

**INCIDENCIA DEL FACTOR ANTRÓPICO COMO DETONANTE DE LOS
MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS TALUDES DE LOS SECTORES DE SAN
FRANCISCO, NUEVA GRANADA Y MANZANARES DE LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE ÍNDIAS**



**UNIVERSIDAD DE
CARTAGENA**

Fundada en 1827



**FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Fundada en 1949

**BERNARDO JESÚS MORA CORONADO
ANA MERCEDES TORRES BARRIOS**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

CARTAGENA DE ÍNDIAS D.T. y C.

2017

**INCIDENCIA DEL FACTOR ANTRÓPICO COMO DETONANTE DE LOS
MÓVIMIENTOS EN MASA EN LOS TALUDES DE LOS SECTORES DE SAN
FRANCISCO, NUEVA GRANADA Y MANZANARES DE LA CIUDAD DE
CARTAGENA DE ÍNDIAS**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOTECNIA, MATERIALES E INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE
(GEOMAVIT)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS GEOAMENAZAS QUE AFECTAN
CASCOS URBANOS Y ÁREAS RURALES**

INVESTIGADORES

BERNARDO JESÚS MORA CORNADO

ANA MERCEDES TORRES BARRIOS

Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil

DIRECTOR

GUILLIAM BARBOZA MIRANDA

INGENIERO CIVIL, MSc. GEOTECNIA

ASESOR

WILLIAM MENDEZ MEDINA

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.

2017

Incidencia del factor antrópico como detonante de los movimientos en masa en los taludes de los sectores de San Francisco, Nueva Granada y Manzanares de la ciudad de Cartagena de Indias.

NOTA DE ACEPTACION

Firma del director
GUILLIAM BARBOZA MIRANDA

Firma del jurado
MODESTO BARRIOS FONTALVO

Firma del jurado
RAMON TORRES ORTEGA



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO REFERENCIAL	21
1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	21
1.2 MARCO TEORICO	26
1.2.1 Definición de Talud.....	26
1.2.2 Movimientos en Masa	26
1.2.3 Esfuerzo y Resistencia al cortante.....	31
1.2.4 Procesos de Origen Antrópico.....	34
1.2.5 Modelación de Talud para cálculo de Estabilidad (Software Slide)	37
1.2.6 Métodos Probabilísticos para análisis de confiabilidad.....	38
2. OBJETIVOS	39
2.1 OBJETIVO GENERAL	39
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
3. ALCANCE.....	40
4. METODOLOGÍA	43
4.1 RECOPIACION Y REVISION BIBLIOGRAFICA	44
4.2 ANALISIS DE ESTUDIOS REALIZADOS EN LOS SECTORES	45
4.3 MODELACION DE LOS PERFILES TIPICOS DE LOS TALUDES	46
4.3.1 IMPORTACION DEL PERFIL DE AUTOCAD A SLIDE	47
4.3.2 DATOS DE ENTRADA	48
4.3.3 MODELACION DEL TALUD EN CONDICION NATURAL E INTERVENIDO	52
4.4 OBTENCION DE FACTORES DE SEGURIDAD, PROBABILIDAD DE FALLA E INDICE DE CONFIABILIDAD.....	56
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	58
5.1 PRESENTACION DE DATOS DE ENTRADA EXTRAIDOS DE LOS ESTUDIOS E INFORMES DE CADA SECTOR.....	58



5.2	MODELACION DE PERFILES SIN SISMO	69
5.3	MODELACION DE PERFILES con SISMO.....	107
5.4	COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS CON ESTUDIOS EXISTENTES	
	137	
6.	CONCLUSIONES	140
7.	LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	144
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	146
9.	ANEXOS.....	149



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Talud Artificial (Izq.); Ladera Natural (Der.).....	26
Figura 2. Caídos de bloques en caída libre de roca.....	27
Figura 3. Volcamiento o Inclinación en un proceso de erosión.....	28
Figura 4. Ejemplo de Deslizamiento Traslacional.....	29
Figura 5. Esquema de Deslizamiento Rotacional en una ladera.....	29
Figura 6. Esquema Deslizamiento Traslacional con componente Rotacional.....	30
Figura 7. Flujo de bloques de roca y residuos en la excavación de una vía.....	31
Figura 8. Los cortes y rellenos pueden generar deslizamientos de tierra debidos a los cambios de esfuerzos y a la infiltración de agua.....	36
Figura 9. Deslizamiento de un relleno o de un coluvión por infiltración de agua.....	37
Figura 10. Localización de Talud de Manzanares.....	40
Figura 11. Localización de Talud de Nueva Granada.....	40
Figura 12. Localización de Talud de San Francisco.....	40
Figura 13. Esquema de la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.....	44
Figura 14. Esquema de procedimiento de modelación de perfiles.....	46
Figura 15. Ejemplo de dibujo de bordes, externo, interno y borde de agua del perfil.....	47
Figura 16. Paso de importación de bordes, de AutoCAD al programa Slide.....	48
Figura 17. Introducción de la configuración general en el programa Slide.....	49
Figura 18. Introducción de los parámetros geotécnicos de cada estrato.....	50
Figura 19. Procedimiento para incluir datos de probabilidad.....	51
Figura 20. Cuadro de datos de entrada para análisis de probabilidad.....	52
Figura 21. Procedimiento para añadir cargas sísmicas al modelo.....	53
Figura 22. Ejemplo de cortes realizados sobre un perfil.....	54
Figura 23. Procedimiento para añadir el factor de infiltración al modelo.....	55
Figura 24. Procedimiento para añadir las sobrecargas sobre el perfil.....	56
Figura 25. Ejemplo de perfil intervenido con sobrecargas.....	56
Figura 26. Procedimiento para ejecutar el modelo y obtener los resultados.....	57
Figura 27. Perfil Estratigráfico 1 - San Francisco.....	70
Figura 28. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.....	71
Figura 29. Perfil Estratigráfico 2 - San Francisco.....	72
Figura 30. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco.....	73



Figura 31. Perfil Estratigráfico 3 - San Francisco.....	74
Figura 32. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco..	74
Figura 33. Perfil Estratigráfico 4 - San Francisco.....	75
Figura 34. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco..	76
Figura 35. Perfil Estratigráfico 5 - San Francisco.....	77
Figura 36. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.	78
Figura 37. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de San Francisco, en condición sin sismo.....	79
Figura 38. Perfil Estratigráfico 6 - San Francisco.....	79
Figura 39. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco	80
Figura 40. Perfil Estratigráfico 1 - Manzanares.	81
Figura 41. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.....	82
Figura 42. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Manzanares, en condición sin sismo.....	83
Figura 43. Perfil Estratigráfico 2 - Manzanares.	83
Figura 44. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.....	84
Figura 45. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 2 del sector de Manzanares, en condición sin sismo.....	85
Figura 46. Perfil Estratigráfico 3 - Manzanares.	85
Figura 47. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.....	86
Figura 48. Perfil Estratigráfico 4 - Manzanares..	87
Figura 49. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares.....	88
Figura 50. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Manzanares, en condición sin sismo.....	89
Figura 51. Perfil Estratigráfico 5 - Manzanares.	89



Figura 52. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.....	90
Figura 53. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Manzanares, en condición sin sismo.....	91
Figura 54. Perfil Estratigráfico 6 - Manzanares..	91
Figura 55. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.....	92
Figura 56. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Manzanares, en condición sin sismo.....	93
Figura 57. Perfil Estratigráfico 1 - Nueva Granada..	94
Figura 58. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada..	95
Figura 59. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo..	95
Figura 60. Perfil Estratigráfico 2 - Nueva Granada.	96
Figura 61. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.....	97
Figura 62. Perfil Estratigráfico 3 - Nueva Granada.	98
Figura 63. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.....	99
Figura 64. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo.....	99
Figura 65. Perfil Estratigráfico 4 - Nueva Granada.	100
Figura 66. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.....	101
Figura 67. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo.....	101
Figura 68. Perfil Estratigráfico 5 - Nueva Granada.	102
Figura 69. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.....	103
Figura 70. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. .	104
Figura 71. Perfil Estratigráfico 6 - Nueva Granada.	104



Figura 72. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.....	105
Figura 73. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo.	106
Figura 74. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.	108
Figura 75. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco.	109
Figura 76. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco.	111
Figura 77. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco.	112
Figura 78. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.	113
Figura 79. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de San Francisco, en condición con sismo.	114
Figura 80. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco.	115
Figura 81. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de San Francisco, en condición con sismo.	115
Figura 82. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.....	117
Figura 83. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	118
Figura 84. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.....	119
Figura 85. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 2 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	119
Figura 86. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.....	120
Figura 87. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	121
Figura 88. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares.....	122



Figura 89. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	122
Figura 90. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.....	123
Figura 91. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	124
Figura 92. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.....	125
Figura 93. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Manzanares, en condición con sismo.....	125
Figura 94. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada.	128
Figura 95. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo..	128
Figura 96. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.	129
Figura 97. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.	131
Figura 98. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo..	131
Figura 99. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.	132
Figura 100. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo..	133
Figura 101. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.	134
Figura 102. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo.	134
Figura 103. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.	135
Figura 104. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo..	136



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales presentes en los perfiles del sector de San Francisco.	59
Tabla 2. Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de San Francisco.....	59
Tabla 3. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de San Francisco.	60
Tabla 4. Materiales presentes en los perfiles del sector de Nueva Granada.....	61
Tabla 5. Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de Nueva Granada.	61
Tabla 6. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de Nueva Granada.....	62
Tabla 7. Materiales presentes en los perfiles del sector de Manzanares.	65
Tabla 8. Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de Manzanares.....	66
Tabla 9. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de Manzanares.	68
Tabla 10. Descripción de las convenciones utilizadas.	69
Tabla 11. Estado de riesgo del perfil, según el valor del factor de seguridad.	70
Tabla 12. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.....	70
Tabla 13. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.	71
Tabla 14. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco.....	72
Tabla 15. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco..	73
Tabla 16. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco.....	74
Tabla 17. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco.	75
Tabla 18. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco.....	76
Tabla 19. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco.	76
Tabla 20. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.....	77
Tabla 21. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.	78
Tabla 22. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco.....	79



Tabla 23. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco.	80
Tabla 24. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.	82
Tabla 25. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.....	83
Tabla 26 Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.....	84
Tabla 27. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.....	85
Tabla 28. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.	86
Tabla 29. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.....	87
Tabla 30. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares..	87
Tabla 31. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares.....	88
Tabla 32, Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.	89
Tabla 33. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.....	90
Tabla 34. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.	91
Tabla 35. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.....	92
Tabla 36. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada.....	94
Tabla 37. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada.....	95
Tabla 38. . Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.....	96
Tabla 39. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.....	97



Tabla 40. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.....	98
Tabla 41. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.....	99
Tabla 42. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.....	100
Tabla 43. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.....	101
Tabla 44. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.....	102
Tabla 45. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.....	103
Tabla 46. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.....	105
Tabla 47. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.....	105
Tabla 48. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.....	108
Tabla 49. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco.....	109
Tabla 50. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco.....	109
Tabla 51. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco.....	110
Tabla 52. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco.....	110
Tabla 53. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco.....	111
Tabla 54. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco.....	112
Tabla 55. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco.....	112
Tabla 56. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.....	113



Tabla 57. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco.	114
Tabla 58. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco.	114
Tabla 59. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco.	115
Tabla 60. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.	117
Tabla 61. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares.	118
Tabla 62. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.	118
Tabla 63. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares.	119
Tabla 64. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.	120
Tabla 65. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares.	121
Tabla 66. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares.	121
Tabla 67. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares.	122
Tabla 68. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.	123
Tabla 69. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares.	124
Tabla 70. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.	124
Tabla 71. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares.	125
Tabla 72. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada.	127
Tabla 73. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada.	128



Tabla 74. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.....	129
Tabla 75. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada.....	130
Tabla 76. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.....	130
Tabla 77. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada.....	131
Tabla 78. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.....	132
Tabla 79. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada.....	133
Tabla 80. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.....	133
Tabla 81. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada.....	134
Tabla 82. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.....	135
Tabla 83. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada.....	136
Tabla 84. Comparación entre resultados de estudios existentes y resultados de la investigación, para los perfiles de Manzanares por el método de Bishop Simplificado.	138
Tabla 85. Comparación entre resultados de estudios existentes y resultados de la investigación, para los perfiles de San Francisco por el método de Bishop Simplificado.	139



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Topografía de San Francisco.....	149
Anexo 2. Topografía de Nueva Granada.	149
Anexo 3. Topografía de Manzanares.	150
Anexo 4. Perfil Estratigráfico 1 – San Francisco (Modelación en Condición Natural – Slide).....	150
Anexo 5. Perfil Estratigráfico 1 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	151
Anexo 6. Perfil Estratigráfico 2 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).	151
Anexo 7. Perfil Estratigráfico 2 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	151
Anexo 8. Perfil Estratigráfico 3 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).	151
Anexo 9. Perfil Estratigráfico 3 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	152
Anexo 10. Perfil Estratigráfico 4 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).	152
Anexo 11. Perfil Estratigráfico 4 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	152
Anexo 12. Perfil Estratigráfico 5 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).	152
Anexo 13. Perfil Estratigráfico 5 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos – Slide).	153
Anexo 14. Perfil Estratigráfico 6 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).	153
Anexo 15. Perfil Estratigráfico 6 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	153
Anexo 16. Perfil Estratigráfico 1 – Manzanares (Modelado en Condición Natural – Slide).....	153
Anexo 17. Perfil Estratigráfico 1 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	154
Anexo 18. Perfil Estratigráfico 2 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).	154
Anexo 19. Perfil Estratigráfico 2 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	155
Anexo 20. Perfil Estratigráfico 3 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).	155
Anexo 21. Perfil Estratigráfico 3 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	155
Anexo 22. Perfil Estratigráfico 4 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).	156
Anexo 23. Perfil Estratigráfico 4 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	156



Anexo 24. Perfil Estratigráfico 5 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).	156
Anexo 25. Perfil Estratigráfico 5 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	157
Anexo 26. Perfil Estratigráfico 6 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).	157
Anexo 27. Perfil Estratigráfico 6 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	157
Anexo 28. Perfil Estratigráfico 1 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	158
Anexo 29. Perfil Estratigráfico 1 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	158
Anexo 30. Perfil Estratigráfico 2 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	158
Anexo 31. Perfil Estratigráfico 2 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	159
Anexo 32. Perfil Estratigráfico 3 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	159
Anexo 33. Perfil Estratigráfico 3 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	159
Anexo 34. Perfil Estratigráfico 4 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	160
Anexo 35. Perfil Estratigráfico 4 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	160
Anexo 36. Perfil Estratigráfico 5 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	161
Anexo 37. Perfil Estratigráfico 5 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	161
Anexo 38. Perfil Estratigráfico 6 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide)....	162
Anexo 39. Perfil Estratigráfico 6 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).....	162
Anexo 40. Valores de Aa y Av para las ciudades capitales de departamento.....	163



RESUMEN

El hombre, en medio de su desarrollo, se mantiene modificando la superficie de la tierra, a través de cambios en la topografía con rellenos, construcciones, deforestaciones, etc. Según (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998) “existe una relación entre la ocurrencia de deslizamientos y la rapidez de los procesos de urbanización, en especial de los desarrollos desordenados” (p. 336). En el presente estudio se evaluaron los factores antrópicos más recurrentes en las zonas de Nueva Granada, San Francisco y Manzanares (Cartagena de Indias), que de acuerdo a la información secundaria estudiada son: excavación, cortes, rellenos e infiltración, con el fin de determinar cuál de estos es el más incidente en la ocurrencia de movimientos en masa.

Para esto, se modelaron los taludes de cada zona, en el programa Slide v.6, tanto en su estado natural como intervenidos por cada uno de los factores antrópicos en consideración, sin sismo y con sismo, obteniendo los factores de seguridad de cada talud evaluado.

De los resultados obtenidos, se pudo observar que, en todos los sectores, el factor antrópico que tuvo mayor incidencia en la desestabilización de los taludes, en la mayoría de los perfiles, fue el factor antrópico de cortes, por lo que se concluyó a nivel general, como el factor con mayor incidencia en la desestabilización de los taludes.

Se obtuvieron factores de seguridad mínimos en el factor antrópico de cortes, en condición sin sismo y con sismo, respectivamente, de 1.50 y 1.27 para San Francisco en el perfil 5, de 0.81 y 0.68 para Manzanares en el perfil 1 y de 1.17 y 0.98 para Nueva Granada en el perfil 4.

Adicionalmente, se aplicó un método probabilístico (Monte Carlo) con el que se determinó la probabilidad de ocurrencia de movimiento y el índice de confiabilidad de cada perfil modelado. Obteniendo probabilidades de falla, sin sismo y con sismo, respectivamente de 99.7 y 100 % para Manzanares en el perfil 1 y de 14.6 y 55.6 % para Nueva Granada en el perfil 4.

Palabras Claves: Factor antrópico, estabilidad de taludes, movimiento en masa, probabilidad de falla, factor de seguridad.



ABSTRACT

The man, in the midst of his development, keeps modifying the surface of the earth, through changes in the topography with fillings, constructions, deforestation, etc. According to (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998) "there is a relationship between the occurrence of landslides and the rapidity of urbanization processes, especially of disordered developments" (p.336). In the present study the most recurrent anthropic factors were evaluated in the areas of Nueva Granada, San Francisco and Manzanares (Cartagena de Indias), which according to the secondary information studied are: excavation, cuts, fillings and infiltration, in order to determine which of these is the most incident in the occurrence of mass movements.

For this, the slopes of each zone were modeled in the Slide v.6 program, both in their natural state and intervened by each of the anthropic factors under consideration, without earthquake and with an earthquake, obtaining the safety factors of each slope evaluated

From the results obtained, it was observed that, in all sectors, the anthropic factor that had the greatest impact on the destabilization of the slopes, in most of the profiles, was the anthropic factor of cuts, so it was concluded at the general, as the factor with the greatest incidence in the destabilization of the slopes.

Minimum safety factors were obtained in the anthropic factor of cuts, in condition without earthquake and quake, respectively, of 1.50 and 1.27 for San Francisco in profile 5, of 0.81 and 0.68 for Manzanares in profile 1 and of 1.17 and 0.98 for New Granada in profile 4.

Additionally, a probabilistic method (Monte Carlo) was applied, which determined the probability of occurrence of movement and the reliability index of each profile modeled. Obtaining probabilities of failure, without earthquake and with earthquake, respectively of 99.7 and 100% for Manzanares in profile1 and of 14.6 and 55.6% for Nueva Granada in profile 4.

Keywords: Anthropic factor, stability of slopes, movement in mass, probability of failure, factor of safety.



INTRODUCCIÓN

Un talud o ladera es una masa de tierra que posee pendiente o cambios de altura significativos y su origen puede ser natural o artificial (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009). Por su estructura geológica, morfológica y los procesos geotécnicos a los que se ven sometidos, los taludes pueden presentar problemas de movimientos de masa. Debido al dinamismo intrínseco en los procesos geológicos y geotécnicos de los taludes, se hace necesario conocer y entender lo que está ocurriendo dentro de los mismos para poder proponer mecanismos de control y estabilización (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009), en este sentido, es pertinente estar al tanto de los factores que influyen en el comportamiento de los taludes. Algunos de estos factores son la estructura geológica, la geomorfología, la pendiente, la hidrogeología, el tiempo y el factor antrópico.

Los taludes a lo largo del tiempo, se ven sometidos a procesos de deterioro, sin embargo, un proceso interesante del mecanismo de falla de estas masas de tierra, incluye un fenómeno detonante o de activación de un deslizamiento, que por lo general es de tipo externo, como es el caso de los procesos de origen antrópicos (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

La actividad humana, tiene gran influencia en el comportamiento de los taludes, debido a que esta genera cambios en la morfología y las condiciones geológicas de los mismos, los principales y más comunes procesos antrópicos desarrollados sobre los taludes incluyen cargas sobre el talud (construcciones y procesos de urbanización), modificación de la topografía (Cortes y rellenos), modificación de las condiciones hidrogeológicas, etc. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

A manera de ejemplo, de la incidencia del factor antrópico en la desestabilización de taludes y como factor detonante de movimientos en masa, se tiene conocimiento de estudios realizados en algunas zonas de la ciudad de Cartagena de Indias, incluyendo las zonas que se tienen como objetivo de análisis de esta investigación.

En el sector nororiente del cerro de la popa, en el Barrio San Francisco, se realizó una evaluación geotécnica y se propuso el diseño de obras de estabilización de taludes por parte de la Universidad de Cartagena en un convenio interadministrativo con la Alcaldía Mayor de



Cartagena de Indias. Para el cumplimiento de los objetivos del estudio, se realizó un análisis de estabilidad de taludes a través de la modelación de seis (6) perfiles típicos representativos, utilizando la metodología de Bishop simplificada y el software PCSTABL5M, uno de los factores evaluados fue el factor antrópico y en cuanto a las conclusiones obtenidas, se encontró que el barrio San Francisco, presentaba un deslizamiento de tipo rotacional retrogresivo influenciado en gran medida por los procesos de origen antrópico.

Las laderas de la Loma del Marion, sector Manzanares, en el barrio Nuevo Bosque, también fueron objeto de estudios geotécnicos y diseños de obras de estabilización, realizados bajo el convenio entre la Alcaldía de Cartagena de Indias y la Universidad de Cartagena, se realizó el análisis de varios perfiles, utilizando el método de Bishop simplificado y el software PCSTABL5M. El efecto antrópico fue tomado en cuenta para el análisis de estabilidad de taludes y se concluyó que los de mayor incidencia en los procesos de inestabilidad de la zona fueron las excavaciones, cortes al pie de la ladera y el vertimiento descontrolado de aguas servidas en la parte alta de la ladera.

Los deslizamientos de Nueva Granada están distanciados de Manzanares una longitud de 250m. La zona de Nueva Granada ha sido continuamente afectada por procesos de erosión y remoción en masa, tratándose específicamente de un movimiento simple rotacional (Aguilar Collazo, 2015, pág. 291). La intervención antrópica es considerada una de las principales causas de estos deslizamientos y constan de sobrecargas, cortes al pie de la ladera y rellenos representados en la construcción de viviendas y vertimiento de aguas negras y grises sobre el terreno (Aguilar Collazo, 2015, pág. 292).

A lo largo del tiempo en la loma del Marión, donde se encuentran ubicados los barrios Manzanares y Nueva Granada y en el cerro de la Popa donde se ubica el barrio San Francisco, se han presentado incidentes que han ocasionado la afectación y el colapso de viviendas. En el caso de Nueva Granada se han demolido etapas de la urbanización y en el año 2010 y 2011 se presentaron deslizamientos y flujos de material deslizado que afectaron a la población, especialmente, la localizada en el pie de la loma. En Manzanares, durante el año 2010 se reactivó el deslizamiento averiando 2 viviendas en la parte inferior de la ladera y 7 en la parte alta (Aguilar Collazo, 2015, pág. 292). San Francisco no es la excepción a estas activaciones de movimientos de masa, las viviendas se agrietaron y se evidenciaron resumideros de agua



en la parte media de la ladera, en el año 2010 se evidenció una zanja de 30 m de ancho y 300 m de largo con una profundidad de 10 a 15 cm, se generaron rupturas en las tuberías de acueducto, alcantarillado y gas y daños en pozas sépticas.

Es Evidente, con la información histórica de los sectores en mención, que los problemas de desestabilización de taludes terminan afectando a la población misma en cuanto a bienes materiales, y en casos más graves, la vida misma de las personas pertenecientes a las comunidades que ocupan la zona. Por ende, es pertinente conocer cuáles son los factores que detonan los movimientos en masa y como estos impactan sobre el terreno. Es importante resaltar que a pesar de que se han ejecutado diversos estudios geotécnicos y de estabilidad de taludes sobre cada una de las zonas de estudio, la presente investigación amplió la literatura existente, ya que el factor antrópico como un detonante de movimientos en masa, no ha sido evaluado cuantitativamente y, por tanto, no se ha determinado su impacto en la desestabilización de los taludes.

El presente proyecto investigativo se llevó a cabo en la Ciudad de Cartagena de Indias - Colombia, exactamente en los sectores de San Francisco (Latitud: 10°25'55.63"N; Longitud: 75°31'4.96"O), Nueva Granada (Latitud: 10°23'45.97"N; Longitud: 75°30'24.61"O) y Manzanares (Latitud: 10°23'46.16"N; Longitud: 75°30'39.91"O), localizaciones en las cuales se encuentran delimitados los taludes a evaluar y analizar.

En esta investigación se realizó un estudio pertinente de como los procesos de origen antrópico han afectado y/o pueden llegar a afectar los barrios mencionados anteriormente. A través de la cuantificación de dicho efecto, se presentó como resultado la incidencia de los procesos antrópicos que se han evidenciado en los sectores escogidos a lo largo del tiempo, y cual de dichos procesos tiene mayor impacto desestabilizador sobre los taludes. Para esto, se hizo análisis de estabilidad de taludes mediante la modelación de los mismos en el software Slide v.5, modificándolos de acuerdo a los factores antrópicos estudiados y considerando las condiciones geológicas y geotécnicas de los terrenos, de esto se obtuvieron los factores de seguridad de los taludes en estado natural y afectados por el factor antrópico, sin sismo y con sismo. También, se aplicó un método probabilístico (Monte Carlo) del que se obtuvo tanto la probabilidad de ocurrencia de movimiento como el índice de confiabilidad de los resultados obtenidos.



Con los resultados obtenidos, se buscó establecer cuál de los factores antrópicos es el que más incide en la desestabilización de los taludes. Se identificó como factor antrópico más detonante, la realización de cortes en los taludes y se verificó a través, de la combinación de los factores antrópicos en consideración (Cortes, Sobrecargas e Infiltración), que la intervención del hombre a través de procesos de urbanización, puede llegar a ser catastrófica en el comportamiento de un talud.

Este estudio servirá como base para las futuras propuestas de medidas de prevención, control y/o estabilización para mitigar el impacto provocado por procesos antrópicos, no solo en las zonas de estudio sino también en otras zonas de la ciudad o el país.



1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Para una completa comprensión de la problemática y de la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, es fundamental el conocimiento y análisis de información secundaria relacionada con el estudio de estabilidad de taludes y procesos de movimientos en masa, ocasionados principalmente por la acción de la actividad humana. Por esta razón, se han coleccionado una serie de investigaciones a nivel internacional, nacional y local en las que se presentan resultados de análisis de estabilidad de taludes, sin embargo, se cuenta con muy poca información de investigaciones que aborden el tema específico del factor antrópico como principal objeto de investigación o como parte de la misma.

En primera instancia y considerando que el objeto principal de esta investigación es cuantificar la incidencia del factor antrópico en los movimientos en masa, a través de la aplicación del programa de análisis de taludes Slide y la implementación de métodos probabilísticos, se buscó información relacionada directamente con este propósito, encontrando en el ámbito internacional, un artículo científico, publicado en la revista Cuaternario y Geomorfología y titulado “El factor antrópico en las inestabilidades de ladera. La carretera A-348 (Las Alpujarras, Granada)”, en este artículo se recopiló gran cantidad de información fotogramétrica, con el fin de identificar la evolución del tramo de carretera seleccionado y el suelo en cuestión. A través del análisis de ortofotos de diferentes periodos de tiempo, se cuantificaron los volúmenes de material excavado y movilizado por deslizamientos y, se establecieron los perfiles para el análisis mediante métodos numéricos. Para el análisis con métodos numéricos, se partió del perfil del talud, antes y después de las labores de acondicionamiento (sobre la vía), para este procedimiento se utilizaron los softwares Phase2 v.6 y Slide v.5. Una vez llevado a cabo el análisis bajo las condiciones preestablecidas, se obtuvieron resultados, los cuales se dividieron en diferentes kilómetros de vía, de acuerdo a las labores de acondicionamiento realizadas y el periodo de realización de las mismas. En general, se concluyó que el tramo de la carretera A-348, resulta ser un



ejemplo de como la acción antrópica puede alterar la estabilidad de los taludes. (Notti, y otros, 2015).

Continuando con el ámbito internacional, se encontró también, un análisis llevado a cabo por (Torres, 2007) acerca de la valoración del riesgo en deslizamientos, en este trabajo, se buscaba estudiar y evaluar las distintas metodologías para cuantificar el riesgo de deslizamientos en los taludes de suelos en el Perú, una de las metodologías usadas implicaba la utilización del programa Slide (en este caso, versión Slide 5.0) para la modelación de los taludes analizados, mediante el programa se obtenía el factor de seguridad para cada superficie de deslizamiento encontrada en el talud y con el factor de seguridad se calculó la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad, obteniendo los resultados esperados.

Por otro lado, se tiene conocimiento de un artículo de investigación científica titulado “Investigación Geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)” (Gallardo, Guerrero, & Armando, 2013) que tenía como objetivo la estabilización de la ladera principal del barrio San Fermín del municipio de Ocaña, debido a que se habían realizado variedad de cortes y construcciones sin ningún tipo de prevención o asesoría técnica que provocaron deslizamientos. Es importante, resaltar que en esta investigación se realizó un análisis cuantitativo de la estabilidad de los taludes involucrados mediante un software especializado, obteniendo como resultado los factores de seguridad, que mostraron cuales eran los sectores que presentaban mayor amenaza de ocurrencia de deslizamientos.

Como se ha podido observar es común definir la estabilidad de un talud en términos del factor de seguridad, obtenido de análisis matemáticos determinísticos, que tienen en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad (Escobar & Valencia, 2012), en el estudio realizado por Luis Javier Escobar Toro y Yamile Valencia Gonzales no solo se evaluó el factor de seguridad de los taludes de suelos ubicados en el Km 41+500 y Km 49+200 de la autopista Medellín- Bogotá del tramo de vía entre Marinilla y Santuario, sino también la probabilidad de falla, el índice de confianza y el parámetro de suelo de mayor peso en la estabilidad, asumiendo distintas inclinaciones con el fin de determinar el talud de corte más seguro para la ejecución del tramo de vía, este estudio muestra que la aplicación de métodos



probabilísticos permiten determinar probabilidad de ruptura, lo que representa un valor agregado frente a los métodos determinísticos que brindan un factor de seguridad.

En el ámbito local, se cuenta con un trabajo de investigación, llevado a cabo por (Aguilar & Zuñiga, 2015), en el que se buscaba realizar un análisis comparativo de estabilidad de taludes, específicamente en las zonas aledañas al cerro de la popa, casco urbano de Cartagena de Indias, mediante los métodos de equilibrio límite, con el fin de determinar cuál de los métodos aportaba un mayor factor de seguridad. Se utilizó el programa Slide, para la obtención del factor de seguridad, obteniendo información detallada de cuales perfiles (Dependiendo de la zona) se encontraban en amenaza de deslizamiento.

La Universidad de Cartagena en convenio con la Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias D, T Y C, ha realizado estudios relacionados con los aspectos geológicos y geotécnicos en diferentes zonas de la ciudad, incluyendo las zonas de estudio abarcadas en esta investigación. En los estudios realizados se analizaron taludes y se diseñaron obras de estabilización, algunos de los estudios son:

- En el año 2009, se presentó el informe final titulado: “Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización en tres sitios críticos del cerro de la popa. Tomo I: Lo amador, sector Ricaurte”. En este estudio se evaluaron la topografía del terreno objeto de estudio, las condiciones agrologicas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas e hidrológicas, además, se realizó un análisis de estabilidad de taludes y se establecieron parámetros de amenazas y riesgos para la proposición de obras de mitigación adecuadas a las problemáticas encontradas en el terreno. A través de los estudios, se pudo concluir que la intervención antrópica aporta inestabilidad en el área analizada, específicamente, la construcción de viviendas en la parte alta intermedia de la ladera, la deforestación y la intervención de drenajes naturales (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2009).
- Continuando con los estudios desarrollados en el cerro de la popa, el Tomo II, se centró en el sector de Loma del Diamante, llevado a cabo en el año 2009. En el sector de Loma del Diamante, se evaluaron características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, hidráulicas, geotécnicas, de cobertura y uso del suelo, entre otras. El



análisis de estabilidad de taludes que se llevó a cabo en las laderas de la zona, mostro que la situación de la zona (inestable) se debía principalmente a la colonización de la ladera, sin planificación (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2009).

- De acuerdo al informe final titulado: “Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización en tres sitios críticos del cerro de la popa. Tomo III: Salto del Cabrón”, es este sector la principal problemática de estabilidad, evidenciada a partir del análisis de estabilidad de taludes, se debía a la presencia de rellenos, generando inestabilidad de tipo rotacional y rotaciones con componentes translacionales (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2009).
- En el año 2011, y bajo el convenio interadministrativo celebrado entre la Alcaldía Mayor de Cartagena y la Universidad de Cartagena, se presentó el informe final denominado “Diagnostico del estado actual de la vía de acceso al conjunto residencial Mirador de Zaragocilla y formulación de alternativas de solución”. El objetivo principal del estudio en cuestión, era evaluar el estado de la vía y definir alternativas que permitieran garantizar la estabilidad de la misma, para lograrlo, se realizaron estudios de las características geológicas, hidrológicas y geotécnicas del área involucrada. Es importante destacar que los problemas de inestabilidad y deterioro de la vía se debían en gran medida a que el mirador de Zaragocilla y sus alrededores, se encuentran en la Loma del Marion, la cual se ha caracterizado por presentar inestabilidad de taludes; a su vez, la inestabilidad de los taludes era ocasionada por la falta de cobertura vegetal que puede ser de gran ayuda para evitar movimientos en masa (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2011).
- Por los problemas relacionados con la estabilidad de las laderas de la Loma del Marion, se realizaron estudios de tipo geotécnico, específicamente en el sector Manzanares, en el barrio Nuevo Bosque y se diseñaron obras de estabilización. El informe final fue denominado “Evaluación geotécnica y diseños de estabilización de las laderas de la Loma del Marion, sector Manzanares, en el barrio Nuevo bosque, casco urbano de Cartagena” y fue presentado en el año 2011, se evaluó la vulnerabilidad de las viviendas e infraestructura presente en la zona y se plantearon obras de estabilización y control. Dentro de las conclusiones obtenidas de acuerdo al



análisis de estabilidad de taludes, se encontró que el área de estudio era susceptible a movimientos en masa de tipo caída de bloques, flujos de fragmentos de roca, reptación y deslizamientos rotaciones; además, se encontró que los factores antrópicos de mayor impacto en la desestabilización de laderas fueron, las excavaciones, cortes, alteración de drenajes naturales y el vertimiento de aguas servidas y residuos sólidos directamente sobre el terreno (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2011).

- En el barrio San Francisco, también se han presentado situaciones críticas ocasionadas por la desestabilización de los taludes presentes en la zona, dentro de los estudios realizados a través del convenio mencionado, se encontró el informe final presentado en el año 2012 y llamado “Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización de las laderas del sector nororiente del cerro de la popa, en el barrio San Francisco”, en este estudio se analizaron los escenarios de riesgo para plantear las obras necesarias de estabilización y control. En el sector del barrio San Francisco se encontró deslizamiento de tipo rotacional retrogresivo y se concluyó que el monitoreo constante en la zona es de vital importancia para evitar posibles tragedias, así como también se establecieron algunas obras de mitigación del riesgo como parte de un plan de control y estabilización del sector (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena , 2012).

Pese a la cantidad de estudios realizados a nivel internacional, nacional y local con respecto a temas de estabilidad de laderas, la incidencia del factor antrópico, a pesar de ser evidentemente un factor detonante de movimientos en masa, no se han realizado estudios que permitan identificar cuál de los diferentes factores antrópicos tiene mayor incidencia en la desestabilización de las mismas.

1.2 MARCO TEORICO

1.2.1 Definición de Talud

Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

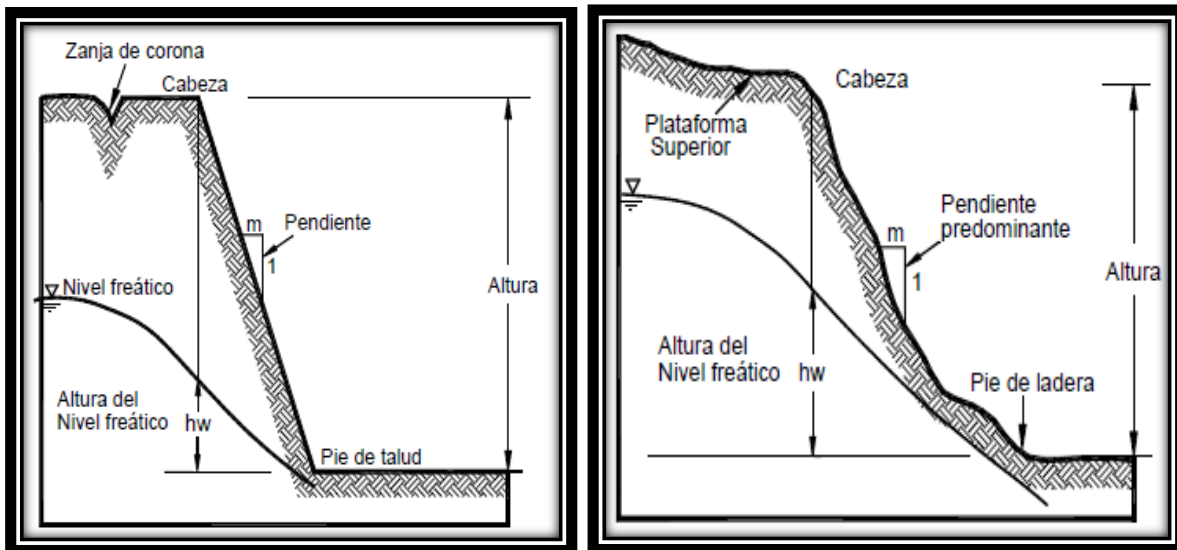


Figura 1. Talud Artificial (Izq.); Ladera Natural (Der.)

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2 Movimientos en Masa

Los deslizamientos según Cruden son “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” citado por (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales. La naturaleza precisa del proceso no está incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, etc. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1 Tipos de Movimientos en Masa

Para la clasificación de los movimientos en masa que se presentarán a continuación, se utilizará la clasificación o sistema propuesto por Varnes en 1978, el cual especifica cada uno de dichos movimientos, teniendo en cuenta los procesos de los mismos.

1.2.2.1.1 Caído (Fall)

Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

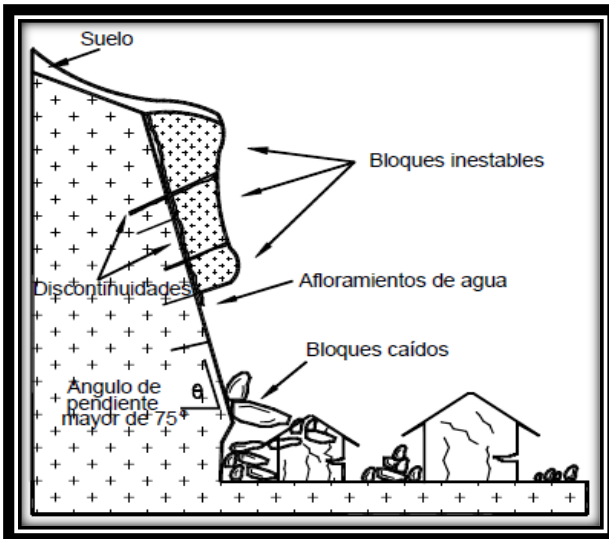


Figura 2. Caídos de bloques en caída libre de roca.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1.2 Volcamiento (Toppling)

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad. Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residuales. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

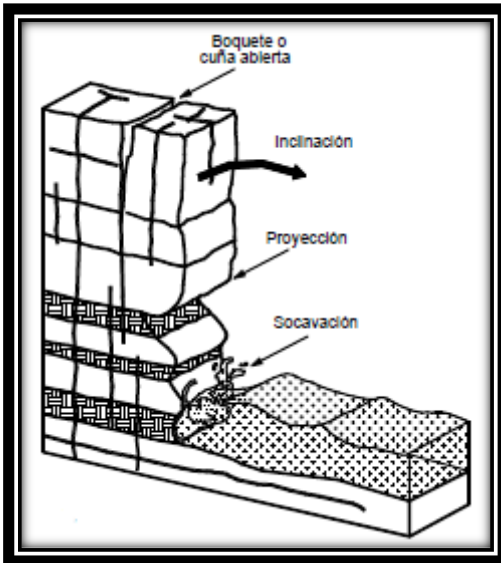


Figura 3. Volcamiento o Inclinación en un proceso de erosión.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1.3 Deslizamiento (Slide)

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1.4 Deslizamiento Traslacional (Translational slide)

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

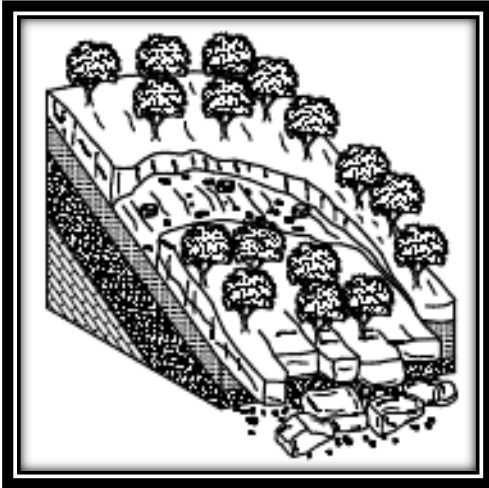


Figura 4. Ejemplo de Deslizamiento Traslacional

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1.5 Deslizamiento Rotacional (Rotational slide, Slump)

En un desplazamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

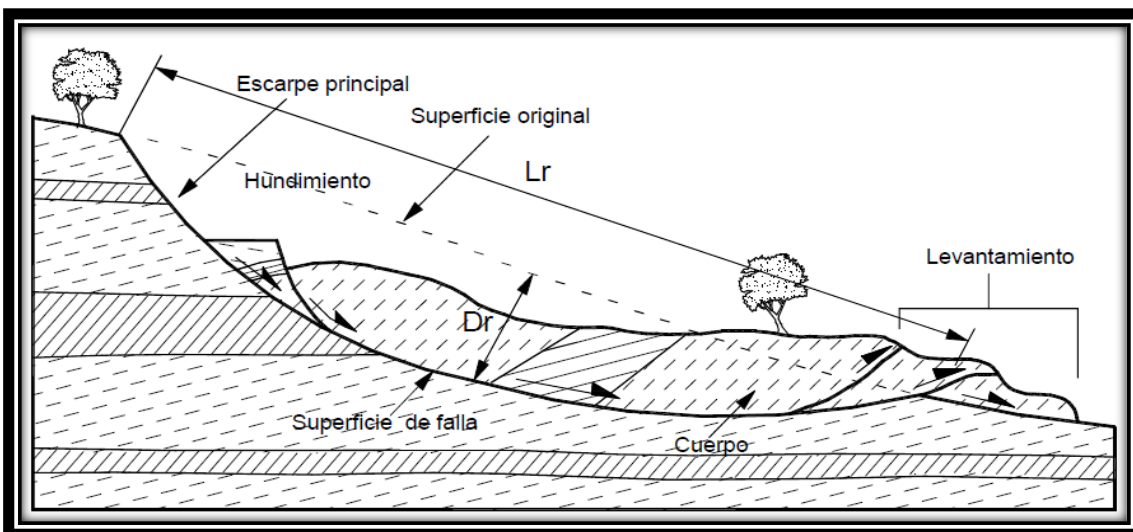


Figura 5. Esquema de Deslizamiento Rotacional en una ladera.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).



