INFORME ESTUDIO DE SUELOS Y GEOTECNIA PARA EDIFICACIONES PARA CIUDADELA LA ESPERANZA MUNICIPIO AGUAZUL CASANARE.

INTERESADO:

ALCALDÍA MUNICIPAL AGUAZUL

CONSULTOR:

CONSORCIO REFORZAMIENTO CIUDADELA

Ing. LUIS ALEXANDER CORREDOR SALAMANCA

Esp. Geotecnia Vial y Pavimentos

AGUAZUL, ABRIL 2022

Carrera 18 No 22 - 54 Yopal - Casanare

Cel. 310 3341269

Ingeniero.diegoarmando@gmail.com

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Número de revisión		No.3	
Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones
VERSION INICIAL		ABRIL 2021	Entrega inicial
VERSION 2	Página 113. Numeral 7. ADICIONAL N°1 Y PRORROGA N°1 AL CONTRATO DE CONSUTORIA N° 684 DE 28 DE DICIEMBRE DE 2020 -Anexo 3. informe de exploración geofísica -Anexo 4. Resultados de ensayos de laboratorio	OCTUBRE 2021	Se actualiza y anexa la realización de tres (03) sondeos mecánicos adicionales -Se actualiza y anexa la línea 3 de refracción sísmica -Actualización de los ensayos de laboratorio de
VERSION 3	Se organiza la presentación del informe y se incluye los siguientes numerales: Localización de los sondeos manuales y mecánicos Se unifico los parámetros de presión de tierras de los sondeos realizados Se incluyo el cálculo de asentamientos con las cargas obtenidas Se determino estabilidad para las excavaciones del reforzamiento	ABRIL 2022	Observaciones realizadas por supervisión

REVISIÓN Y APROBACIÓN

CONTRATO DE CONSULTORÍA No 0684 DE 2020 ASESORIA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SISMICA Y REFORZAMIENTO ASI COMO LA DEFINICION DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS MAS VIABLES Y SU RESPECTIVO CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA DE LOS BLOQUES DE APARTAMENTOS DE LA CIUDADELA LA ESPERANZA		
Título documento: INFORME ESTUDIO DE SUELOS Y GEOTECNIA PARA EDIFICACIONES		
ELABORACIÓN		
CONSULTORÍA	Firma	
	Nombre	LUIS ALEXANDER CORREDOR SALAMANCA Ingeniero Geólogo especialista en geotecnia vial y pavimentos M.P. 15223091346 BYC
	Firma	
	Nombre	WILLIAM ALFONSO BARAJAS TIBADUIZA Ing. Civil Especialista en geotecnia Vial y pavimentos. M.P. 25202-181878 CND
	Firma	
	Nombre	CONSORCIO REFORZAMIENTO CIUDADELA R/L: DIEGO ARMANDO CORREDOR SALAMANCA C.C. 9.434.928
	Firma	
	Nombre	FERNEY YESID BELTRÁN ÁVILA DIRECTOR DE CONSULTORIA M.P. 25202-154901
REVISO		
SUPERVISOR	Firma	
	Nombre	IVAN RUPERTO SÁNCHEZ JIMÉNEZ SUPERVISOR
APOYO A LA SUPERVISIÓN	Firma	
	Nombre	ANDRES FELIPE GOEZ APOYO A LA SUPERVISIÓN

CONTENIDO

1. OBJETIVOS Y ALCANCES. 15

1.1. OBJETIVO. 15
1.2. ALCANCE. 15

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN. 16

2.1. LOCALIZACIÓN ESPECIFICA. 16
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. 17

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL Y REGIONAL. 20

3.1. ANÁLISIS GEOLÓGICO. 20
3.1.1. Geología Regional. 21
3.1.2. Geología Local. 30
3.1.3. Geología Estructural Regional. 32
3.1.4. Geomorfología Regional. 35
3.1.5. Geomorfología Local. 38

4. INVESTIGACIÓN Y RECONOCIMIENTO. 40

4.1. TRABAJO DE CAMPO. 40
4.1.1. Exploración del subsuelo. 41
4.1.2. Ensayos de resistencia en campo 41
4.2. PROGRAMA DE ENSAYOS. 43
4.2.1. Ensayo normal de penetración (spt) y muestreo de suelos con tubo partido INV E–111–13. 44
4.2.2. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, INV E – 123 – 13. 47
4.2.3. Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado INV E – 122 – 13. 49
4.2.4. Determinación del límite líquido de los suelos INV E – 125 – 13. 50
4.2.5. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E – 126 – 13. 52
4.2.6. Consolidación unidimensional de suelos INV E – 151 – 13. 54
4.2.7. Compresión inconfinada en muestras de suelos INV E – 152 – 13. 57
4.2.8. Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (cd) INV E – 154 – 13. 59
4.2.9. Líneas de refracción sísmica. 61
4.3. AUSCULTACIÓN DE CIMENTACIONES REALIZADAS. 63
4.4. TRABAJO DE OFICINA. 68

5. DESCRIPCIÓN DEL SUELO. 69

5.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO PARA SONDEOS MANUALES. 69
5.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO PARA SONDEOS MECÁNICOS. 81
5.3. PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DEL SUELO. 84
5.4. NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES. 85
5.5. LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA. 86
5.5.1. Refracción sísmica. 87
5.5.2. Análisis De Resultados. 92

5.5.3. Clasificación Del Perfil Del Subsuelo Según La NSR-10. ... 92
5.5.4. Determinación De Parámetros Dinámicos De Rigidez. ... 94
5.5.5. Modelo Geológico – Geofísico. ... 97
5.6. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS. ... 101
5.6.1. Correlación De Ensayo SPT Y Corte Directo. ... 101
5.7. CLASIFICACIÓN ENSAYO DE PENETRÓMETRO DE BOLSILLO. ... 106
5.8. CLASIFICACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE. ... 109

6. ANÁLISIS GEOTÉCNICO. ... 112

6.1. CAPACIDAD DE CARGA. ... 112
6.2. CAPACIDAD PORTANTE. ... 112
6.2.1. Cálculo de capacidad portante con datos de correlación. ... 114
6.2.2. Cálculo de capacidad portante en sondeos 13, 14 y 15, a través de los datos aportados por el ensayo de corte directo. ... 144
6.3. ASENTAMIENTOS ADMISIBLES. ... 149
6.4. CONSOLIDACIÓN DEL SUELO. ... 155
6.4.1. Asentamientos por consolidación. ... 155
6.5. MÓDULO DE BALASTO. ... 156
6.6. PARÁMETROS DE PRESIÓN DE TIERRAS. ... 159

7. ADICIONAL N°1 Y PRORROGA N°1 AL CONTRATO DE CONSULTORÍA N°684 DE 28 DE DICIEMBRE DE 2020. 162

7.1. DESCRIPCIÓN DEL SUELO. ... 164
7.1.1. Perfil Estratigráfico Para Sondeos Adicionales. ... 164
7.2. CAPACIDAD PORTANTE. ... 168
7.1.2. Parámetros de resistencia obtenidos mediante ensayo de compresión inconfinada. ... 168
7.1.3. Cálculo de capacidad portante con parámetros geomecánicos obtenidos de correlación con el ensayo SPT. ... 169
7.1.4. Cálculo de capacidad portante en sondeos 16, 17 y 18, a través de los datos aportados por el ensayo de corte directo, sondeos adicionales. ... 175
7.3. ASENTAMIENTOS ADMISIBLES. ... 180
7.4. MODULO DE BALASTO. ... 181
7.1. CLASIFICACIÓN DE PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NSR-10. ... 182

8. RECOMENDACIONES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE. ... 187

8.1. TIPO DE SUELO. ... 187
8.2. RECALCE DE CIMENTACIÓN. ... 188
8.2.1. Procedimiento De Recalce. ... 191
8.2.2. Cargas Y Asentamientos De Las Estructuras Propuestas Para Recalce. ... 203
8.3. CAPACIDAD PORTANTE. ... 207

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ... 208

9.1. RECOMENDACIONES. ... 212
9.1.1. Recomendaciones generales. ... 212

9.1.2. Movimiento de tierras y excavación de cimentaciones. *212*
9.1.3. Otras recomendaciones. *213*
9.1.4. Control del flujo de agua. *213*
9.1.5. Drenajes. *214*

10. BIBLIOGRAFIA .....

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las unidades de construcción por categorías 41
Tabla 2 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción 41
Tabla 3 Coordenadas planas de localización de cada sondeo realizado, así como la máxima profundidad alcanzada en cada uno. 42
Tabla 4 ensayos in situ y de laboratorio 44
Tabla 5 Coordenadas de localización de líneas de refracción sísmica. 63
Tabla 6 Perfil estratigráfico Sondeo 1 69
Tabla 7 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 1. 69
Tabla 8 Perfil estratigráfico Sondeo 2. 70
Tabla 9 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 2. 70
Tabla 10 Perfil estratigráfico Sondeo 3. 71
Tabla 11 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 3. 71
Tabla 12 Perfil estratigráfico Sondeo 4. 72
Tabla 13 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 4. 72
Tabla 14 Perfil estratigráfico Sondeo 5. 73
Tabla 15 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 5. 73
Tabla 16 Perfil estratigráfico Sondeo 6. 74
Tabla 17 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 6. 74
Tabla 18 Perfil estratigráfico Sondeo 7. 75
Tabla 19 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 7. 75
Tabla 20 Perfil estratigráfico Sondeo 8. 76
Tabla 21 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 8. 76
Tabla 22 Perfil estratigráfico Sondeo 9. 76
Tabla 23 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 9. 77
Tabla 24 Perfil estratigráfico Sondeo 10. 77
Tabla 25 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 10. 78
Tabla 26 Perfil estratigráfico Sondeo 11. 79
Tabla 27 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 11. 79
Tabla 28 Perfil estratigráfico Sondeo 12. 79
Tabla 29 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 12. 80

Tabla 30 Perfil estratigráfico Sondeo 13..... 81
Tabla 31 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 13..... 81
Tabla 32 Perfil estratigráfico Sondeo 14..... 82
Tabla 33 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 14..... 82
Tabla 34 Perfil estratigráfico Sondeo 15..... 83
Tabla 35 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 15..... 83
Tabla 36. Coordenadas de localización líneas geofísicas. 86
Tabla 37. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-1. 92
Tabla 38. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-2. 93
Tabla 39. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-3. 94
Tabla 40. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos para la línea LRS-1..... 95
Tabla 41. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos de la línea LRS-2..... 96
Tabla 42. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos de la línea LRS-3..... 96
Tabla 43 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 1. 102
Tabla 44 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 2. 102
Tabla 45 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 3. 102
Tabla 46 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 4. 103
Tabla 47 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 5. 103
Tabla 48 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 6. 103
Tabla 49 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 7. 103
Tabla 50 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 8. 104
Tabla 51 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 9. 104
Tabla 52 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 10. 104
Tabla 53 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 11. 104
Tabla 54 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 12. 105
Tabla 55 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 13. 105
Tabla 56 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 14. 105
Tabla 57 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 15. 105
Tabla 58 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 13.....106
Tabla 59 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 14.....106
Tabla 60 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 15.....106
Tabla 61 Clasificación del suelo según la resistencia a la penetración con penetrómetro de bolsillo.....107

Tabla 62. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 13. 107
Tabla 63. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 14. 108
Tabla 64. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 15. 108
Tabla 65. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 1. 108
Tabla 66. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 2. 109
Tabla 67. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 3. 109
Tabla 68 Clasificación de la resistencia del suelo a partir de los datos obtenidos del ensayo de compresión inconfinada. 110
Tabla 69 Compresión inconfinada Sondeo 13. 110
Tabla 70 Compresión inconfinada Sondeo 14. 110
Tabla 71 Compresión inconfinada Sondeo 15. 110
Tabla 72 Capacidad de carga admisible Sondeo1. 115
Tabla 73 Capacidad de carga admisible Sondeo 2. 117
Tabla 74 Capacidad de carga admisible Sondeo 3. 118
Tabla 75 Capacidad de carga admisible Sondeo 4. 120
Tabla 76 Capacidad de carga admisible Sondeo 5. 122
Tabla 77 Capacidad de carga admisible Sondeo 6. 124
Tabla 78 Capacidad de carga admisible Sondeo 7. 126
Tabla 79 Capacidad de carga admisible Sondeo 8. 128
Tabla 80 Capacidad de carga admisible Sondeo 9. 130
Tabla 81 Capacidad de carga admisible Sondeo 10. 132
Tabla 82 Capacidad de carga admisible Sondeo 11. 134
Tabla 83 Capacidad de carga admisible Sondeo 12. 136
Tabla 84 Capacidad de carga admisible Sondeo 13. 138
Tabla 85 Capacidad de carga admisible Sondeo 14. 140
Tabla 86 Capacidad de carga admisible Sondeo 15. 142
Tabla 87 Capacidad de carga admisible sondeo 13, con datos obtenidos de ensayo de corte directo. 144
Tabla 88 Capacidad de carga admisible sondeo 14, con datos obtenidos de ensayo de corte directo. 146
Tabla 89 Capacidad de carga admisible sondeo 15, con datos obtenidos de ensayo de corte directo. 148
Tabla 90 Parámetros elásticos de varios suelos. 150

Tabla 91 Parámetros de asentamiento Sondeo 1, 3, 4, 7, 10. 151
Tabla 92 Asentamientos inmediatos Sondeo 1, 3, 4, 7, 10. 151
Tabla 93 Parámetros de asentamiento Sondeo 2, 11, 12, 13, 14, 15. 152
Tabla 94 Asentamientos inmediatos Sondeo 2, 11, 12, 13, 14, 15. 153
Tabla 95 Parámetros de asentamiento Sondeo 5, 6, 8, 9. 153
Tabla 96 Asentamientos inmediatos Sondeo 5, 6, 8, 9. 154
Tabla 97 Determinación del valor de carga de preconsolidación para sondeo 1 muestra 2, Prof. 2 mts. 155
Tabla 98 Determinación del valor de carga de preconsolidación para sondeo 1 muestra 2, Prof. 2.5 mts 155
Tabla 99 Cálculo de asentamientos primarios, ancho de cimiento 0.45 metros. .156
Tabla 100 Cálculo de asentamientos primarios, ancho de cimiento 0.70 metros. 156
Tabla 101 Cálculo de asentamientos primarios, ancho de cimiento 1.10 metros. 156
Tabla 102 Determinación de módulo de reacción del suelo de fundación. 157
Tabla 103 Determinación de módulo de reacción del suelo de fundación. 158
Tabla 104 Parámetros de presión de tierras, sondeo 1. 159
Tabla 105 Parámetros de presión de tierras, sondeo 2. 159
Tabla 106 Parámetros de presión de tierras, sondeo 3. 159
Tabla 107 Parámetros de presión de tierras, sondeo 4. 160
Tabla 108 Parámetros de presión de tierras, sondeo 5. 160
Tabla 109 Parámetros de presión de tierras, sondeo 6. 160
Tabla 110 Parámetros de presión de tierras, sondeo 7. 160
Tabla 111 Parámetros de presión de tierras, sondeo 8. 161
Tabla 112 Parámetros de presión de tierras, sondeo 9. 161
Tabla 113 Parámetros de presión de tierras, sondeo 10. 161
Tabla 114 Parámetros de presión de tierras, sondeo 11. 161
Tabla 115 Parámetros de presión de tierras, sondeo 12. 162
Tabla 116 Parámetros de presión de tierras, sondeo 13. 162
Tabla 117 Parámetros de presión de tierras, sondeo 14. 162
Tabla 118 Parámetros de presión de tierras, sondeo 15. 162
Tabla 119 Perfil estratigráfico sondeo adicional 1. 164
Tabla 120 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo adicional 1. ..164
Tabla 121 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico a partir de ensayo de corte directo Sondeo adicional 1. 165
Tabla 122 Limites de Atterberg y humedad Sondeo adicional 1. 165
Tabla 123 Perfil estratigráfico sondeo adicional 2. 165
Tabla 124 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo adicional 2. ..166
Tabla 125 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico a partir de ensayo de corte directo Sondeo adicional 2. 166

Tabla 126 Limites de Atterberg y humedad Sondeo adicional 2. 166
Tabla 127 Perfil estratigráfico sondeo adicional 3. 167
Tabla 128 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo adicional 3. ..167
Tabla 129 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico a partir de ensayo de corte directo Sondeo adicional 3. 167
Tabla 130 Limites de Atterberg y humedad Sondeo adicional 3. 168
Tabla 131 Compresión inconfinada Sondeo adicional 1. 168
Tabla 132 Compresión inconfinada Sondeo adicional 2. 168
Tabla 133 Compresión inconfinada Sondeo adicional 3. 168
Tabla 134 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 1. 169
Tabla 135 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 2. 171
Tabla 136 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 3. 173
Tabla 137 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 1. 175
Tabla 138 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 2. 177
Tabla 139 Capacidad de carga admisible Sondeo adicional 3. 179
Tabla 140 Parámetros de asentamiento Sondeo adicional 16, 17 Y 18. 180
Tabla 141 Asentamientos inmediatos Sondeo adicional 16, 17 Y 18. 180
Tabla 142 Modulo de balasto Sondeo adicional 16, 17 Y 18 181
Tabla 143 Resultados de cálculo de Vs 30 de LRS 1, 2 y 3. 182
Tabla 144 Clasificación de los perfiles de suelo. 183
Tabla 145 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. 186
Tabla 146 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos cortos del espectro. 186
Tabla 147 parámetros de movimientos sísmicos de diseño. 186
Tabla 148. Tipo de suelo 187
Tabla 149 Valores de Vs obtenidos de las líneas de refracción sísmica desarrolladas en el área de estudio. 187
Tabla 150 Cargas para estructuras proyectadas tipo 1 y 2. 203
Tabla 151 Parámetros para el cálculo de asentamientos asumiendo valores de carga D+L. 203
Tabla 152 Valor de los asentamientos calculados asumiendo valores de carga D+L. 203
Tabla 153 Parámetros para el cálculo de asentamientos asumiendo valores de carga D+0.7E. 204
Tabla 154 Valor de los asentamientos calculados asumiendo valores de carga D+0.7E. 204
Tabla 155 Parámetros para el cálculo de asentamientos asumiendo valores de carga D+L. 205

Tabla 156 Valor de los asentamientos calculados asumiendo valores de carga D+L. 205
Tabla 157 Parámetros para el cálculo de asentamientos asumiendo valores de carga D+0.7E. 206
Tabla 158 Valor de los asentamientos calculados asumiendo valores de carga D+0.7E. 206

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 Localización del área de estudio 16
FIG. 2 Vigas de cimentación existente 18
FIG. 3 Realización de sondeo para obtención de muestras de suelo, ciudadela La Esperanza. 18
FIG. 4 Planta arquitectónica existente 19
FIG. 5 Localización del municipio de aguazul en plancha geológica. 20
FIG. 6. Formación Arcillolitas Del Limbo (Tal/K1E2al) 22
FIG. 7. Formación Areniscas del Limbo (Tarl/E2arl) 23
FIG. 8. Formación San Fernando (Tsf/E2N2sf) 24
FIG. 9. Formación Diablo (Td/N1d) 25
FIG. 10. Formación caja (Tc) (N1c) 27
FIG. 11. Depósito Coluvial (Q-ac) 29
FIG. 12. Mapa geológico regional, municipio de Aguazul. 30
FIG. 13. Mapa geológico local, ciudadela La Esperanza, Aguazul. 31
FIG. 14 Mapa geológico estructural regional de la zona 32
FIG. 15. Falla de Guaicaramo se evidencia en la Vereda El Morro. 33
FIG. 16. Flanco oriental del anticlinal de Monterralo. 34
FIG. 17. Sinclinal de Nunchia. 35
FIG. 18. Mapa geomorfológico regional, municipio de Aguazul. 36
FIG. 19. Mapa geomorfológico local, Ciudadela La Esperanza, Aguazul. 39
FIG. 20 Exploración del subsuelo con equipo mecánco de rotación. 40
FIG. 21. Ubicación de exploraciones de campo. 42
FIG. 22. Toma de datos con penetrometro de bolsillo 43
FIG. 23 Trabajo de campo 62
FIG. 24 Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3, ciudadela La Esperanza. 63
FIG. 25 Detalle de cimiento tipo 1. 64
FIG. 26 Detalle de cimiento tipo 2. 65
FIG. 27 Detalle de cimiento tipo 3. 66
FIG. 28 Detalle de cimiento tipo 4 67
FIG. 29 Perfil estratigráfico determinado de los sondeos realizados en la ciudadela La Esperanza. 85

FIG. 30. Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3 Ciudadela La Esperanza 86
FIG. 31. Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3 Ciudadela La Esperanza. 87
FIG. 32. Modelo geológico-geofísico para LRS-1. 97
FIG. 33. Modelo geológico-geofísico para LRS-2. 98
FIG. 34. Modelo geológico-geofísico para LRS-3. 100
FIG. 35 Esquema de análisis capacidad portante. 113
FIG. 36 Localización de sondeos mecánicos adicionales. 163
FIG. 37 Sondeo mecánico adicional 1 realizado en ciudadela La Esperanza. 163
FIG. 38. Mapa de valores de Aa. 184
FIG. 39 Mapa de valores Av. 185
FIG. 40 Axonometría de recalce en muros y cimentación localizada. 189
FIG. 41 Detalle de cimentación existente. 190
FIG. 42 Recalce de cimentación en planta. 191
FIG. 43 Paso 1 del procedimiento para recalce, demolición parcial de la zapata existente. 192
FIG. 44 Paso 2 del procedimiento de recalce, se debe realizar mejoramiento del suelo, un posterior solado, continuación del refuerzo existente en la zapata y en el muro y la aplicación de Sikadur-32 para mejorar adherencia entre el concreto existente y nuevo, armado de refuerzo del recalce. 193
FIG. 45 Despiece del refuerzo estructural. 194
FIG. 46 Paso 3 del recalce, sección final con la fundación del recalce dando así paso a una zapata con ancho final de 1.03 metros. 195
FIG. 47 Axonometría recalce cimiento tipo 1. 196
FIG. 48 Axonometría recalce cimentación tipo 1 f'c=21 MPa. 197
FIG. 49 Paso 1 del procedimiento para recalce, demolición parcial de la zapata existente. 198
FIG. 50 Paso 2 del procedimiento de recalce, se debe realizar mejoramiento del suelo, un posterior solado, continuación del refuerzo existente en la zapata y en el muro y la aplicación de Sikadur-36 para mejorar adherencia entre el concreto existente y nuevo, armado de refuerzo del recalce. 199
FIG. 51 Despiece de refuerzo de recalce cimiento tipo 2. 200
FIG. 52 Paso 3 del recalce, sección final con la fundación del recalce dando así paso a una zapata con ancho final de 1.33 metros. 200
FIG. 53 Axonometría recalce cimiento tipo 2. 201
FIG. 54 Axonometría recalce cimentación tipo 2 f'c=21 MPa 201
FIG. 55 Muro de recalce en concreto tipo 1 202
FIG. 56 Muro de recalce en concreto tipo 2 202
FIG. 57. Comportamiento de los asentamientos asumiendo valores de carga D+L. 204

FIG. 58. Comportamiento de los asentamientos asumiendo valores de carga D+0.7E.....205
FIG. 59. Comportamiento de los asentamientos asumiendo valores de carga D+L. 206
FIG. 60. Comportamiento de los asentamientos asumiendo valores de carga D+0.7E.....207
FIG. 61 Capacidad portante sondeos 1-18.....207

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. PLANOS DE GEOLOGÍA REGIONAL.

Anexo 2. PLANOS DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.

Anexo 3. PLANOS DE GEOLOGÍA LOCAL.

Anexo 4. PLANOS DE GEOMORFOLOGÍA LOCAL.

Anexo 5. PLANOS DE EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS.

Anexo 6. CBR INALTERADO. (Auscultaciones 1.5m)

Anexo 7. PDC ENSAYO DE PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO. (Auscultaciones 1.5m)

Anexo 8. GRANULOMETRÍAS, LÍMITES Y HUMEDAD. (Auscultaciones 1.5m)

Anexo 9. GRANULOMETRÍAS, LÍMITES Y HUMEDAD. (Sondeos mecánicos 15m)

Anexo 10. PENETRÓMETRO DE BOLSILLO. (Perforación mecánica 15m)

Anexo 11. CONSOLIDACIÓN LENTA CON DESCARGA. (15m)

Anexo 12. COMPRESIÓN INCONFINADA. (15m)

Anexo 13. CORTE DIRECTO. (15m)

Anexo 14. INFORME DE LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA.

Anexo 15. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Anexo 16. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.

Anexo 17. MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD.

INTRODUCCIÓN.

En el presente informe se estructura a partir de la información obtenida en ensayos realizados a las muestras recolectadas directamente en campo de la zona de interés del proyecto, a partir de los cuales se genera los resultados que sustentan el estudio geotécnico y de suelos para el proyecto de REFORZAMIENTO CIUDADELA LA ESPERANZA, MUNICIPIO AGUAZUL CASANARE.

Este informe muestra los resultados obtenidos del estudio geotécnico realizado en el área del proyecto que se consideran de influencia para la zona de construcción. Los estudios se ejecutaron a partir de la realización de quince (15) sondeos, efectuando ensayos de campo, un muestreo sistemático de acuerdo con las Normas A.S.T.M. D1586-67, con los cuales se logró la caracterización del subsuelo, el reconocimiento del perfil estratigráfico y principalmente sus condiciones físico-mecánicas. También se incluyen los detalles para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características litológicas, resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en los análisis de estabilidad y deformación para las alternativas de fundación de estructuras.

El estudio incluye un reconocimiento Geológico y Geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación con base en con base en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 y la normatividad INVIAS, las conclusiones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el sistema de cimentación más adecuado, así como los parámetros sísmicos del perfil de suelo.

El estudio se realizó en abril de 2021.

1. OBJETIVOS Y ALCANCES.

1.1. OBJETIVO.

Realizar la caracterización del perfil de suelo obteniendo muestras alteradas e inalteradas para determinar las condiciones que rigen la resistencia al corte de los mismos, y con base en la información geotécnica básica y en los resultados obtenidos en laboratorio, establecer el comportamiento geomecánico del suelo y la profundidad optima de cimentación de las diferentes estructuras y geometrías de excavación.

1.2. ALCANCE.

Realizar la caracterización de los materiales sobre los cuales están construidos las torres de la ciudadela la Esperanza, corroborar mejoramientos hechos debajo de cada torre y contrastar la información con los estudios anteriores; sin embargo hay parámetros que cambian con el transcurso del tiempo; ya sea humedad, saturación de los materiales, infiltraciones, asentamientos por consolidación cambian a lo largo del tiempo y factores antrópicos pueden modificar algunos datos calculados inicialmente.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN.

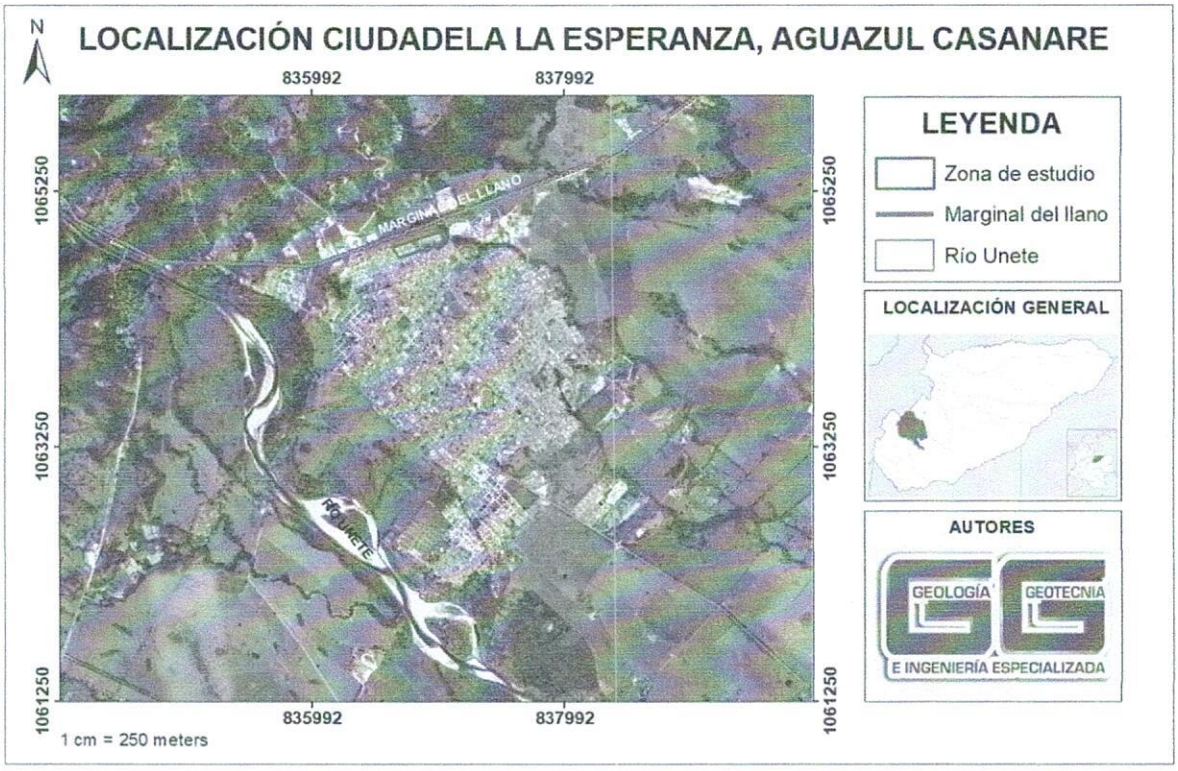
2.1. LOCALIZACIÓN ESPECIFICA.

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Aguazul Casanare ciudadela la Esperanza ubicada en la zona norte del municipio en la dirección diagonal 23E con calle 18. Y colinda al norte con la ruta 65.

Sus coordenadas Magna Sirgas Este Central son:

ESTE: 836796.587 **NORTE:** 1064848.319 **ELEVACIÓN:** 289msnm

FIG. 1 Localización del área de estudio



Fuente: Autores.

Aguazul es un municipio de Colombia ubicado en el departamento de Casanare, dista de la capital departamental (Yopal) una distancia terrestre de 27 km y de Bogotá 361 km.

Limita al norte con los municipios de Pajarito (Boyacá) y Recetor (Casanare), al sur con Tauramena y Maní (Casanare), al oriente con la capital del departamento, Yopal, y al occidente con Tauramena y Recetor (Casanare).

- **EXTENSIÓN TOTAL: 1.455 KM²**
- **EXTENSIÓN ÁREA URBANA: 4.23 KM²**
- **EXTENSIÓN ÁREA RURAL: 143.77 KM²**
- **ALTITUD DE LA CABECERA MUNICIPAL (METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR): 300**
- **TEMPERATURA MEDIA: 27º C**

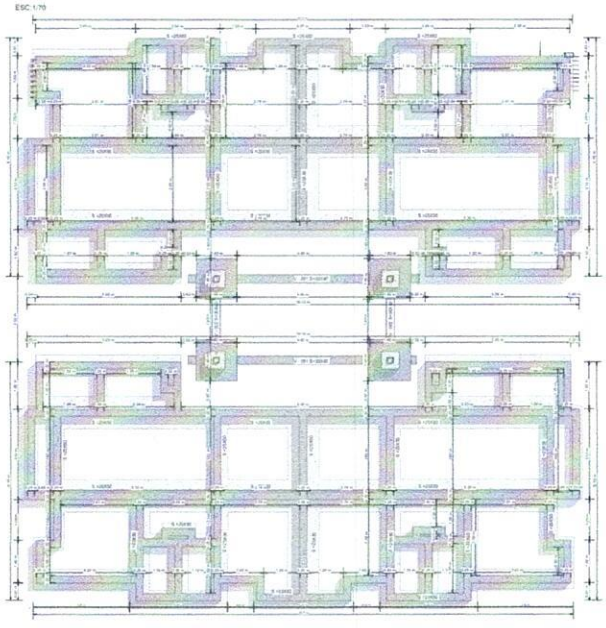
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

El conjunto habitacional Ciudadela la Esperanza consta de veinte (20) bloques, cada uno con 16 unidades de vivienda distribuidos en 4 plantas (4 apartamentos por piso); cada apartamento consta de sala-comedor, tres alcobas, dos baños, cocina y zona de ropas para un área por unidad de vivienda de 64.87m^2.

El sistema constructivo empleado para cada bloque de apartamentos es mampostería estructural (bloque de arcilla hueco) el cual consiste en sustentar los muros mediante varillas de acero estructural a través de perforaciones verticales, las cuales posteriormente son llenadas con fluido concreto; sobre los muros nivelados son apoyadas las placas de entrepiso.

El entrepiso típico esta constituidos por una placa maciza de 10cms en promedio de altura. La cubierta es de tipo liviano con tejas de asbesto y el acceso a cada piso se realiza por medio de una escalera metálica la cual es independiente de la mampostería estructural.

FIG. 2 Vigas de cimentación existente



Fuente: Consorcio reforzamiento ciudadela

FIG. 3 Realización de sondeo para obtención de muestras de suelo, ciudadela La Esperanza.

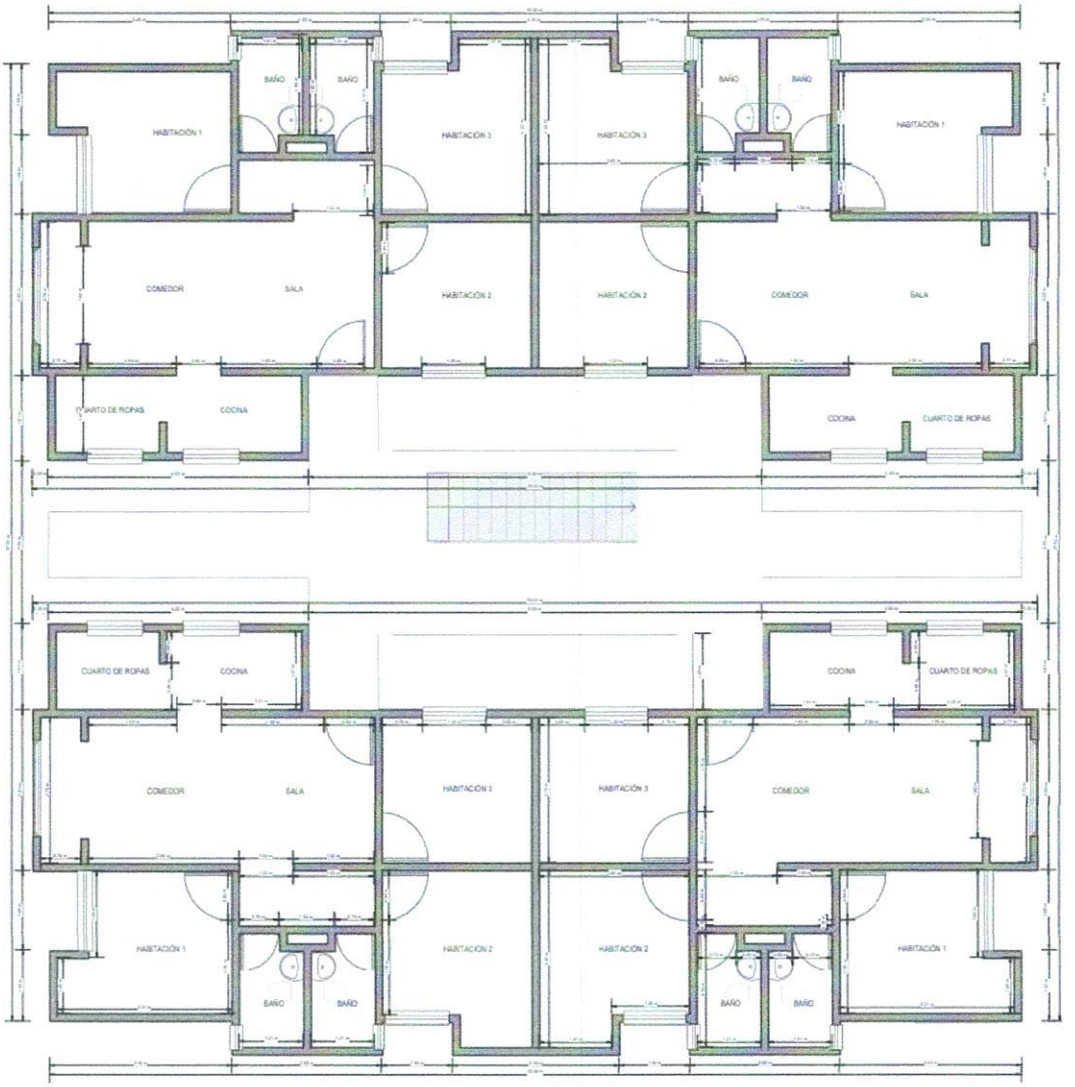


Fuente: Autores.

Características del área del proyecto.

El predio en su totalidad tiene un área de aprox. 35.713 mts. está ubicado a una altura de 290 msnm en promedio, en el terreno se encuentran construidas 20 torres de 4 pisos y en cada piso 4 viviendas, para un total de 320 viviendas, además de esto cuentan con áreas de parqueadero y zonas verdes.

