

**ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE FALLA DE TALUDES EN
GEOMATERIALES INTERMEDIOS (IGMs) MEDIANTE EL MÉTODO DE
ELEMENTOS DISCRETOS**

**LUZ STELLA BRAVO MOLINA
CARLOS ANDRES BUENAHORA BALLESTEROS**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
2014**

**ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE FALLA DE TALUDES EN
GEOMATERIALES INTERMEDIOS (IGMs) MEDIANTE EL MÉTODO DE
ELEMENTOS DISCRETOS**

**LUZ STELLA BRAVO MOLINA
CARLOS ANDRES BUENAHORA BALLESTEROS**

**Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis
en Geotecnia**

Director:

**MANUEL SANTIAGO OCAMPO TERREROS
Ingeniero Civil, M.Sc., Ph.D.**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
2014**

APROBACIÓN

El Trabajo de grado con título “Análisis de los mecanismos de falla de taludes en geomateriales intermedios (IGMs) mediante el método de elementos discretos”, desarrollado por los estudiantes Luz Stella Bravo Molina y Carlos Andrés Buenahora Ballesteros, en cumplimiento de uno de los requisitos depuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar el Título de Maestría en ingeniería Civil, fue aprobado por:

Manuel S. Ocampo Terreros
Director

Carlos E. Rodriguez Pineda
Jurado 1

Nicolas Estrada
Jurado 2

Análisis de los mecanismos de falla de taludes en geomateriales intermedios (IGMs) mediante el método de elementos discretos

La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.

DEDICATORIA

A Carlos, quien con su sabiduría, amor e inalcanzable paciencia me animó cada día. Gracias por tu comprensión, amor y consejos, porque con ellos soy una mejor persona cada día.

A mi hija Gabriela, el motor de mi vida, quien con su sonrisa me dio fuerzas para seguir adelante Gracias por existir, por enseñarme el valor de la vida y la gracia de ser Madre.

Luz Stella Bravo Molina

Con todo mi amor para Stella, mis hijas Ana Maria y Gabriela que me apoyaron e inspiraron para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Carlos Andrés Buenahora Ballesteros

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestro creador y dueño de nuestras vidas que nos permite que todas nuestras metas se conviertan en éxitos.

A nuestro maestro, el ingeniero Manuel Ocampo por creer siempre en nosotros, por su constante espíritu servicial y desinteresada colaboración, por su generosidad al brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica, por sus apreciados y relevantes aportes durante el desarrollo de esta investigación.

A nuestras familias y amigos por el apoyo que nos dieron a lo largo de la carrera.

A nuestro tutor académico Orlando Rincón por sus valiosos aportes.

Al ingeniero Wilmar Fernández, por su valioso apoyo en la elaboración del documento.

A la Universidad Pontificia Javeriana sede Bogotá y al ingeniero Fredy Reyes por la oportunidad de lograr llevar a cabo este gran sueño de convertirnos en Magister.

RESUMEN

Los mecanismos de falla en taludes en Geomateriales Intermedios (IGMs), los cuales hacen referencia a materiales de transición entre suelo y roca, no son bien comprendidos desde el punto de vista del continuo, pues no representa adecuadamente el desarrollo y la propagación de fisuras producto de su degradación. El presente estudio busca representar y analizar los mecanismos de falla en taludes en IGMs mediante el método de Elementos Discretos (DEM). Utilizando como referencia taludes de la concesión vial Briceño Tunja – Sogamoso. Las simulaciones se realizaron mediante la herramienta computacional PFC-2D[®]; la geometría del talud se mantuvo constante en altura y pendiente y se varió la orientación, persistencia y la separación de las fisuras. Como resultado de la investigación se obtuvo una rutina de programación, la cual permitió representar y analizar los mecanismos de falla en IGMs y dónde se puede observar la evolución de la falla. Se observó que la orientación de las fisuras condiciona el mecanismo de falla del talud; los resultados de los modelos se acercan más a los modos de falla observados en campo, en los taludes revisados. El uso del DEM en este estudio muestra su potencialidad para ser usado en los análisis de degradación de cortes en este tipo de materiales, sin embargo, los resultados dependerán de la buena calibración de los parámetros del modelo.

Palabras clave: IGMs, DEM, PFC-2D[®], fisuras, orientación, separación, persistencia, mecanismo de falla, taludes.

ABSTRACT

Failure mechanisms in slopes of Intermediate Geomaterials (IGMs), which are transitional materials between soil and rock are not yet well understood from a continuum viewpoint, as this approach does not adequately represent the development and propagation of fissures product of material degradation. This study aims to represent and analyze failure mechanisms in IGM slopes using the Discrete Element Method (DEM). Using as reference slopes in the Briceño Tunja - Sogamoso highway. Simulations were performed using PFC-2D[®], the geometry of the slope remained constant in height and slope, and the orientation, frequency and persistency of fractures were varied. As a result of this research program a programming routine was created, which allowed representation and analysis of IGM failure mechanism, as well as failure propagation analysis. It was noted that the orientation of the cracks determines the mechanism of slope failure; the model results are closer to the failure modes observed in the field, on the slopes revised. The use of the DEM in this study shows the potential to be used in the analysis of degradation of cuts in these materials, however, the results depend on the proper calibration of the model parameters.

Keywords: IGM, DEM, PFC-2D, fissures, orientation, frequency, persistence, failure mechanism, slopes.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO DE REFERENCIA	5
2.1	Marco conceptual.....	5
2.2	Marco Teórico.....	13
2.2.1	Método de elementos discretos	13
2.2.2	Particle Flow Code – PFC-2D®	17
2.3	Marco de antecedentes.....	25
2.3.1	Calibración de parámetros mediante ensayos de laboratorio	26
2.3.2	Simulaciones de estabilidad de taludes en DEM	31
2.3.3	Análisis del efecto de discontinuidades o fisuras en la estabilidad de taludes en DEM	33
3	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1	Trabajo de campo	39
3.1.1	Descripción del Sitio N° 1.....	39
3.1.2	Descripción del Sitio N° 2.....	44
3.1.3	Descripción del Sitio N° 3.....	46
3.1.4	Definición de los parámetros de separación, orientación y persistencia de las fisuras.....	50
3.2	Formulación de la simulación.....	54
3.2.1	Modelo conceptual del sistema físico.....	55
3.2.2	Estado inicial de esfuerzos en la simulación.....	57
3.2.3	Definición tamaño de partículas:.....	62
3.2.4	Arreglo de partículas	65
3.2.5	Parámetros de los modelos de contacto	69
3.2.6	Condiciones de contorno	70
3.2.7	Criterio de degradación del material	71

3.2.8	Definición de fisuras.....	72
3.2.9	Criterio de falla.....	74
3.2.10	Determinación de la evolución de la falla.....	82
3.2.11	Escenarios de simulación.....	82
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS	85
4.1	Resultados.....	85
4.1.1	Orientación favorable a la estabilidad del talud.....	85
4.1.2	Orientación medianamente favorable a la estabilidad.....	91
4.1.3	Orientación desfavorable a la estabilidad	96
4.1.4	Combinaciones especiales	102
4.2	Análisis de resultados	108
4.2.1	Análisis de la orientación	108
4.2.2	Análisis de la separación	110
4.2.3	Análisis de la persistencia.....	112
4.2.4	Análisis de las combinaciones especiales	115
4.2.5	Otros resultados a tener en cuenta.....	116
4.2.6	Correlaciones entre las simulaciones y campo	117
5	DISCUSIÓN	121
6	CONCLUSIONES	122
7	RECOMENDACIONES	124
8	BIBLIOGRAFÍA	126
	ANEXO A – FORMATOS PARA LEVANTAMIENTO DE FISURAS EN LOS TALUDES DE ESTUDIO.....	130
	ANEXO B – RESULTADOS DE LA SIMULACIONES	131

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A – FORMATOS PARA LEVANTAMIENTO DE FISURAS EN LOS TALUDES DE ESTUDIO	130
ANEXO B – RESULTADOS DE LA SIMULACIONES.....	131

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema para la determinación de la orientación de las discontinuidades(Cabrera, M. 2010).	9
Figura 2. Familias de discontinuidades (Montero 2002).....	11
Figura 3. Esquemas y bloques que permiten visualizar la persistencia relativa de varias familias de diaclasas (Montero, 2002).	12
Figura 4. Etapas básicas del ciclo de cálculo del método de elementos discretos (Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M. 2011).....	15
Figura 5. Modelos constitutivos del contacto (Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M. 2011).....	19
Figura 6. Fuerzas en el contacto consideradas en el modelo de rigideces (Ocampo, M. S. 2009).	21
Figura 7. Modelo de enlaces (a) por contacto, (b) paralelo (Ocampo, M. S. 2009).	24
Figura 8. Comportamiento constitutivo para un contacto que ocurre en un punto. A) Componente normal de la fuerza en el contacto y b) Componente de corte de la fuerza en el contacto (Itasca Consulting Group Inc. 2002).....	25
Figura 9. Resultados de los ensayo biaxiales experimentales y numéricos. a) Curva esfuerzo – deformación y b) Distribución de fisuras en ensayo biaxial (Ghazvinian et al. 2012).	27
Figura 10. Resultados numéricos y experimentales en el ensayo brasilero. a) Curva de resistencia a la tensión versus desplazamiento axial DEM, b) Patron de falla en PFC-2D y c) Patrón de falla en el ensayo experimental (Ghazvinian et al. 2012).....	28
Figura 11. Propagación de una discontinuidad abierta en simulación del ensayo biaxial en PFC-2D (Mejía Camones et al. 2013).	28

Figura 12. Propagación de una discontinuidad abierta en simulación del ensayo triaxial en PFC-3D (Mejía Camones et al. 2013).....	29
Figura 13. Resultados numéricos y experimentales en shales. a) Patrón de falla en ensayo brasilero, b) Patrón de falla en simulaciones mediante DEM (Lisjak, Grasselli, y Vietor 2014).	30
Figura 14. Ensayo oedométrico en una muestra cementada. Resultados experimentales y DEM (Calvetti, Nova, y Castellanza 2007)	31
Figura 15. Factor de seguridad a lo largo de la superficie movilizada obtenido por el método de Bishop y el DEM (Chang 1992)	32
Figura 16. Campo de desplazamientos DEM (Do Nascimento et al. 2007)	32
Figura 17. Desplazamiento de las partículas en DEMOOP (Do Nascimento et al. 2007)	32
Figura 18. Análisis en DEM para diferentes configuraciones del buzamiento de la discontinuidad en el talud (Radhakanta y Debashish 2010).....	34
Figura 19. a)Distribución de diaclasas en el PFC de macizos de roca con una persistencia de las diaclasas de 70% y b) Configuración geométrica del talud recién excavado (Wang, Tannant, y Lilly 2003).....	34
Figura 20. Falla de talud con 90% de persistencia de las diaclasas (Wang, Tannant, y Lilly 2003).	35
Figura 21. Falla de talud con 70% de persistencia de las diaclasas (Wang, Tannant, y Lilly 2003).	35
Figura 22. Mecanismo de falla Step-Path (Mejía Camones et al. 2013).	36
Figura 23. Simulaciones en PFC-2D a) Ruptura planar de un talud y b) Mecanismo de ruptura tipo “Step-Path”, propagación y coalescencia de fracturas en la generación de la superficie de ruptura (Mejía Camones et al. 2013).	37
Figura 24. Sitio N° 1. a) Vista general del talud y b) Detalle mecanismo de falla por volteo en IGMs.	40
Figura 25. Sitio N° 1. a) Detalle de la degradación diferencial en el pie del talud en un estrato más débil y b) Taludes casi verticales donde se observan la estratigrafía.	40