1.2.2.1.6 Deslizamiento Traslacional con componente rotacional

Es un tipo de deslizamiento o movimiento en masa denominado “compuesto”, ya que en este se efectúa los dos casos presentados anteriormente, donde comienza con un deslizamiento traslacional y finaliza con un deslizamiento de tipo rotacional. Sin embargo, siempre hay predominio por parte de uno de estos (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

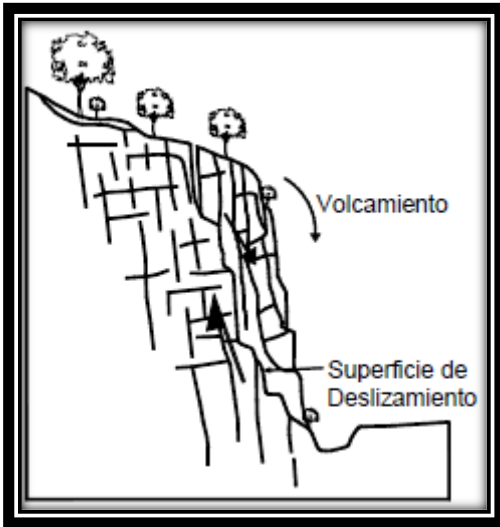


Figura 6. Esquema Deslizamiento Traslacional con componente Rotacional.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.2.1.7 Flujo (Flow)

En un “flujo” ocurren movimientos relativos de las partículas, o bloques pequeños, dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie. Las deformaciones relativas internas son muy grandes y fluyen en forma similar a un líquido viscoso. El flujo puede ser laminar o turbulento. Al aumentar la densidad y la viscosidad, el flujo. (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

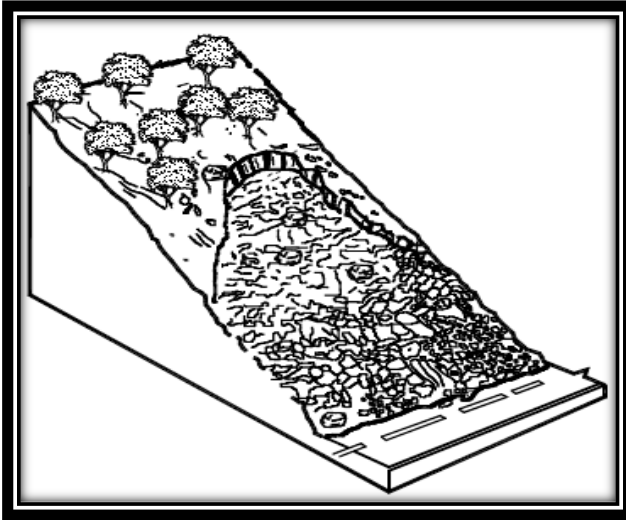


Figura 7. Flujo de bloques de roca y residuos en la excavación de una vía.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009).

1.2.3 Esfuerzo y Resistencia al cortante

La modelación o representación matemática del fenómeno de falla al cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de la resistencia de materiales. Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998):

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan(\varphi') \dots (\text{Para Suelos Saturados})$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan(\varphi') + (\mu - \mu_a) \tan(\varphi'') \dots (\text{Para Suelos Parcialmente Saturados})$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = Cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

μ_a = Presión del aire intersticial

φ' = Angulo de fricción interna del material

φ'' = Angulo de fricción del material no saturado.



El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor u está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

$$\sigma' \text{ (Presión efectiva)} = \sigma - \mu$$

ϕ' = Angulo de fricción para presiones efectivas.

c' = Cohesión para presiones efectivas.

1.2.3.1 Angulo de Fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998):

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi$$

El ángulo de fricción depende de varios factores, entre ellos algunos de los más importantes son:

- a. Tamaño de los granos
- b. Forma de los granos
- c. Distribución de los tamaños de granos
- d. Densidad

1.2.3.2 Presión de Poros

En general, la presión de poros consiste en la presión en el agua dentro de los poros del suelo y se identifica con la letra “ μ ”. La presión de poros disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, trata de separarlas y disminuye la resistencia a la fricción.



Si el agua en el suelo no está en movimiento, la altura del agua genera un fenómeno de presión hidrostática (Suarez, Deslizamientos: Análisis Geotécnico, 2009):

$$\mu = \gamma_w * Z_w$$

Donde:

γ_w = peso unitario del agua

Z_w = profundidad vertical del punto por debajo del nivel de agua freática.

1.2.3.3 Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos. (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.3.4 Cohesión aparente

En los suelos no saturados el agua en los poros produce un fenómeno de adherencia por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.3.5 Concepto de esfuerzo efectivo

Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los



esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros. Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.4 Procesos de Origen Antrópico

1.2.4.1 Principales Procesos Antrópicos

Las principales modificaciones causadas por el hombre y que afectan en forma importante la estabilidad de los taludes son (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998):

I. Cambios en la topografía y cargas del talud

- a. Descargue del talud por remoción de suelos y rocas por corte.
- b. Sobrecarga por medio de rellenos, edificios, etc.
- c. Subsistencia o hundimiento por excavaciones subterráneas (túneles).

II. Cambios en las condiciones de humedad

- a. Modificación de las condiciones naturales del agua superficial por medio de canales, zanjas, represas, etc.
- b. Modificación de las condiciones naturales del agua subterránea por medio de pozos de bombeo, concentración de las infiltraciones, etc.
- c. Infiltración de ductos de agua, especialmente acueductos y alcantarillados.
- d. Aceleración de infiltración por la presencia de depósitos de basura y residuos sobre el talud.
- e. Negligencia en el drenaje superficial y subterráneo.



III. Vibraciones

- a. Vibraciones de máquinas.
- b. Vías de comunicación,
- c. Explosivos.
- d. Efectos de la construcción de obras (especialmente el movimiento de maquinaria).

IV. Cambios en la cobertura vegetal

- a. Cambio de la estructura y condiciones de la capa superficial de suelo por prácticas de agricultura, pastoreo, tala de bosques, etc.
- b. Modificación del uso del suelo.

V. Otros factores antrópicos

- a. Negligencia en el manejo de los taludes.
- b. Utilización de los taludes para el paso de personas y animales.

1.2.4.2 Procesos de Urbanización

Los deslizamientos de tierra son un problema muy común en las ciudades construidas en áreas de montaña.

Existe una relación entre la ocurrencia de deslizamientos y la rapidez de los procesos de urbanización, en especial de los desarrollos desordenados. Los casos más graves ocurren en áreas geotécnicamente susceptibles y con desarrollo urbano rápido y desordenado. Las diversas intervenciones del hombre tales como cortes, rellenos, deforestación, concentración de aguas lluvias y servidas, etc., determinan en buena parte la ocurrencia de deslizamientos.

Los deslizamientos en áreas urbanas son afectados por elementos propios del proceso de urbanización y el manejo inapropiado del ambiente. Se debe tener en cuenta la presencia y posible rotura o fugas de redes de aguas de acueducto y alcantarillado (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).



1.2.4.3 Modificación de la Topografía

La modificación de la topografía del terreno mediante cortes o rellenos puede producir la activación de un deslizamiento. Un corte en un talud produce varios cambios sustanciales en el estado de la formación residual (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

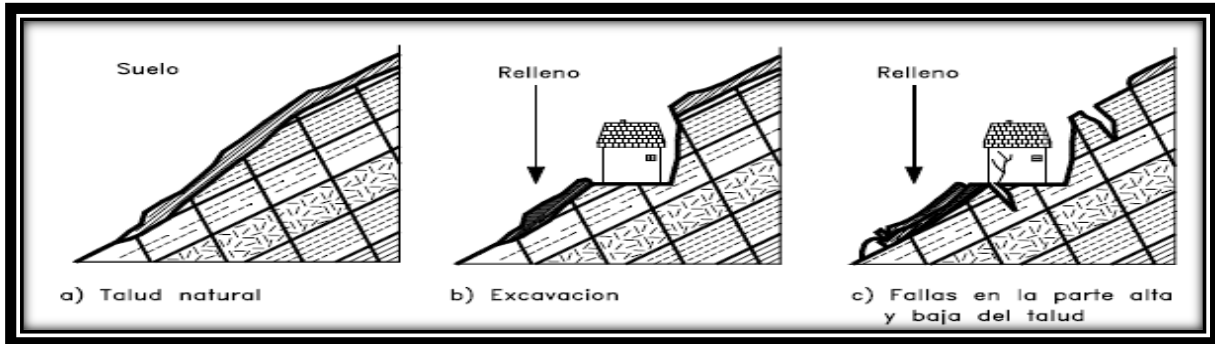


Figura 8. Los cortes y rellenos pueden generar deslizamientos de tierra debido a los cambios de esfuerzos y a la infiltración de agua.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.4.4 Deforestación

La deforestación ha sido identificada como un elemento muy importante de desestabilización de las laderas urbanas. La tala y quema indiscriminada de los bosques tropicales, especialmente cerca a los núcleos urbanos ha producido efectos catastróficos de erosión masiva y ocurrencia de deslizamientos. La Cobertura Vegetal presente determina una mayor o menor protección contra el impacto de la lluvia o la acción de las corrientes de agua. Adicionalmente la vegetación retarda la escorrentía regulando los picos de caudal de las corrientes (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.4.5 Cambios Hidrológicos

La intervención humana del medio físico produce cambios importantes en la hidrología en las áreas urbanas en las siguientes formas (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998):



- a) Eliminación de áreas cubiertas por bosques o vegetación y su reemplazo por áreas duras y edificaciones.
- b) Cambios topográficos para adaptar los terrenos al proceso de urbanización.
- c) Canalización de aguas por medio de pavimentos, sumideros y alcantarillados, disminución de la rugosidad, inhibición de la infiltración y de la evapotranspiración, aumento de los caudales y reducción del tiempo de concentración.

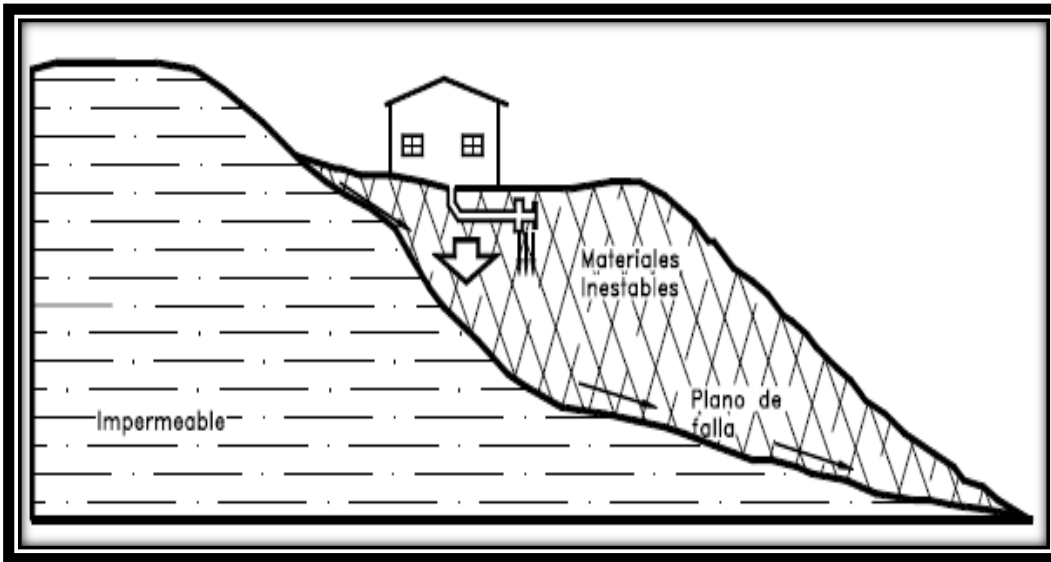


Figura 9. Deslizamiento de un relleno o de un coluvión por infiltración de agua.

Fuente: (Suarez, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, 1998).

1.2.5 Modelación de Talud para cálculo de Estabilidad (Software Slide)

Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc (Tierra y Tecnología, 2016).



1.2.6 Métodos Probabilísticos para análisis de confiabilidad

Los métodos probabilísticos según (Escobar & Valencia, 2012) “son métodos que permiten determinar la distribución de probabilidad de una variable dependiente en función del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables independientes las cuales generan la variable dependiente”. En el caso del factor de seguridad de la estabilidad de un talud, se determina su curva de distribución de probabilidad a partir del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables de cohesión, ángulo de fricción, peso específico, etc. A partir de esta distribución se puede determinar la probabilidad de ruptura (Pr), definida como la parte del área bajo la curva de distribución de probabilidad del F.S. menor que 1,0. Existen varios métodos para determinar la distribución de probabilidad de una variable dependiente, entre ellos se encuentra el método FOSM, el cual se basa en la serie de Taylor, método Montecarlo, entre otros, (Escobar & Valencia, 2012).

1.2.6.1 Método probabilístico Montecarlo

El método Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. La importancia actual del método Montecarlo se basa en la existencia de problemas que tienen difícil solución por métodos exclusivamente analíticos o numéricos, pero que dependen de factores aleatorios o se pueden asociar a un modelo probabilístico artificial (resolución de integrales de muchas variables, minimización de funciones, etc.). Gracias al avance en diseño de los ordenadores, cálculos Montecarlo que en otro tiempo hubieran sido inconcebibles, hoy en día se presentan como asequibles para la resolución de ciertos problemas. En estos métodos el error $\sim 1/\sqrt{N}$, donde N es el número de pruebas y, por tanto, ganar una cifra decimal en la precisión implica aumentar N en 100 veces. La base es la generación de números aleatorios de los que nos serviremos para calcular probabilidades. (Universidad Autónoma de Madrid, 2013).



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y establecer cuál de los diferentes procesos de origen antrópico tiene mayor incidencia en la ocurrencia de movimientos en masa, mediante su cuantificación, utilizando métodos determinísticos y probabilísticos aplicados en taludes ubicados en los barrios San Francisco, Nueva Granada y Manzanares de la ciudad de Cartagena para brindar información pertinente en caso de futuras obras de control y/o estabilización de taludes en dichos sectores.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Especificar las características topográficas, geológicas y parámetros geotécnicos, de los taludes estudiados, ubicados en los barrios San Francisco, Nueva Granada y Manzanares de la ciudad de Cartagena de Indias, mediante el análisis de los estudios realizados con anterioridad en las zonas de estudio.
- Considerar los factores antrópicos presentes en los tres barrios seleccionados para el estudio, como excavaciones, cortes, sobrecargas e infiltraciones para la modelación de los mismos en el software de estabilidad de taludes, Slide v.5.
- Determinar el factor de seguridad y la probabilidad de falla, mediante la modelación de los terrenos en el software de análisis de estabilidad de taludes Slide v.5.
- Determinar el índice de confiabilidad en los taludes estudiados, mediante la utilización de modelos determinísticos y probabilísticos de análisis de estabilidad de taludes.
- Establecer, a partir de los resultados obtenidos, cuál de los factores antrópicos modelados en el software de estabilidad de taludes sobre cada perfil de las zonas de estudio, tiene mayor incidencia en la desestabilización de los taludes implicados y realizar las conclusiones pertinentes.



3. ALCANCE

El proyecto investigativo se llevó a cabo en la Ciudad de Cartagena de Indias - Colombia, exactamente en los sectores de San Francisco (Latitud: 10°25'55.63"N; Longitud: 75°31'4.96"O), Nueva Granada (Latitud: 10°23'45.97"N; Longitud: 75°30'24.61"O) y Manzanares (Latitud: 10°23'46.16"N; Longitud: 75°30'39.91"O), localizaciones en las cuales se encuentran delimitados los taludes evaluados. (Ver Figuras 10, 11 y 12)



Figura 10. Localización de Talud de Manzanares.

Fuente: (Google Earth, modificada por autores, 2017).



Figura 11. Localización de Talud de Nueva Granada.

Fuente: (Google Earth, modificada por autores, 2017).



Figura 12. Localización de Talud de San Francisco.

Fuente: (Google Earth, modificada por autores, 2017).



La investigación y desarrollo del presente trabajo se realizará en los meses comprendidos en el segundo período académico del 2017, comenzando con una revisión bibliográfica, la cual consta principalmente en búsquedas de libros, artículos científicos y trabajos de grados referentes al tema propuesto, una recopilación de información a base de estudios e informes, realizados por instituciones distritales, acerca de las caracterizaciones geológicas de las zonas a estudiar, y consultas a personal capacitado en lo que a estabilidad de taludes y movimientos en masa se refiere.

Las variables de estudio a valorar son principalmente los parámetros geotécnicos y características geológicas de los taludes escogidos para la investigación, como los son la cohesión, el ángulo de fricción, el peso unitario (húmedo y seco), entre otros, conociendo de esta forma sus condiciones reales o naturales con el uso del software de análisis de taludes Slide. Posteriormente, se involucrarán algunos de los distintos factores antrópicos, con los que se modificarán las condiciones de los terrenos y se evaluarán la incidencia de estos en ocurrencias de movimientos en masa. Dentro de los factores antrópicos que se han presentado en las tres zonas de estudio, a nivel general, se encuentran, de acuerdo a los estudios realizados por la Universidad de Cartagena y la Alcaldía Mayor de Cartagena, las deficiencias constructivas de tipo estructural de viviendas, presencia de pozas sépticas, infiltraciones de redes de acueducto y alcantarillado, excavaciones inadecuadas, rellenos de humedales antiguos, problemáticas de construcciones no planificadas, que producen sobrecarga sobre el terreno y la deforestación vegetal (Aguilar Collazo, 2015).

En cuanto a los resultados buscados o esperados mediante el desarrollo del proyecto investigativo, se obtendrán los factores de seguridad y la probabilidad de falla de los taludes estudiados, en base al análisis realizado con ayuda del programa Slide v.5, además, se determinará un índice de confiabilidad, que permitirá establecer el nivel de seguridad del método determinístico empleado para la investigación. Finalmente, con base a los resultados conseguidos, se determinará cuál de los distintos factores antrópicos es el más influyente a la hora de producir fallas de tipo geológicas en las zonas estudiadas. Es pertinente señalar que las conclusiones finales de la investigación, podrán ser aplicadas, como referencias



confiables, en materia de uso del suelo para futuros proyectos de obras civiles en las zonas evaluadas.

Las principales limitaciones consideradas en el proyecto son de carácter económico y temporal, ya que se requiere la realización de estudios topográficos y geológicos de los terrenos que se evaluarán, los cuales no se ejecutaron, ya que se requiere una inversión económica muy alta y tiempo considerable para la ejecución de estos, sin embargo, se usarán estudios e informes realizados en las zonas contempladas de dicha investigación para la obtención de los datos requeridos y solicitados en el presente trabajo. Además, se debe resaltar el hecho de que no se evaluarán todos los factores antrópicos existentes, sino que se escogerá un grupo específico de estos (los más comunes) y se compararán entre ellos para determinar el más influyente a la hora de provocar movimientos en masas.

En todo caso, es importante destacar que el proyecto a realizar pretende servir como base tanto para posteriores investigaciones y estudios a terrenos donde se presenten factores de origen antrópico, como para futuras propuestas de medidas de prevención, control y/o estabilización, para una disminución del efecto provocado por dichos procesos, que se puedan realizar en las zonas de estudio.



4. METODOLOGÍA

La investigación a realizar es inicialmente, de tipo exploratoria, teniendo en cuenta que la recopilación y el análisis de la bibliografía seleccionada ha revelado que el problema de investigación ha sido poco estudiado, presentando ideas vagamente vinculadas con el problema de estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

Se buscó, a través de esta investigación, determinar cuál factor antrópico tiene mayor incidencia en la ocurrencia de movimientos en masa sobre taludes en zonas específicas de la ciudad de Cartagena de Indias. Para el cumplimiento de los objetivos planteados, la investigación tomó, en segunda instancia, un sentido descriptivo, debido a que, en los barrios seleccionados se realizaron con anterioridad, estudios de tipo geológico, geotécnico y topográfico, los cuales sirvieron de base para la obtención de los parámetros requeridos en la investigación presente.

La investigación tiene un enfoque mixto de dos etapas, cualitativa, donde se realiza un análisis de la información bibliográfica y cuantitativa, donde se determinaron los factores de seguridad y la probabilidad de ocurrencia de movimiento, a través de la modelación computacional de los perfiles estratigráficos de cada uno de los barrios.

Los sectores estudiados en esta investigación están ubicados en la Ciudad de Cartagena de Indias, exactamente en los sectores de San Francisco (Latitud: 10°25'55.63"N; Longitud: 75°31'4.96"O), Nueva Granada (Latitud: 10°23'45.97"N; Longitud: 75°30'24.61"O) y Manzanares (Latitud: 10°23'46.16"N; Longitud: 75°30'39.91"O), localizaciones en las cuales se encuentran delimitados los taludes a evaluar y analizar. La investigación fue llevada a cabo entre los meses de junio y octubre del año 2017 y se utilizaron estudios realizados en los años 2011 y 2012.

En la Figura 13 se presenta el esquema de la metodología utilizada para desarrollar el estudio.

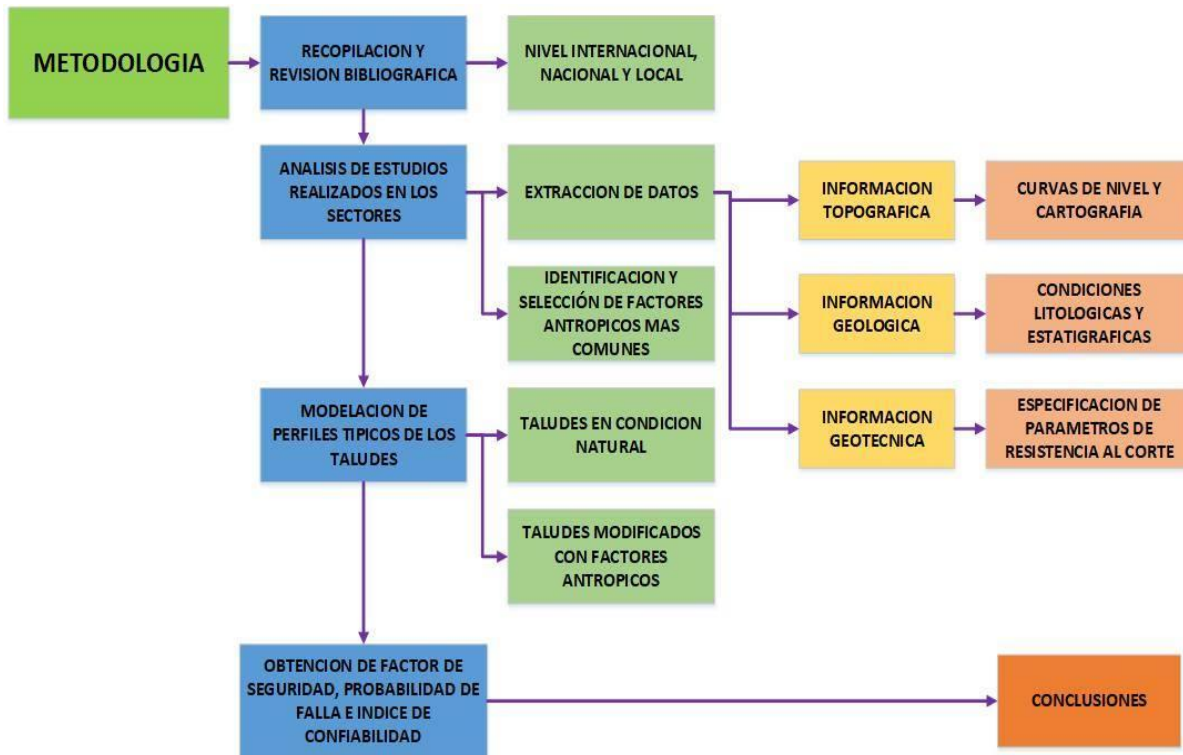


Figura 13. Esquema de la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.

Fuente: (Autores, 2017).

4.1 RECOPIACION Y REVISION BIBLIOGRAFICA

La primera etapa de la metodología seguida en este proyecto, se basó en la búsqueda, recopilación y revisión de diferentes estudios e informes relacionados con la problemática considerada en esta investigación. Primeramente, se recaudó información secundaria, relacionada con la desestabilización de los taludes, como amenaza del bienestar de la sociedad en general, en el ámbito internacional, nacional y local, de tal manera que se evidenció que el factor antrópico no había sido estudiado en profundidad, como detonante de movimientos en masa, por lo cual, se justificó dicho estudio. La información recopilada fue extraída de páginas web de distintas universidades que habían realizado estudios de este tipo, en las investigaciones de trabajos de grado y artículos científicos.

Posteriormente, se recopiló y analizó la información existente de los sectores de interés (Nueva Granada, Manzanares y San Francisco), en la que se demostraba la presencia de



problemas de estabilización de los taludes y de la cual se extrajeron los datos necesarios para cumplir con los objetivos propuestos. Los informes fueron suministrados por la Universidad de Cartagena, que realizó, en conjunto con la Alcaldía Mayor de Cartagena, mediante un convenio administrativo, diferentes estudios de tipo geológicos, geotécnicos y topográficos en los años 2011 y 2012 sobre estos sectores.

4.2 ANALISIS DE ESTUDIOS REALIZADOS EN LOS SECTORES

Los estudios realizados por la universidad de Cartagena en conjunto con la Alcaldía, se presentaron a través de informes definitivos en los que se plasmaron los resultados obtenidos de estudios topográficos, caracterización agrologica, evaluación geomorfológica y geológica, evaluación hidrológica, caracterización geotécnica y análisis de amenazas de cada uno de los sectores. Adicionalmente, se plantearon obras de mitigación y finalmente se presentaron conclusiones.

Mediante el análisis detallado de los informes definitivos de cada sector y con la información digital de los planos topográficos y perfiles estratigráficos, se obtuvieron los parámetros necesarios para el desarrollo cuantitativo de la presente investigación. Los parámetros correspondientes a cohesión, ángulo de fricción, pesos unitarios secos y saturados, dependían del tipo de material, los cuales fueron clasificados con la realización de sondeos y estudios geotécnicos, y se presentaron a través de tablas y modelaciones en AutoCAD. También se lograron extraer las desviaciones estándar de los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario seco de cada material, para el cálculo de la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad.

Finalmente, en cada informe se presentó dentro del análisis de susceptibilidad y amenaza, un subanálisis del efecto antrópico como un factor que aumenta el riesgo de ocurrencia de movimientos en masa. Tanto en Nueva Granada como en Manzanares y San Francisco, las intervenciones más comunes por parte de la comunidad habitante de los sectores, sobre los taludes, son cortes, rellenos o sobrecargas y la infiltración debido a descarga de aguas servidas sobre el terreno (Alcaldia Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena , 2012), en este sentido, se decidió evaluar estos tres factores antrópicos en la investigación.



4.3 MODELACION DE LOS PERFILES TÍPICOS DE LOS TALUDES

A continuación, se presenta un esquema general del procedimiento que se realizó con cada perfil para su respectiva modelación.

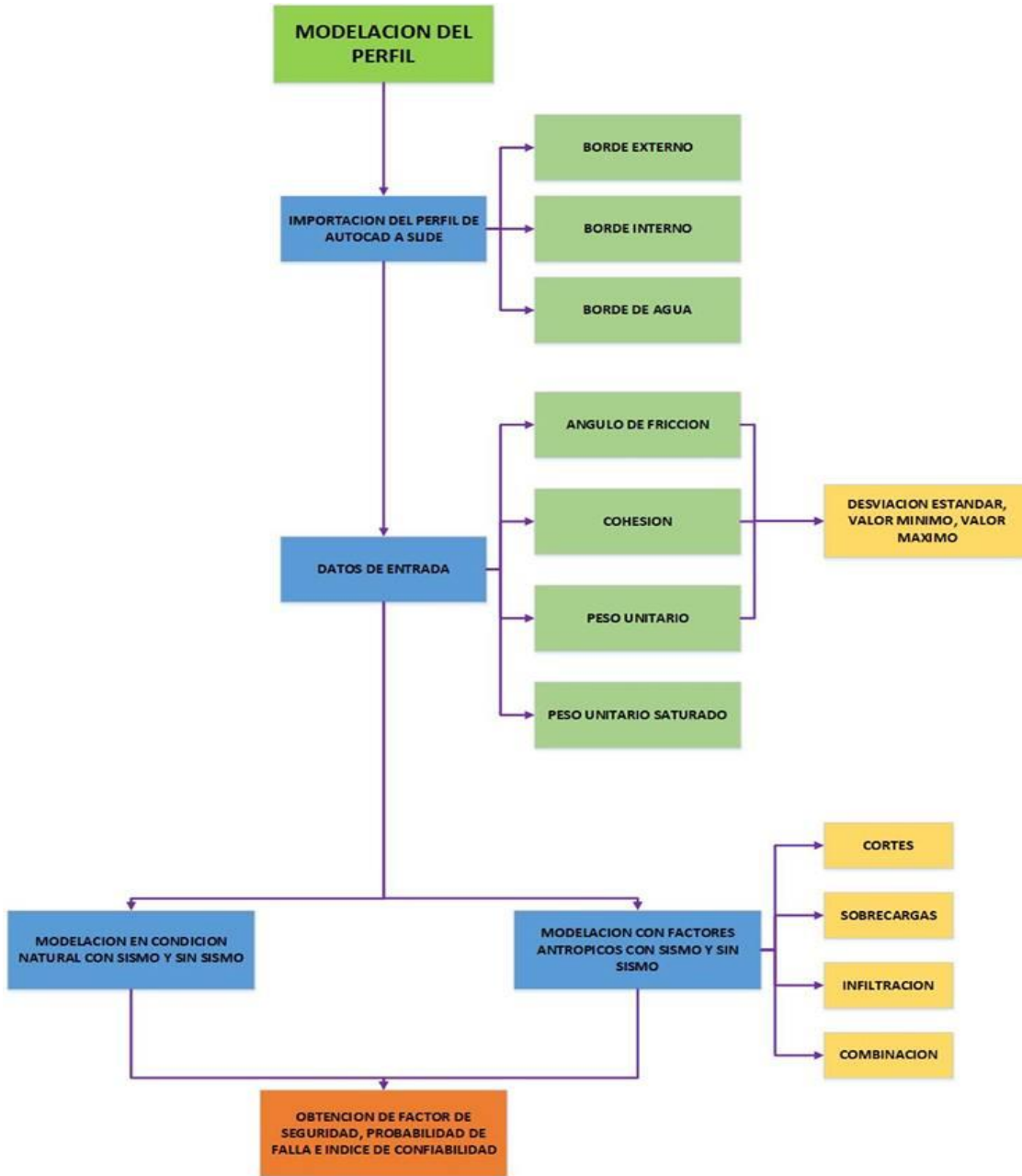


Figura 14. Esquema de procedimiento de modelación de perfiles.

Fuente: (Autores, 2017).



El proceso de modelación de los taludes, fue dividido en distintas etapas, teniendo en cuenta que cada perfil debía ser modelado en condición natural sin sismo, condición natural con sismo, afectado por el factor antrópico (corte, relleno e infiltración) sin sismo y afectado por el factor antrópico con sismo.

Cada sector contaba con un número específico de perfiles de los cuales se hizo una preselección, teniendo en cuenta la cantidad de estratos presentes. Seleccionando así, seis (6) perfiles representativos para cada sector.

4.3.1 IMPORTACION DEL PERFIL DE AUTOCAD A SLIDE

Con la información digital de los planos topográficos y la conformación estratigráfica de los perfiles, se dibujaron con ayuda del programa AutoCAD los bordes externos, internos y el borde de agua de cada perfil, como se observa en el ejemplo a continuación.

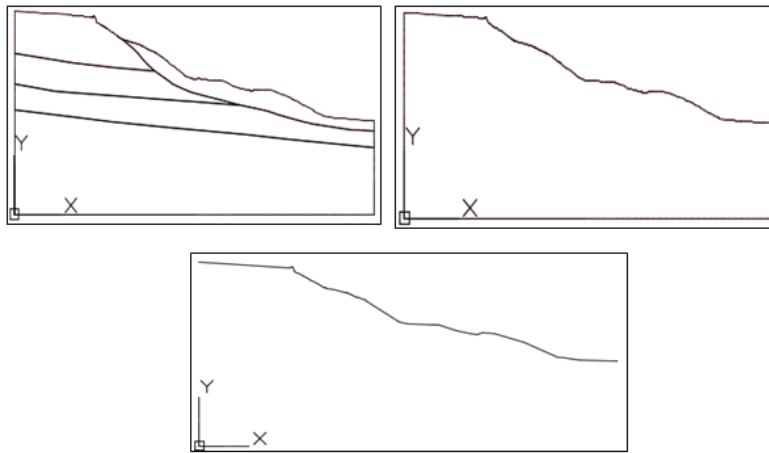


Figura 15. Ejemplo de dibujo de bordes, externo, interno y borde de agua del perfil.

Fuente: (Autores, 2017)

Los bordes de cada perfil, deben ubicarse en el origen, de tal manera que al ser importados al programa Slide, estos puedan tener la distancia en los ejes, adecuada. A su vez, el formato de importación debe ser DXF.

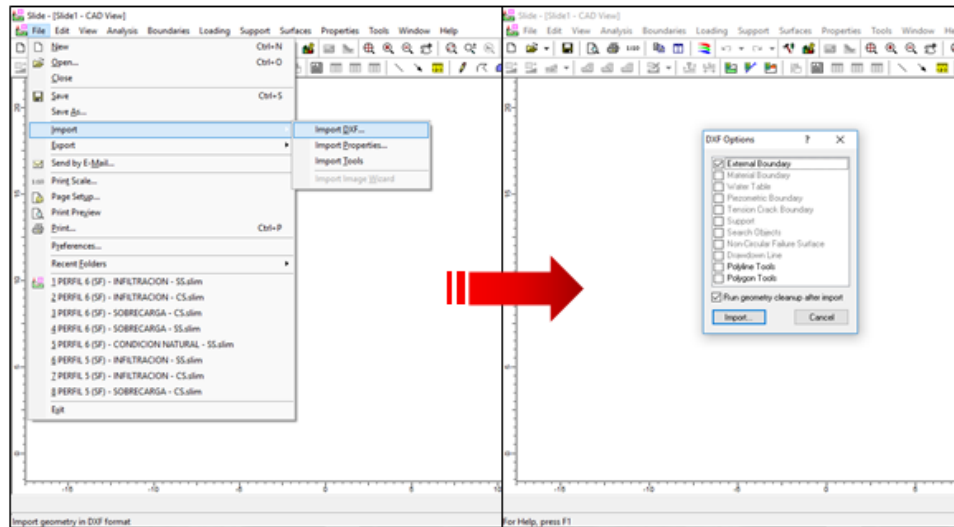


Figura 16. Paso de importación de bordes, de AutoCAD al programa Slide

Fuente: (Autores, 2017)

4.3.2 DATOS DE ENTRADA

Una vez importado el perfil en Slide, se procedía a configurar el programa en la opción “Project Settings”, para trabajar con las características correspondientes del proyecto, que son las siguientes:

- “General”: Sistema de Unidades Métrico, Unidad de tiempo en días, Unidad de Permeabilidad en metro/segundo y la Dirección de la falla dependiendo de la dirección del talud.
- “Methods”: Los métodos que se utilizaron en el proyecto son el Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Fellenius y Morgenstern-Price.
- “Groundwater”: Método de Coeficiente de presión intersticial (Coeficiente de R_u).
- “Statics”: Se utilizó el análisis probabilístico de Montecarlo con un numero de muestras igual a mil (1000).

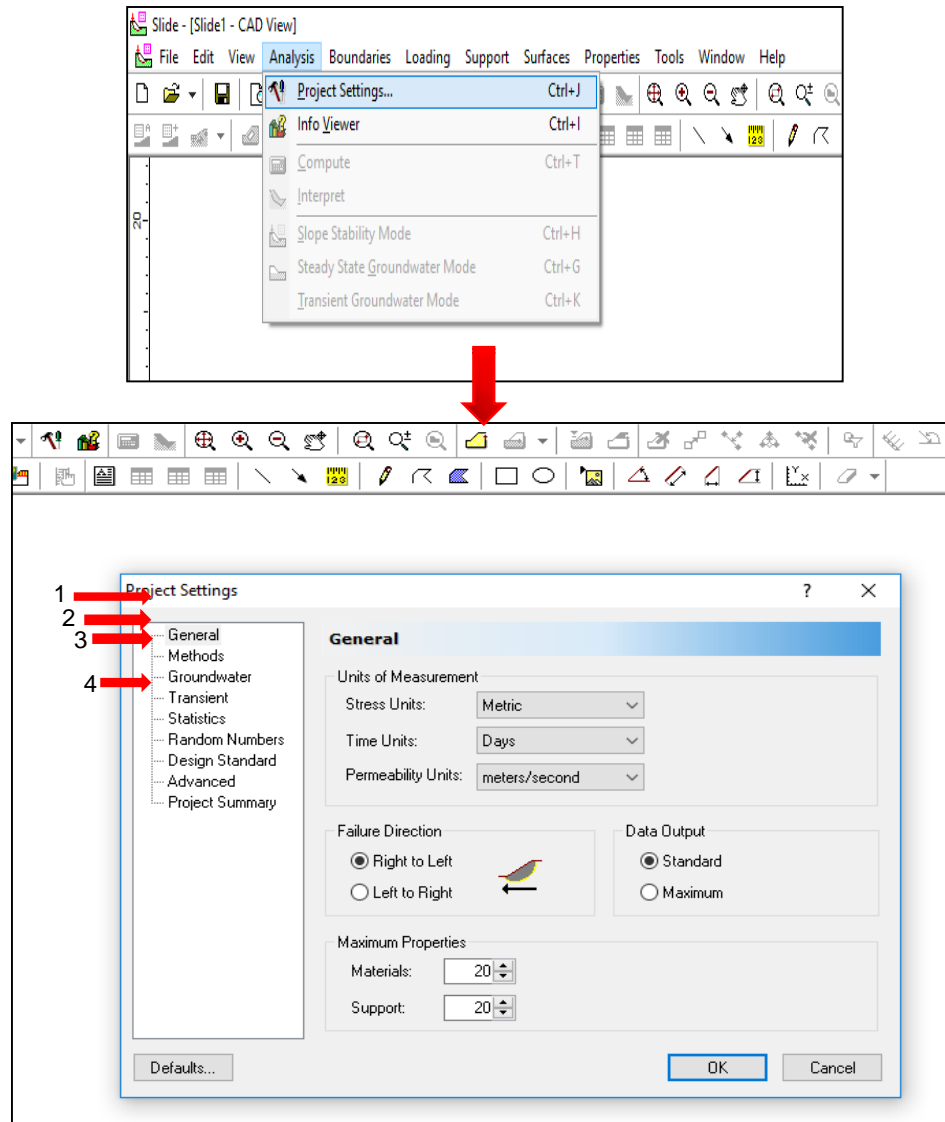


Figura 17. Introducción de la configuración general en el programa Slide.

Fuente: (Autores, 2017)

Posteriormente, se agregaban las propiedades de cada uno de los estratos, a través de la herramienta “Define Materials Properties”, con la que se definía el nombre del material, peso específico seco y saturado, cohesión, ángulo de fricción y coeficiente Ru.

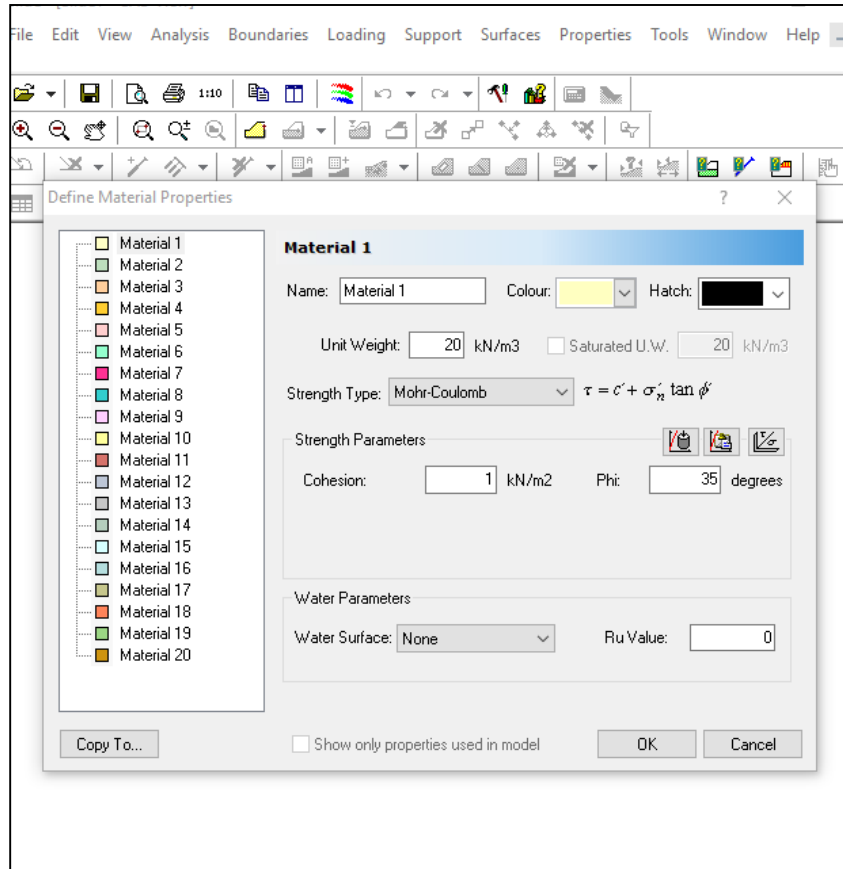


Figura 18. Introducción de los parámetros geotécnicos de cada estrato.

Fuente: (Autores, 2017)

Para incluir los datos correspondientes a desviación estándar y valores máximos y mínimos, fue necesario definir a través de la herramienta “Materials Statics” los materiales y parámetros que tendrían variación. En este caso, se varió la cohesión, ángulo de fricción y el peso específico seco de los materiales, asumiendo una distribución normal.