FIG. 4 Planta arquitectónica existente

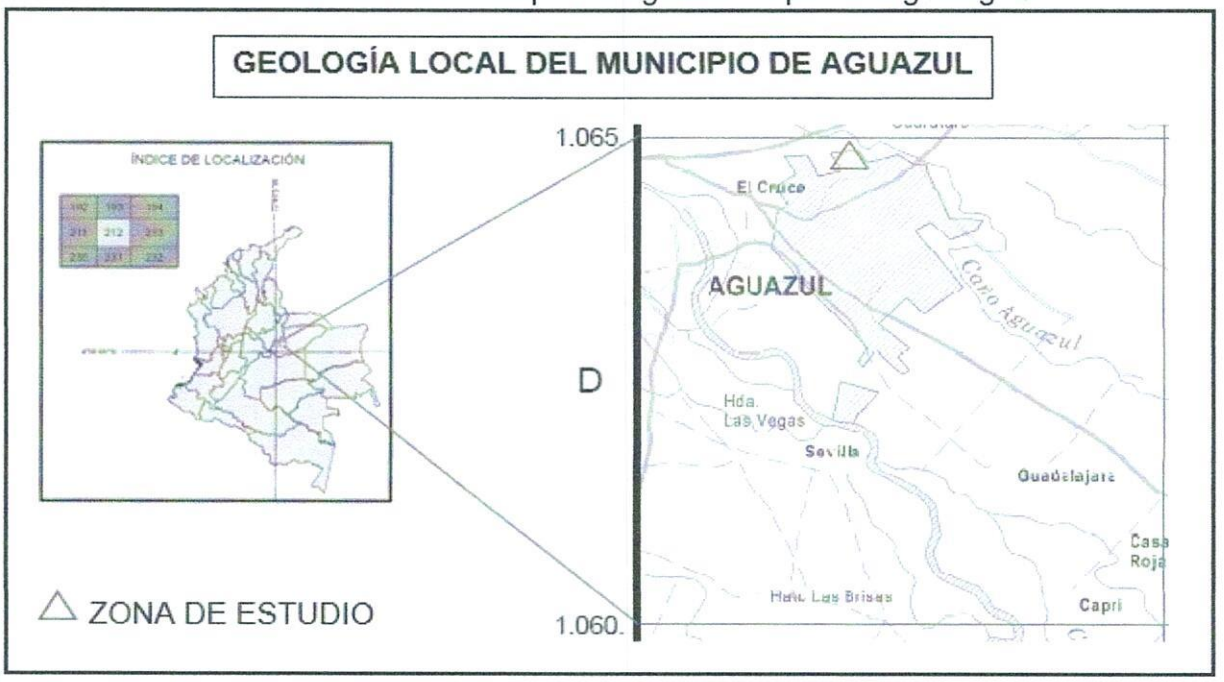


Fuente: Consorcio reforzamiento ciudadela.

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL Y REGIONAL.

3.1. ANÁLISIS GEOLÓGICO.

FIG. 5 Localización del municipio de aguazul en plancha geológica.



Fuente: Autores, modificado de plancha geológica 212 tomada del Servicio Geológico Colombiano (SGC), INGEOMINAS, 2010.

El municipio de Aguazul Casanare se encuentra dentro de la cuenca sedimentaria del borde llanero, en el área se aprecia la secuencia sedimentaria desde el mesozoico (cretáceo superior) – Cenozoico, Paleoceno – Paleógeno y Neógeno. Estas ubicadas en la parte norte y oriental del municipio, las cuales se encuentran altamente afectadas por el tectonismo regional evidenciado en las estructuras que se presentan el pie de monte paralelas a la cordillera.

La descripción regional de la zona de estudio se realizó observando las características estratigráficas y litológicas del sector, de igual forma se identificó la composición y estructura de los tipos de rocas y depósitos existentes, así como su ubicación cronológica, lo que permite conocer el origen y evolución de los diferentes paisajes y formaciones actuales. Las principales características litológicas de las unidades que afloran en el área de estudio se describen a continuación, teniendo en cuenta lo descrito en Mapa geológico y la Memoria de la Plancha 212 Aguazul y otros documentos obtenidos del Servicio Geológico Colombiano.

3.1.1. Geología Regional.

Estratigrafía Regional.

A continuación, se realiza una descripción de las unidades geológicas que se encuentran aflorantes en la región.

Grupo Palmichal (Tkp)

El nombre de Grupo Palmichal fue introducido oficialmente para el Piedemonte Llanero Por ULLOA & RODRÍGUEZ (1979), quienes señalaron la sección de la Quebrada Palmichal como la sección tipo este Grupo se compone de cinco unidades informales, tres areníticas (conjuntos A, C y E) Y dos lodolíticas (conjuntos B y D), con rango formacional.

El conjunto A del Grupo Palmichal se denomina aquí informalmente arenita inferior y el conjunto C arenita superior. La primera de ellas se depositó durante el Campaniano y la segunda durante el Maastrichtiano. Por su parte, el conjunto E del Grupo Palmichal equivale a la Formaci6n Arenisca de El Morro (VAN DER HAMMEN 1958), una unidad de arenitas y conglomerados de edad Paleoceno, que infrayace a las denominadas Arcillas de El Limbo.

Regionalmente es una unidad de expresión morfológica fuerte (Espinos y crestas). Esta formación es de especial interés para fines de ingeniería pues representa una fuente importante de materiales para construcción.

Al norte del municipio encontramos parte de la unidad que se constituye por conjuntos de areniscas cuarzosas, blancas de grano fino, con intercalaciones de lutitas grises y limolitas silíceas.

Formación arcillas del limbo (Tal)

Nombre y sección tipo.

El nombre fue establecido por Hubach (1941, en Van Der Hammen-1960), se localiza al noroeste del Municipio de Yopal, en las Veredas El porvenir, Cagui Charte, Volcaneras.

Descripción litológica.

Está compuesta por arcillas y limolitas de colores rojizos y verdosos con intercalaciones de areniscas grises de grano fino a medio de poco espesor; su ambiente de depósito es considerado como pantanoso a lagunar marino.

En el costado nororiental encontramos la compuesta principalmente por arcillas grises y verdosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas blanco-amarillentas.

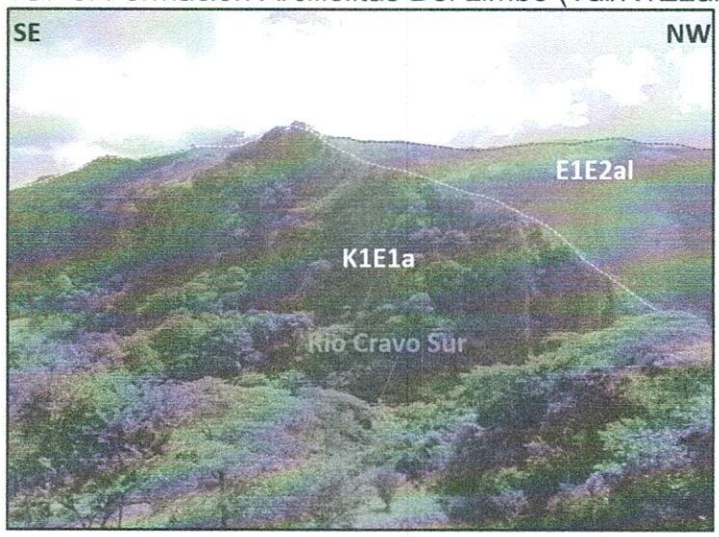
Posición estratigráfica y edad.

Esta formación en su base tiene un contacto concordante con la Formación Chipaque y en su techo un contacto discordante con la Formación Arenisca Del Limbo, su edad es del Eoceno inferior.

Correlación.

Esta formación se correlaciona con las Formaciones Arcillas de Socha y Bogotá.

FIG. 6. Formación Arcillolitas Del Limbo (Tal/K1E2al)



Fuente: Autores.

Formación Areniscas de El Limbo (Tarl)

Nombre y sección tipo.

El nombre la de unidad fue propuesto por Hubach (1941) y renombrada por Van Der Hammen (1960); Una pequeña franja se localiza en la Vereda el Morro.

Descripción litológica.

Constituida por areniscas de grano fino a medio color grisáceo y conglomerados con cantos subredondeados de cuarzo, cementados en una matriz arenosa con intercalaciones de arcillolitas y limolitas negras.

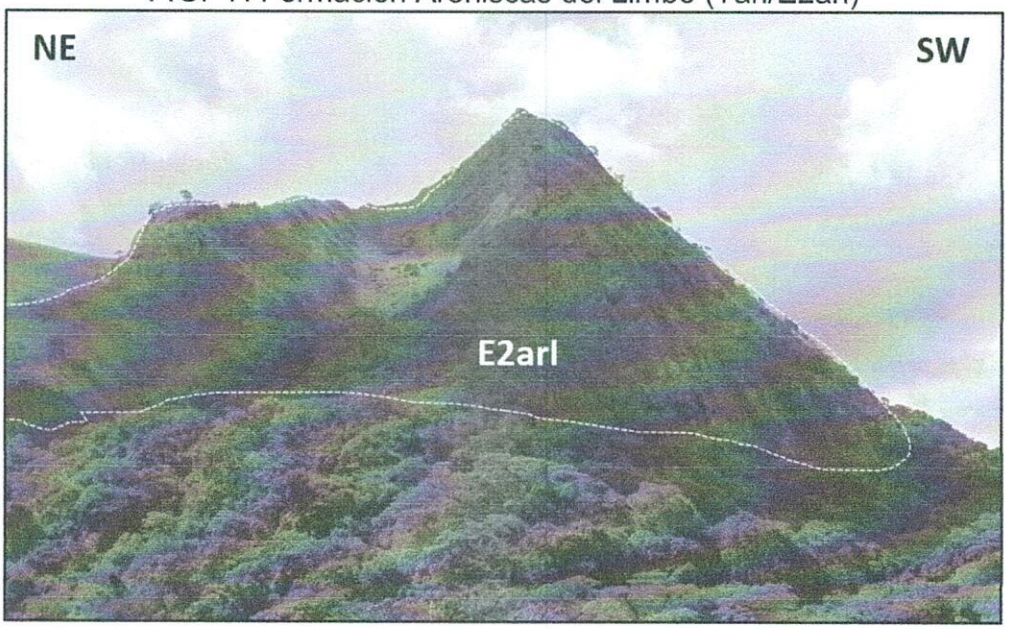
Posición estratigráfica y edad.

Esta formación en su base tiene un contacto discordante con la Formación Arcillas del limbo y en su techo un contacto concordante con la Formación San Fernando del Eoceno inferior.

Correlación.

Esta formación se correlaciona con la Formaciones Picacho y Regadera.

FIG. 7. Formación Areniscas del Limbo (Tarl/E2arl)



Fuente: Autores.

Formación San Fernando (Tsf)

Nombre y sección tipo.

El nombre y rango fue dado por Renz (1938) y Van Der Hammen (1960) En el municipio se localiza una pequeña franja en la parte Este del mismo, en las Veredas El morro, El Colorado, Guayaquito.

Descripción litológica.

Está compuesta por una serie de arcillas y arcillolitas grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso y eventualmente lentes de carbón, estratificadas en bancos hasta de 3m de espesor, los cuales presentan estratificación cruzada.

Posición estratigráfica y edad.

Esta formación en su base tiene un contacto concordante con la Formación Arenisca del Limbo y en su techo un contacto concordante con la Formación Diablo del Eoceno inferior.

Correlación.

Esta formación se correlaciona con la Formaciones Concentración y Usme.

FIG. 8. Formación San Fernando (Tsf/E2N2sf)



Fuente: Autores.

Formación Diablo (Td)

Nombre y sección tipo.

El nombre y rango fue dado por Renz (1938) y Van Der Hammen (1960). En el municipio se localiza en los flancos del sinclinal de Nunchia se observa al norte de la cabecera municipal y hacia la vía al Morro, en las Veredas El morro, Upamena, Guafilla, El Colorado, Villa del Carmen.

Descripción litológica.

Está compuesta por una serie de arenitas color naranja y marrón con intercalaciones de cuarzosas arenitas se presenta un alto a moderado grade de bioturbación de

grano medio a grueso, estratificadas en bancos hasta de 7 a 8m de espesor, los cuales presentan estratificación en algunos afloramientos presenta facies.

Constituida en la base por areniscas cuarzosas, grises verdosos, en la zona media por arcillolitas grises claras y limolitas, y el techo por una alternancia de areniscas y arcillolitas rojizas.

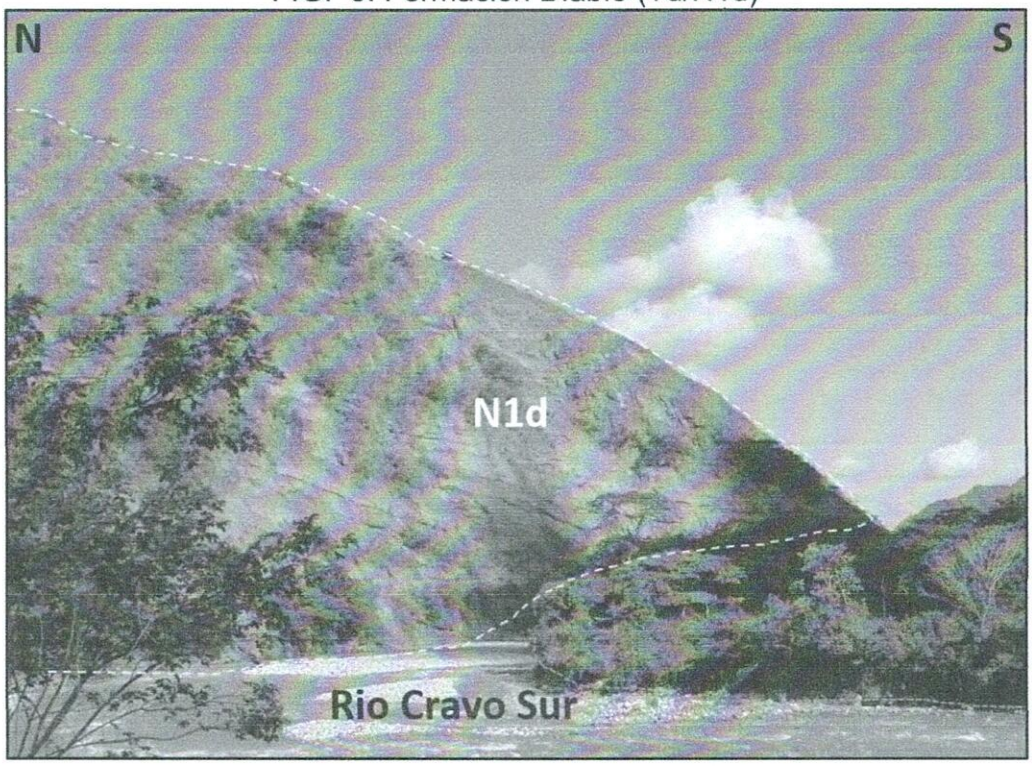
Posición estratigráfica y edad.

La Formación Diablo está limitada en su base con rocas de la Formación San Fernando, el contacto es neto y se marca en un conjunto de arenitas que conforman la base de un filo; el contacto superior es con la Formación Caja.

Correlación.

Esta formación se correlaciona con la Formación Carbonera.

FIG. 9. Formación Diablo (Td/N1d)



Fuente: Autores.

Formación Caja (Tc)

Nombre y sección tipo.

El nombre de Formación Caja fue utilizado por Valencia (1938) en un informe inédito para la Shell (en Van der Hammen, 1958), para agrupar areniscas y conglomerados con intercalaciones de gredas y arcillas esquistosas, cuya localidad se encuentra en las veredas Floreña, Naranjitos, Cravo, El Caque, Lagunas y los Aceites.

Descripción litológica.

En las sucesiones granodecrecientes la base está representada por intercalaciones de conjuntos de capas que se apilan (6m) o una capa individual (2-4m) de arenitas y arenitas conglomeráticas que cortan la sucesión inferior en general lodosa y que grada a lodolitas dispuestas en bancos (2-7m) que a su vez se intercalan con capas medias de arenitas. En las sucesiones granocrecientes los intervalos de lodolitas (4-7m) tienen esporádicas capas delgadas continuas o lenticulares de arenitas de grano muy fino, las cuales toman espesores medios y delgados y se hacen más frecuentes hasta aparecer una capa muy gruesa cuneiforme a plano-paralela-continua de arenita conglomerática a conglomerado arenoso. También se observan sucesiones (10-20m) en donde se intercalan intervalos de 4m de lodolitas con una capa muy gruesa (1m) cuneiforme y lenticulares de arenita.

Localizado al oriente del municipio consta predominantemente de arcillolitas y limolitas rojizas en la base, con conglomerados hacia la parte media, los cuales se hacen más gruesos hacia el techo de la unidad.

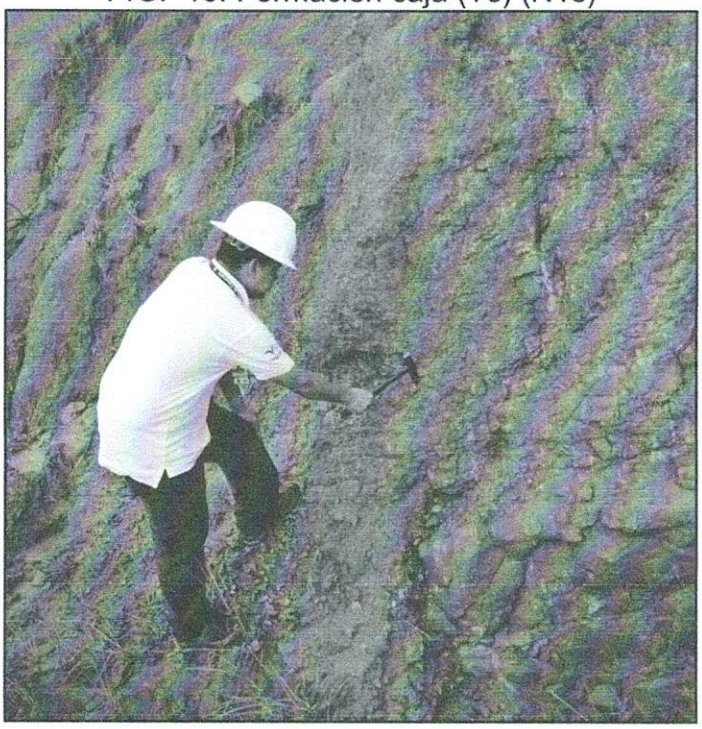
Posición estratigráfica y edad.

La Formación caja está limitada en su base con rocas de la Formación Diablo, el contacto es neto y se marca en un conjunto de arcillolitas de color gris que conforman la base.

Correlación.

Esta formación se correlaciona con la Formación León.

FIG. 10. Formación caja (Tc) (N1c)



Fuente: Autores.

Formación Corneta (QTlc)

Denominada así por ULLOA y RODRÍGUEZ (1979), en su localidad tipo quebrada La Corneta que desemboca en el rio Guavio cuadrángulo K-12, Guateque. De edad Plioceno – Pleistoceno, con un ambiente de depósito de cono aluvial de piedemonte.

En el área llana encontramos la igualmente en estos municipios y compuesta exclusivamente por gravas con grandes cantos de areniscas y cuarzo, cementados en una matriz arcillosa.

CUATERNARIOS.

Los depósitos cuaternarios encontrados en la región, tienen diversos orígenes y sus características geomorfológicas dependen de la dinámica de deposición. De acuerdo con su origen y tiempo de deposición se reconocen: Depósitos aluviales y de llanuras aluviales (Q-al), Abanicos aluviales (Q-ab), y depósitos coluviales (Q-ac).

Deposito aluvial (Q-al)

Este depósito es producto de las dinámicas fluviales propias de los ríos y quebradas principales del municipio, y sus afluentes; Está constituido por sedimentos de tamaño variable, desde muy fino hasta la presencia de grandes bloques angulosos provenientes de las formaciones aledañas más competentes, pasando por arena, grava y cantos redondeados a subredondeados de diversos tamaños, embebidos en una matriz soportado gravoso y areno - arcilloso.

Depósitos de cauce y llanura aluvial (Q2-al)

Constituido por materiales areno limosos, arenas limpias finas a muy finas y limo arcillosas en menor proporción; con selección moderada, granos subangulares a subredondeados, subesféricos a subredondeados. Es común encontrar guijos redondeados de arenisca cuarzosa y fragmentos de rocas oxidadas. Una caracterizada por presentar materiales no consolidados de gran diversidad. Se ubican dominantemente al suroccidente de la plancha municipios de Aguazul asociados al río Únete.

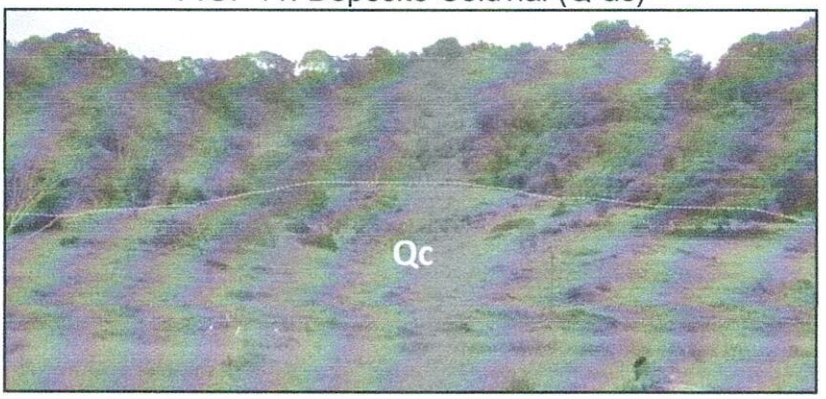
Depósitos de abanico aluvial (Q-ab)

Estos depósitos están localizados en el sistema de relieve de llanura y piedemonte, forman superficies que están limitadas por las laderas de contrapendientes del frente montañoso y que se observa a lo largo de la plancha del piedemonte. Compuestos principalmente por materiales polimígticos y hetereométricos de conglomerados con gradación lateral. Se sitúa al oriente en la zona de piedemonte, en inmediaciones a la población de Aguazul.

Deposito coluvial (Q-ac)

Depósitos compuestos por bloques, gravas y clastos angulares evidenciando muy poco transporte desde su lugar de origen, mal seleccionados embebidos de arenisca cuarzosa de grano fino en una matriz limo arenosa o clasto soportado gravoso.

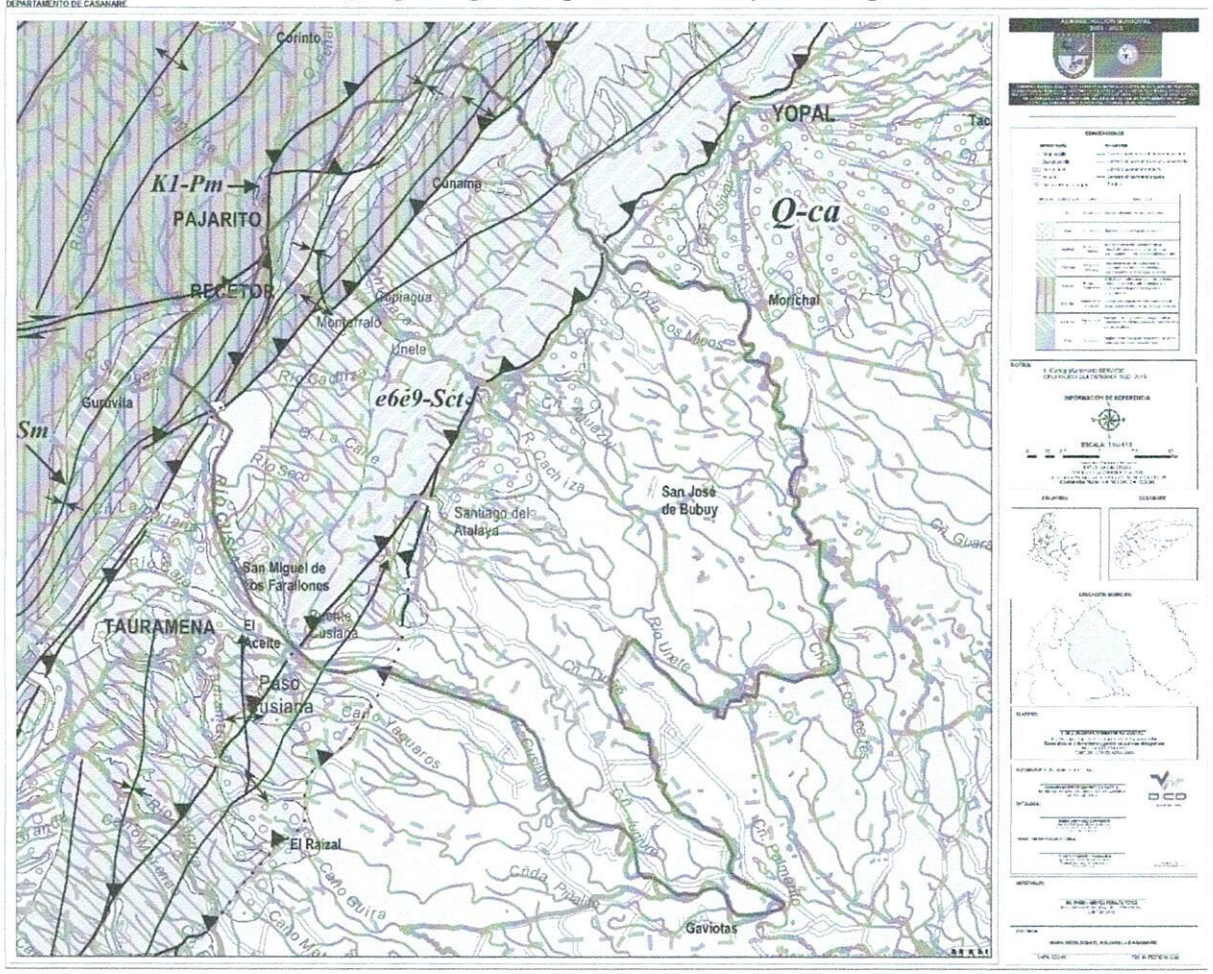
FIG. 11. Depósito Coluvial (Q-ac)



Fuente: Autores.

A continuación, se presenta el mapa geológico regional correspondiente al municipio de Aguazul, obtenido a partir del tratamiento de datos e información secundaria, con el fin de ofrecer una salida gráfica que represente de manera clara y concisa la información representativa anteriormente expuesta.

FIG. 12. Mapa geológico regional, municipio de Aguazul.



Fuente: Autores.

3.1.2. Geología Local.

A fin de propender un correcto desarrollo de este capítulo se elaboró un mapa geológico local en donde se evidencian las características y disposición, además del origen de los diferentes suelos, rocas y materiales que componen la zona en donde están localizada la ciudadela LA ESPERANZA, área de interés.

FIG. 13. Mapa geológico local, ciudadela La Esperanza, Aguazul.



Fuente: Autores.

ORIGEN DEL SUELO: TRANSPORTADO.

Sedimentos que han sido transportados y depositados por las quebradas conformando los cauces activos, abandonados y llanuras de inundación. Están compuestos por bloques, cantos, grava, arena y finos en condición suelta. En la parte baja de los ríos principales, predomina la granulometría fina correspondiente a arcillas, lodolitas, material arenoso y materia orgánica.

Suelos aluviales y fluviales antiguos de resistencia media. (Stfatrm)

Sobre el cual está localizada el área de estudio, ciudadela LA ESPERANZA. Son depósitos fluviales comunes de espesor de 5 metros con capas de Limo arenoso

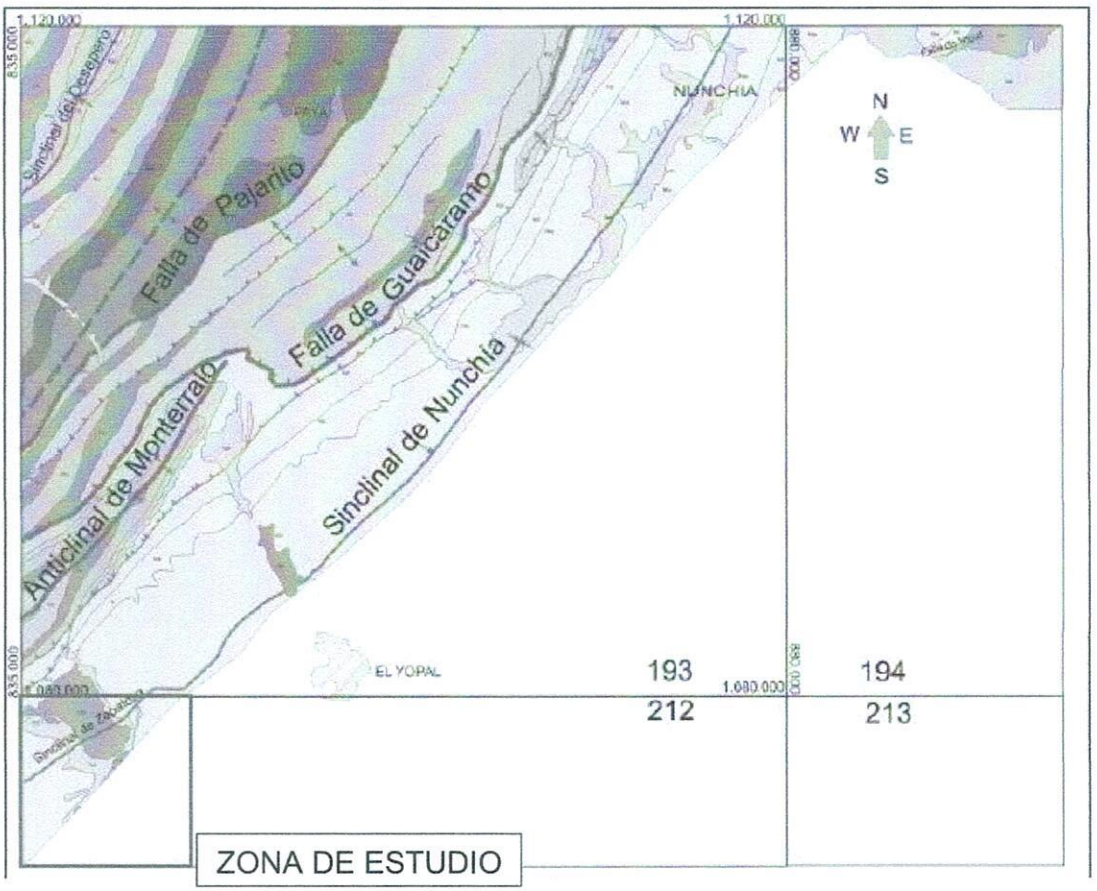
(3m), Limo alta compresibilidad (4m), Limo arenoso (6m) el depósito cuenta con un ángulo de fricción de 14° y una cohesión de 30Kn/m, con una resistencia media.

3.1.3. Geología Estructural Regional.

En el interior de la cuenca se pueden distinguir dos zonas que difieren estructuralmente, la primera está comprendida por un área que topográficamente presenta un relieve quebrado denominado Piedemonte Llanero y una segunda zona de topografía casi plana, con relieve de llanura de gran extensión.

El Piedemonte Llanero está controlado por un estilo estructural compresivo que da lugar a la formación de pliegues y fallas inversas de alto y bajo ángulo ó de cabalgamiento, producto del evento de la Orogenia Andina.

FIG. 14 Mapa geológico estructural regional de la zona

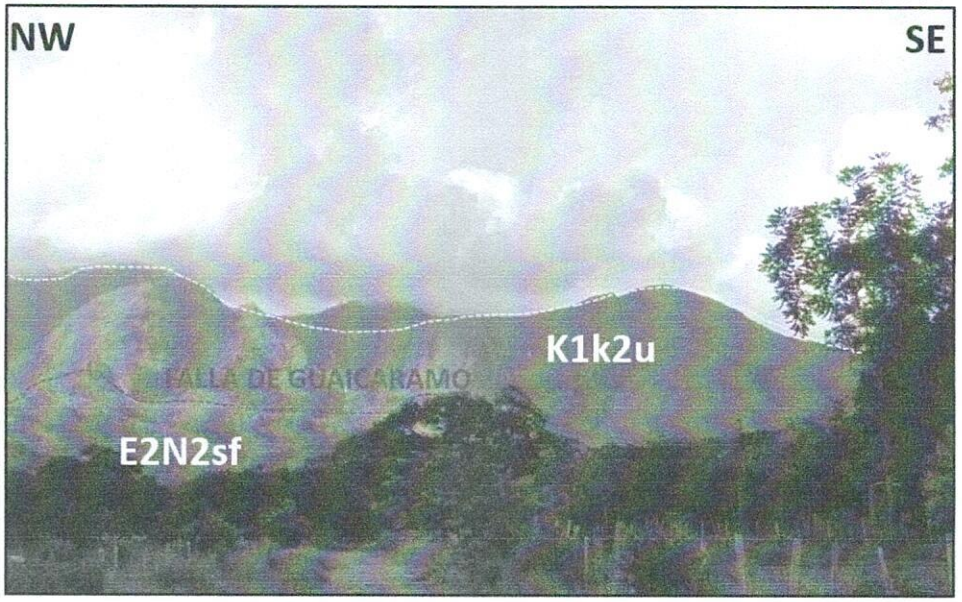


Fuente: Geología de Piedemonte Llanero en la Cordillera Oriental, Departamentos de Arauca y Casanare. Memoria, INGEOMINAS.

Falla de Guaicaramo.

Tiene una dirección de N 40° E y buzamiento al Oeste, levantando el flanco SE del anticlinal de Monterralo, afecta rocas de edad cretácea de las formaciones Une y Chipaque y rocas del grupo Palmichal; es de tipo inverso, de alto ángulo, su plano de falla buza hacia el Oeste, su desplazamiento vertical es de gran magnitud, ya que pone en contacto rocas de la Formación Caja; unas veces con rocas del grupo Palmichal y otras con la Formación Fómeque.

FIG. 15. Falla de Guaicaramo se evidencia en la Vereda El Morro.

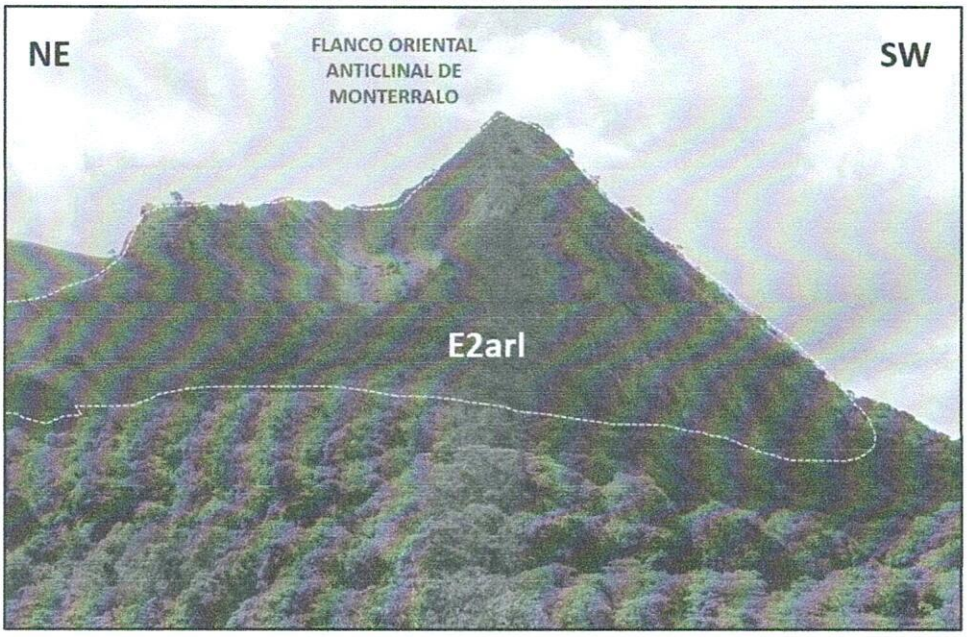


Fuente: Autores.

Anticlinal de Monterralo.

Esta estructura está afectada en ambos flancos por fallas regionales, al oeste la Falla de Guaicaramo y al este la Falla de Tocaría en el flanco occidental rocas de la Formación Une están en contacto con rocas de la Formación Areniscas del Limbo por la acción de la Falla de Guaicaramo y el flanco oriental es afectado por la Falla de Tocaría, de esta manera las rocas se verticalizan, se invierten y de norte a sur van siendo cortadas, al norte van desapareciendo rocas de la Formación Areniscas del Limbo, Arcillas del Limbo y así sucesivamente hasta desaparecer el flanco oriental del anticlinal.

FIG. 16. Flanco oriental del anticlinal de Monterralo.



Fuente: Autores.

Sinclinal de Nunchia.

Este sinclinal es una estructura de primer orden, abierta, en su núcleo afloran rocas de la Formación Caja y atraviesa el municipio, su eje tiene una orientación N45OE al sur y cambia a N30OE al norte; esta estructura es asimétrica, de esta manera las rocas del flanco oriental presentan buzamientos altos (45°-60°) en comparación a los medidos en el flanco occidental (20-45°), además se observa más secuencia en el flanco occidental.

FIG. 17. Sinclinal de Nunchia.



Fuente: Autores.

Sinclinal de Zapatosa.

Este sinclinal es una estructura de primer orden, simétrica, amplia limitada por el grupo Palmichal, su eje tiene una orientación N50°E al sur y cambia a N30°E al norte; esta estructura es simétrica de esta manera las rocas de ambos flancos presentan buzamientos altos 35 - 55°.

El desarrollo de este sinclinal está ligado a la Falla de Guaicaramo de tipo inverso vertical y para diferentes Autores como Cooper et al. (1995), Martínez (2006) y Egbue & Kellog (2012). hace parte del frente de cabalgamiento de la Cordillera Oriental en un modelo tectónico de piel delgada que involucra zona triangular con dúplex de techo pasivo y activo. Se considera este sinclinal como componente principal del sinclinorio de Nazaret.