Figura 26. Materiales del Sitio N° 1. a) Se observa el carácter granular de los materiales y b) Betas de oxidación en el material, indicando presencia de agua..	41
Figura 27. a) Vista general del área de afectación de la fisuración en la corona del talud y b) Fisura abierta cerca a la cara del talud, formando un bloque potencial de caída.	41
Figura 28. a) Abertura de las discontinuidades y b) Toma de buzamiento de los planos de las fisuras.....	43
Figura 29. a) Medición de la geometría del talud y b) Vista a nivel macro de las fisuras que se generan en el material.	43
Figura 30. a) Medición de la separación de las fisuras en la corona de los taludes, las cuales corresponden a los bloques fallados y que están próximos a desprenderse y b) Medición de la separación de las fisuras en la superficie del talud.	44
Figura 31. Sitio N° 2. a) Vista general del deslizamiento y b) Vista del deslizamiento huésped localizado en la parte sur.....	45
Figura 32. Vista general de los materiales aflorantes del sitio N° 2. a) Detalle de la fisuración sobre los materiales y b) Alto grado de humedad y degradación de los materiales.....	45
Figura 33. a) Vista general de la geometría del sitio N°3 y b) Contacto entre el escarpe principal y el escarpe del flanco derecho del deslizamiento.	47
Figura 34. a) Estructuras formadas por agentes que favorecen el grado de desarrollo de la oxidación y b) Presencia de fisuras llenas de agua, facilitando el desprendimiento del material.	48
Figura 35. Detalle de la superficie de ruptura del deslizamiento rotacional del sitio N°3	48
Figura 36. a) Presencia de agua en las fisuras del talud y b) Medición de la inclinación y buzamiento del talud.....	50
Figura 37. a y b). Medición de la separación y profundidad de las fisuras.	50
Figura 38. Esquema del talud virtual	56
Figura 39.Efectos de borde. a) Idealización del talud con altura de 5.0 metros y b) Simulación luego de 5.000 iteraciones.....	57

Figura 40. Tensiones geostáticas (Serrano 2004).....	58
Figura 41. Idealización del problema.....	59
Figura 42. Tendencia de m_{uf} y m_{cf} en función del número de ciclos.....	61
Figura 43. Estado final del arreglo luego de alcanzar el estado de esfuerzos inicial	61
Figura 44. Esfuerzo vertical medido y exacto.....	62
Figura 45. Estados de una simulación: a. Estado inicial de las partículas; b y c. Movimiento de la partícula de la derecha, se genera fuerza de contacto normal de compresión que van decreciendo con la distancia; d. La fuerza de contacto normal pasa a tensión, luego de que se acaba el traslape, hasta que el enlace se rompe.	64
Figura 46. Variación del radio de las partículas.....	64
Figura 47. Modelos de talud con diferentes radios.....	65
Figura 48. Simulaciones con arreglo ordenado. a y b) Arreglo 4x4 y c y d) Arreglo 20x20	66
Figura 49. Simulación de un talud virtual con arreglo ordenado.....	67
Figura 50. Arreglo 20x20. a. Fuerzas de contacto al inicio de la simulación y b. Fuerzas de contacto luego de 150 ciclos	68
Figura 51. Simulaciones en geometrías de talud virtual. a. Modelo fallado y b. detalle de fuerzas de contacto dentro del arreglo hexagonal	68
Figura 52. Vista de las fuerzas de contacto en el arreglo combinado	69
Figura 53. Condiciones de contorno en el talud virtual.....	71
Figura 54. Criterio para generar una fisura. a) Línea que representa la fisura y la distancia “d” que determina la región donde los contactos son eliminados. b) Forma final de la fisura generada. (Mejía Camones et al. 2013).....	73
Figura 55. Idealización de una fisura.....	73
Figura 56. Fisuras en un talud. a) Idealización de fisuras en el talud virtual. b) Efecto de abertura de la fisura.	74
Figura 57. Tendencia de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión no confinada (Ramírez y Ramírez 2013).	75
Figura 58. Partículas de control en un talud virtual	76

Figura 59. Esquema de determinación del vector resultante de desplazamientos de dos partículas	76
Figura 60. Esquema de determinación distancia inicial y final de dos partículas ..	77
Figura 61. Esquema de determinación de los desplazamientos relativos en x y en y de dos partículas	78
Figura 62. Esquema del área de medición de los desplazamientos relativos	79
Figura 63. Diagrama de flujo de la rutina de simulación para el PFC-2D [®]	81
Figura 64. Combinación 1 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla, c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	86
Figura 65. Combinación 4 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	87
Figura 66. Combinación 7 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	87
Figura 67. Combinación 2 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	88
Figura 68. Combinación 3 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	88
Figura 69. Combinación 5 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	89
Figura 70. Combinación 6 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	89
Figura 71. Combinación 8 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	90
Figura 72. Combinación 9 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	90
Figura 73. Combinación 10 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	92
Figura 74. Combinación 13 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	92
Figura 75. Combinación 14 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva mcf y muf y d) Evolución de la falla.	93

Figura 76. Combinación 16 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	93
Figura 77. Combinación 17 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	94
Figura 78. Combinación 11 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	94
Figura 79. Combinación 12 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	95
Figura 80. Combinación 15 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	95
Figura 81. Combinación 18 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	96
Figura 82. Combinación 19 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	97
Figura 83. Combinación 20 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	98
Figura 84. Combinación 21 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	98
Figura 85. Combinación 22 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	99
Figura 86. Combinación 23 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	99
Figura 87. Combinación 24 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	100
Figura 88. Combinación 25 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	100
Figura 89. Combinación 26 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	101
Figura 90. Combinación 27 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	101

Figura 91. Combinación 28 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	105
Figura 92. Combinación 29 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	105
Figura 93. Combinación 30 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	106
Figura 94. Combinación 31 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	106
Figura 95. Combinación 32 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	107
Figura 96. Combinación 33 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva <i>mcf</i> y <i>muf</i> y d) Evolución de la falla.	107
Figura 97. a) Bloques definidos por las fisuras y la persistencia (combinación 14), b) Bloques definidos por las fisuras y la persistencia (combinación 11), c) Inicio de falla (combinación 14) y d) c) Inicio de falla (combinación 11).	115
Figura 98. (a). Esquema combinación 16, b). Esquema combinación 16 sin fisura en el pie del talud, c) Estado de falla alcanzado 3.57% y d) Estado de falla alcanzado 3.24%.	116
Figura 99. Mecanismo de falla “Caidas” en el KM 55 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 1 en PFC-2D®.	117
Figura 100. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 76+00 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 19 en PFC-2D®.	117
Figura 101. Mecanismo de falla “Vuelcos” en el KM 91+700 margen izquierda Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 13 en PFC-2D®. .	118
Figura 102. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional con componente rotacional” en el KM 102+700 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 30 en PFC-2D®.	118
Figura 103. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 103+200 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 31 en PFC-2D®.	118

Figura 104. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 101+300
margen izquierda Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 28
en PFC-2D® 119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Definición de IGMs por autor.....	5
Tabla 2. Espaciamiento de discontinuidades (Cabrera, M. 2010)	10
Tabla 3. Abertura de las discontinuidades según (ISRM 1981).....	10
Tabla 4. Persistencia de las discontinuidades (ISRM 1981)	11
Tabla 5. Coordenadas del sitio N° 1	40
Tabla 6. Coordenadas del sitio N° 2.....	44
Tabla 7. Coordenadas sitio N° 3.....	47
Tabla 8. Descripción de los tipos de separación	51
Tabla 9. Descripción de los tipos de persistencia.....	52
Tabla 10. Descripción de los tipos de orientaciones	53
Tabla 11. Pasos recomendados para un análisis numérico en geomecánica.....	55
Tabla 12. Dimensiones del talud virtual.....	57
Tabla 13. Parámetros de la simulación	63
Tabla 14. Propiedades microscópicas utilizadas en el arreglo de los taludes virtuales.....	69
Tabla 15. Rangos de deformación de los IGMs de CBTS.....	75
Tabla 16. Parámetros de las fisuras para las 27 combinaciones	83
Tabla 17. Parámetros de las fisuras para las 6 combinaciones especiales	102
Tabla 18. Descripción de las combinaciones especiales	103
Tabla 19. Análisis en función de la orientación favorable.....	109
Tabla 20. Análisis en función de la orientación medianamente favorable	109
Tabla 21. Análisis en función de la orientación desfavorable.....	109
Tabla 22. Análisis en función de la separación de 0.30 metros.....	110
Tabla 23. Análisis en función de la separación de 1.0 metro	111
Tabla 24. Análisis en función de la separación de 2.0 metros	112
Tabla 25. Análisis en función de la persistencia alta	113

Tabla 26. Análisis en función de la persistencia media	113
Tabla 27. Análisis en función de la persistencia baja	113
Tabla 28. Resumen de los mecanismos de falla reproducidos mediante PFC-2D® según Cruden y Varnes (1996).	119

1 INTRODUCCIÓN

El análisis de la estabilidad en taludes en Geomateriales Intermedios es analizado actualmente mediante métodos tradicionales como equilibrio límite y elementos finitos, los cuales definen el comportamiento del material sea roca o suelo desde el punto de vista del continuo. Cundall (2001) menciona que hay dos inconvenientes con los métodos continuos. En primer lugar, una adecuada ley esfuerzo-deformación del material puede no existir, o la ley puede ser excesivamente complicada y con muchos parámetros desconocidos. En segundo lugar, el desarrollo natural de las grietas y las superficies de rotura no es bien manejado por los enfoques de medios continuos. Cundall (2001) sugiere que la tendencia futura para la modelación numérica en suelo y roca puede consistir en la sustitución de los métodos continuos por métodos de partículas. La presencia de Geomateriales Intermedios a nivel mundial ha generado la falla y colapso de los taludes, afectando recurrentemente vías, poblaciones, oleoductos, líneas vitales e infraestructura vulnerables a los procesos de degradación de dichos materiales. En Colombia existe predominio de Geomateriales Intermedios en el sistema montañoso de los Andes, especialmente en la cordillera oriental. El crecimiento del país ha conducido a proyectar obras de infraestructura vial en zonas con presencia de Geomateriales Intermedios como es el caso de la Concesión Vial Briceño Tunja – Sogamoso, la cual se desarrolla sobre formaciones con presencia de arcillolitas, en donde se han generado múltiples deslizamientos induciendo demoras en la construcción de la vía, compra de zonas de cesión más amplias y finalmente sobrecostos en la construcción.

Esta propuesta busca impulsar la utilización de métodos alternativos en el análisis de estabilidad de taludes y poder acercarnos más al comportamiento real de la falla en taludes en Geomateriales Intermedios. Los sobrecostos en las construcciones de obras de ingeniería desarrolladas en presencia de Geomateriales Intermedios, a causa de múltiples deslizamientos no previstos en la

etapa de diseño, muestran la necesidad de replantear el sistema de análisis de estabilidad de taludes para el diseño de los taludes de excavación, teniendo en cuenta la problemática que presentan este tipo de materiales. Al final de la investigación, se obtendrá una rutina para el análisis de la estabilidad de taludes en Geomateriales Intermedios, la cual, permitirá inicialmente a ingenieros civiles investigadores analizar problemas de estabilidad de taludes en dichos materiales, y será la base para futuras investigaciones sobre el comportamiento de estos materiales desde el punto de vista de los medios discontinuos.

El objetivo general de este estudio es analizar los mecanismos de falla de taludes en Geomateriales Intermedios mediante el Método de Elementos Discretos (DEM). Para lograr este objetivo se desarrollaron las siguientes tareas específicas:

- ❖ Analizar los mecanismos de fisuración presentes en los taludes de Geomateriales Intermedios que se encuentran en la Concesión Vial Briceño Tunja – Sogamoso.
- ❖ Definir, a partir de los mecanismos de fisuración identificados en los IGM a estudiar, cuáles modelos de contacto del PFC-2D[®] son los que permiten representar las condiciones de los taludes en estos materiales.
- ❖ Representar los mecanismos de falla en taludes de Geomateriales Intermedios mediante el programa PFC-2D[®]

Este documento se encuentra organizado en la siguiente forma: En el capítulo 2 se realiza la descripción del marco de referencia de esta investigación, el cual contiene la descripción de la terminología y la teoría, así como los antecedentes sobre los cuales se basa la presente investigación; el capítulo 3 está dividido en dos partes, la primera contiene los trabajos de campo así como su análisis para la determinación de los parámetros de las fisuras que más influyen en la estabilidad de los taludes, y la segunda parte se presenta la metodología que se siguió para la concepción de la rutina de análisis en el programa PFC-2D[®]; el capítulo 4 contiene

los resultados y su análisis de las simulaciones realizadas durante la investigación; en el capítulo 5 contiene la discusión de los resultados obtenidos; el capítulo 6 se encuentran las conclusiones del trabajo; en el capítulo 7 se presentan algunas recomendaciones para trabajos futuros. Finalmente, en los anexos se encuentran consignados los levantamientos de campo y los resultados detallados mediante imágenes para cada simulación.

