo

7.26.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para las estructuras proyectadas para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P26.

Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.26.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P26	8.00	4	SPT
Este estudio	PCA-P26	0.80	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P26	9990167.62	498954.88	2859.40

7.26.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.26.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.26.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.26.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.26.3. Condiciones generales del Sitio

7.26.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de Caminos a la Libertad, entre el borde de la quebrada Carnicería y la calle, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P26	9990165,422	498957,184	3+460.000

7.26.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también inclinada y se encuentra recubierta por una ligera capa vegetal.

7.26.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P26) hasta los 8 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo SM, ML, de compacidad media a alta y muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con un nivel de muy alta compacidad y/o cementación hasta 3m de profundidad.

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P26) de 0.8 m profundidad describe el suelo como SM-SC.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1 m de profundidad. Sin embargo, debido a que la ubicación de la Pilona estará al borde de una ladera de entre 30 a 40 grados de inclinación se debe realizar un perfil topográfico de la ladera y el análisis de estabilidad. Para esto se debe desarrollar el modelo geotécnico del sitio de cimentación con las características de resistencia al corte de los materiales y determinar el FS en condiciones estáticas y pseudoestáticas para determinar la estabilidad del sitio y de las obras.



En terreno baldío entre la calle y el borde de la quebrada la Carnicería. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en el borde externo del terreno.

7.26.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limo arcillosas de color café claro, de grano medio a grueso, húmedas, con grumos. El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 11%. La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	R	LIMO	ML		ARENA	SM-SC
2,0	R					
3,0	55	ARENA	SM			
4,0	17					
5,0	31		SM			
6,0	35					
7,0	19	LIMO	ML			
8,0	20					

7.26.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM-SC en su parte superficial. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.30	26.80	1.62

7.26.4. Recomendaciones del estudio

7.26.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.26.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

7.26.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del

terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \cdot \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0^2) + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	43.47	28
1.00	42.44	42
1.20	41.87	60
1.40	41.56	81
1.50	41.47	93
1.60	41.41	106
1.80	41.37	134
2.00	41.41	166
2.20	41.50	201
2.40	41.64	240
2.50	41.72	261
2.60	41.80	283
2.80	41.99	329
3.00	42.21	380

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 42.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 6.30 kg/cm^3 .

7.26.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.26.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 100 y 200 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 130 a $140 \Omega\text{-m}$.

7.26.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

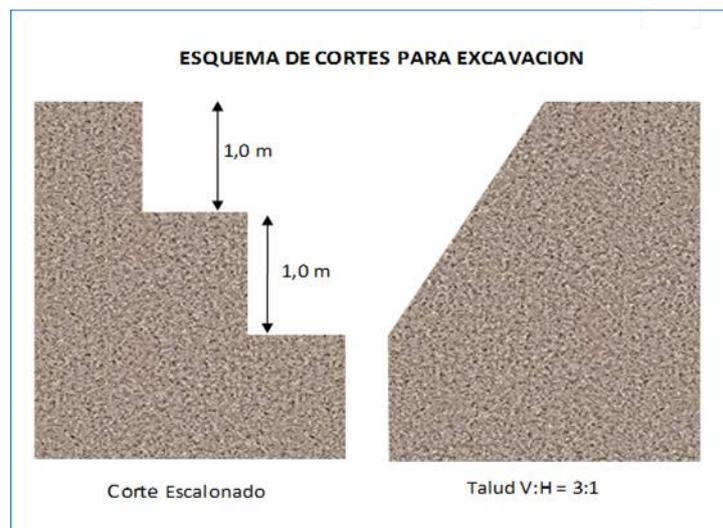
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.26.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.27.Pilona 27

7.27.1. Investigación de campo

7.27.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P27.

Este trabajo se realizó el día 10 de marzo del 2016. La profundidad hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.27.1.2. *Exploración*

El pozo a cielo abierto se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	P27	15.50	8	SPT
Este estudio	PCA-P27	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PCA-P27	9990305.16	4989916.41	2861.10

7.27.1.3. *Niveles Freáticos*

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.27.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.27.2.1. *Ensayos de Clasificación*

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en la muestra alterada obtenida del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.27.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.27.3. Condiciones generales del Sitio

7.27.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle D-10, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P27	9990306,964	498913,265	3+608.200

7.27.3.2. Topografía

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes que se extienden en sentido occidente – oriente y norte - sur. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también levemente inclinada y se encuentra recubierta por un sistema de piso adoquinado.