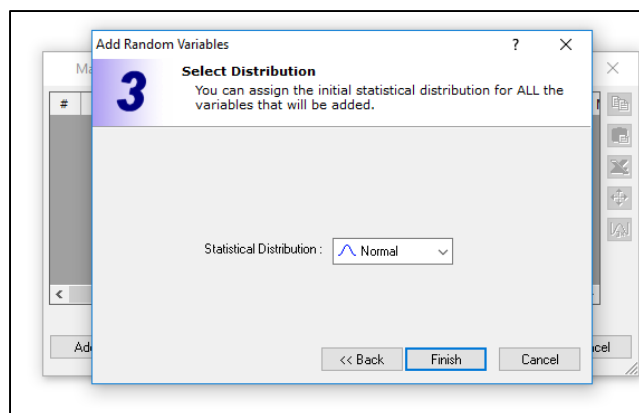
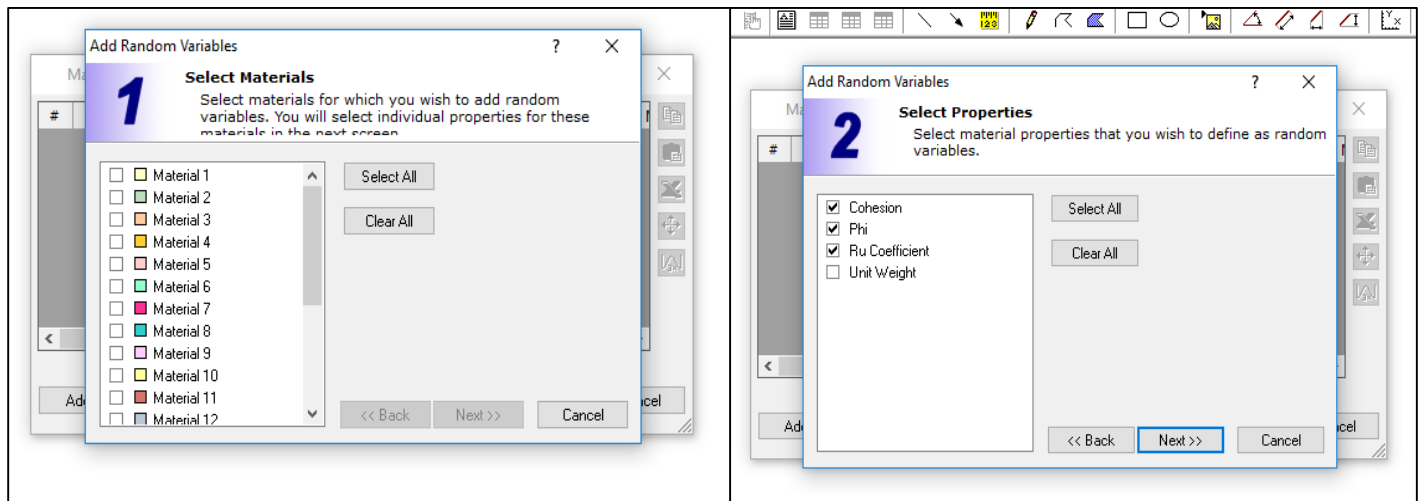
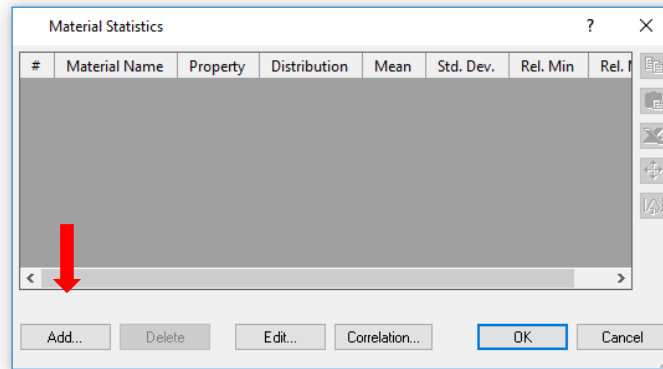
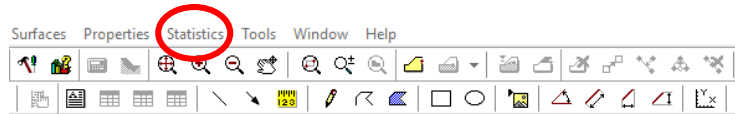


Figura 19. Procedimiento para incluir datos de probabilidad

Fuente: (Autores, 2017)



#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Material 1	Cohesion	Normal	1	0	0	0
2	Material 1	Phi	Normal	35	0	0	0
3	Material 1	Ru Coefficient	Normal	0	0	0	0
4	Material 2	Cohesion	Normal	1	0	0	0
5	Material 2	Phi	Normal	35	0	0	0
6	Material 2	Ru Coefficient	Normal	0	0	0	0
7	Material 3	Cohesion	Normal	1	0	0	0
8	Material 3	Phi	Normal	35	0	0	0
9	Material 3	Ru Coefficient	Normal	0	0	0	0
10	Material 4	Cohesion	Normal	1	0	0	0
11	Material 4	Phi	Normal	35	0	0	0
12	Material 4	Ru Coefficient	Normal	0	0	0	0

Figura 20. Cuadro de datos de entrada para análisis de probabilidad

Fuente: (Autores, 2017)

4.3.3 MODELACION DEL TALUD EN CONDICION NATURAL E INTERVENIDO

Una vez finalizada la introducción de los datos correspondientes a la información estratigráfica del perfil, se tiene el mismo en condición natural, es decir, sin ningún tipo de afectación o intervención. En esta condición se le hace un análisis de estabilidad al talud para conocer el estado de riesgo del mismo.

Posteriormente, se afecta el talud con un agente natural como lo es el sismo, basado en la NSR-10, Titulo A, Tabla A.2.3-2 (Ver Anexo 58), que muestra los valores de A_a y A_v para las ciudades capitales de departamentos, siendo, para la ciudad de Cartagena, 0,1 y 0,1 respectivamente. Para el A_v , sin embargo, se asume solo un 66,6% del valor total, teniendo en cuenta los estudios realizados por Newmark y otros, donde se encontró que la aceleración vertical es aproximadamente $2/3$ de la aceleración horizontal (Tiziano perea, 2005).

Estos valores son añadidos al programa a través de la herramienta “Loading” seguida de la opción “Seismic Load” y nuevamente, se realiza el análisis de estabilidad del talud.

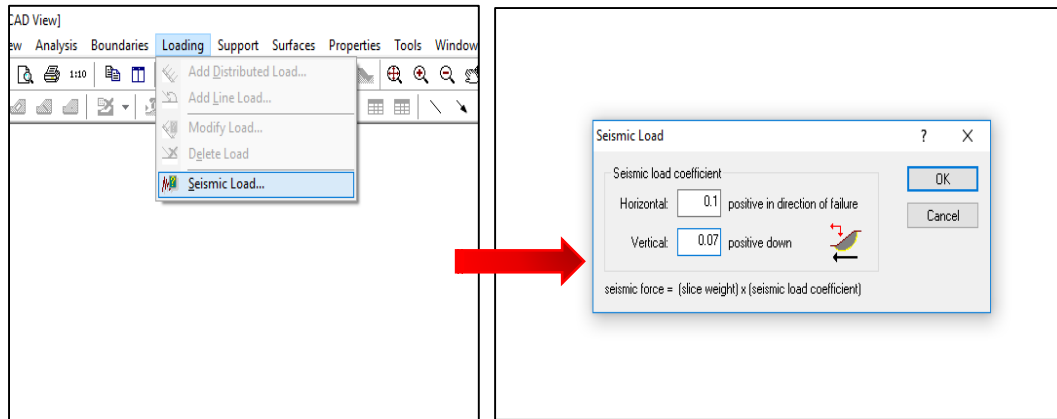


Figura 21. Procedimiento para añadir cargas sísmicas al modelo.

Fuente: (Autores, 2017)

Conocido el estado del talud en condición natural con sismo y sin sismo, se empieza a intervenir con los factores antrópicos en consideración (Cortes, Infiltración, Sobrecargas y la combinación de estos), y con base a los planos topográficos, que muestran el nivel de construcción de los sectores (Ver Anexos 1, 2 y 3)

- **CORTES**

Con la topografía, fue posible establecer que sectores del perfil habían sido modificados, debido a la localización de los predios y las construcciones existentes, por lo tanto, se realizaron los cortes en cada perfil con longitudes aproximadamente iguales a la que determinaba la topografía.

Para la modelación de este factor antrópico, se realizaron los cortes sobre los bordes internos de cada perfil en el programa AutoCAD y se importaron siguiendo la misma metodología explicada en literal 4.3.1 y seguida de los mismos pasos.

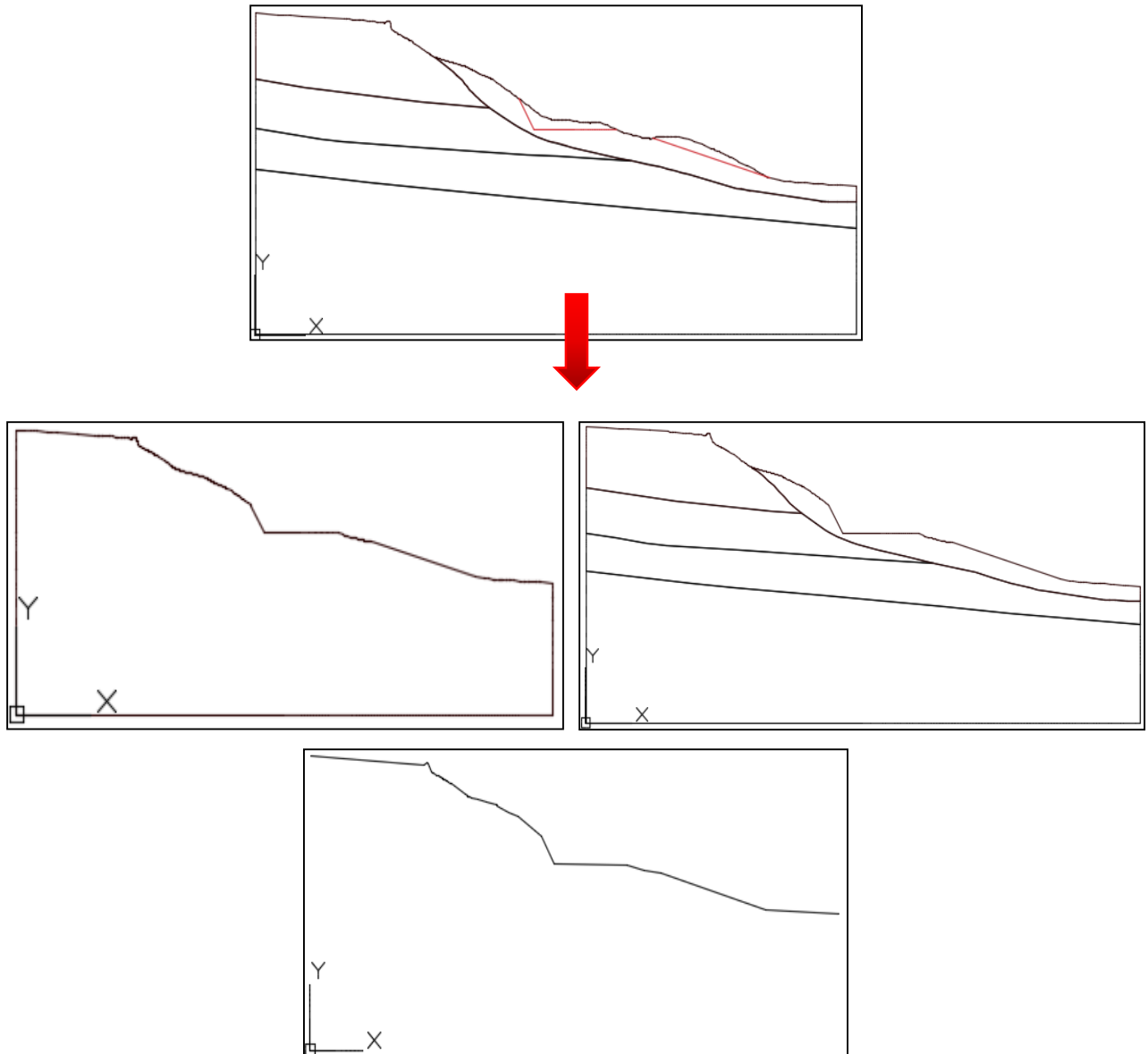


Figura 22. Ejemplo de cortes realizados sobre un perfil.

Fuente: (Autores, 2017)

- **INFILTRACION**

Para esta investigación, se consideró que el terreno estaba completamente saturado, cuando se presentaba coeficiente R_u igual a 0.5 en cada uno de los estratos, causado por la intervención del ser humano por medio de la descarga de aguas servidas.

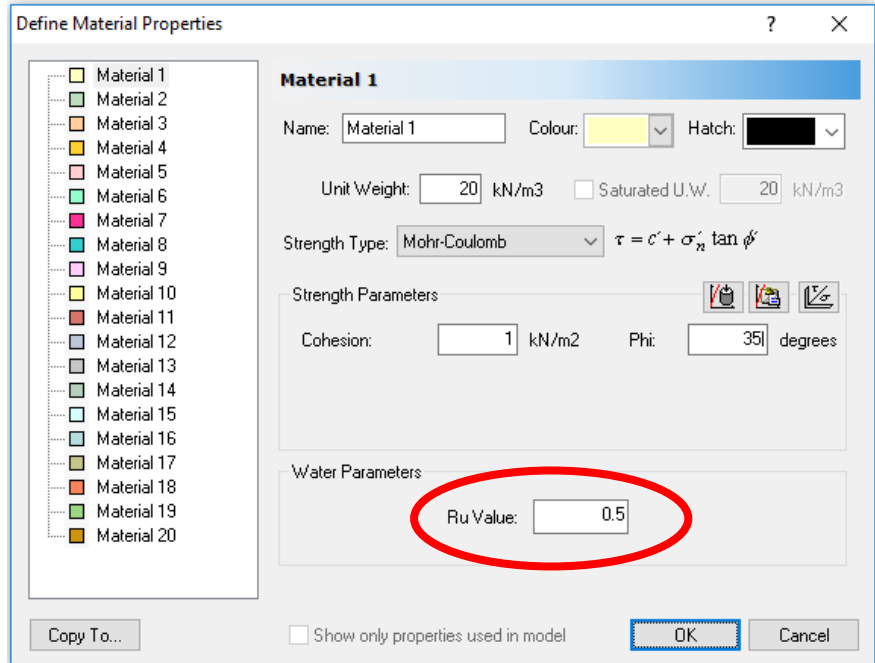


Figura 23. Procedimiento para añadir el factor de infiltración al modelo.

Fuente: (Autores, 2017)

- **SOBRECARGAS**

De la misma manera que se hizo con los cortes, para la ubicación de las sobrecargas se tuvo en consideración, la topografía de los sectores. Para aplicar las sobrecargas, se utiliza la herramienta del programa “Loading” seguida de la opción “Add Distributed Load” en la que se permite colocar la carga en sentido vertical u horizontal y se coloca el valor de la carga que para este caso fue de 2.0 ton/m² en sentido vertical, considerada como la carga máxima de una vivienda de dos pisos, que se presentan con frecuencia en los barrios escogidos para el estudio.

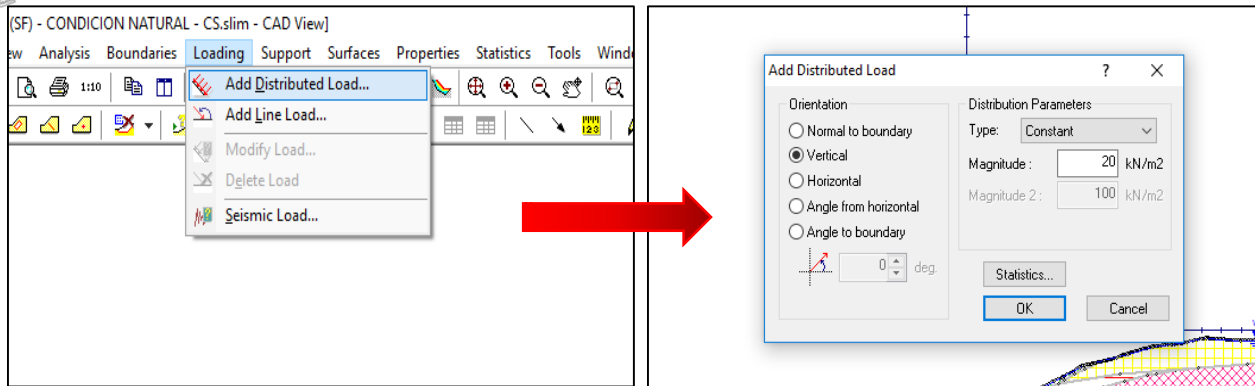


Figura 24. Procedimiento para añadir las sobrecargas sobre el perfil.

Fuente: (Autores, 2017)

• COMBINACIÓN

Finalmente, con el fin de conocer la máxima afectación sobre el talud, provocada por factores antrópicos, se realizó una combinación de los tres factores anteriores, de tal manera que se representara el proceso natural de urbanización, es decir, la construcción de una estructura (corte y sobrecarga) y la descarga de aguas servidas por parte de los ocupantes de dicha estructura, que saturan el terreno (infiltración).

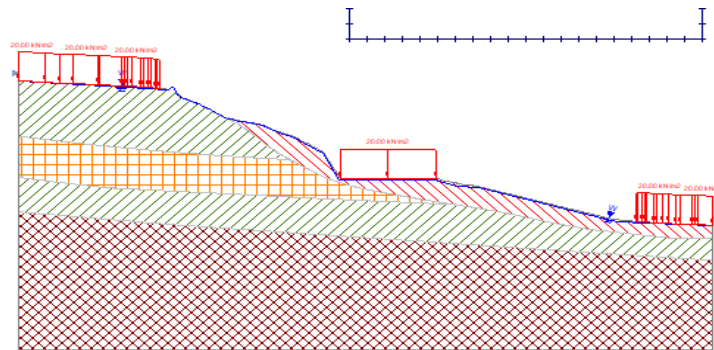


Figura 25. Ejemplo de perfil intervenido con sobrecargas.

Fuente: (Autores, 2017)

4.4 OBTENCIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD, PROBABILIDAD DE FALLA E ÍNDICE DE CONFIABILIDAD

En cada una de las condiciones en las que se modelaron los taludes (natural e intervenido con sismo y sin sismo) se realizó un análisis de estabilidad de taludes, el cual el programa realizaba, con ayuda de la herramienta “Compute” seguido de la opción “Interpret” y



permitía conocer el valor del factor de seguridad, de la probabilidad de falla y del índice de confiabilidad del talud bajo la condición evaluada.

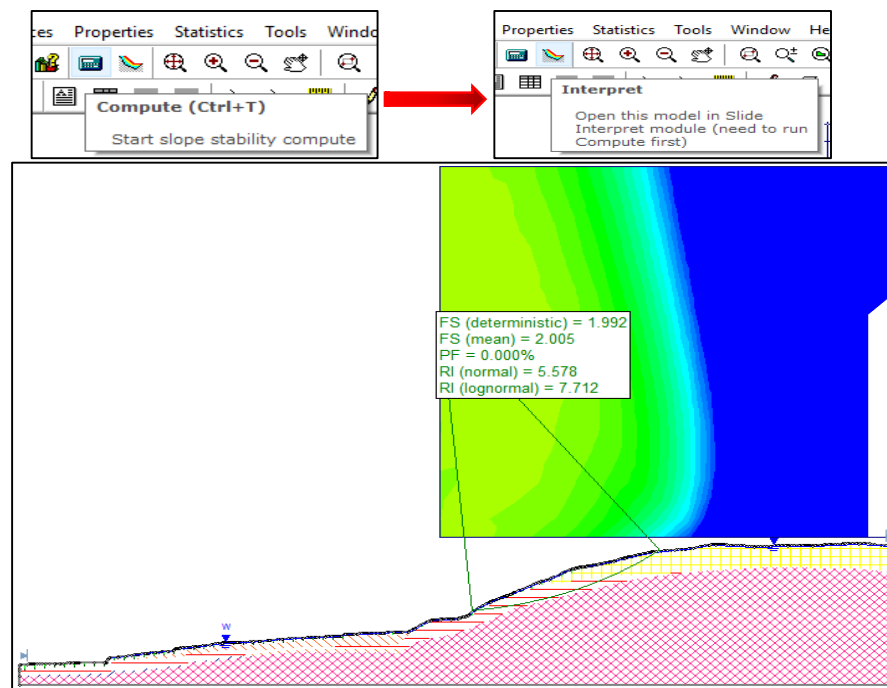


Figura 26. Procedimiento para ejecutar el modelo y obtener los resultados.

Fuente: (Autores, 2017)

Se obtuvieron un total de 2880 datos, de los cuales fueron 1440 datos para cada uno de los análisis (con sismo y sin sismo), es decir, 480 datos por cada sector estudiado (Nueva Gramada, Manzanares y San Francisco) u 80 por cada perfil modelado (18 perfiles en total en cada uno de los análisis, tanto dinámico como estático), los datos fueron tabulados para su organización y manejo.

Finalmente, se realizó una comparación de los resultados obtenidos y se determinó cual, de los procesos de origen antrópico seleccionados, tiene mayor influencia en la desestabilización los taludes y se realizaron las respectivas conclusiones y recomendaciones.



5. RESULTADOS Y DISCUSION






Considerando el objetivo principal de esta investigación y teniendo en cuenta la metodología antes planteada, se presentan a continuación los resultados obtenidos de las modelaciones de los perfiles de Nueva Granada, Manzanares y San Francisco. Los resultados de esta investigación serán presentados en 4 etapas, así:

5.1 PRESENTACION DE DATOS DE ENTRADA EXTRAIDOS DE LOS ESTUDIOS E INFORMES DE CADA SECTOR

Como se ha explicado anteriormente, los parámetros necesarios para la realización del análisis de estabilidad y probabilidad de un talud, los cuales son, cohesión, ángulo de fricción, peso unitario seco y saturado, desviación estándar y valores máximos y mínimos, se encontraron en los informes definitivos de los estudios realizados en cada sector, por este motivo, se hará la presentación de los mismos, de manera independiente, es decir, por barrio.

- **SAN FRANCISCO**

Los materiales encontrados en los perfiles de San Francisco, fueron los siguientes:

CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Material calcáreo de la Formación Popa	CAL. POPA
	Material de relleno mezcla de arcillas, arena y ocasionalmente escombros y rastros de grava	RELLENO
	Arcilla Limo-arenosa parda clara con vetas grises, óxido, vetas calizas y/o gravas	ARC. L-A
	Arcilla limosa parda clara con vetas grises, óxido y gravas calizas	ARC. L
	Arena limo-arcillosa amarilla con piedras calizas y/o vetas grises	ARE. L-A




CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Arcilla Parda oscura con vetas de óxido	ARC. P

Tabla 1. Materiales presentes en los perfiles del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Cada material cuenta con sus respectivas características geotécnicas, que son necesarias para los métodos determinísticos de análisis de estabilidad (Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Morgenstern y Fellenius), se muestran a continuación

MATERIAL	COHESION (KN/m ²)	ANGULO DE FRICCION	PESO UNITARIO SECO (KN/m ³)	PESO UNITARIO SATURADO (KN/m ³)	RU
CAL. POPA	78.5	38	18.6	20.5	0.2
RELLENO	49	32	17.7	19.4	0.2
ARC. L-A	39.2	24	15.7	17.3	0.2
ARC. L	68.6	28	16.3	17.9	0.2
ARE. L-A	39.2	30	15.7	17.3	0.2
ARC. P	19.4	25	17.7	17.7	0.2

Tabla 2. Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de San Francisco.

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

De igual manera, cada material cuenta con sus respectivas desviaciones estándar y valores máximos y mínimos, que no solo dependen del tipo de material sino del parámetro que se vaya a variar, en este caso, cohesión, ángulo de fricción y peso unitario seco. Estos datos son necesarios para la realización del análisis probabilístico de estabilidad de taludes y es importante aclarar que los valores mínimos y máximos de las desviaciones estándar calculadas, están especificados como valores relativos, es decir, distancias desde el valor medio y no como valores absolutos ya que esto simplifica la introducción de los datos. Además, para garantizar una distribución normal, todas las muestras deben ser incluidas en las tres desviaciones estándar del valor medio, por lo tanto, los valores mínimos y máximos se recomiendan que sean iguales y al menos tres veces la desviación estándar. Los datos son los siguientes:



MATERIAL	PARAMETRO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
CAL. POPA	COHESION	0.5	1.5	1.5
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54
RELLENO	COHESION	0.6	1.8	1.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54
ARC. L-A	COHESION	2.6	7.8	7.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54
ARC. L	COHESION	3.9	11.7	11.7
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54
ARE. L-A	COHESION	3.2	9.6	9.6
	PHI	5	15	15
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54
ARC. P	COHESION	1.8	5.4	5.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.18	0.54	0.54

Tabla 3. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

- **NUEVA GRANADA**

Los materiales encontrados en nueva granada fueron los siguientes:



CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Relleno de arcilla calcárea limosa parda amarillenta con rastros de escombros y basuras	RELLENO
	Arcilla calcárea parda grisácea con vetas de óxido	ARC. C-P
	Arcilla calcárea limo-arenosa parda clara con vetas grises y óxido	ARC. C-L-A
	Arcilla limosa parda clara con vetas grises y óxido	ARC. C-L
	Caliza arrecifal de la Formación Popa	CAL. A
	Arcilla limosa habana oscura con vetas de óxido	ARC. L-H

Tabla 4. *Materiales presentes en los perfiles del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.*

A continuación, se muestran las respectivas características geotécnicas, necesarias para los métodos determinísticos de análisis de estabilidad (Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Morgentern y Fellenius)

MATERIAL	COHESION (KN/m ²)	ANGULO DE FRICCION	PESO UNITARIO SECO (KN/m ³)	PESO UNITARIO SATURADO (KN/m ³)	RU
RELLENO	68.6	30	18.1	18.8	0.2
ARC. C-P	78.4	30	17.8	18.9	0.2
ARC. C-L-A	68.6	28	17.6	18.8	0.2
ARC. C-L	19.6	28	17.6	18.6	0.2
CAL. A	78.5	38	18.6	20.5	0.2
ARC. L-H	153	15	17.6	19.6	0.2

Tabla 5. *Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de Nueva Granada.*

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



De igual manera, se presentan las respectivas desviaciones estándar y valores máximos y mínimos, necesarios para la realización del análisis probabilístico de estabilidad de taludes.

MATERIAL	PARAMETRO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
RELLENO	COHESION	0.6	1.8	1.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. C-P	COHESION	2.7	8.1	8.1
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. C-L-A	COHESION	0.8	2.4	2.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. C-L	COHESION	4	12	12
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
CAL. A	COHESION	0.5	1.5	1.5
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. L-H	COHESION	3.3	9.9	9.9
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15

Tabla 6. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



- **MANZANARES**

En el caso del barrio Manzanares, los materiales encontrados en cada perfil, fueron diferenciados por el número de golpes de los sondeos realizados, por lo que se encontraron materiales que, aunque muy similares, tienen diferentes características geotécnicas y número de golpes, a continuación, se muestran.

CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Mezcla de arcilla parda calcárea con arenas y presencia de escombros Nspt: 2-5 golp/pie	MEZCLA 2-5
	Arcilla limo-arenosa parda clara con vetas grises y presencia de gravas calcáreas Nspt: 5-14 golp/pie	ARC. L-A 5-14
	Arcilla limosa calcárea con vetas amarillentas Nspt: 14-20 golp/pie	ARC. L 14-20
	Mezcla de arcilla pardas amarillentas con vetas grises con presencia de gravas calcáreas Nspt: 2-6 golp/pie	MEZCLA 2-6
	Arena limo-arcillosa parda rojiza con vetas grises Nspt: 5-8 golp/pie	ARE. L-A 16-50
	Arcilla parda oscura con vetas grises y óxido y gravillas Nspt: 5-8 golp/ie	ARC. P 5-8
	Arcilla limosa parda clara con vetas grises y óxido y gravas Nspt: 12-16 golp/pie	ARC. L 12-16
	Mezcla de material de relleno en arcilla parda clara con vetas grises y óxido y piedra caliza	MEZCLA 2-7



CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Nspt: 2-7 golp/pie	
	Arcilla parda amarillenta con vetas grises y óxido Nspt: 10-13 golp/pie	ARC. P-A 10 -13
	Arcilla parda clara con vetas grises y óxidos rojos Nspt: 10-30 golp/pie	ARC. P-C 13-30
	Arcilla parda amarillenta con vetas grises y óxido y gravilla Nspt: 3-7 golp/pie	ARC. P-A 3-7
	Arcilla limosa parda con vetas grises y óxido Nspt: 7-20 golp/pie	ARC. L-P 7-20
	Arcilla parda clara con vetas grises y óxidos rojos Nspt: 20-30 golp/pie	ARC. P-C 20-30
	Arcilla amarillenta con vetas grises mezclado con fragmento calcáreo y escombros Nspt: 5-10 golp/pie	ARC. A 5-10
	Arcilla limo-arenosa parda amarillenta con vetas grises y fragmentos calcáreos Nspt: 20-30 golp/pie	ARC. L-A 20-30
	Arcilla amarillenta con vetas grises y óxido y presencia de gravas Nspt: 10-20 golp/pie	ARC. A 10-20
	Arcilla limosa parda amarillenta con vetas grises y óxido y presencia de grava Nspt: 2-8 golp/pie	ARC. L-P 2-8
	Arcilla parda clara con vetas grises y óxido y fragmentos calcáreos	ARC. P-C 12-16



CONVENCION	MATERIAL	CODIGO EN SLIDE
	Nspt: 12-16 golp/pie	
	Arcilla parda clara con vetas grises y óxido Nspt: 16-30 golp/pie	ARC. P-C 16-30

Tabla 7. Materiales presentes en los perfiles del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

A continuación, se muestran las respectivas características geotécnicas, necesarias para los métodos determinísticos de análisis de estabilidad (Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Morgentern y Fellenius)

MATERIAL	COHESION (KN/m ²)	ANGULO DE FRICCION	PESO UNITARIO SECO (KN/m ³)	PESO UNITARIO SATURADO (KN/m ³)	RU
MEZCLA 2-5	4.9	25	15.7	16.7	0.2
ARC. L-A 5-14	68.7	17	13.7	14.7	0.2
ARC. L 14-20	147.1	20	16.7	17.7	0.2
MEZCLA 2-6	4.9	25	13.7	14.7	0.2
ARE. L-A 16-50	147.1	32	17.7	18.6	0.2
ARC. P 5-8	9.8	25	13.7	15.7	0.2
ARC. L 12-16	78.5	17	16.7	17.7	0.2
MEZCLA 2-7	9.8	25	15	15.7	0.2
ARC. P-A 10 -13	98.1	18	17.7	18.6	0.2
ARC. P-C 13-30	127.5	15	18.3	19.3	0.2
ARC. P-A 3-7	9.8	28	15.7	17.7	0.2
ARC. L-P 7-20	107.9	32	16.7	18.6	0.2
ARC. P-C 20-30	117.7	35	17.7	19.1	0.2
ARC. A 5-10	6.9	25	15.3	15.9	0.2
ARC. L-A 20-30	117.7	38	17.7	18.6	0.2



MATERIAL	COHESION (KN/m ²)	ANGULO DE FRICCION	PESO UNITARIO SECO (KN/m ³)	PESO UNITARIO SATURADO (KN/m ³)	RU
ARC. A 10-20	117.7	35	16.7	17.7	0.2
ARC. L-P 2-8	4.8	28	13.8	14.6	0.2
ARC. P-C 12-16	117.7	18	15.7	16.6	0.2
ARC. P-C 16-30	117.7	33	18.6	19.7	0.2

Tabla 8. Parámetros geotécnicos de los materiales del sector de Manzanares.

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Se presentan las respectivas desviaciones estándar y valores máximos y mínimos, necesarios para la realización del análisis probabilístico de estabilidad de taludes.

MATERIAL	PARAMETRO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
MEZCLA 2-5	COHESION	0.6	1.8	1.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.02	0.06	0.06
ARC. L-A 5-14	COHESION	1.2	3.6	3.6
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.02	0.06	0.06
ARC. L 14-20	COHESION	0.8	2.4	2.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.02	0.06	0.06
MEZCLA 2-6	COHESION	0.6	1.8	1.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18



MATERIAL	PARAMETRO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
ARE. L-A 16-50	COHESION	0.5	1.5	1.5
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
ARC. P 5-8	COHESION	0.7	2.1	2.1
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
ARC. L 12-16	COHESION	0.7	2.1	2.1
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
MEZCLA 2-7	COHESION	0.8	2.4	2.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
ARC. P-A 10-13	COHESION	0.6	1.8	1.8
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
ARC. P-C 13-30	COHESION	2.2	2.6	2.6
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.06	0.18	0.18
ARC. P-A 3-7	COHESION	0.7	2.1	2.1
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. L-P 7-20	COHESION	1.7	5.1	5.1
	PHI	3	9	9



MATERIAL	PARAMETRO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
	PESO UNITARIO	0.05	0.15	0.15
ARC. P-C 20-30	COHESION	1.3	3.9	3.9
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	.05	0.15	0.15
ARC. A 5-10	COHESION	0.8	2.4	2.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.08	0.24	0.24
ARC. L-A 20-30	COHESION	1.3	3.9	3.9
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.08	0.24	0.24
ARC. A 10-20	COHESION	1.3	3.9	3.9
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.08	0.24	0.24
ARC. L-P 2-8	COHESION	1	3	3
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.03	0.09	0.09
ARC. P-C 12-16	COHESION	0.7	2.1	2.1
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.03	0.09	0.09
ARC. P-C 16-30	COHESION	1.8	5.4	5.4
	PHI	3	9	9
	PESO UNITARIO	0.03	0.09	0.09

Tabla 9. Parámetros estadísticos de los materiales del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.



5.2 MODELACION DE PERFILES SIN SISMO

De acuerdo al procedimiento utilizado para realizar las modelaciones de los perfiles, explicado en el literal 4.3 de este documento, cada perfil, en las diferentes condiciones evaluadas (natural, cortes, sobrecargas, infiltración y combinación), se analizó, primeramente, sin las cargas de sismo.

En esta etapa de los resultados, se presentan los valores obtenidos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice confiabilidad, en cada uno de los perfiles sin sismo y por cada método (BISHOP, JANBU, MORGENTERN Y FELLENIOUS), organizados por barrio. Los resultados se presentan mediante tablas y gráficos, para el caso de las probabilidades de falla se realizaron diagramas pasteles en los casos en donde existían variación significativa de las mismas, para los casos donde la probabilidad de falla fue nula en todas las condiciones, se prescindió del diagrama.

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos, se presentan a continuación, las convenciones que se utilizaran a lo largo del desarrollo de los resultados.

CONVENCION	DESCRIPCION
F.S	Factor de seguridad
CS	Condiciones con presencia de cargas sísmicas
SS	Condiciones sin presencia de cargas sísmicas
RU	Parámetro de presión de poros
I.C	Índice de Confiabilidad

Tabla 10. Descripción de las convenciones utilizadas. **Fuente:** Autores.

Adicionalmente, se tendrá en cuenta el siguiente esquema que indica el estado de riesgo del talud, en base al valor del factor de seguridad obtenido.



F.S > 1.5	ESTABLE
1.5 > F.S > 1.2	APARENTEMENTE ESTABLE
F.S < 1.2	INESTABLE

Tabla 11. Estado de riesgo del perfil, según el valor del factor de seguridad. Fuente: Autores.

• **SAN FRANCISCO**

PERFIL 1

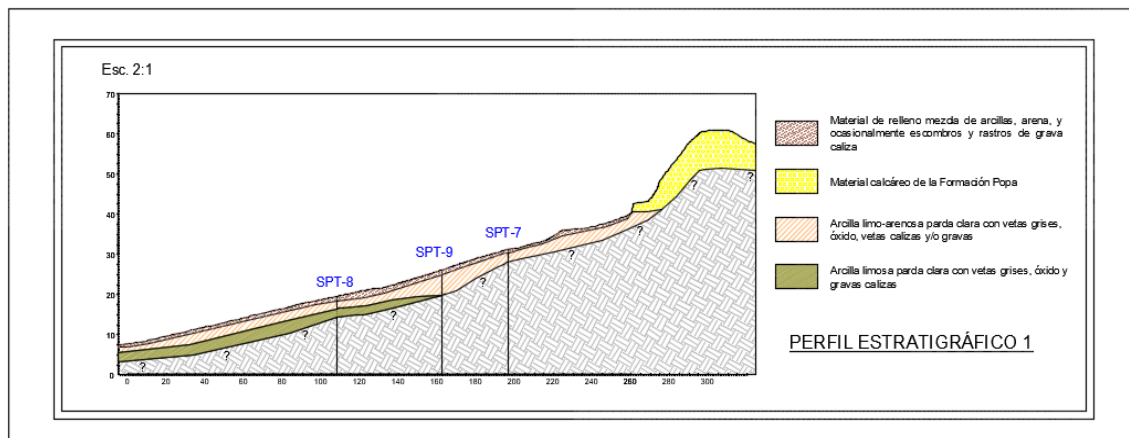


Figura 27. Perfil Estratigráfico 1 - San Francisco. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.72	2.63	2.72	2.68	2.72	2.64	2.72	2.68
INFILTRACION – SS	2.12	2.06	2.12	2.22	2.13	2.06	2.13	2.22
CORTE – SS	1.90	1.92	2.00	2.18	1.90	1.92	1.99	2.18
SOBRECARGA – SS	2.60	2.52	2.61	2.58	2.60	2.52	2.61	2.59
COMBINACION – SS	1.42	1.47	1.42	1.53	1.42	1.46	1.43	1.54

Tabla 12. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

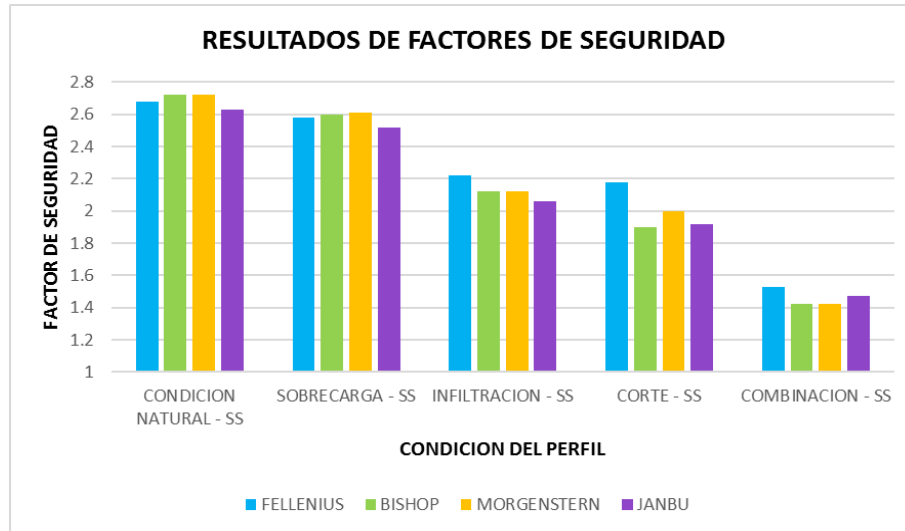


Figura 28. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	15.54	15.57	15.17	19.87
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	19.88	20.36	19.23	19.77
CORTE - SS	0	0	0	0	6.82	8.47	8.99	7.24
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	16.02	16.33	15.76	16.11
COMBINACION - SS	0	0	0	0	5.52	7.02	7.33	6.68

Tabla 13. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



PERFIL 2

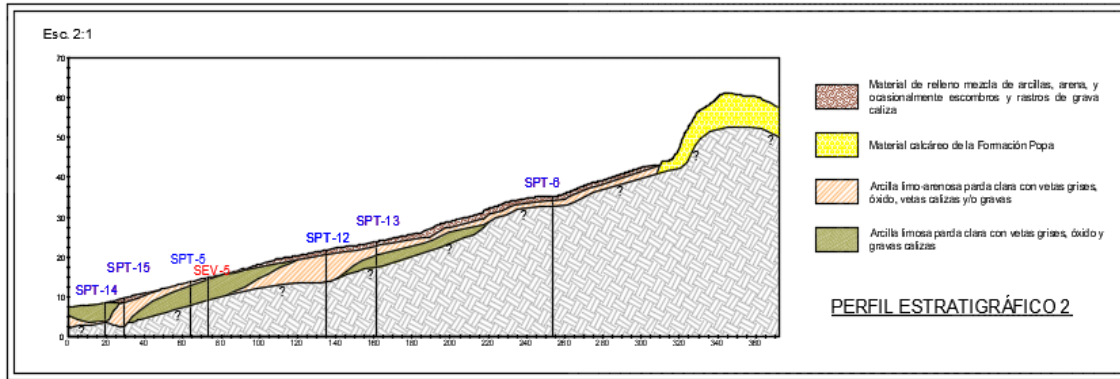


Figura 29. Perfil Estratigráfico 2 - San Francisco. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	3.33	3.23	3.33	3.38	3.33	3.23	3.33	3.38
INFILTRACION - SS	2.79	2.70	2.78	3.02	2.79	2.70	2.78	3.02
CORTE - SS	2.51	2.55	2.73	2.67	2.51	2.55	2.73	2.67
SOBRECARGA - SS	3.16	3.08	3.16	3.20	3.16	3.09	3.16	3.20
COMBINACION - SS	1.90	1.91	1.91	2.23	1.90	1.91	1.91	2.23

Tabla 14. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD

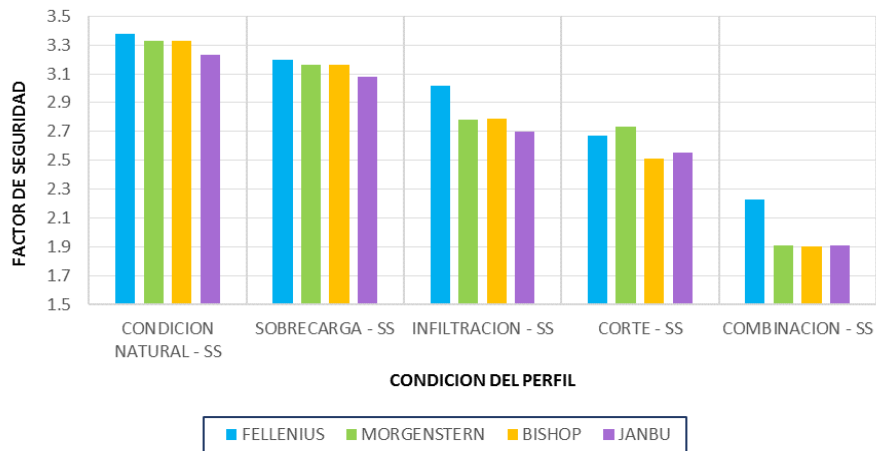


Figura 30. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	23.6	25.2	23.8	23.4
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	37.4	42.6	37.5	26.2
CORTE - SS	0	0	0	0	24.2	26.2	20.7	22.1
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	18.8	20.1	18.8	18.9
COMBINACION - SS	0	0	0	0	38.8	41.7	42.4	24.6

Tabla 15. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



PERFIL 3

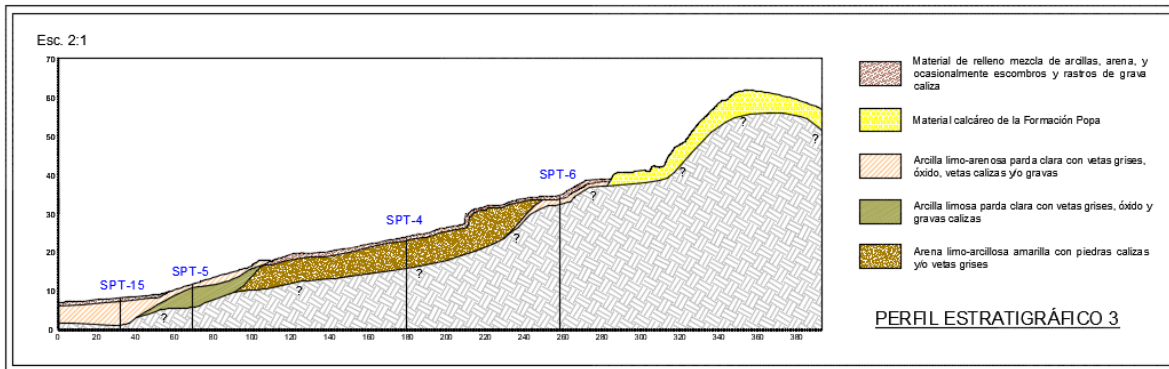


Figura 31. Perfil Estratigráfico 3 - San Francisco. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	3.85	3.44	3.82	3.65	3.83	3.44	3.83	3.65
INFILTRACION - SS	3.15	2.83	3.15	3.07	3.15	2.84	3.15	3.07
CORTE - SS	2.92	2.75	2.91	2.92	2.92	2.75	2.92	2.92
SOBRECARGA - SS	3.52	3.30	3.51	3.56	3.52	3.30	3.52	3.56
COMBINACION - SS	2.45	2.27	2.45	2.51	2.45	2.27	2.45	2.51

Tabla 16. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

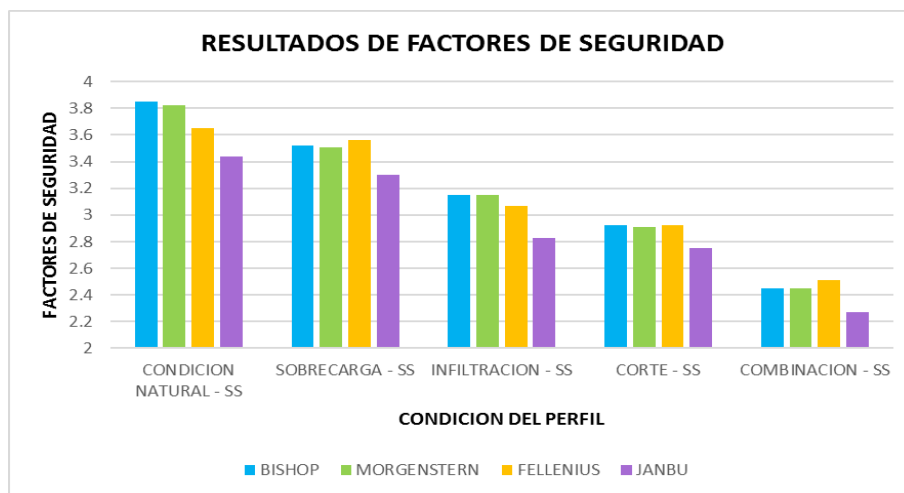


Figura 32. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.



Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	240.53	293.27	217.23	269.92
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	228.21	182.93	206.12	255.48
CORTE - SS	0	0	0	0	212.41	196.12	206.55	206.72
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	18.00	198.83	18.03	17.79
COMBINACION - SS	0	0	0	0	21.53	154.50	180.96	188.30

Tabla 17. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

PERFIL 4

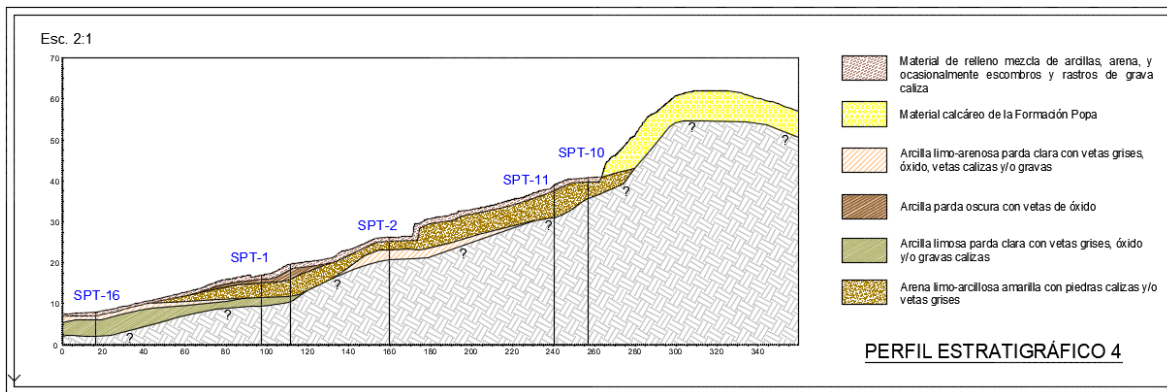


Figura 33. Perfil Estratigráfico 4 - San Francisco. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	3.38	3.06	3.36	3.30	3.39	3.06	3.38	3.30
INFILTRACION - SS	2.72	2.57	2.71	2.82	2.72	2.57	2.72	2.81
CORTE - SS	2.46	2.48	2.60	2.55	2.47	2.48	2.60	2.56



PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
SOBRECARGA - SS	3.07	2.87	3.07	3.05	3.09	2.98	3.08	3.06
COMBINACION - SS	1.83	1.83	1.94	2.01	1.83	1.84	1.94	2.02

Tabla 18. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

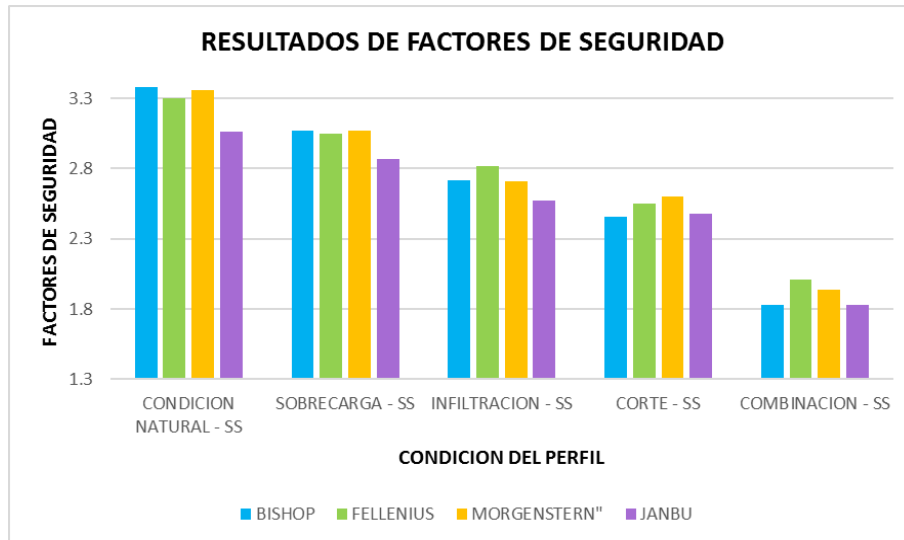


Figura 34. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	12.09	122.58	11.92	167.80
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	13.04	167.43	12.77	218.10
CORTE - SS	0	0	0	0	14.19	14.80	15.87	14.46
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	13.18	14.07	12.79	13.69
COMBINACION - SS	0	0	0	0	13.35	13.97	15.40	13.57

Tabla 19. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



PERFIL 5

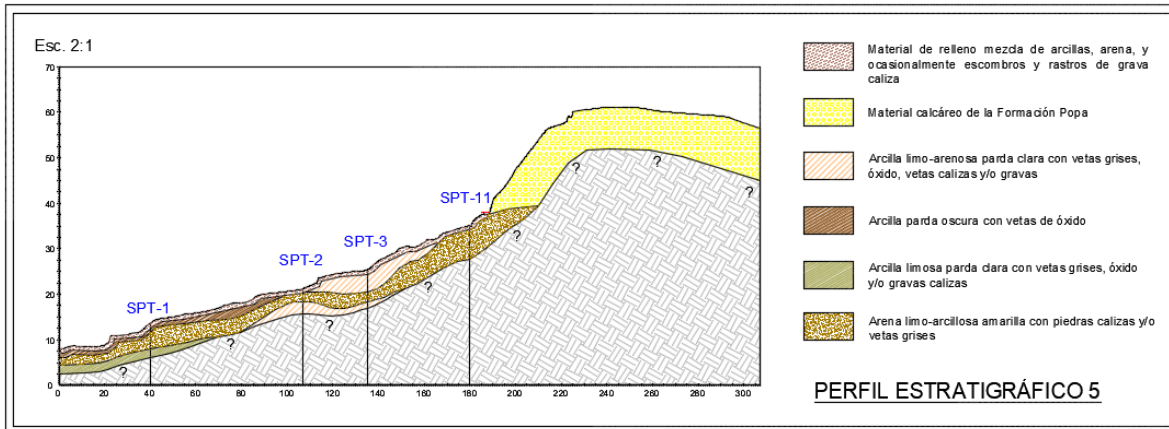


Figura 35. Perfil Estratigráfico 5 - San Francisco. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.14	2.08	2.13	2.16	2.15	2.09	2.15	2.18
INFILTRACION - SS	1.59	1.54	1.58	1.75	1.59	1.55	1.59	1.76
CORTE - SS	1.50	1.54	1.55	1.66	1.50	1.55	1.55	1.66
SOBRECARGA - SS	2.05	1.98	2.04	2.06	2.06	1.99	2.05	2.07
COMBINACION - SS	0.99	1.02	1.06	1.32	0.99	1.02	1.06	1.32

Tabla 20. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

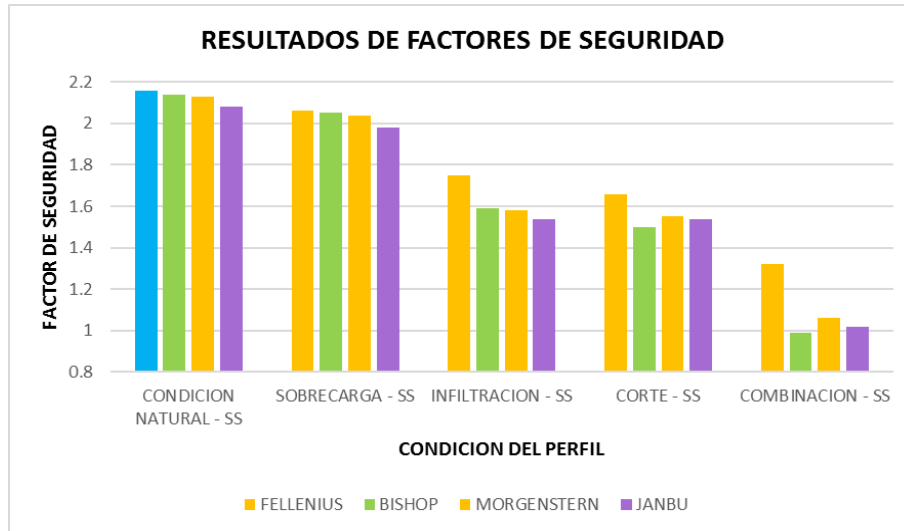


Figura 36. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	8.41	8.82	8.28	8.99
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	8.42	7.33	8.07	8.84
CORTE - SS	0	0	0	0	7.59	9.04	11.85	8.98
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	7.80	8.30	7.84	8.47
COMBINACION - SS	66.1	26.1	0	0	-0.38	0.68	3.85	6.73

Tabla 21. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



Figura 37. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de San Francisco, en condición sin sismo. Fuente: Autores.

PERFIL 6

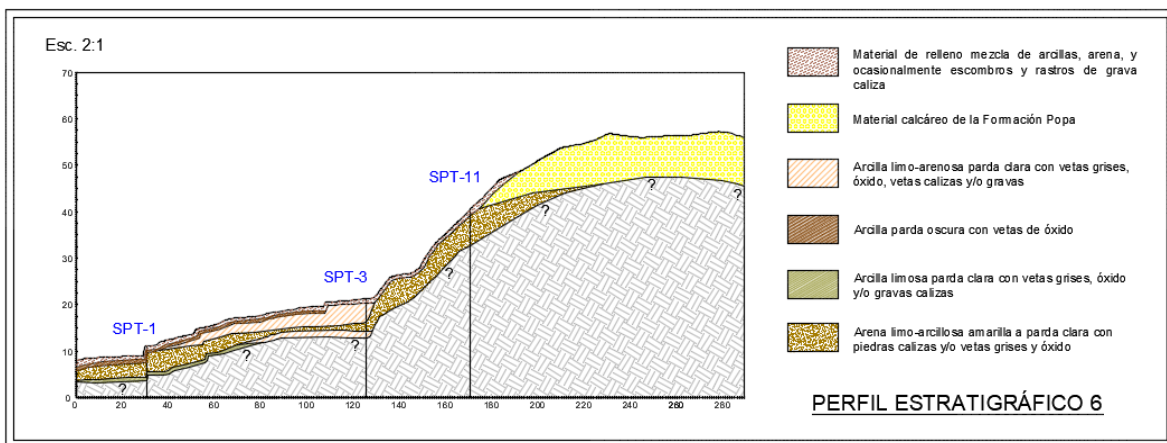


Figura 38. Perfil Estratigráfico 6 - San Francisco. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.51	2.40	2.51	2.51	2.53	2.42	2.53	2.53
INFILTRACION - SS	2.02	1.95	2.03	2.16	2.03	1.96	2.04	2.17
CORTE - SS	1.70	1.78	1.75	1.88	1.71	1.78	1.74	1.89
SOBRECARGA - SS	2.19	2.08	2.19	2.17	2.21	2.09	2.21	2.19
COMBINACION - SS	1.32	1.39	1.37	1.69	1.33	1.39	1.36	1.69

Tabla 22. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

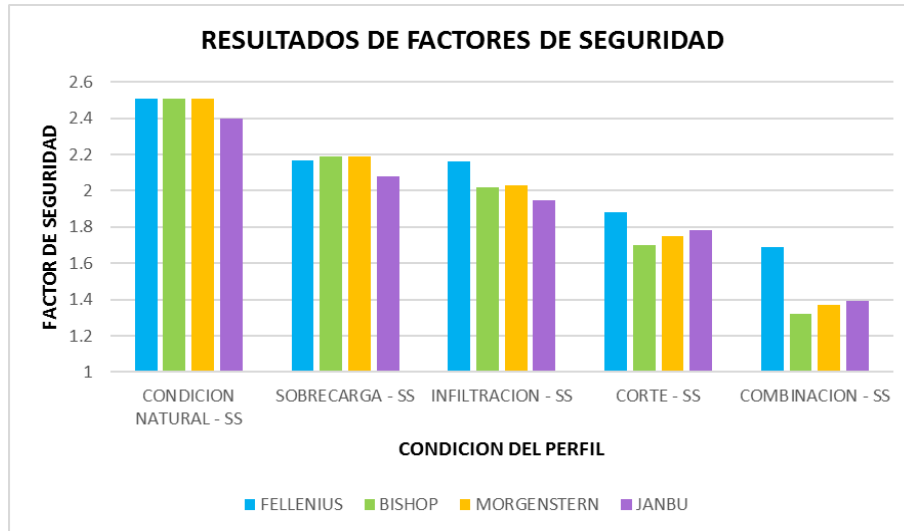


Figura 39. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	6.76	6.71	6.81	6.90
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	7.00	6.80	7.12	7.17
CORTE - SS	0	0	0	0	6.02	6.84	7.91	7.83
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	5.83	5.59	5.89	5.82
COMBINACION - SS	0	0	0	0	4.11	5.06	5.42	7.89

Tabla 23. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Como se puede observar en las tablas y graficas de cada de uno de los perfiles de este sector, en general los taludes se encuentran en una condición estable, siendo el perfil numero 5 el más crítico, donde se encontraron factores de seguridad, en la condición natural, con valores de 2,14, 2,08, 2,13 y 2,16 en los métodos de Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Morgenstern y Fellenius respectivamente.

También se pudo evidenciar que el factor antrópico que afecto en mayor medida la estabilidad de los taludes modelados, fue la realización de cortes. Siguiendo con el perfil



número 5, en condición de cortes, se obtuvieron factores de seguridad, con valores de 1.50, 1.54, 1.58, y 1.75 para los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado, Morgenstern y Fellenius, respectivamente.

El factor antrópico que causo menor impacto en la estabilidad de los taludes, fueron en todos los casos las sobrecargas, que en el perfil número 5, genero factores de seguridad de 2.05 por Bishop Simplificado, 1.98 por Janbu Simplificado, 2.04 por Morgenstern y 2.06 por el método de Fellenius.

En cuanto al análisis probabilístico, en este sector, las probabilidades de falla, fueron en la mayoría de los casos, nulas, exceptuando el perfil número 5, donde se obtuvo probabilidad de falla máxima de 66,1 por el método de Janbu y bajo la condición de combinación, es decir, donde el talud estaba afectado por todos los factores antrópicos. Así mismo, el índice de confiabilidad para este caso fue de -0.38, lo que indica que en esta condición el perfil tenía un factor de seguridad medio por debajo del factor de seguridad crítico.

- **MANZANARES**

PERFIL 1

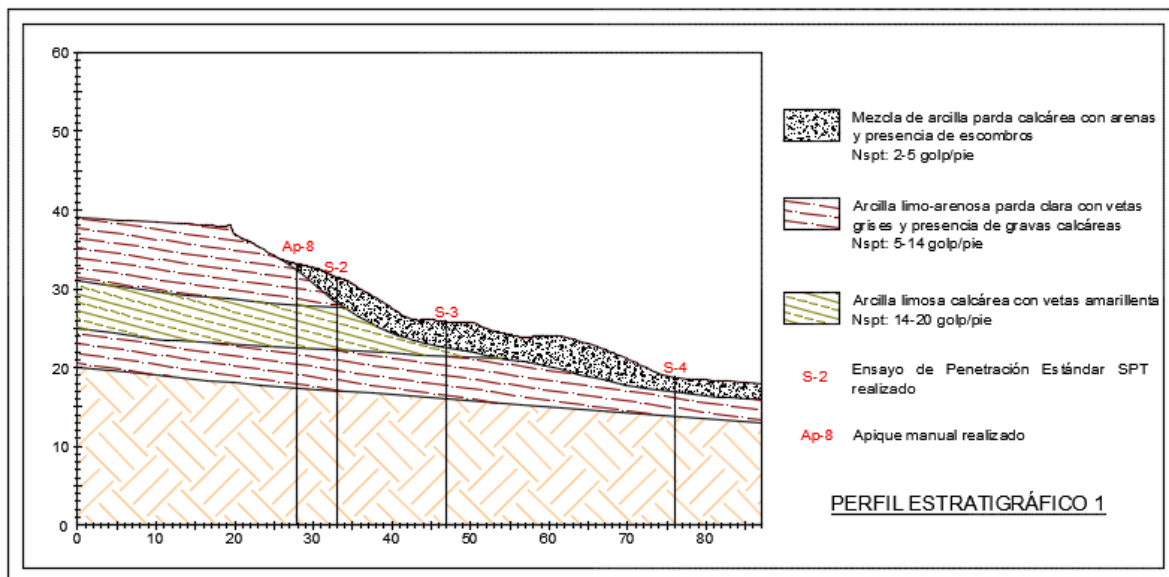


Figura 40. Perfil Estratigráfico 1 - Manzanares. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	1.40	1.38	1.40	1.44	1.41	1.39	1.41	1.45
INFILTRACION - SS	1.06	1.05	1.06	1.18	1.07	1.05	1.07	1.19
CORTE - SS	0.81	0.81	0.81	0.89	0.81	0.81	0.81	0.90
SOBRECARGA - SS	1.12	1.08	1.11	1.12	1.12	1.08	1.12	1.12
COMBINACION - SS	0.52	0.53	0.53	0.72	0.53	0.53	0.53	0.72

Tabla 24. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

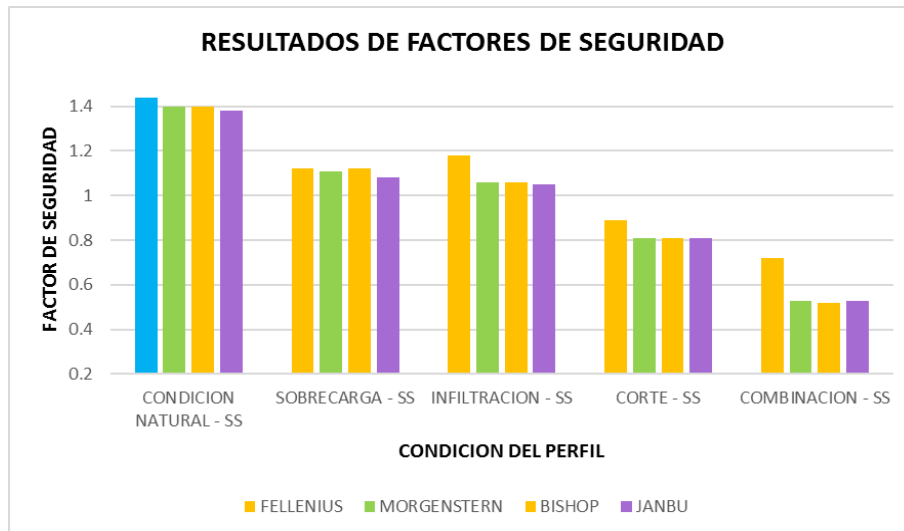


Figura 41. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0.1	0.2	0	0	3.24	3.12	3.25	3.45
INFILTRACION - SS	24.8	30.1	25.4	4.7	0.66	0.49	0.65	1.71
CORTE - SS	99.7	99.6	99.6	89.9	-2.58	-2.55	-2.55	-1.30



PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
SOBRECARGA - SS	12.1	19.8	12.2	12.2	1.17	0.83	1.16	1.17
COMBINACION - SS	100	100	100	100	-8.14	-8.11	-8.12	-4.38

Tabla 25. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.



Figura 42. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Manzanares, en condición sin sismo. Fuente: Autores.

PERFIL 2

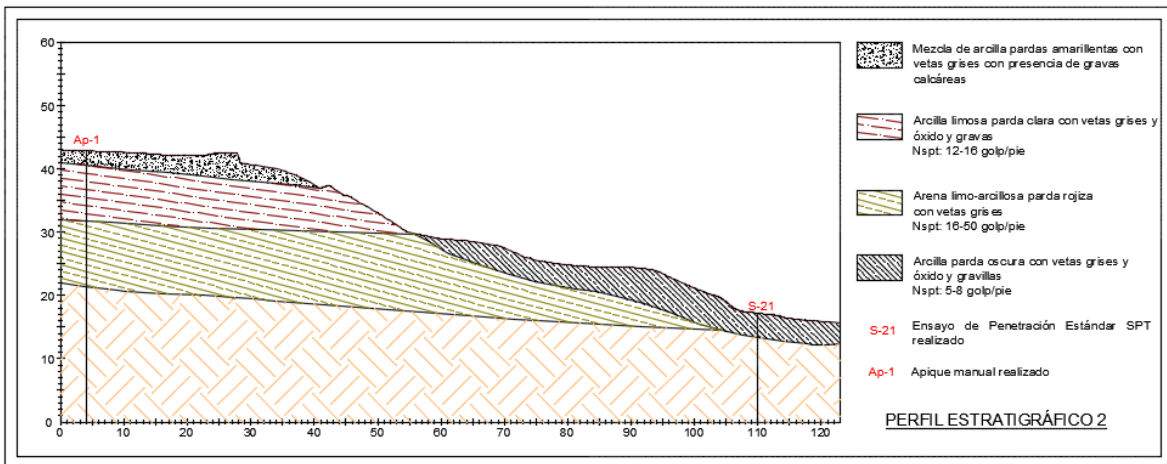


Figura 43. Perfil Estratigráfico 2 - Manzanares. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.04	1.98	2.05	2.02	2.04	1.97	2.04	2.02
INFILTRACION - SS	1.52	1.46	1.53	1.54	1.52	1.46	1.52	1.54
CORTE - SS	1.61	1.60	1.62	1.65	1.61	1.60	1.61	1.65
SOBRECARGA - SS	1.72	1.69	1.71	1.72	1.72	1.69	1.71	1.72
COMBINACION - SS	1.17	1.16	1.17	1.24	1.17	1.16	1.17	1.24

Tabla 26 Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

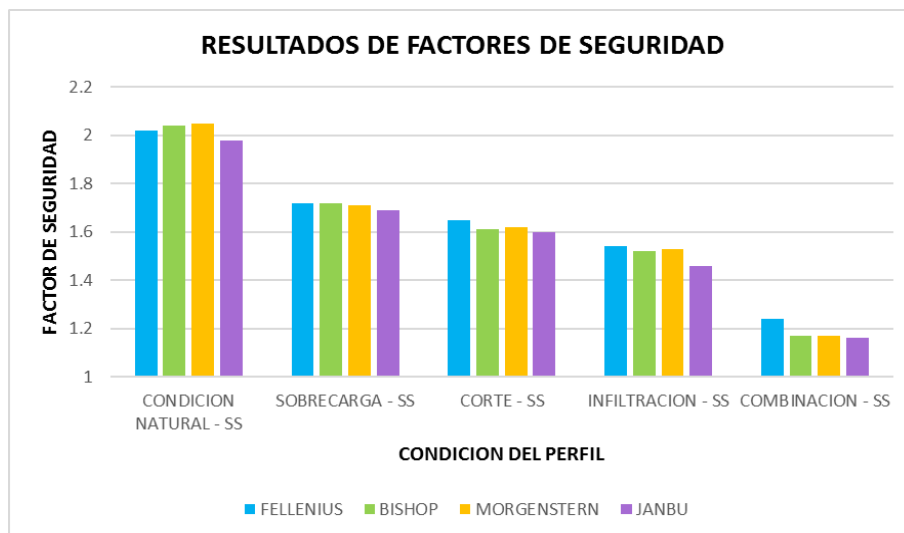


Figura 44. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	6.09	5.63	5.85	5.77
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	4.41	4.08	4.43	4.48



PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CORTE - SS	0	0	0	0	5.07	5.04	5.08	5.20
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	4.84	4.75	4.83	4.85
COMBINACION - SS	2.3	2.9	2.3	0.6	1.97	1.80	1.97	2.50

Tabla 27. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.



Figura 45. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 2 del sector de Manzanares, en condición sin sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 3

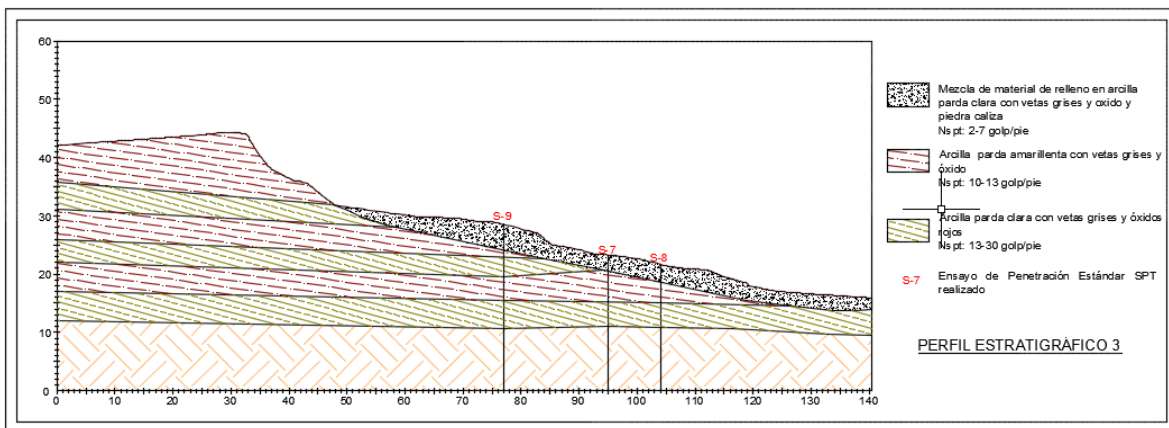


Figura 46. Perfil Estratigráfico 3 - Manzanares. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.70	2.63	2.70	2.67	2.71	2.64	2.71	2.68
INFILTRACION - SS	2.09	2.03	2.09	2.10	2.09	2.04	2.09	2.11
CORTE - SS	1.81	1.81	1.81	1.86	1.81	1.82	1.81	1.87
SOBRECARGA - SS	2.21	2.18	2.21	2.20	2.22	2.18	2.22	2.21
COMBINACION - SS	1.48	1.48	1.48	1.61	1.48	1.49	1.49	1.62

Tabla 28. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

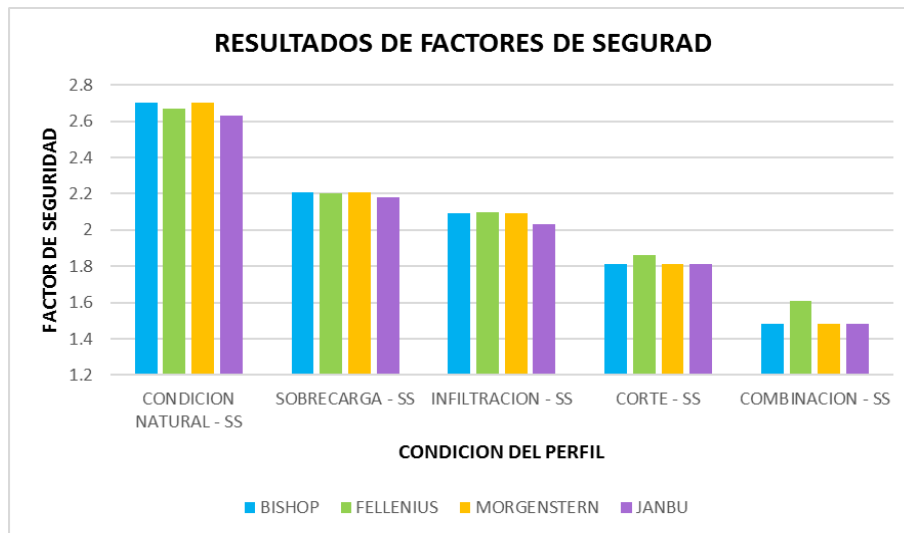


Figura 47. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	7.67	7.57	7.69	7.65
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	7.09	6.92	7.10	7.11
CORTE - SS	0	0	0	0	6.41	6.45	6.43	6.61



PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	6.94	6.84	6.94	6.92
COMBINACION - SS	0	0	0	0	4.61	4.63	4.63	5.51

Tabla 29. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

PERFIL 4

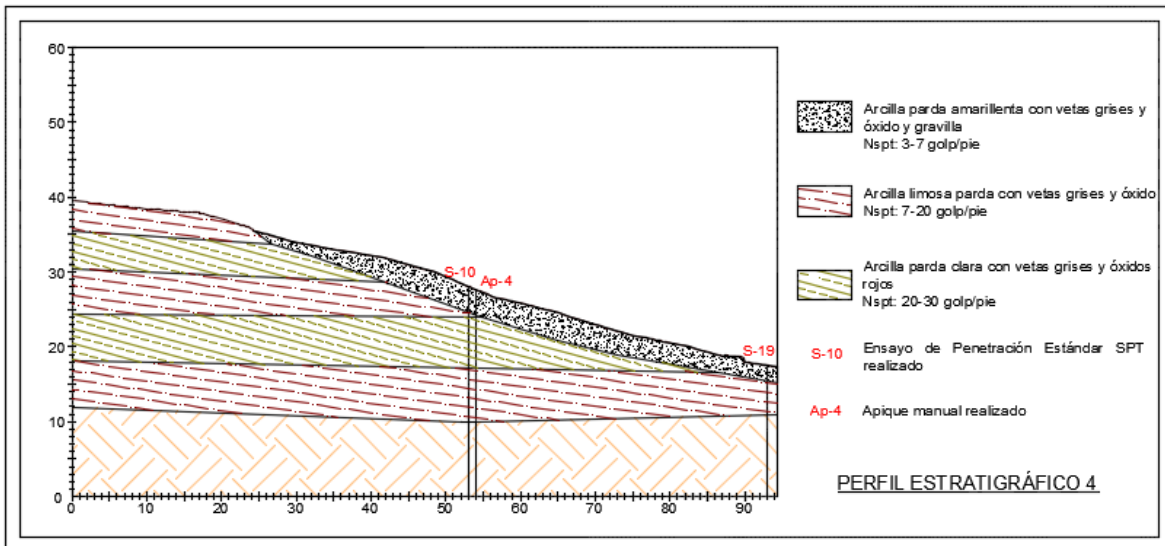


Figura 48. Perfil Estratigráfico 4 - Manzanares. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.24	2.17	2.24	2.23	2.25	2.18	2.25	2.23
INFILTRACION - SS	1.66	1.61	1.66	1.71	1.66	1.61	1.67	1.72
CORTE - SS	1.40	1.40	1.41	1.46	1.41	1.40	1.40	1.46
SOBRECARGA - SS	1.92	1.81	1.92	1.85	1.92	1.81	1.92	1.86
COMBINACION - SS	1.01	1.01	1.02	1.16	1.02	1.01	1.02	1.17

Tabla 30. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

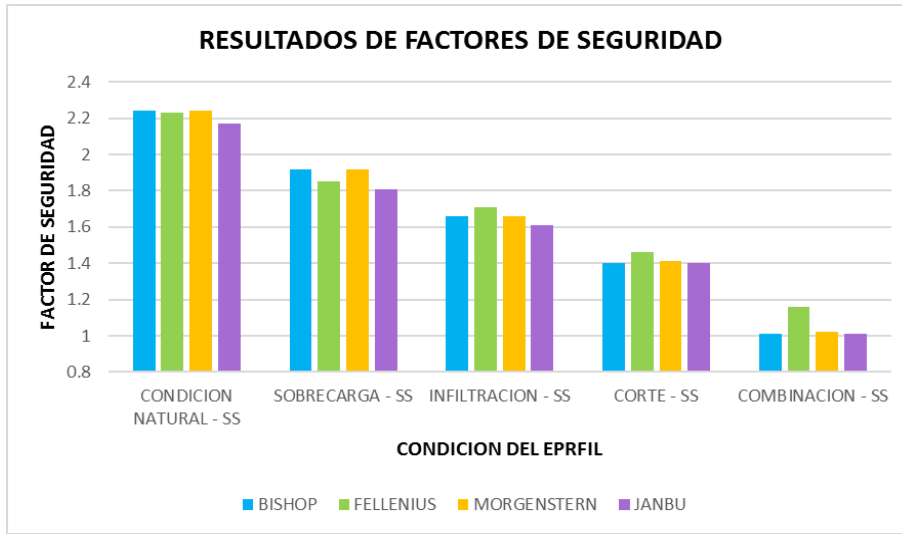


Figura 49. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	6.98	6.83	7.00	6.97
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	5.76	5.50	5.77	5.93
CORTE - SS	0	0	0	0	4.01	4.00	4.03	4.33
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	5.78	5.41	5.79	5.62
COMBINACION - SS	39.6	41.0	39.7	1.7	0.23	0.19	0.23	2.17

Tabla 31. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

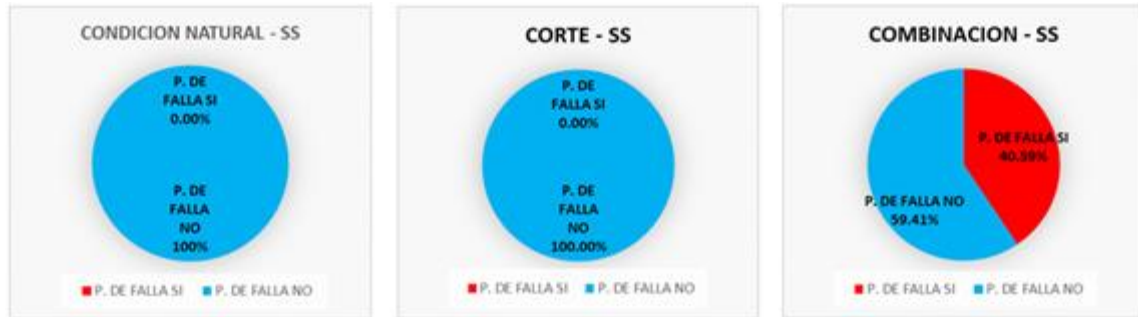


Figura 50. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Manzanares, en condición sin sismo. Fuente: Autores.

PERFIL 5

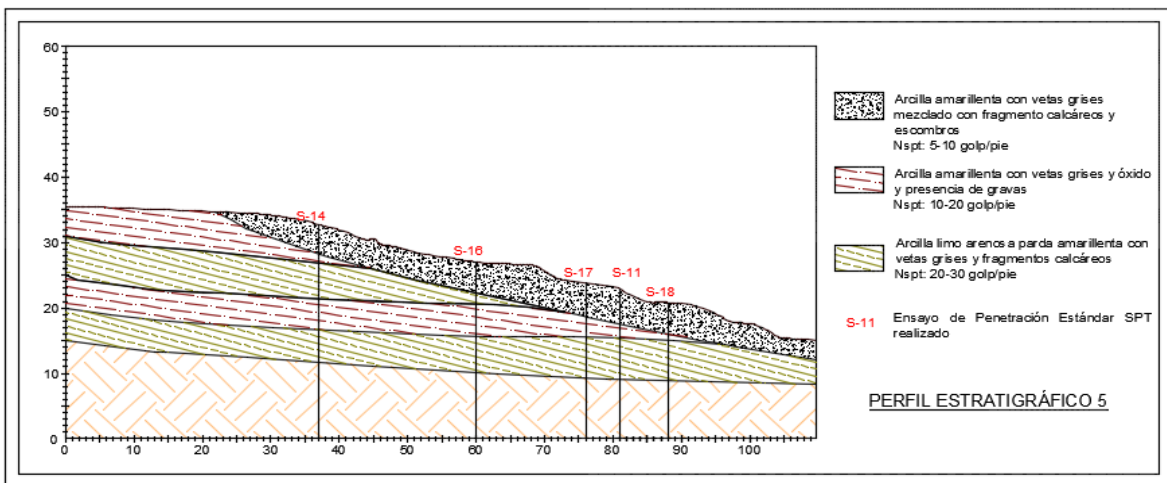


Figura 51. Perfil Estratigráfico 5 - Manzanares. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.01	1.96	2.01	2.00	2.02	1.96	2.02	2.00
INFILTRACION - SS	1.42	1.38	1.42	1.46	1.42	1.39	1.43	1.46
CORTE - SS	1.12	1.12	1.12	1.18	1.12	1.13	1.12	1.19
SOBRECARGA - SS	1.47	1.47	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48
COMBINACION - SS	0.81	0.82	0.81	0.97	0.82	0.82	0.82	0.98

Tabla 32. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

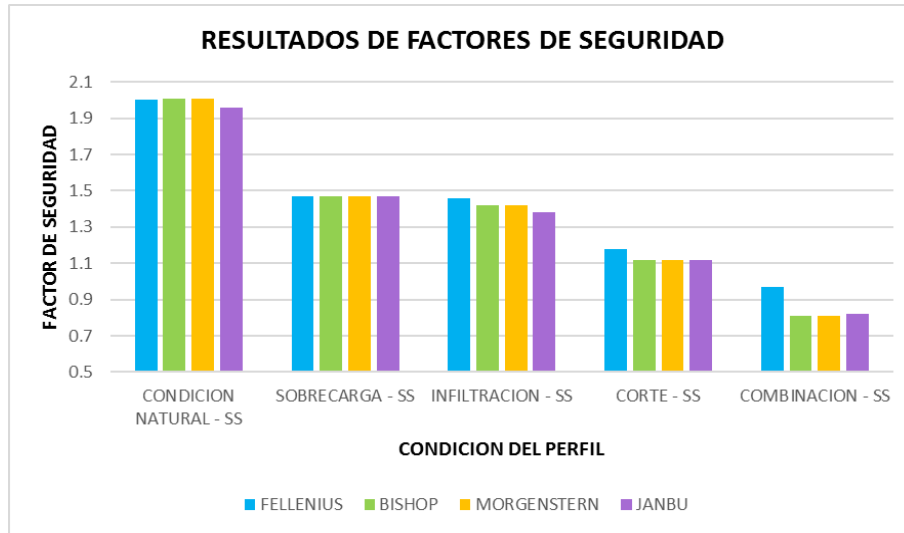


Figura 52. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	5.08	4.95	5.07	5.05
INFILTRACION - SS	0.1	0.1	0.1	0	3.25	3.06	3.26	3.42
CORTE - SS	10.7	10.4	10.4	4.0	1.25	1.28	1.27	1.82
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	3.65	3.64	3.65	3.65
COMBINACION - SS	99.5	99.3	99.4	59.4	-2.43	-2.35	-2.39	-0.26

Tabla 33. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

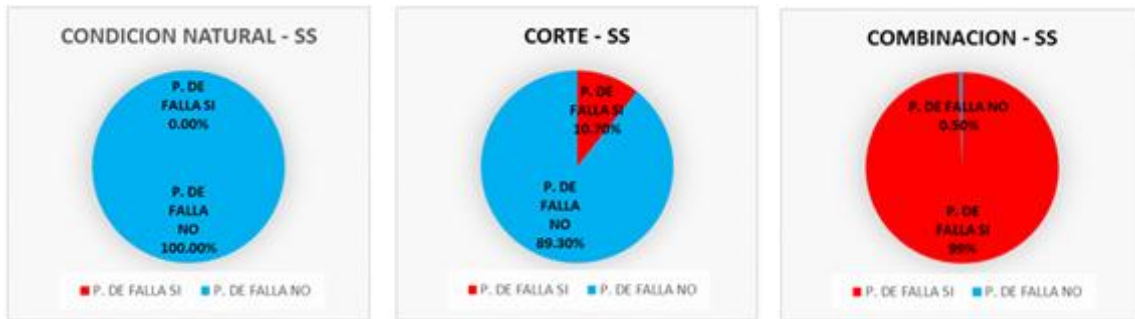


Figura 53. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Manzanares, en condición sin sismo. Fuente: Autores.