Esta investigación hace parte del desarrollo de la tesis doctoral del ingeniero Orlando Rincón Arango, dirigida por el ingeniero Manuel Ocampo.



2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco conceptual

Definiciones de los términos clave en el desarrollo de esta propuesta.

Geomateriales Intermedios (IGMs): también conocidos como rocas blandas o lodosas, son materiales de transición entre los suelos y rocas. La distinción de IGMs de suelos o rocas para fines de ingeniería geotécnica se hace únicamente sobre la base de la resistencia de los Geomateriales (Samtani y Nowatzki 2006). En la Tabla 1 se presentan las múltiples definiciones de IGMs, basados en la resistencia a la compresión uniaxial y en algunos casos en el valor del ensayo de Penetración Estándar N de SPT

Tabla 1. Definición de IGMs por autor

Author (Year)	Type of IGM	Definition
Clarke and Smith (1993)	All	Unconfined Compression < 5MPa
International Society of Rock Mechanics (de Freitas 1993)	All	Unconfined Compression 5-25 MPa
Geological Society of London (de Freitas 1993)	All	Unconfined Compression 1.25-5 MPa
Finno and Budyn (2000)	All	Unconfined Compression 0.5-5 MPa SPT N-values >50 Blows/ 0.3 m
Marinos (1997)	All	Undrained Cohesion > 0.3 MPa Unconfined Compression > 2 MPa
Johnston (1989)	All	Unconfined Compression >0.5 MPa
Gannon et al. (1999)	All	Unconfined Compression >0.6 MPa
Akai (1997)	All	Unconfined Compression 1-10 MPa
O'Neill et al (1995)	All	Unconfined Compression 0.5-5 MPa
Mayne and Harris (1993)	Cohesionless	SPT N-values > 50 blows/ 0.3 m
de Freitas (1993)	Arenaceous*	Unconfined Compression 1-25 MPa
Dobereiner and de Freitas (1986)	Sandstone	Saturated Unconfined Compression from 0.5-20 MPa

Fuente: (Brooks 2008)

Arcillolita - Lodolitas: es una roca compacta, sin fisilidad o laminación y formada por partículas del tamaño de la arcilla, de origen sedimentario. Goodman (1993), distingue este tipo de materiales en dos grupos. El primero denominado Lutitas Cementadas, está compuesto por rocas deformables con la resistencia de un concreto y su tendencia a deteriorarse ante la exposición atmosférica es baja; se forman en el proceso de litificación y/o diagénesis de los sedimentos, por densificación, por precipitación de los minerales de silicio y carbono entre partículas y poros, por recristalización de arcillas en micas y reacciones de los componentes amorfos para crear clorita, y otros agentes de adherencia y unión entre partículas. El segundo grupo llamado Lutitas Compactadas o Esquistos Arcillosos, tienden a comportarse desde el punto de vista geotécnico como suelos y no como rocas, la susceptibilidad a deteriorarse al ser expuestas a la atmosfera es alta, presentando altos índices de compresibilidad y deformaciones (Goodman 1993).

Degradación o alteración: La degradación es el proceso de desintegración física y descomposición química de la roca, como resultado de la adaptación para alcanzar un nuevo equilibrio en un ambiente el cual, es considerablemente diferente de aquel en el que se formó. La desintegración física causa un fisuramiento de la textura original y también impone nuevas características de textura, mientras que la descomposición química, que usualmente requiere de mucho tiempo, genera decoloración de la roca afectada y cambio en la mineralogía (Sadisun et al. 2003).

Fisuración en IGMs: Efecto generado por los cambios en la humedad del terreno en los cambios ambientales naturales que inducen deformaciones irreversibles (plásticas) en los materiales. A través de las fisuras, el agua puede introducirse cada vez con mayor facilidad en el terreno, incrementando los efectos provocados por la presencia de agua. Al aumentar la presencia de agua en los materiales a

través de las fisuras, la tendencia a originarse ciertas reacciones químicas aumenta, dando lugar a una meteorización química más fuerte. Todo ello puede provocar la disolución de los materiales cementantes, causando cambios en la microestructura del material y en su comportamiento (Gómez Ramírez 2009).

Elementos discretos: partículas o elementos individuales a los que se le asignan propiedades mecánicas y geométricas, las cuales interactúan entre sí en sus puntos de contacto.

PFC-2D: “*Particle Flow Code in two Dimensions*” desarrollado por Itasca, es un código numérico basado en el método de los elementos discretos. Este programa simula el comportamiento mecánico de un sistema compuesto por un conjunto de partículas discretas generadas arbitrariamente que se desplazan independientemente unas de las otras, e interactúan solamente en sus contactos (Jaeger 1967).

Falla por Deslizamiento Traslacional: Es aquella en la que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes 1996).

Falla por vuelco: Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad (Cruden y Varnes 1996).

Falla por deslizamiento rotacional: El deslizamiento rotacional se produce a lo largo de una superficie de ruptura curvilínea y cóncava hacia arriba. Si la superficie de ruptura es circular o cicloidal en el perfil, la cinemática dicta que la masa desplazada puede moverse a lo largo de la superficie con poca deformación interna. Las grietas expuestas son concéntricas en planta y cóncavas hacia la dirección del movimiento. En muchas depresiones las superficies de ruptura son en forma de cuchara. La masa movida puede constituir un solo bloque con zonas desorganizadas en los extremos, principalmente en el pie, o subdividirse en varios bloques con desnivelamientos y basculamientos. El movimiento de deslizamiento es más o menos de rotación alrededor de un eje que es paralelo al contorno de la pendiente. Si el deslizamiento es de rotación y tiene varios planos curvos paralelos de movimiento, esto es llamado una depresión (Cruden y Varnes 1996).

Falla por caídos: Las caídas consisten en una masa de suelo que se desprende de una ladera escarpada o acantilado, a lo largo de una superficie sobre la cual muy poco o es nulo el desplazamiento por corte; desciende por el aire en caída libre, saltando o rebotando o rodando (Cruden y Varnes 1996).

Movimientos compuestos: De acuerdo (Cruden y Varnes 1996) son movimientos de ladera que incluyen una combinación de uno o varios de los principales tipos de movimiento (caída, volcamiento, deslizamiento rotacional o traslacional, propagación lateral y flujo), ya sea dentro de las diferentes partes de la masa en movimiento o en las diferentes etapas del desarrollo del movimiento.

Discontinuidad o fisura: Es una superficie o un plano de los macizos rocosos que condicionan de forma definitiva sus propiedades, resistencia, deformaciones y su comportamiento hidráulico. Las discontinuidades imprimen un carácter

discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad para evaluar el comportamiento mecánico de los mismos frente a las obras de ingeniería (González de Vallejo 2002).

Orientación de fisura o discontinuidad: Está definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento (ver Figura 1). La determinación de la orientación media de cada familia se establece a partir de valores estadísticos representativos(González de Vallejo 2002).

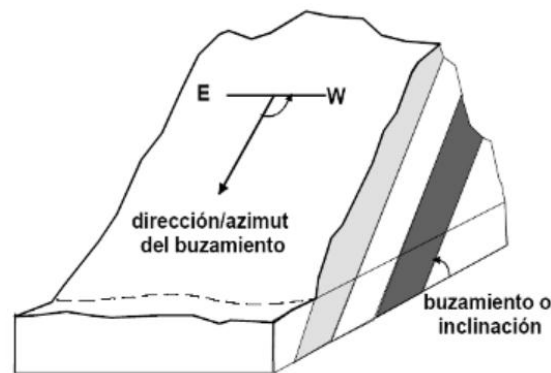


Figura 1. Esquema para la determinación de la orientación de las discontinuidades(Cabrera, M. 2010).

Esta característica controla la posibilidad de que se presente condiciones favorables o desfavorables de estabilidad, según la manera como influya la redistribución de esfuerzos en los planos de discontinuidad (Montero 2002).

Espaciamiento de las fisuras o discontinuidades: Es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidades de una misma familia y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias. Si los espaciamientos son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye considerablemente. El espaciado de las discontinuidades juega un papel muy importante en la permeabilidad del macizo rocoso(González de Vallejo 2002). En la Tabla 2 se describe la clasificación de los espaciamientos de las fisuras.

Descripción	Espaciado (mm)
Extremadamente junto	< 20
Muy junto	(20-60)
Junto	(60-200)
Moderadamente junto	(200-600)
Separado	(600-2000)
Muy separado	(2000-6000)
Extremadamente separado	> 6000

Descripción del espaciado según ISRM (1981).

Tabla 2. Espaciamiento de discontinuidades (Cabrera, M. 2010)

Abertura de las fisuras o discontinuidades: Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. La influencia de la abertura en la resistencia al corte es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes (González de Vallejo 2002). La Tabla 3 muestra las clasificaciones de las aberturas según (ISRM 1981).

Descripción	Abertura (mm)
Muy cerrada	< 0,1
Cerrada	(0,1-0,25)
Parcialmente abierta	(0,25-0,5)
Abierta	(0,5-2,5)
Moderadamente ancha	(2,5-10)
Ancha	(10-100)
Extremadamente ancha	(100-1000)
Cavernosa	> 1000

Tabla 3. Abertura de las discontinuidades según (ISRM 1981)

Familias de fisuras o discontinuidades: Indica el grado de fracturación del macizo y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. El menor número de familias posibles en un macizo es tres, son medidas en campo a través de rumbo y buzamiento y son determinadas mediante la red estereográfica representando los polos o planos con valores medios de las diferentes familias. Las familias presentan características intrínsecas, no solamente en dirección y espaciamento

sino también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina (Cabrera, M. 2010). La Figura 2, muestra los diferentes tipos de familias de discontinuidades.

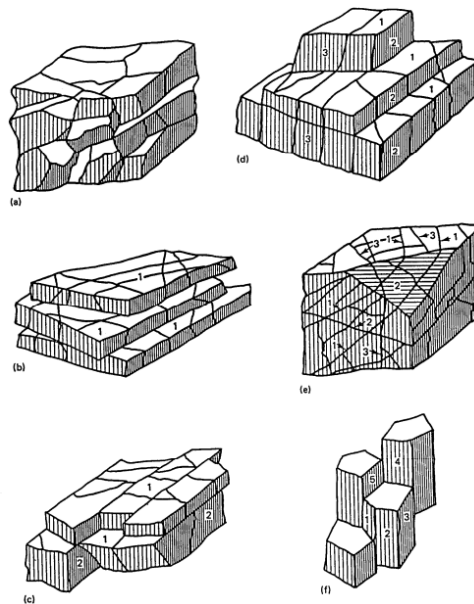


Figura 2. Familias de discontinuidades (Montero 2002)

Persistencia de las fisuras o discontinuidades: Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento. Cuando hay persistencia se garantiza el flujo de agua a través del subsuelo.

Según la Sociedad Internacional de la Mecánica de Rocas (ISRM 1981), la clasificación de este parámetro se presenta en la Tabla 4.