7.27.3.3. Geología del Sector

Características Geológicas. El reconocimiento realizado a través de SPT (P27) hasta los 15 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos tipo ML, SM, de compacidad media a alta y muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con una capa limo arenosa suelta de muy baja compacidad hasta 1m de profundidad y niveles de muy alta compacidad y/o cementación entre 3 a 6m y 11 a 13m de profundidad

El reconocimiento realizado a través de una trinchera (PCA-P27) de 1m profundidad, con 0.40 m de espesor de relleno, describe el suelo como SM.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1 m de profundidad.



Sitio de la pisona 27. Entre la acera y el terreno de un pequeño parque público. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera y calle.

7.27.3.4. Estratigrafía del Sitio

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por arenas limosas de color café, de grano medio a grueso, poco húmedas, con pómez.

El contenido de humedad se considera normal para este tipo de suelo, con un valor de 9%.

La siguiente tabla muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles						
Prof. (m)	Estudio Anterior			Estudio Actual		
	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS
1,0	5	LIMO	ML		ARENA	SM-SC
2,0	26					
3,0	R	ARENA	SM			
4,0	41					
5,0	R	LIMO	ML			
6,0	R					
7,0	24		ML			
8,0	36					
9,0	40	ARENA	SM			
10,0	23					
11,0	37		SM			
12,0	R					
13,0	44	LIMO	ML			
14,0	32					
15,0	33		ML			

7.27.3.5. *Parámetros Mecánicos*

Los suelos clasifican como SM-SC en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm²)	Angulo de fricción (o)	Peso Unitario (T/m³)
M - 1	Corte Directo	0.02	27.30	1.59

7.27.4. Recomendaciones del estudio

7.27.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.27.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de regulares a buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos medianamente cementados, de consistencia semiblanda y compacidad relativa media.

7.27.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$qa = 0.50. \left\{ 4.88.\sigma_0 + \left[(4.88.\sigma_0^2) + 757.94.K.N.S.\sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

qa = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisible**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisible, T/m ²	Carga Admisible, T
0.80	16.06	10
1.00	16.41	16
1.20	16.80	24
1.40	17.22	34
1.50	17.44	39
1.60	17.66	45
1.80	18.10	59
2.00	18.56	74
2.20	19.01	92
2.40	19.48	112
2.50	19.71	123
2.60	19.94	135
2.80	20.41	160
3.00	20.87	188

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 20.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 3.00 kg/cm³.

7.27.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.27.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 30 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 30 a 40 Ω -m.

7.27.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

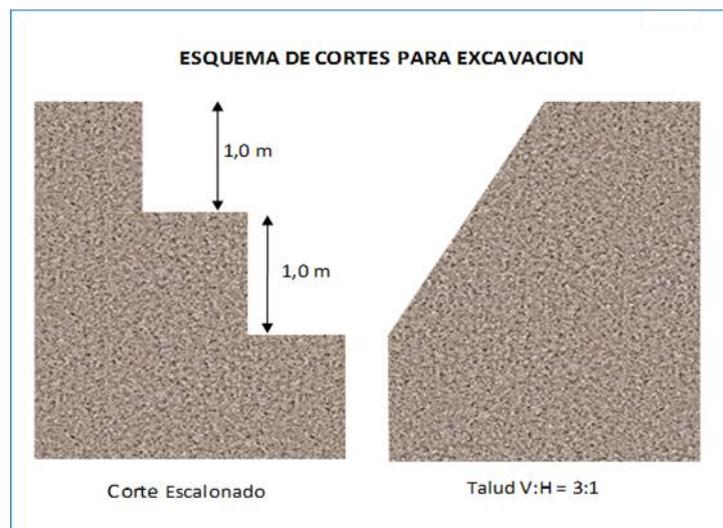
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.

- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.27.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 3.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 3.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3 vertical a 1-horizantal. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

7.28.Pilona 28

7.28.1. Investigación de campo

7.28.1.1. *Generalidades*

Con el propósito de validar y complementar la información geotécnica disponible y entregada por la EPMMOP, para esta línea, se realizó una campaña de exploración, con trabajos de campo y de laboratorio, que permita obtener los parámetros mecánicos necesarios, para recomendar el tipo y la profundidad de cimentación y la capacidad de carga para la estructura proyectada para este sitio.

La campaña de exploración en el sitio se la hizo en una sola fase. Este estudio consistió en la realización de un pozo de perforación a percusión de penetración estándar SPT, de 10.00 metros de profundidad, según las recomendaciones de la norma ASTM D1586-97. La perforación se identifica como PP-P28.

Debido al carácter granular de los suelos encontrados en el estrato superior, se realizó también un pozo a cielo abierto o apique, con el objeto de obtener una muestra alterada, que permita en laboratorio, medir los parámetros mecánicos representativos de los suelos. El sondeo se identifica como PCA-P28.

Estos trabajos se realizaron los días 10 y 12 de marzo del 2016. La boca de la perforación hace referencia a la cota correspondiente al nivel natural del terreno al momento de la exploración.