PERFIL 6

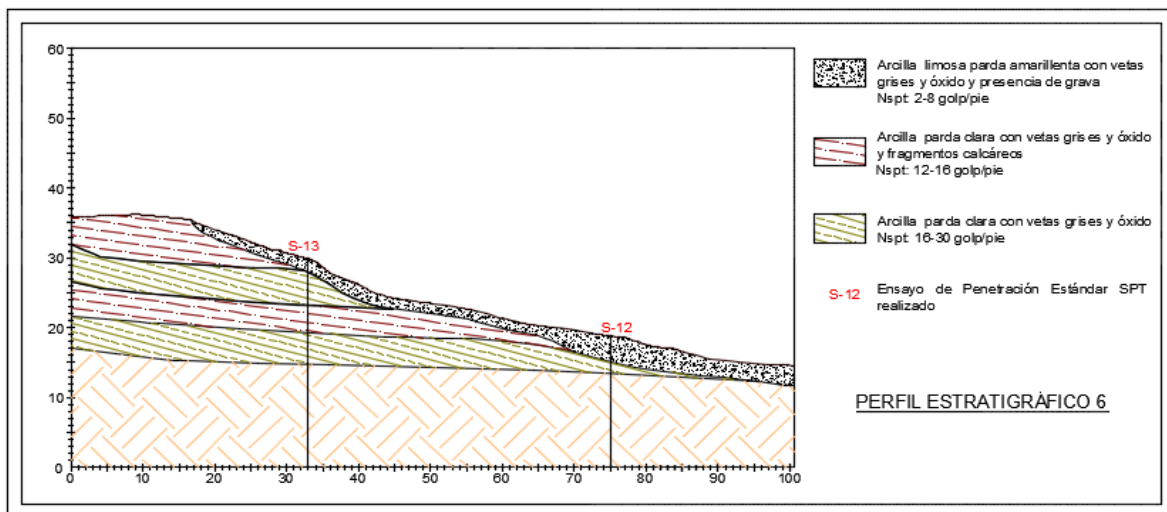


Figura 54. Perfil Estratigráfico 6 - Manzanares. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	1.85	1.81	1.85	1.88	1.86	1.82	1.86	1.89
INFILTRACION - SS	1.44	1.40	1.43	1.55	1.45	1.41	1.45	1.56
CORTE - SS	1.26	1.19	1.19	1.23	1.20	1.20	1.20	1.27
SOBRECARGA - SS	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
COMBINACION - SS	0.84	0.84	0.84	1.01	0.84	0.85	0.84	1.02

Tabla 34. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

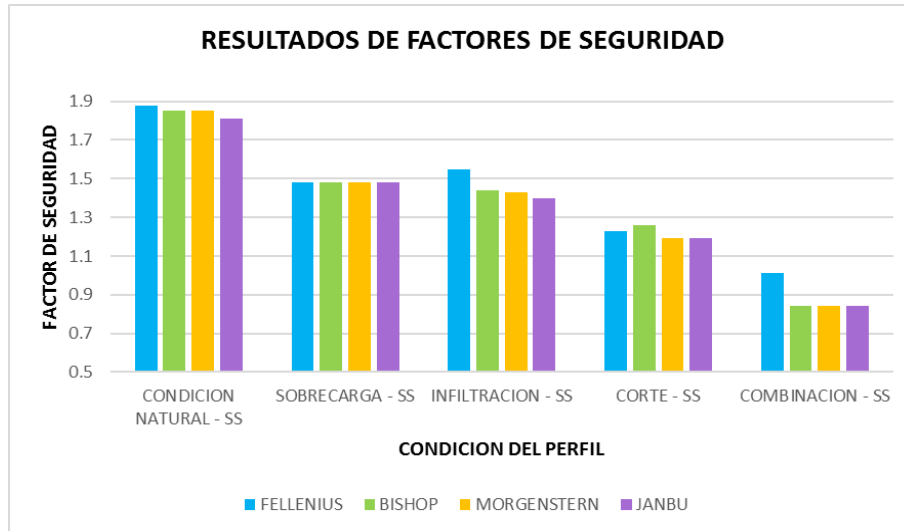


Figura 55. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	3.73	3.61	3.72	3.82
INFILTRACION - SS	2.3	3.0	2.3	0.8	2.10	1.97	2.10	2.59
CORTE - SS	9.3	9.3	9.3	4.1	1.36	1.37	1.36	1.80
SOBRECARGA - SS	0.2	0.2	0.2	0.2	3.08	3.08	3.08	3.08
COMBINACION - SS	89.6	89.2	89.4	42.3	-1.24	-1.22	-1.23	0.14

Tabla 35. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

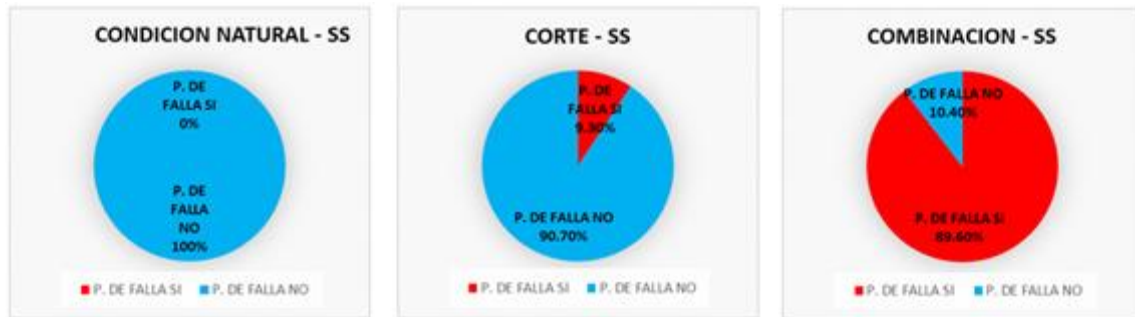


Figura 56. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Manzanares, en condición sin sismo. **Fuente:** Autores.

En este sector, los perfiles no presentan un patrón general de estabilidad, por lo que el análisis se hará de forma un poco más independiente, teniendo en cuenta los perfiles más críticos.

Para la mayoría de los perfiles, se obtuvo como factor antrópico más incidente en la inestabilidad del talud, la realización de cortes, siendo el caso más crítico, el perfil número 1, donde se observa de entrada que, en la condición natural, los factores de seguridad ya indican una baja estabilidad, con valores de 1.40, 1.38, 1.40 y 1.44 por los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado, Morgenstern y Fellenius respectivamente. En este perfil el factor antrópico de cortes dio como resultado, factores de seguridad de 0.81 por Bishop simplificado, Janbu simplificado y Morgenstern y de 0.89 por el método de Fellenius.

De igual manera, en la mayoría de los perfiles el factor antrópico menos incidente, fue la aplicación de sobrecargas sobre el talud, que, por ejemplo, para el perfil número 1, se obtuvieron bajo esta condición, factores de seguridad de 1.12 para los métodos de Bishop simplificado y Fellenius, 1.08 por Janbu simplificado y finalmente, 1.11 por Morgenstern. Sin embargo, en el perfil número 2, hubo una variación en el orden de la incidencia de los factores antrópicos, colocándose como el más incidente, el factor antrópico de infiltración, que generó factores de seguridad de 1.52 por Bishop simplificado, 1.46 por Janbu simplificado, 1.53 por Morgenstern y 1.54 por Fellenius, mientras que el factor antrópico de cortes, en ese mismo orden de métodos, dio factores de seguridad 1.61, 1.60, 1.62 y 1.65. El factor antrópico correspondiente a las sobrecargas, siguió posicionándose como el menos incidente, generando factores de seguridad de 1.72 por los métodos de Bishop y Fellenius, 1.71 por el método de Morgenstern y 1.69 por el método de Janbu.



En cuanto al análisis estadístico, como era de esperarse, en el perfil número 1, las probabilidades de falla alcanzaron valores relativamente altos, alcanzando el máximo en la condición de combinación, con una probabilidad de falla total del 100%. En el caso del factor antrópico de cortes, las probabilidades de falla estuvieron entre el 89.9 % y el 99.7%. Los índices de confiabilidad también evidenciaron que el factor antrópico de cortes tenía factores de seguridad por debajo del factor de seguridad crítico dando como resultado valores negativos.

• **NUEVA GRANADA**

PERFIL 1

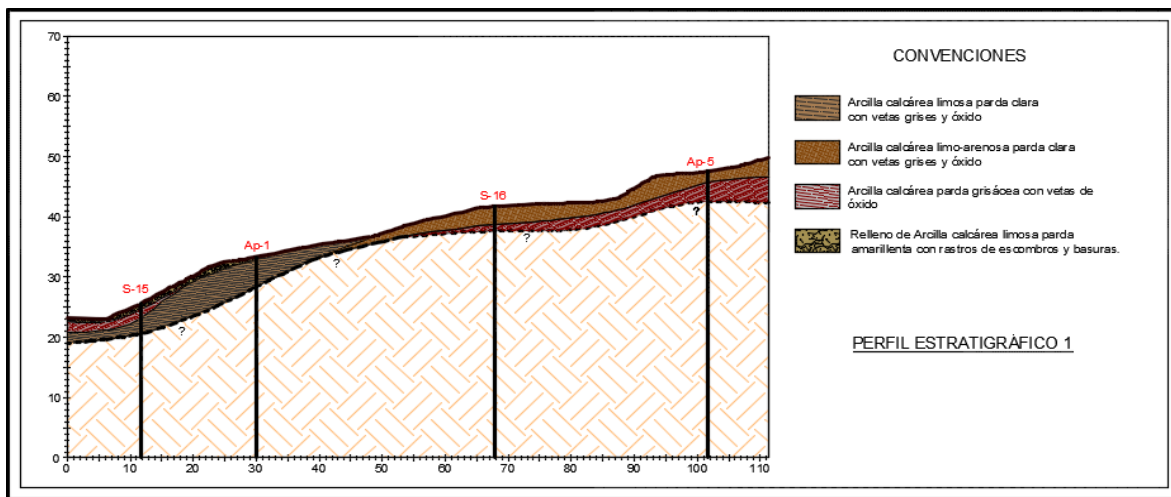


Figura 57. Perfil Estratigráfico 1 - Nueva Granada. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.40	2.23	2.40	2.32	2.41	2.24	2.41	2.33
INFILTRACION - SS	1.91	1.77	1.91	1.92	1.92	1.77	1.93	1.92
CORTE - SS	1.72	1.72	1.72	1.78	1.73	1.73	1.73	1.78
SOBRECARGA - SS	2.23	2.06	2.23	2.14	2.23	2.06	2.23	2.15
COMBINACION - SS	1.22	1.19	1.21	1.31	1.22	1.19	1.22	1.32

Tabla 36. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

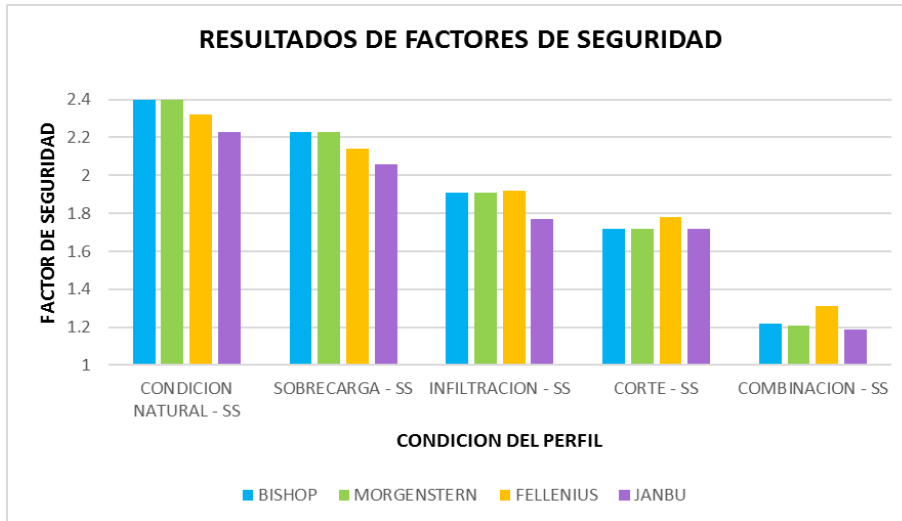


Figura 58. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	7.26	6.69	7.37	6.87
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	5.97	5.21	5.92	5.67
CORTE - SS	0	0	0	0	3.66	3.67	3.67	3.91
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	6.71	6.25	6.84	6.34
COMBINACION - SS	6.5	9.3	6.3	2.1	1.47	1.32	1.48	2.05

Tabla 37. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.



Figura 59. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 2

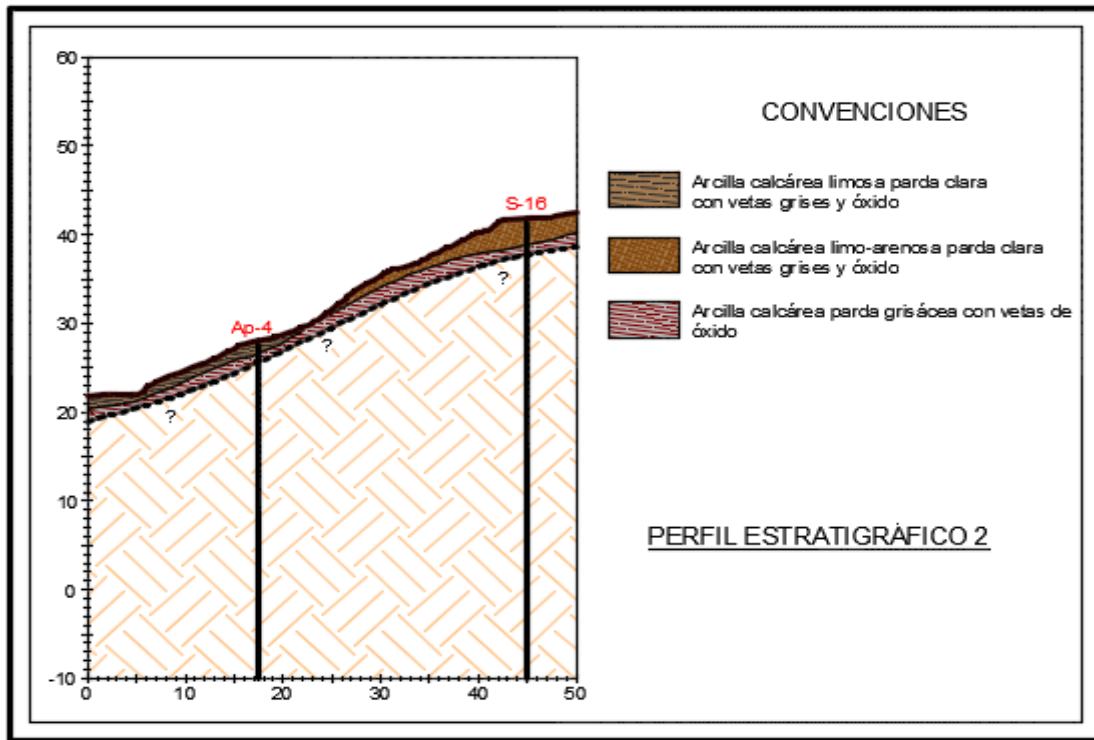


Figura 60. Perfil Estratigráfico 2 - Nueva Granada. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	4.15	3.78	4.14	4.05	4.15	3.78	4.15	4.05
INFILTRACION - SS	3.73	3.40	3.72	3.75	3.73	3.40	3.72	3.75
CORTE - SS	3.50	3.53	3.80	3.57	3.52	3.55	3.82	3.59
SOBRECARGA - SS	3.90	3.51	3.89	3.79	3.90	3.51	3.89	3.79
COMBINACION - SS	2.68	2.60	2.68	2.69	2.69	2.61	2.69	2.70

Tabla 38. . Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

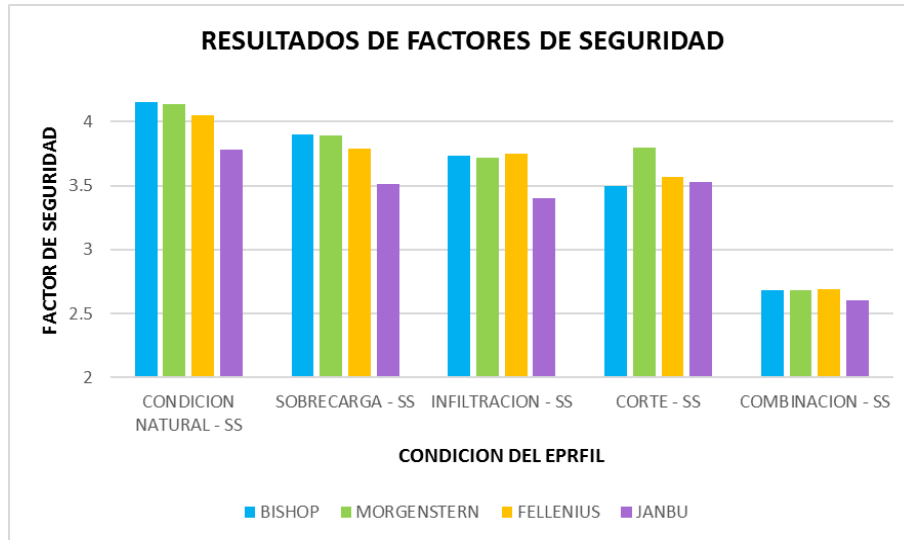


Figura 61. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	796.51	412.88	650.97	848.48
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	699.70	329.37	579.77	781.02
CORTE - SS	0	0	0	0	4.48	4.46	4.55	4.58
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	852.50	462.98	636.76	846.89
COMBINACION - SS	0	0	0	0	4.45	4.38	4.44	4.48

Tabla 39. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



PERFIL 3

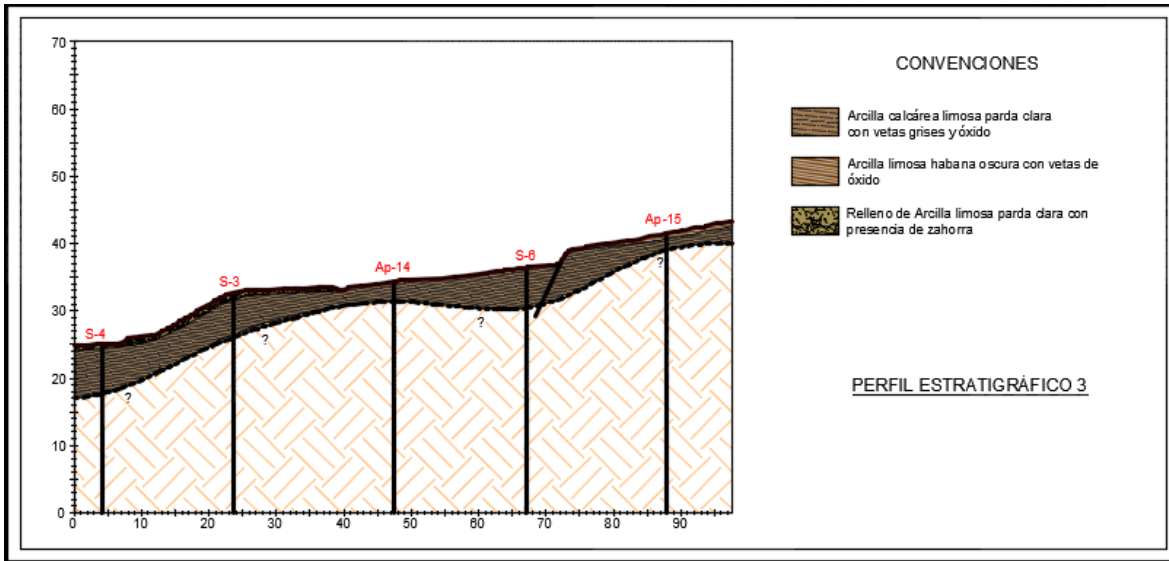


Figura 62. Perfil Estratigráfico 3 - Nueva Granada. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.49	2.32	2.49	2.39	2.50	2.33	2.49	2.40
INFILTRACION - SS	1.94	1.81	1.94	1.95	1.95	1.82	1.95	1.96
CORTE - SS	1.52	1.65	1.75	1.68	1.53	1.66	1.76	1.68
SOBRECARGA - SS	2.21	2.02	2.20	2.09	2.21	2.03	2.21	2.09
COMBINACION - SS	1.16	1.17	1.17	1.33	1.17	1.17	1.18	1.34

Tabla 40. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

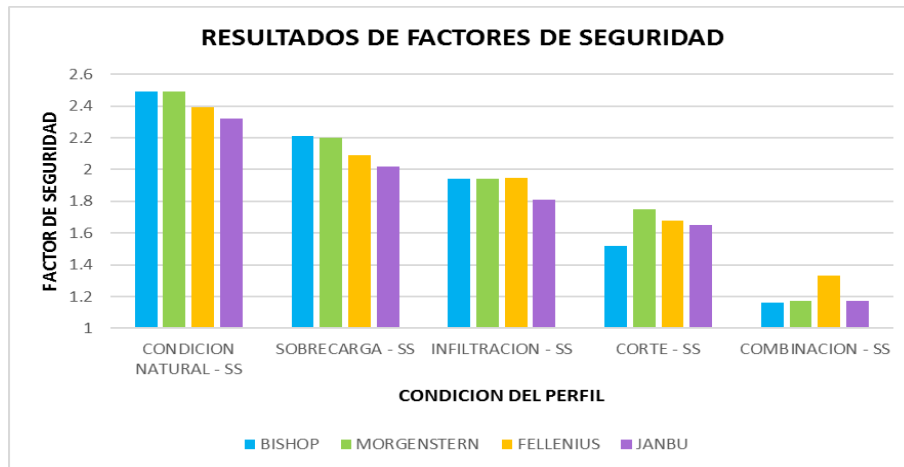


Figura 63. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	5.97	5.71	5.98	5.74
INFILTRACION - SS	0	0	0	0	4.56	4.20	4.59	4.51
CORTE - SS	0.1	0	0	0	2.84	3.48	3.77	3.77
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	5.52	5.15	5.53	5.19
COMBINACION - SS	18.2	13.4	12.5	1.50	0.96	1.15	1.20	2.17

Tabla 41. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.



Figura 64. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 4

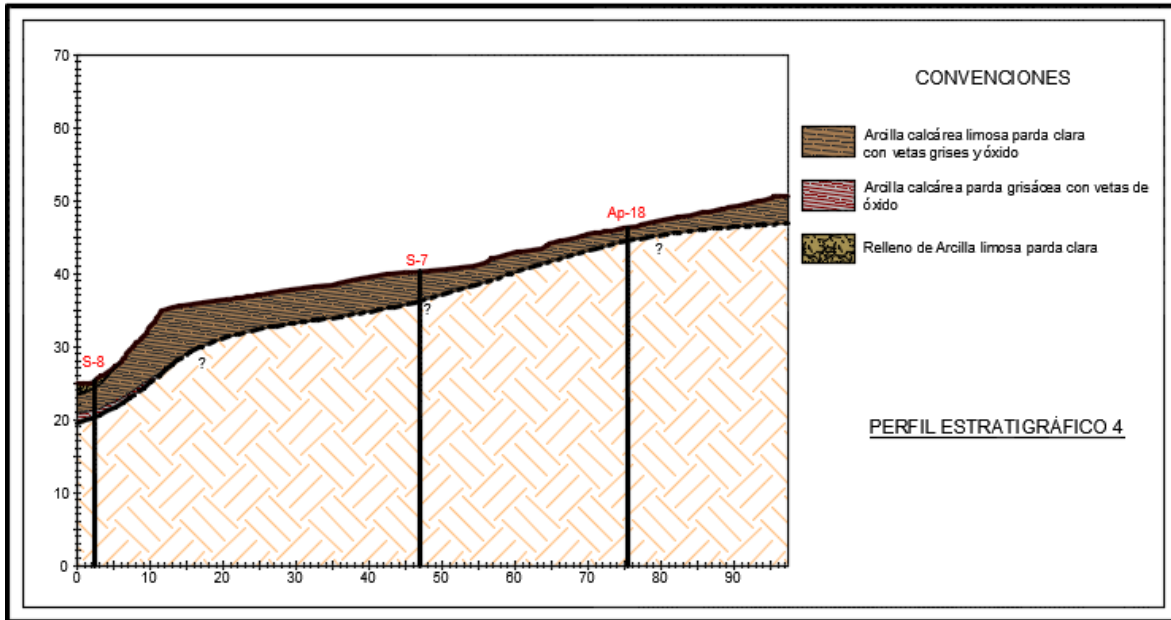


Figura 65. Perfil Estratigráfico 4 - Nueva Granada. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	1.61	1.53	1.61	1.62	1.62	1.54	1.61	1.63
INFILTRACION - SS	1.22	1.15	1.23	1.33	1.23	1.16	1.23	1.33
CORTE - SS	1.20	1.17	1.20	1.28	1.20	1.18	1.20	1.29
SOBRECARGA - SS	1.45	1.37	1.45	1.46	1.46	1.38	1.46	1.46
COMBINACION - SS	0.90	0.88	0.90	1.08	0.91	0.89	0.91	1.08

Tabla 42. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

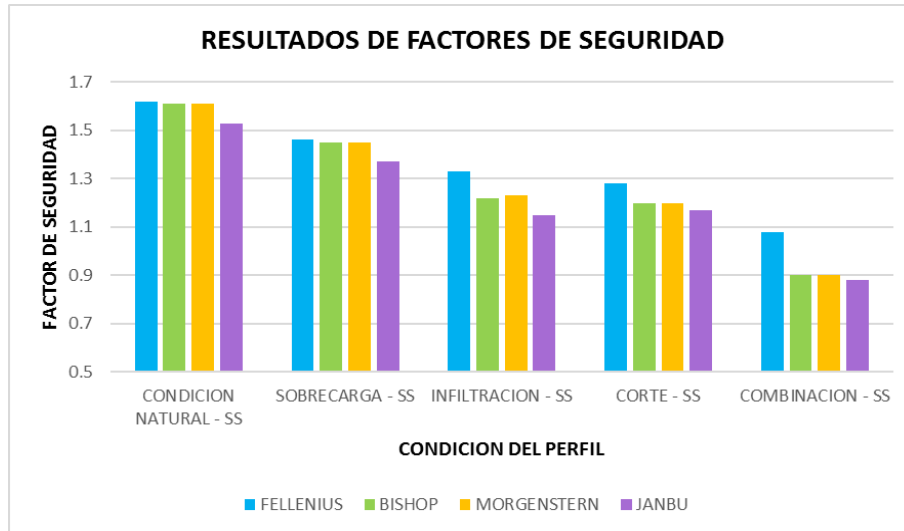


Figura 66. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	3.69	3.28	3.69	3.66
INFILTRACION - SS	5.5	14.7	5.3	1.9	1.56	1.09	1.58	2.11
CORTE - SS	10.5	14.6	11.6	4.2	1.25	1.08	1.23	1.68
SOBRECARGA - SS	0.3	0.4	0.4	0.1	2.65	2.60	2.63	2.81
COMBINACION - SS	73.6	79.1	73.7	28.4	-0.68	-0.85	0.67	0.57

Tabla 43. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



Figura 67. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. **Fuente:** Autores.



PERFIL 5

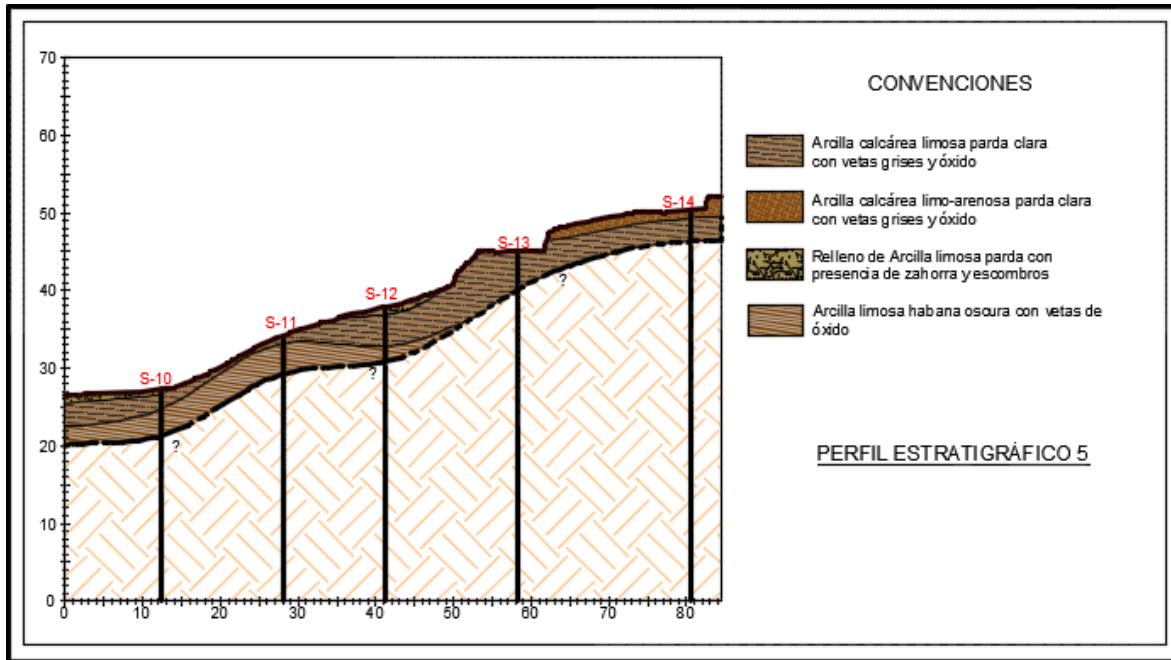


Figura 68. Perfil Estratigráfico 5 - Nueva Granada. **Fuente:** Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.22	2.02	2.22	2.11	2.23	2.03	2.23	2.12
INFILTRACION - SS	1.67	1.51	1.67	1.66	1.67	1.52	1.68	1.67
CORTE - SS	1.41	1.40	1.41	1.48	1.41	1.41	1.42	1.49
SOBRECARGA - SS	1.93	1.82	1.92	1.89	1.94	1.83	1.94	1.90
COMBINACION - SS	0.97	0.90	0.97	1.10	0.97	0.91	0.98	1.11

Tabla 44. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

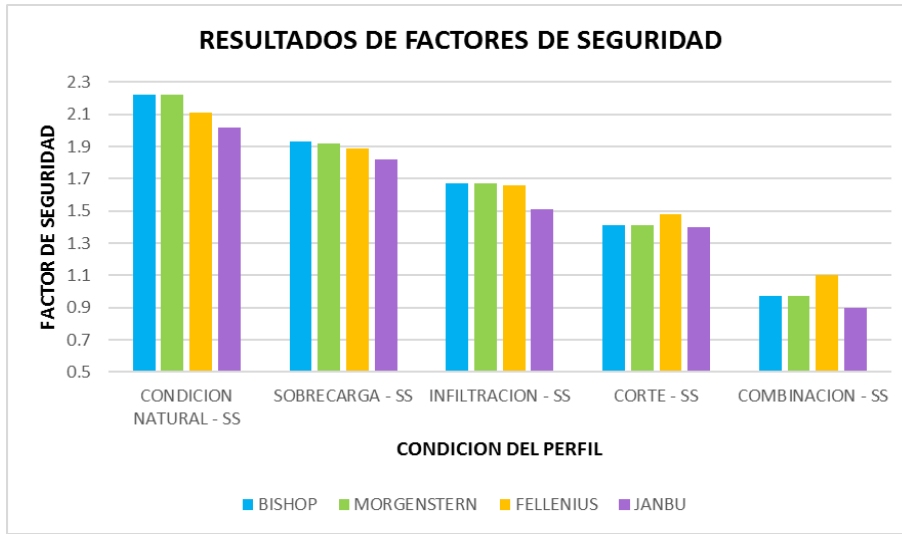


Figura 69. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	4.88	4.45	4.88	4.60
INFILTRACION - SS	0	0.2	0	0	3.23	2.68	3.27	3.19
CORTE - SS	1.4	1.2	1.4	0.3	2.14	2.22	2.15	2.68
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	3.19	4.01	3.19	4.17
COMBINACION - SS	59.3	73.9	58.6	24.9	-0.22	-0.69	-0.20	0.73

Tabla 45. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

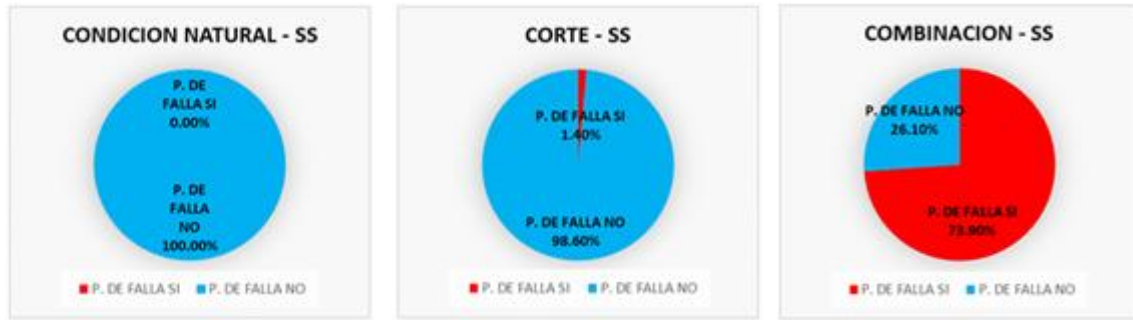


Figura 70. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. Fuente: Autores.

PERFIL 6

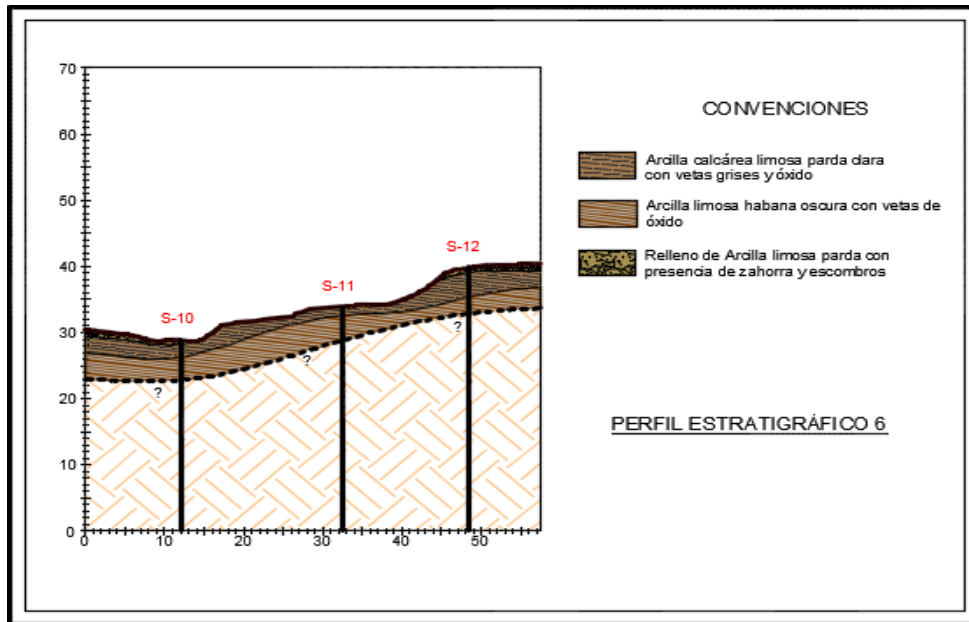


Figura 71. Perfil Estratigráfico 6 - Nueva Granada. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	2.43	2.31	2.43	2.44	2.44	2.31	2.47	2.45
INFILTRACION - SS	1.95	1.77	1.95	2.10	1.96	1.72	1.95	2.11



CORTE - SS	1.86	1.96	2.06	1.99	1.87	1.96	1.94	2.00
SOBRECARGA - SS	2.03	1.88	2.03	1.99	2.04	1.89	2.04	2.00
COMBINACION - SS	1.29	1.31	1.37	1.45	1.29	1.32	1.39	1.46

Tabla 46. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

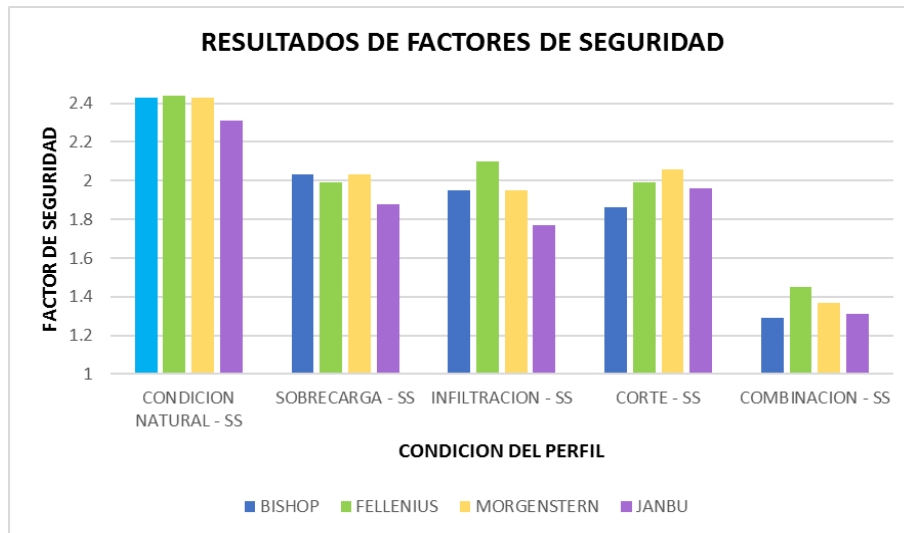


Figura 72. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - SS	0	0	0	0	4.95	4.03	5.44	5.24
INFILTRACION - SS	0	0.1	0	0	3.59	2.64	4.29	3.55
CORTE - SS	0.1	0	0	0	3.80	4.39	3.51	4.60
SOBRECARGA - SS	0	0	0	0	4.43	3.56	4.45	4.56
COMBINACION - SS	5.2	2.1	0.2	0.1	1.61	1.97	2.63	2.78

Tabla 47. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, sin sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

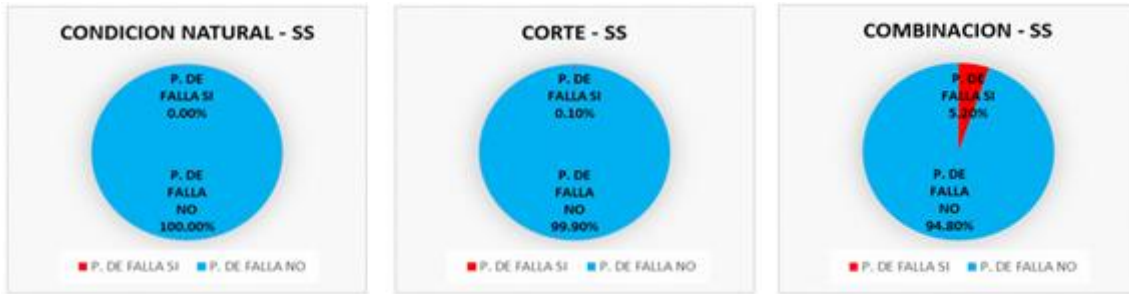


Figura 73. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Nueva Granada, en condición sin sismo. **Fuente:** Autores.

En este sector, los perfiles se encuentran en general, en su condición natural, con buena estabilidad, dando como resultado factores de seguridad mayores a 1.5. El perfil 2, estuvo en todas las condiciones con factores de seguridad por encima de 1.5, mientras que en el caso de los perfiles número 1, 3 y 6, se mantienen factores de seguridad por encima de 1.5, hasta que se presenta la condición de combinación, en la que se presentan valores mínimos de factores de seguridad de hasta 1.19, 1.16 y 1.29 respectivamente, es decir en condición inestable.

Por otro lado, como se puede observar en las correspondientes tablas, los perfiles 4 y 5, presentaron las condiciones más críticas. Tomando como ejemplo, el perfil número 4, se puede observar que en la condición natural el perfil se encuentra estable y con la aplicación de cualquier factor antrópico, pasa a un estado de estabilidad aparente (factor de seguridad entre 1.2 y 1.5), finalmente, con la aplicación de los tres factores antrópicos en estudio, en la condición de combinación, el perfil entra en inestabilidad con factores de seguridad por debajo de 1.2, llegando a un factor de seguridad crítico de 0.88 por el método de Janbu simplificado.

En este sector, una vez más, se observa la tendencia de la mayor incidencia por parte del factor antrópico de cortes, seguido por el factor antrópico de infiltración y una menor incidencia por parte del factor antrópico de sobrecargas. En el perfil de ejemplo, los factores de seguridad para la condición de cortes fueron del orden de 1.20 por los métodos de Bishop simplificado y Morgenstern, de 1.17 por el método de Janbu simplificado y de 1.28 por el método de Fellenius, a diferencia de la condición de sobrecargas donde los factores de seguridad, fueron de 1.45, 1.37 y 1.46, con el mismo orden de métodos. Es pertinente



mencionar que en el método de Janbu simplificado, el factor antrópico de infiltración alcanza un factor de seguridad, de 1.15, más bajo que el factor antrópico de corte con un factor de seguridad 1.17, siendo esta una pequeña excepción de la tendencia mencionada.

Las probabilidades de falla corroboran el patrón seguido por los factores de seguridad. En el perfil número 2, las probabilidades de falla fueron nulas, mientras que en los perfiles 1, 3 y 6 se presentaron probabilidades de falla en la condición de combinación, con porcentajes máximos de 9.3, 18.2 y 5.20 %, respectivamente. Para los perfiles 4 y 5, aparecieron probabilidades de falla significativas en la condición del factor antrópico de infiltración y corte, respectivamente, con porcentajes máximos de 14.7 y 1.4%.

5.3 MODELACION DE PERFILES CON SISMO

En esta etapa de los resultados, se agregó a cada condición de modelación, las cargas de sismo como se explicó en el literal 4.3.3 de la metodología. Se presentan los resultados obtenidos de factores de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad, de cada perfil, clasificados por barrio.

Los resultados se presentan median tablas y gráficos, para el caso de las probabilidades de falla se realizaron diagramas pasteles en los casos en donde existían variación significativa de las mismas, para los casos donde la probabilidad de falla fue nula en todas las condiciones, se prescindió del diagrama. Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos, se tiene en cuenta el siguiente esquema que indica el estado de riesgo del talud, en base al valor del factor de seguridad obtenido.