3.1.4. Geomorfología Regional.

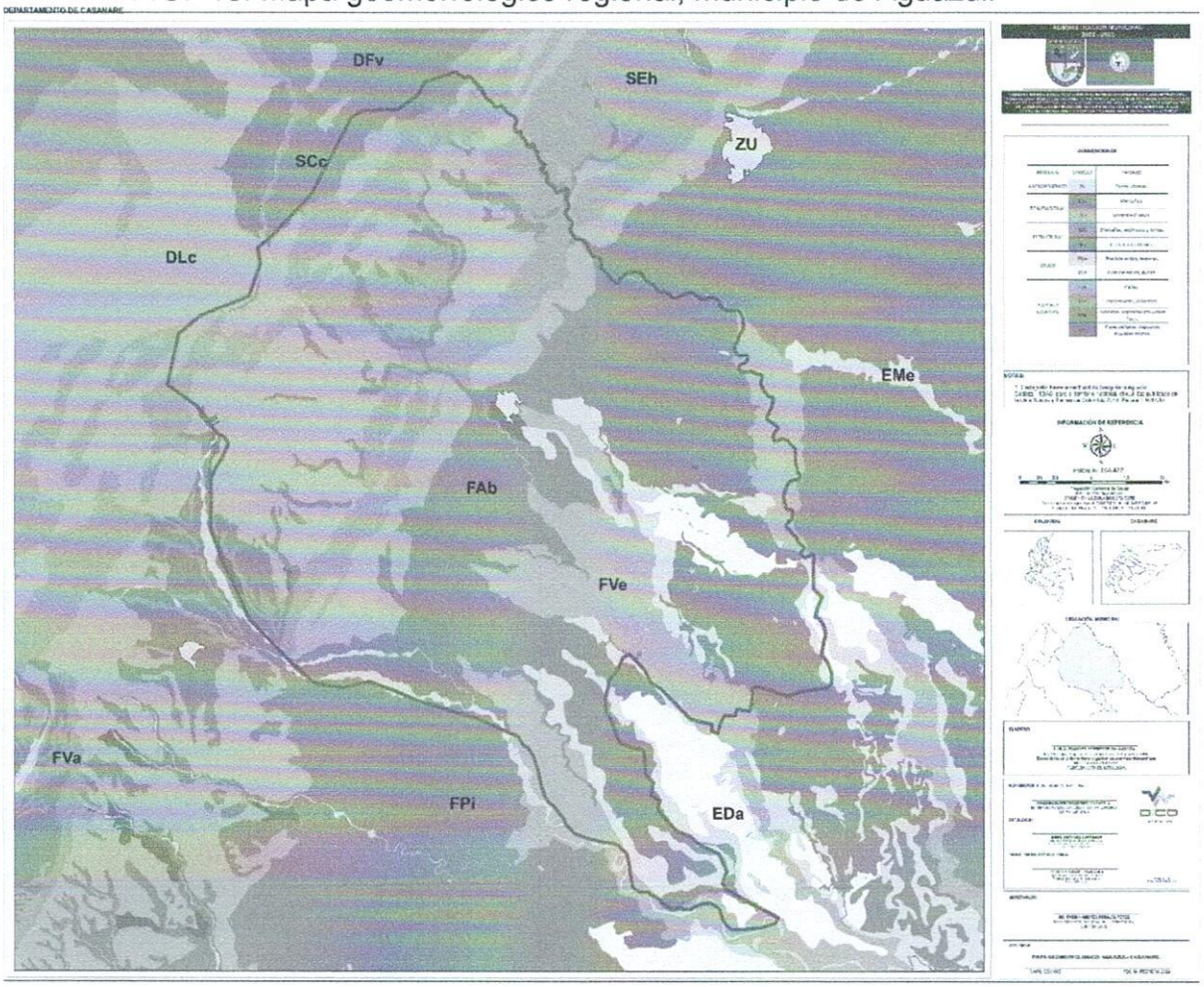
Aguazul se encuentra en las estribaciones de la Cordillera Oriental, en la zona de transición con las sábanas, el denominado piedemonte llanero, el cual comprende el borde Este de la cordillera oriental y el límite Oeste de la cuenca de los llanos orientales. Cuenta con zonas de grandes pendientes y con zonas planas. Cuenta con tres fuentes hídricas principales: los ríos Cusiana, Únete y Charte. Posee tres tipos de paisaje principal, montaña, piedemonte y sabana.

Adicionalmente se encuentran depósitos aluviales conformados por barras de meandros e islas de gravas y arenas que ocupan los lechos activos y fluctuantes de los principales ríos.

En el paisaje de llanura, debido a su característica de baja pendiente las corrientes pasan de trenzadas a meándricas con estrangulamiento de cauces dando origen a meandros abandonados.

Se distinguen depósitos de terrazas y aluviales, que se encuentran dispuestos en forma sub-horizontal, clasificados de manera informal y preliminar de acuerdo con la conformación de los paisajes geomorfológicos de llanura.

FIG. 18. Mapa geomorfológico regional, municipio de Aguazul.



Fuente: Autores.

Posterior a la obtención de información secundaria y generación del mapa geomorfológico regional, se determina la presencia de geoformas de origen fluvial y coluvial, denudacional y estructural, estas últimas hacia la parte nor-occidental del municipio; Adicional a esto, también encontramos geoformas de origen antropogénico producto de la intervención del hombre en las áreas correspondientes a los cascos urbanos de la región.

A continuación, y en congruencia con el desarrollo del objeto se establecen los ambientes geomorfológicos que dan origen a las principales geoformas presentes en el municipio.

GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL Y COLUVIAL.

- *Ambiente Fluvial.*
  Incluye los accidentes geográficos, formas y relieves ocasionados por la acción de los ríos sobre la superficie terrestre. El agua es el agente más importante en la erosión, transporte y depósito de sedimentos. Los relieves modelados por la acción de las corrientes de agua se denominan relieves fluviales, para distinguirlos de los originados por los otros agentes modeladores (hielo, olas, viento). En el momento actual, los relieves y procesos fluviales son los elementos dominantes en las superficies continentales. La erosión originada por la corriente es la progresiva remoción del material mineral del fondo y las orillas del cauce, ya sea excavado éste en material de alteración, sedimento, o en la roca madre. El transporte consiste en el movimiento de las partículas erosionadas mediante su arrastre por el fondo, suspensión en la masa de agua o disolución.

  Para el caso particular del municipio, Corresponden a los depósitos aluviales que están localizados hacia las márgenes de los ríos principales y secundarios, como producto de la acumulación sobre la antigua planicie de inundación divagante y que hacen parte de las terrazas aluviales asociadas a las márgenes de los ríos principales. Dentro de los cuales se destacan los depósitos asociados a los ríos Cusiana, Unete y Charte.
  Depósitos de terraza aluvial (Qt): Constituido por sedimentos de tamaño variable, desde muy fino hasta la presencia de grandes bloques angulosos provenientes de las formaciones aledañas más competentes, pasando por arena, grava y cantos redondeados a subredondeados de diversos tamaños, embebidos en una matriz soportado gravoso y areno - arcilloso. Se localizan al nororiente en el municipio de Aguazul y al sur y suroriente en Tauramena bordeando especialmente el complejo sistema del río Cusiana.

- *Ambiente coluvial.*
  Incluye las geoformas que tienen su origen en la acumulación de materiales heterogéneos de diverso tamaño van desde partículas de suelo hasta bloques de roca, que proceden de deslizamientos, derrumbes y flujos terrosos y distribuidos irregularmente y sin estratificación. Son formaciones en la base de laderas y en rellanos.
  Son materiales transportados por gravedad, la acción del hielo-deshielo y, principalmente, por el agua. Su origen es local, producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos.

FVe / FVa / Fab / FPi: Geoformas que corresponden a paisajes de abanicos, planos deltaicos, depósitos aluviales mixtos, depósitos coluviales finos; Además de valles y vallecitos.

GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL.

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica no depende del plegamiento de la corteza, sino exclusivamente a los procesos exógenos degradacionales y está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han re moldeado y dejado remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas unidades por la acumulación de sedimentos.

DFv / DLc: Correspondiente a montañas y lomas.

GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL.

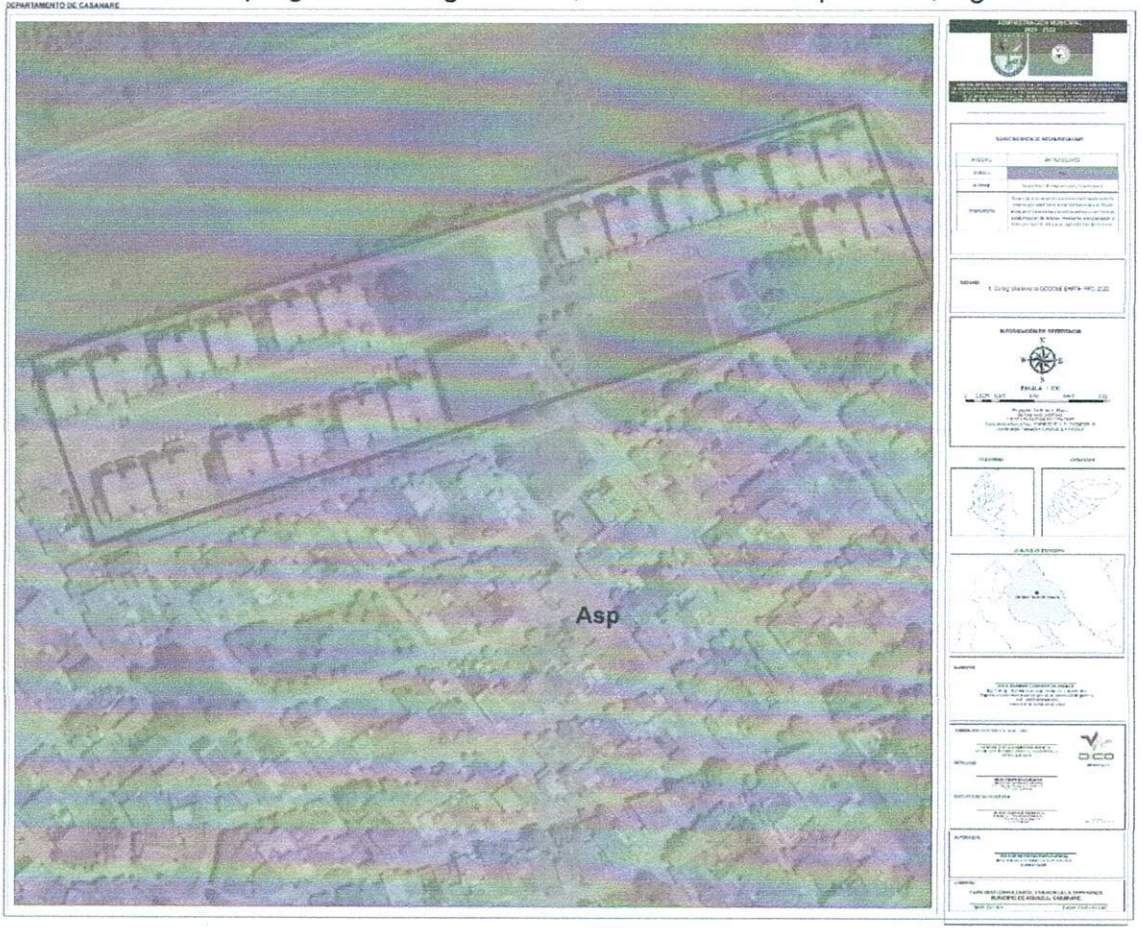
Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

SEh / SCc: Correspondiente a montañas, espinazos y lomas; Además de crestas y crestones.

3.1.5. Geomorfología Local.

A fin de desarrollar una caracterización geomorfológica puntual del área en donde está localizada la ciudadela LA ESPERANZA, se elaboró una salida grafica que representara de manera clara la zona de estudio, esta se muestra y explica a continuación.

FIG. 19. Mapa geomorfológico local, Ciudadela La Esperanza, Aguazul.



Fuente: Autores.

GEOFORMAS DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO.

Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.

Superficies de explanación (Asp:) Correspondiente a zonas urbanas.

Sobre la cual está localizado la ciudadela LA ESPERANZA. Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceo que disminuyen la pendiente del terreno.

4. INVESTIGACIÓN Y RECONOCIMIENTO.

4.1. TRABAJO DE CAMPO.

El análisis geotécnico, para el proyecto evaluación de propiedades físico-mecánicas del suelo que sirvan como aporte para la asesoría especializada en el reforzamiento de la ciudadela La Esperanza en el municipio de aguazul Casanare.

Se realizaron exploraciones de campo en las que se determinaron:

- Perfiles estratigráficos
- Reconocimiento de tipo de depósito
- Determinación de nivel freático (NF) o filtraciones de agua que pudieran afectar las excavaciones o a la cimentación de las estructuras.
- Ensayos insitu
- Reporte fotográfico

El muestreo se realizó mediante apique de 0.40 mts por 0.40 mts en sitios estratégicos y posterior utilización equipo SPT hasta profundidades de 15.00 mts para extracción de muestras alteradas e inalteradas. Ver perfil estratigráfico.

El NF se encontró en el área a una profundidad promedio de 7mts a partir del nivel cero de la exploración, con respecto a los primeros metros de exploración se encontró variación en la humedad del terreno, esto debido a la variación en los niveles de los estratos que presenta el suelo y que el tiempo de exploración se realizó en verano, esto determinado en los sondeos manuales ya que los sondeos mecánicos se realizan con fluido y no es acertada la determinación de este nivel freático.

FIG. 20 Exploración del subsuelo con equipo mecánco de rotación.



Fuente: Autores.

4.1.1. Exploración del subsuelo.

Para la ejecución de los trabajos de investigación del subsuelo se tomó como referencia el título H de la norma NSR-10 y las normas del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, con el fin de determinar los espesores de los suelos sueltos y encontrar los horizontes de roca o suelo residual competente para cimentar la estructura proyectada.

Para conocer las propiedades geotécnicas de los materiales del subsuelo se realizaron quince (15) sondeos alcanzando una profundidad máxima de exploración de 15.00 mts.

Tabla 1 Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: Tabla H.3.1-1 NSR10.

Tabla 2 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción

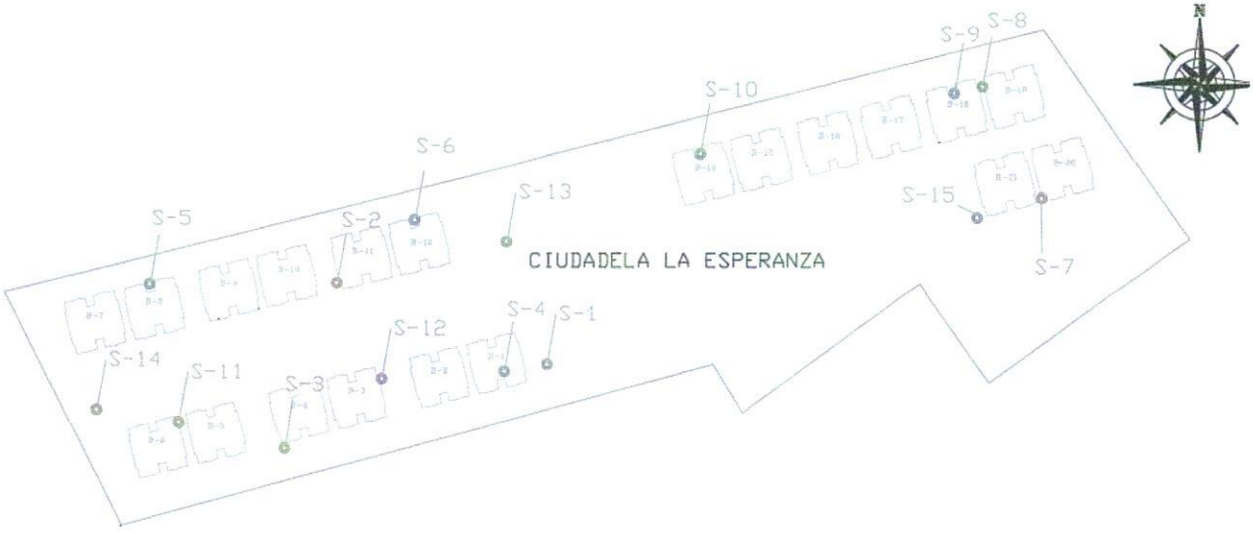
Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número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

Fuente: **Tabla H.3.2-1 NSR10**

4.1.2. Ensayos de resistencia en campo

Para conocer el perfil estratigráfico, las propiedades geomecánicas de las capas y la posición del nivel freático, se ejecutó el ensayo in situ denominado penetrómetro de bolsillo, se realizaron doce (12) exploraciones tipo sondeos mediante perforación manual, tres (03) sondeos mecánicos de rotación con recolección de muestras alteradas tipo bolsa, con cuchara partida (Split spoon) y se registró el número de golpes (N) de la prueba de penetración estándar (SPT).

FIG. 21. Ubicación de exploraciones de campo.



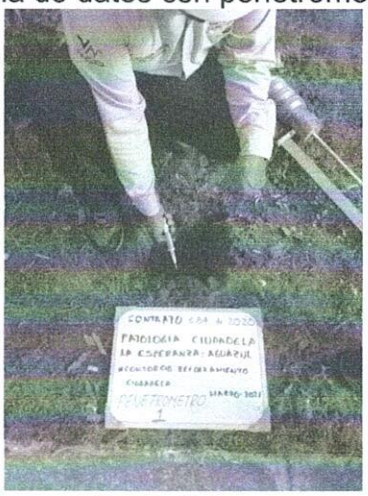
Fuente: Autores.

Tabla 3 Coordenadas planas de localización de cada sondeo realizado, así como la máxima profundidad alcanzada en cada uno.

SONDEO	PROFUNDIDAD	COORDENADAS	
	(metros)	Norte	Este
1	12,10	771648.86 m	573161.39 m
2	8,00	771587.32 m	573136.82 m
3	11,80	771567.77 m	573191.31 m
4	12,70	771635.19 m	573160.45 m
5	12,20	771502.22 m	573182.32 m
6	11,70	771600.49 m	573212.17 m
7	11,50	771829.83 m	573240.76 m
8	7,70	771807.34 m	573271.79 m
9	11,20	771791.76 m	573275.78 m
10	12,00	771699.11 m	573247.94 m
11	12,00	771755.36 m	573264.23 m
12	12,00	771513.27 m	573192.73 m
13	15,00	771619.01 m	573201.08 m
14	15,00	771496.37 m	573155.88 m
15	15,00	771802.45 m	573235.16 m

Fuente: Autores.

FIG. 22. Toma de datos con penetrometro de bolsillo



Fuente: Autores.

Con referencia en los registros estratigráficos y ensayos en campo, se extracta el perfil promedio estratigráfico para cada sondeo realizado en el área de estudio, los cuales se describen a continuación.

4.2. PROGRAMA DE ENSAYOS.

En los distintos sondeos se realizaron muestreos representativos de los diferentes estratos o capas de suelo, tomando muestras alteradas para realizar ensayos de Humedad (contenido de agua), Limites de Atterberg (plasticidad), Granulometría (tamaño de grano), con el fin de determinar las propiedades físicas de los suelos explorados, en cuanto a las propiedades mecánicas se recolectaron muestras para ensayos de corte directo (resistencia al corte, ϕ, cohesión), consolidación (deformaciones volumétricas, C_v, K).

La realización de los ensayos de laboratorio e In Situ se hizo bajo los parámetros de la norma invias con el fin de obtener resultados acertados para la investigación de este estudio y cumplir con la normatividad exigida.

Tabla 4 ensayos in situ y de laboratorio

ENSAYO	NORMA
Granulometría (Tamaño de granos)	INV E-123 (NTC 1522)
Contenido de humedad	INV E-122 (NTC 1495)
Límite plástico e índice de plasticidad	INV E-126 (NTC 1493)
Límite líquido	INV E-125 (NTC 1494)
Penetración estándar	INV E-111
Compresión inconfinada en muestra de suelo	INV E-152
Peso unitario total y seco	INV E-128
Corte directo en condicion consolidada drenada	INV E-154
Consolidacion lenta con descarga	INV E-151

Fuente: Autores, modificado de norma INVIAS y NTC.

Para cada sondeo realizado se tomaron muestras de las diferentes capas de suelo encontradas en la exploración a cada una se les realizo el proceso de análisis que se describe a continuación:

4.2.1. Ensayo normal de penetración (spt) y muestreo de suelos con tubo partido INV E–111–13.

Este método describe el procedimiento conocido como Ensayo Normal de Penetración (Standard Penetration Test – SPT), el cual consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas representativas con fines de identificación, y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

Los resultados de los ensayos y la información de identificación se emplean para estimar las condiciones del subsuelo en el diseño de cimentaciones.

Los ensayos de resistencia a la penetración se desarrollan, generalmente, a intervalos de 1.5 m (5 pies), o cuando se detectan cambios significativos durante la perforación.

Este método de ensayo se emplea en suelos no litificados y en aquellos cuyo tamaño máximo de partícula es menor que la mitad del diámetro del toma muestras.

Ensayo de penetración estándar, SPT – Ensayo que se realiza en el fondo de una perforación, el cual consiste en hincar un toma muestras de tubo partido una distancia de 1.0 pie (0.30 m) en dos intervalos iguales de 6" (0.15 m), inmediatamente después de haberlo hecho en un primer intervalo de asentamiento de 0.15 m (6"). El muestreador tiene un diámetro interno de 38.1 mm (1½") o 34.9 mm (1 3/8"), y el martillo empleado para la hinca tiene un peso aproximado de 623 N (140 lbf) y se deja caer libremente desde una altura de 0.76 m ± 0.03 m (30 ± 1.0").

Valor de N – Representación numérica de la resistencia a la penetración de un toma muestras del tipo tubo partido dentro del suelo. El valor de N, expresado en golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el tubo muestreador dentro del intervalo de profundidad de 6 a 18" (0.15 a 0.45 m).

Equipo.

Equipo de perforación – Se permite el empleo de cualquier equipo de perforación que realice simultáneamente con el muestreo un orificio adecuado antes de la inserción del toma muestras y que no altere el suelo antes de la penetración del tubo muestreador.

Tuberías para muestreo – Se pueden emplear tubos de perforación de acero de junta lisa para conectar él toma muestras de tubo partido al martinete. La rigidez del tubo de muestreo (momento de inercia) deberá ser igual o mayor que la de una varilla de perforación de pared paralela tipo "A", el cual corresponde a un tubo de acero con diámetro exterior de 41.3 mm (1-5/8") y un diámetro interior de 28.5 mm (1–1/8").

Toma muestras de tubo partido (muestreador de media caña estándar) – Las dimensiones típicas son tiene un diámetro exterior de 50.8 mm (2"). El diámetro interior (dimensión D en la Figura 111 - 2) puede ser 38.1 mm (1 ½") o 34.9 m (1 3/8"). Él toma muestras de 38.1 mm (1 ½") puede llevar un revestimiento interior de calibre 16.

Martillo y yunque – El martillo deberá pesar 623 ± 9 N (140 ± 2 lbf) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el yunque directamente cuando cae. Se deberá emplear una guía para permitir la caída libre. Los martillos empleados con el método de malacate y cable deberán tener una capacidad libre de levantamiento de, por lo menos, 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se

recomienda el empleo de un sistema de martillo con yunque interno. La masa total del conjunto que soporta el martillo sobre la tubería de perforación no debe ser superior a 113 ± 5 kg (250 ± 10 lbm).

Sistema de caída del martillo – Se pueden emplear sistemas como el de malacate-cable, de disparo, o sistemas automáticos o semiautomáticos de caída del martillo, con la condición de que los aparatos de izado no provoquen la penetración del toma muestras en el momento del reenganche y levantamiento del martillo.

Procedimiento.

Cuando se alcanza la profundidad deseada para el muestreo, se limpia el fondo de la perforación retirando los residuos o detritos de la misma y se registra la profundidad de limpieza con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie). Para efectuar el ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

Se hinca el tomamuestras a golpes del martillo de 623 N (140 lbf) y se cuenta el número de golpes aplicados en cada incremento de 0.15 m (6").

Se anota el número de golpes requeridos para avanzar el muestreador cada 0.15 m (6") de penetración o fracción. Se considera que los primeros 0.15 m (6") corresponden a la acomodación del equipo. Por tanto, la suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer intervalo de 0.15 m (6") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o “valor N".

La elevación y caída del martillo de 623 N (140 lbf), se efectúa mediante cualquiera de los siguientes métodos:

Método A – Se emplea un sistema de caída de desenganche, semiautomático o automático, que levanta el martillo de 623 N (140 lbf) y lo deja caer 0.76 ± 0.03 m (30 ± 1.0") sin ningún obstáculo. La altura de caída en estos sistemas se debe verificar diariamente y a la menor indicación de variaciones en su comportamiento. En la operación de los martillos automáticos se deben atender estrictamente los manuales de operación.

Método B – Se usa un malacate o cilindro de rotación para halar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación, el sistema y la operación deberán cumplir con las siguientes condiciones:

Se saca el muestreador a la superficie y se abre. Se registra el porcentaje de recuperación, con una aproximación del 1% o la longitud de la muestra recuperada

con una aproximación de 0.05 m (o 0.1pie). Se describe la muestra de suelo extraída de acuerdo con la norma INV E–102; se coloca luego una o más porciones representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados, sin apisonar o distorsionar cualquier estratificación aparente.

Se sella cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Se fijan etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad de la muestra, y el número de golpes por cada 0.15 m (6").

4.2.2. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, INV E – 123 – 13.

Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75 µm (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado.

Equipo.

Se organiza la serie de tamices:

75 mm (3")

37.5 mm(1-½")

19.0 mm (¾")

9.5 mm (3/8")

4.75 mm (No. 4)

2.36 mm (No. 8)

1.10 mm (No. 16)

600 µm (No. 30)

300 µm (No. 50)

150 µm (No. 100)

75 µm (No. 200).

Se utilizo balanza 0.01 g de precisión con número de certificado 2979-M.

Procedimiento.

En la operación de tamizado manual se sacude(n) el tamiz o tamices con un movimiento lateral y vertical acompañado de vibración y recorriendo circunferencias, de forma que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre las mallas.

En ningún caso se permite girar o manipular fragmentos de la muestra para que pasen a través de un tamiz. Al desmontar los tamices se debe comprobar que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente.

Si quedan partículas atrapadas en la malla, se deben separar con una brocha o cepillo y reunirlas con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina la masa de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de las masas de todas las fracciones y la masa inicial de la muestra no deben diferir en más de 1 %.

Cálculos: Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), dividiendo la masa que pasa dicho tamiz por la masa de suelo originalmente separada a través de él y multiplicando el resultado por 100. Para obtener la masa de la porción pasante por el tamiz de 2.0 mm (No. 10), se resta de la masa original, la masa retenida en dicho tamiz.

Para comprobar la masa total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se agrega a la masa del material que pasa el tamiz de 2.0 mm (No. 10), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y que queda retenida en el de 2.0 mm (No. 10). Para comprobar la masa del material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega a la masa total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), la masa de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No. 4). Para los demás tamices, se continúa el cálculo de la misma manera.

Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide la masa total que pasa ese tamiz por la masa total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

4.2.3. Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado INV E – 122 – 13.

Esta norma se refiere a la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad), por masa, de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

Se lleva una muestra del material húmedo a un horno a 110 ± 5° C (230 ± 9° F) y se seca hasta alcanzar una masa constante. Se considera que la masa perdida a causa del secado es agua y que la masa remanente corresponde a la muestra seca. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca.

Equipo.

Horno – Controlado termostáticamente, preferiblemente de tiro forzado, y que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5° C (230 ± 9° F) en toda la cámara de secado.

Balanzas – Con una legibilidad de 0.01 g para muestras que tengan una masa de 200 g o menos; y una legibilidad de 0.1 g para muestras que tengan una masa mayor de 200 g. En cualquier caso, la balanza utilizada deberá ser controlada por el número necesario de dígitos significativos.

Recipientes para las muestras – Recipientes adecuados, hechos de un material resistente a la corrosión y a cambios en su masa al ser sometidos a calentamientos y enfriamientos repetidos, a la exposición a materiales de pH variado y a operaciones de limpieza. A menos que se use un desecador, se deberán usar recipientes con tapas de cierre hermético para el ensayo de muestras con masa hasta de 200 g; mientras que para muestras de masa mayor se podrán usar recipientes sin tapa. Los recipientes y sus tapas deberán tener identificaciones numéricas que los individualicen completamente; además, los números en las tapas deberán coincidir con los de sus recipientes, con el fin de evitar confusiones.

Procedimiento.

Se determina y registra la masa de un recipiente limpio y seco (y su tapa, si ella se usa).

Se escoge una muestra de ensayo representativa.

Se coloca la muestra húmeda dentro del recipiente; se coloca la tapa firmemente en posición (cuando ella se utilice) y se determina el peso del recipiente con la muestra de material, usando una balanza apropiada, Se anota este valor.

Se retira la tapa (si fue usada) y se coloca el recipiente con el material húmedo en el horno para secar el material hasta que alcance masa constante. El horno secador se mantiene a una temperatura de 110 ± 5° C (230 ± 9° F), salvo que se especifique otra cosa.

Después de que el material se haya secado a masa constante, se retira el recipiente del horno y se le coloca la tapa, si ella se usó inicialmente. Se permite que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no se vea afectada por corrientes de convección y/o transmisión de calor. Se determina la masa del recipiente con la muestra secada en el horno, usando la misma balanza usada. Se registra este valor. Se deberán usar tapas de ajuste a presión siempre que se ensayen especímenes que absorban humedad del aire antes de determinarles la masa seca.

4.2.4. Determinación del límite líquido de los suelos INV E – 125 – 13.

Límite líquido (LL, wL) – Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

La norma presenta dos métodos para determinar el límite líquido: el Método A, que consiste en un ensayo de varios puntos es el utilizado durante los análisis realizados en el presente estudio.

El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo a las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.

Se procesa la muestra de suelo para remover cualquier porción retenida en el tamiz de 425 µm (No. 40). El límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base

normalizada. El límite líquido multipunto, Método A, requiere 3 o más tanteos sobre un rango de contenidos de agua, cuyos resultados se dibujan para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido.

Equipo.

Aparato del límite líquido – Dispositivo mecánico, consistente en una cazuela de bronce, suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre la superficie de un bloque de material resiliente, que sirve como base del aparato.

Ranurador – Herramienta plan hecha de plástico o de un metal no corrosivo. El ranurador puede tener cualquier diseño, mientras se garantice que se mantienen sus dimensiones esenciales. El ranurador puede tener, aunque no es obligatorio, un calibrador para ajustar la altura de caída de la cazuela.

Balanza – Con legibilidad de 0.01 g.

Espátula – Una espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3 a 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho.

Horno – Un horno termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de 110 ± 5° C (230 ± 9° F).

Procedimiento.

Se remezcla completamente el espécimen, ajustando su contenido de agua para que adquiera la consistencia requerida para que sean necesarios entre 25 y 35 golpes de la cazuela para cerrar la ranura que se forma en el suelo. Se coloca una cantidad adecuada de suelo en la cazuela encima del punto donde ésta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y, a la vez, dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor. Se debe usar el menor número posible de pasadas con la espátula, evitando atrapar burbujas de aire en la masa de suelo. El suelo excedente se debe devolver al recipiente mezclador, el cual se debe tapar con el fin de retener la humedad de la muestra.

El suelo colocado sobre la cazuela de bronce se divide con una pasada firme del ranurador, hundiendo el lado biselado de éste hacia adelante en una línea que va desde el punto más alto hasta el más bajo del borde de la cazuela. Al hacer la ranura, se sostiene el ranurador contra la superficie de la cazuela y se forma un arco, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la cazuela durante su movimiento.

Se verifica que no haya restos de suelo ni en la base ni en la parte inferior de la cazuela. Entonces, se levanta y golpea la cazuela girando la manija a una velocidad de 1.9 a 2.1 revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (½").

Se registra el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura en la longitud indicada. Se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula, tomando parte de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura, incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto y se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa.

Se transfiere a la vasija de mezclado el suelo que sobró en la cazuela de bronce. La cazuela y el ranurador se deben lavar y secar, para tenerlas listas para el tanteo siguiente.

Se remezcla el suelo restante en la vasija, agregándole agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez y se repiten los pasos. La finalidad de este procedimiento es obtener muestras con consistencias tales, que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25–35; 20–30 y 15–25.

Se toma el recipiente con la porción de suelo, se pesa y se anota el valor obtenido. Se coloca en seguida dentro del horno a 110 ± 5° C (230 ± 9° F) hasta obtener una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado y antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secado. La determinación de la masa inicial (recipiente más porción de suelo húmedo) se deberá realizar inmediatamente se termine el ensayo. Si éste se interrumpe por más de 15 minutos, la masa se deberá determinar en el momento de la interrupción.

4.2.5. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E – 126 – 13.

El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo en las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen los valores de límite plástico e índice de plasticidad para evaluar las propiedades de un suelo.

Límite plástico (LP, wP) – Contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido.

Índice de plasticidad (IP) – Rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Equipo.

Placa de vidrio esmerilado – De tamaño suficiente para formar cilindros de suelo (rollos) en el ensayo.

Espátula – De hoja flexible, de unos 10 a 13 cm (4 a 5") de longitud y 2 cm (¾") de ancho.

Balanza – De 100 g de capacidad, con legibilidad a 0.01 g.

Horno –Termostáticamente controlado, regulable a 110 ± 5° C (230 ± 9° F).

Se toma una porción de 20 g, o un poco más, del suelo preparado para el ensayo del límite líquido, ya sea luego del segundo mezclado antes del ensayo o del suelo que sobre al terminar la prueba del límite líquido (norma INV E– 125).

Se reduce el contenido de agua de esta porción de suelo hasta que alcance una consistencia que permita enrollarlo sin que se pegue a las manos, extendiéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el recipiente de mezcla y almacenamiento. El proceso de secado se puede acelerar, exponiendo el suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o aplicándole un papel secante que no añada fibras al suelo.

Procedimiento.

Del espécimen de ensayo, se selecciona una porción de 1.5 a 2.0 g con la cual se forma una masa elipsoidal.

Se forman rollos con la masa de suelo, Mediante el método manual – Se hace rodar la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio, con la presión estrictamente necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud. El rollo se debe adelgazar más con cada rotación, hasta que su diámetro alcance 3.2 mm (1/8"), tomándose para ello no más de dos minutos. La presión requerida de la mano o de los dedos varía dependiendo del tipo de suelo, debiendo incrementarse a medida que la plasticidad del suelo es mayor. Los suelos frágiles

de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma de la mano o bajo la base del dedo pulgar.

Este podrá ser considerado un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya podido ser enrollado previamente en un cilindro de 3.2 mm de diámetro. El desmoronamiento se manifiesta de maneras diferentes en distintos tipos de suelos. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas y otros pueden formar una capa exterior tubular que comienza a separarse desde ambos extremos; la separación progresa hacia el centro y, finalmente, el rollo se desintegra.

Se recogen las porciones de suelo desmoronado y se colocan en un recipiente adecuado de masa conocida. Si el recipiente con el suelo no se pesa en ese momento, se deberá tapar inmediatamente.

Se seleccionan otras porciones de 1.5 a 2 g del espécimen del límite plástico y se repiten las operaciones descritas en los numerales 8.2 a 8.4 hasta que el recipiente tenga, cuando menos, 6 g de suelo.

Se determinan los contenidos de agua de los suelos contenidos en los dos recipientes, de acuerdo con la norma INV E–122 y se anotan los resultados.

Calculo.

Se calcula el promedio de los dos contenidos de agua (tanteos del límite plástico) y el valor obtenido se redondea al entero más cercano. Este valor es el límite plástico (LP). El ensayo se deberá repetir, si la diferencia entre los límites plásticos de los dos tanteos supera el rango de aceptabilidad para los resultados de dos ensayos, efectuados por un solo operador; es decir, 1.4 puntos porcentuales (2.8 × 0.5).

Tanto el LL como el LP son números enteros. Si el límite líquido o el plástico no se pueden determinar, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se informará que el suelo es no plástico, NP.

4.2.6. Consolidación unidimensional de suelos INV E – 151 – 13.

Método A – Este método se desarrolla aplicando de manera constante cada incremento de carga durante veinticuatro (24) horas o múltiplos de este tiempo. Las lecturas tiempo-deformación se deben realizar, como mínimo, durante dos incrementos de carga. Este método proporciona solamente la curva de compresión de la muestra y los resultados combinan las deformaciones debidas a consolidación primaria y a consolidación secundaria.

En estas pruebas de laboratorio, se toma una muestra de suelo, se confina lateralmente y se carga en dirección axial con incrementos de esfuerzo total. Cada incremento de carga se mantiene constante hasta cuando el exceso de presión de poros se haya disipado. Esta situación se identifica por medio de la interpretación del comportamiento tiempo-deformación bajo esfuerzo total constante y se basa en la premisa de que el suelo está 100 % saturado.

Durante el ensayo se mide el cambio de altura de la muestra y se determina la relación entre el esfuerzo axial efectivo y la relación de vacíos o la deformación unitaria. Cuando se toman las lecturas de tiempo-deformación durante la aplicación de un incremento de carga, se puede calcular la velocidad de consolidación con el coeficiente de consolidación.

Equipo.

Dispositivo de carga – Un dispositivo adecuado para aplicar cargas axiales o esfuerzos totales a la muestra. El dispositivo debe ser capaz de mantener las cargas especificadas durante períodos prolongados de tiempo con una precisión de ± 0.5 % de la carga aplicada y debe permitir la aplicación rápida de un incremento de carga dado sin generar ningún impacto significativo. La aplicación de la carga se debe completar en un tiempo correspondiente a 0.01 veces t100 o menos.