7.28.1.2. *Exploración*

El pozo fue realizado utilizando el equipo de penetración estándar recomendado para este propósito, sin revestimiento temporal en la parte superior del sondeo, debido a que los suelos en superficie fueron lo suficientemente resistentes al desmoronamiento. El pozo a cielo abierto o apique se realizó utilizando herramienta menor y hasta alcanzar una profundidad que sobrepase la capa vegetal o alterada superficial.

La siguiente tabla detalla los sondeos realizados y que sirven de información base, así como el realizado en este estudio como complemento y validación. En el anexo se incluye un esquema con la ubicación del sondeo.

Sondeos y toma de muestras

Ítem	Identificación	Profundidad, m	Ensayos de clasificación	Tipo de Ensayo
Estudio anterior	----	----	----	----
Este estudio	PP-P28	10.00	5	SPT
Este estudio	PCA-P28	1.00	1	Corte Directo

Ubicación de los sondeos

Identificación	Norte	Este	Cota, msnm
PP-P28	9990379.22	498884.12	2873.20
PCA-P28	9990376.46	498885.51	2873.00

7.28.1.3. Niveles Freáticos

No se detecta la presencia de niveles freáticos hasta la profundidad de exploración. Se presume que éstos se localizan a profundidades mayores. Sin embargo no se descarta su presencia y la saturación de los materiales superiores, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

7.28.2. Investigación de Laboratorio

El programa de ensayo de laboratorio estuvo dirigido a la clasificación de los materiales encontrados y a su descripción manual visual. Los resultados de estos ensayos se presentan tabulados en los registros de campo y forman parte del Anexo.

7.28.2.1. Ensayos de Clasificación

Como parte de los ensayos rutinarios se midieron los contenidos de humedad (ASTM D2216) y se realizaron las pruebas de límites de Atterberg, de consistencia o de plasticidad (ASTM D4318), en las muestras alteradas obtenidas de la perforación y del pozo a cielo abierto o apique. Las características de distribución granulométrica (ASTM D422), se evaluaron mediante tamizado mecánico, utilizando la serie de tamices estandarizada, entre los tamices número 4 y 200. Con estos resultados se procedió a clasificar a las muestras, de acuerdo al sistema unificado de clasificación de los suelos, SUCS. La clasificación de los suelos según la AASHTO, no es aplicable a este estudio, ya que su uso es en proyectos viales exclusivamente.

7.28.2.2. *Ensayos de Resistencia a la Compresión*

Con la muestra alterada se procedió a realizar un ensayo de Corte Directo (ASTM 3080), en muestras remoldeadas, con similar peso unitario y contenido de humedad a los encontrados en el sitio. Las presiones normales de confinamiento fueron de 0.50 a 2.00 Kg/cm².

7.28.3. Condiciones generales del Sitio

7.28.3.1. *Ubicación del sitio*

El sitio del proyecto se localiza en el sector de La Roldós en la calle D-10, con las coordenadas siguientes:

Ubicación del sitio

Punto	Norte	Este	Abscisado
P28	9990371,771	9990395,74	3+701.159

7.28.3.2. *Topografía*

La topografía del sector está conformada por una zona ligeramente inclinada, con pendientes menores a los cinco grados, que se extienden en sentido oriente – occidente y sur - norte. La superficie del sitio de implantación de la estructura a su vez se presenta también levemente inclinada y se encuentra libre al momento del estudio.

7.28.3.3. *Geología del Sector*

Características Geológicas. El reconocimiento realizado durante este trabajo a través de un ensayo SPT (PP-P28) hasta los 10 m de profundidad, describe el terreno de cimentación como suelos de compacidad muy alta (rechazo al SPT) provenientes de cangahua, con niveles de compacidad media a los 2, 3 y 8 m. Suelo SM a 1,0 m de profundidad.

De estos reconocimientos parecería que los suelos con mayor compacidad recomendables para la cimentación se localizan abajo de 1 m de profundidad.



Sitio de la pila 28. Entre la acera y la construcción en propiedad privada. Los ensayos SPT y la calicata se realizaron en la acera.

7.28.3.4. *Estratigrafía del Sitio*

La estratigrafía de la corteza superficial examinada en este estudio, está conformada por una capa de arenas limosas y arcillosas de color café, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura media a densa. Contienen altos porcentajes de limos de baja plasticidad, de igual color café, húmedos y con estructura media a dura, con bajos porcentajes de granos milimétricos de pómez. El espesor de esta capa es de cuatro metros. Subyace un estrato de tres metros de espesor, de limos arenosos de color café, de baja plasticidad, húmedos de carácter arcilloso y estructura dura. Contiene altos porcentajes de arenas finas de igual color, húmedas y con estructura densa. A partir de los siete metros se localiza un estrato de arenas limosas de color café y café claro, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, bien gradadas, húmedas y con estructura densa. Contiene altos porcentajes de limos no plásticos, de igual color, húmedos y estructura dura.