F.S > 1.5	ESTABLE
1.5 > F.S > 1.2	APARENTEMENTE ESTABLE
F.S < 1.2	INESTABLE



• **SAN FRANCISCO**

PERFIL 1

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	2.19	2.11	2.19	2.15	2.19	2.11	2.19	2.15
INFILTRACION – CS	1.72	1.65	1.71	1.70	1.72	1.65	1.71	1.70
CORTE – CS	1.68	1.72	1.67	1.73	1.68	1.72	1.68	1.73
SOBRECARGA – CS	2.16	2.08	2.16	2.15	2.16	2.08	2.16	2.16
COMBINACION – CS	1.23	1.27	1.23	1.34	1.22	1.27	1.12	1.34

Tabla 48. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

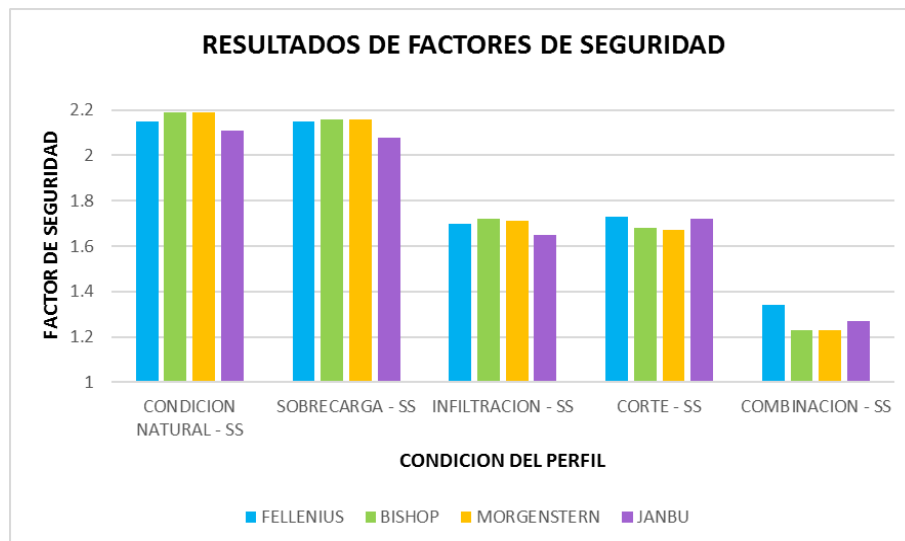


Figura 74. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	13.20	13.07	13.21	13.13
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	15.18	15.12	15.21	17.40



CORTE – CS	0	0	0	0	38.43	40.55	38.99	40.34
SOBRECARGA – CS	0	0	0	0	13.91	14.04	13.91	15.65
COMBINACION - CS	0	0	0	0	4.65	5.67	5.54	6.98

Tabla 49. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

PERFIL 2

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	2.73	2.49	2.73	2.63	2.74	2.49	2.74	2.63
INFILTRACION – CS	2.28	2.07	2.28	2.23	2.28	2.07	2.28	2.23
CORTE – CS	2.13	2.14	2.13	2.26	2.13	2.14	2.14	2.26
SOBRECARGA – CS	2.68	2.47	2.68	2.61	2.69	2.47	2.69	2.61
COMBINACION – CS	1.64	1.63	1.63	1.92	1.64	1.63	1.64	1.92

Tabla 50. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

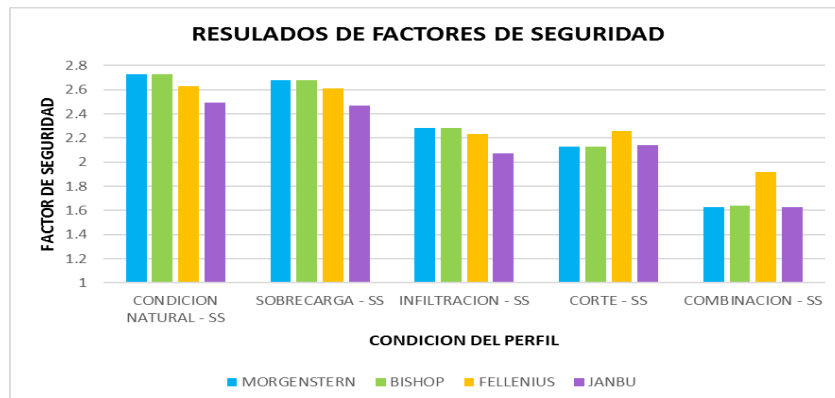


Figura 75. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	18.64	334.85	18.71	364.50
INFILTRACION – CS	0	0	0	0	26.31	272.86	26.37	315.12
CORTE – CS	0	0	0	0	21.52	23.33	21.91	19.99
SOBRECARGA – CS	0	0	0	0	16.24	336.24	16.27	366.38
COMBINACION – CS	0	0	0	0	32.08	34.21	28.08	21.73

Tabla 51. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

PERFIL 3

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	2.54	2.33	2.55	2.44	2.55	2.33	2.54	2.44
INFILTRACION – CS	2.11	1.92	2.12	2.06	2.12	1.92	2.12	2.06
CORTE – CS	2.30	2.14	2.29	2.30	2.30	2.14	2.29	2.30
SOBRECARGA – CS	2.52	2.30	2.52	2.41	2.52	2.30	2.52	2.41
COMBINACION – CS	1.96	1.80	1.96	2.01	1.96	1.80	1.96	2.01

Tabla 52. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

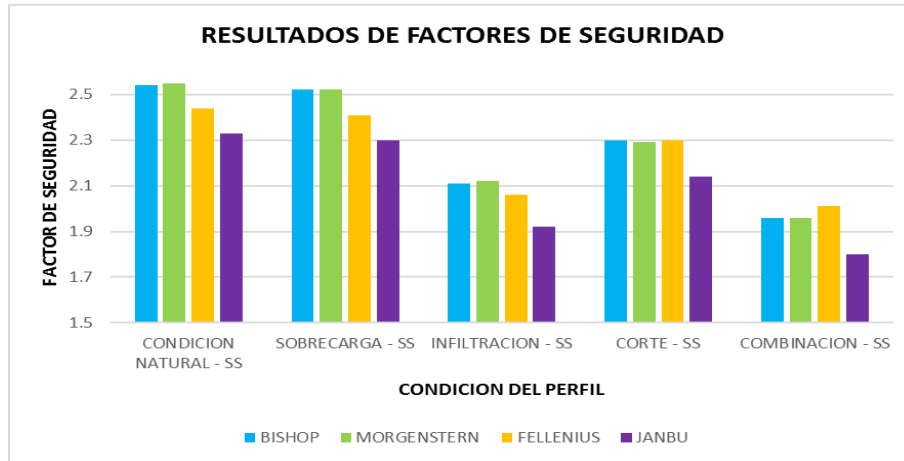


Figura 76. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	223.37	189.32	189.95	275.69
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	194.72	138.56	161.49	249.06
CORTE - CS	0	0	0	0	192.01	219.28	187.49	185.46
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	223.23	188.85	184.08	276.65
COMBINACION - CS	0	0	0	0	158.42	125.98	154.49	160.90

Tabla 53. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

PERFIL 4

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	2.43	2.19	2.43	2.31	2.43	2.19	2.43	2.31
INFILTRACION - CS	2.01	1.81	2.01	1.95	2.01	1.81	2.01	1.95



PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CORTE – CS	1.97	1.98	1.97	2.05	1.98	1.98	1.97	2.06
SOBRECARGA – CS	2.41	2.17	2.41	2.30	2.41	2.17	2.41	2.30
COMBINACION – CS	1.51	1.51	1.51	1.67	1.52	1.51	1.51	1.67

Tabla 54. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

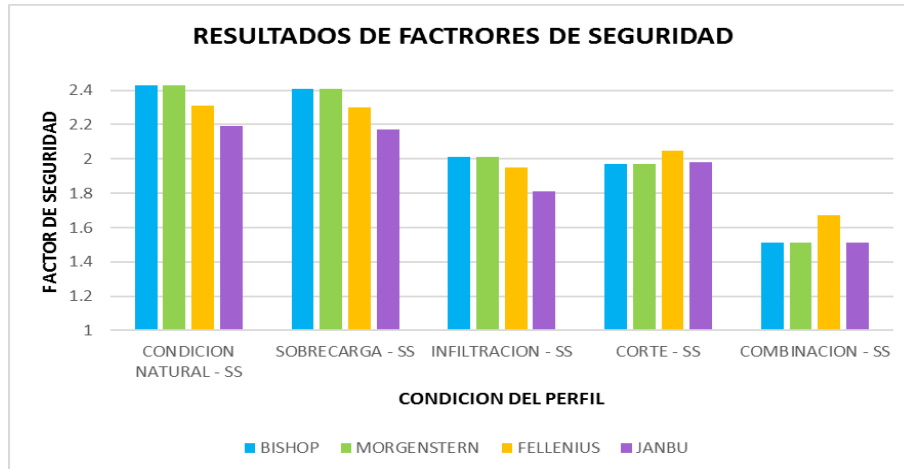


Figura 77. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	380.79	248.70	355.48	301.21
INFILTRACION – CS	0	0	0	0	310.30	194.60	291.23	263.41
CORTE – CS	0	0	0	0	11.54	12.02	11.99	12.03
SOBRECARGA – CS	0	0	0	0	382.37	249.50	356.78	302.89
COMBINACION – CS	0	0	0	0	9.61	10.05	9.76	10.62

Tabla 55. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.



PERFIL 5

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.73	1.66	1.72	1.74	1.74	1.67	1.73	1.74
INFILTRACION – CS	1.30	1.24	1.29	1.41	1.30	1.24	1.29	1.42
CORTE – CS	1.27	1.27	1.27	1.40	1.27	1.28	1.27	1.40
SOBRECARGA – CS	1.68	1.61	1.67	1.68	1.69	1.62	1.68	1.69
COMBINACION – CS	0.85	0.85	0.84	1.12	0.85	0.85	0.84	1.12

Tabla 56. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

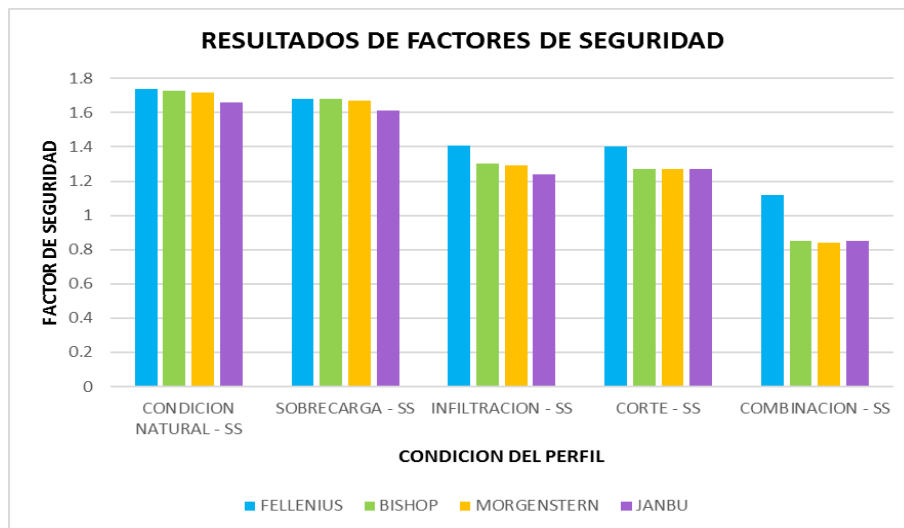


Figura 78. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	6.37	6.48	6.23	6.94
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	4.64	3.77	4.44	5.81



CORTE – CS	0	0	0	0	4.70	5.43	5.69	6.45
SOBRECARGA – CS	0	0	0	0	6.09	6.12	5.93	6.56
COMBINACION - CS	100	100	100	0.1	-5.91	-7.16	-7.90	3.04

Tabla 57. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

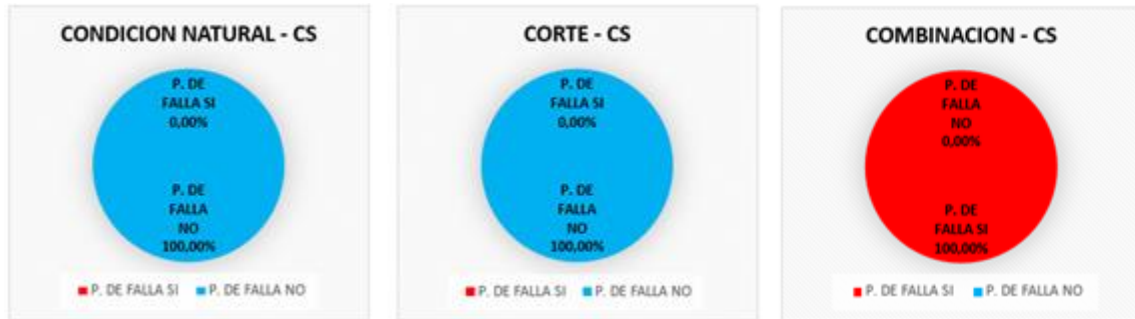


Figura 79. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de San Francisco, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 6

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.99	1.85	1.99	2.00	2.01	1.85	2.01	2.00
INFILTRACION – CS	1.56	1.52	1.56	1.67	1.57	1.53	1.58	1.68
CORTE – CS	1.44	1.49	1.47	1.60	1.45	1.49	1.47	1.60
SOBRECARGA – CS	1.84	1.74	1.84	1.82	1.85	1.75	1.85	1.83
COMBINACION – CS	1.12	1.16	1.15	1.43	1.12	1.16	1.15	1.44

Tabla 58. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco. **Fuente:** Autores.

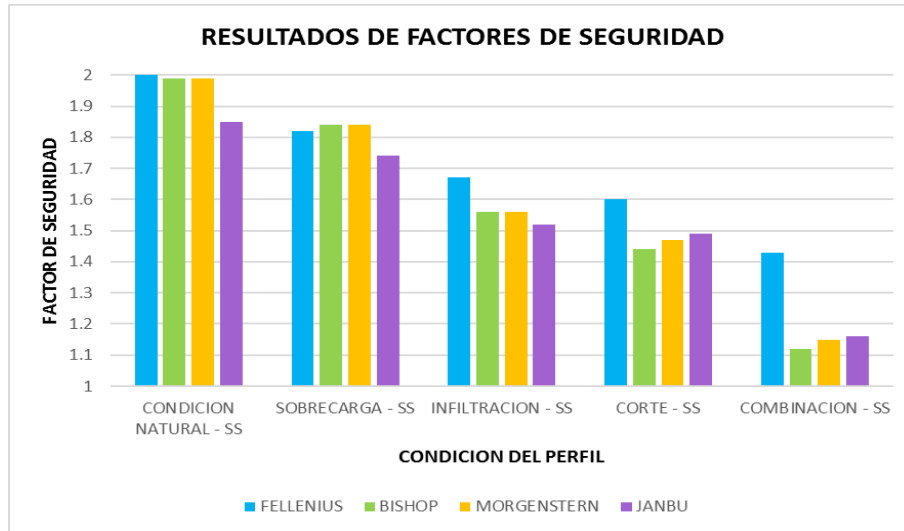


Figura 80. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	5.58	167.84	5.75	5.75
INFILTRACION – CS	0	0	0	0	4.73	114.39	4.92	5.64
CORTE – CS	0	0	0	0	4.43	5.03	5.35	6.29
SOBRECARGA – CS	0	0	0	0	4.80	4.54	4.87	4.83
COMBINACION – CS	4.2	0.8	0.6	0	1.74	2.40	2.39	5.87

Tabla 59. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de San Francisco. Fuente: Autores.

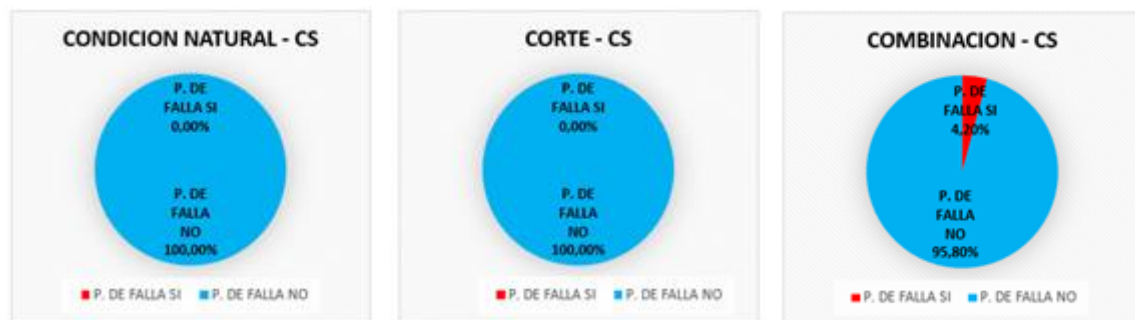


Figura 81. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de San Francisco, en condición con sismo. Fuente: Autores.



Como se puede observar en las tablas y graficas de cada de uno de los perfiles de este sector, en general los taludes siguen encontrándose estables para la condición natural. Los perfiles 2, 3 y 4, en todas las condiciones de modelación, se mantienen estables con factores de seguridad por encima de 1.5. En el perfil 1, sin embargo, como caso particular, se observa que, en la condición de combinación, los factores de seguridad pasan a estar entre 1.5 y 1.2, es decir, el perfil entra a estabilidad aparente.

Los perfiles 5 y 6, serían los más críticos, donde se evidencia con mayor énfasis, que el factor antrópico de cortes es el más incidente en la desestabilización de los taludes de este sector, dando factores de seguridad mínimos por el método de Bishop simplificado, de 1.27 y 1.44, respectivamente.

Sin embargo, con la aplicación de las cargas de sismo, la variación del factor de seguridad en los factores antrópicos de infiltración y cortes es baja e incluso en algunos perfiles, la infiltración llega a ser más incidente, como es el caso del perfil 3, donde los factores de seguridad para infiltración son de 2.11 por Bishop simplificado, 1.92 por Janbu simplificado, 2.12 por Morgenstern y 2.06 por Fellenius, mientras que para cortes, en el mismo orden de métodos, son de 2.30, 2.14, 2.29 y 2.30. En los perfiles 1, 2, 4 y 5 se presenta la situación particular en la que infiltración tiene mayor incidencia según los métodos de Janbu simplificado y Fellenius.

Las probabilidades de falla de los perfiles 1, 2, 3 y 4, fueron nulas, mostrando la estabilidad de los mismos, mientras que en los perfiles 5 y 6, en la condición de combinación, se obtuvieron probabilidades de falla del orden de 100% para el perfil 5 y de 4.2 % para el perfil 6.

Los índices de confiabilidad indican alta estabilidad, ya que están por encima de 3, exceptuando los casos mencionados de los perfiles 5 y 6, en los cuales se obtuvieron índices de confiabilidad de hasta -7.90 y 1.74, en la condición de combinación, respectivamente. Es importante mencionar que donde los índices de confiabilidad son menores que 3, se presentan valores significativos en las probabilidades de falla.



• **MANZANARES**

PERFIL 1

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.14	1.12	1.13	1.16	1.14	1.12	1.14	1.17
INFILTRACION - CS	0.86	0.85	0.86	0.96	0.87	0.85	0.87	0.96
CORTE - CS	0.68	0.68	0.68	0.74	0.68	0.68	0.68	0.75
SOBRECARGA - CS	0.97	0.94	0.97	0.98	0.97	0.95	0.97	0.98
COMBINACION - CS	0.44	0.44	0.44	0.59	0.44	0.44	0.44	0.59

Tabla 60. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

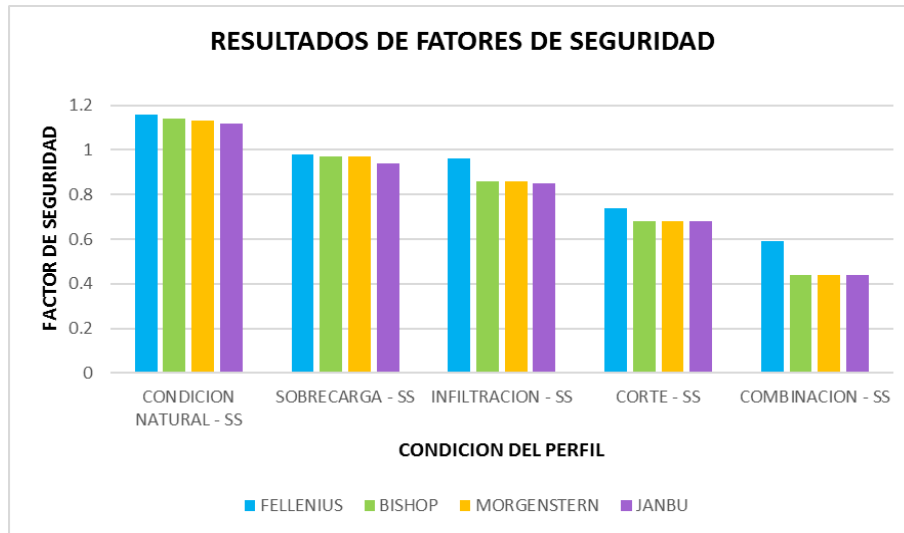


Figura 82. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	8.3	12.1	8.6	5.6	1.37	1.19	1.36	1.61
INFILTRACION - CS	94.7	97.2	94.4	68.8	-1.64	-1.89	-1.63	-0.46



CORTE - CS	100	100	100	100	-5.15	-5.24	-5.35	-3.77
SOBRECARGA - CS	64.4	74.2	60.3	57.8	-0.29	-0.64	-0.29	-0.23
COMBINACION - CS	100	100	100	100	-11.54	-11.48	-11.86	-7.65

Tabla 61. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

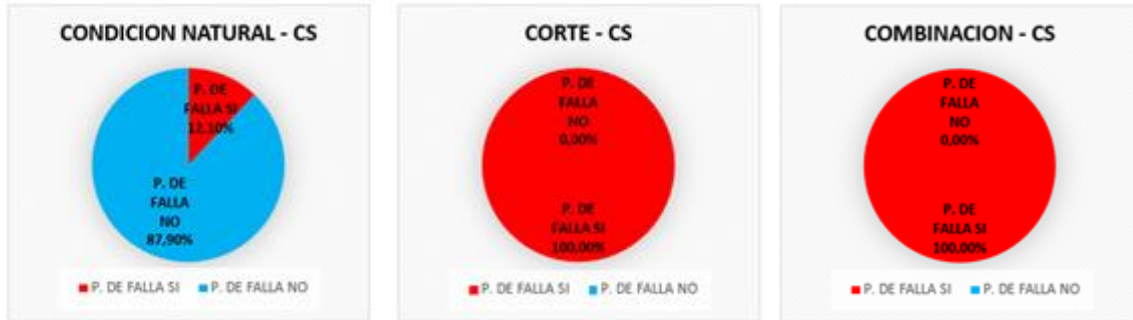


Figura 83. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Manzanares, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 2

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.53	1.47	1.54	1.50	1.53	1.47	1.54	1.50
INFILTRACION - CS	1.15	1.10	1.16	1.15	1.15	1.10	1.16	1.15
CORTE - CS	1.28	1.26	1.28	1.31	1.28	1.26	1.28	1.31
SOBRECARGA - CS	1.52	1.48	1.52	1.50	1.52	1.48	1.52	1.50
COMBINACION - CS	0.95	0.93	0.94	1.00	0.95	0.93	0.94	1.00

Tabla 62. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

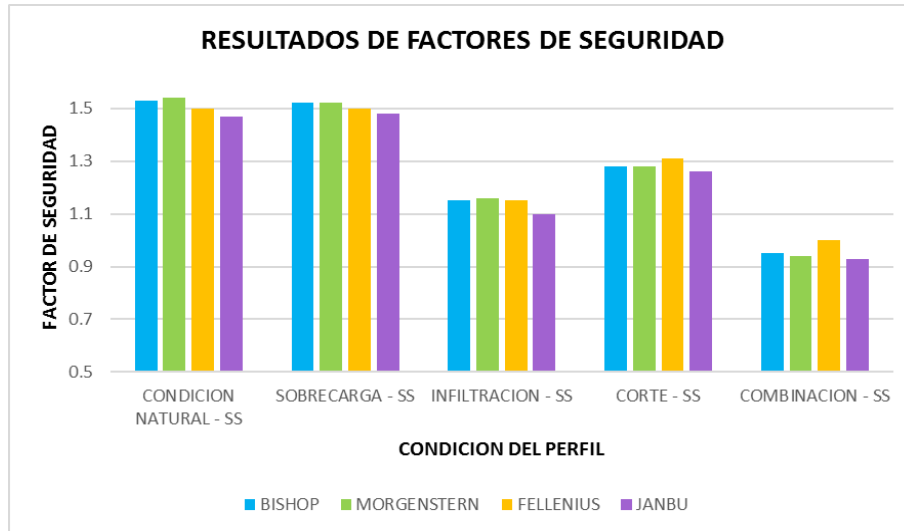


Figura 84. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	3.89	3.44	3.93	3.61
INFILTRACION - CS	4.4	14.8	4.0	4.2	1.62	1.09	1.68	1.65
CORTE - CS	0.1	0.3	0.1	0.1	2.88	2.78	2.86	3.08
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	3.39	4.84	3.93	3.52
COMBINACION - CS	77.9	84.3	78.8	51.2	-0.76	-1.03	-0.79	-0.03

Tabla 63. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.



Figura 85. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 2 del sector de Manzanares, en condición con sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 3

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.91	1.86	1.92	1.89	1.92	1.86	1.92	1.89
INFILTRACION - CS	1.49	1.45	1.50	1.50	1.50	1.45	1.50	1.50
CORTE - CS	1.46	1.46	1.46	1.51	1.47	1.47	1.46	1.51
SOBRECARGA - CS	1.74	1.68	1.74	1.71	1.74	1.69	1.74	1.71
COMBINACION - CS	1.20	1.20	1.20	1.30	1.20	1.20	1.20	1.30

Tabla 64. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

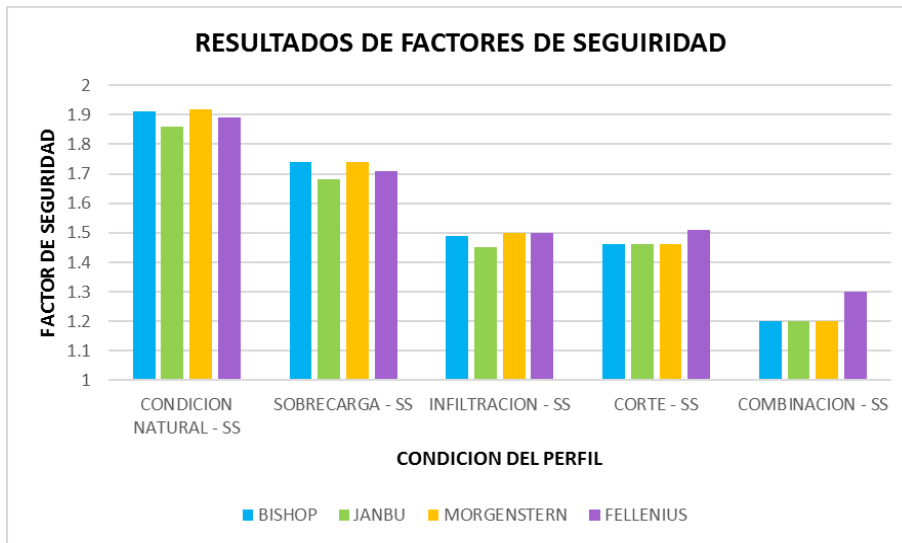


Figura 86. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.



Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	5.74	5.57	5.77	5.68
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	4.43	4.17	4.44	4.46
CORTE - CS	0	0	0	0	4.55	4.54	4.53	4.81
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	4.84	4.73	4.85	4.85
COMBINACION - CS	1.1	1.1	1.1	0.2	2.38	2.39	2.38	2.93

Tabla 65. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

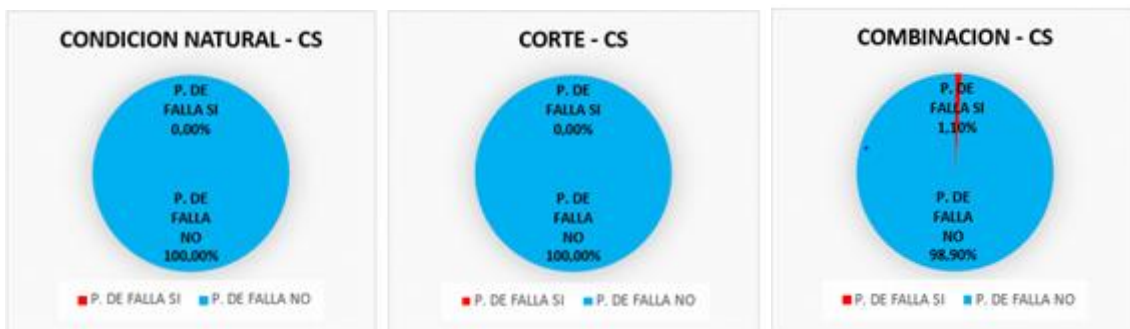


Figura 87. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Manzanares, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 4

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.68	1.62	1.68	1.66	1.68	1.63	1.68	1.66
INFILTRACION - CS	1.26	1.21	1.26	1.29	1.26	1.22	1.26	1.29
CORTE - CS	1.14	1.13	1.14	1.18	1.14	1.13	1.14	1.19
SOBRECARGA - CS	1.55	1.45	1.55	1.51	1.55	1.48	1.55	1.51
COMBINACION - CS	0.83	0.82	0.82	0.95	0.83	0.82	0.83	0.95

Tabla 66. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

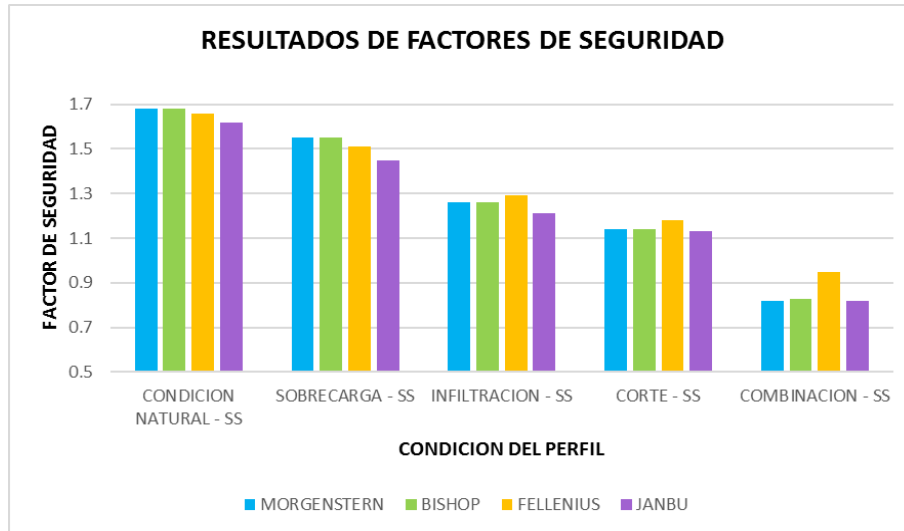


Figura 88. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	5.02	4.80	5.03	4.97
INFILTRACION - CS	0.3	0.7	0.2	0.1	2.90	2.53	2.92	3.13
CORTE - CS	4.6	5.7	4.6	1.9	1.72	1.59	1.72	2.14
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	4.19	3.87	4.20	4.07
COMBINACION - CS	100	100	100	78.7	-3.27	-3.51	-3.19	-0.79

Tabla 67. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

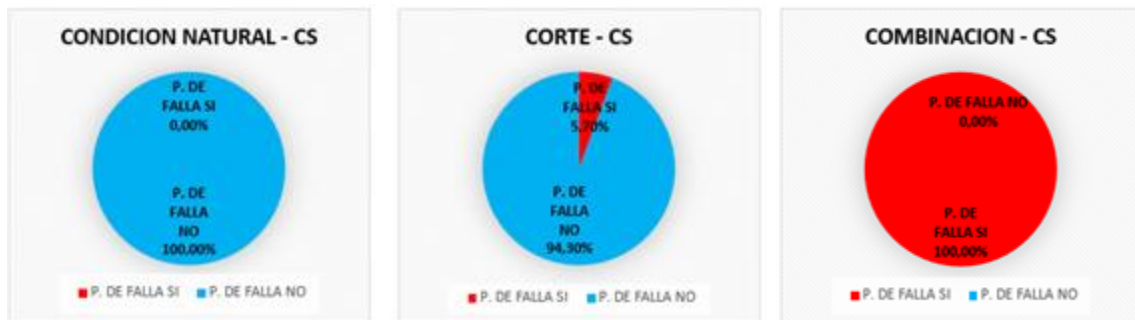


Figura 89. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Manzanares, en condición con sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 5

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.45	1.41	1.45	1.44	1.45	1.42	1.45	1.44
INFILTRACION - CS	1.04	1.01	1.04	1.06	1.04	1.02	1.04	1.07
CORTE - CS	0.92	0.92	0.92	0.98	0.93	0.92	0.92	0.98
SOBRECARGA - CS	1.39	1.32	1.39	1.34	1.39	1.32	1.40	1.35
COMBINACION - CS	0.67	0.67	0.67	0.80	0.68	0.67	0.67	0.81

Tabla 68. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

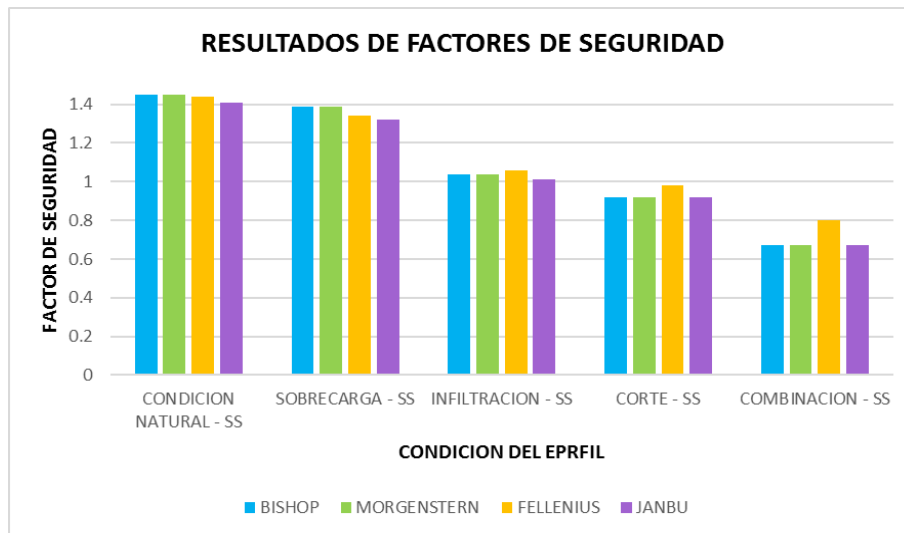


Figura 90. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.



Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0.1	0.2	0.1	0.1	3.10	2.92	3.10	3.05
INFILTRACION - CS	32.2	42.7	30.9	24.3	0.46	0.17	0.49	0.66
CORTE - CS	82.2	83.2	83.5	58.5	-0.92	-0.95	-0.97	-0.24
SOBRECARGA - CS	0.3	1.1	0.3	0.7	2.78	2.40	2.80	2.56
COMBINACION - CS	100	100	100	100	-5.17	-5.18	-5.29	-2.73

Tabla 69. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

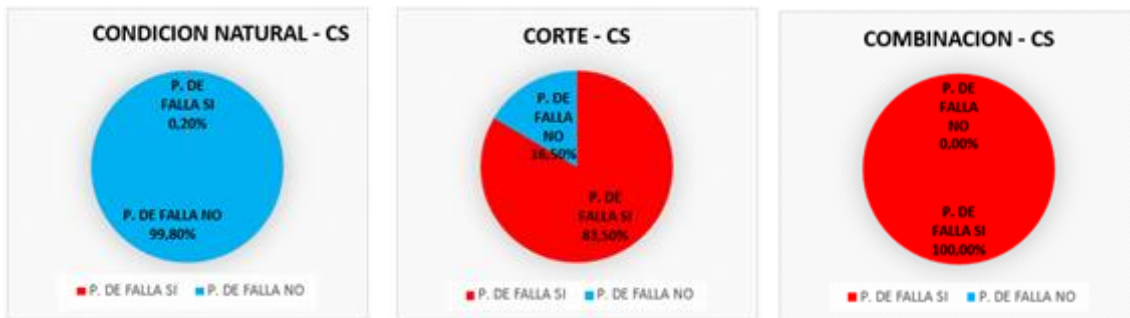


Figura 91. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Manzanares, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 6

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.48	1.44	1.48	1.50	1.49	1.45	1.49	1.51
INFILTRACION - CS	1.16	1.13	1.15	1.24	1.16	1.13	1.17	1.25
CORTE - CS	0.98	0.98	0.98	1.03	0.98	0.98	0.98	1.04
SOBRECARGA - CS	1.33	1.28	1.32	1.33	1.33	1.28	1.33	1.33
COMBINACION - CS	0.69	0.69	0.69	0.83	0.70	0.69	0.69	0.83

Tabla 70. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. **Fuente:** Autores.

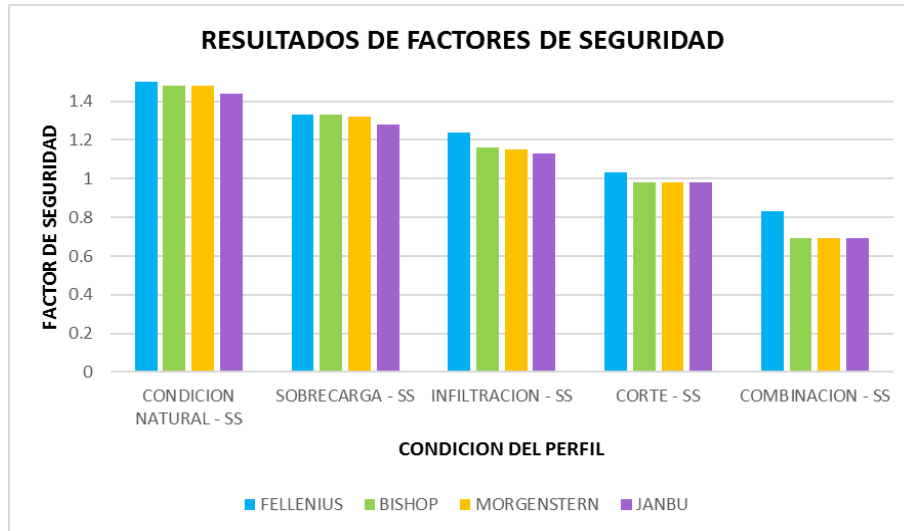


Figura 92. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0.7	1.0	0.7	0.5	2.67	2.52	2.66	2.75
INFILTRACION - CS	16.6	21.8	16.3	7.9	0.97	0.80	0.98	1.45
CORTE - CS	55.0	55.1	55.1	36.6	-0.16	-0.17	-0.17	0.32
SOBRECARGA - CS	1.9	3.6	1.9	1.9	2.13	1.90	2.13	2.13
COMBINACION - CS	100	100	100	94.2	-2.94	-2.94	-2.95	-1.50

Tabla 71. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Manzanares. Fuente: Autores.



Figura 93. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Manzanares, en condición con sismo. Fuente: Autores.



En el sector de manzanares, una vez aplicadas las cargas de sismo, también se presentaron variaciones en cuanto al factor antrópico más incidente en la desestabilización de los taludes. En el caso del perfil 2, la condición de infiltración se posiciona como la más incidente con valores de factores de seguridad de 1.15, 1.10, 1.16 y 1.15, seguida por la condición de cortes con valores de 1.28, 1.26, 1.28 y 1.31 para los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado, Morgenstern y Fellenius, en ese orden. Pese a estas variaciones, en los perfiles 1, 4, 5 y 6 se sigue manteniendo el factor antrópico de cortes como el más incidente.

En este sector, los perfiles presentan, en su mayoría estabilidad aparente e inestabilidad, siendo los perfiles 1, 5 y 6 los más críticos.

En el perfil número 1, todas, las condiciones de modelación tienen factores de seguridad por debajo de 1.2, lo que lo convierte en el perfil más crítico del sector. El factor de seguridad más alto, en la condición natural del perfil, se presentó por el método de Fellenius, con un valor de 1.16. Para el factor antrópico de corte (mas incidente) el factor de seguridad más bajo, se presentó por los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado y Morgenstern con un valor de 0.68, mientras que en el factor antrópico de sobrecargas (menos incidente) el factor antrópico más bajo, se presentó por el método de Janbu, con un valor de 0.94.

Los perfiles 2 y 4, tienen un comportamiento similar. Estos se encuentran estables en sus condiciones naturales y presentan factores de seguridad bajos con la intervención de factores antrópicos. En el caso del perfil 4, el corte representa los factores de seguridad más bajos con un mínimo de 1.13 por el método de Janbu simplificado y las sobrecargas, que serían las menos incidentes, tienen un factor de seguridad mínimo de 1.45 por este mismo método. En ambos perfiles, cuando se combinan los factores antrópicos en estudio, el perfil entra en inestabilidad con factores de seguridad por debajo de 1.2, siendo los mínimos de 0.93 para el perfil 2 y de 0.82 para el perfil 4, por el método de Janbu simplificado.

Los perfiles 5 y 6, cuentan con la particularidad, de que, en sus condiciones naturales, los factores de seguridad ya están en un rango de estabilidad aparente, por lo que, al aplicar los factores antrópicos, ambos perfiles entran en inestabilidad, exceptuando el factor antrópico de sobrecarga (menos incidente), en el cual los perfiles se mantienen en estabilidad aparente.



En cuanto a las probabilidades de fallas, están corroboran la información suministrada por los factores de seguridad. Por ejemplo, en el perfil 1, solo en la condición natural existen un porcentaje de no falla de 87.9 %, pero el factor antrópico de corte, que es el más incidente en la desestabilización, y en la combinación, la probabilidad de falla es de 100%.

En el perfil 2, la probabilidad de falla en la condición natural es nula, mientras que, con el factor antrópico más incidente (corte en este caso), la probabilidad de falla está en un 14.8% y con la condición de combinación se alcanza una probabilidad de falla máxima de 84.3%.

El perfil 3, por su parte no presento probabilidad de falla en condición natural, ni con la aplicación de los factores antrópicos, debido a que los índices de confiabilidad se mantuvieron por encima de 3.

Los perfiles 4, 5 y 6, tuvieron un patrón similar, en los que la condición natural no tuvo una probabilidad de falla significativa, pero en cada caso, el factor antrópico más incidente, aumenta la probabilidad de falla hasta alcanzar el 100% en la condición de combinación.