Continuidad	Longitud (m)
Muy Baja	< 1
Baja	(1-3)
Media	(3-10)
Alta	(10-20)
Muy alta	> 20

Tabla 4. Persistencia de las discontinuidades (ISRM 1981)

Este factor de muy difícil medición, está relacionado con el grado de continuidad de las discontinuidades o fisuras; en promedio determina la extensión para la cual el material rocoso y las diaclasas afectan separadamente las propiedades mecánicas de la masa. La resistencia al corte en este caso depende de la combinación de la resistencia inherente al corte de los puentes de roca intacta y aquella que se pueda desplazar a lo largo de la discontinuidad (Montero 2002).

En la Figura 3 se esquematiza las diferentes persistencias en dos y tres dimensiones, la parte (a), (b), (c) y (d) describe una persistencia en dos dimensiones iniciando con persistencia total en todos los sentidos en la parte (a), en la parte (b) se observa persistencia total en el sentido horizontal y en el sentido vertical una persistencia media, en la parte (c) y (d) se va disminuyendo. En la Figura 3 parte (e) y (f) se observa la persistencia en tres dimensiones.

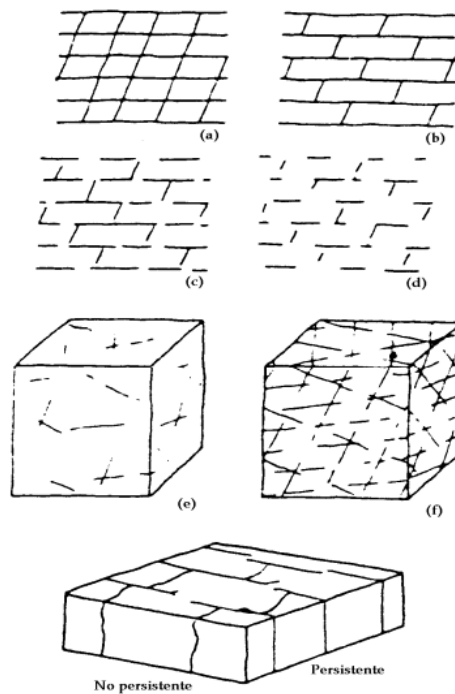


Figura 3. Esquemas y bloques que permiten visualizar la persistencia relativa de varias familias de diaclasas (Montero, 2002).

2.2 Marco Teórico

Los dos métodos de simulación computacional más usados en física actualmente son el de la Dinámica Molecular (DM), que es de carácter determinista, y el de Montecarlo (MC), que es de carácter probabilístico. Ambos pueden considerarse como métodos para generar configuraciones diferentes de un sistema de partículas, es decir puntos en el espacio de fases compatibles con las condiciones externas (Gutiérrez 2001).

La información que genera una corrida de Dinámica Molecular es la posición y la velocidad de cada partícula del sistema en cada instante de tiempo. Por su parte, en el caso de MC lo que obtenemos es la posición de las partículas en cada paso de simulación (Gutiérrez 2001).

Una parte central de todo programa de DM lo constituye el algoritmo de integración. Las ecuaciones de movimiento de Newton dadas por la ecuación $m_i \ddot{r}_i = -\nabla_{r_i} V$, son ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas, no-lineales, de segundo orden. Ellas deben ser resueltas numéricamente. Dadas las posiciones y velocidades iniciales a un tiempo inicial t_0 , la tarea del algoritmo es entregar las posiciones y velocidades al tiempo $t_0 + \Delta t$ (Gutiérrez 2001).

El análisis numérico propuesto para desarrollar esta investigación, fue el método de elementos discretos implementado en el software PFC-2D[®], que es un método basado en la DM. A continuación se describe la teoría sobre la cual se fundamenta el DEM y como se implementa en el PFC-2D[®].

2.2.1 Método de elementos discretos

La descripción del método de elementos discretos se encuentra contenida en las siguientes referencias (Cundall y Strack 1979) y (Mellado Cruz 2005).

El método de los elementos discretos (DEM) es un método numérico capaz de describir el comportamiento mecánico de arreglos de discos y esferas (Cundall y Strack 1979) y en general de cualquier forma.

Este método fue inicialmente desarrollado por Cundall a principios de la década de los setenta (Cundall 1971) para el análisis de problemas de mecánica de rocas, y el cual fue posteriormente aplicado a los suelos (Cundall y Strack 1979).

El método de elementos discretos consiste en la discretización de un medio en un conjunto de partículas las cuales interactúan entre sí a través de sus puntos de contacto. Las propiedades básicas que definen de forma general este método de análisis numérico (Mellado Cruz 2005) son:

- ❖ El conjunto de partículas como elementos discretos conforman el sistema complejo de partículas idealizando un medio.
- ❖ Estos elementos distintos como también se le conoce se desplazan independientemente uno de otros e interactúan entre sí en las zonas de contacto.
- ❖ A nivel de cada partícula se hace uso de la mecánica del cuerpo rígido y los elementos discretos se consideran elementos rígidos en sí, por lo que su deformación es nula.

El método propuesto por Cundall (1971) integra explícitamente las ecuaciones del movimiento de una estructura conformada por partículas rígidas con masas conectadas entre sí mediante resortes y amortiguadores (proceso dinámico). Sus formulaciones están basadas principalmente en dos leyes de la mecánica clásica. La primera ley relaciona la fuerza con el desplazamiento (Ley constitutiva del contacto) a través de las rigideces, y la segunda relaciona las fuerzas con la aceleración (segunda ley de Newton). La descripción numérica del comportamiento dinámico de los movimientos de las partículas se realiza mediante ciclos de cálculo (paso de tiempo) en los cuales se considera que las velocidades

y aceleraciones son constantes dentro de cada paso de tiempo y se determinan los desplazamientos y las fuerzas en el sistema para cada ciclo (ver Figura 4).

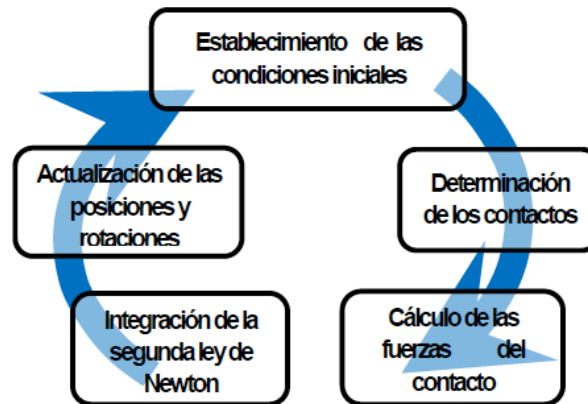


Figura 4. Etapas básicas del ciclo de cálculo del método de elementos discretos (Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M. 2011).

En la ley fuerza desplazamiento, se tiene que cuando se utilizan modelos de contacto que son elásticos, la disipación de energía que se produce en los sistemas físicos de materiales granulares no se captura. Aquí se toma la fluencia en el sentido de la rotura del resorte de contacto en la dirección normal de contacto o el inicio de la fricción entre las partículas de deslizamiento en la dirección tangencial. Para evitar este fenómeno no físico, los analistas DEM a menudo introducen amortiguamiento numérico o artificial en sus simulaciones, amortiguamiento de masa y amortiguamiento “no-viscoso” (O’Sullivan 2011), donde se relaciona en la ecuación de fuerza así:

$$Ma^t + Cv^t = F^t$$

Ecuación 1

Dónde M es la matriz de masa, a^t es el vector de aceleración en el tiempo t , C es la matriz de Amortiguamiento, v^t es el vector de velocidad en el tiempo t y F^t es el vector de fuerza en el contacto entre dos partículas o entre partícula - muro.

Como lo menciona (Mellado Cruz 2005) la aplicación de la segunda ley de Newton en DEM se describe a continuación:

“La segunda ley de Newton establece que la fuerza que actúa sobre las partículas es igual a la masa de cada elemento distinto o discreto por su aceleración. Utilizando la definición de aceleración como la derivada material de la velocidad y teniendo en cuenta el principio de conservación de la masa (variación de la masa de la partícula es igual a cero) se tiene:

$$f_i = m_i a_i = m_i \frac{dv_i}{dt} = \frac{d}{dt} (m_i v_i) \quad \text{Ecuación 2}$$

Definiendo la cantidad de movimiento de la partícula como el producto de su masa por su velocidad (m_i, v_i), expresa que la fuerza que actúa sobre el elemento discreto, es igual a la variación de la cantidad de movimiento de la misma. Aplicando este concepto y la segunda Ley de Newton al sistema de n partículas o elementos decretos se tiene:

$$R(t) = \sum_i f_i = \sum_i m_i a_i = \sum_i m_i \frac{dv_i}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\sum_i m_i v_i \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Partiendo del principio de conservación de masa:

$$\frac{dm_i}{dt} = 0 \quad \text{Ecuación 4}$$

La Ecuación 4 expresa que la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema discreto de partículas es igual a la variación por unidad de tiempo de la cantidad de movimiento del mismo.

La ley de Newton proporciona la relación fundamental entre el movimiento del sistema de partículas y las fuerzas que causan dicho movimiento. El sistema de fuerzas puede estar en equilibrio estático cuando estas no están en movimiento

o no actúan fuerzas sobre los diferentes elementos distintos o el medio en cuestión.”

Un ciclo de cálculo en DEM se realiza alternando la aplicación de la segunda ley de Newton y una ley de fuerza-desplazamiento en los contactos existentes entre cada elemento discreto que conforma el sistema de partículas (ver Figura 4). La segunda ley de Newton se usa para determinar el movimiento de cada partícula que se origina como resultado de la acción de las fuerzas de contacto y las fuerzas volumétricas, mientras que la ley constitutiva (ley fuerza-desplazamiento) se emplea para actualizar las fuerzas originadas por el movimiento relativo en cada contacto (Cundall 1971).

Las fuerzas, los desplazamientos, tensiones y deformaciones son determinados a nivel de cada contacto entre los elementos discretos. En correspondencia con el modelo constitutivo de contacto empleado estos elementos mecánicos son descompuestos en su componente normal y desviadora (Mellado Cruz 2005).

Los códigos dinámicos explícitos satisfacen mejor la simulación de procesos dinámicos, no obstante se pueden aplicar fácilmente a la simulación problemas cuasi-estáticos. Un factor importante para el éxito de análisis en el de problemas cuasi-estáticos con el código dinámico es aplicación consiste en la aplicación de un amortiguamiento adecuado

2.2.2 Particle Flow Code – PFC-2D[®]

Para la elaboración de esta investigación se utilizará el software para computador PFC-2D[®] (*particle flow code in two dimensions*) desarrollado por Itasca (Itasca Consulting Group Inc. 2002), el cual es un software basado en el método de elementos discretos, la descripción del software que se realiza a continuación, se tomó de los manuales propios del programa desarrollado por Itasca.

El programa PFC-2D[®] tiene su propio lenguaje de programación llamado FISH, lo cual permite definir e introducir en el modelo nuevas variables, generar nuevas geometrías, relaciones constitutivas, utilización de servo-controladores, procesamiento en paralelo de modo compartido en “clúster” de computadores, dentro otras potencialidades. Para procesamiento en un computador aislado, el método de elementos discretos tiene como desventaja un tiempo de procesamiento relativamente alto, dependiendo del número de partículas y de sus contactos envueltos en la simulación (Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M., 2011).

La formulación en la cual se basa el PFC-2D[®], adopta una serie de hipótesis que permiten simplificar el problema real desechando los aspectos menos significativos y permitiendo establecer un modelo físico y matemático del problema en estudio. Las hipótesis que se establecen son las siguientes:

- ❖ Las partículas se consideran como cuerpos rígidos,
- ❖ Los contactos ocurren sobre un área muy pequeña,
- ❖ Las partículas se traslapan en los puntos de contacto,
- ❖ La magnitud del traslapo está relacionada con la fuerza del contacto por medio de la ley del fuerza-desplazamiento, y este siempre va a ser menor que el tamaño de la partícula,
- ❖ Pueden existir enlaces en los contactos entre partículas,
- ❖ Todas las partículas son circulares. Sin embargo, por medio de los enlaces se pueden generar otras partículas con formas arbitrarias.