Los contenidos de humedad de los suelos se consideran normales para este tipo de suelos, y su rango de variación está comprendido entre el 10 y 21%.

La tabla siguiente muestra los perfiles estratigráficos interpretados tanto del primer estudio como del actual. Las diferencias pueden deberse a la variación en la ubicación de la exploración, por los pequeños cambios en la posición definitiva de los apoyos.

Validación de sondeos

Comparación de perfiles							
Estudio Anterior				Estudio Actual			
Prof. (m)	N	Simbología	SUCS	N	Simbología	SUCS	
1,0		NO REALIZADO		R	ARENA	SM-SC	
2,0				20			
3,0				24		SM	
4,0				R			
5,0				R	LIMO	ML-CL	
6,0				R			
7,0				R	ARENA	SM	
8,0					22		
9,0					R		SM
10,0					R		

7.28.3.5. Parámetros Mecánicos

Los suelos clasifican como SM y ML-CL en su mayor parte. Los valores reportados de capacidad de carga admisible, son obtenidos mediante correlaciones, con el número de golpes de la prueba de penetración estándar, encontradas en la literatura y aplicables al tipo de suelos encontrados y otras desarrolladas por el autor en investigaciones y trabajos previos.

Los valores medidos de los parámetros de resistencia al corte son obtenidos de la prueba de corte directo. La siguiente tabla resume los valores medidos de estos parámetros:

Parámetros mecánicos

Muestra	Ensayo	Cohesión (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	Peso Unitario (T/m ³)
M - 1	Corte Directo	0.16	27.30	1.52

7.28.4. Recomendaciones del estudio

7.28.4.1. *Criterio de Cimentación*

La cimentación de la estructura propuesta debe satisfacer los dos criterios de diseño. Primero, la mayor presión transmitida al suelo de cimentación, no debe exceder a la capacidad de carga admisible recomendada. Segundo, los movimientos resultantes de los asentamientos desarrollados, sean elásticos o de consolidación, deben estar dentro de los límites tolerables.

7.28.4.2. *Cimentación de la Estructura*

El sitio en general puede ser clasificado como de buenas características de resistencia, desde el punto de vista de capacidad de carga, considerando que el terreno contiene un estrato superficial, de mediana potencia, de suelos y sedimentos finos cementados, de consistencia semidura y compacidad relativa media alta.

7.28.4.3. *Capacidad de Carga*

Para la estructura proyectada se propone una alternativa de cimentación, de acuerdo a las características del sitio. La profundidad de cimentación se refiere a los niveles naturales del terreno. Para determinar la capacidad de carga, se ha tomado en cuenta la profundidad de la excavación, lo cual incrementa su valor.

La capacidad de carga admisible es calculada mediante la siguiente ecuación, y que es aplicable al tipo de suelos y formaciones encontradas en el estudio. Esta ecuación relaciona la capacidad de carga con el asentamiento total permisible y el número de golpes del ensayo SPT.

$$q_a = 0.50 \left\{ 4.88 \cdot \sigma_0 + \left[(4.88 \cdot \sigma_0)^2 + 757.94 \cdot K \cdot N \cdot S \cdot \sigma_0 / B \right]^{0.5} \right\}$$

Donde:

q_a = Capacidad de carga admisible, T/m²

σ_0 = Esfuerzo efectivo inicial, T/m²

K = Factor por el tipo de suelo = 1.4 arenas; 1.8 limos y arcillas

N = Número de golpes del SPT

S = Asentamiento permitido, m

B = Ancho de zapata, m

Con el propósito de controlar el desarrollo de los asentamientos elásticos y reducir el área de cimentación, se recomienda diseñar una cimentación, del tipo rígida desplantada sobre el suelo natural, previamente compactado antes de colocar el replantillo, de acuerdo a las siguientes características.