Consolidómetro – Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo que puede estar fijo a una base o puede ser flotante (sostenido por fricción en la periferia de la muestra), con piedras porosas en cada cara del espécimen. El diámetro interno del anillo debe tener una tolerancia de mínimo 0.1 % del mismo. El consolidómetro debe proporcionar, también, un medio para sumergir la muestra en agua, para transmitir la carga concéntrica axial a los discos porosos y para medir la deformación axial del espécimen.

Discos porosos – Los discos porosos (piedras porosas) podrán ser de carburo de silicio, de óxido de aluminio o de otro material de rigidez similar, que no se corroa ante el suelo o los fluidos de poros. Los discos deben ser lo suficientemente finos para evitar la penetración del suelo dentro de sus poros, pero no el flujo del agua proveniente de la muestra. Aun cuando no se cuenta con un criterio exacto, el factor de impedancia generado por el espesor del disco y su conductividad hidráulica (permeabilidad) debe ser de al menos 100.

Pantalla filtrante – Se coloca entre el disco poroso y el espécimen, con el objeto de evitar la intrusión de suelo dentro de aquél. Su presencia se debe tener en cuenta cuando se calcula el factor de impedancia. Puede ser de nylon-monofilamento o un papel de filtro grado 54, endurecido, de bajo contenido de ceniza.

Deformímetro – Para medir el cambio de espesor de la muestra con una resolución de 0.0025 mm (0.0001") o mayor.

Balanza – Empleada para determinar la masa de la muestra más el anillo, etc., con al menos cuatro dígitos significativos.

Horno – Termostáticamente controlado, de ventilación forzada, que pueda mantener una temperatura a de 110 ± 5° C (230 ± 9° F).

Equipo misceláneo – Incluye espátulas, navajas y sierras de alambre para preparar la probeta.

Muestra.

Se deben reducir las posibilidades de alteración del suelo tanto como sea posible: cambios de humedad, de densidad, etc., así como evitar vibración, distorsión y compresión.

Se recorta la muestra a ras con los extremos planos del anillo. En suelos blandos o de consistencia media, se usa una sierra de alambre para minimizar el desmoronamiento.

Se determina la masa húmeda inicial de la muestra, MTo, con precisión de 0.01 g, midiendo primero la masa del conjunto muestra-anillo y restando la masa del anillo, Mr.

Se determina la altura inicial de la muestra (H0) con una precisión de 0.01 mm (0.001").

Se calcula el volumen inicial de la muestra, V0, con una precisión de 0.01 cm3 (0.01 plg3), a partir del diámetro del anillo y de la altura inicial de la muestra.

Si se dispone de suficiente material, se recomienda obtener al menos dos contenidos de humedad natural de acuerdo con el método INV E–122, a partir del material que quedó como residuo del corte o labrado de la muestra.

Procedimiento.

Se ensamblan en el consolidómetro el anillo con la muestra, los discos porosos y los filtros (cuando son necesarios). Si no se va a inundar la probeta después de la aplicación de la carga de asentamiento (Ver numeral 10.2), el consolidómetro se debe encerrar en una membrana de caucho o plástica suelta, para prevenir el cambio de volumen debido a la evaporación.

Se coloca el consolidómetro en el aparato de carga y se aplica una carga de asiento que genere un esfuerzo axial total de alrededor de 5 kPa (100 lbf/pie2). Inmediatamente después de la aplicación de esta carga, se ajusta el deformímetro y se registra la deformación inicial, do. De ser necesario, se incrementa la carga de asiento para evitar la expansión.

Se registran la carga aplicada que se necesita para evitar el hinchamiento y la lectura de deformación resultante.

La muestra se somete a incrementos de esfuerzo axial total constante.

Antes de aplicar cada incremento de carga, se registra la altura o el cambio de la misma en la muestra, df.

Para minimizar el hinchamiento durante el desmonte, se lleva la muestra nuevamente hasta la carga de asiento (alrededor de 5 kPa de esfuerzo total axial). Cuando el cambio en la deformación axial se ha reducido a menos de 0.2 % por hora (usualmente durante la noche), se registra la deformación axial final del ensayo, se libera la carga final de asiento y se remueve rápidamente el consolidómetro del marco de carga. Se remueven del consolidómetro la muestra y el anillo y se seca cualquier agua presente en ellos.

Se determina la masa total de la probeta, MT, con aproximación de 0.01 g, midiendo primero el conjunto anillo-muestra y restando después la masa del anillo.

La manera más precisa de determinar la masa seca del espécimen y el contenido de agua es secando la muestra total al final del ensayo, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E–122.

4.2.7. Compresión inconfinada en muestras de suelos INV E – 152 – 13.

Este método de ensayo es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca

después de remover las presiones de confinamiento, como las arcillas o los suelos cementados.

Equipo.

Aparato de compresión – El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo; un mecanismo de carga hidráulica, o cualquier otro instrumento de compresión con suficiente capacidad de control para proporcionar la velocidad de carga.

Extractor de muestra – Capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme y con mínima alteración, en la misma dirección en que la muestra entró al tubo. Las condiciones en el momento de la extracción de la muestra pueden indicar la dirección de su extracción, pero la principal preocupación es mantener en un mínimo su grado de alteración.

Indicador de deformaciones – Debe ser un comparador de carátula, graduado a 0.03 mm (0.001") o mejor, que tenga un rango de medición de, por lo menos, 20 % de la longitud del espécimen para el ensayo, o algún otro instrumento de medición, como un transductor que cumpla estos requerimientos.

Micrómetro con dial comparador – U otro instrumento adecuado para medir las dimensiones físicas del espécimen, dentro del 0.1 % de la dimensión medida.

Balanza – La balanza usada para pesar los especímenes debe determinar su masa con una precisión de 0.1 % de su masa total.

Equipo para la determinación del contenido de humedad – Como se especifica en la norma INV E–122.

Equipo misceláneo – Que incluye las herramientas para cortar y labrar la muestra, instrumentos para remoldearla, formatos para anotar los datos, etc.

Muestra.

Tamaño de las muestras - Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm (1.3") y la mayor partícula contenida en ellos debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm (2.8") o mayores, el tamaño máximo de partícula debe ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen.

Procedimiento.

El espécimen, previamente medido y pesado, se coloca en el aparato de carga de tal manera que quede centrado sobre la platina inferior. A continuación, se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente, de modo que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen y se lleva a cero el indicador de deformación.

Se aplica la carga para que se produzca una deformación axial a una velocidad de ½ a 2.5 % por minuto. Se registran los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos).

Se continúa aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación, o hasta que se alcance una deformación igual a 15 %. Se anota la velocidad de deformación en el informe de los datos de ensayo.

Terminado el ensayo, se determina el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen, a menos que se hayan obtenido recortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas. Se menciona en el informe de ensayo si la muestra para determinar el contenido de humedad se tomó antes o después del ensayo de compresión.

4.2.8. Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (cd) INV E – 154 – 13.

Generalmente, se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento. Los resultados de una serie de ensayos se combinan para determinar propiedades de resistencia del suelo, como las envolventes de resistencia de Mohr.

Equipo.

Aparato de corte – Instrumento diseñado y construido para contener de manera segura la muestra entre dos piedras porosas, de tal modo que no se aplique un momento de torsión a la muestra. El aparato de corte debe estar en condiciones de aplicar un esfuerzo normal a las caras del espécimen, medir el cambio de espesor del espécimen, permitir el drenaje del agua a través de las piedras porosas en las fronteras superior e inferior de la muestra y de sumergir la muestra en agua. El

aparato debe ser capaz de aplicar una fuerza de corte al espécimen a lo largo de un plano de corte predeterminado (corte simple) paralelo a las caras de la muestra.

Caja de corte – Circular o cuadrada, de acero inoxidable, bronce o aluminio, con dispositivos para el drenaje a través de sus partes superior e inferior. La caja debe estar dividida por un plano recto en dos mitades de igual espesor, que se ajustan con tornillos de alineación. La caja está provista de tornillos de separación que controlan el espacio entre sus mitades superior e inferior antes del corte. Las dos mitades (marcos) deben proporcionar una superficie de soporte a la muestra a lo largo del plano de corte durante el desplazamiento lateral relativo.

Piedras porosas – Las piedras porosas permiten el drenaje de la muestra de suelo a lo largo de sus caras superior e inferior. También, tienen como función transferir los esfuerzos a dichas caras.}

Balanzas – Con posibilidad de lectura de 0.1 % o mejor.

Equipo para la determinación del contenido de agua – De acuerdo con lo especificado en la norma INV E–122.

Equipo misceláneo – Incluye un cronómetro con segundero, espátulas, cuchillos, regla, sierras de alambre, etc.

Procedimiento.

Se ensamblan la caja de corte y la cubeta en el marco de carga.

Se conecta y ajusta la posición del sistema de carga de corte, de modo que no transmita fuerza sobre el instrumento de medición de carga. Se pone en cero este instrumento y se anota dicho valor.

Se conecta y ajusta el instrumento de medición de desplazamiento horizontal. Se hace una lectura inicial o se ajusta el instrumento de medición, indicando el desplazamiento cero.

Se coloca la placa de transferencia de carga y de interrupción del momento sobre la piedra porosa colocada en la parte superior del espécimen.

Se coloca el marco de carga de fuerza normal en posición, y se ajusta de modo que la barra de carga quede alineada. Si se utiliza un sistema de carga por palancas, se nivela la palanca. En los sistemas de carga neumática o accionados por motor, se ajusta el marco de carga hasta que asiente suavemente en la depresión de la placa

de transferencia de carga, o se coloca una esfera metálica sobre la placa de transferencia y se ajusta el marco hasta lograr un contacto adecuado.

Se aplica una pequeña carga normal al espécimen. Se verifica que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados, de manera tal que no quede restringido el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de corte.

Se fija y ajusta el instrumento de medición del desplazamiento vertical. Se obtiene una lectura inicial, junto con una lectura de la carga normal (tomada con un instrumento de medida o verificando las pesas colocadas).

Consolidación – La carga normal para la consolidación final se puede aplicar en uno o varios incrementos, dependiendo del tipo de material, de la rigidez del espécimen y de la magnitud del esfuerzo final.

Justo antes de la cizalladura y después de que ha tenido lugar la consolidación primaria, se anota el desplazamiento normal de precorte y se remueven los tornillos de alineamiento o los pines de la caja de corte. Usando los tornillos de separación, se abre el espaciamiento entre las mitades de la caja de corte hasta, aproximadamente, el tamaño máximo de partícula del espécimen de ensayo o hasta 0.64 mm (0.025"), como un mínimo por defecto para suelos de grano fino. Se retiran los tornillos de separación luego de crear el espacio.

Determinación de la velocidad de corte – El espécimen se debe someter a corte a una velocidad relativamente reducida, para que el exceso de presión de poros sea insignificante en la falla.

Cuando se trate de especímenes cohesivos, se separan las mitades de la caja de corte con un movimiento deslizante a lo largo del plano de falla. No se deben separar las mitades de la caja de corte perpendicularmente a la superficie de falla, puesto que dicho movimiento puede dañar el espécimen.

Se retira el espécimen de la caja de corte y se determina su humedad, de acuerdo con el método de la Norma INV E–122. Si aplica, se recoge el material extraído en un recipiente separado para determinar su masa.

4.2.9. Líneas de refracción sísmica.

Con la intención de realizar una caracterización geológica general del área de interés y de entender el comportamiento de los cuerpos de roca en el subsuelo, se

desarrolló un análisis e interpretación de la zona por medio de exploración geofísica y del uso de líneas de refracción sísmica. Inicialmente se realizaron 3 líneas de refracción sísmica, pero a razón de tener una mayor densidad de datos e información se optó por el desarrollo de una 3ra línea adicional.

En el caso de estudio, las líneas de refracción símica se realizaron utilizando un sismógrafo de 16 canales (geófonos), con longitud de tendido (spread) de 81 m (LRS-3), 105 m (LRS-2) y 120 metros (LRS-1), y se implementó el método de ensayo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

FIG. 23 Trabajo de campo



FUENTE: AUTORES.

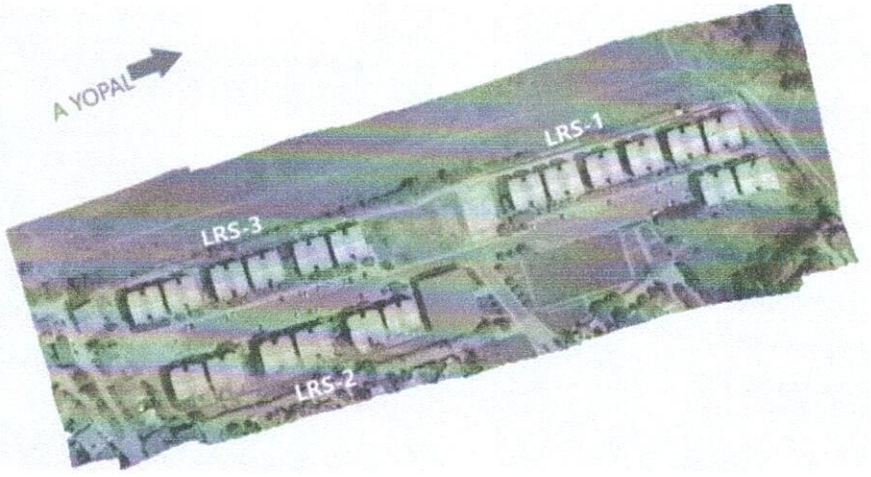
Para caracterizar el subsuelo del sitio de interés, se realizaron tres (3) líneas de refracción sísmica, con lo cual se busca, a partir de la velocidad de onda de corte (Vs), obtener información de los parámetros de rigidez del subsuelo, así como espesores de las diferentes capas estratigráficas del área del proyecto. La localización de las líneas de exploración geofísica en cada punto de interés se muestra a continuación.

Tabla 5 Coordenadas de localización de líneas de refracción sísmica.

LÍNEA	INICIO		CENTRO		FIN	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
LRS-1	836828,8	1064907,1	836884,1	1064923,1	836939,3	1064939,1
LRS-2	836651,4	1064775,8	836706,7	1064791,8	836761,9	1064807,8
LRS-3	836617,8	1064848,6	836656,7	1064859,9	836695,6	1064871,1

FUENTE: AUTORES.

FIG. 24 Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3, ciudadela La Esperanza.



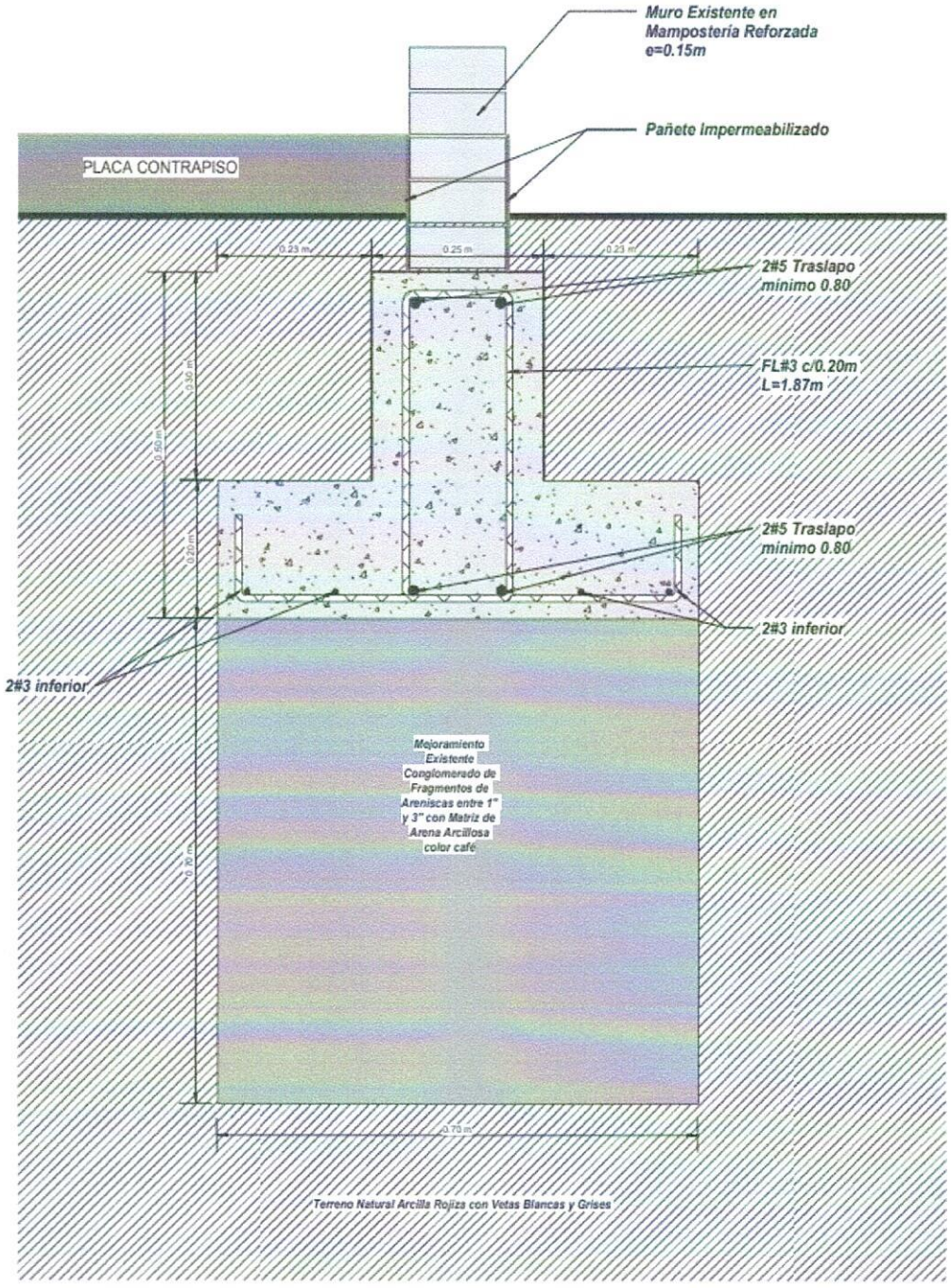
FUENTE: AUTORES.

4.3. AUSCULTACIÓN DE CIMENTACIONES REALIZADAS.

En el procedimiento de exploración del suelo se realiza la identificación de los materiales existentes bajo la estructura de cimentación de cada torre de la ciudadela La Esperanza. Teniendo en cuenta lo anterior, mediante la realización de apiques a 1.5 m de profundidad se obtuvieron 4 perfiles tipo del suelo de cimentación como se describen a continuación:

Material de mejoramiento existente de conglomerado de fragmentos de areniscas entre 1" y 3" con matriz de arena arcillosa color café, con un espesor promedio de 0.70 metros en las ***torres 3, 6, 11, 15 y 19***.

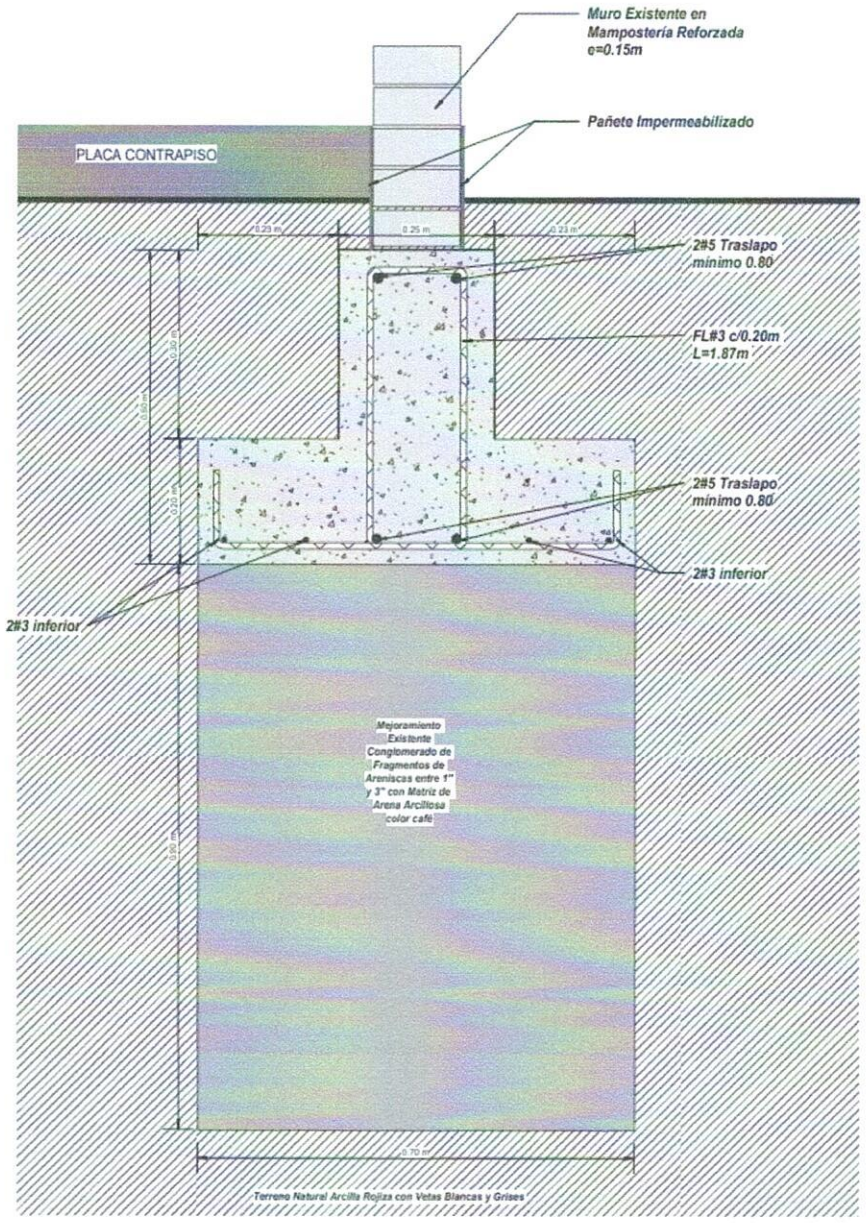
FIG. 25 Detalle de cimiento tipo 1.



Fuente: Autores.

Material de mejoramiento existente de conglomerado de fragmentos de areniscas entre 1" y 3" con matriz de arena arcillosa color café, con un espesor promedio de 0.80 metros en las ***torres 1, 2, 4, 5, 7, 8, 12, 16.***

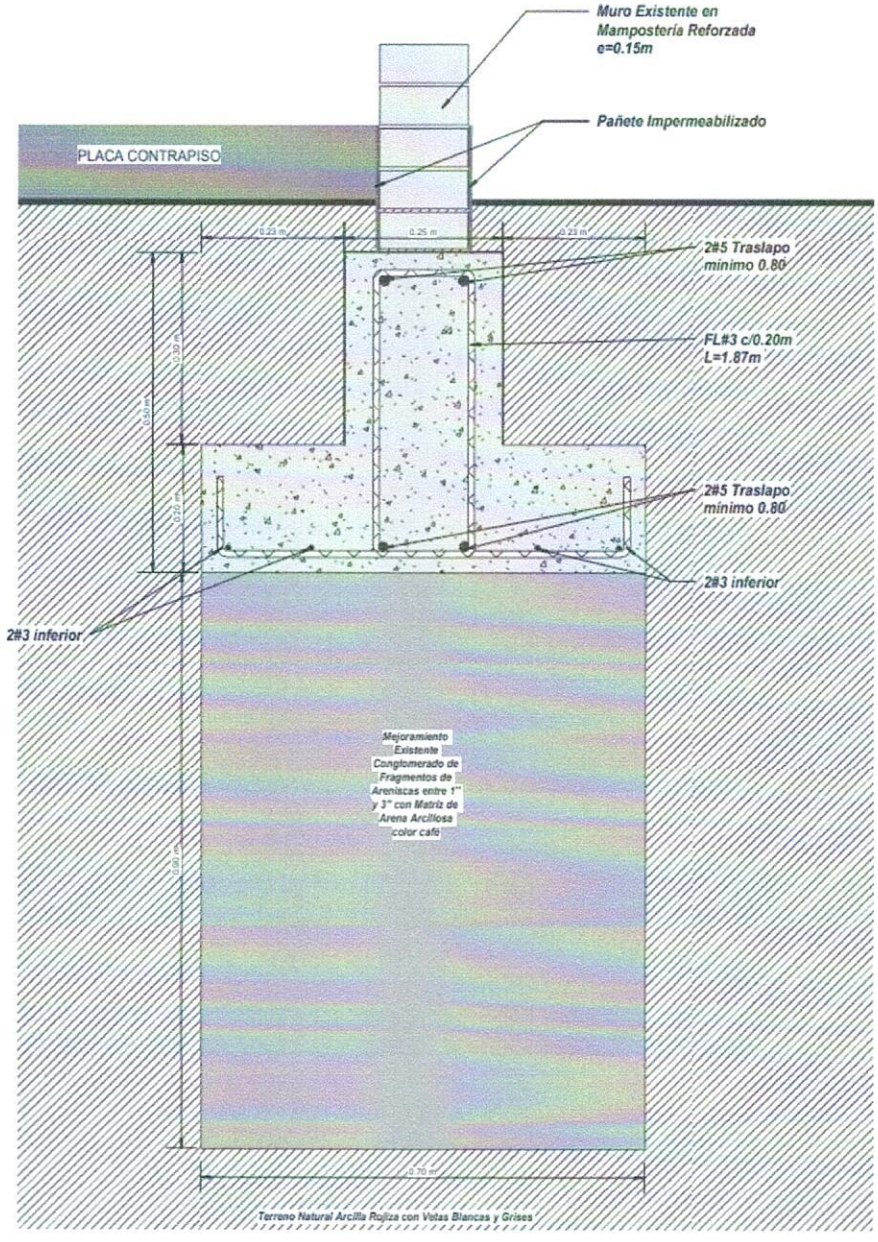
FIG. 26 Detalle de cimiento tipo 2.



Fuente: Autores.

Material de mejoramiento existente de conglomerado de fragmentos de areniscas entre 1" y 3" con matriz de arena arcillosa color café, con un espesor promedio de 0.90 metros en las ***torres 9, 10, 14, 17, 18.***

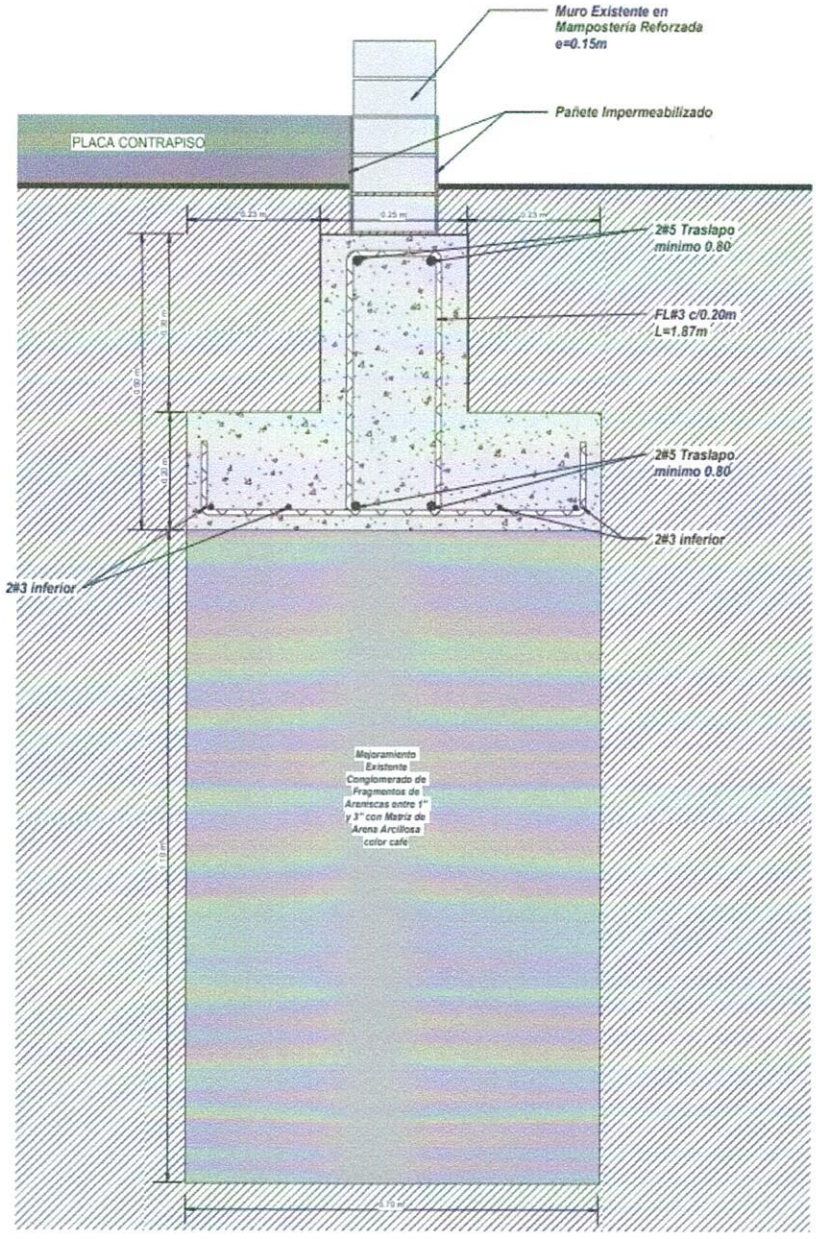
FIG. 27 Detalle de cimiento tipo 3.



Fuente: Autores.

Material de mejoramiento existente de conglomerado de fragmentos de areniscas entre 1" y 3" con matriz de arena arcillosa color café, con un espesor promedio de 1.10 metros en las ***torres 20, 21.***

FIG. 28 Detalle de cimiento tipo 4



Fuente: Autores.

4.4. TRABAJO DE OFICINA.

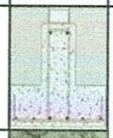
Terminados los análisis realizados a cada de las muestras se procede a organizar la información y procesar los cálculos concernientes para la realización de los análisis para la posterior clasificación del suelo según sus características físico-mecánicas, propiedades físicas y determinación de su capacidad portante máxima.

El objetivo de esta fase es la redacción de un informe claro que presente los resultados y el debido análisis para establecer el comportamiento mecánico del suelo objeto del estudio.

5. DESCRIPCIÓN DEL SUELO.

5.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO PARA SONDEOS MANUALES.

Tabla 6 Perfil estratigráfico Sondeo 1

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 1				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,80		7,3	CIMENTACION EXISTENTE							M1
1,50			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	4	5	9	7	M2
2,20			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	2	3	5	8	6	M3
6,00			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	5	8	13	7	M4
12,10			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	15	17	18	35	13	M5
				ALTERADA				OBVERVACIONES:		
				INALTERADA						
Fin de exploración 12.10 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.30m.										

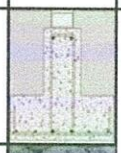
Fuente: Autores

Tabla 7 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 1.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°1				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,80	-	-	-	-
1,50	13,55	23,62	18,12	5,50
2,20	17,03	35,76	24,61	11,16
6,00	20,14	41,09	24,93	16,16
12,10	7,79	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 8 Perfil estratigráfico Sondeo 2.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare	SONDEO 2	FECHA: marzo de 2021						
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,80		7,5	CIMENTACION EXISTENTE							M1
1,50			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	5	5	10	8	M2
2,00			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	4	4	8	6	M3
6,15			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	5	6	11	6	M4
8,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	8	12	14	26	11	M5
				ALTERADA				OBVERVACIONES:		
				INALTERADA						
Fin de exploración 8.00 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.50 m.										

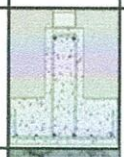
Fuente: Autores.

Tabla 9 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 2.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°2				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,80	-	-	-	-
1,50	12,58	23,85	18,97	4,88
2,00	25,47	34,56	20,49	14,07
6,15	28,23	30,25	27,00	3,25
8,00	12,51	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 10 Perfil estratigráfico Sondeo 3.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 3				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,1	CIMENTACION EXISTENTE							
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	2	3	6	9	7	M1
1,90			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	4	4	8	6	M2
6,10			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	6	9	15	8	M3
11,80			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	9	10	14	24	9	M4
				ALTERADA				OBVERVACIONES:		
				INALTERADA						
Fin de exploración 11.80 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.10m.										

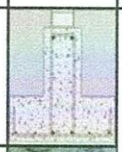
Fuente: Autores.

Tabla 11 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 3.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°3				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	13,92	23,53	18,22	5,31
1,90	19,28	32,00	24,85	7,15
6,10	22,13	30,98	21,71	9,27
11,80	8,57	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 12 Perfil estratigráfico Sondeo 4.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 4				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50			CIMENTACION EXISTENTE							
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	4	5	9	7	M1
2,00		8,00	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	2	3	5	8	6	M2
6,05			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	7	7	14	7	M3
12,70			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	8	12	15	27	9	M4
				ALTERADA				OBVERVACIONES:		
				INALTERADA						
Fin de exploración 12.70 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 8.00m.										

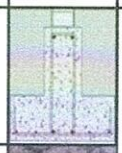
Fuente: Autores.

Tabla 13 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 4.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°4				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	13,64	22,11	19,58	2,52
2,00	15,19	39,17	28,71	10,47
6,05	16,78	38,68	27,72	10,95
12,70	6,93	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 14 Perfil estratigráfico Sondeo 5.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare	SONDEO 5				FECHA: marzo de 2021			
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,00	CIMENTACION EXISTENTE							
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	5	6	11	9	M1
2,00			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	4	6	10	7	M2
6,05			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	7	8	9	17	9	M3
12,20			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	17	19	22	41	15	M4
			ALTERADA					OBVERVACIONES:		
			INALTERADA							
Fin de exploración 12.20 m.			R: RECHAZO							
El Nivel Freático se encontró a 7.00m.										

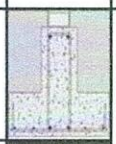
Fuente: Autores.

Tabla 15 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 5.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°5				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	14,30	20,15	19,32	0,84
2,00	23,06	39,67	22,95	16,72
6,05	26,76	35,75	25,08	10,67
12,20	8,41	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 16 Perfil estratigráfico Sondeo 6.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA			LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 6				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO											
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO		USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
						15	30	45			
0,50		6,90	CIMENTACION EXISTENTE								
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA		GM	4	5	7	12	9	M1
2,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN		CL	3	5	6	11	8	M2
6,05			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA		CL	8	10	11	21	11	M3
11,70			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"		GM	13	15	18	33	13	M4
				ALTERADA					OBVERVACIONES:		
				INALTERADA							
Fin de exploración 11.70 m.					R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 6.90m											

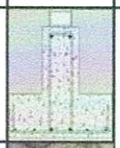
Fuente: Autores.

Tabla 17 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 6.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°6				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	13,86	21,85	18,34	3,51
2,50	17,40	34,30	28,62	5,67
6,05	23,32	39,71	26,84	12,87
11,70	10,87	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 18 Perfil estratigráfico Sondeo 7.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare	SONDEO 7				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO									
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6" 15	30	45	N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
0,50		6,9	CIMENTACION EXISTENTE							
1,60			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	4	5	4	9	7	M1
2,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	4	5	9	6	M2
6,10			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	7	8	12	20	10	M3
11,50			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	13	15	19	34	14	M4
				ALTERADA			OBVERVACIONES:			
				INALTERADA						
Fin de exploración 11.50 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 6.90m.										

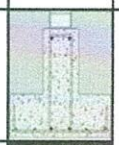
Fuente: Autores.

Tabla 19 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 7.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°7				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,60	13,64	22,41	20,26	2,15
2,50	16,69	35,94	20,84	15,09
6,10	22,30	42,49	28,61	13,88
11,50	10,28	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 20 Perfil estratigráfico Sondeo 8.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA			LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 8				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO											
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,10	CIMENTACION EXISTENTE							
1,60			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	5	6	6	12	9	M1
2,20			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	4	5	7	12	8	M2
6,50			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	8	10	11	21	11	M3
7,70			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	13	14	17	31	12	M4
				ALTERADA		OBVERVACIONES:				
				INALTERADA						
Fin de exploración 7.70 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.10m.										

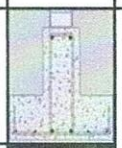
Fuente: Autores.

Tabla 21 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 8.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°8				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,60	14,18	22,75	17,33	5,42
2,20	23,60	34,30	23,72	10,58
6,50	22,49	42,03	20,47	21,56
7,70	9,55	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 22 Perfil estratigráfico Sondeo 9.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 9				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6" 15	30	45	N SPT	No. DE GOLPES I PIE	MUESTRA
0,50		7,40	CIMENTACION EXISTENTE							
1,20			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	5	6	11	9	M1
2,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	4	6	10	8	M2
6,10			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	7	10	17	9	M3
11,20			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	13	15	17	32	12	M4
				ALTERADA			OBVERVACIONES:			
				INALTERADA						
Fin de exploración 11.20 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.40m.										

Fuente: Autores.

Tabla 23 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 9.

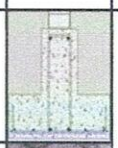
HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°9				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,20	13,29	23,53	18,16	5,37
2,50	15,75	30,07	23,99	6,07
6,10	19,10	39,34	26,40	12,94
11,20	8,82	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 24 Perfil estratigráfico Sondeo 10.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA	LOCALIZACION: Aguazul - Casanare	SONDEO 10	FECHA: marzo de 2021

PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO

PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,50	CIMENTACION EXISTENTE							
1,25			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	4	5	9	7	M1
2,60			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	2	4	5	9	6	M2
6,20			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	6	8	14	7	M3
12,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	10	12	15	27	10	M4

	ALTERADA		OBVERVACIONES:
	INALTERADA		
Fin de exploración 12.00 m.		R: RECHAZO	
El Nivel Freàtico se encontró a 7.50m.			