Adicional a las partículas circulares, el modelo también permite la creación de muros que permiten aplicar las condiciones de borde a los sistemas granulares como compactación y confinamiento. Las partículas y los muros interactúan entre sí mediante las fuerzas de contacto. Sin embargo las ecuaciones de movimiento son aplicadas solamente a las partículas, por lo que las fuerzas que actúan sobre

los muros no influyen su movimiento, el cual debe ser especificado por el usuario. Por otro lado, tampoco se pueden generar contactos entre muros, existiendo solo los contactos partícula-partícula y partícula-muro.

Un ciclo de cálculo en el PFC-2D[®], consiste en la aplicación repetida de la ley de movimiento a cada partícula, una ley fuerza-desplazamiento en cada contacto y una actualización constante de la posición de los muros.

El comportamiento general de un material puede ser representado mediante la definición de un modelo constitutivo para los contactos entre partículas. El programa PFD-2D[®] trae incorporado en su código tres modelos de contacto, como se puede ver en la Figura 5.

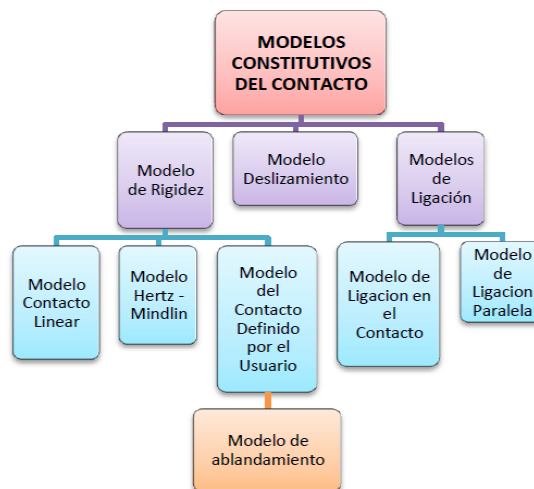


Figura 5. Modelos constitutivos del contacto (Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M. 2011).

La energía suministrada al sistema de partículas se disipa a través de deslizamiento de fricción. Sin embargo, deslizamiento friccional puede no estar activo en un modelo dado o, incluso si está activo, puede no ser suficiente para llegar a una solución de estado estacionario en un número razonable de ciclos. Amortiguación local, amortiguación combinado y amortiguamiento viscoso están disponibles en PFC2D para disipar la energía cinética.

Amortiguación local se aplica una fuerza de amortiguación, con una magnitud proporcional a la fuerza desequilibrada, a cada partícula. Amortiguación combinada es una variación de amortiguación local para el caso en el que la solución de estado estacionario incluye un movimiento uniforme significativo. La amortiguación viscosa añade un amortiguador normal y cortante en cada contacto. Estos amortiguadores actúan en paralelo con el modelo de contacto existente y proporcionan fuerzas que son proporcionales a la diferencia de velocidad relativa entre las dos entidades de contacto (bola-bola o pared). Por defecto, la amortiguación local está activa, y la amortiguación combinada y amortiguamiento viscoso están inactivos. Para el desarrollo de este trabajo no se tuvo en cuenta amortiguamiento combinado ni viscoso.

2.2.2.1 Modelo de rigideces

El modelo de rigideces está en función de la ley que relaciona las fuerzas con los desplazamientos, y se aplica independientemente para la componente normal y tangencial de la fuerza de contacto. Por lo anterior se definen dos tipos de rigideces, siendo estas la rigidez normal k_n y la cortante k_s . La rigidez normal es una rigidez secante ya que relaciona la fuerza normal total con el desplazamiento normal mediante la Ecuación 5.

$$F_i^n = K^n U_i^n n_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Y la rigidez cortante es una rigidez tangencial porque relaciona la fuerza de corte con el incremento del desplazamiento por corte mediante la Ecuación 6.

$$\Delta F_i^s = -k^s \Delta U_i^s \quad \text{Ecuación 6}$$

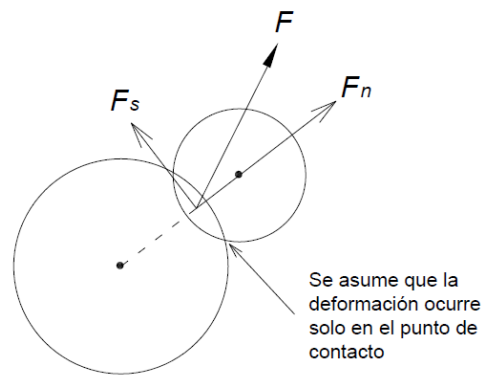


Figura 6. Fuerzas en el contacto consideradas en el modelo de rigideces (Ocampo, M. S. 2009).

Las rigideces en los contactos dependerán del modelo escogido para su cálculo. El programa dispone de dos modelos para tal fin, un modelo lineal, y el modelo simplificado de Hertz-Mindlin y un modelo definido por el usuario.

En esta investigación se utilizó el modelo de rigidez lineal que se describe a continuación.

El modelo de rigidez lineal está definido por las rigideces normal k_n y de corte k_s de las dos entidades en contacto (partícula-partícula o partícula-muro) las cuales son definidas por el usuario.

La rigidez secante normal del contacto es obtenida por:

$$K^n = \frac{k_n^{[A]} k_n^{[B]}}{k_n^{[A]} + k_n^{[B]}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Y la rigidez tangente de corte del contacto está dada por:

$$k^s = \frac{k_s^{[A]} k_s^{[B]}}{k_s^{[A]} + k_s^{[B]}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde [A] y [B] indican las dos entidades en contacto. En el modelo lineal, la rigidez normal secante k^n es igual a la rigidez normal tangente, ya que:

$$k^n = \frac{dF^n}{dU^n} = \frac{d(K^n \cdot U^n)}{dU^n} = K^n \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde K^n está dada por la Ecuación 7.

2.2.2.2 Modelo de deslizamiento

El modelo de deslizamiento es una característica intrínseca de las dos entidades en contacto (partícula-partícula o partícula-muro). Este modelo no genera una resistencia normal a tensión y permite que las dos partículas en contacto se deslicen una respecto a la otra si se llega a superar la máxima fuerza de corte. Este modelo siempre está activo, a menos que esté presente un modelo de enlace, caso en el cual el modelo de enlace prima sobre el modelo de deslizamiento.

El principal parámetro del modelo de deslizamiento es el coeficiente de fricción μ en el contacto, donde μ va a ser igual al mínimo coeficiente entre las dos entidades. Con base en el criterio de Mohr-Coulomb la máxima fuerza de corte que generaría el deslizamiento es entonces:

$$F_{max}^S = \mu |F_i^n| \quad \text{Ecuación 10}$$

Si $|F_i^S| > F_{max}^S$, entonces ocurre el deslizamiento (durante el ciclo siguiente) colocando la magnitud de $|F_i^S|$ igual a F_{max}^S .

2.2.2.3 Modelo de enlaces o ligación (Bonding)

Dos partículas pueden estar ligadas mediante un tipo de contacto que puede ser definido, o imaginada, como una goma entre las partículas. En este contexto, dos tipos de contacto pueden ser utilizados en el programa PFC2D[®]: (a) enlace por contacto (*contact bond*); (b) enlace paralela (*parallel bond*).

El enlace de contacto es un tipo de contacto puntual que solo transmite fuerzas, pudiendo ser representada por dos resortes actuando en las direcciones normal y transversal en el punto de contacto entre dos partículas. Si la fuerza normal de tracción fuera igual o superior que la resistencia a la tracción del resorte en el punto del contacto, el enlace es roto en ambas direcciones (normal y transversal) y las fuerzas de contacto convertidas iguales a cero. Si la fuerza transversal fuera mayor que la resistencia transversal del resorte en el enlace del contacto, el enlace en esta dirección se rompe y el valor de la fuerza transversal es limitado por el modelo de deslizamiento.

El enlace paralelo describe el comportamiento de un elemento no-puntual que une las dos partículas como un cementante. Este tipo de contacto establece una interacción elástica entre las partículas, pudiendo transmitir fuerzas y momentos. El contacto paralelo es representado como un disco con radio definido en función del menor de los radios de las partículas en contacto.

Los enlaces se pueden crear solamente entre partículas, por lo que es imposible efectuar enlaces con los muros.

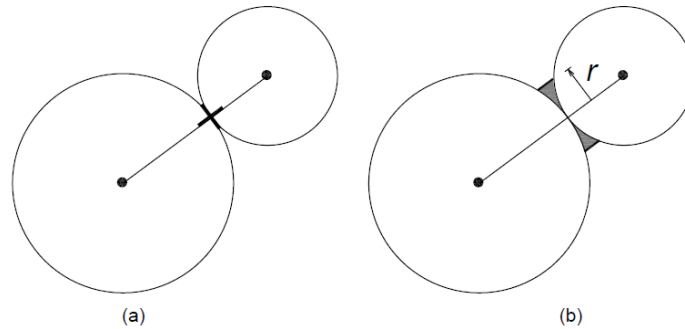


Figura 7. Modelo de enlaces (a) por contacto, (b) paralelo (Ocampo, M. S. 2009).

Para este estudio se utilizó el modelo de enlace por contacto que a continuación se describe.

Un enlace por contacto puede ser concebido como un par de resortes elásticos (o un punto de pegamento) con constantes de rigidez normal y de corte que actúa en el punto de contacto. Estos dos resortes tienen especificado resistencias normales de corte y tensión. La existencia de un enlace de contacto excluye la posibilidad de deslizamiento, es decir, la magnitud de la fuerza de contacto de corte no se ajusta a la máxima permisible de la Ecuación 10. En lugar de ello, la magnitud de la fuerza de contacto de corte está limitada por la resistencia de corte del enlace por contacto. Los enlaces por contacto también permiten que se desarrollen fuerzas de tensión en un contacto. Estas fuerzas surgen de la aplicación de la Ecuación 5 cuando $Un < 0$ (es decir, no hay traslapo). En este caso, el enlace por contacto actúa para unir las bolas conjuntamente. La magnitud de la fuerza de contacto normal a la tensión está limitada por la resistencia normal del enlace por contacto.

El modelo “Contact Bond” está definido por dos parámetros: Resistencia normal del enlace por contacto F_c^n y Resistencia de corte del enlace por contacto F_c^s

Cuando la magnitud de la fuerza de tensión actuante en el contacto es igual o supera la resistencia normal del enlace, el enlace se rompe y las fuerzas de contacto normal y de corte se hacen cero. Entre tanto, cuando la magnitud de la fuerza de corte es igual o excede la resistencia de corte del enlace, el enlace se rompe, pero las fuerzas de contacto no son alteradas, siempre que la fuerza de

corte no exceda el límite de fricción y siempre que la fuerza normal sea a compresión.

El comportamiento constitutivo relacionado con las componentes normales y de corte de la fuerza de contacto y el desplazamiento relativo para partículas en contacto se produce en un punto como se muestra en la Figura 8. En cualquier momento dado, ya sea el modelo de enlace por contacto o el modelo de deslizamiento está activo. En esta figura, F^n es la fuerza de contacto normal, donde $F^n > 0$ indica tensión; U^n es el desplazamiento normal relativo, donde la $U^n > 0$ indica traslape; F^s es la magnitud de la fuerza de contacto de corte total; y U^s es la magnitud del desplazamiento de corte total medido relativo a la ubicación del punto de contacto, cuando el enlace por contacto se formó.