- TIPO DE CIMENTACIÓN: **DIRECTA**
- FORMA DE CIMENTACIÓN: **ZAPATAS AISLADAS o COMBINADAS**
- CAPACIDAD DE CARGA: **Según Tabla Capacidad de Carga Admisibile**
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: **1.50 m o mayor**
- COTA DE CIMENTACIÓN: **- 1.50 o menor**
- ASENTAMIENTO TOTAL MÁXIMO ESPERADO: **25 mm**
- ASENTAMIENTO DIFERENCIAL ESPERADO: **15 mm**
- CLASIFICACIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NEC-2015: **Tipo D (N*=42.4)**

En el anexo se adjunta la curva de capacidad de carga admisible, calculada con los parámetros mecánicos obtenidos en laboratorio en los ensayos de corte. Estos valores son cotejados con aquellos calculados con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Capacidad de carga admisible

Ancho B, m	Capacidad de Carga Admisibile, T/m ²	Carga Admisibile, T
0.80	37.72	24
1.00	37.17	37
1.20	36.95	53
1.40	36.92	72
1.50	36.96	83
1.60	37.02	95
1.80	37.20	121
2.00	37.43	150
2.20	37.70	182
2.40	38.01	219
2.50	38.17	239
2.60	38.34	259
2.80	38.69	303
3.00	39.05	351

La profundidad de desplante de las zapatas se refiere a la distancia comprendida entre la cota de la boca de la perforación y el nivel de cimentación recomendado. Esta profundidad puede considerarse mínima. En el anexo se adjunta la curva de los valores de la tabla anterior en función del ancho de la cimentación.

Los valores de la columna “Capacidad de carga admisible” en la tabla anterior, se refieren a zapatas aisladas de sección cuadrada y su carga admisible respectiva se muestra en las columnas “Carga admisible”. Para el dimensionamiento se recomienda ingresar por la columna de la derecha con el valor de la carga del elemento más cargado y encontrar la capacidad de carga admisible o de diseño y la dimensión (ancho) correspondiente. Con este valor de capacidad de carga admisible se dimensionan los demás elementos.

Se pueden usar cimentaciones rectangulares con la capacidad de carga admisible correspondiente al ancho (menor dimensión) de la estructura con una relación largo – ancho máxima de 2.

Para diseñar zapatas combinadas o vigas de cimentación se debe utilizar el valor de “Capacidad de Carga Admisible” correspondiente al ancho y de acuerdo a la suma total de las cargas que actúan sobre la viga o zapata. El ancho mínimo recomendado para este caso es de 1.00 metro.

Para el caso de diseñarse losa de cimentación, se recomienda utilizar el menor valor de capacidad de carga, que para este caso es 39.00 T/m².

Para el diseño de cimentación elástica se recomienda utilizar un módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto igual a 6.00 kg/cm³.

7.28.4.4. Zona Sísmica y Coeficientes Sísmicos

Con los resultados del ensayo de penetración estándar se correlaciona el tipo de suelo, establecido en la NEC 2015, con la columna y perfil definidos en este estudio. El número de golpes promediado calculado es de 42.4, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente tabla.

Coeficientes sísmicos

Tipo de suelo	Zona sísmica	z	Fa	Fd	Fs
D	V	0.40	1.20	1.19	1.28

7.28.4.5. Resistividad Eléctrica del Sitio

Los suelos encontrados en el sitio clasifican como arenas de grano medio a fino, sueltas, con altos porcentajes de limos poco plásticos, húmedas. Los valores de resistividad reportados en la literatura y en trabajos anteriores, en sitios cercanos a la zona del proyecto, están dentro de un rango comprendido entre los 50 y 100 Ohmios- metro. Para la mezcla de suelos del sitio se recomienda valores con un rango más ajustado de 80 a 90 Ω -m.

7.28.4.6. Licuación de los Suelos

Los resultados de este estudio muestran que los suelos del perfil estratigráfico del sitio, están constituidos por sedimentos finos, que en su mayoría corresponden a limos y arenas. Los limos son de baja plasticidad, de carácter arcilloso y se encuentran húmedos, más no saturados. Las arenas son de grano medio a fino, bien gradadas y con estructura variable entre suelta en superficie y densa a profundidad.

Para que se produzca la licuación de los suelos, éstos deben cumplir algunas condiciones y requisitos, entre las principales se puede mencionar a los siguientes.

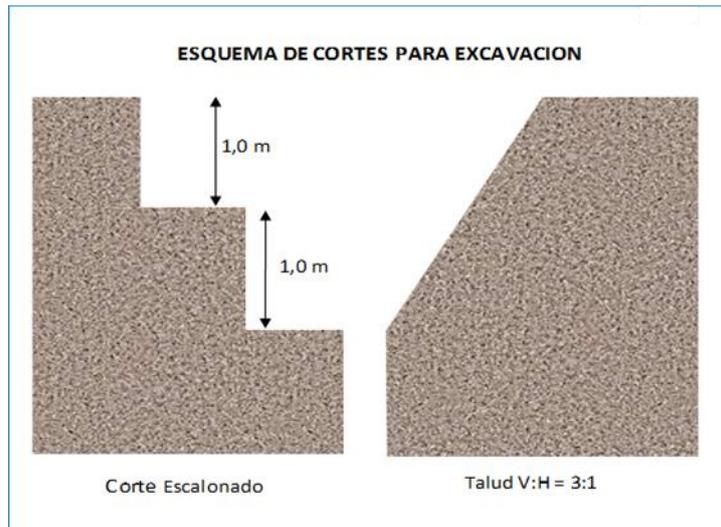
- Los suelos licuables son esencialmente las arenas y muy ocasionalmente limos no plásticos.
- Las arenas deben estar saturadas, es decir deben encontrarse por debajo del nivel freático.
- Las arenas deben ser de tamaños uniformes y estructura suelta y muy suelta.
- Las arenas no deben contener más del 15% de finos (limos y arcillas)