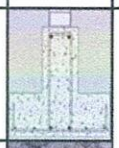
Fuente: Autores.

Tabla 25 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 10.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°1				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,25	11,19	21,57	19,75	1,82
2,60	18,36	30,53	20,59	9,94
6,20	18,19	35,94	26,08	9,86
12,00	9,34	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 26 Perfil estratigráfico Sondeo 11.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA			LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 11				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO											
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,60	CIMENTACION EXISTENTE							
1,20			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	4	5	5	10	8	M1
2,60			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	4	4	6	10	7	M2
6,70			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	7	9	16	8	M3
12,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	13	15	18	33	13	M4
				ALTERADA		OBVERVACIONES:				
				INALTERADA						
Fin de exploración 12.00 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.60m.										

Fuente: Autores.

Tabla 27 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 11.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°11				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,20	12,46	20,89	18,46	2,44
2,60	16,69	31,52	26,22	5,30
6,70	23,69	39,54	23,10	16,44
12,00	8,46	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 28 Perfil estratigráfico Sondeo 12.

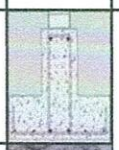
Carrera 18 No 22 - 54 Yopal - Casanare

Cel. 310 3341269

Ingeniero.diegoarmando@gmail.com

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA	LOCALIZACION: Aguazul - Casanare	SONDEO 12	FECHA: marzo de 2021

PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO

PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,50	CIMENTACION EXISTENTE							
1,20			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	3	4	6	10	8	M1
2,30			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	4	4	6	10	7	M2
6,00			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	7	7	9	16	8	M3
12,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	15	17	19	36	13	M4

	ALTERADA		OBVERVACIONES:
	INALTERADA		
Fin de exploración 12.00 m.		R: RECHAZO	
El Nivel Freático se encontró a 7.50m.			

Fuente: Autores.

Tabla 29 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 12.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°12				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,20	12,72	21,94	20,12	1,83
2,30	21,33	31,76	27,96	3,80
6,00	21,36	38,22	23,16	15,07
12,00	9,76	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

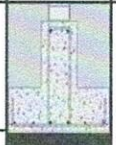
Carrera 18 No 22 - 54 Yopal - Casanare

Cel. 310 3341269

Ingeniero.diegoarmando@gmail.com

5.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO PARA SONDEOS MECÁNICOS.

Tabla 30 Perfil estratigráfico Sondeo 13.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 13				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,40	CIMENTACION EXISTENTE							M1
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	5	5	5	10	8	M2
2,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	4	5	5	10	7	M3
7,30			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	9	10	12	22	12	M4
15,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	16	19	20	39	15	M5
				ALTERADA		OBVERVACIONES:				
				INALTERADA						
Fin de exploración 15,00 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.40m.										

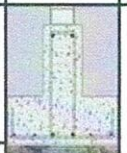
Fuente: Autores.

Tabla 31 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 13.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°13				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	15,59	22,53	19,05	3,48
2,50	16,86	34,11	26,77	7,33
7,30	19,16	36,12	22,05	14,07
15,00	9,38	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 32 Perfil estratigráfico Sondeo 14.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA			LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 14				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO											
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO		USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
						15	30	45			
0,50			CIMENTACION EXISTENTE								M1
1,30			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA		GM	3	4	6	10	8	M2
2,40		8,00	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN		CL	3	5	5	10	7	M3
7,48			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA		CL	7	9	10	19	10	M4
15,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"		GM	13	15	18	33	12	M5
				ALTERADA			OBVERVACIONES:				
				INALTERADA							
Fin de exploración 15,00 m.					R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 8.00m.											

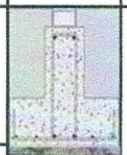
Fuente: Autores.

Tabla 33 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 14.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°14				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,30	13,17	22,01	18,74	3,27
2,40	16,69	32,73	23,22	9,52
7,48	18,87	37,73	25,56	12,17
15,00	10,54	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

Tabla 34 Perfil estratigráfico Sondeo 15.

GEOLOGIA, GEOTECNIA E INGENIERIA ESPECIALIZADA		LOCALIZACION: Aguazul - Casanare		SONDEO 15				FECHA: marzo de 2021		
PROYECTO: ASESORÍA ESPECIALIZADA A TODO COSTO PARA EMITIR EL DIAGNOSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO										
PROF. (M)	LITOLOGÍA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	USCS	N° Golpes/6"			N SPT	No. DE GOLPES / PIE	MUESTRA
					15	30	45			
0,50		7,30	CIMENTACION EXISTENTE							M1
1,60			MEJORAMIENTO: CONGLOMERADO DE FRAGMENTOS DE ARENISCAS ENTRE 1 Y 3" CON MATRIZ DE ARENA ARCILLOSA	GM	5	5	6	11	8	M2
2,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRÓN	CL	3	5	6	11	7	M3
7,42			ARCILLA DE COLOR ROJO FERROSO CON VETAS BLANCAS A CREMA	CL	5	7	8	15	8	M4
15,00			GRAVA BIEN GRADADA CON LIMOS DE COLOR CAFÉ Y CANTOS RODADOS >6"	GM	13	14	18	32	12	M5
				ALTERADA			OBVERVACIONES:			
				INALTERADA						
Fin de exploración 15,00 m.				R: RECHAZO						
El Nivel Freático se encontró a 7.30m.										

Fuente: Autores.

Tabla 35 Limites de Atterberg y humedad Sondeo 15.

HUMEDAD (%), LIMITES DE ATTEMBERG (%) SONDEO N°15				
Profundidad (m)	% W	LL	LP	IP
0,50	-	-	-	-
1,60	10,28	22,01	19,98	2,03
2,50	19,48	33,20	27,13	6,06
7,42	16,75	37,34	27,05	10,29
15,00	8,45	NL	NP	NP

Fuente: Autores.

5.3. PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DEL SUELO.

En la exploración de campo se encontró un perfil estratigráfico general, con algunas variaciones en los primeros metros en 4 sondeos. El perfil general está compuesto por los sondeos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) de la siguiente manera:

Para los sondeos realizados en la ciudadela La Esperanza se determinó el perfil promedio del área de estudio de la siguiente manera:

Nivel (0.00 a 0.50) mts en promedio se encontró una capa de material orgánico.

Nivel (0.50 a 1.60) mts se encontró una capa de conglomerado de arenisca de 2" a 3" en matriz areno arcilloso color café oscuro, lo que podría ser un material de relleno de baja a nula plasticidad (material de mejoramiento).

Nivel (1.60 a 2.50) mts se encontró una capa arcillosa de baja plasticidad y compresibilidad color marrón.

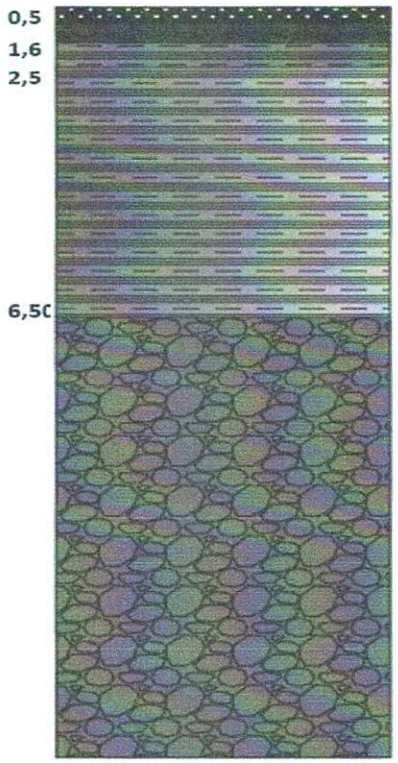
Nivel (2.50 a 6.50) mts se encontró una capa de arcilla de baja compresibilidad, color rojo con betas grises claras.

Nivel (6.50 a 11.70-15.00) mts se encontró una capa de material conglomerático con cantos de diferentes tamaños (2"- 8") en matriz limo arenosa de baja plasticidad, color marrón.

A partir de los resultados de laboratorio y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el suelo explorado se clasifica en los grupos CL: Arcilla de baja plasticidad y GM: grava limosa.

En general, las propiedades geomecánicas del suelo explorado reflejan características favorables con relación a los requerimientos de fundación del proyecto.

FIG. 29 Perfil estratigráfico determinado de los sondeos realizados en la ciudadela La Esperanza.



Fuente: Autores.

5.4. NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES.

El nivel freático se encontró a 7.00 mts de profundidad aproximadamente en la exploración de los sondeos. De acuerdo con los resultados de laboratorio, los valores de humedad natural del suelo son varían entre 6.93% y 28.23%, ya que en algunos sondeos en las primeras capas son de carácter arcilloso y en otros sondeos se hallaron capas de material de relleno y gravas, adicional se tiene en cuenta que la exploración geotécnica se realizó en temporada de verano.

En cuanto a aguas superficiales y subsuperficiales, teniendo en cuenta la naturaleza del suelo explorado, el cual se caracteriza por no tener una buena permeabilidad ya que está compuesto principalmente por arcillas y a profundidad encontramos gravas, que hacen parte del depósito aluvial, se estima que el terreno no tiene una buena capacidad de drenaje.

5.5. LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA.

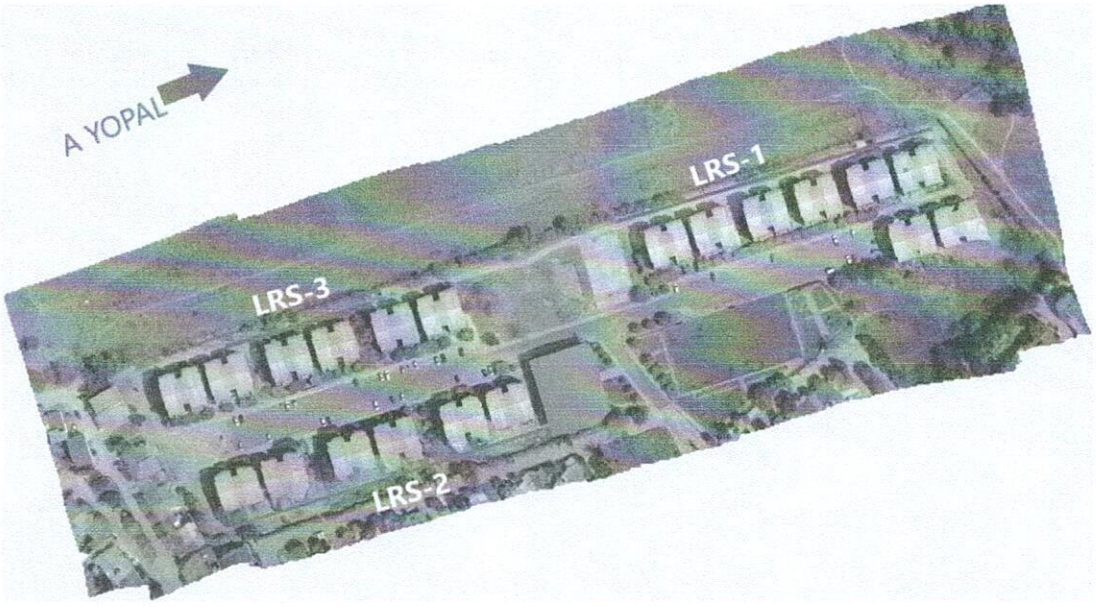
Para caracterizar el subsuelo de los sitios de interés, se realizaron tres (3) líneas de refracción sísmica por el método de MASW, con las cuales se busca, a partir de la velocidad de onda de corte (Vs), obtener información de los parámetros dinámicos de rigidez del suelo, así como espesores de las diferentes capas estratigráficas de los sitios de interés. La localización de las líneas de exploración geofísica en cada punto de interés se muestra a continuación.

Tabla 36. Coordenadas de localización líneas geofísicas.

LÍNEA	INICIO		CENTRO		FIN	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
LRS-1	836828,8	1064907,1	836884,1	1064923,1	836939,3	1064939,1
LRS-2	836651,4	1064775,8	836706,7	1064791,8	836761,9	1064807,8
LRS-3	836617,8	1064848,6	836656,7	1064859,9	836695,6	1064871,1

Fuente: Autores.

FIG. 30. Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3 Ciudadela La Esperanza



Fuente: Autores.

FIG. 31. Localización LRS-1, LRS-2 y LRS-3 Ciudadela La Esperanza.



Fuente: Autores.

5.5.1. Refracción sísmica.

Consiste en la identificación de los tiempos de llegada de las diferentes ondas generadas que se registran en un sismograma. Se basa en el principio de que cuando un frente de onda choca en la interfaz de dos capas, las ondas se refractan con un ángulo de incidencia proporcional a las relaciones de velocidad de los medios en los que viaja. Si el perfil de velocidad aumenta en profundidad, entonces las ondas en la interfaz viajan a mayor velocidad.

Para el caso de estudio, en las 3 líneas se implementó el método de ensayo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Método MASW: Evalúa la respuesta de la propagación de ondas superficiales tipo Rayleigh y las relaciona para efectos geotécnicos con las velocidades de corte Vs de los materiales del subsuelo. Para ello, se miden los tiempos de llegada de las ondas sísmicas superficiales al arreglo de geófonos, y posteriormente se analiza su propagación y su cambio de velocidad de fase con la frecuencia, para obtener el modelo de propagación de velocidades probable bajo los geófonos.

Las líneas de refracción símica para los 3 sectores de interés, se realizaron por el método MASW, utilizando un sismógrafo de 16 canales (geófonos), con longitud de tendido (spread) de 81 m (LRS-3), 105 m (LRS-2) y 120 metros (LRS-1).

Posteriormente estos datos son procesados obteniendo una modelación del terreno en 1D y 2D, definiendo de esta manera información relevante, correspondiente a la variación de las velocidades de onda de corte (Vs), con la profundidad, lo que permite identificar capas con diferentes características de rigidez.

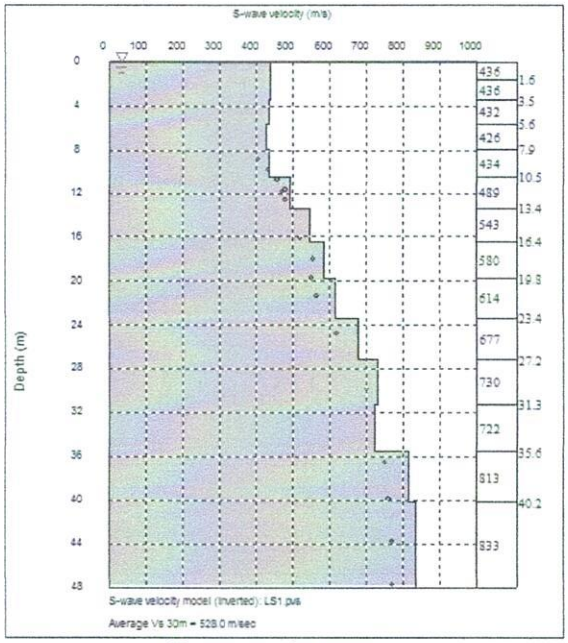
El primer procesamiento consiste en determinar la curva de dispersión sobre el espectro de velocidades de fase de onda y la frecuencia. Posteriormente se realiza la inversión de la curva de dispersión con el fin de obtener el perfil sísmico.

Una vez realizada la inversión de la curva de dispersión, se procede a calcular el modelo de velocidad de onda de corte que se ajusta a la curva de dispersión y se obtiene el modelo 1D que muestra la velocidad de onda de corte (Vs) con la profundidad.

Una vez procesada la información es posible llevar a cabo un proceso de interpolación de velocidades para generación de un modelo 2D que indica la variación de la velocidad a lo largo y en profundidad de las líneas objeto de análisis. A continuación, se muestran los modelos 1D y 2D de los sectores de estudio.

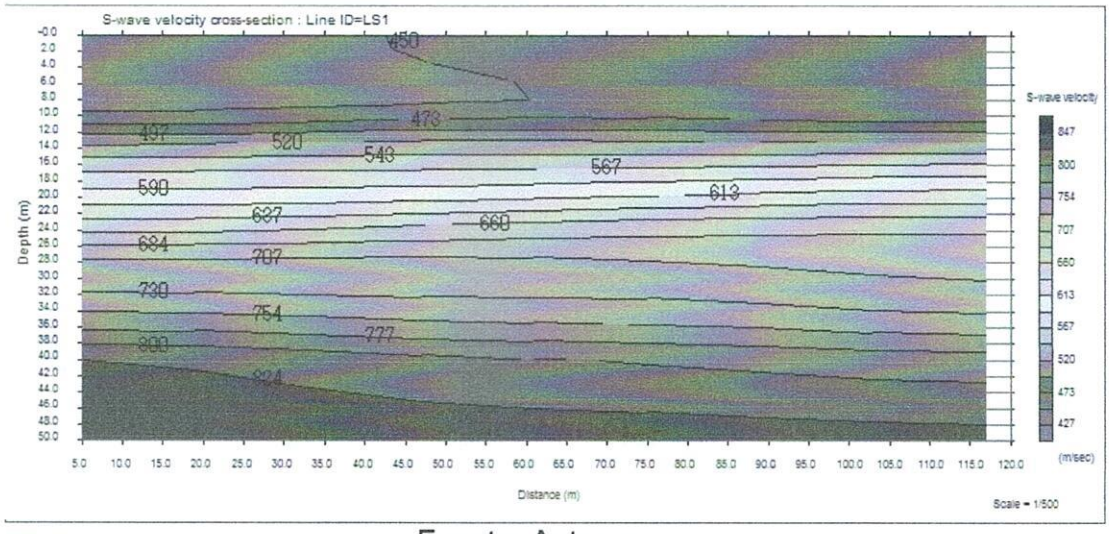
-LRS-1.

Gráfica 1. Modelo 1D de velocidad de onda de corte (Vs) en función de la profundidad, LRS-1-MASW.



Fuente: Autores.

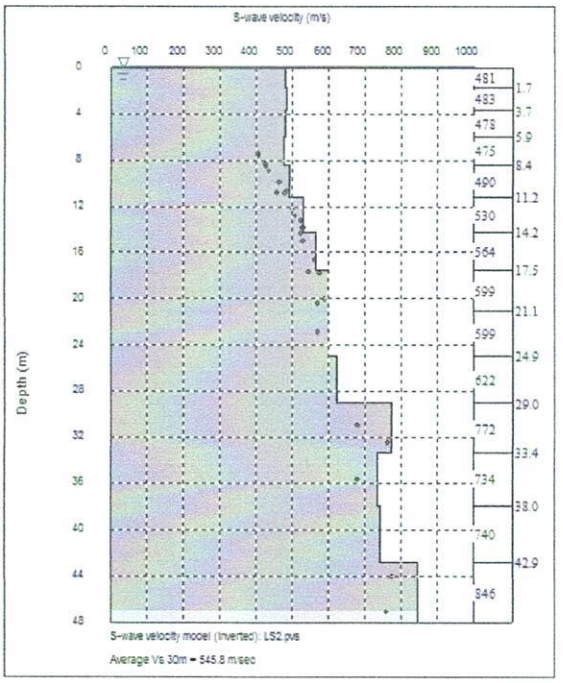
Gráfica 2. Modelo 2D de velocidad de onda de corte (Vs) LRS-1-MASW.



Fuente: Autores.

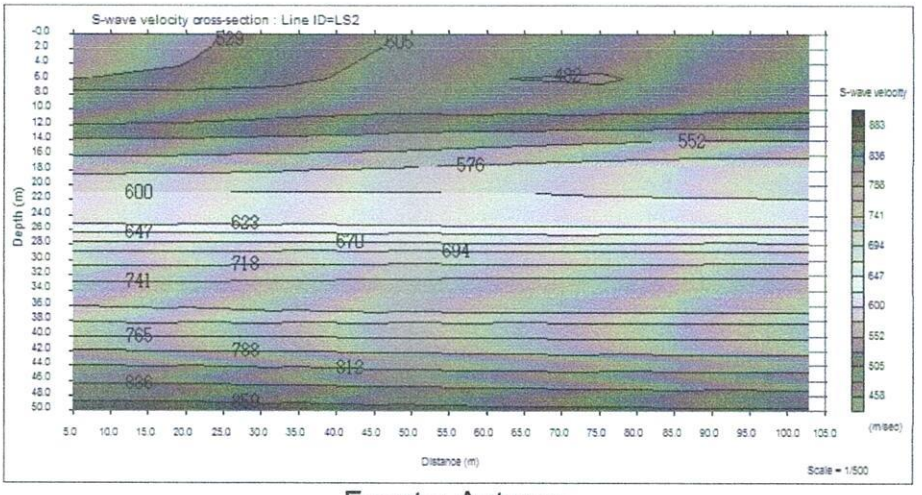
-LRS-2.

Gráfica 3. Modelo 1D de velocidad de onda de corte (Vs) en función de la profundidad, LRS-2-MASW.



Fuente: Autores.

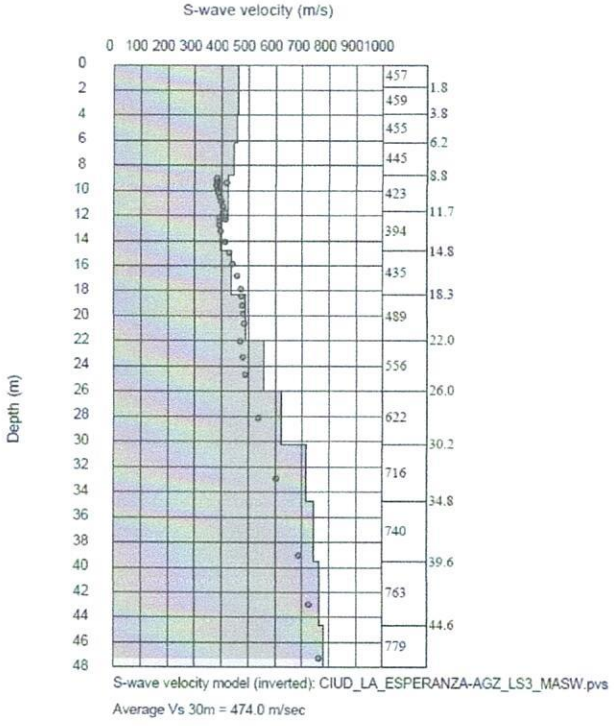
Gráfica 4. Modelo 2D de velocidad de onda de corte (Vs) LRS-2-MASW.



Fuente: Autores.

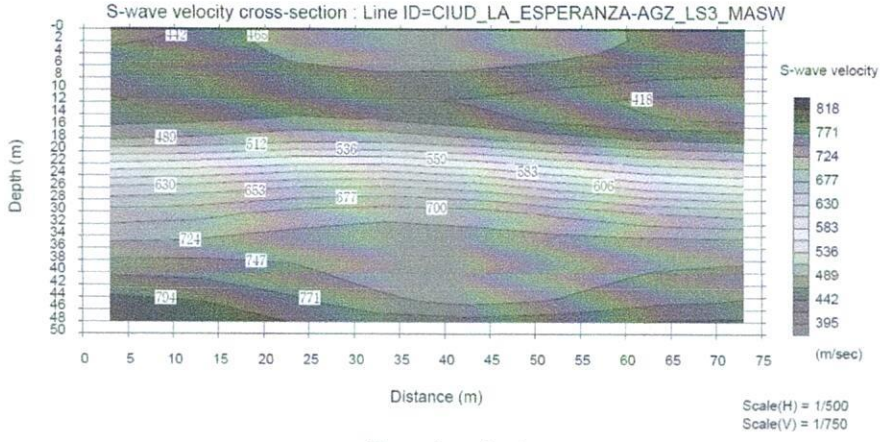
-LRS-3.

Gráfica 5. Modelo 1D de velocidad de onda de corte (Vs) en función de la profundidad, LRS-3-MASW.



Fuente: Autores.

Gráfica 6. Modelo 2D de velocidad de onda de corte (Vs) LRS-3-MASW.



Fuente: Autores.

5.5.2. Análisis De Resultados.

Teniendo en cuenta los modelos 2D que muestran una variabilidad lateral de las velocidades de onda de corte (Vs), y de acuerdo con los modelos 1D que muestran el comportamiento de las velocidades de onda de corte en profundidad, se realiza el análisis para determinar los espesores de capa, la clasificación del perfil de suelo con base en la velocidad de onda de corte (Vs) y los parámetros dinámicos de rigidez del suelo, utilizando las ecuaciones que la literatura del método especifica.

5.5.3. Clasificación Del Perfil Del Subsuelo Según La NSR-10.

Con base en estos resultados y a partir de las velocidades de onda de corte de cada capa, se realiza el cálculo de Vs promedio de los 30 m superiores ($\overline{V_{s30}}$), con el fin de determinar el tipo de perfil de suelo de los 30 m superiores en cada línea realizada, según lo establecido por las Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en la tabla A2.4-1.

En la línea LRS-1 los primeros 30 m del subsuelo se clasifican como un perfil tipo C (tabla 4), que correspondería a perfiles de suelos muy densos o roca blanda, debido a que la velocidad de onda de corte $\overline{Vs_{30}}$, determinada es de 527,2 m/s y se encuentra entre el rango de 360 – 760 m/s definido por la NSR-10.

Tabla 37. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-1.

Profundidad (m)	Espesor di (m)	Vs (m/s)	di/Vs
0,00 - 1,60	1,6	436	0,00367
1,60 - 3,50	1,9	436	0,00436
3,50 - 5,60	2,1	432	0,00486
5,60 - 7,90	2,3	426	0,00540
7,90 - 10,50	2,6	434	0,00599
10,50 - 13,40	2,9	489	0,00593
13,40 - 16,40	3,0	543	0,00552
16,40 -19,80	3,4	580	0,00586
19,80 - 23,40	3,6	614	0,00586
23,40 - 27,20	3,8	677	0,00561
27,20 - 30,0	2,8	730	0,00384

Σdi	30,0
Σdi/Vs	0,0569
Vs promedio	527,2
Perfil tipo	**C**

Tabla 38. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-2.

Profundidad (m)	Espesor di (m)	Vs (m/s)	di/Vs
0,00 - 1,70	1,7	481	0,00353
1,70 - 3,70	2,0	483	0,00414
3,70 - 5,90	2,2	478	0,00460
5,90 - 8,40	2,5	475	0,00526
8,40 -11,20	2,8	490	0,00571
11,20 - 14,20	3,0	530	0,00566
14,20 - 17,50	3,3	564	0,00585
17,50 - 21,10	3,6	599	0,00601
21,10 - 24,90	3,8	599	0,00634
24,90 - 29,00	4,1	622	0,00659
29,00 - 30,0	1,0	772	0,00130

Σdi	30,0
Σdi/Vs	0,0550
Vs30	545,38
Perfil tipo	**C**

En la línea LRS-2 los primeros 30 m del subsuelo se clasifican como un perfil tipo C (tabla 5), que correspondería a perfiles de suelos muy densos o roca blanda, debido a que la velocidad de onda de corte $\overline{Vs_{30}}$, determinada es de 545,38 m/s y se encuentra entre el rango de 360 – 760 m/s definido por la NSR-10.

Tabla 39. Cálculo de Vs30 promedio del suelo según NSR-10, para la línea LRS-3.

Profundidad (m)	Espesor di (m)	Vs (m/s)	di/Vs
0.00 - 1.80	1.8	457	0.00394
1.80 - 3.80	2.0	459	0.00436
3.80 - 6.20	2.4	455	0.00527
6.20 - 8.80	2.6	445	0.00584
8.80 - 11.70	2.9	423	0.00686
11.70 - 14.80	3.1	394	0.00787
14.80 - 18.30	3.5	435	0.00805
18.30 - 22.00	3.7	489	0.00757
22.00 - 26.00	4.0	556	0.00719
26.00 - 30.20	4.2	622	0.00675
30.20 - 34.80	4.6	716	0.00642
34.80 - 39.60	4.8	740	0.00649
39.60 - 44.60	5.0	763	0.00655
44.60 - 48.00	3.4	779	0.00436

Σdi	30.0
Σdi/Vs	0.0637
Vs30	470.98
Perfil tipo	**C**

En la línea LRS-3 los primeros 30 m del subsuelo se clasifican como un perfil tipo C (tabla 6), que correspondería a perfiles de suelos muy densos o roca blanda, debido a que la velocidad de onda de corte $\overline{Vs_{30}}$, determinada es de 470,98 m/s y se encuentra entre el rango de 360 – 760 m/s definido por la NSR-10.

5.5.4. Determinación De Parámetros Dinámicos De Rigidez.

De acuerdo con los valores de velocidad de onda de corte (Vs), se pueden determinar los parámetros dinámicos de rigidez, tales como el Módulo de corte (Go)

y el Módulo de Young (Eo), para cada capa del subsuelo, además de una aproximación de la densidad. Por otro lado, las velocidades de onda a compresión (Vp), suelen ser entre 70 % – 140 % mayor que las velocidades de onda de corte (Vs), para valores del coeficiente de Poisson (μ) entre 0,25 – 0,40; el cual es el rango característico para suelos y rocas.

Una vez procesada la información, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 40. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos para la línea LRS-1.

Profundidad	Vs	Densidad	μ	Go	Eo	Vp
(m)	(m/s)	(kN/m3)		(MPa)	(MPa)	(m/s)
0,00 - 1,60	436	20,62	0,30	392	1019	816
1,60 - 3,50	436	20,62	0,30	392	1019	816
3,50 - 5,60	432	20,59	0,30	384	999	808
5,60 - 7,90	426	20,54	0,30	373	969	797
7,90 - 10,50	434	20,60	0,30	388	1009	812
10,50 - 13,40	489	21,03	0,30	503	1308	915
13,40 - 16,40	543	21,41	0,25	631	1578	941
16,40 -19,80	580	21,65	0,25	728	1821	1005
19,80 - 23,40	614	21,86	0,25	824	2060	1063
23,40 - 27,20	677	22,21	0,25	1018	2545	1173
27,20 - 31,30	730	22,48	0,25	1198	2995	1264
31,30 - 35,60	722	22,44	0,25	1170	2925	1251
35,60 - 40,20	813	22,87	0,25	1512	3779	1408
44,20 - 44,00	833	22,96	0,25	1593	3983	1443

Fuente: Autores.

Tabla 41. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos de la línea LRS-2.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (kN/m3)	μ	Go (MPa)	Eo (MPa)	Vp (m/s)
0,00 - 1,70	481	20,98	0,30	485	1262	900
1,70 - 3,70	483	20,99	0,30	490	1273	904
3,70 - 5,90	478	20,95	0,30	479	1245	894
5,90 - 8,40	475	20,93	0,30	472	1228	889
8,40 -11,20	490	21,04	0,30	505	1314	917
11,20 - 14,20	530	21,33	0,25	599	1498	918
14,20 - 17,50	564	21,55	0,25	686	1714	977
17,50 - 21,10	599	21,77	0,25	781	1953	1037
21,10 - 24,90	599	21,77	0,25	781	1953	1037
24,90 - 29,00	622	21,90	0,25	847	2119	1077
29,00 - 33,40	772	22,68	0,25	1352	3380	1337
33,40 - 38,00	734	22,50	0,25	1212	3031	1271
38,00 - 42,90	740	22,53	0,25	1234	3085	1282
42,90 - 47,00	846	23,02	0,25	1647	4118	1465

Fuente: Autores.

Tabla 42. Parámetros dinámicos de rigidez obtenidos de la línea LRS-3.

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (kN/m3)	μ	Go (MPa)	Eo (MPa)	Vp (m/s)
0.00 - 1.80	457	20.79	0.30	434	1129	855
1.80 - 3.80	459	20.81	0.30	438	1140	859
3.80 - 6.20	455	20.77	0.30	430	1118	851
6.20 - 8.80	445	20.69	0.30	410	1065	833
8.80 - 11.70	423	20.51	0.30	367	954	791
11.70 - 14.80	394	20.25	0.30	314	817	737
14.80 - 18.30	435	20.61	0.30	390	1014	814
18.30 - 22.00	489	21.03	0.25	503	1257	847
22.00 - 26.00	556	21.50	0.25	665	1662	963
26.00 - 30.20	622	21.90	0.25	847	2119	1077
30.20 - 34.80	716	22.41	0.25	1149	2872	1240
34.80 - 39.60	740	22.53	0.25	1234	3085	1282
39.60 - 44.60	763	22.64	0.25	1318	3295	1322
44.60 - 48.00	779	22.72	0.25	1379	3446	1349

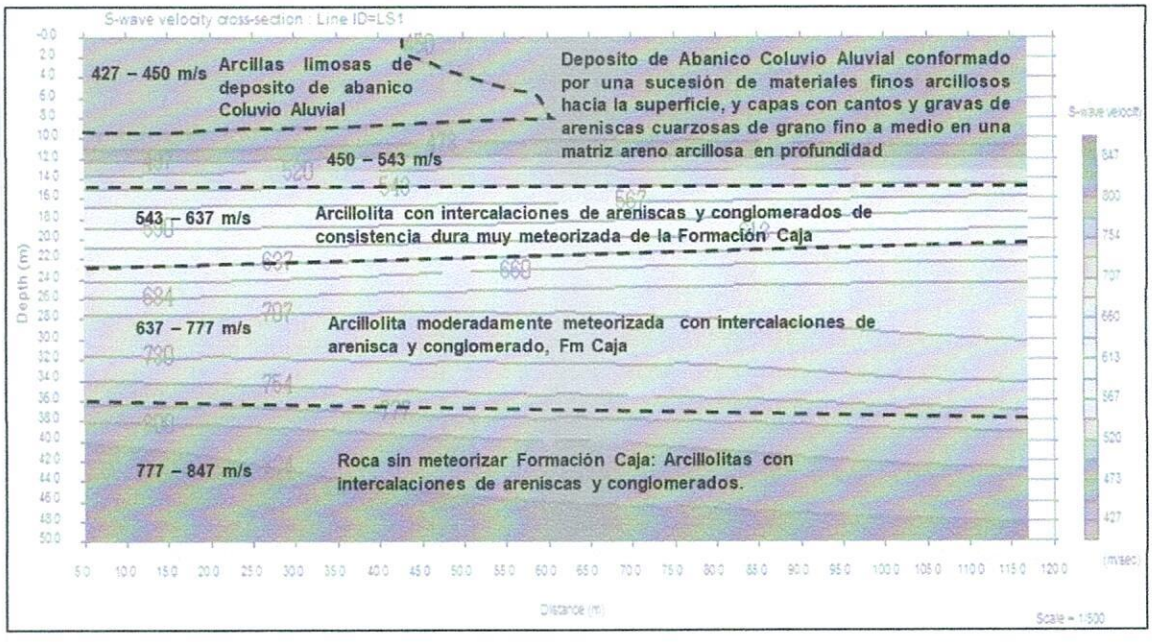
Fuente: Autores.

5.5.5. Modelo Geológico – Geofísico.

Con los resultados de las líneas de refracción, el modelo 2D obtenido y la información previa tanto de la geología regional como las observaciones de campo al momento de realizar la exploración geofísica, es posible construir el modelo geológico-geofísico de cada sector de estudio.

-LRS-1.

FIG. 32. Modelo geológico-geofísico para LRS-1.



Fuente: Autores.

De acuerdo con el modelo geológico geofísico construido para la línea de refracción sísmica LRS-1 realizada en la Ciudadela La Esperanza, se identifica inicialmente una capa de espesor de 15 metros aproximadamente, con velocidades de onda de corte entre 450-543 m/s, que corresponde a un depósito de abanico coluvio aluvial, conformado por una sucesión de materiales fino arcillosos y capas con cantos y gravas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio matriz-soportados en arcilla arenosa. Este depósito dadas sus condiciones de depositación y los procesos geológicos y geomorfológicos predominantes que rigieron su origen y rigen actualmente el modelamiento del terreno, presenta una variabilidad lateral muy marcada, en la que se puede apreciar la diferenciación en algunas zonas de una capa de material arcilloso cubriendo parte de la sucesión de materiales granulares

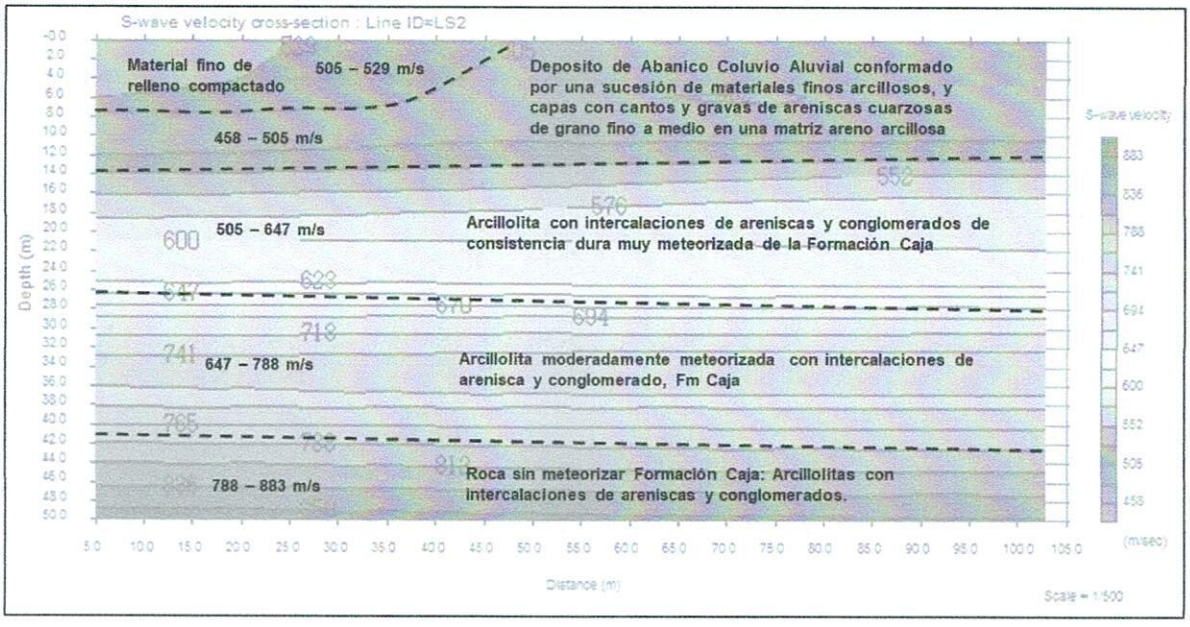
tipo gravas y materiales finos identificados durante la ejecución de la exploración sísmica, dicha capa suprayacente de material fino arcilloso (perteneciente igualmente al depósito de abanico Coluvio-Aluvial) se puede apreciar hacia el sector izquierdo de la LRS-1, con velocidades de onda de corte entre 427-450 m/s.