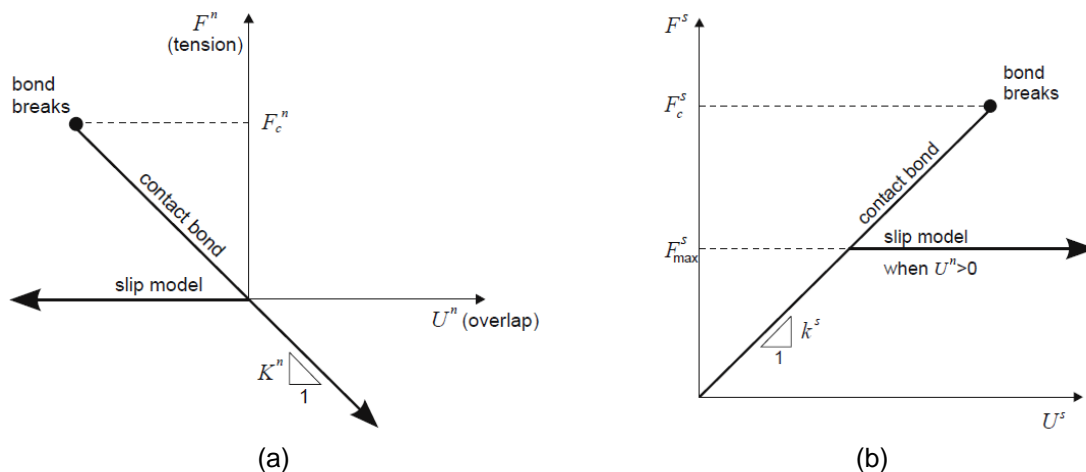


Figura 8. Comportamiento constitutivo para un contacto que ocurre en un punto. A) Componente normal de la fuerza en el contacto y b) Componente de corte de la fuerza en el contacto (Itasca Consulting Group Inc. 2002).

2.3 Marco de antecedentes

La estabilidad de taludes ha sido analizada a través de los años mediante métodos tradicionales como equilibrio límite y elementos finitos, el uso del DEM fue implementado para el análisis de problemas de mecánica de rocas (Cundall 1971), y el cual fue posteriormente aplicado a los suelos (Cundall y Strack 1979). Cundall (2001) menciona que hay dos inconvenientes en el análisis de taludes con

los métodos continuos. En primer lugar, una adecuada ley esfuerzo-deformación del material puede no existir, o la ley puede ser excesivamente complicada y con muchos parámetros desconocidos. En segundo lugar, el desarrollo natural de las grietas y las superficies de rotura no es bien manejado por los enfoques de medios continuos.

El análisis del comportamiento de geomateriales ha sido estudiado desde la escala micro (reproducción de ensayos de laboratorio) hasta la escala macro (estabilidad de taludes), en donde se ha logrado obtener resultados aceptables y más cercanos al comportamiento real de los geomateriales.

A continuación se presenta una revisión bibliográfica en lo que se refiere a calibración de los parámetros mediante ensayos de laboratorios, simulaciones de estabilidad de taludes y análisis del efecto de discontinuidades o fisuras en la estabilidad de taludes, mediante DEM.

2.3.1 Calibración de parámetros mediante ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio más usados para la calibración de parámetros necesarios para la simulación en el PFC-2D[®] son ensayos biaxiales (Potyondy y Cundall 2004, Ghazvinian et al. 2012, Mejía Camones et al. 2013, Lisjak, Grasselli, y Vietor 2014), y ensayo brasileiro (Potyondy y Cundall 2004, Eberhardt, Stead, y Coggan 2004, Ghazvinian et al. 2012, Lisjak, Grasselli, y Vietor 2014), también ensayos de consolidación unidimensional (Calvetti, Nova, y Castellanza 2007) y ensayos de corte directo (Eberhardt, Stead, y Coggan 2004) y triaxiales en PFC-3D (Mejía Camones et al. 2013).

La respuesta a macro-escala de una simulación está íntimamente relacionada con la buena calibración de los parámetros en la micro-escala (Ghazvinian et al. 2012, Mejía Camones et al. 2013). El modelo de partículas enlazadas o ligadas (BPM) propuesto por Potyondy y Cundall (2004) fue validado mediante los ensayos biaxiales y brasileiros, obteniendo resultados convincentes, sin embargo

Ghazvinian et al. (2012), sostiene que no está claro si la calibración del BPM con una prueba uniaxial es adecuado para modelar cualquier problema en ese material. Otros estudios han mostrado que la resistencia a la compresión uniaxial obtenido en el PFC es aproximadamente cuatro veces mayor a la resistencia a la tracción del material. Ghazvinian et al. (2012) usaron en su estudio de mecanismos de falla de juntas abiertas co-planares una relación entre la resistencia a la compresión uniaxial y resistencia a la tracción del material de roca sintética fabricada igual a 5,5, en donde obtuvo resultados consistentes entre los resultados numéricos y experimentales, como se puede observar en la Figura 9. Para el caso del ensayo brasilero se obtuvieron resultados consistentes entre los ensayos experimentales y los numéricos como lo muestra la Figura 10.

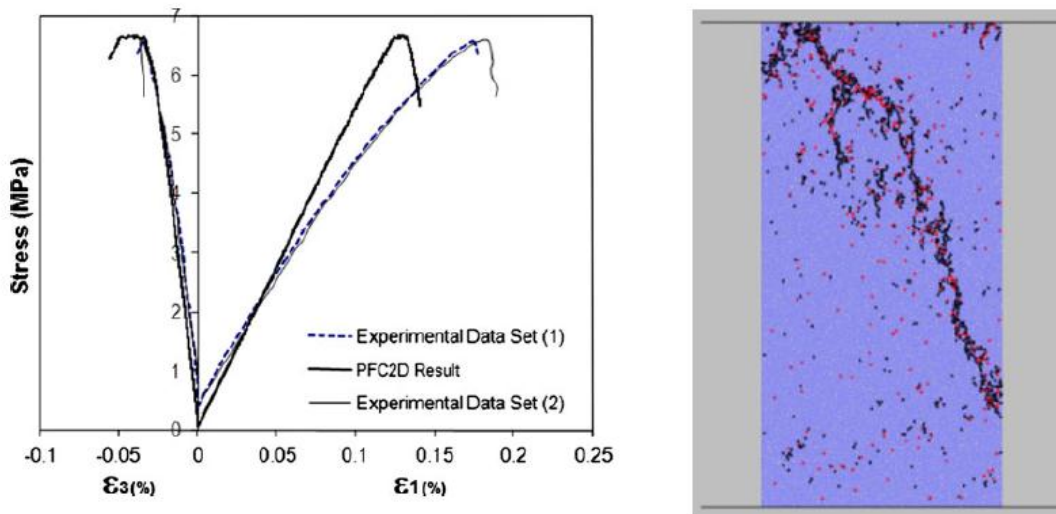


Figura 9. Resultados de los ensayo biaxiales experimentales y numéricos. a) Curva esfuerzo – deformación y b) Distribución de fisuras en ensayo biaxial (Ghazvinian et al. 2012).

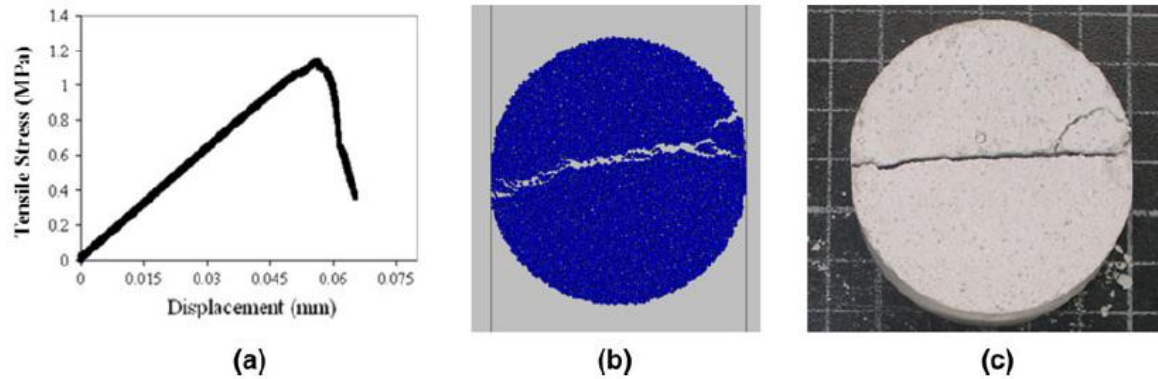


Figura 10. Resultados numéricos y experimentales en el ensayo brasilero. a) Curva de resistencia a la tensión versus desplazamiento axial DEM, b) Patrón de falla en PFC-2D y c) Patrón de falla en el ensayo experimental (Ghazvinian et al. 2012).

Ghazvinian et al. (2012) usaron los parámetros calibrados mediante los ensayos experimentales para analizar la influencia de la distancia entre dos grietas coplanares en la coalescencia entre ellos utilizando resultados de ensayos de corte y simulación numérica mediante el método de los elementos discretos.

Por otro lado Mejía Camones et al. (2013), realizó simulaciones de ensayos de laboratorio biaxiales y triaxiales representando los modos de propagación de fisuras abiertas reportados en la literatura (ver Figura 11 y Figura 12). Los parámetros obtenidos de las simulaciones de laboratorios las usaron para el análisis de propagación y coalescencia de discontinuidades co-planares y mecanismo de falla escalonado en taludes de roca de gran altura, cuyos resultados mostraremos más adelante.

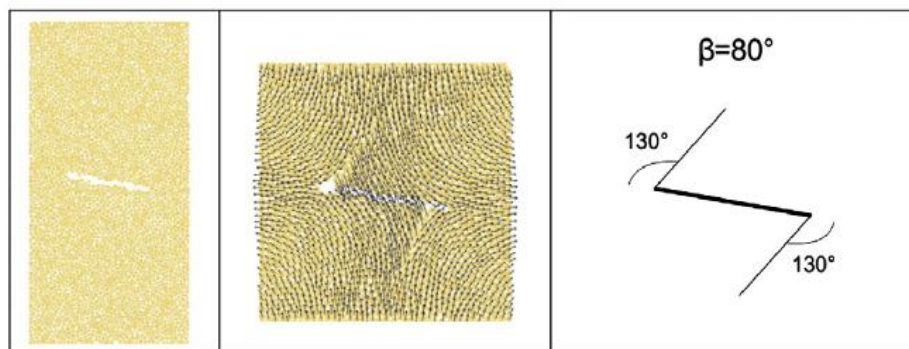


Figura 11. Propagación de una discontinuidad abierta en simulación del ensayo biaxial en PFC-2D (Mejía Camones et al. 2013).

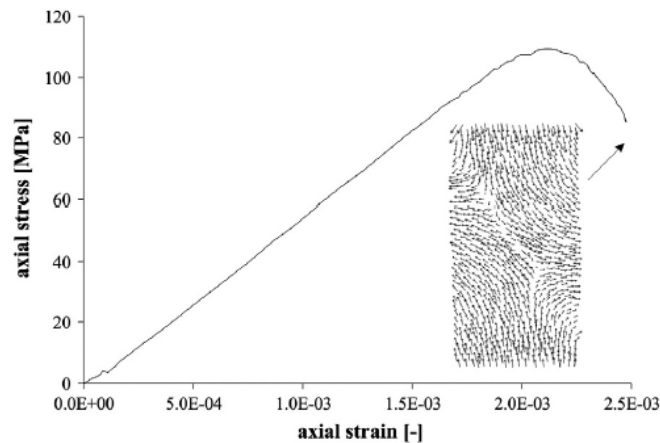


Figura 12. Propagación de una discontinuidad abierta en simulación del ensayo triaxial en PFC-3D (Mejía Camones et al. 2013).

En el estudio del análisis continuo-discontinuo de los mecanismos de falla alrededor de excavaciones circulares no soportadas en las rocas arcillosas anisotrópicas (shales), Lisjak, Grasselli, y Vietor (2014), reportan resultados de ensayos de compresión uniaxial y ensayo brasilero (ver Figura 13), que muestran concordancia con los ensayos experimentales realizados para la calibración del modelo, extrapolándolos al análisis a macro-escala, en los cuales logra reproducir la propagación y coalescencia de fisuras en el techo de las excavaciones circulares simuladas, combinando el DEM y FEM.