En el caso del sitio destinado para este proyecto, no se cumple ninguna de las condiciones antes mencionadas, por lo que se descarta la posibilidad de que ocurra este fenómeno. Además no existen datos históricos de licuación de suelos en esta zona de la ciudad, ni en este tipo de suelos.

7.28.4.7. Estabilidad de los Taludes y Cortes

Los cortes proyectados en el terreno para la construcción de la cimentación son de poca altura, se recomienda que en ningún caso, la altura de los taludes verticales, formados por los cortes para las cimentaciones sea mayor a 4.00 metros y tampoco por períodos de tiempo prolongados. Para el eventual caso de cortes con profundidades mayores a los 4.00 metros, se recomienda formar taludes inclinados, con pendientes iguales o mayores a 3

vertical a 1-horizonta. En caso contrario, se requerirá de sistemas de entibamiento, para mantener la estabilidad de los taludes durante la construcción.



El entibamiento puede consistir en tableros de madera o metálicos, apuntalados a cada metro de profundidad y a cada 3 metros en longitud.

8. Relleno y Compactación

8.1. Generalidades

La colocación de material de relleno en las áreas donde fuere necesario compensar los niveles del terreno para alcanzar las cotas del proyecto debe seguir las siguientes recomendaciones.

8.1.1. Relleno

Los limos y las arenas removidos de las excavaciones realizadas en el terreno, generalmente constituyen material apropiado para usarlo como material de relleno, ya que contienen buena capacidad de compactación a humedades óptimas, siempre y cuando estén desprovistas de materiales vegetales y de deshecho.

Sin embargo de considerarse adecuado utilizar material de préstamo, para el relleno de las zonas donde sea necesario hacerlo, se recomienda utilizar como material de reposición o de mejoramiento un suelo granular (Arenas, gravas o lastre) con las siguientes características:

- Tamaño máximo de partícula: 7.5 centímetros
- Porcentaje de finos mínimo: 15 %
- Porcentaje de finos máximo: 30 %
- Límite líquido máximo de los finos: 25%

En cualquier caso la reposición y la compactación deben hacerse, con la primera capa del material compactada, sobre el terreno natural desbrozado, con un espesor de hasta 20 centímetros. Sucesivamente se compactarán capas de 20 centímetros, hasta alcanzar el nivel deseado. La última capa debe compactarse de tal forma, que reduzca la permeabilidad hacia las capas inferiores. Todo el relleno debe compactarse al 95% del método próctor estándar (ASTM D-698).

9. Conclusiones

1. A partir de los resultados de este estudio se puede concluir, que la construcción de la Línea de Teleférico Roldós – La Ofelia, como parte del Sistema de Transporte Público por Cable, es viable y factible, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones, que se estipulan en cada uno de los sitios ya descritos y en que se resumen en la sección siguiente.
2. El marco geológico regional donde se ubica el proyecto representa un espacio de procesos volcánicos y tectónicos jóvenes y activos, con depósitos volcano - sedimentarios heterogéneos de gran variabilidad tanto horizontal como vertical, afectados por procesos de erosión intensos, que forman quebradas encañonadas y profundas con taludes verticales susceptibles a caídas de bloques y/o deslizamientos de bloques superficiales con ruptura plana.
3. La mayoría del terreno de cimentación para las obras de la línea está conformado por la toba volcánica conocida como cangahua, que también forma la matriz de los depósitos coluviales presentes en la zona. La cangahua es mayormente cementada por sílice, por lo tanto poco compresible e impermeable, su resistencia al corte puede ser afectada importantemente por ciclos de secado-mojado y el material expuesto es poco resistente a la erosión lineal (escorrentía superficial). Forma quebradas profundas y encañonadas, taludes verticales con erosión diferencial por estar intercalada con capas de arena y pómez fácilmente deleznable por acción del viento y agua.
4. En la estación la Ofelia ubicada en partes sobre depósitos aluviales, los suelos con mayor compacidad para la cimentación se localizan después de los 3m de profundidad.
5. En la estación la Mariscal ubicada sobre depósitos coluviales (bloques rocosos en matriz de cangahua), los suelos de mayor compacidad para la cimentación estarían debajo de los 2 m de profundidad y los sin materia vegetal mayormente por debajo de los 3 m.