Posteriormente entre 15 -22 m de profundidad aproximadamente, se identifica una capa con velocidades de onda de corte entre 543-637 m/s, de fragmentos muy meteorizados de arcillolita con intercalaciones de areniscas y conglomerados de consistencia dura que corresponde a la zona más superficial de la formación Caja en el sector, y que se ha visto más afectada por la acción de los procesos de meteorización; luego entre 24 y 36 m de profundidad, con una velocidad de onda de corte entre 637 – 677 m/s, se identifica una capa de arcillolita moderadamente meteorizada con intercalaciones de arenisca y conglomerado de la Formación Caja.

Finalmente se registran valores de Vs superiores a 777 m/s y que hasta el final de la exploración alcanzan 847 m/s que corresponde a roca sin meteorizar de la Formación Caja compuesta por Arcillolitas con intercalaciones de areniscas y conglomerados matriz soportados.

-LRS-2.

FIG. 33. Modelo geológico-geofísico para LRS-2.



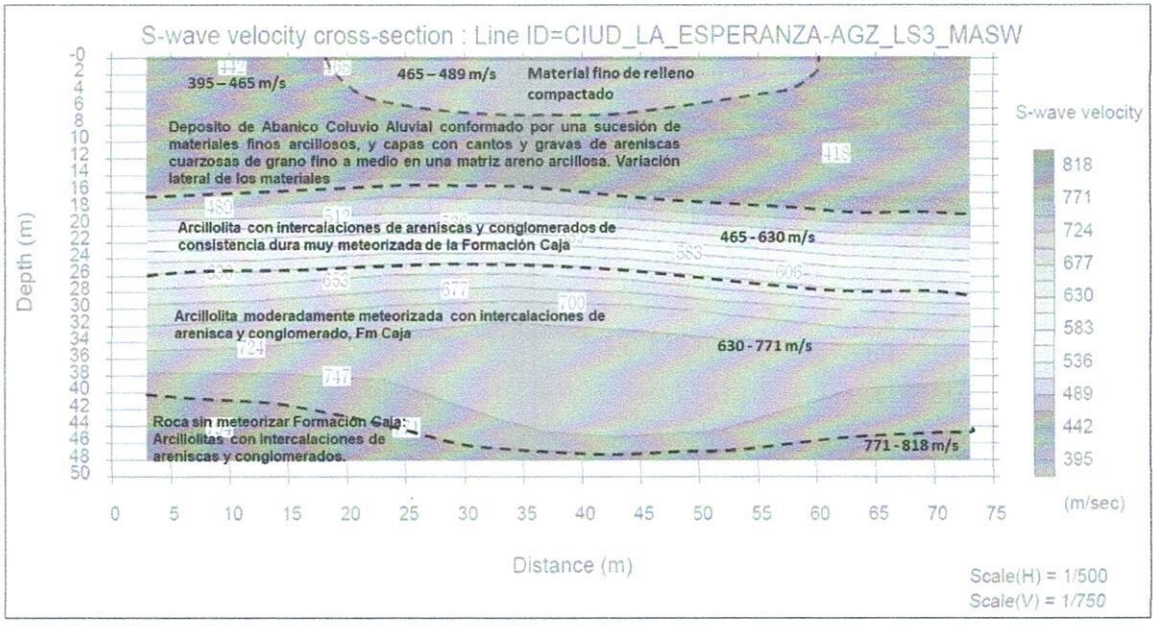
Fuente: Autores.

De acuerdo con el modelo geológico geofísico construido para la línea de refracción sísmica LRS-2 realizada en la Ciudadela La Esperanza, se identifica inicialmente una capa de espesor de 14 metros aproximadamente, con velocidades de onda de corte entre 458-505 m/s, que corresponde a un depósito de abanico coluvio aluvial, conformado por una sucesión de materiales finos arcillosos, y capas con algunos cantos y gravas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, matriz-soportados en arcilla arenosa. Hacia el costado izquierdo de la línea de refracción, sobre este depósito se identifica una capa de aproximadamente 7 m de espesor con velocidades de onda de corte levemente superiores a las del depósito coluvio-aluvial (505-529 m/s), y que correspondería a un material de relleno compactado durante la nivelación del terreno para la conformación de las obras. Posteriormente entre 14 -26 m de profundidad aproximadamente, se identifica una capa con velocidades de onda de corte entre 505-647 m/s, compuesta por fragmentos de arcillolita de consistencia dura con intercalaciones de areniscas y conglomerados altamente meteorizados de la formación Caja; seguidamente entre 26 y 42 m de profundidad, se identifica una capa con velocidades entre 647 – 788 m/s, que corresponde a una capa de arcillolita moderadamente meteorizada con intercalaciones de capas delgadas de arenisca y conglomerados de la Formación Caja.

Finalmente se registran valores de Vs superiores a 788 m/s y que, hasta los 50 m de profundidad alcanzados con la exploración, alcanzan 883 m/s, correspondiendo a una capa de roca sin meteorizar de la Formación Caja: Arcillolitas con intercalación de areniscas y conglomerado matriz soportados.

-LRS-3.

FIG. 34. Modelo geológico-geofísico para LRS-3.



Fuente: Autores.

De acuerdo con el modelo geológico - geofísico construido para la línea de refracción sísmica LRS-3 realizada en la Ciudadela La Esperanza, se identifica inicialmente una capa de espesor de 17 metros aproximadamente, con velocidades de onda de corte entre 395-465 m/s, que corresponde a un depósito de abanico coluvio aluvial, conformado por algunos cantos y gravas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, matriz-soportados en arcilla arenosa de color café, con algunos niveles de arcilla hacia la superficie, en este depósito se logra observar un lente con velocidades de onda de corte más bajas (395 – 418), que correspondería a materiales finos arcillosos, que dada las condiciones de los abanicos coluvio aluviales, se vio depositado durante un periodo de menor intensidad de depositación y transporte de materiales asociados a la dinámica hídrica de los ríos proveniente de la cordillera Oriental. Hacia la zona central de la línea de refracción, sobre este depósito se identifica una capa de aproximadamente 7 m de espesor con velocidades de onda levemente superiores a las del depósito coluvio-aluvial, y que correspondería a un material de relleno compactado (465 – 489 m/s) durante la nivelación del terreno para la conformación de las estructuras.

Posteriormente entre 17 -27 m de profundidad aproximadamente, se identifica una capa con velocidades de onda de corte entre 465-630 m/s, compuesta por fragmentos de arcillolita de consistencia dura y arcillolitas muy meteorizadas de la formación Caja; seguidamente entre 26 y 47 m de profundidad, se identifica una capa de espesor variable, con mayor potencia hacia la zona central derecha de la línea de refracción con velocidades entre 630 – 771 m/s, que corresponde a una capa de arcillolita moderadamente meteorizada con intercalaciones de capas delgadas de arenisca de la

Formación Caja y que debido a las condiciones variables a las que se vio sometida durante su exposición a los agentes de intemperismo presenta la geometría observada en la Línea LRS-3.

Finalmente se registran valores de Vs superiores a 771 m/s y que, hasta los 48 m de profundidad alcanzados con la exploración, registran valores de 818 m/s, correspondiendo a una capa de roca sin meteorizar de la Formación Caja: Arcillolitas con intercalación de areniscas y conglomerado matriz soportados.

5.6. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS.

5.6.1. Correlación De Ensayo SPT Y Corte Directo.

Para la determinación de los parámetros mecánicos en los ensayos realizados a la ciudadela la esperanza, se realizó ensayo de SPT y ensayos de corte directo (para los sondeos mecánicos).

Ensayo de corte directo: Este método de prueba es desarrollado para la determinación de la resistencia al corte de un suelo. Esta prueba es realizada mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada. Generalmente se realizan un mínimo de 3 pruebas, cada una bajo una diferente carga normal para determinar el efecto sobre la resistencia y desplazamiento y las propiedades resistentes.

El ensayo es adecuado para la determinación relativamente rápido de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados, los resultados son aplicables para estimar la resistencia al corte en situación de campo donde se tiene consolidación bajo los esfuerzos normales actuantes.

Para la mayoría de los problemas de la mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb), es decir: $\tau = c + \sigma * \text{Tang } \phi$

Método indirecto por correlación: Los valores de C, φ y Modulo Elástico, son estimados por correlación con los ensayos SPT según varios Autores y considerando la curva granulométrica que caracteriza cada capa; a partir de estos resultados, el Geotecnista define a criterio y con base en su experiencia, los parámetros finales.

Las aproximaciones iniciales a los parámetros de resistencia al corte (C y φ) para suelos granulares y suelos mixtos, se realizaron según Schmertman (1970) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$C = 0{,}22 * \text{Ln (NSPT)} - 0{,}40 \text{ (Kg/cm2)}$$

N>25

$\Phi(°) = 24+5.77*\text{LN}(0.1667*\text{NSPT})$

N<25

$\Phi(°) = 5.35*\text{LN(NSPT)}+14.44$

Las aproximaciones a los valores del Módulo de Elasticidad, son realizadas a partir de correlaciones propuestas por Bowles (1988) y Schmertman (1970).

$$E = 10\ [\ 7{,}5 + (0{,}5*NSPT)]\ \text{Bowles (1988) (Kg/cm2)}$$
$$E = 766\ NSPT\ \text{Schmertman (1970) (KN/m2)}$$

A partir de estas correlaciones iniciales, el geotecnista define a criterio, de acuerdo con su experiencia profesional en este tipo de suelos y con base en los resultados de laboratorio, los parámetros geotécnicos finales del perfil de suelo, los cuales serán utilizados en el análisis geotécnico.

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS OBTENIDOS POR MÉTODO DE CORRELACIÓN CON ENSAYO SPT SONDEOS MANUALES.

Tabla 43 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 1.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°1								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ(°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,80	-	-	0,80	-	-	-	-	3,00
1,50	9	1,00	0,70	7	24,85	33,33	10780	3,50
2,20	8	1,50	0,70	6	24,03	30,01	10290	3,00
6,00	13	4,00	3,80	7	24,85	33,33	10780	2,50
12,10	35	8,00	6,10	13	28,16	46,68	13720	2,50

Fuente: Autores.

Tabla 44 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 2.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N° 2							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ(°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,80	-	0,80	0,80	-	-	-	-
1,50	10	1,00	0,70	8	25,57	36,21	11270
2,00	8	1,60	0,50	6	24,03	30,01	10290
6,15	11	4,00	4,15	6	24,03	30,01	10290
8,00	26	6,00	1,85	11	27,27	43,07	12740

Fuente: Autores.

Tabla 45 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 3.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°3							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,30	9	0,80	0,80	7	24,85	33,33	10780
1,90	8	1,40	0,60	6	24,03	30,01	10290
6,10	15	4,00	2,60	8	25,57	36,21	11270
11,80	24	8,00	4,90	9	26,20	38,75	11760

Fuente: Autores.

Tabla 46 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 4.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°4								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	2,50
1,30	9	0,80	0,80	7	24,85	33,33	10780	1,50
2,00	8	1,40	0,70	6	24,03	30,01	10290	2,50
6,05	14	4,00	4,05	7	24,85	33,33	10780	3,00
12,70	27	9,00	6,65	9	26,20	38,75	11760	3,00

Fuente: Autores.

Tabla 47 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 5.

ANGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESION (C) Y MODULO ELASTICO (E) SONDEO N°5							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,30	11	0,80	0,80	9	26,20	38,75	11760
2,00	10	1,50	0,70	7	24,85	33,33	10780
6,05	17	4,00	4,95	9	26,20	36,00	11760
12,20	41	9,00	6,15	15	28,93	49,76	14700

Fuente: Autores.

Tabla 48 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 6.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°6								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	2,50
1,30	12	0,90	0,80	9	26,20	38,75	11760	2,00
2,50	11	1,40	1,20	8	25,57	36,21	11270	2,00
6,05	21	4,00	3,55	11	27,27	43,07	12740	2,50
11,70	33	8,00	5,65	13	28,16	46,68	13720	2,00

Fuente: Autores.

Tabla 49 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 7.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°7								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	4,00
1,60	9	1,00	1,10	7	24,85	33,33	10780	3,00
2,50	9	2,00	0,90	6	24,03	30,01	10290	4,00
6,10	20	4,00	3,60	10	26,76	41,02	12250	4,50
11,50	34	7,00	5,40	14	28,56	48,27	14210	4,50

Fuente: Autores.

Tabla 50 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 8.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°8							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,60	12	1,00	1,10	9	26,20	38,75	11760
2,20	12	1,70	0,60	8	25,57	36,21	11270
6,50	21	4,00	4,30	11	27,27	43,07	12740
7,70	31	7,00	1,20	12	27,73	44,95	13230

Fuente: Autores.

Tabla 51 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 9.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°9								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	4,50
1,20	11	0,60	0,70	9	26,20	38,75	11760	4,50
2,50	10	1,40	1,30	8	25,57	36,21	11270	4,00
6,10	17	4,00	3,60	9	26,20	38,75	11760	4,50
11,20	32	8,00	5,10	12	27,73	44,95	13230	4,50

Fuente: Autores.

Tabla 52 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 10.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°10							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,25	9	0,80	0,75	7	24,85	33,33	10780
2,60	9	2,00	1,35	6	24,03	30,01	10290
6,20	14	4,00	3,60	7	24,85	33,33	10780
12,00	27	8,00	5,80	10	26,76	41,02	12250

Fuente: Autores.

Tabla 53 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 11.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°11								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	2,00
1,20	0	0,80	0,70	8	25,57	36,21	11270	1,00
2,60	10	2,00	1,40	7	24,85	33,33	10780	2,00
6,70	16	4,00	4,10	8	25,57	36,21	11270	2,00
12,00	33	8,00	5,30	13	28,16	46,68	13720	2,50

Fuente: Autores.

Tabla 54 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 12.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°12								
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)	PENETROMETRO
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-	2,00
1,20	10	0,60	0,70	8	25,57	36,21	11270	1,50
2,30	10	1,40	1,10	7	24,85	33,33	10780	2,50
6,00	16	4,00	3,70	8	25,57	36,21	11270	2,00
12,00	36	8,00	6,00	13	28,16	46,68	13720	2,50

Fuente: Autores.

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS OBTENIDOS POR MÉTODO DE CORRELACIÓN CON ENSAYO SPT SONDEOS MECÁNICOS.

Tabla 55 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 13.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°13							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,30	10	0,80	0,80	8	25,57	36,21	11270
2,50	10	2,00	1,20	7	24,85	33,33	10780
7,30	22	4,00	4,80	12	27,73	44,95	13230
15,00	39	9,00	7,70	15	28,93	49,76	14700

Fuente: Autores.

Tabla 56 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 14.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°14							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,30	10	0,80	0,80	8	25,57	36,21	11270
2,40	10	1,80	1,10	7	24,85	33,33	10780
7,48	19	4,00	5,08	10	26,76	41,02	12250
15,00	33	9,00	7,52	12	27,73	44,95	13230

Fuente: Autores.

Tabla 57 Angulo de fricción, cohesión y modulo elástico Sondeo 15.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) Y MÓDULO ELÁSTICO (E) SONDEO N°15							
Profundidad (m)	N	h(m)	Espesor de capa (m)	N(60)	Φ (°)	C(Kn/m2)	E(Kn/m2)
0,50	-	-	0,50	-	-	-	-
1,60	11	1,00	1,10	8	25,57	36,21	11270
2,50	11	2,00	0,90	7	24,85	33,33	10780
7,42	15	4,00	4,92	8	25,57	36,21	11270
15,00	32	8,00	7,58	12	27,73	44,95	13230

Fuente: Autores.

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO, SONDEOS MECÁNICOS.

Tabla 58 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 13.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) SONDEO N°13			
Profundidad (m)	Espesor de capa (m)	Φ (°) corregido	C(Kn/m2)
0,80	0,80	32,12	20,29
2,00	1,20	21,19	61,78
6,30	4,80	21,20	75,12
10,00	7,70	26,14	49,22

Fuente: Autores.

Tabla 59 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 14.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) SONDEO N°14			
Profundidad (m)	Espesor de capa (m)	Φ (°) corregido	C(Kn/m2)
1,00	6,00	33,53	22,65
2,10	5,00	20,12	58,83
6,00	5,00	23,48	52,74
11,00	4,00	26,12	48,51

Fuente: Autores.

Tabla 60 Angulo de fricción y cohesión a partir de ensayo de corte directo Sondeo 15.

ÁNGULO DE FRICCIÓN (Φ), COHESIÓN (C) SONDEO N°15			
Profundidad (m)	Espesor de capa (m)	Φ (°) corregido	C(Kn/m2)
1,00	7,00	33,43	21,38
2,20	3,50	22,38	55,39
7,00	3,50	25,27	58,79
10,50	4,50	27,17	48,87

Fuente: Autores.

5.7. CLASIFICACIÓN ENSAYO DE PENETRÓMETRO DE BOLSILLO.

Teniendo en cuenta la siguiente tabla de clasificación se define la resistencia a la penetración de los suelos encontrados en cada una de los sondeos del conjunto Ciudadela la Esperanza.

Tabla 61 Clasificación del suelo según la resistencia a la penetración con penetrómetro de bolsillo.

CLASE	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (Mpa)
BAJO	<0,1
Extremadamente bajo	<0,01
Muy bajo	0,01-0,1
INTERMEDIO	0,1-2
Bajo	0,1-1
Moderado	1,0-2,0
SUPERIOR	>2
Alto	2,0-4,0
Muy alto	4,0-8,0
Extremadamente alto	>8

Fuente: (USDA, 1993).

Partiendo de la información mencionada anteriormente se procede a ubicar las tablas en donde se encuentra clasificado el material de cada torre teniendo en cuenta las lecturas del penetrómetro de bolsillo tomadas en los sondeos mecánicos y sondeos manuales, realizando así un promedio del valor de cada capa de material.

Tabla 62. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 13.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO 13	SONDEO 13	SONDEO 13	SONDEO 13	SONDEO 13	SONDEO 13	SONDEO 13
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.5	3.0	3.5	4.5	2.0	2.0	2.5
3.0	3.0	3.5	4.0	2.5	2.5	2.5
3.0	3.5	4.0	4.0	2.5	2.0	2.5
3.5	3.5	4.0	4.5	2.0	2.5	2.5
3.0	3.0	4.0	4.5	2.0	2.5	3.0
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Tabla 63. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 14.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO 14	SONDEO 14	SONDEO 14	SONDEO 14	SONDEO 14	SONDEO 14	SONDEO 14
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.5	2.5	3.5	2.5	3.0	2.0	3.0
3.0	2.0	3.5	2.5	2.5	2.0	3.5
3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	2.0	3.5
3.5	2.5	4.0	3.0	3.0	2.5	4.0
4.0	3.0	4.0	3.0	2.5	2.5	3.5
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Tabla 64. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo 15.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO 15	SONDEO 15	SONDEO 15	SONDEO 15	SONDEO 15	SONDEO 15	SONDEO 15
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.5	2.5	3.5	3.0	4.0	2.5	3.5
3.0	2.5	4.0	2.0	3.5	2.0	3.0
3.0	2.0	3.0	2.0	3.5	2.5	3.5
3.5	3.0	3.0	2.5	3.0	3.0	3.5
4.0	2.5	3.5	2.5	3.5	3.0	3.0
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Tabla 65. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 1.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1	SONDEO Ad.1
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.0	3.5	3.0	4.0	3.5	3.0	4.0
3.0	3.0	2.5	3.5	3.0	2.5	3.0
2.5	3.5	2.5	3.5	3.5	2.5	3.0
3.0	3.5	3.0	3.0	4.0	3.5	2.5
3.5	3.0	2.5	3.0	4.0	2.5	3.5
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Tabla 66. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 2.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2	SONDEO Ad.2
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.0	2.5	3.5	3.0	4.0	3.0	3.5
3.0	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	3.0
3.0	3.0	3.5	3.0	3.5	3.0	3.0
3.0	3.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.5
3.5	3.0	2.5	3.0	3.5	3.0	3.0
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Tabla 67. Resultados de la clasificación del ensayo penetrómetro de bolsillo del sondeo Adicional 3.

Penetrómetro de Bolsillo						
SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3	SONDEO Ad.3
Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²	Lectura en Kg/cm²
3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	3.0	2.5
3.5	3.0	4.0	2.5	3.0	3.0	3.0
3.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.5	3.0
3.5	3.5	4.5	3.5	3.5	3.0	3.5
2.5	3.5	4.0	3.0	3.5	2.5	4.0
CLASE: SUPERIOR - ALTO						

Fuente: Autores.

Se tiene que el material encontrado hasta las profundidades de exploración de 15 metros se identifica como clase superior - alta, en todos los sondeos realizados en la Ciudadela la Esperanza.

5.8. CLASIFICACIÓN ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.

A continuación, se relacionan los valores de esfuerzo máximo que soportan las muestras tomadas en cada sondeo y a su vez se determina el valor de Su para así clasificar la resistencia del suelo teniendo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 68 Clasificación de la resistencia del suelo a partir de los datos obtenidos del ensayo de compresión inconfinada.

RESISTENCIA	qu (kg/cm2)
Muy blando	0-0,25
Blando	0,25-0,5
Medio	0,5-1,0
Firme	1,0-2,0
Muy Firme	2,0-4,0
Duro	>4,0

Fuente: caracterización de suelo, manual de cimentaciones superficiales y profunda para carreteras.

Tabla 69 Compresión inconfinada Sondeo 13.

SONDEO 13		
Profundidad (m)	qu (kg/cm2)	Su (kg/cm2)
1,00	0,185	0,093
4,00	0,308	0,154
8,00	0,554	0,277

Fuente: Autores.

Tabla 70 Compresión inconfinada Sondeo 14.

SONDEO 14		
Profundidad (m)	qu (kg/cm2)	Su (kg/cm2)
1,00	0,124	0,062
4,00	0,224	0,112
8,00	0,232	0,116

Fuente: Autores.

Tabla 71 Compresión inconfinada Sondeo 15.

SONDEO 15		
Profundidad (m)	qu (kg/cm2)	Su (kg/cm2)
1,00	0,178	0,089
4,00	0,232	0,116
8,00	0,427	0,213

Fuente: Autores.

De acuerdo con la clasificación propuesta en la tabla de clasificación de la resistencia del suelo a partir de los datos obtenidos del ensayo de compresión inconfinada se determina que la capa de suelo encontrada a 1 metro de profundidad se clasifica como de **resistencia muy blanda**; la capa de suelo a cuatro metros y 8 metros de profundidad se clasifica como suelos de **resistencia blanda**.

6. ANÁLISIS GEOTÉCNICO.

6.1. CAPACIDAD DE CARGA.

De acuerdo con los resultados de investigación del subsuelo en cuanto a resistencia, compresibilidad, condiciones hidráulicas y teniendo en cuenta las características estructurales del proyecto, se efectuaron los análisis de estabilidad (Capacidad Portante).

Alternativas de cimentación.

De acuerdo con la magnitud de sobrecargas del proyecto y el suelo de fundación, caracterizado geotécnicamente mediante este estudio: Se puede utilizar una estructura de cimentación superficial tipo convencional, conformada estribos que transmiten la carga hacia la otra parte que compone la cimentación que es la zapata.

Nivel o cota de cimentación.

La cota de fundación depende del nivel de desplante requerido, el cual está condicionado por las dimensiones estructurales de los elementos que conformen la cimentación; dimensiones que varían de acuerdo con la alternativa finalmente adoptada.

Capacidad portante.

Para la evaluación de la capacidad de soporte del suelo se utilizaron correlaciones con los resultados del ensayo SPT y las formulaciones de carga última (q_u) planteadas por Terzaghi, según correspondiera a suelos cohesivos saturados o suelos granulares. Suelos cohesivos y granulares para este caso.

Suelos Granulares.

Se determinó la capacidad de carga con base en los resultados de los ensayos de Penetración Standard, utilizando las ecuaciones donde se relaciona N con presión permisible para zapatas de diferentes anchuras desarrolladas por Terzaghi y Peck.

Suelos Cohesivos.

Se considera el comportamiento del suelo como cohesivo en los casos en que se predomine la presencia de arcilla y limo arcillosos plásticos.

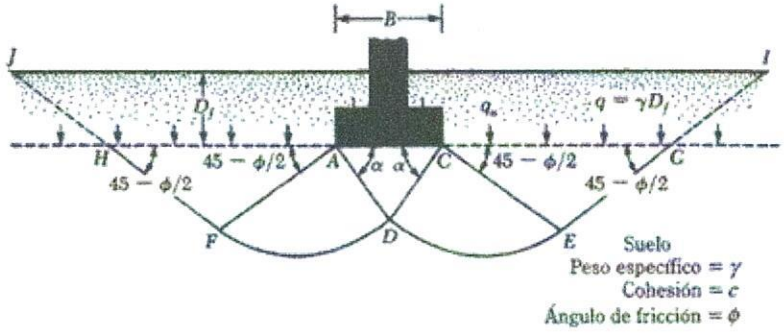
A continuación, se presentan una serie de tablas de la capacidad portante admisible y coeficiente de balasto en cada uno de los sondeos realizados para suelos arcillosos y granulares. – zapatas aisladas o corridas.

6.2. CAPACIDAD PORTANTE.

Se recomienda dimensionar la cimentación para las condiciones más críticas de carga adoptando una capacidad portante neta de seguridad.

El esfuerzo límite básico de falla de cimentaciones superficiales puede calcularse de acuerdo con la siguiente formulación: (Terzaghi).

FIG. 35 Esquema de análisis capacidad portante.



Fuente: Terzaghi.

$$qu = C\,N_c + q\,N_q + \frac{1}{2}\,\gamma\,B\,N_\gamma$$

Donde Nc, Nq y Ng son factores adimensionales de capacidad portante calculados según las siguientes ecuaciones:

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4}-\frac{\phi}{2}\right)*\tan(\phi)}}{2cos^2(45+\phi/2)}$$

$$N_c = \cot(\phi) * (N_q - 1)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2}\left(\frac{k_{p\gamma}}{cos^2\phi} - 1\right) * \tan(\phi)$$

$$K_{p\gamma} = 3 * tan^2\left(45 + \frac{\phi + 33}{2}\right)$$

Donde:

QU = CAPACIDAD PORTANTE TOTAL ULTIMA.

NC = FACTOR DE CAPACIDAD PORTANTE, TÉRMINO DE COHESIÓN.

NQ = FACTOR DE CAPACIDAD PORTANTE, TÉRMINO DE CONFINAMIENTO.

NG = FACTOR DE CAPACIDAD PORTANTE, TÉRMINO DE SOBRECARGA.

DF = PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN.

B = ANCHO DE LA ZAPATA.

C = COHESIÓN DEL SUELO.

Φ = ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO.

Consideraciones Adicionales.

Para la determinación del esfuerzo admisible o esfuerzo neto de seguridad (qu adm), se determina primero el esfuerzo neto de sobrecarga (qu neto), el cual es el resultado de la diferencia entre la capacidad portante o esfuerzo total último (qu) y el esfuerzo de sobre capa al nivel de fundación q (g * Df). Luego se determina el esfuerzo o capacidad portante neta de seguridad (q adm), teniendo en cuenta un factor de seguridad de 3 de acuerdo con los indicados en el capítulo H.4.7.1 de la norma NSR – 10.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

6.2.1. Cálculo de capacidad portante con datos de correlación.

CÁLCULO PARA SONDEOS MANUALES.

Tabla 72 Capacidad de carga admisible Sondeo1.

SONDEO 1												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,80	344,57	352,87	366,15	396,03	412,63	429,23	33,33	13,93	12,51	24,86	9,93	20,06
1,00	359,97	368,27	381,55	411,42	428,02	444,62	33,33	17,94	12,51	24,86	9,93	20,06
1,20	375,36	383,66	396,94	426,82	443,42	460,02	33,33	21,95	12,51	24,86	9,93	20,06
1,50	398,46	406,76	420,04	449,92	466,52	483,11	33,33	27,97	12,51	24,86	9,93	20,06
1,60	349,48	356,10	366,70	390,53	403,78	417,02	30,01	29,75	11,43	23,41	8,93	17,80
1,80	361,86	368,48	379,08	402,91	416,16	429,40	30,01	33,31	11,43	23,41	8,93	17,80
2,00	374,24	380,87	391,46	415,30	428,54	441,78	30,01	36,87	11,43	23,41	8,93	17,80
2,20	386,63	393,25	403,84	427,68	440,92	454,16	30,01	40,43	11,43	23,41	8,93	17,80
2,40	458,86	466,39	478,44	505,55	520,61	535,67	33,33	44,07	12,51	24,86	9,93	18,20
2,50	465,85	473,38	485,42	512,53	527,59	542,65	33,33	45,89	12,51	24,86	9,93	18,20
2,80	486,80	494,33	506,38	533,49	548,55	563,60	33,33	51,35	12,51	24,86	9,93	18,20
3,00	500,77	508,30	520,35	547,45	562,51	577,57	33,33	54,99	12,51	24,86	9,93	18,20
3,50	535,69	543,22	555,27	582,38	597,44	612,50	33,33	64,09	12,51	24,86	9,93	18,20
4,00	570,62	578,15	590,19	617,30	632,36	647,42	33,33	73,19	12,51	24,86	9,93	18,20
4,50	605,54	613,07	625,12	652,22	667,28	682,34	33,33	82,29	12,51	24,86	9,93	18,20
5,00	640,46	647,99	660,04	687,15	702,21	717,27	33,33	91,39	12,51	24,86	9,93	18,20
5,50	675,38	682,91	694,96	722,07	737,13	752,19	33,33	100,49	12,51	24,86	9,93	18,20
6,00	710,31	717,84	729,88	756,99	772,05	787,11	33,33	109,59	12,51	24,86	9,93	18,20
7,00	1264,50	1277,55	1298,45	1345,45	1371,57	1397,68	46,68	129,99	18,14	32,02	15,36	20,40
8,00	1342,14	1355,37	1376,54	1424,17	1450,63	1477,09	46,68	143,52	18,14	32,02	15,36	20,67
9,00	1405,73	1418,97	1440,13	1487,76	1514,23	1540,69	46,68	154,65	18,14	32,02	15,36	20,67
10,00	1467,79	1481,02	1502,19	1549,82	1576,28	1602,74	46,68	165,51	18,14	32,02	15,36	20,67
11,00	1529,85	1543,08	1564,25	1611,88	1638,34	1664,80	46,68	176,37	18,14	32,02	15,36	20,67
12,00	1591,90	1605,13	1626,30	1673,93	1700,39	1726,85	46,68	187,23	18,14	32,02	15,36	20,67

Fuente: Autores.

Gráfica 7. q adm VS Df Sondeo 1.



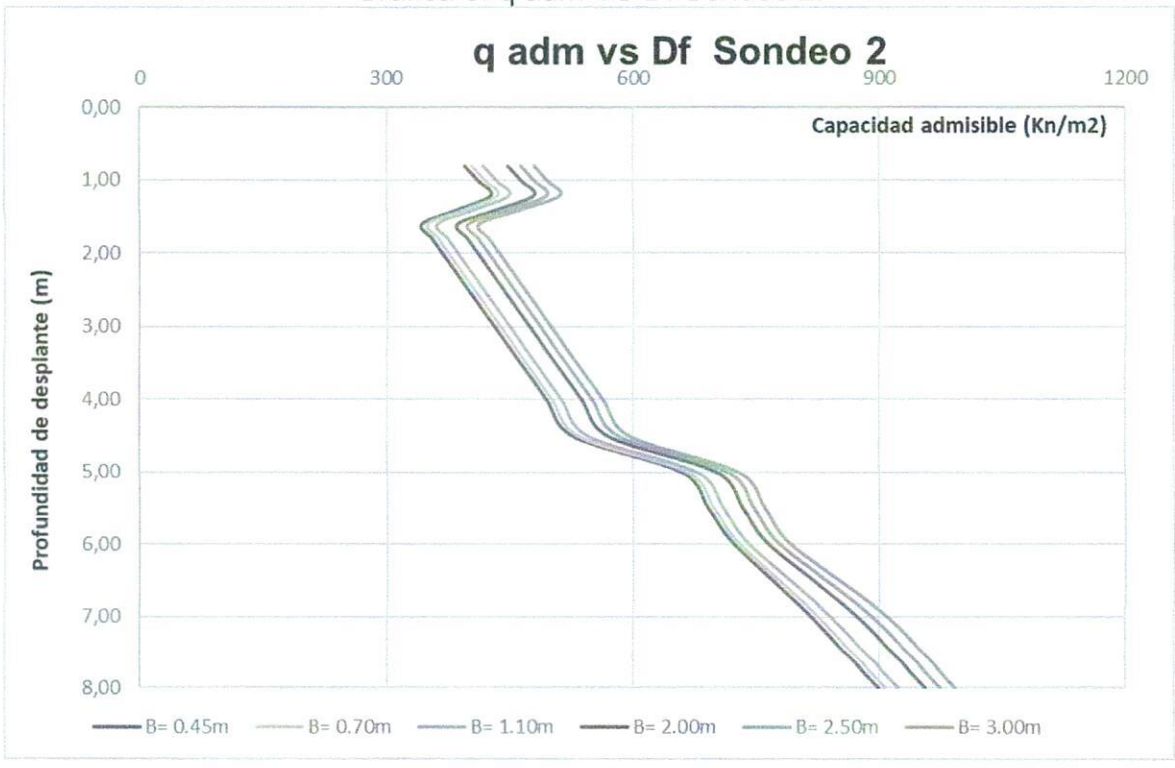
Fuente: Autores.

Tabla 73 Capacidad de carga admisible Sondeo 2.

SONDEO 2												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,80	395,78	404,08	417,35	447,23	463,82	480,42	36,21	14,12	12,98	26,88	9,90	20,12
1,00	411,85	420,15	433,43	463,30	479,90	496,49	36,21	18,14	12,98	26,88	9,90	20,12
1,20	427,93	436,22	449,50	479,37	495,97	512,56	36,21	22,17	12,98	26,88	9,90	20,12
1,40	387,05	394,54	406,51	433,45	448,42	463,39	36,21	26,19	11,43	23,41	8,93	20,12
1,60	343,71	350,48	361,31	385,68	399,22	412,76	30,01	28,01	11,43	23,41	8,93	18,20
1,80	356,37	363,14	373,97	398,34	411,88	425,42	30,01	31,65	11,43	23,41	8,93	18,20
2,00	369,02	375,79	386,63	411,00	424,54	438,08	30,01	35,29	11,43	23,41	8,93	18,20
2,20	381,68	388,45	399,29	423,66	437,20	450,74	30,01	38,93	11,43	23,41	8,93	18,20
2,40	394,34	401,11	411,94	436,32	449,86	463,40	30,01	42,57	11,43	23,41	8,93	18,20
2,60	407,00	413,77	424,60	448,97	462,51	476,05	30,01	46,21	11,43	23,41	8,93	18,20
2,80	419,66	426,43	437,26	461,63	475,17	488,71	30,01	49,85	11,43	23,41	8,93	18,20
3,00	432,32	439,09	449,92	474,29	487,83	501,37	30,01	53,49	11,43	23,41	8,93	18,20
3,50	463,97	470,74	481,57	505,94	519,48	533,02	30,01	62,59	11,43	23,41	8,93	18,20
4,00	495,62	502,39	513,22	537,59	551,13	564,67	30,01	71,69	11,43	23,41	8,93	18,20
4,50	527,26	534,03	544,86	569,24	582,78	596,32	30,01	80,79	11,43	23,41	8,93	18,20
5,00	660,87	667,64	678,47	702,84	716,38	729,92	43,07	89,89	11,43	23,41	8,93	18,20
5,50	692,51	699,28	710,12	734,49	748,03	761,57	43,07	98,99	11,43	23,41	8,93	18,20
6,00	724,16	730,93	741,76	766,13	779,67	793,21	43,07	108,09	11,43	23,41	8,93	18,20
7,00	817,44	826,60	841,24	874,20	892,51	910,81	43,07	125,20	12,51	22,33	10,91	20,13
8,00	899,04	908,26	923,00	956,16	974,59	993,02	43,07	146,44	12,51	22,33	10,91	20,26

Fuente: Autores.

Gráfica 8. q adm VS Df Sondeo 2.