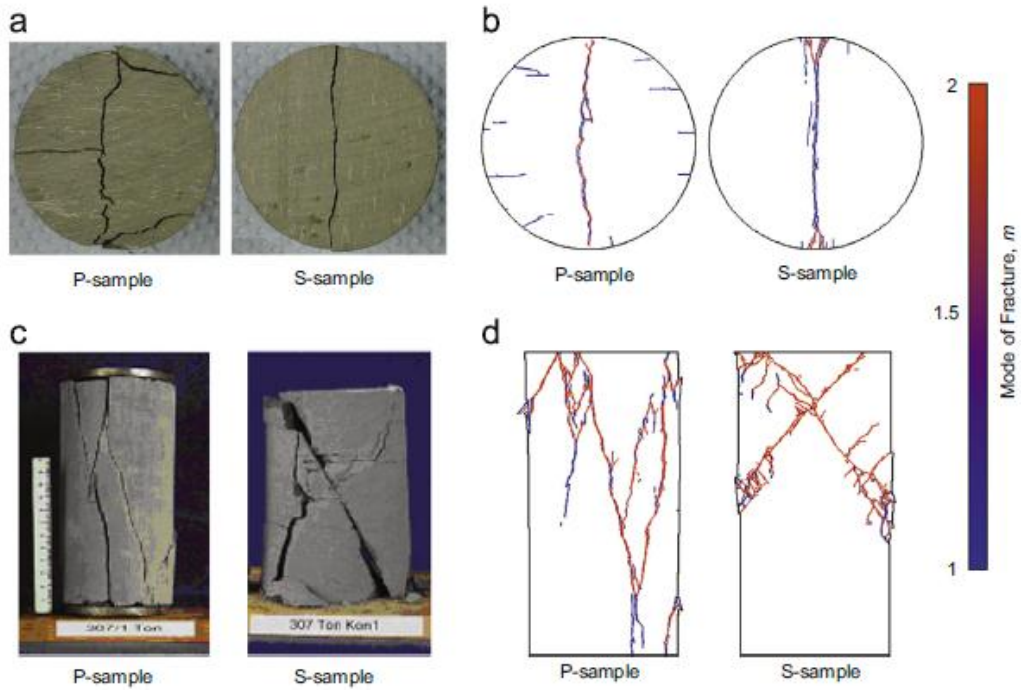


Figura 13. Resultados numéricos y experimentales en shales. a) Patrón de falla en ensayo brasilero, b) Patrón de falla en simulaciones mediante DEM (Lisjak, Grasselli, y Vietor 2014).

La simulación del ensayo oédometrico ha sido también usado para calibrar los parámetros del modelo en DEM, como lo reporta Calvetti, Nova, y Castellanza (2007), en donde realizaron ensayos experimentales con roca blanda artificial y se lograron los resultados que se muestran en la Figura 14, los cuales fueron usados para simular los colapsos superficiales debidos a erosión de los pilares de roca de las minas abandonadas.

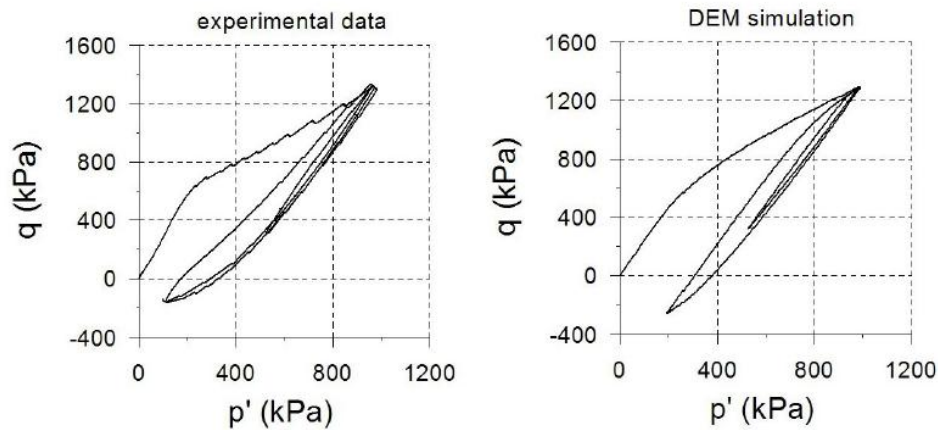


Figura 14. Ensayo oedométrico en una muestra cementada. Resultados experimentales y DEM (Calvetti, Nova, y Castellanza 2007)

2.3.2 Simulaciones de estabilidad de taludes en DEM

Chang (1992) realizó análisis de estabilidad de taludes mediante DEM, en donde analizó la progresión de fallas en materiales frágiles, obteniendo como resultado curvas de variación del factor de seguridad a lo largo de la superficie movilizada para diferentes geometrías de taludes (ver Figura 15). Los resultados calculados concuerdan con los resultados obtenidos a partir de estudios de campo y del análisis de elementos finitos de un terraplén (Lo y Lee 1973) que muestran que el pie de un talud falla en cortante, mientras que la corona falla en tensión.

Por otra parte Do Nascimento et al. (2007) muestran la utilización del método de elementos discretos en problemas geomecánicos, presentando los resultados de un estudio paramétrico con DEM en el análisis de estabilidad de taludes (utilizando el software DMOOP) comparado con otros métodos de análisis más difundidos en la literatura como es el FEM. En las Figura 16 y Figura 17, se muestran los resultados de las simulaciones.

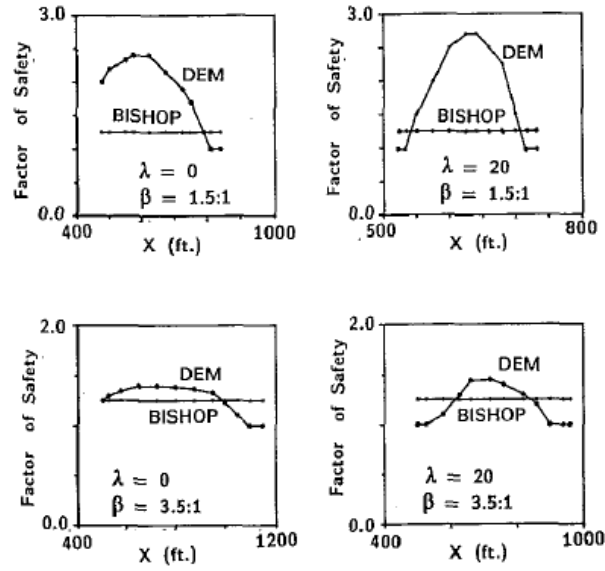


Figura 15. Factor de seguridad a lo largo de la superficie movilizada obtenido por el método de Bishop y el DEM (Chang 1992)

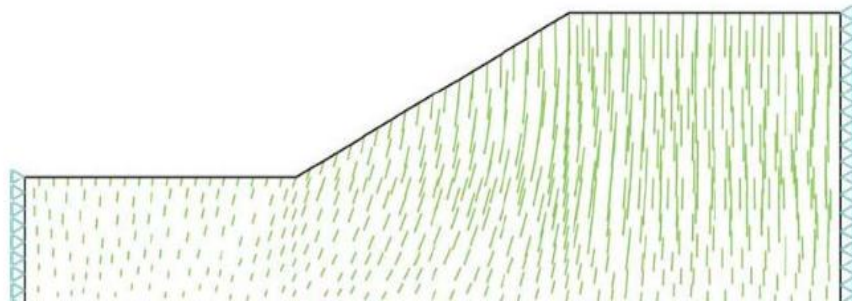


Figura 16. Campo de desplazamientos DEM (Do Nascimento et al. 2007)

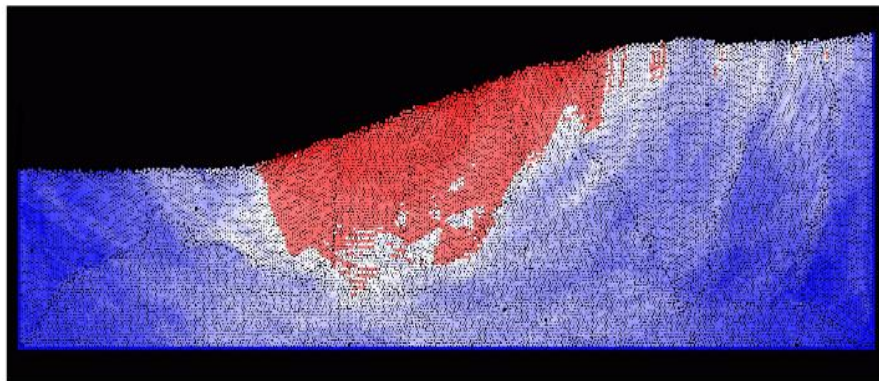


Figura 17. Desplazamiento de las partículas en DEMOOP (Do Nascimento et al. 2007)

Do Nascimento et al. (2007) concluyen que cualitativamente los resultados del modelo FEM con el DEM, en donde se observó que la zona en donde se presentan los mayores movimientos de las partículas, es comparable entre las dos, sin embargo existe una gran influencia de los parámetros y los tamaños de las partículas utilizados en la modelación por DEM en los resultados.

2.3.3 Análisis del efecto de discontinuidades o fisuras en la estabilidad de taludes en DEM

La inclusión de discontinuidades en las simulaciones de taludes en DEM, para analizar la estabilidad de los taludes se ha venido realizando con mayor frecuencia, pues es una condición geológica que no es bien representada en los métodos de análisis continuos. Radhakanta y Debashish (2010) analizaron la estabilidad de taludes de botaderos o escombreras de minas incluyendo una discontinuidad a lo largo del talud con diferentes inclinación (15° , 22° , 29° y 35°), determinando como era la variación el factor de seguridad en las diferentes inclinaciones. Los resultados mostraron que la discontinuidad que genera mayores desplazamientos es la que tiene un ángulo de 35° , como se observa en la Figura 18, en dónde los factores de seguridad variaron desde 1.67, 1.17, 0.95 y 0.92, respectivamente, con la variación del ángulo de buzamiento de la discontinuidad, demostrando su eficiencia en el análisis del comportamiento de estos taludes.

Wang, Tannant, y Lilly (2003) realizaron análisis de estabilidad de taludes de corte en macizos de roca muy fracturados o diaclasados, donde incluyeron varias familias de diaclasas mediante el PFC-2D, variando la persistencia de las familias entre 90%, 70% y 50%, entendiéndose por persistencia como la relación entre suma de las longitudes de las fisuras en una dirección sobre la longitud total medida. La Figura 19 muestran la distribución de diaclasas para una persistencia del 70% y la configuración geométrica del talud recién excavado. Con una persistencia del 90%, el talud de roca experimenta una falla intensiva, exhibiendo

una superficie de falla aproximadamente circular, típica en estos taludes (Ver Figura 20). Cuando la persistencia disminuyó a 70%, la falla es en menor escala que en la persistencia de 90% y el mecanismo de falla muestra una combinación de “vuelcos” (*Toppling*) mayor proporción y deslizamiento en menor proporción con una falla irregular hacia afuera (ver Figura 21). Reduciendo la persistencia de las diaclasas al 50%, el talud resultó estable.