6. En la estación Colinas del Norte el terreno corresponde en parte a un relleno de material suelto y muy baja compacidad sobrepuesto a depósitos de cangahua, que conforman el borde de una ladera de entre 30 a 40 grados de inclinación.
7. En la estación La Roldós ubicada sobre cangahua, los suelos de mediana a alta compacidad se localizan desde la superficie actual del terreno.
8. En el tramo entre la pylona 1 y la pylona 28, los terrenos de cimentación corresponden a:
 - a. Depósito aluvial en las pilonas 1, 2, con compacidad media a alta a las profundidades de 3 y 2 m respectivamente.
 - b. Depósito coluvial en las pilonas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, con compacidad media a alta a las profundidades 1,1,1,3, respectivamente.
 - c. Depósito aluvial intercalado con coluvial en las pilonas 10, 11, 12, 13, 14, con compacidad media a alta a las profundidades 3,7,3,4,3, respectivamente y nivel freático a los 4,7 (P10); 3,0 (P11); 10,0 (P12).
 - d. Depósito de cangahua desde la pylona 15 a la 28, con excepción de la pylona 18 (relleno), y la pylona 19 (no tiene datos) con compacidad media a alta a las profundidades 3,1,3,10,1,1,1,3,3,2,1,1,1, respectivamente.
9. En la pylona 18 las características del terreno de cimentación son las mismas, descritas para la estación Colinas del Norte, como están descritos en el párrafo respectivo.
10. En la pylona 26 la ubicación estará al borde de una ladera de entre 30 a 40 grados de inclinación, por lo que requiere un estudio más detallado en la siguiente etapa de este estudio.
11. El peligro o amenazas sísmica es el más importante para el proyecto dado la presencia de fallas activas en el área metropolitana y la alta amenaza determinada, la condición de edificación distinta de las obras, y la ubicación en ladera y/o en los alrededores de suelos de poca compacidad y saturados de algunas pilonas.

12. El peligro volcánico está relacionado con la caída de ceniza proveniente de varios volcanes activos (Cotopaxi, Tungurahua, Reventador, Guagua Pichincha) y a lahares secundarios originados desde el volcán Guagua Pichincha. El nivel de peligro alto por lahar se restringe a los cauces de las quebradas (Rumihurcu, Chiriyacu, Parcayacu, San Antonio) en su tramo inferior, en la mayoría situados fuera del trazado de la línea, y el nivel moderado al espacio entre la quebrada Chiriyacu y Parcayacu. Sin embargo, estos niveles de peligro han sido reducidos a través de las obras de mitigación (quebrada Rumihurcu) realizadas por el Distrito Metropolitano de Quito, dentro del programa Manejo de Laderas, llevado a cabo durante los años anteriores. Por otra parte la caída de ceniza en un sitio depende entre otros parámetros de la altura de la columna de emisión y de la dirección de los vientos durante y después de la erupción. Así, la determinación del grado de exposición del proyecto sería incierto. Sin embargo, la afectación por caída de ceniza del Guagua Pichincha sería al menos parecida a lo ocurrido en el norte de Quito después de las erupciones de 1999 (espesor entre 1 a 3 mm).
13. La susceptibilidad por movimientos en masa es mayormente baja a media. Sin embargo no se observa en todo el trazado de la línea ningún deslizamiento activo, ni inactivo, ni antiguo o/y relicto. Para la pylona 18 y la estación Colinas del Norte ubicadas al borde de la ladera y en terreno conformado en parte por relleno no compactado, se recomienda más adelante, un análisis de estabilidad del sitio y la identificación de las obras de estabilización. Para la pylona 26 ubicada al borde de la ladera se recomienda también el análisis de estabilidad del sitio para identificar la estabilidad.
14. La susceptibilidad por inundaciones debido a escorrentía superficial en zona urbana está identificado como medio en los alrededores de la estación de la Ofelia y en los tramos inferiores de las quebradas Chiriyacu, Parcayacu, San Antonio (barrios el Condado, Quito Tennis y Golf club, Colegio Militar Parcayacu, Justicia Social (U. Católica, 2015). Sin embargo este nivel de susceptibilidad para la estación la Ofelia ha sido disminuido con las obras de alcantarillado nuevas como la de la quebrada el Colegio. Los otros sitios están mayormente fuera del trazado de la línea.