- **NUEVA GRANADA**

PERFIL 1

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 1	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.90	1.75	1.90	1.83	1.91	1.76	1.91	1.83
INFILTRACION - CS	1.52	1.40	1.53	1.51	1.53	1.41	1.53	1.52
CORTE - CS	1.39	1.36	1.39	1.43	1.39	1.37	1.40	1.43
SOBRECARGA - CS	1.80	1.66	1.80	1.72	1.80	1.66	1.81	1.73
COMBINACION - CS	1.01	0.98	1.01	1.09	1.01	0.98	1.02	1.09

Tabla 72. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

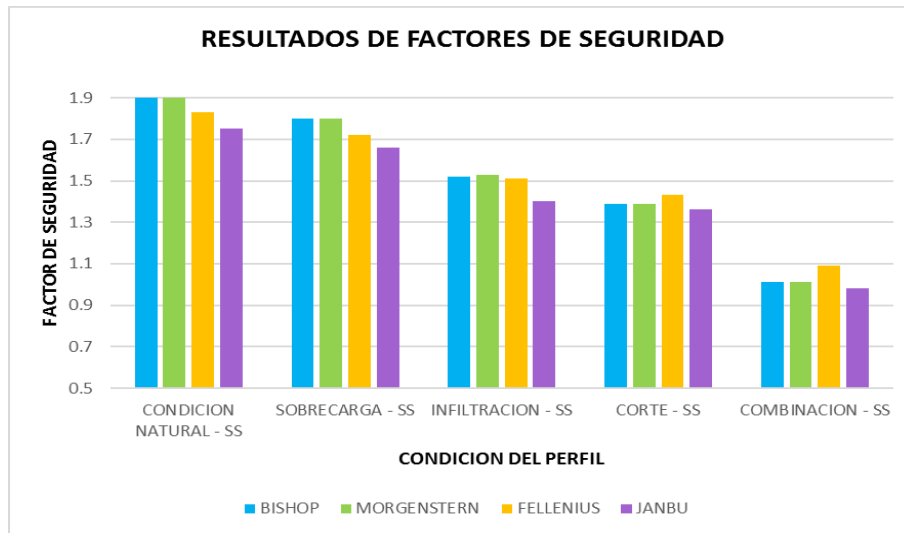


Figura 94. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 1	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	5.83	5.27	5.99	5.48
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	4.27	3.53	4.46	4.07
CORTE - CS	0.8	0.9	0.8	0.2	2.46	2.38	2.49	2.71
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	5.45	4.86	5.62	4.99
COMBINACION - CS	47.5	57.5	45.9	24.1	0.11	-0.17	0.14	0.72

Tabla 73. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 1 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

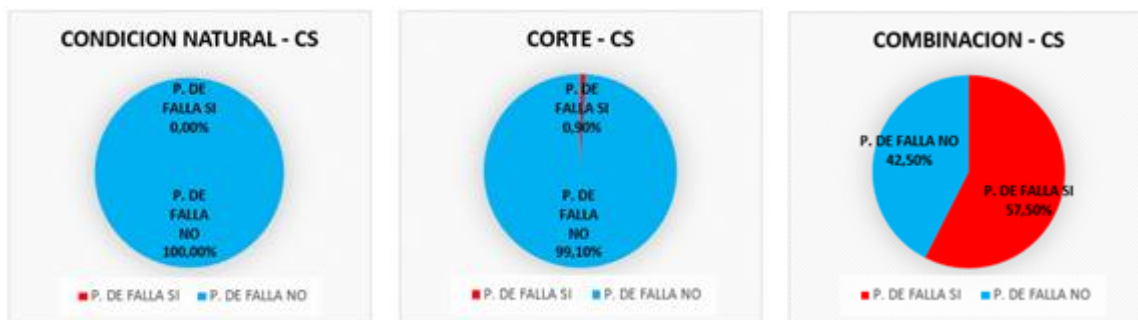


Figura 95. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 1 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 2

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 2	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	3.29	2.95	3.29	3.21	3.29	2.95	3.29	3.21
INFILTRACION - CS	2.96	2.65	2.96	2.97	2.96	2.65	2.96	2.97
CORTE - CS	2.81	2.82	2.81	2.87	2.83	2.84	2.83	2.88
SOBRECARGA - CS	3.14	2.79	3.13	3.04	3.14	2.79	3.14	3.04
COMBINACION - CS	2.31	2.24	2.31	2.32	2.32	2.25	2.32	2.33

Tabla 74. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

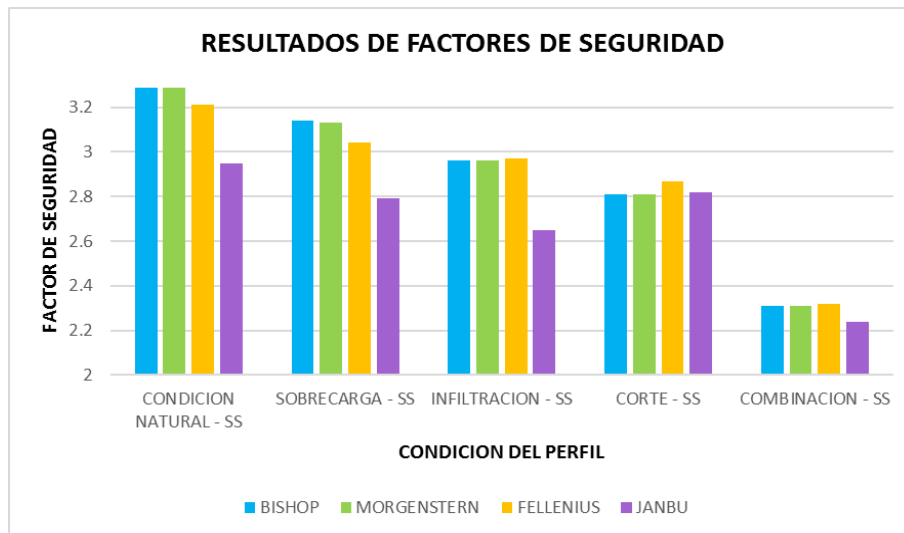


Figura 96. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 2	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	728.9	365.9	577.9	800.9
INFILTRACION - CS	0	0	0	0	632.7	288.8	455.9	728.9
CORTE - CS	0	0	0	0	4.07	4.04	4.09	4.16
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	725.0	350.6	511.2	793.4
COMBINACION - CS	0	0	0	0	4.06	3.97	4.05	4.09

Tabla 75. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 2 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

PERFIL 3

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 3	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.96	1.80	1.97	1.87	1.97	1.81	1.97	1.87
INFILTRACION - CS	1.55	1.42	1.56	1.53	1.55	1.42	1.56	1.54
CORTE - CS	1.29	1.35	1.38	1.42	1.30	1.36	1.39	1.43
SOBRECARGA - CS	1.80	1.64	1.81	1.70	1.81	1.65	1.81	1.70
COMBINACION - CS	0.99	0.97	1.00	1.13	0.99	0.97	1.01	1.13

Tabla 76. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

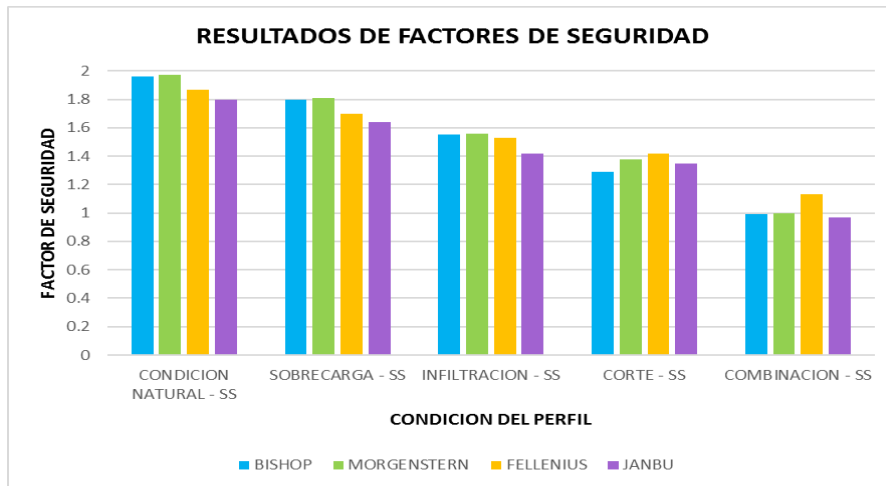


Figura 97. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 3	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	4.94	4.50	4.97	4.61
INFILTRACION - CS	0	0.1	0	0	3.41	2.84	3.45	3.25
CORTE - CS	2.4	1.0	0.8	0.1	1.88	2.32	2.46	2.78
SOBRECARGA - CS	0	0	0	0	4.53	4.00	4.56	4.10
COMBINACION - CS	52.5	60.3	48.6	16.5	-0.06	-0.25	0.07	1.01

Tabla 77. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 3 del sector de Nueva Granada. Fuente: Autores.

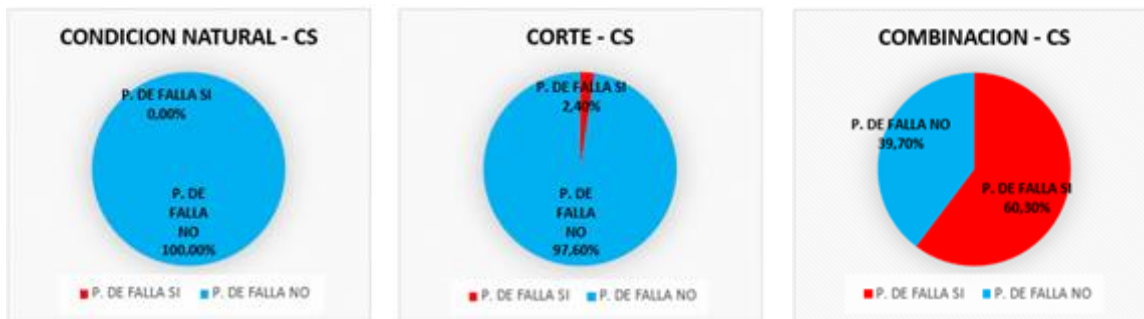


Figura 98. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 3 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo. Fuente: Autores.



PERFIL 4

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 4	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.33	1.25	1.33	1.33	1.34	1.26	1.34	1.34
INFILTRACION - CS	1.01	0.94	1.02	1.09	1.02	0.95	1.02	1.09
CORTE - CS	1.03	0.98	1.02	1.08	1.03	0.99	1.03	1.08
SOBRECARGA - CS	1.24	1.16	1.24	1.23	1.24	1.16	1.24	1.23
COMBINACION - CS	0.76	0.72	0.76	0.89	0.77	0.72	0.77	0.89

Tabla 78. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

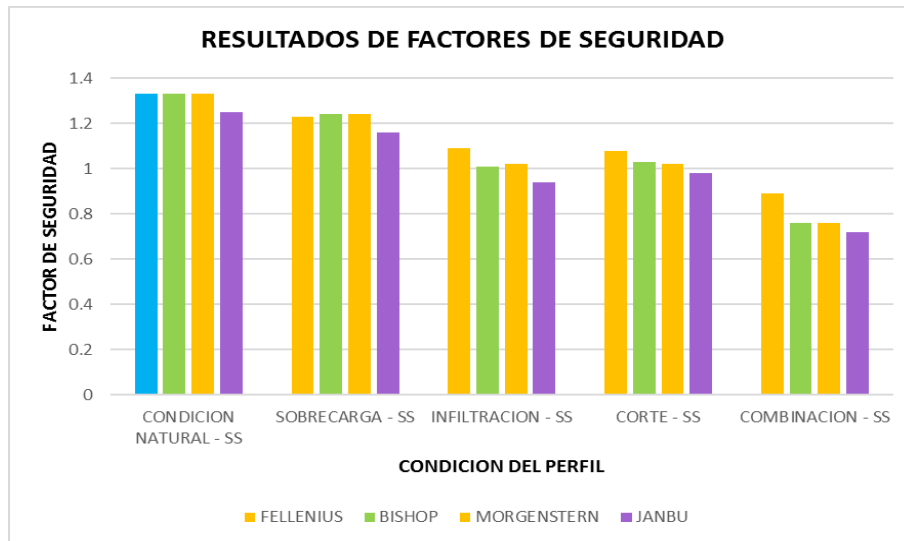


Figura 99. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 4	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0.7	2.5	0.6	0.9	2.46	1.93	2.51	2.39
INFILTRACION - CS	44.7	66.7	42.9	23.3	0.17	-0.46	0.20	0.76
CORTE - CS	41.4	55.6	41.9	26.9	0.23	-0.11	0.22	0.62



SOBRECARGA - CS	3.7	9.3	3.8	2.8	1.65	1.32	1.65	1.84
COMBINACION - CS	97.1	99.7	97.0	81.7	-1.95	-2.6	-1.93	-0.91

Tabla 79. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 4 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



Figura 100. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 4 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

PERFIL 5

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 5	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.74	1.58	1.74	1.65	1.75	1.58	1.75	1.65
INFILTRACION - CS	1.32	1.19	1.33	1.30	1.33	1.19	1.34	1.31
CORTE - CS	1.17	1.15	1.19	1.24	1.18	1.16	1.16	1.24
SOBRECARGA - CS	1.64	1.47	1.65	1.53	1.65	1.47	1.65	1.53
COMBINACION - CS	0.85	0.76	0.84	0.96	0.85	0.77	0.85	0.96

Tabla 80. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

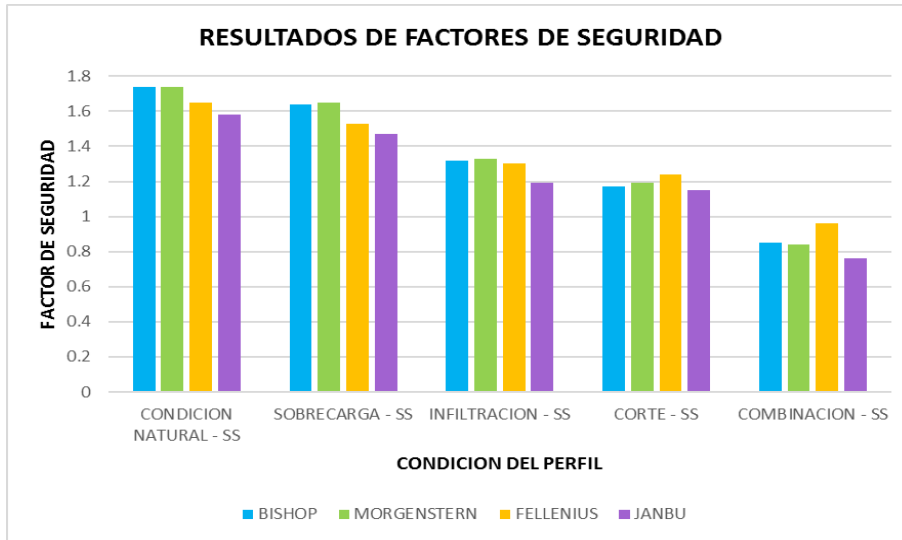


Figura 101. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 5	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0.1	0	0	3.99	3.24	4.02	3.46
INFILTRACION - CS	2.2	9.0	1.8	2.5	2.04	1.32	2.10	1.91
CORTE - CS	14.1	15.4	16.4	6.3	1.12	1.05	0.97	1.48
SOBRECARGA - CS	0	0.1	0	0.1	3.52	2.85	3.54	3.07
COMBINACION - CS	87.1	97.9	86.9	62.7	-1.15	-2.00	-1.13	-0.32

Tabla 81. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 5 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

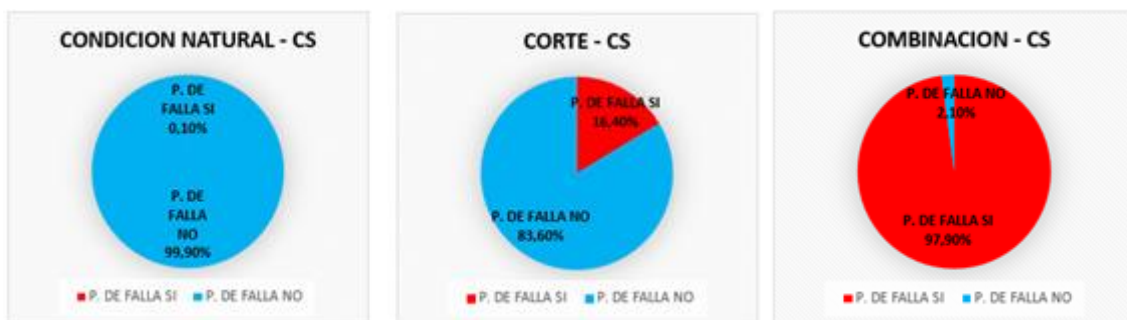


Figura 102. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 5 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.



PERFIL 6

Los resultados de los factores de seguridad de este perfil, son:

PERFIL 6	F.S				F.S (MEDIO)			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	1.99	1.86	1.99	1.99	1.99	1.87	2.00	2.00
INFILTRACION - CS	1.60	1.45	1.61	1.69	1.61	1.46	1.62	1.70
CORTE - CS	1.56	1.59	1.64	1.64	1.57	1.59	1.65	1.65
SOBRECARGA - CS	1.74	1.60	1.74	1.70	1.74	1.61	1.74	1.71
COMBINACION - CS	1.12	1.11	1.13	1.25	1.13	1.11	1.13	1.26

Tabla 82. Resultados de factores de seguridad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

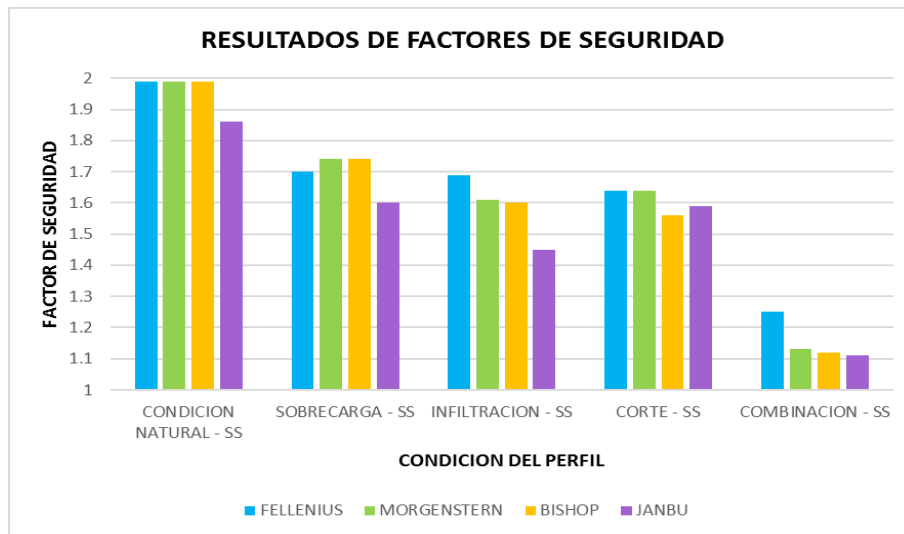


Figura 103. Esquema de resultados de factores de seguridad para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.

Los resultados correspondientes a probabilidad de falla e índice de confiabilidad son los siguientes:

PERFIL 6	P DE FALLA (%)				I.C NORMAL			
	BIS	JAN	MOR	FEL	BIS	JAN	MOR	FEL
CONDICION NATURAL - CS	0	0	0	0	4.20	3.38	4.23	4.44
INFILTRACION - CS	0.1	1.8	0.1	0	2.82	1.96	2.97	3.50
CORTE - CS	1.9	0	0	0	3.10	3.31	3.65	3.64



SOBRECARGA - CS	0	0.1	0	0	3.70	2.89	3.72	3.79
COMBINACION - CS	22.1	21.5	18.1	2.7	0.81	0.83	0.95	1.82

Tabla 83. Resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad, para cada condición, con sismo, del perfil 6 del sector de Nueva Granada. **Fuente:** Autores.



Figura 104. Esquema de resultados de probabilidades de falla más significativas del perfil 6 del sector de Nueva Granada, en condición con sismo. **Fuente:** Autores.

En el caso de Nueva Granada, para el análisis dinámico, el perfil número 4, presenta como factor antrópico más incidente, la infiltración alcanzando un valor mínimo de factor de seguridad de 1.01 por el método de Bishop simplificado, así mismo en el perfil 2, el factor antrópico de infiltración se vuelve más incidente según el método de Janbu simplificado con un valor de 2.65, mientras que según los otros métodos el más incidente es el factor antrópico de cortes. En el perfil 6, según los métodos de Janbu simplificado y Morgenstern, el factor antrópico infiltración también se vuelve el más incidente. Pese a estos casos particulares, en los perfiles 1, 3 y 5 se sigue manteniendo el factor antrópico de cortes como el más incidente. El factor antrópico de sobrecargas es, en todos los casos, el menos incidente.

En este sector, el perfil 4, se presenta como el más crítico, iniciando en su condición inicial con factores de seguridad entre 1.5 y 1.2, ese decir, en condición aparentemente estable, con un máximo de 1.33 por los métodos de Bishop simplificado, Morgenstern y Fellenius. En la condición de sobrecargas (factor menos incidente) el valor de factor de seguridad mínimo fue de 1.16 para el método de Janbu simplificado.

Los perfiles 2 y 6, son los más estables del sector, iniciando en condición natural con factores de seguridad de hasta 3.29 y 1.99, respectivamente, por el método de Morgenstern, sin



embargo, a diferencia del perfil 2 que se mantienen estable en todas las condiciones, el perfil 6, llega a presentar inestabilidad bajo la condición de combinación, llegando a un factor de seguridad mínimo de 1.11 por el método de Janbu simplificado.

Los perfiles 1, 3 y 5, tienen un comportamiento similar, donde inician en condición natural en un estado estable, con factores de seguridad mayores a 1.5, sin embargo, en su factor antrópico más incidente (corte para todos los casos) estos perfiles entran en un estado aparentemente estable y en cuanto se aplica la combinación de los factores antrópicos se presenta la inestabilidad.

En cuanto a probabilidades de falla, en el caso del perfil 2, que se mantiene estable en todas las condiciones, con índices de confiabilidad elevados, son nulas.

En los perfiles 1,3 y 6, se encuentran probabilidades de falla nulas en condición natural, mientras que en la condición de factor antrópico más incidente (corte), se aumentan, a un porcentaje de 0.9% para el perfil 1, 2.40% para el perfil 3 y 1.9% para el perfil 6. De igual manera, estos tres perfiles tienen un aumento significativo en la condición de combinación con probabilidades de falla de 57.5, 60.3 y 22. 10 % en el mismo orden.

En el caso de los perfiles 4 y 5, estos inician con probabilidad de falla baja en condición natural de 2.5% y 0.10 %, aumentan significativamente con el factor antrópico más incidente en cada caso, a 33.30% y 16. 4%, y terminan en la condición de combinación con una probabilidad de falla casi total de 99.7% y 97.9%, respectivamente.

5.4 COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS CON ESTUDIOS EXISTENTES

Con la información bibliográfica recopilada, para el desarrollo satisfactorio de esta investigación, se logró obtener modelaciones realizadas sobre los perfiles de los sectores en estudio, de tal manera, que fue posible comparar los resultados de dichas modelaciones con las modelaciones recientes realizadas por los autores de esta investigación,

Las modelaciones de los estudios anteriores se hicieron para condiciones naturales del terreno, en los barrios de San Francisco y Manzanares, por el método de Bishop simplificado.



Por este motivo, no se compararán los resultados obtenidos en nueva granada. De igual manera, los estudios existentes no contemplaron la implementación de factores antrópicos dentro de sus modelaciones, por lo que tampoco es posible comparar los resultados de las modelaciones de perfiles intervenidos.

Finalmente, los estudios existentes solo aplicaron métodos determinísticos para el análisis de estabilidad de taludes, por lo que tampoco se cuenta con información de probabilidad de falla o índice de confiabilidad con la que se pueda hacer comparaciones.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo para los sectores y datos existentes.

- **MANZANARES**

CONDICION NATURAL SIN SISMO (METODO BISHOP SIMPLIFICADO)		
PERFIL	FACTORES DE SEGURIDAD	
	RESULTADOS DE ESTUDIOS EXISTENTES	RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACION
1	1.33	1.40
2	1.76	2.04
3	1.34	2.70
4	2.28	2.24
5	1.81	2.01
6	1.74	1.85

Tabla 84. Comparación entre resultados de estudios existentes y resultados de la investigación, para los perfiles de Manzanares por el método de Bishop Simplificado.

Fuente: Autores; (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2011).

Como se puede observar en la tabla 83, los resultados de esta investigación, son muy similares a los resultados de estudios existentes ya que difieren de estos, en menos de 0.3, exceptuando el caso del perfil 3, donde la diferencia es de 1.36, cabe resaltar que se usaron softwares de análisis de estabilidad diferentes.



- **SAN FRANCISCO**

CONDICION NATURAL SIN SISMO (METODO BISHOP SIMPLIFICADO)		
PERFIL	FACTORES DE SEGURIDAD	
	RESULTADOS DE ESTUDIOS EXISTENTES	RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACION
1	1.81	2.72
2	1.87	3.33
3	2.04	3.85
4	1.98	3.38
5	1.52	2.14
6	1.44	2.51

Tabla 85. Comparación entre resultados de estudios existentes y resultados de la investigación, para los perfiles de San Francisco por el método de Bishop Simplificado.

Fuente: Autores;(Aguilar & Zuñiga, 2015).

En el caso de este sector, se nota gran diferencia en los factores de seguridad de cada perfil, posiblemente, debido a que se analizaron y consideraron parámetros de resistencia al corte diferentes en los materiales, a la hora del análisis de estabilidad de los perfiles.



6. CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación condujo a un análisis cuantitativo de la incidencia de los factores antrópicos en la desestabilización de los taludes y como detonantes de movimientos en masa.

De acuerdo a la información bibliográfica, se pudo establecer las diferentes características geológicas, geotécnicas y topográficas de los sectores considerados en esta investigación, que a su vez permitieron la realización de modelaciones de perfiles estratigráficos pertenecientes a cada sector, los cuales se modificaron teniendo en cuenta los factores antrópicos en evaluación. Con el software de modelación (Slide v.5) y las características estadísticas de cada material, se obtuvieron los factores de seguridad, la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad en cada perfil para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación.

En el caso de San Francisco, el barrio se ha desarrollado sobre terrenos plegados y localmente fracturados, litológicamente se presentan bancos macizos de caliza arrecifal de color amarillo crema, arcillolitas de color gris y Limolitas de color pardo con interacciones de areniscas calcáreas de color pardo grisáceo. En general, los materiales de los estratos que conforman los perfiles de este sector tienen cohesiones desde 4 ton/m² hasta de 9.0 ton/m² y ángulos de fricción desde 25° hasta 38°. (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena , 2012)

En el sector de Manzanares se encontró una topografía en la que predominan Las Lomas, Los coluviones y los pedimentos. El subsuelo de este sector está conformado por arcillas y Limolitas calcáreas de color amarillento con vetas grises y de óxido, con interacciones de areniscas de grano medio, además, se encontraron arcillas pardas claras y bancos de arcillolitas y Limolitas grises oscuras. Los materiales de los estratos que conforman los perfiles de estudio en este sector, tenían cohesiones desde 4.0 ton/m² hasta 15 ton/m² y ángulos de fricción desde 25° hasta 38°. (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2011)

En nueva granada se encontraron calizas arrecifales macizas y porosas de color amarillo pálido y areniscas calcáreas de color pardo amarillento, al igual que en manzanares, en el



sector predomina las geoformas de Lomas, Coluviones y Colinas. En cuanto a los parámetros geotécnicos, los materiales que conforman los perfiles de este sector, tenían cohesiones desde 6.0 ton/m² hasta 20 ton/m² y ángulos de fricción desde 15° a 30°. (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2012)

Las modelaciones realizadas en esta investigación, tuvieron en cuenta los factores antrópicos de realización de cortes, aplicación de sobrecargas e infiltración en el terreno, debido a que estos son los que se presentan con más frecuencia en los tres sectores en consideración. Luego de realizar las respectivas modelaciones, con los perfiles en condición natural, intervenidos con corte, con sobrecargas, infiltración y finalmente la combinación de los tres factores, con y sin cargas de sismo, se obtuvieron resultados de factores de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad.

Los resultados obtenidos en las modelaciones sin cargas de sismo, mostraron que los factores de seguridad se veían en la mayoría de los casos mayormente reducidos, cuando se intervenían los perfiles con el factor antrópico de cortes, por (Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena, 2012) ejemplo, en el perfil 5 San Francisco, el cual fue el más crítico de este sector, se pasó de un factor de seguridad en condición natural, mínimo por el método de Janbu simplificado, de 2.08 a un valor por el mismo método, de 1.50 en la condición de corte. Mientras que la sobrecarga, se mostró como el factor antrópico que menos afectaba, pasando a un valor de 2.05 por el método de Janbu simplificado en el perfil 5. En Manzanares, se presentó el caso particular de que en el perfil 2, el factor antrópico que causo mayor disminución de factor de seguridad, fue el de infiltración, siendo esto un resultado atípico, en este caso el factor de seguridad paso de ser 1.98 como valor mínimo en condición natural por el método de Janbu simplificado, a ser de 1.46 por este mismo método en condición de infiltración, sin embargo, se siguió manteniendo la sobrecarga como el factor antrópico de menor incidencia en la disminución del factor de seguridad, dando como resultado un valor de 1.69 por el mismo método. Por su parte en Nueva Granada, el perfil 4 fue el más crítico y se evidencio que el corte, fue el factor antrópico con mayor impacto, pasando de un factor de seguridad de 1.61 por el método de Bishop simplificado, en condición natural, a un factor de seguridad de 1.20 en condición de corte por este mismo método.



En cuanto a las modelaciones con sismo, los factores de seguridad se vieron altamente reducidos, sin embargo, se siguió manteniendo la tendencia del factor antrópico de corte como el más influyente en la desestabilización de los taludes y el de sobrecarga como el menos incidente. Para San Francisco, en el perfil 5, el más crítico del sector, se pasó de un factor de seguridad de 1.73 por el método de Bishop simplificado en condición natural, a un factor de seguridad 1.27 por el mismo método en condición de corte y a un factor de seguridad de 1.69 en condición de sobrecarga. A partir de las probabilidades de falla e índice de confiabilidad, se puede observar, por ejemplo para Manzanares, que a pesar de que hubieron resultados atípicos en los que la infiltración genero mayor desestabilización como el caso del perfil 2, en la mayoría de los perfiles fue el factor antrópico de corte el predominante, en el perfil 1, por ejemplo se presentaron probabilidades de falla mínimas de 12.1% en condición natural y paso a un 100% en condición de corte, mientras que para sobrecarga fue de 74.2%, así mismo los índices de confiabilidad estuvieron en el orden de 1.19 para condición natural, -5.24 para corte y -0.29 para sobrecarga, todo por el método de Janbu simplificado. Para nueva granada, el perfil 3, mostraría la tendencia general de los resultados, teniendo factores de seguridad en condición estable para condición natural, condición aparentemente estable con aplicación de cortes y condición inestable para la combinación de los tres factores antrópicos. En este perfil, los resultados de probabilidad de falla pasan de 0% en condición natural a 2.4% en condición de corte y 52.5% en la combinación, mientras que infiltración y sobrecarga se mantienen en 0%, por el método de Bishop simplificado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, tanto de factores de seguridad, como probabilidad de falla e índice de confiabilidad en modelaciones con sismo y sin sismo, se puede concluir que el factor antrópico más incidente en la desestabilización de los taludes, es la realización de cortes sobre el talud, los cuales generalmente, se realizan para la implementación de estructuras o para la explotación del terreno como excavación. Cabe resaltar que los informes de los sectores estudiados, realizados por la Universidad de Cartagena en convenio con la Alcaldía Mayor de Cartagena, afirman de igual manera que los cortes son el factor más incidente a la hora de provocar movimientos en masa, sin embargo, no había sido evaluado cuantitativamente. Finalmente se pudo comprobar que en el momento que se aplican los tres factores antrópicos (corte, sobrecarga e infiltración), lo cual es muy



común como proceso de urbanización, los taludes se ven seriamente afectados, llegando a alcanzar probabilidades de falla del 100%.

El presente estudio es de suma importancia, ya que permite ampliar la literatura de la estabilidad de taludes y los factores que inciden en esto, y, además, sirve como base para futuras evaluaciones o intervenciones que se lleguen a realizar en las zonas estudiadas.



7. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen las limitaciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto y las respectivas recomendaciones para las investigaciones futuras relacionadas con la incidencia del factor antrópico en la desestabilización de taludes.

7.1 LIMITACIONES

- Debido a que se contó con poco tiempo para la realización de esta investigación y además, no se contaba con los equipos requeridos o el presupuesto para obtenerlos, no se realizaron estudios de campos que suministraran información primaria completa de los parámetros geotécnicos, las características geológicas y la información topográfica de los sectores de San Francisco, Nueva Granada y Manzanares, como consecuencia, la investigación se basó en información secundaria de los estudios realizados sobre estos sectores en tiempos anteriores para la realización de las modelaciones de los perfiles.
- No se han realizado suficientes estudios sobre la incidencia del factor antrópico en la desestabilización de los taludes por lo que se encontró poca información secundaria relacionada con esta temática.
- Los informes de los cuales se obtuvo la información de los parámetros geotécnicos y características geológicas de los sectores, fueron realizados en los años 2011 y 2012, lo cual, a pesar de que no se requería obligatoriamente información actualizada, debido a que se quería saber la incidencia de los factores antrópicos sobre la desestabilización de los taludes sin importar las condiciones de los mismos, simboliza un periodo de tiempo extenso hasta el año en que se llevó a cabo esta investigación.
- No se contó con datos estadísticos debido a que los estudios realizados no contemplaron este tipo de análisis para su investigación por lo que estos datos fueron extraídos de manera manual de los informes con los que se contaban, teniendo en cuenta el número de golpes realizados en cada sondeo y la información que suministraban diferentes sondeos sobre un mismo material.



7.2 RECOMENDACIONES

- Siempre que sea posible, es recomendable la realización de estudios geotécnicos, geológicos y topográficos en campo que puedan brindar datos actuales del estado de los sectores de estudio.
- Ampliación de la bibliografía relacionada con el efecto de los procesos de origen antrópico en la ocurrencia de movimientos en masa, para lograr un mejor análisis cuantitativo de esta incidencia.
- Realizar estudios en campo destinados a la recolección de información suficiente para un análisis estadístico de estabilidad de taludes.
- Considerar otro tipo de factores antrópicos que no se tuvieron en cuenta en esta investigación y que también podrían representar gran incidencia en la desestabilización de los taludes.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Collazo, R. D. (2015). Calibración de los Parámetros Detonantes de la Metodología SES (1989) aplicada en la Generación de un Escenario de Amenaza por Deslizamientos en la Ciudad de Cartagena. Bogotá, Colombia.
- Aguilar, O. A., & Zuñiga, C. E. (2015). Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas adenañas al cerro de la Popa, casco urbano de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena . (2012). *Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización de las laderas del sector nororiental del Cerro de la Popa en el barrio San Francisco*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2009). *Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización en tres sitios críticos del Cerro de la Popa. Tomo II Loma del Diamante*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2009). *Evaluación geotécnica y diseños de obras de estabilización en tres sitios críticos del Cerro de la Popa. Tomo I Lo amador, sector Ricaurte*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería- Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2009). *Evaluación Geotécnica y diseños de obras de estabilización en tres sitios críticos del Cerro de la Popa. Tomo III Salto del Cabrón*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2011). *Diagnóstico del estado actual de la vía de acceso al conjunto residencial Mirador de Zaragocilla y formulación de alternativas de solución*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2011). *Evaluación geotécnica y diseños de las obras de estabilización de las laderas de la loma del Marión, sector Manzanares, en el barrio Nuevo Bosque, casco urbano de Cartagena*. Cartagena de Indias: Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.
- Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena. (2012). *Estudios y diseños de riesgos que determinen las obras de estabilización de la loma marión en el sector comprendido entre los barrios Nueva Granada y Nueve de Abril en la ciudad de Cartagena*. Cartagena de Indias : Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Civil.



- Alcantara, E. (15 de Enero de 2017). *ResearchGate*. doi:10.13140/RG.2.2.12064.58884
- Aristizábal, E., Gamboa, M., & Leoz, F. (2010). Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el valle de Aburrá, Colombia. *EIA*, 155-169.
- Contreras, I., Fernández, E., & Belandria, N. (2014). Determinación de la estabilidad e identificación del nivel de riesgo en taludes comprendidos en el sector Vuelta de Lola-El Peñón, Estado Mérida, Venezuela. *GEOMINAS*, 193-199.
- Escobar, L. J., & Valencia, Y. (2012). Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín - Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario. *Ciencias de la Tierra*, 51-63.
- Fonseca, J. A., & Ruiz, J. A. (2015). Evaluación del comportamiento geomecánico de los taludes del sector occidental de la Loma del Peyé, casco urbano de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Gallardo, R. J., Guerrero, T. E., & Armando, M. A. (2013). Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). *INGE CUC*, 66-74.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGraw-Hill.
- Li, X., & Rendón, L. E. (2010). Consideración de fuerzas de filtración en el análisis de estabilidad de taludes granulares. *Tecnología y ciencias del agua*, 89-107.
- Mendoza, J. A. (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Lima, Perú.
- Merchán, J. B., & Sánchez, D. R. (2013). Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos "Las Victorias". Cuenca, Ecuador.
- Notti, D., Fernandez Chacón, F., Galve, J., Vicente Pérez, J., Azañón, J., Mateos, R., . . . Gómez-López, J. (2015). Factor antrópico en las inestabilidades de ladera. La carretera A-348 (Las Alpujarras, Granada). *Cuaternario y Geomorfología*, 4.
- Pires, I., Craveiro, J., & Antunes, Ó. (2012). Artificiación y vulnerabilidad humana en dos zonas afectadas por procesos de erosión costera; Costa de Caparica y Espinho, Portugal. *RGCI, Gestao Costeira Integrada*, 277-290.
- Ramírez, H., & Hernández, Y. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad Física por taludes y laderas inestables en la Microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 111-128.



- Rodríguez, A., Tapia, A., & Cristian, A. (2014). Susceptibilidad de mvimientos en masa en el Valle de Socoroma, Precordillera Andina de Arica y Parinacota. *Diálogo Andino*, 25-39.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010). NSR-10
- Sánchez, C. E., & Urrego, L. F. (2011). Metodología para la Evaluación de Riesgo en Corredores Viales. Bogotá D.C., Colombia.
- Suarez, J. D. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suarez, J. D. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geoténico*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suarez, J. D. (2009). *Deslizamientos: Técnicas de Remediación*. Bucaramanga, Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Tierra y Tecnología. (17 de Octubre de 2016). *Ilustre Colegio Oficial de Geólogos*. Obtenido de Ilustre Colegio Oficial de Geólogos:
<http://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/>
- Tiziano perea, L. E. (2005). Componente Vertical de Registros Sismicos en México y su Efecto en la Respuesta Sismica No Lineal de Edificios. *Revista de Ingenieria Sismica*, 20-42.
- Torres, C. R. (2007). Valoración del riesgo en deslizamientos. Lima, Perú.
- Universidad Autonoma de Madrid. (2013). Obtenido de
https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/montecarlo.html
- Valiente, M. E., & Morales, H. J. (2017). Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: Institución Social Jardín Infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla. Cartagena, Colombia.
- Valiente, R. S., Sobrecases, S. M., & Díaz, A. O. (2016). Estabilidad de taludes: Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista Civilizate*, 50-54.

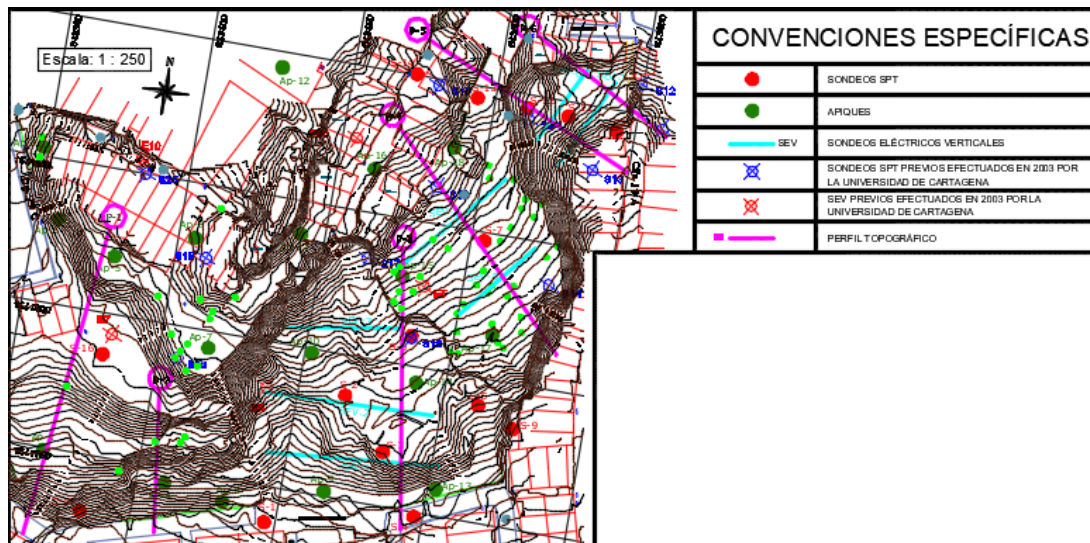


9. ANEXOS



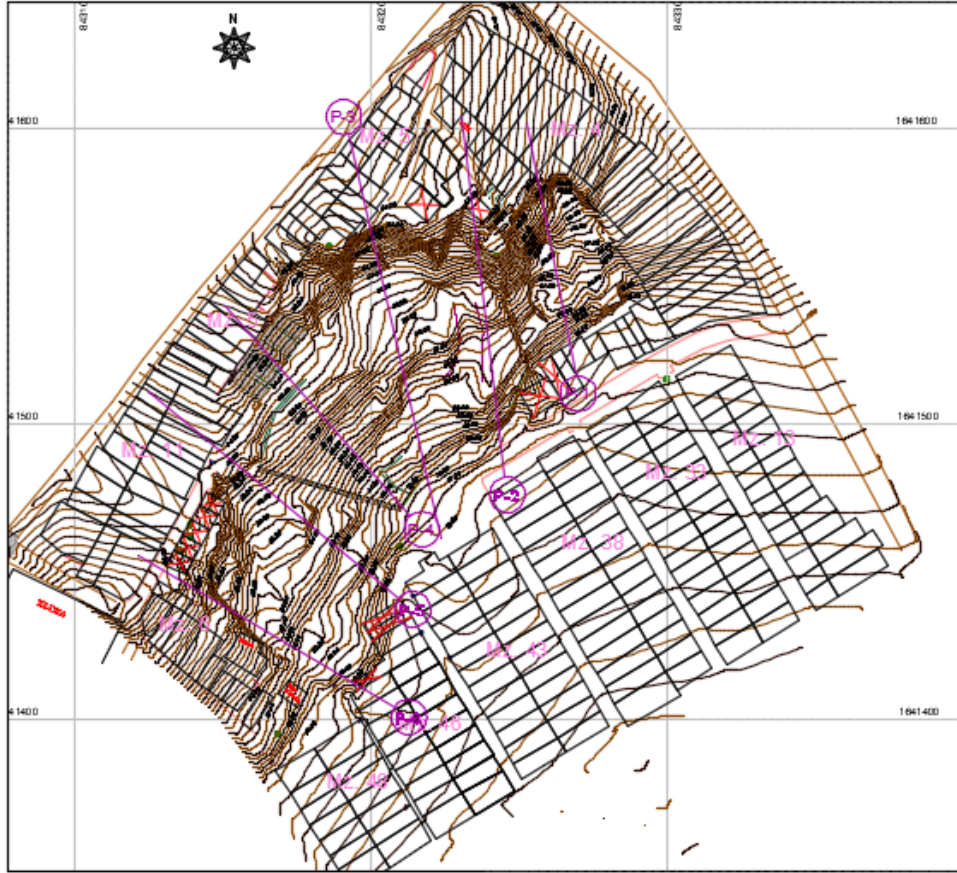
Anexo 1. Topografía de San Francisco.

. Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



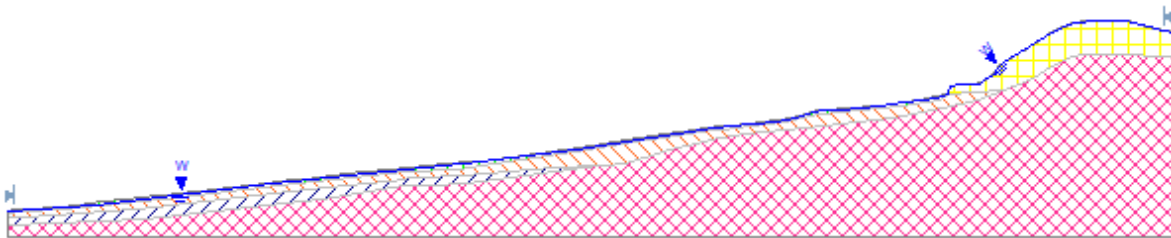
Anexo 2. Topografía de Nueva Granada.

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



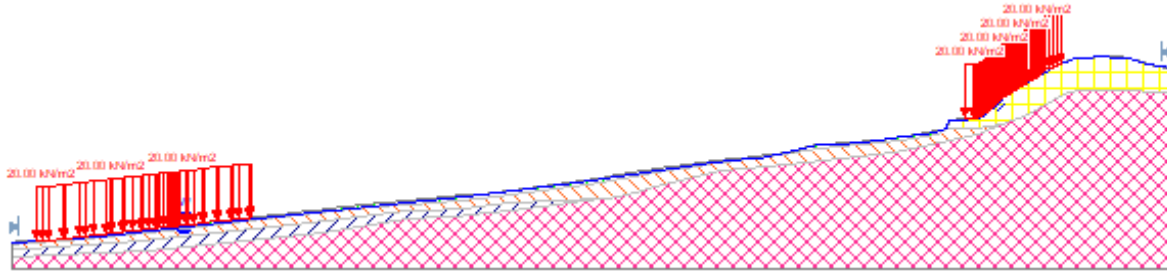
Anexo 3. Topografía de Manzanares.

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena y Universidad de Cartagena.



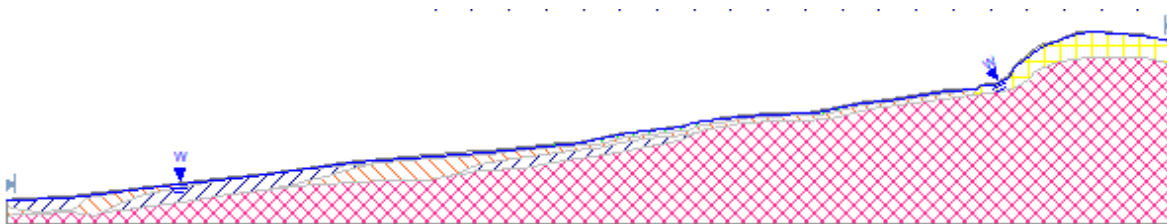
Anexo 4. Perfil Estratigráfico 1 – San Francisco (Modelación en Condición Natural – Slide).

Fuente: Autores.



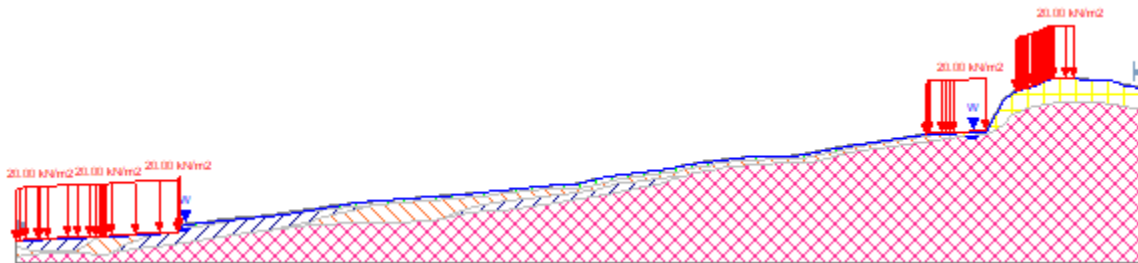
Anexo 5. Perfil Estratigráfico 1 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



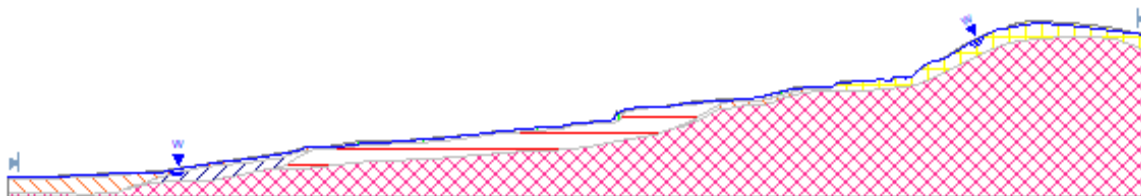
Anexo 6. Perfil Estratigráfico 2 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



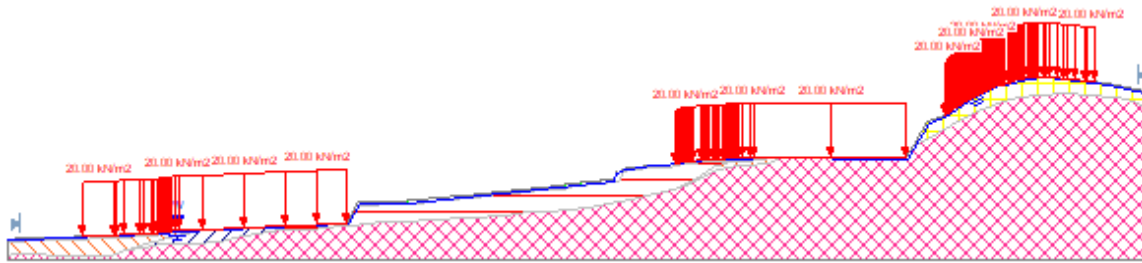
Anexo 7. Perfil Estratigráfico 2 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



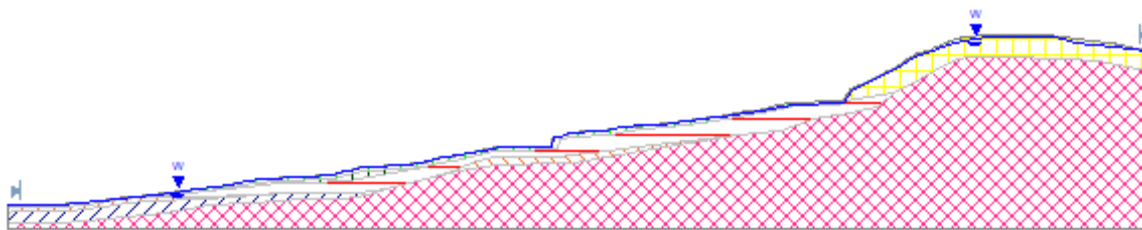
Anexo 8. Perfil Estratigráfico 3 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



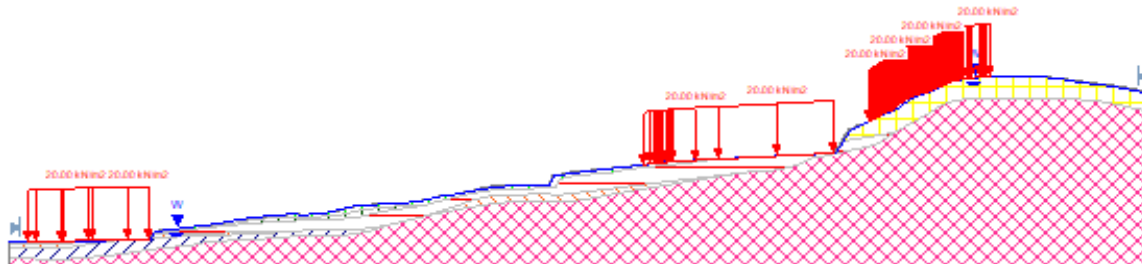
Anexo 9. Perfil Estratigráfico 3 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



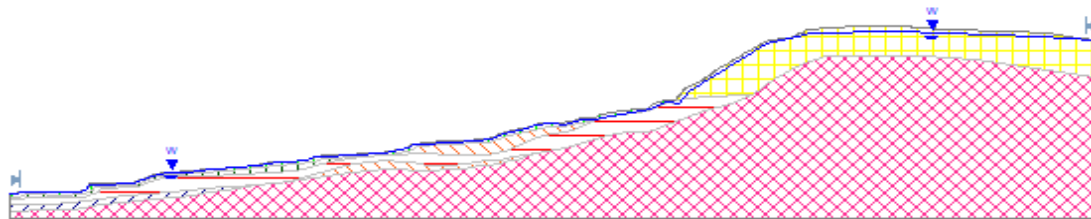
Anexo 10. Perfil Estratigráfico 4 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



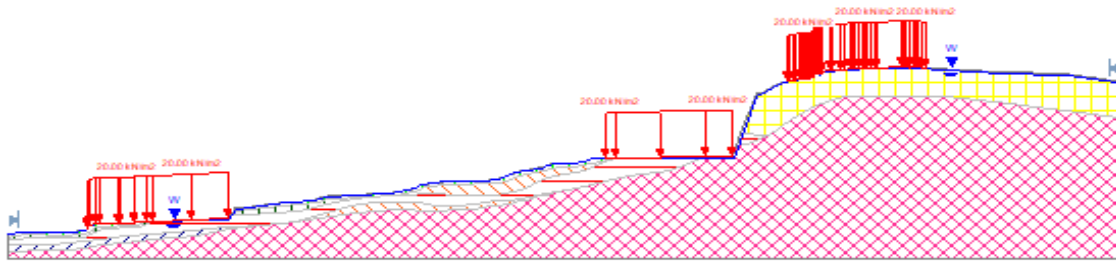
Anexo 11. Perfil Estratigráfico 4 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



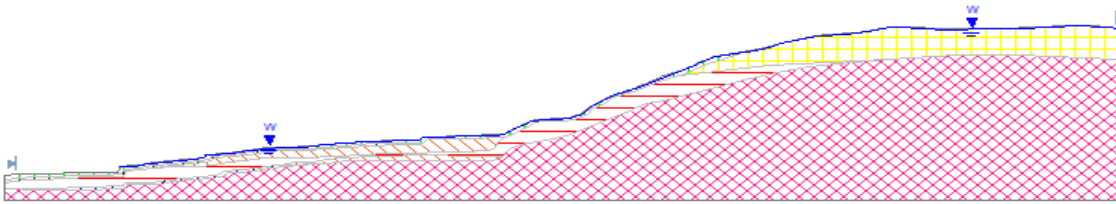
Anexo 12. Perfil Estratigráfico 5 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



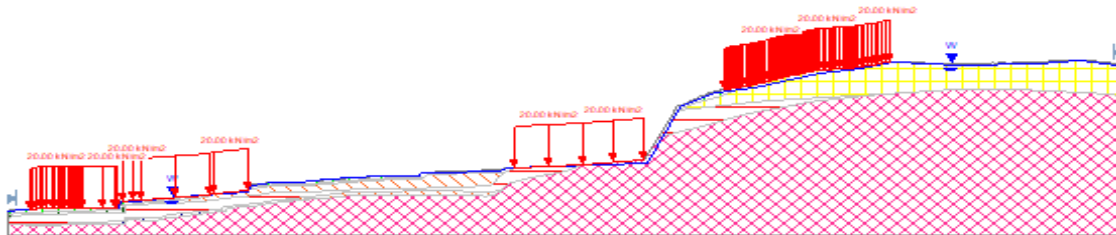
Anexo 13. Perfil Estratigráfico 5 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos – Slide).

Fuente: Autores.



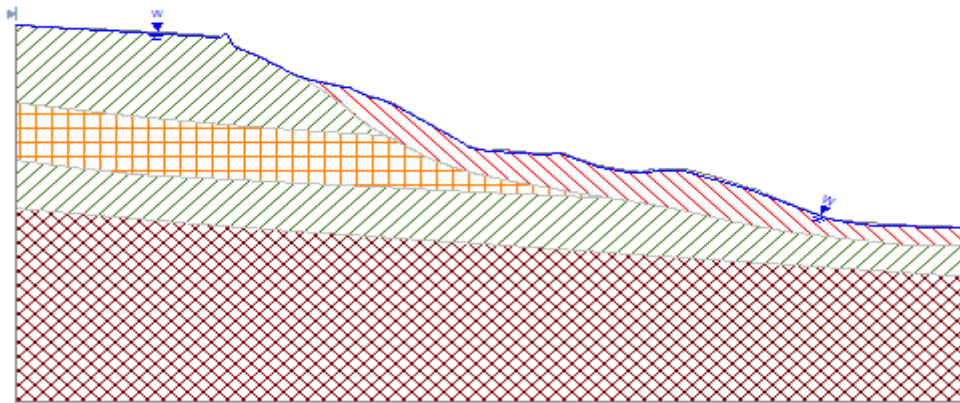
Anexo 14. Perfil Estratigráfico 6 – San Francisco (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



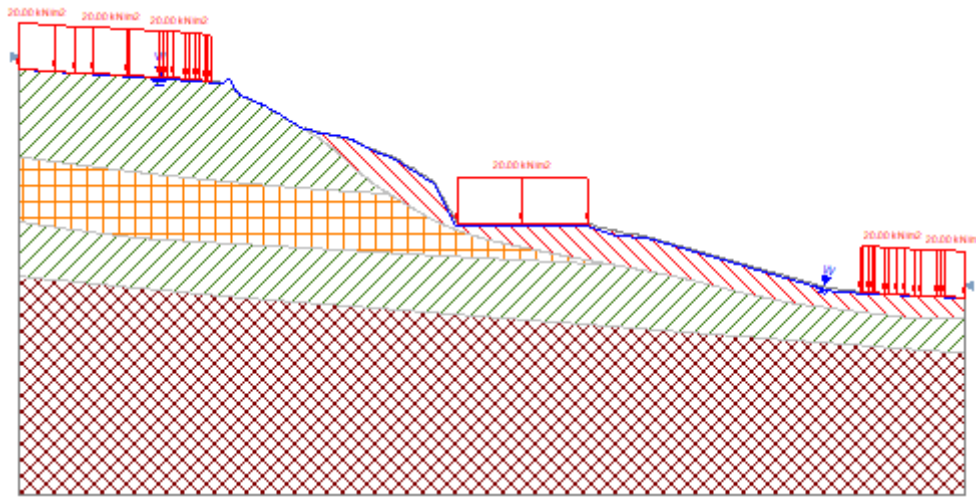
Anexo 15. Perfil Estratigráfico 6 – San Francisco (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



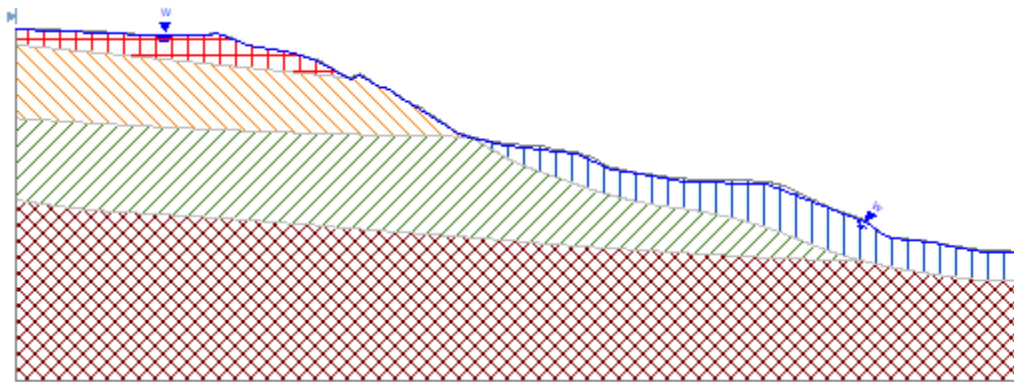
Anexo 16. Perfil Estratigráfico 1 – Manzanares (Modelado en Condición Natural – Slide).

Fuente: Autores.



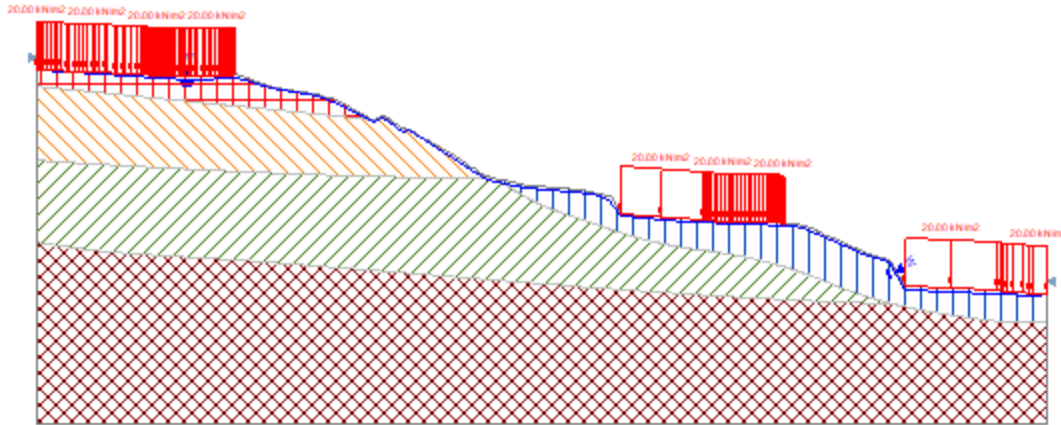
Anexo 17. Perfil Estratigráfico 1 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



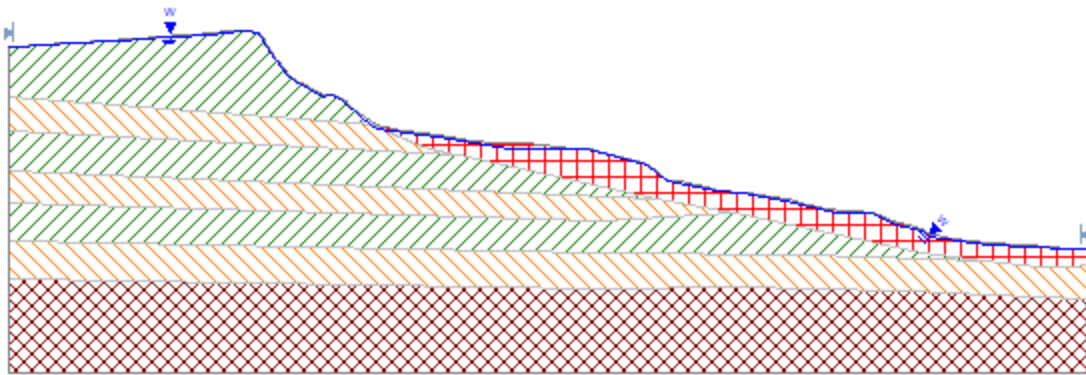
Anexo 18. Perfil Estratigráfico 2 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



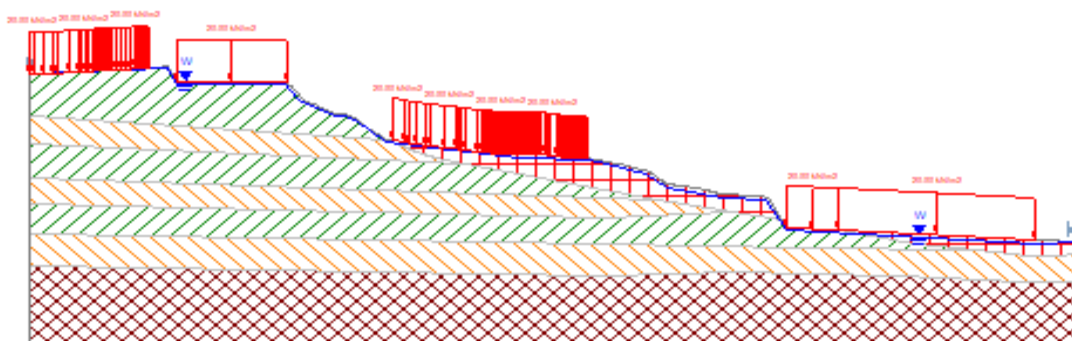
Anexo 19. Perfil Estratigráfico 2 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



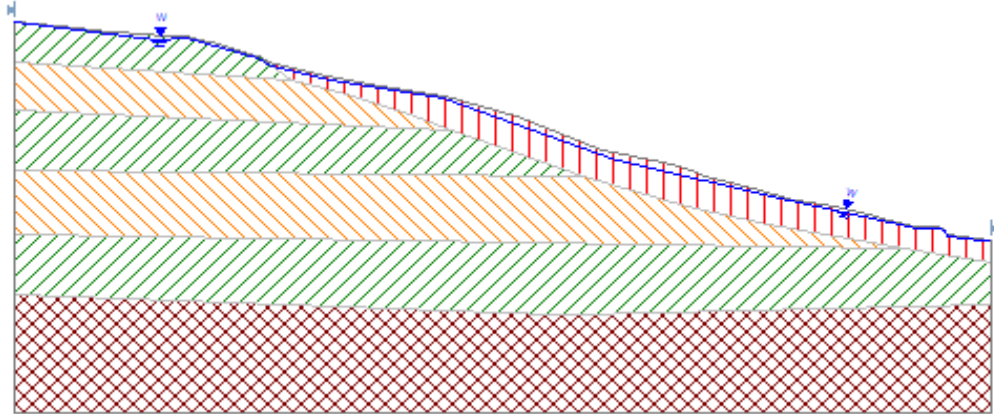
Anexo 20. Perfil Estratigráfico 3 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



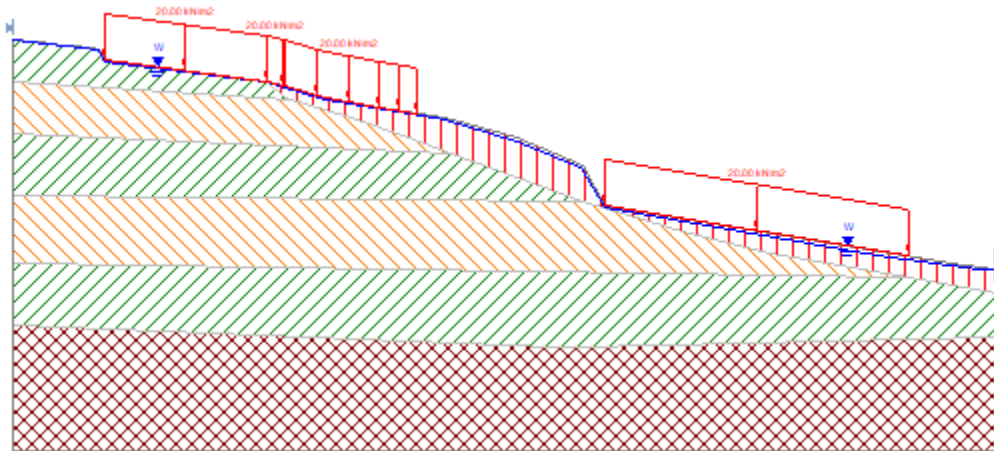
Anexo 21. Perfil Estratigráfico 3 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



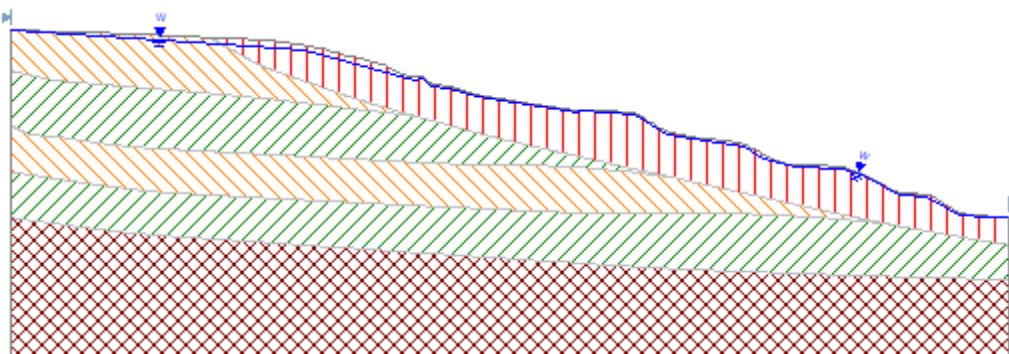
Anexo 22. Perfil Estratigráfico 4 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



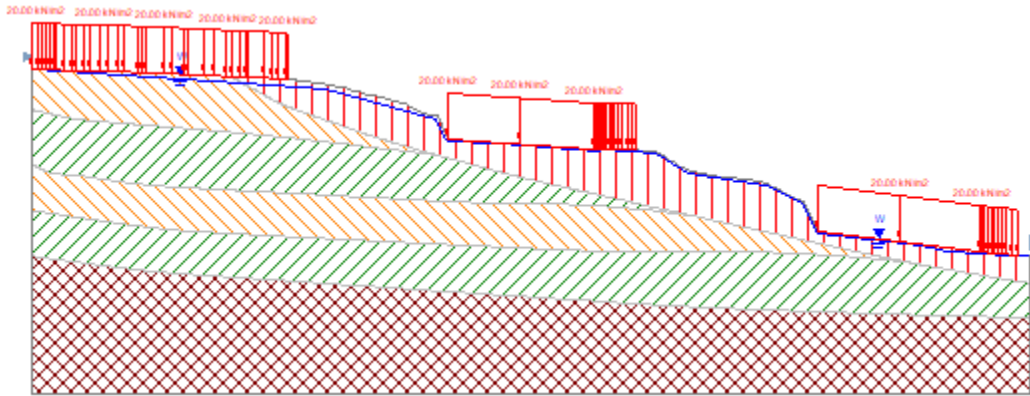
Anexo 23. Perfil Estratigráfico 4 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



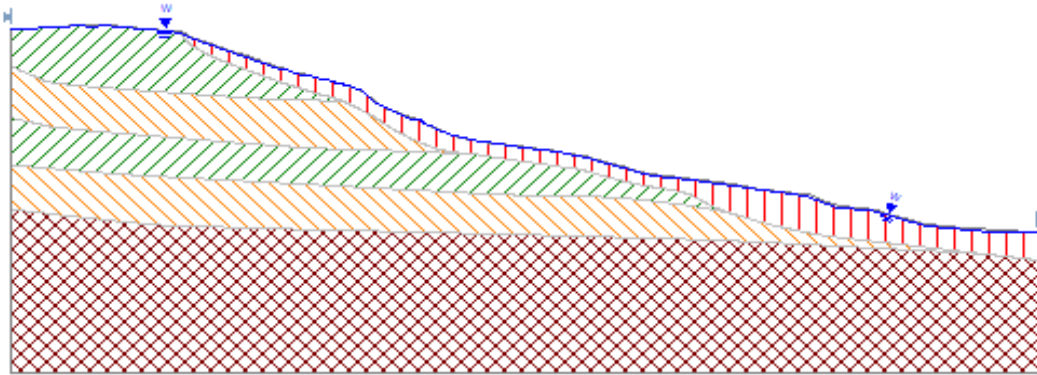
Anexo 24. Perfil Estratigráfico 5 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



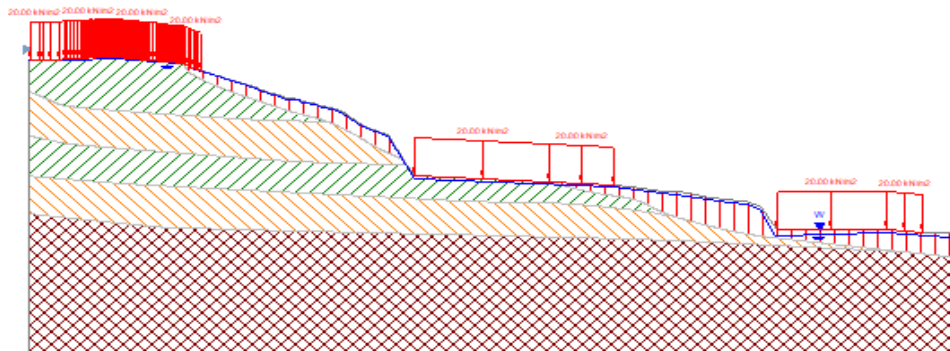
Anexo 25. Perfil Estratigráfico 5 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



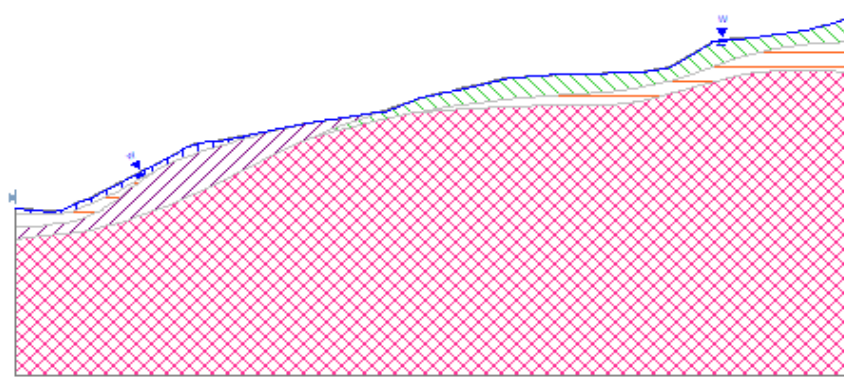
Anexo 26. Perfil Estratigráfico 6 – Manzanares (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



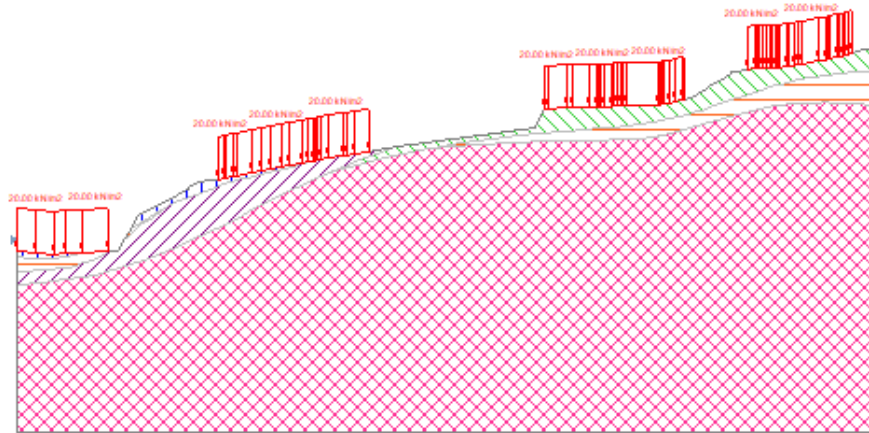
Anexo 27. Perfil Estratigráfico 6 – Manzanares (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



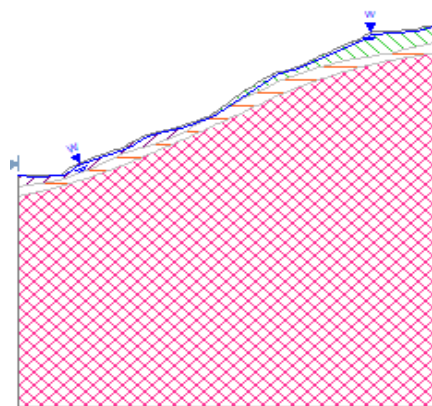
Anexo 28. Perfil Estratigráfico 1 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



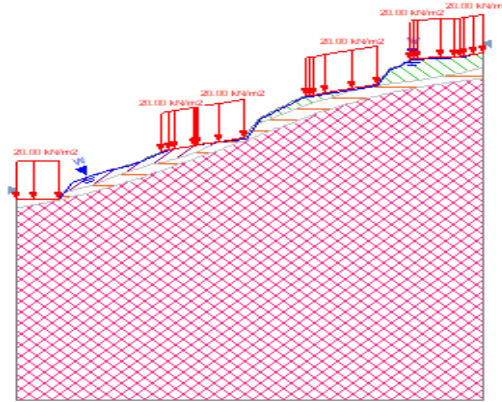
Anexo 29. Perfil Estratigráfico 1 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



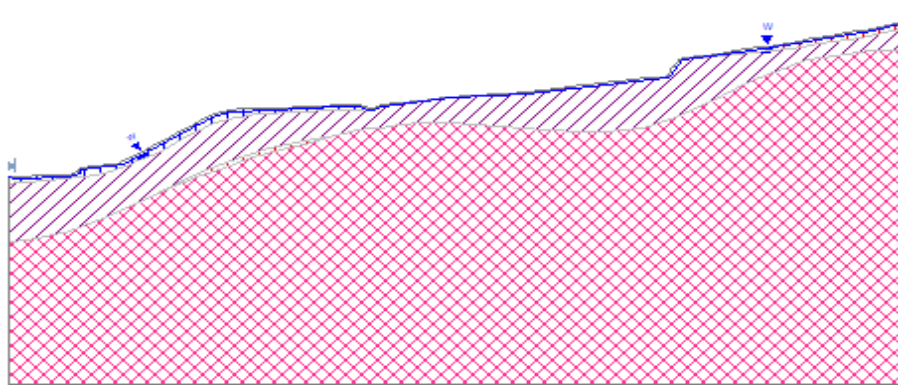
Anexo 30. Perfil Estratigráfico 2 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



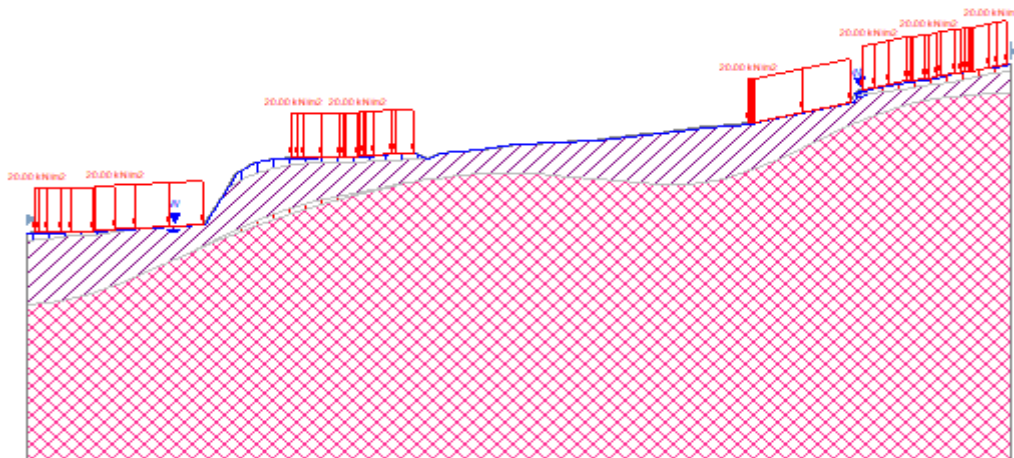
Anexo 31. Perfil Estratigráfico 2 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



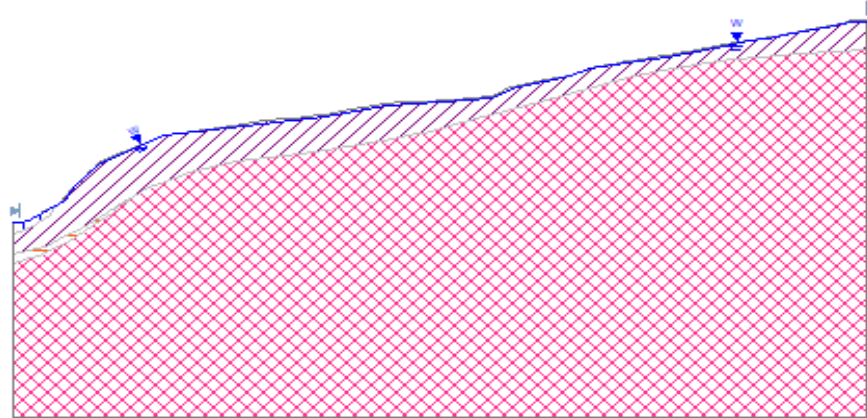
Anexo 32. Perfil Estratigráfico 3 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



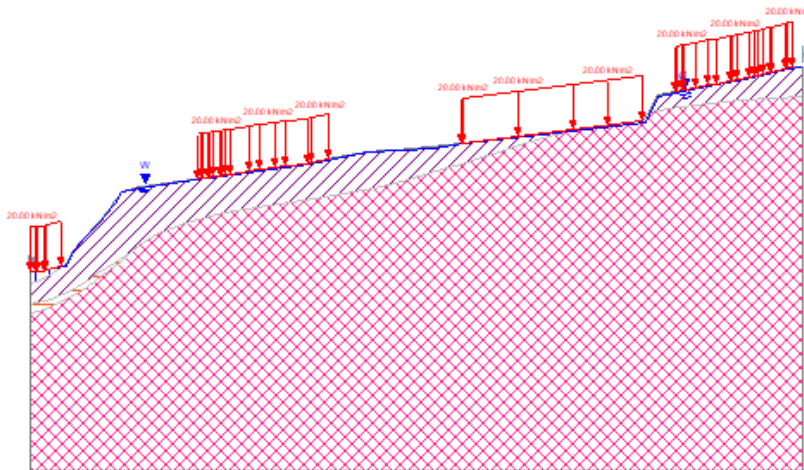
Anexo 33. Perfil Estratigráfico 3 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



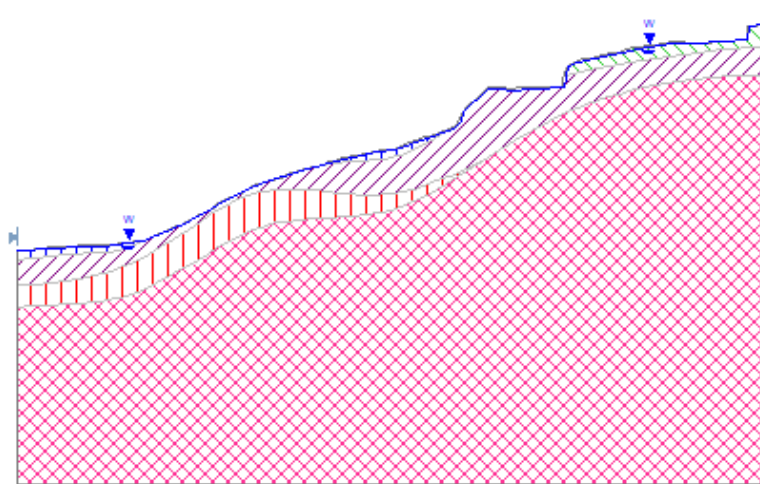
Anexo 34. Perfil Estratigráfico 4 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



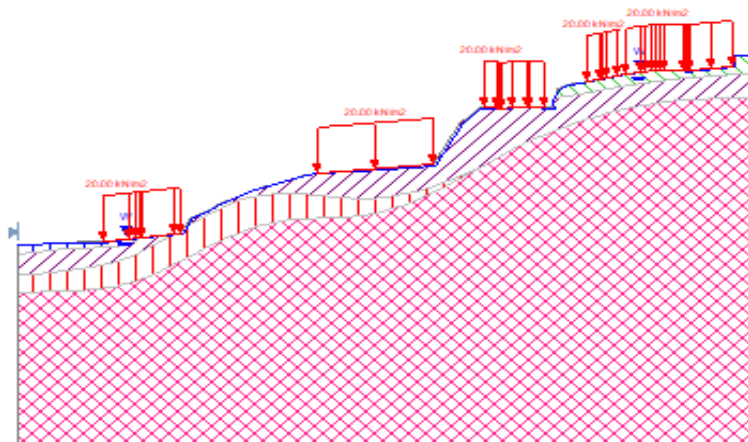
Anexo 35. Perfil Estratigráfico 4 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



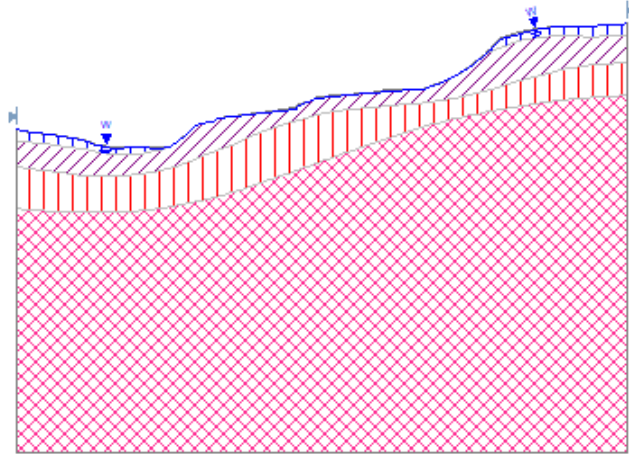
Anexo 36. Perfil Estratigráfico 5 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



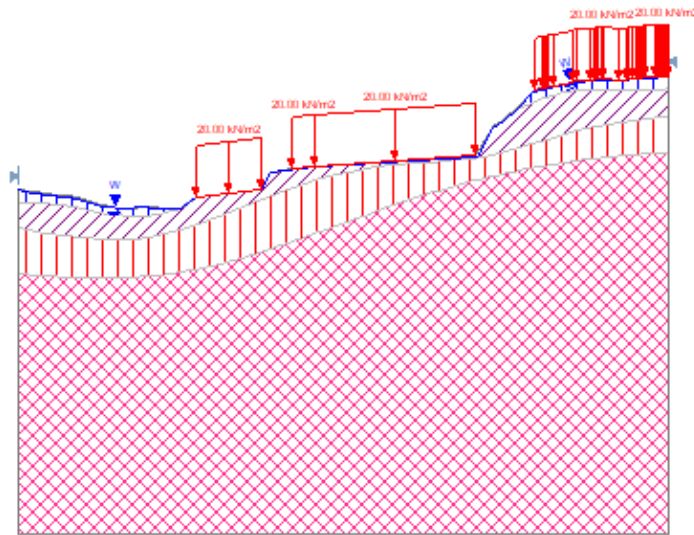
Anexo 37. Perfil Estratigráfico 5 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



Anexo 38. Perfil Estratigráfico 6 – Nueva Granada (Modelado en Condición Natural - Slide).

Fuente: Autores.



Anexo 39. Perfil Estratigráfico 6 – Nueva Granada (Modelado en Condición de Combinación de Factores Antrópicos - Slide).

Fuente: Autores.



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

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

Anexo 40. Valores de A_a y A_v para las ciudades capitales de departamento.

Fuente: NSR -10.