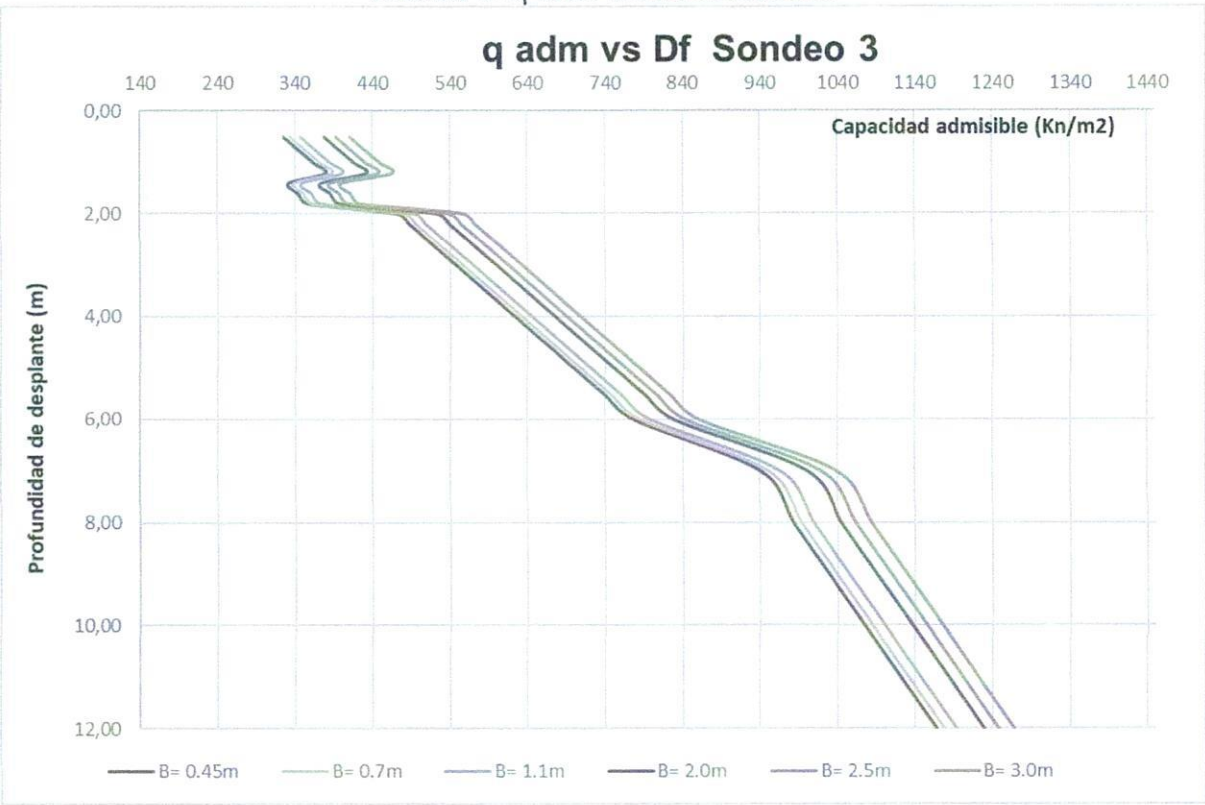
Fuente: Autores

Tabla 74 Capacidad de carga admisible Sondeo 3.

SONDEO 3												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	325,65	333,97	347,27	377,21	393,84	410,47	33,33	8,99	12,51	24,86	9,93	20,10
0,60	333,36	341,68	354,99	384,92	401,55	418,19	33,33	11,00	12,51	24,86	9,93	20,10
0,80	348,79	357,11	370,41	400,35	416,98	433,61	33,33	15,02	12,51	24,86	9,93	20,10
1,00	364,22	372,54	385,84	415,78	432,41	449,04	33,33	19,04	12,51	24,86	9,93	20,10
1,20	379,65	387,96	401,27	431,21	447,84	464,47	33,33	23,06	12,51	24,86	9,93	20,10
1,40	332,21	338,76	349,24	372,83	385,93	399,03	30,01	24,82	11,43	23,41	8,93	17,61
1,60	344,46	351,01	361,49	385,07	398,18	411,28	30,01	28,34	11,43	23,41	8,93	17,61
1,80	356,71	363,26	373,74	397,32	410,42	423,53	30,01	31,87	11,43	23,41	8,93	17,61
2,00	472,10	480,37	493,61	523,40	539,96	556,51	36,21	33,69	13,54	26,21	10,89	18,23
2,20	487,34	495,61	508,85	538,64	555,20	571,75	36,21	37,33	13,54	26,21	10,89	18,23
2,40	502,58	510,85	524,09	553,88	570,44	586,99	36,21	40,98	13,54	26,21	10,89	18,23
2,60	517,82	526,09	539,33	569,12	585,68	602,23	36,21	44,63	13,54	26,21	10,89	18,23
2,80	533,06	541,33	554,57	584,36	600,92	617,47	36,21	48,27	13,54	26,21	10,89	18,23
3,00	548,30	556,57	569,81	599,60	616,16	632,71	36,21	51,92	13,54	26,21	10,89	18,23
3,50	586,40	594,67	607,91	637,70	654,26	670,81	36,21	61,03	13,54	26,21	10,89	18,23
4,00	624,50	632,77	646,01	675,80	692,36	708,91	36,21	70,15	13,54	26,21	10,89	18,23
4,50	662,60	670,87	684,11	713,90	730,46	747,01	36,21	79,26	13,54	26,21	10,89	18,23
5,00	700,70	708,97	722,21	752,00	768,56	785,11	36,21	88,38	13,54	26,21	10,89	18,23
5,50	738,80	747,07	760,31	790,10	806,66	823,21	36,21	97,49	13,54	26,21	10,89	18,23
6,00	776,90	785,17	798,41	828,20	844,76	861,31	36,21	106,61	13,54	26,21	10,89	18,23
7,00	940,64	950,24	965,60	1000,15	1019,34	1038,54	38,75	126,08	14,52	27,49	11,83	19,47
8,00	982,70	992,58	1008,40	1043,98	1063,74	1083,51	38,75	135,29	14,52	27,49	11,83	20,05
9,00	1028,86	1038,74	1054,56	1090,14	1109,90	1129,67	38,75	145,53	14,52	27,49	11,83	20,05
10,00	1075,02	1084,90	1100,72	1136,29	1156,06	1175,83	38,75	155,77	14,52	27,49	11,83	20,05
11,00	1121,18	1131,06	1146,87	1182,45	1202,22	1221,99	38,75	166,01	14,52	27,49	11,83	20,05
12,00	1167,34	1177,22	1193,03	1228,61	1248,38	1268,15	38,75	176,25	14,52	27,49	11,83	20,05

Fuente: Autores.

Gráfica 9. q adm VS Df Sondeo 3.



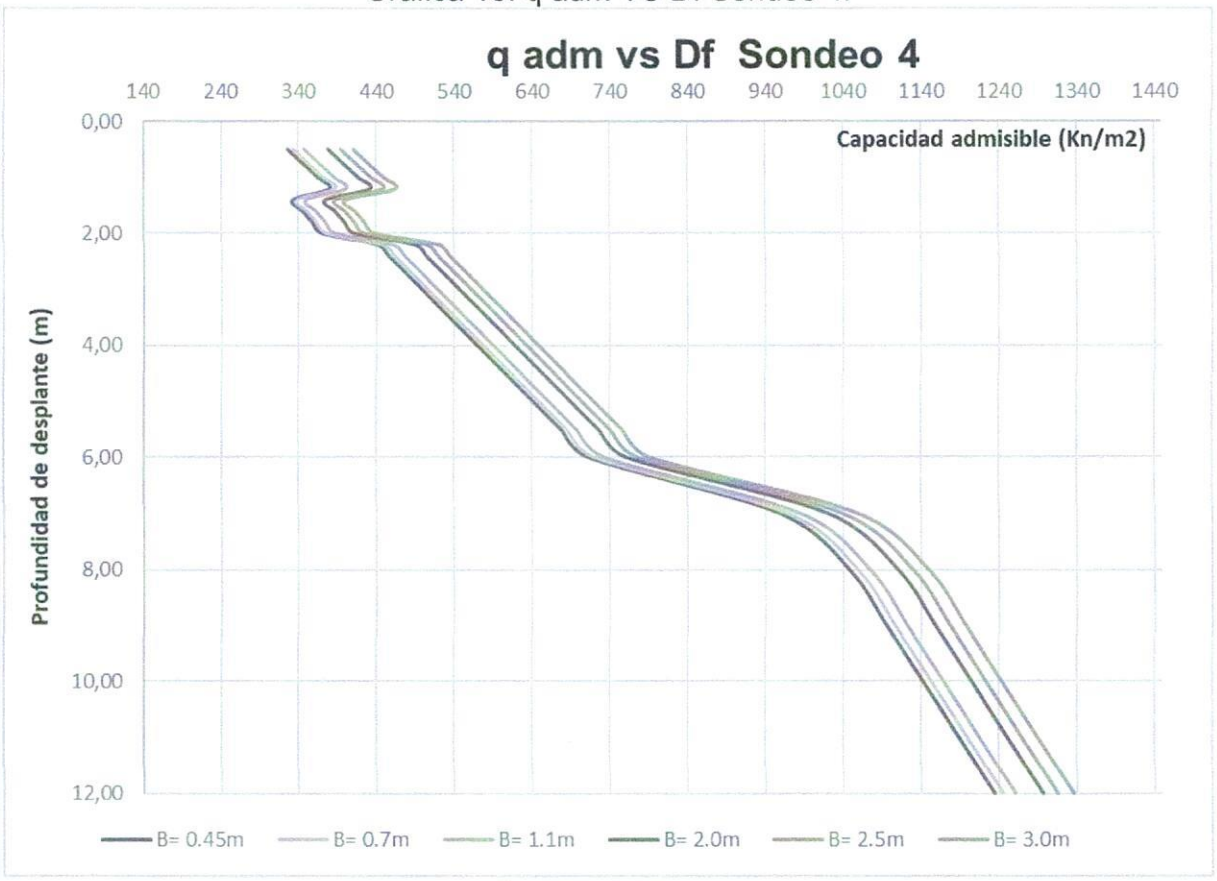
Fuente: Autores.

Tabla 75 Capacidad de carga admisible Sondeo 4.

SONDEO 4												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	325,75	334,06	347,35	377,26	393,87	410,49	33,33	9,02	12,51	24,86	9,93	20,08
0,60	333,46	341,76	355,06	384,96	401,58	418,20	33,33	11,03	12,51	24,86	9,93	20,08
0,80	348,87	357,18	370,47	400,38	416,99	433,61	33,33	15,04	12,51	24,86	9,93	20,08
1,00	364,28	372,59	385,88	415,79	432,40	449,02	33,33	19,06	12,51	24,86	9,93	20,08
1,20	379,69	388,00	401,29	431,20	447,82	464,43	33,33	23,08	12,51	24,86	9,93	20,08
1,40	332,48	339,11	349,72	373,58	386,84	400,09	30,01	24,86	11,43	23,41	8,93	17,82
1,60	344,88	351,51	362,11	385,97	399,23	412,49	30,01	28,42	11,43	23,41	8,93	17,82
1,80	357,27	363,90	374,51	398,37	411,63	424,88	30,01	31,99	11,43	23,41	8,93	17,82
2,00	369,67	376,30	386,90	410,76	424,02	437,28	30,01	35,55	11,43	23,41	8,93	17,82
2,20	440,80	448,51	460,85	488,61	504,04	519,46	33,33	39,28	12,51	24,86	9,93	18,64
2,40	455,11	462,82	475,16	502,92	518,34	533,77	33,33	43,01	12,51	24,86	9,93	18,64
2,60	469,41	477,12	489,46	517,23	532,65	548,07	33,33	46,73	12,51	24,86	9,93	18,64
2,80	483,72	491,43	503,77	531,53	546,96	562,38	33,33	50,46	12,51	24,86	9,93	18,64
3,00	498,03	505,74	518,08	545,84	561,26	576,69	33,33	54,19	12,51	24,86	9,93	18,64
3,50	533,79	541,51	553,85	581,61	597,03	612,46	33,33	63,51	12,51	24,86	9,93	18,64
4,00	569,56	577,27	589,61	617,38	632,80	648,22	33,33	72,83	12,51	24,86	9,93	18,64
4,50	605,33	613,04	625,38	653,14	668,57	683,99	33,33	82,15	12,51	24,86	9,93	18,64
5,00	641,10	648,81	661,15	688,91	704,33	719,76	33,33	91,47	12,51	24,86	9,93	18,64
5,50	676,86	684,58	696,91	724,68	740,10	755,52	33,33	100,79	12,51	24,86	9,93	18,64
6,00	712,63	720,34	732,68	760,44	775,87	791,29	33,33	110,11	12,51	24,86	9,93	18,64
7,00	958,86	968,68	984,39	1019,74	1039,37	1059,01	38,75	130,03	14,52	27,49	11,83	19,92
8,00	1048,83	1058,75	1074,61	1110,32	1130,15	1149,99	38,75	149,95	14,52	27,49	11,83	20,12
9,00	1096,20	1106,12	1121,99	1157,69	1177,53	1197,36	38,75	160,46	14,52	27,49	11,83	20,12
10,00	1142,68	1152,60	1168,46	1204,17	1224,00	1243,84	38,75	170,77	14,52	27,49	11,83	20,12
11,00	1189,15	1199,07	1214,94	1250,64	1270,48	1290,31	38,75	181,08	14,52	27,49	11,83	20,12
12,00	1235,63	1245,55	1261,41	1297,12	1316,95	1336,79	38,75	191,39	14,52	27,49	11,83	20,12

Fuente: Autores.

Gráfica 10. q adm VS Df Sondeo 4.



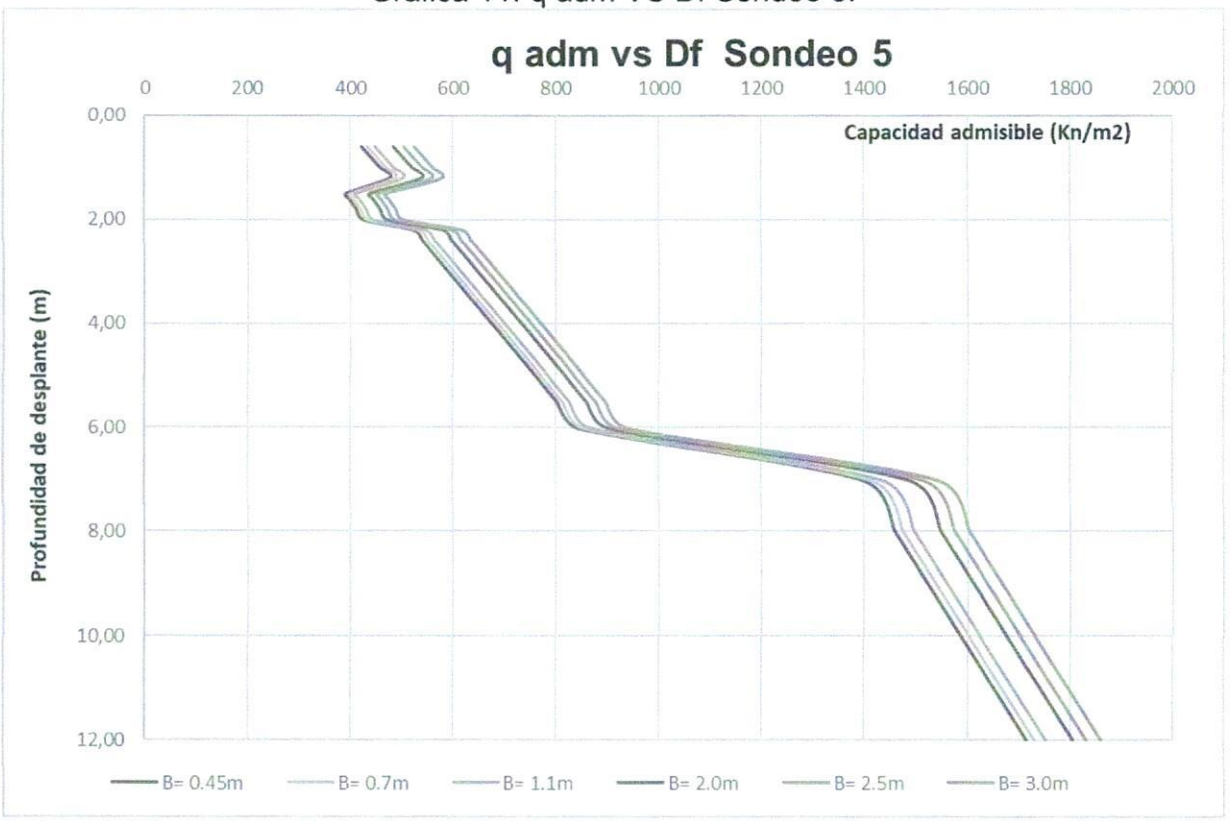
Fuente: Autores.

Tabla 76 Capacidad de carga admisible Sondeo 5.

SONDEO 5												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	413,75	423,68	439,56	475,30	495,16	515,01	38,75	9,06	14,52	27,49	11,83	20,14
0,60	422,83	432,76	448,64	484,38	504,24	524,09	38,75	11,07	14,52	27,49	11,83	20,14
0,80	440,99	450,92	466,80	502,54	522,39	542,25	38,75	15,10	14,52	27,49	11,83	20,14
1,00	459,15	469,07	484,96	520,70	540,55	560,41	38,75	19,13	14,52	27,49	11,83	20,14
1,20	477,30	487,23	503,11	538,85	558,71	578,56	38,75	23,16	14,52	27,49	11,83	20,14
1,50	392,17	399,59	411,46	438,16	453,00	467,83	33,33	26,74	12,51	24,86	9,93	17,93
1,60	399,05	406,47	418,34	445,04	459,88	474,72	33,33	28,54	12,51	24,86	9,93	17,93
1,80	412,81	420,23	432,10	458,80	473,64	488,48	33,33	32,12	12,51	24,86	9,93	17,93
2,00	426,57	433,99	445,86	472,57	487,40	502,24	33,33	35,71	12,51	24,86	9,93	17,93
2,20	524,33	533,57	548,34	581,57	600,04	618,50	36,00	39,46	14,52	27,49	11,83	18,73
2,40	541,22	550,45	565,22	598,46	616,93	635,39	36,00	43,20	14,52	27,49	11,83	18,73
2,60	558,11	567,34	582,11	615,35	633,81	652,28	36,00	46,95	14,52	27,49	11,83	18,73
2,80	574,99	584,22	599,00	632,23	650,70	669,16	36,00	50,69	14,52	27,49	11,83	18,73
3,00	591,88	601,11	615,88	649,12	667,58	686,05	36,00	54,44	14,52	27,49	11,83	18,73
3,50	634,09	643,32	658,10	691,33	709,80	728,26	36,00	63,80	14,52	27,49	11,83	18,73
4,00	676,31	685,54	700,31	733,55	752,01	770,48	36,00	73,17	14,52	27,49	11,83	18,73
4,50	718,52	727,75	742,53	775,76	794,23	812,69	36,00	82,53	14,52	27,49	11,83	18,73
5,00	760,74	769,97	784,74	817,98	836,44	854,91	36,00	91,90	14,52	27,49	11,83	18,73
5,50	802,95	812,18	826,96	860,19	878,66	897,12	36,00	101,26	14,52	27,49	11,83	18,73
6,00	845,17	854,40	869,17	902,41	920,87	939,34	36,00	110,63	14,52	27,49	11,83	18,73
7,00	1397,05	1411,25	1433,98	1485,13	1513,54	1541,96	49,76	128,64	19,82	34,04	17,04	20,01
8,00	1461,02	1475,22	1497,95	1549,10	1577,51	1605,93	49,76	138,84	19,82	34,04	17,04	20,01
9,00	1524,99	1539,19	1561,93	1613,07	1641,49	1669,90	49,76	149,04	19,82	34,04	17,04	20,01
10,00	1588,96	1603,17	1625,90	1677,04	1705,46	1733,87	49,76	159,24	19,82	34,04	17,04	20,01
11,00	1652,93	1667,14	1689,87	1741,01	1769,43	1797,84	49,76	169,44	19,82	34,04	17,04	20,01
12,00	1716,90	1731,11	1753,84	1804,98	1833,40	1861,81	49,76	179,64	19,82	34,04	17,04	20,01

Fuente: Autores.

Gráfica 11. q adm VS Df Sondeo 5.



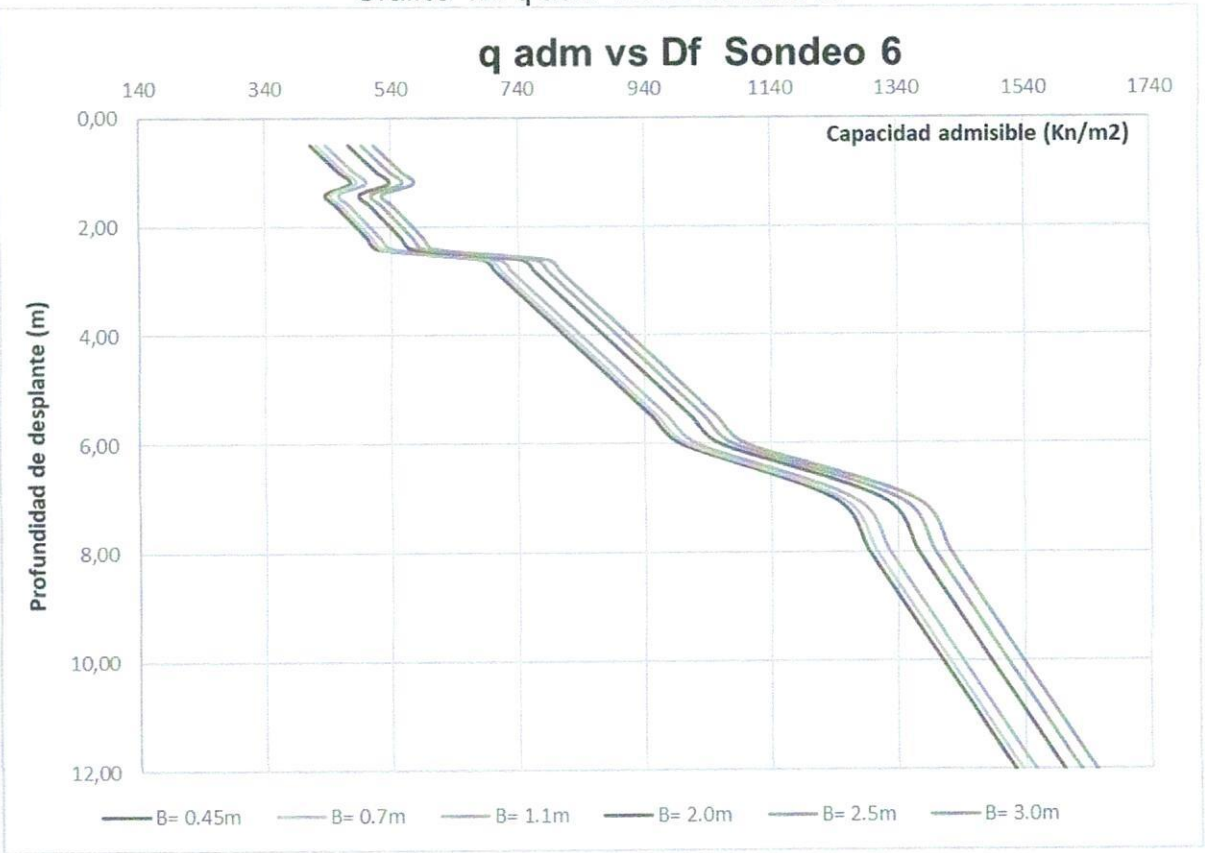
Fuente: Autores.

Tabla 77 Capacidad de carga admisible Sondeo 6.

SONDEO 6												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	411,76	421,69	437,58	473,34	493,20	513,07	38,75	8,62	14,52	27,49	11,83	20,15
0,90	448,09	458,02	473,91	509,67	529,53	549,40	38,75	16,68	14,52	27,49	11,83	20,15
1,00	457,17	467,10	483,00	518,75	538,62	558,48	38,75	18,69	14,52	27,49	11,83	20,15
1,20	475,34	485,27	501,16	536,92	556,78	576,65	38,75	22,72	14,52	27,49	11,83	20,15
1,40	435,65	444,58	458,87	491,01	508,87	526,73	36,21	24,69	13,54	26,21	10,89	19,67
1,60	452,09	461,02	475,31	507,45	525,31	543,17	36,21	28,62	13,54	26,21	10,89	19,67
1,80	468,54	477,47	491,75	523,90	541,76	559,61	36,21	32,56	13,54	26,21	10,89	19,67
2,00	484,98	493,91	508,20	540,34	558,20	576,06	36,21	36,49	13,54	26,21	10,89	19,67
2,20	501,42	510,35	524,64	556,79	574,64	592,50	36,21	40,42	13,54	26,21	10,89	19,67
2,40	517,87	526,80	541,08	573,23	591,09	608,95	36,21	44,36	13,54	26,21	10,89	19,67
2,60	683,76	693,99	710,36	747,18	767,64	788,10	43,07	46,16	16,39	29,85	13,63	18,01
2,80	702,23	712,46	728,83	765,65	786,11	806,57	43,07	49,76	16,39	29,85	13,63	18,01
3,00	720,71	730,94	747,30	784,13	804,59	825,05	43,07	53,36	16,39	29,85	13,63	18,01
3,50	766,89	777,12	793,49	830,31	850,77	871,23	43,07	62,37	16,39	29,85	13,63	18,01
4,00	813,08	823,31	839,67	876,50	896,96	917,42	43,07	71,37	16,39	29,85	13,63	18,01
4,50	859,26	869,49	885,86	922,69	943,14	963,60	43,07	80,38	16,39	29,85	13,63	18,01
5,00	905,45	915,68	932,05	968,87	989,33	1009,79	43,07	89,38	16,39	29,85	13,63	18,01
5,50	951,64	961,86	978,23	1015,06	1035,52	1055,97	43,07	98,39	16,39	29,85	13,63	18,01
6,00	997,82	1008,05	1024,42	1061,24	1081,70	1102,16	43,07	107,39	16,39	29,85	13,63	18,01
7,00	1236,95	1249,66	1270,00	1315,76	1341,19	1366,61	46,68	125,28	18,14	32,02	15,36	19,86
8,00	1294,38	1307,09	1327,43	1373,19	1398,61	1424,04	46,68	135,33	18,14	32,02	15,36	19,86
9,00	1351,80	1364,51	1384,85	1430,62	1456,04	1481,47	46,68	145,38	18,14	32,02	15,36	19,86
10,00	1409,23	1421,94	1442,28	1488,05	1513,47	1538,89	46,68	155,43	18,14	32,02	15,36	19,86
11,00	1466,66	1479,37	1499,71	1545,47	1570,90	1596,32	46,68	165,48	18,14	32,02	15,36	19,86
12,00	1524,08	1536,80	1557,14	1602,90	1628,32	1653,75	46,68	175,53	18,14	32,02	15,36	19,86

Fuente: Autores.

Gráfica 12. q adm VS Df Sondeo 6.



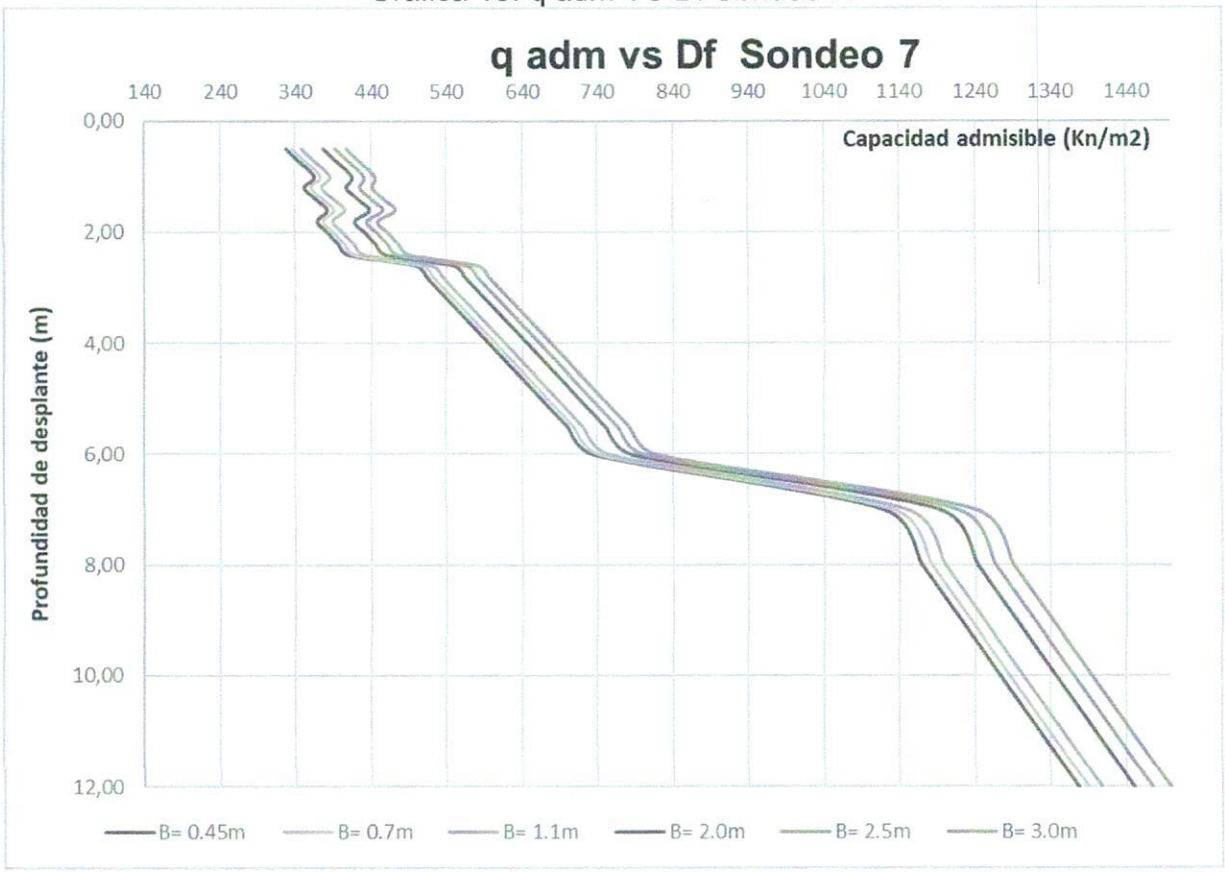
Fuente: Autores.

Tabla 78 Capacidad de carga admisible Sondeo 7.

SONDEO 7												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	327,87	335,75	348,36	376,74	392,50	408,27	33,33	8,98	12,24	25,21	9,43	20,06
0,60	335,38	343,26	355,88	384,25	400,01	415,78	33,33	10,99	12,24	25,21	9,43	20,06
0,70	342,90	350,78	363,39	391,76	407,53	423,29	33,33	12,99	12,24	25,21	9,43	20,06
1,00	365,44	373,32	385,93	414,30	430,07	445,83	33,33	19,01	12,24	25,21	9,43	20,06
1,20	352,48	361,32	375,47	407,29	424,98	442,66	33,33	23,02	12,33	22,47	10,58	20,06
1,40	367,63	376,47	390,62	422,45	440,13	457,81	33,33	27,03	12,33	22,47	10,58	20,06
1,60	382,78	391,62	405,77	437,60	455,28	472,96	33,33	31,05	12,33	22,47	10,58	20,06
1,80	369,59	377,45	390,02	418,31	434,03	449,74	30,01	34,61	12,33	22,47	10,58	17,83
2,00	383,06	390,91	403,49	431,78	447,49	463,21	30,01	38,18	12,33	22,47	10,58	17,83
2,20	396,52	404,38	416,95	445,24	460,96	476,68	30,01	41,74	12,33	22,47	10,58	17,83
2,40	409,99	417,85	430,42	458,71	474,43	490,14	30,01	45,31	12,33	22,47	10,58	17,83
2,60	499,78	507,86	520,77	549,84	565,99	582,14	41,02	47,14	12,33	22,47	10,58	18,32
2,80	513,62	521,69	534,61	563,68	579,83	595,98	41,02	50,81	12,33	22,47	10,58	18,32
3,00	527,45	535,53	548,45	577,52	593,66	609,81	41,02	54,47	12,33	22,47	10,58	18,32
3,50	562,05	570,12	583,04	612,11	628,26	644,41	41,02	63,63	12,33	22,47	10,58	18,32
4,00	596,64	604,71	617,63	646,70	662,85	679,00	41,02	72,79	12,33	22,47	10,58	18,32
4,50	631,23	639,31	652,23	681,29	697,44	713,59	41,02	81,95	12,33	22,47	10,58	18,32
5,00	665,82	673,90	686,82	715,88	732,03	748,18	41,02	91,11	12,33	22,47	10,58	18,32
5,50	700,42	708,49	721,41	750,48	766,63	782,77	41,02	100,27	12,33	22,47	10,58	18,32
6,00	735,01	743,08	756,00	785,07	801,22	817,37	41,02	109,43	12,33	22,47	10,58	18,32
7,00	1118,09	1129,93	1148,88	1191,50	1215,18	1238,86	48,27	126,43	16,30	28,10	14,22	19,98
8,00	1169,94	1181,78	1200,73	1243,35	1267,03	1290,71	48,27	136,60	16,30	28,10	14,22	19,98
9,00	1221,79	1233,63	1252,58	1295,20	1318,88	1342,57	48,27	146,77	16,30	28,10	14,22	19,98
10,00	1273,64	1285,48	1304,43	1347,05	1370,73	1394,42	48,27	156,94	16,30	28,10	14,22	19,98
11,00	1325,49	1337,33	1356,28	1398,90	1422,59	1446,27	48,27	167,11	16,30	28,10	14,22	19,98
12,00	1377,34	1389,18	1408,13	1450,75	1474,44	1498,12	48,27	177,28	16,30	28,10	14,22	19,98

Fuente: Autores.

Gráfica 13. q adm VS Df Sondeo 7.



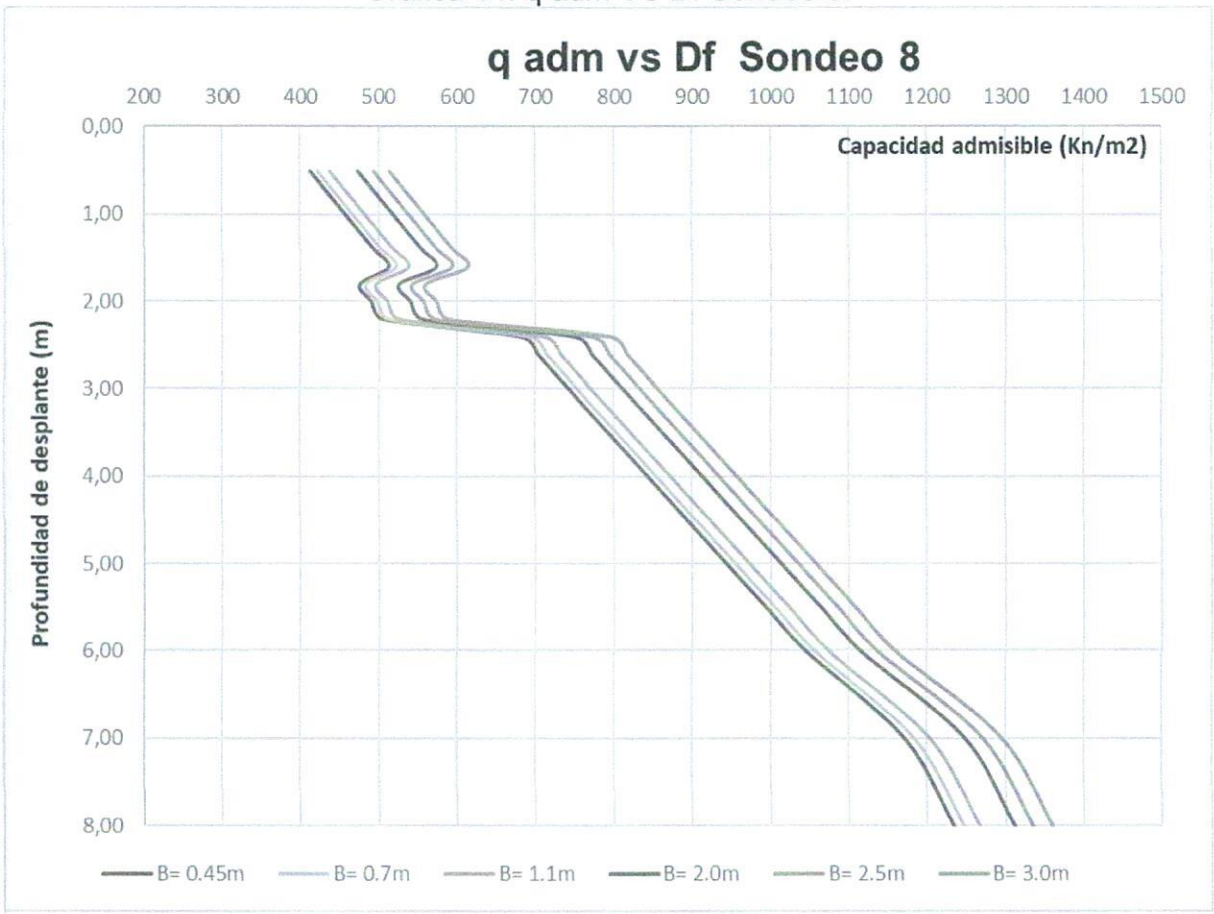
Fuente: Autores.

Tabla 79 Capacidad de carga admisible Sondeo 8.