10. Recomendaciones

1. Los taludes descubiertos y sin protección son susceptibles a la erosión con surcos y cárcavas a veces profundas. El material es fácilmente removible con maquinaria e inclusive con herramientas manuales. Por estas características se recomienda diseñar y proteger técnicamente los taludes e implementar un buen control de la escorrentía superficial en los sitios de obra del proyecto.
2. En la estación la Mariscal se recomienda un reconocimiento a mayor profundidad para el sitio de cimentación pues el rechazo al SPT en este sitio es debido a bloques de roca.
3. En la estación Colinas del Norte se recomienda realizar un perfil topográfico en la ladera hacia arriba y abajo del sitio, determinar la profundidad y el perfil del terreno in situ y el relleno, ubicar la cimentación por debajo del perfil inferior del relleno (micropilotes o pilas prebarrenadas) y realizar un análisis de estabilidad de la ladera y el relleno. Para esto se debe desarrollar el modelo geotécnico del sitio de cimentación con las características de resistencia al corte de los materiales (relleno y cangahua) y determinar el FS en condiciones estáticas y pseudoestáticas y varias posibilidades de posición del NF, para determinar la estabilidad del sitio y de las obras.
4. En la pila 18 se recomiendan los mismos análisis para la estabilidad del sitio y de la obra, como están descritos en el párrafo respectivo a la Estación Colinas del Norte.
5. En la pila 26 se recomienda realizar un perfil topográfico de la ladera y el análisis de estabilidad. Para esto se debe desarrollar el modelo geotécnico del sitio con las características de resistencia al corte de los materiales y determinar el FS en condiciones estáticas y pseudoestáticas, para determinar la estabilidad del sitio y de la obra.
6. Se recomienda el diseño sismo resistente de las estructuras y obras, en base a la norma ecuatoriana de la construcción, código NEC-SE-DS (NEC, 2015).

11. Obras de Protección

Los cortes de las zanjas para la construcción de las zapatas deben protegerse, durante el período de construcción, del humedecimiento de las caras de los taludes para evitar su desmoronamiento y erosión. Esta protección puede ser provista por la colocación de plásticos, que impermeabilicen las caras de las paredes formadas mientras dure su exposición, para minimizar la erosión eólica e hidráulica, en especial en temporadas de lluvia.

Debido a la baja resistencia a la erosión y socavación que presentan los limos y las arenas del sector, se recomienda tener un especial cuidado en las instalaciones y conexiones de las tuberías de aguas potables y servidas bajo el área de construcción.

12. Consulta Geotécnica

Se recomienda que durante la construcción un ingeniero geotécnico esté directamente ligado al proyecto, para la supervisión de la preparación del sitio, la realización de las excavaciones y la comprobación de las características aquí detalladas, de los suelos en el nivel de cimentación recomendado y la construcción de las cimentaciones. Además sería el responsable de la ejecución y/o supervisión de las pruebas de control de los materiales.

13. Limitaciones del reporte

Este reporte ha sido preparado como ayuda en el diseño y construcción del proyecto. El alcance de las exploraciones, ensayos y análisis de este estudio así como las conclusiones y recomendaciones de este reporte fueron realizadas sobre la base de mis entendimientos del proyecto.

14. Bibliografía

1. D.G.G.M., 1980. El Mapa Geológico del Ecuador, El Quinche, escala 1:50.000.
2. D.G.G.M., 1978. El Mapa Geológico del Ecuador, Nono, escala 1:50.000.
3. D.G.G.M., 1982. El Mapa Geológico del Ecuador, Chaupicruz, escala 1:25.000.

4. IG-EPN, DGP-SUIM, 1999. El mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Guagua Pichincha-Ecuador, escala 1:60.000.
5. NEC, 2015. Norma Ecuatoriana de la Construcción, código NEC-SE-DS. Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, COMICON
6. U. Católica, 2015. Informe Preliminar Geológico-Geotécnico del Estudio definitivo Geológico-Geotécnico de dos líneas del sistema de transporte público por cable a construirse en el Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha.
7. Valverde B., Jorge, Las Cadenas de Amarre como Elementos de Cimentación, SIGMA, 17.
8. Bowles, Joseph. Foundation Analysis and Design. 4th edition Singapore. Mc Graw Hill, 1988.
9. Yépez F., Fernández J., Valverde J. Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 Jornadas XIII de Ingeniería Estructural, Quito 2000.
10. Lecaro, Moyano, León, Zonificación de la ciudad de Quito, Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, EPN, Quito, 1987.
11. Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, ORSTOM, OYO Corporation, The Quito – Ecuador, Earthquake Risk Management Project, Geohazards International Publication, Quito, 1994
12. Valverde B., Jorge, Determinación Aproximada del Período de Vibración de los Suelos de Quito, Sociedad de Ingeniería Estructural", Quito, 1988.
13. Escuela Politécnica Nacional, Micro zonificación Sísmica para la Ciudad de Quito, Convenio DMQ-EPN, Informe Final, Quito, 2001.