SONDEO 8												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	412,53	422,44	438,31	473,99	493,82	513,64	38,75	8,80	14,52	27,49	11,83	20,11
0,60	421,60	431,51	447,37	483,06	502,88	522,71	38,75	10,81	14,52	27,49	11,83	20,11
0,70	430,66	440,57	456,44	492,12	511,95	531,77	38,75	12,82	14,52	27,49	11,83	20,11
1,00	457,86	467,77	483,63	519,32	539,14	558,97	38,75	18,85	14,52	27,49	11,83	20,11
1,20	475,99	485,90	501,76	537,45	557,27	577,10	38,75	22,87	14,52	27,49	11,83	20,11
1,40	494,12	504,03	519,89	555,58	575,40	595,23	38,75	26,89	14,52	27,49	11,83	20,11
1,60	512,25	522,16	538,02	573,71	593,53	613,36	38,75	30,92	14,52	27,49	11,83	20,11
1,80	475,42	483,60	496,70	526,16	542,53	558,90	36,21	34,52	13,54	26,21	10,89	18,03
2,00	490,49	498,68	511,77	541,24	557,61	573,98	36,21	38,13	13,54	26,21	10,89	18,03
2,20	505,56	513,75	526,84	556,31	572,68	589,05	36,21	41,73	13,54	26,21	10,89	18,03
2,40	682,94	694,12	711,99	752,21	774,55	796,90	43,07	45,67	16,39	29,85	13,63	19,67
2,60	703,12	714,29	732,17	772,39	794,73	817,08	43,07	49,60	16,39	29,85	13,63	19,67
2,80	723,30	734,47	752,34	792,56	814,91	837,25	43,07	53,54	16,39	29,85	13,63	19,67
3,00	743,47	754,65	772,52	812,74	835,09	857,43	43,07	57,47	16,39	29,85	13,63	19,67
3,50	793,92	805,09	822,96	863,18	885,53	907,87	43,07	67,31	16,39	29,85	13,63	19,67
4,00	844,36	855,53	873,41	913,63	935,97	958,32	43,07	77,14	16,39	29,85	13,63	19,67
4,50	894,80	905,97	923,85	964,07	986,41	1008,76	43,07	86,98	16,39	29,85	13,63	19,67
5,00	945,24	956,42	974,29	1014,51	1036,86	1059,20	43,07	96,81	16,39	29,85	13,63	19,67
5,50	995,69	1006,86	1024,73	1064,95	1087,30	1109,64	43,07	106,65	16,39	29,85	13,63	19,67
6,00	1046,13	1057,30	1075,18	1115,40	1137,74	1160,09	43,07	116,48	16,39	29,85	13,63	19,67
7,00	1172,38	1184,55	1204,04	1247,88	1272,23	1296,59	44,95	126,56	17,28	30,96	14,50	20,15
8,00	1235,10	1247,40	1267,07	1311,35	1335,95	1360,54	44,95	138,08	17,28	30,96	14,50	20,35

Fuente: Autores.

Gráfica 14. q adm VS Df Sondeo 8.



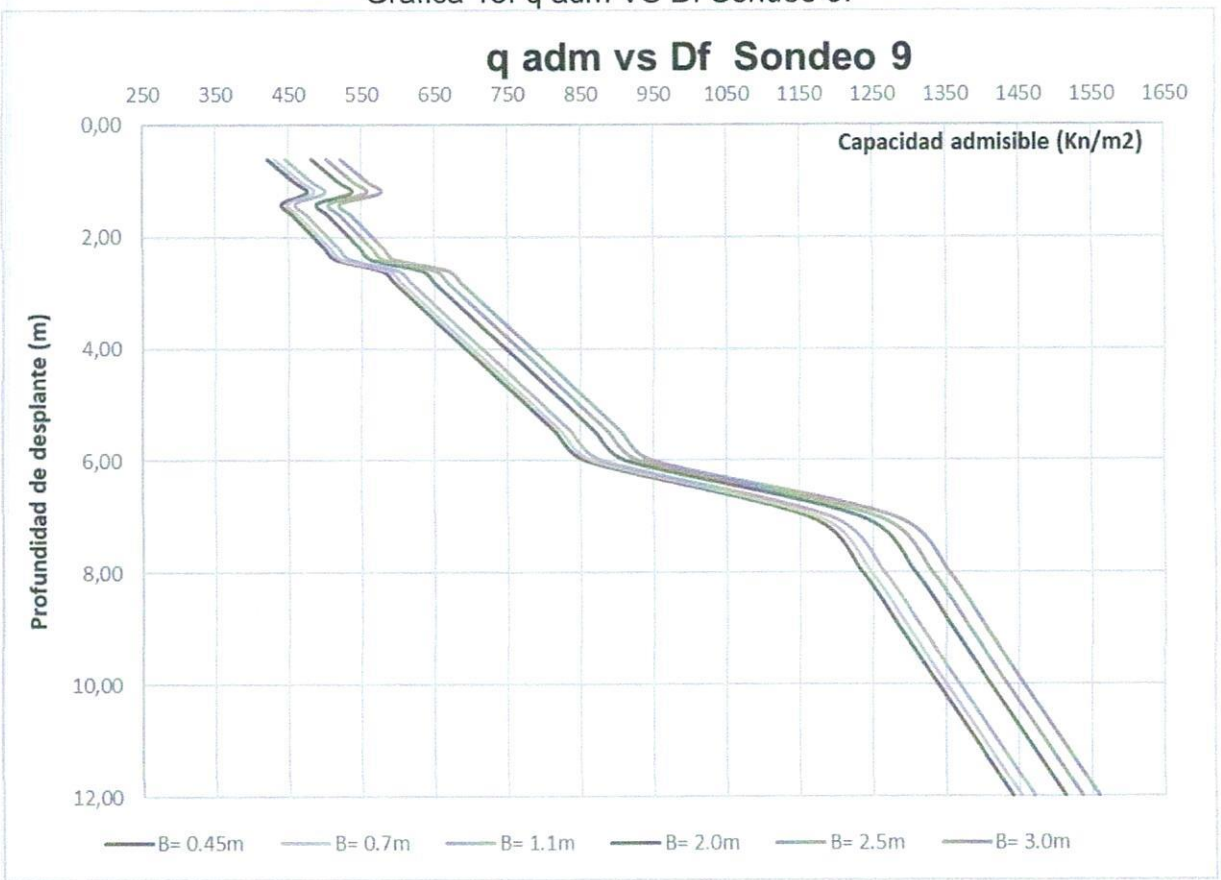
Fuente: Autores.

Tabla 80 Capacidad de carga admisible Sondeo 9.

SONDEO 9												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	411,80	421,73	437,63	473,38	493,25	513,11	38,75	8,63	14,52	27,49	11,83	20,15
0,60	420,88	430,82	446,71	482,47	502,33	522,20	38,75	10,64	14,52	27,49	11,83	20,15
0,70	429,97	439,90	455,79	491,55	511,41	531,28	38,75	12,66	14,52	27,49	11,83	20,15
1,00	457,22	467,15	483,04	518,80	538,66	558,53	38,75	18,70	14,52	27,49	11,83	20,15
1,20	475,38	485,32	501,21	536,96	556,83	576,69	38,75	22,73	14,52	27,49	11,83	20,15
1,40	440,47	448,46	461,24	489,98	505,95	521,92	36,21	26,25	13,54	26,21	10,89	17,59
1,60	455,18	463,16	475,94	504,69	520,66	536,63	36,21	29,77	13,54	26,21	10,89	17,59
1,80	469,88	477,87	490,65	519,39	535,36	551,33	36,21	33,28	13,54	26,21	10,89	17,59
2,00	484,59	492,57	505,35	534,10	550,07	566,04	36,21	36,80	13,54	26,21	10,89	17,59
2,20	499,29	507,28	520,06	548,80	564,77	580,74	36,21	40,32	13,54	26,21	10,89	17,59
2,40	514,00	521,98	534,76	563,51	579,48	595,45	36,21	43,84	13,54	26,21	10,89	17,59
2,60	577,05	586,03	600,41	632,76	650,73	668,70	38,75	45,66	14,52	27,49	11,83	18,23
2,80	593,48	602,47	616,84	649,19	667,17	685,14	38,75	49,31	14,52	27,49	11,83	18,23
3,00	609,92	618,90	633,28	665,63	683,60	701,57	38,75	52,95	14,52	27,49	11,83	18,23
3,50	651,00	659,99	674,37	706,72	724,69	742,66	38,75	62,07	14,52	27,49	11,83	18,23
4,00	692,09	701,08	715,46	747,81	765,78	783,75	38,75	71,18	14,52	27,49	11,83	18,23
4,50	733,18	742,17	756,54	788,89	806,86	824,84	38,75	80,30	14,52	27,49	11,83	18,23
5,00	774,27	783,25	797,63	829,98	847,95	865,92	38,75	89,41	14,52	27,49	11,83	18,23
5,50	815,36	824,34	838,72	871,07	889,04	907,01	38,75	98,53	14,52	27,49	11,83	18,23
6,00	856,44	865,43	879,81	912,16	930,13	948,10	38,75	107,64	14,52	27,49	11,83	18,23
7,00	1162,91	1174,55	1193,18	1235,11	1258,40	1281,69	44,95	124,99	17,28	30,96	14,50	19,27
8,00	1235,52	1247,16	1265,80	1307,72	1331,01	1354,31	44,95	138,37	17,28	30,96	14,50	19,27
9,00	1286,84	1298,49	1317,12	1359,05	1382,34	1405,63	44,95	147,83	17,28	30,96	14,50	19,27
10,00	1338,17	1349,81	1368,45	1410,37	1433,66	1456,96	44,95	157,29	17,28	30,96	14,50	19,27
11,00	1389,49	1401,14	1419,77	1461,70	1484,99	1508,28	44,95	166,75	17,28	30,96	14,50	19,27
12,00	1440,82	1452,46	1471,10	1513,02	1536,31	1559,60	44,95	176,21	17,28	30,96	14,50	19,27

Fuente: Autores.

Gráfica 15. q adm VS Df Sondeo 9.



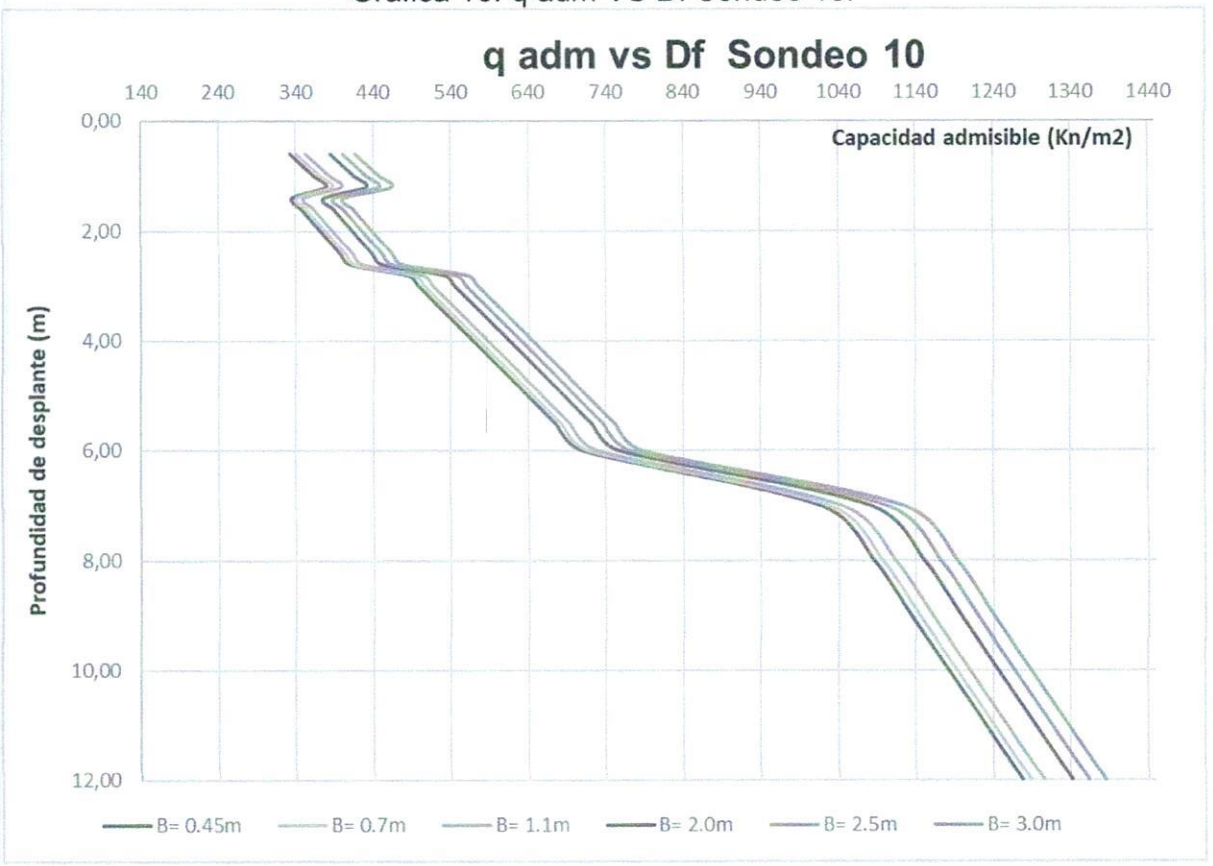
Fuente: Autores.

Tabla 81 Capacidad de carga admisible Sondeo 10.

SONDEO 10												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	324,29	332,65	346,03	376,13	392,86	409,58	33,33	8,62	12,51	24,86	9,93	20,21
0,60	332,05	340,41	353,79	383,89	400,61	417,34	33,33	10,64	12,51	24,86	9,93	20,21
0,80	347,56	355,92	369,30	399,40	416,13	432,85	33,33	14,68	12,51	24,86	9,93	20,21
1,00	363,07	371,43	384,81	414,91	431,64	448,36	33,33	18,72	12,51	24,86	9,93	20,21
1,20	378,58	386,95	400,32	430,43	447,15	463,87	33,33	22,76	12,51	24,86	9,93	20,21
1,40	334,57	341,23	351,87	375,83	389,14	402,45	30,01	25,45	11,43	23,41	8,93	17,89
1,60	347,02	353,67	364,32	388,27	401,58	414,89	30,01	29,02	11,43	23,41	8,93	17,89
1,80	359,46	366,11	376,76	400,72	414,03	427,34	30,01	32,60	11,43	23,41	8,93	17,89
2,00	371,90	378,56	389,21	413,16	426,47	439,78	30,01	36,18	11,43	23,41	8,93	17,89
2,20	384,35	391,00	401,65	425,61	438,91	452,22	30,01	39,76	11,43	23,41	8,93	17,89
2,40	396,79	403,44	414,09	438,05	451,36	464,67	30,01	43,34	11,43	23,41	8,93	17,89
2,60	409,23	415,89	426,54	450,49	463,80	477,11	30,01	46,91	11,43	23,41	8,93	17,89
2,80	483,99	491,58	503,74	531,08	546,27	561,47	33,33	50,59	12,51	24,86	9,93	18,36
3,00	498,08	505,67	517,83	545,17	560,37	575,56	33,33	54,26	12,51	24,86	9,93	18,36
3,50	533,31	540,90	553,06	580,40	595,60	610,79	33,33	63,44	12,51	24,86	9,93	18,36
4,00	568,54	576,13	588,29	615,63	630,83	646,02	33,33	72,62	12,51	24,86	9,93	18,36
4,50	603,77	611,36	623,52	650,86	666,06	681,25	33,33	81,80	12,51	24,86	9,93	18,36
5,00	639,00	646,59	658,75	686,09	701,29	716,48	33,33	90,98	12,51	24,86	9,93	18,36
5,50	674,23	681,82	693,98	721,32	736,52	751,71	33,33	100,16	12,51	24,86	9,93	18,36
6,00	709,46	717,05	729,21	756,55	771,75	786,94	33,33	109,34	12,51	24,86	9,93	18,36
7,00	1014,81	1025,29	1042,05	1079,78	1100,74	1121,70	41,02	125,13	15,47	28,70	12,74	19,74
8,00	1086,36	1096,84	1113,61	1151,34	1172,30	1193,26	41,02	139,96	15,47	28,70	12,74	19,74
9,00	1134,26	1144,74	1161,51	1199,23	1220,19	1241,15	41,02	149,89	15,47	28,70	12,74	19,74
10,00	1182,16	1192,64	1209,40	1247,13	1268,09	1289,05	41,02	159,82	15,47	28,70	12,74	19,74
11,00	1230,05	1240,53	1257,30	1295,03	1315,99	1336,95	41,02	169,75	15,47	28,70	12,74	19,74
12,00	1277,95	1288,43	1305,20	1342,92	1363,88	1384,84	41,02	179,68	15,47	28,70	12,74	19,74

Fuente: Autores.

Gráfica 16. q adm VS Df Sondeo 10.



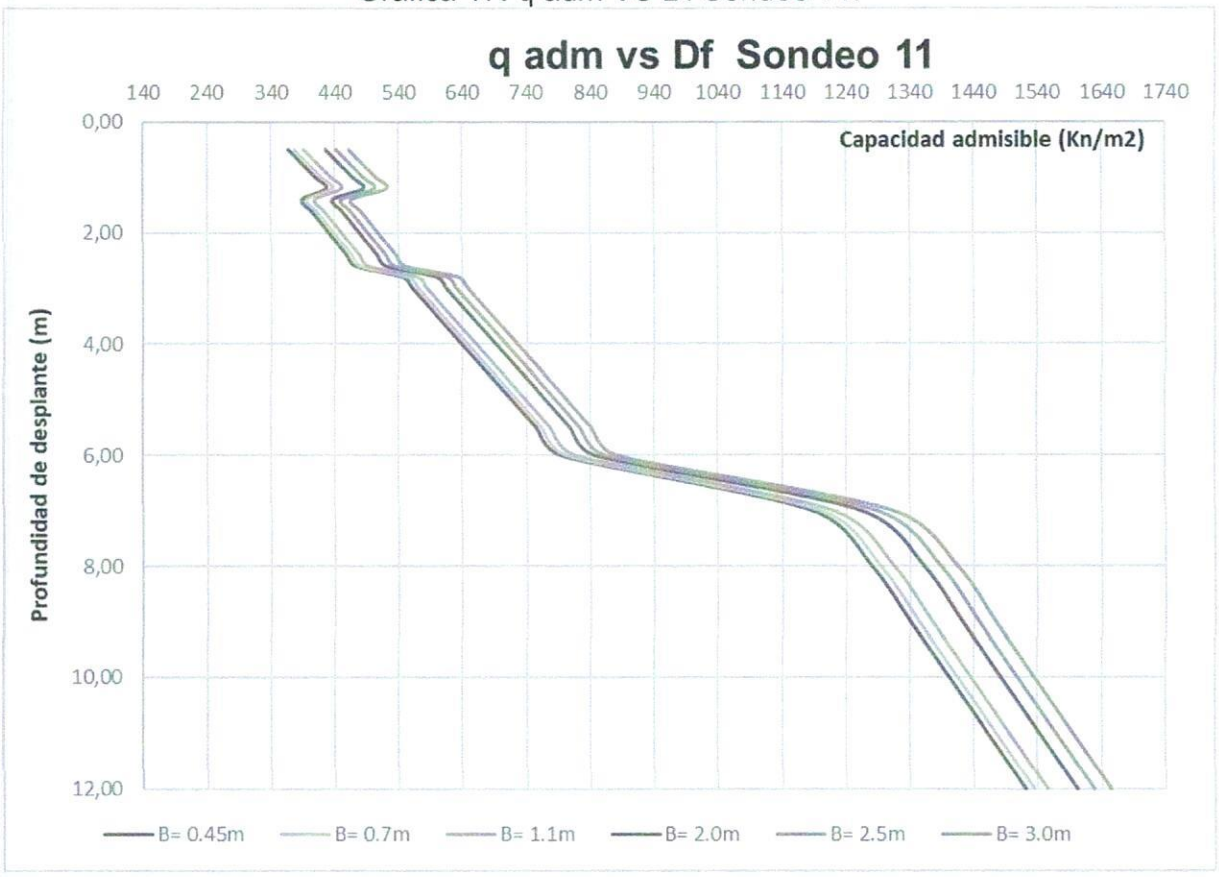
Fuente: Autores.

Tabla 82 Capacidad de carga admisible Sondeo 11.

SONDEO 11												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	368,34	377,49	392,12	425,05	443,35	461,64	36,21	8,49	13,54	26,21	10,89	20,15
0,60	376,76	385,91	400,54	433,47	451,77	470,06	36,21	10,51	13,54	26,21	10,89	20,15
0,80	393,61	402,75	417,39	450,32	468,61	486,91	36,21	14,54	13,54	26,21	10,89	20,15
1,00	410,45	419,60	434,23	467,16	485,46	503,75	36,21	18,57	13,54	26,21	10,89	20,15
1,20	427,30	436,44	451,08	484,01	502,30	520,60	36,21	22,60	13,54	26,21	10,89	20,15
1,40	390,08	397,52	409,42	436,20	451,08	465,96	33,33	26,19	12,51	24,86	9,93	17,98
1,60	403,88	411,32	423,23	450,00	464,88	479,76	33,33	29,79	12,51	24,86	9,93	17,98
1,80	417,68	425,12	437,03	463,81	478,68	493,56	33,33	33,38	12,51	24,86	9,93	17,98
2,00	431,48	438,92	450,83	477,61	492,48	507,36	33,33	36,98	12,51	24,86	9,93	17,98
2,20	445,29	452,72	464,63	491,41	506,28	521,16	33,33	40,58	12,51	24,86	9,93	17,98
2,40	459,09	466,52	478,43	505,21	520,08	534,96	33,33	44,17	12,51	24,86	9,93	17,98
2,60	472,89	480,32	492,23	519,01	533,88	548,76	33,33	47,77	12,51	24,86	9,93	17,98
2,80	546,65	555,05	568,50	598,74	615,55	632,35	36,21	51,47	13,54	26,21	10,89	18,51
3,00	562,12	570,53	583,97	614,22	631,02	647,83	36,21	55,17	13,54	26,21	10,89	18,51
3,50	600,81	609,21	622,65	652,90	669,71	686,51	36,21	64,43	13,54	26,21	10,89	18,51
4,00	639,49	647,90	661,34	691,59	708,39	725,20	36,21	73,68	13,54	26,21	10,89	18,51
4,50	678,18	686,58	700,02	730,27	747,08	763,88	36,21	82,94	13,54	26,21	10,89	18,51
5,00	716,86	725,27	738,71	768,96	785,76	802,57	36,21	92,19	13,54	26,21	10,89	18,51
5,50	755,55	763,95	777,40	807,64	824,45	841,25	36,21	101,45	13,54	26,21	10,89	18,51
6,00	794,23	802,64	816,08	846,33	863,13	879,94	36,21	110,70	13,54	26,21	10,89	18,51
7,00	1185,83	1198,13	1217,80	1262,07	1286,66	1311,25	46,68	116,46	18,14	32,02	15,36	19,21
8,00	1280,94	1293,96	1314,79	1361,66	1387,70	1413,74	46,68	132,88	18,14	32,02	15,36	20,34
9,00	1341,11	1354,13	1374,96	1421,83	1447,87	1473,91	46,68	143,41	18,14	32,02	15,36	20,34
10,00	1401,28	1414,30	1435,13	1482,00	1508,04	1534,08	46,68	153,94	18,14	32,02	15,36	20,34
11,00	1461,45	1474,47	1495,30	1542,17	1568,21	1594,25	46,68	164,47	18,14	32,02	15,36	20,34
12,00	1521,62	1534,64	1555,47	1602,34	1628,38	1654,42	46,68	175,00	18,14	32,02	15,36	20,34

Fuente: Autores.

Gráfica 17. q adm VS Df Sondeo 11.



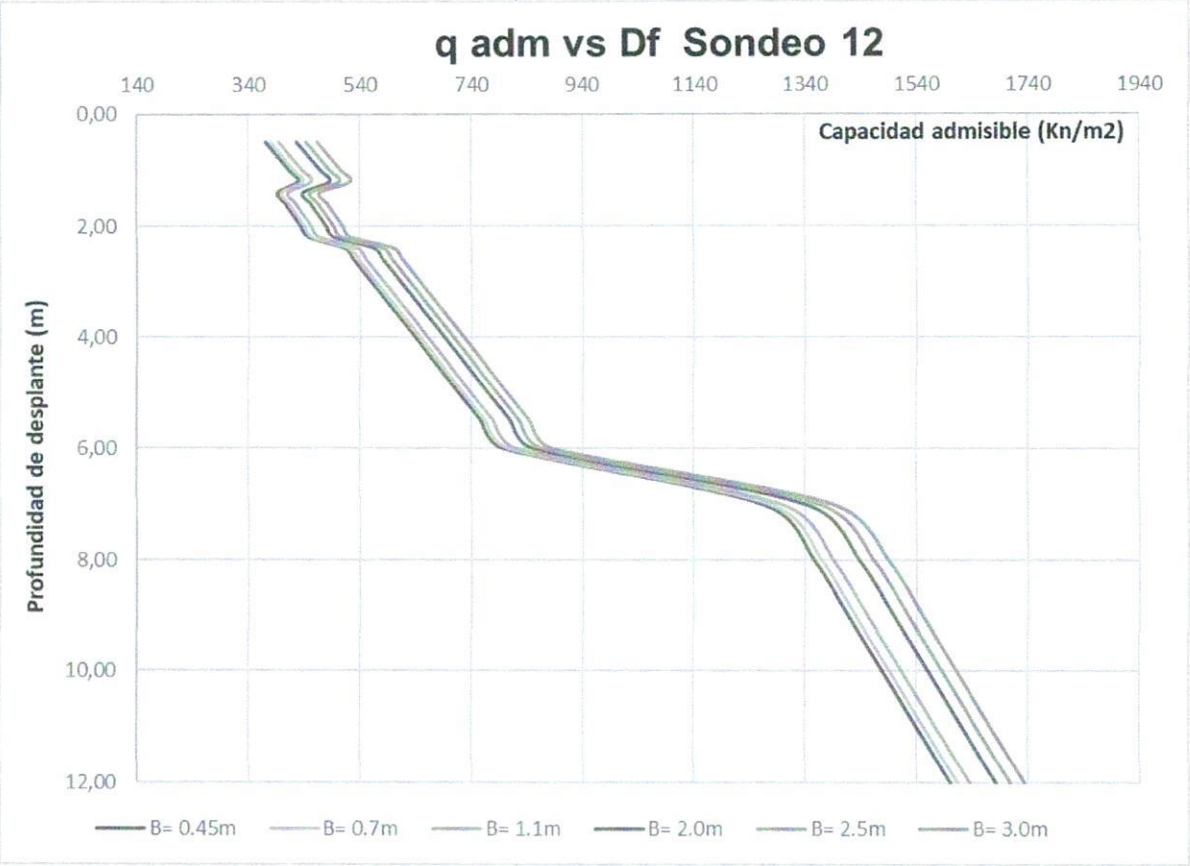
Fuente: Autores.

Tabla 83 Capacidad de carga admisible Sondeo 12.

SONDEO 12												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	369,95	379,11	393,77	426,75	445,07	463,39	36,21	8,87	13,54	26,21	10,89	20,18
0,60	378,39	387,55	402,21	435,18	453,50	471,83	36,21	10,89	13,54	26,21	10,89	20,18
0,70	386,82	395,98	410,64	443,62	461,94	480,26	36,21	12,91	13,54	26,21	10,89	20,18
1,00	412,13	421,29	435,95	468,92	487,25	505,57	36,21	18,96	13,54	26,21	10,89	20,18
1,20	429,00	438,16	452,82	485,79	504,12	522,44	36,21	23,00	13,54	26,21	10,89	20,18
1,40	391,65	399,10	411,02	437,83	452,72	467,61	33,33	26,60	12,51	24,86	9,93	18,00
1,60	405,47	412,92	424,83	451,64	466,54	481,43	33,33	30,20	12,51	24,86	9,93	18,00
1,80	419,28	426,73	438,65	465,46	480,35	495,24	33,33	33,80	12,51	24,86	9,93	18,00
2,00	433,10	440,55	452,46	479,27	494,17	509,06	33,33	37,40	12,51	24,86	9,93	18,00
2,20	446,92	454,36	466,28	493,09	507,98	522,88	33,33	41,00	12,51	24,86	9,93	18,00
2,40	511,16	519,77	533,54	564,53	581,74	598,95	36,21	42,89	13,54	26,21	10,89	18,96
2,60	527,02	535,62	549,39	580,38	597,59	614,81	36,21	46,68	13,54	26,21	10,89	18,96
2,80	542,87	551,47	565,24	596,23	613,44	630,66	36,21	50,48	13,54	26,21	10,89	18,96
3,00	558,72	567,32	581,09	612,08	629,29	646,51	36,21	54,27	13,54	26,21	10,89	18,96
3,50	598,34	606,95	620,72	651,70	668,92	686,13	36,21	63,75	13,54	26,21	10,89	18,96
4,00	637,97	646,57	660,34	691,33	708,54	725,76	36,21	73,23	13,54	26,21	10,89	18,96
4,50	677,59	686,20	699,97	730,96	748,17	765,38	36,21	82,71	13,54	26,21	10,89	18,96
5,00	717,22	725,83	739,60	770,58	787,79	805,01	36,21	92,19	13,54	26,21	10,89	18,96
5,50	756,84	765,45	779,22	810,21	827,42	844,63	36,21	101,67	13,54	26,21	10,89	18,96
6,00	796,47	805,08	818,85	849,83	867,05	884,26	36,21	111,15	13,54	26,21	10,89	18,96
7,00	1265,43	1277,75	1297,45	1341,79	1366,42	1391,05	46,68	130,39	18,14	32,02	15,36	19,24
8,00	1356,20	1369,34	1390,37	1437,68	1463,96	1490,24	46,68	146,01	18,14	32,02	15,36	20,53
9,00	1417,46	1430,60	1451,63	1498,93	1525,22	1551,50	46,68	156,73	18,14	32,02	15,36	20,53
10,00	1478,71	1491,86	1512,88	1560,19	1586,47	1612,75	46,68	167,45	18,14	32,02	15,36	20,53
11,00	1539,97	1553,11	1574,14	1621,44	1647,73	1674,01	46,68	178,17	18,14	32,02	15,36	20,53
12,00	1601,23	1614,37	1635,39	1682,70	1708,98	1735,26	46,68	188,89	18,14	32,02	15,36	20,53

Fuente: Autores.

Gráfica 18. q adm VS Df Sondeo 12.



Fuente: Autores.

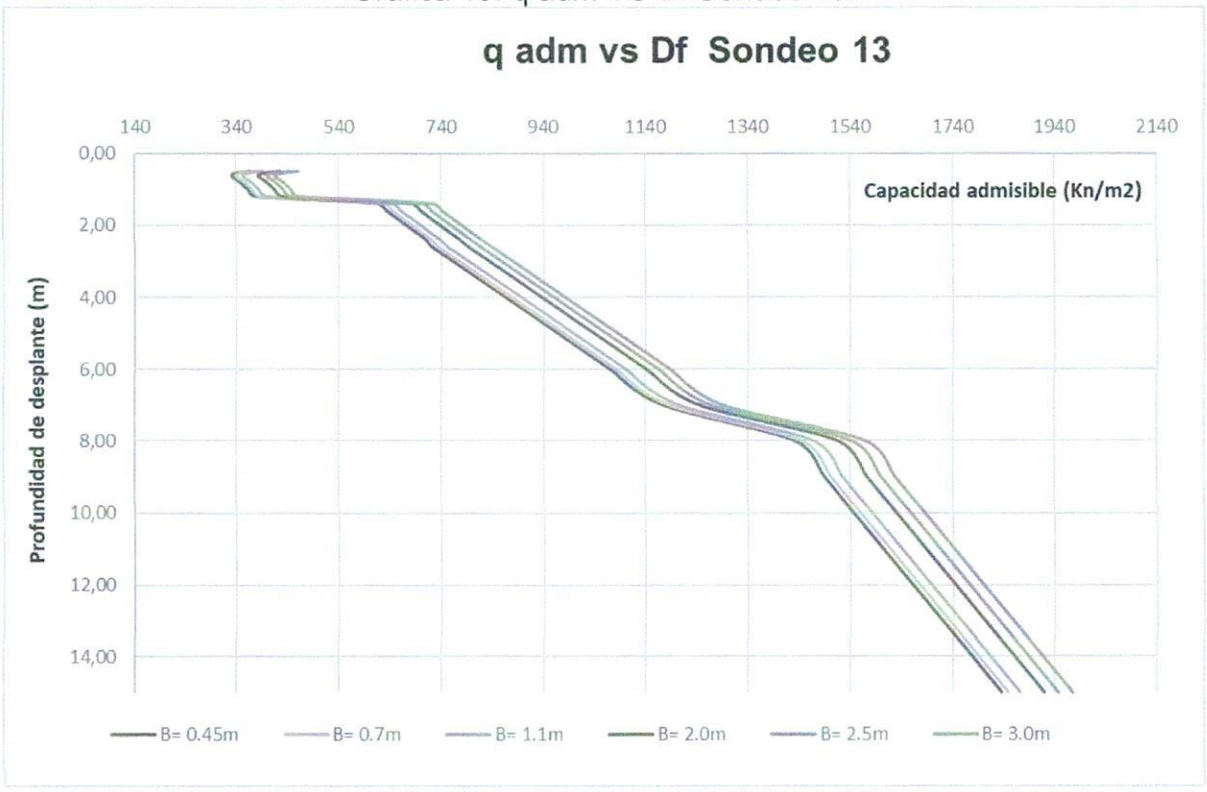
CÁLCULO PARA SONDEOS MECÁNICOS.

Tabla 84 Capacidad de carga admisible Sondeo 13.

SONDEO 13												
ANCHO DE CIMIENTO (m)	0,45	0,7	1,1	2	2,5	3	FACTORES CAPACIDAD DE CARGA					
df (m)	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Kn/m2)						C	q	Nq	Nc	Nγ	γ (kN/m3)
0,50	368,02	377,14	391,73	424,56	442,80	461,04	36,21	8,43	13,54	26,21	10,89	20,09
0,60	331,18	339,50	352,80	382,72	399,34	415,97	33,33	10,43	12,51	24,86	9,93	20,09
0,80	346,60	354,92	368,22	398,14	414,76	431,38	33,33	14,45	12,51	24,86	9,93	20,09
1,00	362,02	370,34	383,63	413,56	430,18	446,80	33,33	18,47	12,51	24,86	9,93	20,09
1,20	377,44	385,76	399,05	428,98	445,60	462,22	33,33	22,49	12,51	24,86	9,93	20,09
1,40	614,58	625,22	642,26	680,60	701,89	723,19	44,95	24,25	17,28	30,96	14,50	17,62
1,60	633,69	644,34	661,38	699,72	721,01	742,31	44,95	27,77	17,28	30,96	14,50	17,62
1,80	652,81	663,46	680,50	718,83	740,13	761,43	44,95	31,30	17,28	30,96	14,50	17,62
2,00	671,93	682,58	699,62	737,95	759,25	780,55	44,95	34,82	17,28	30,96	14,50	17,62
2,20	691,05	701,70	718,74	757,07	778,37	799,67	44,95	38,35	17,28	30,96	14,50	17,62
2,40	710,17	720,82	737,86	776,19	797,49	818,79	44,95	41,87	17,28	30,96	14,50	17,62
2,60	721,80	733,22	751,48	792,58	815,41	838,25	44,95	43,76	17,28	30,96	14,50	18,89
2,80	742,30	753,71	771,98	813,08	835,91	858,74	44,95	47,54	17,28	30,96	14,50	18,89
3,00	762,80	774,21	792,48	833,58	856,41	879,24	44,95	51,32	17,28	30,96	14,50	18,89
3,50	814,04	825,45	843,72	884,82	907,65	930,48	44,95	60,76	17,28	30,96	14,50	18,89
4,00	865,28	876,70	894,96	936,06	958,89	981,73	44,95	70,21	17,28	30,96	14,50	18,89
4,50	916,53	927,94	946,21	987,31	1010,14	1032,97	44,95	79,65	17,28	30,96	14,50	18,89
5,00	967,77	979,18	997,45	1038,55	1061,38	1084,21	44,95	89,10	17,28	30,96	14,50	18,89
5,50	1019,01	1030,43	1048,69	1089,79	1112,62	1135,46	44,95	98,54	17,28	30,96	14,50	18,89
6,00	1070,25	1081,67	1099,94	1141,03	1163,87	1186,70	44,95	107,99	17,28	30,96	14,50	18,89
7,00	1172,74	1184,16	1202,42	1243,52	1266,35	1289,19	44,95	126,88	17,28	30,96	14,50	18,89
8,00	1431,37	1444,88	1466,50	1515,14	1542,16	1569,18	49,76	134,31	19,82	34,04	17,04	19,03
9,00	1489,19	1502,70	1524,32	1572,96	1599,98	1627,00	49,76	143,53	19,82	34,04	17,04	19,03
10,00	1547,02	1560,53	1582,15	1630,79	1657,81	1684,83	49,76	152,75	19,82	34,04	17,04	19,03
11,00	1604,84	1618,35	1639,97	1688,61	1715,63	1742,66	49,76	161,97	19,82	34,04	17,04	19,03
12,00	1662,67	1676,18	1697,80	1746,44	1773,46	1800,48	49,76	171,19	19,82	34,04	17,04	19,03
13,00	1720,49	1734,00	1755,62	1804,26	1831,28	1858,31	49,76	180,41	19,82	34,04	17,04	19,03
14,00	1778,32	1791,83	1813,45	1862,09	1889,11	1916,13	49,76	189,63	19,82	34,04	17,04	19,03
15,00	1836,14	1849,65	1871,27	1919,91	1946,93	1973,96	49,76	198,85	19,82	34,04	17,04	19,03

Fuente: Autores.

Gráfica 19. q adm VS Df Sondeo 13.



Fuente: Autores.