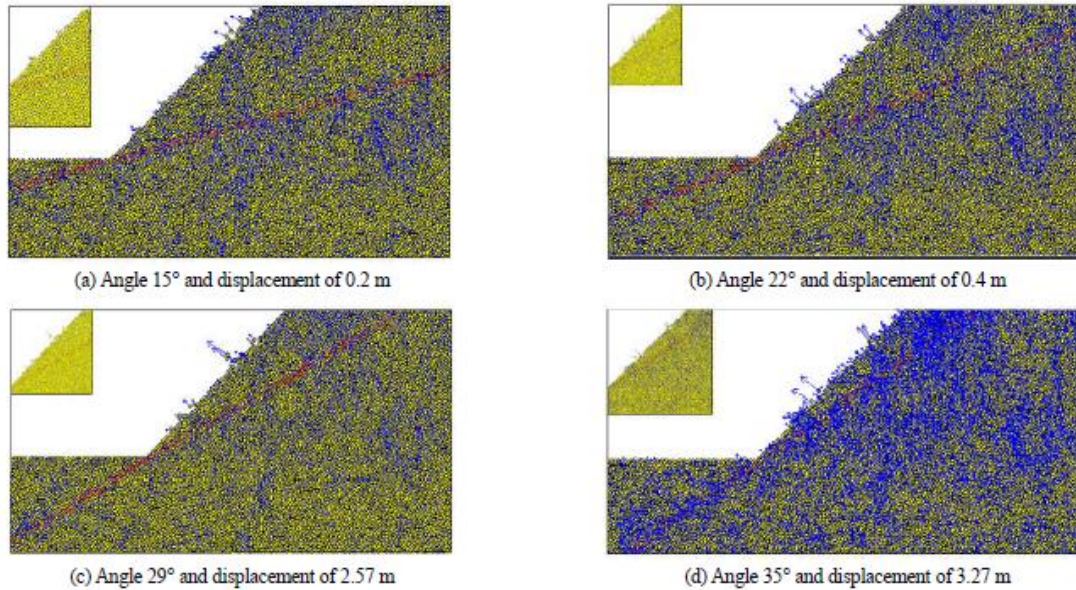


Figura 18. Análisis en DEM para diferentes configuraciones del buzamiento de la discontinuidad en el talud (Radhakanta y Debashish 2010).

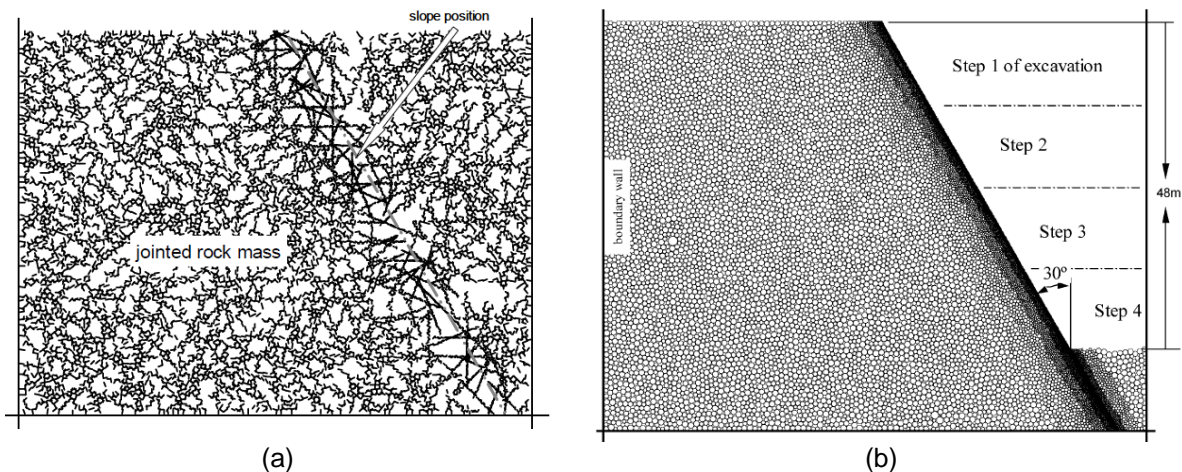


Figura 19. a) Distribución de diaclasas en el PFC de macizos de roca con una persistencia de las diaclasas de 70% y b) Configuración geométrica del talud recién excavado (Wang, Tannant, y Lilly 2003).

Wang, Tannant, y Lilly (2003) muestran que el DEM es una herramienta que facilita la comprensión de los mecanismos de falla en roca, debido a que se puede obtener la evolución de la falla, pudiéndose observar cómo y dónde inicia y como se desarrolla. De esta manera un ingeniero de rocas puede realizar más estudios sobre la estrategia para el control de la estabilidad de los taludes en roca, realizando diseños más eficaces y sobre una base más científica.

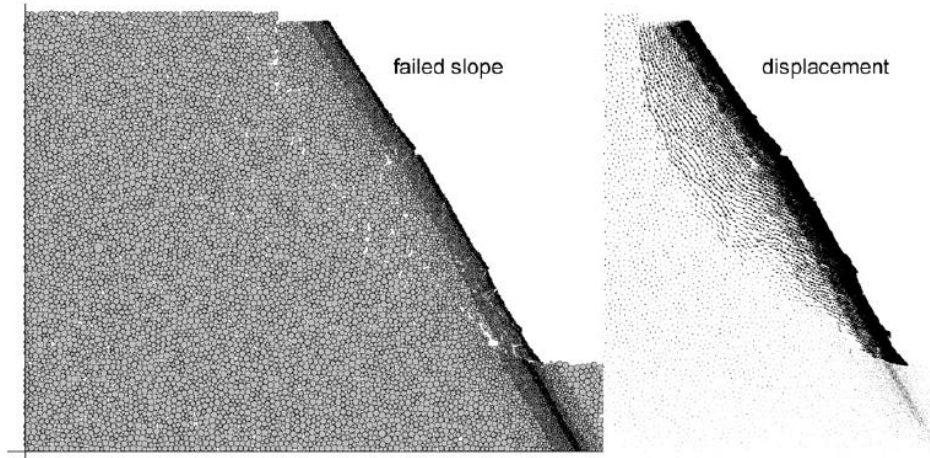


Figura 20. Falla de talud con 90% de persistencia de las diaclasas (Wang, Tannant, y Lilly 2003).

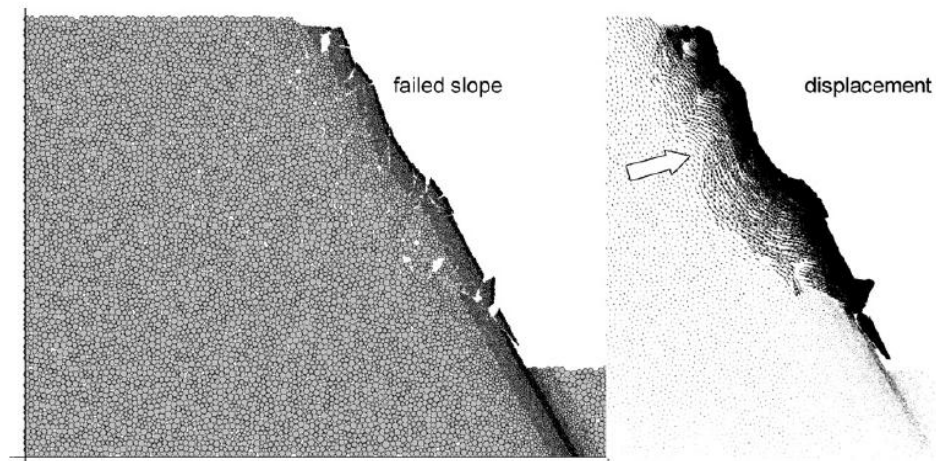


Figura 21. Falla de talud con 70% de persistencia de las diaclasas (Wang, Tannant, y Lilly 2003).

La simulación de fisuras en taludes fue estudiado también por Mejía Camones et al. (2013) en dónde evaluaron la utilización del DEM en la representación de mecanismos de falla escalonados “step-path” de taludes en roca de gran altura (ver Figura 22) y fueron comparados con el método desarrollado por Jennings, (1970) basado en el equilibrio limite. Se evaluaron fisuras de tracción, corte y coalescencia. Los criterios para el análisis numérico fueron: Una muestra rocosa puede ser representada como un conjunto de partículas “unidas” unas a otras mediante sus contactos. Una fractura o fisura puede ser representada en el modelo como una “zona” donde las partículas están en contacto, pero no “unidas”. La propagación de una fisura puede ser observada mediante la ruptura de esta “unión”.

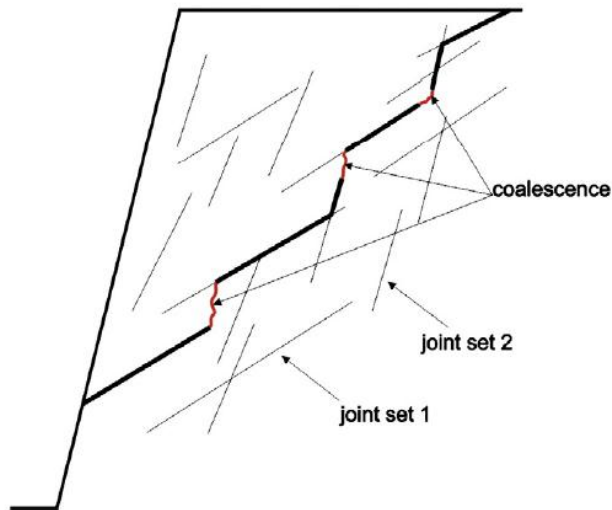
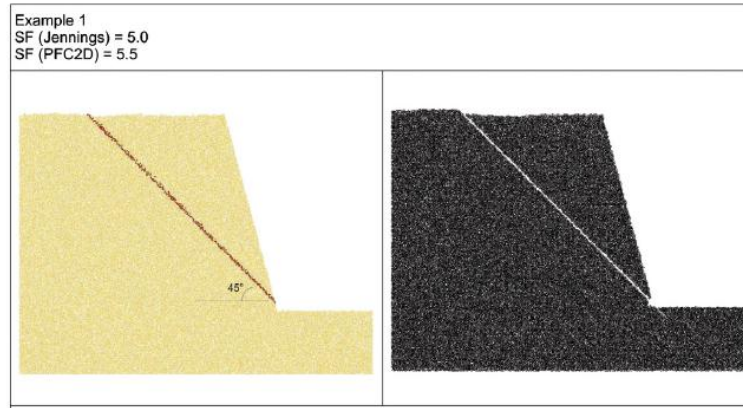
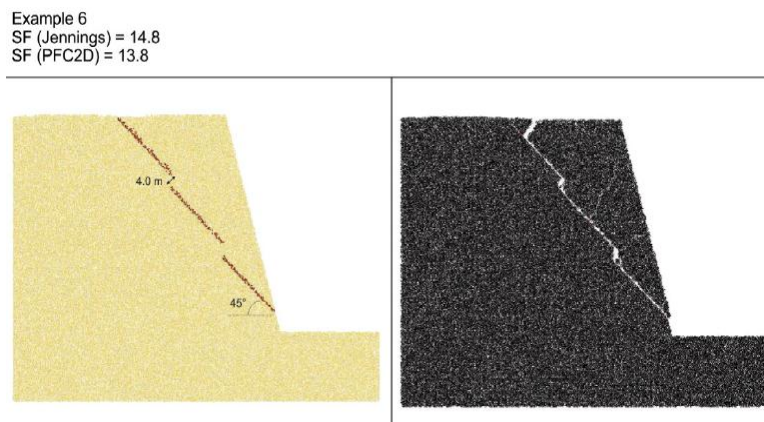


Figura 22. Mecanismo de falla Step-Path (Mejía Camones et al. 2013).

Mejía Camones et al. (2013) lograron representar los mecanismos de falla planar y escalonados en roca (ver Figura 23), dónde se comprobó la potencialidad del DEM en la reproducción de la propagación y coalescencia de fisuras co-planares.



(a)



(b)

Figura 23. Simulaciones en PFC-2D a) Ruptura planar de un talud y b) Mecanismo de ruptura tipo “Step-Path”, propagación y coalescencia de fracturas en la generación de la superficie de ruptura (Mejía Camones et al. 2013).

La potencialidad del DEM depende principalmente de la buena calibración de los macro-propiedades del material y de escoger el tamaño de partícula adecuado, para poder representar todos los mecanismos de propagación y coalescencia en un tiempo computacional óptimo (Mejía Camones et al. 2013).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en dos etapas, una etapa de campo que tuvo como fin estudiar los mecanismos de fisuración de los taludes de la concesión vial Briceño Tunja – Sogamoso, los cuales representan uno de los objetivos del estudio. La segunda etapa consistió en el desarrollo de una rutina de programación, capaz de simular el efecto de la fisuración en taludes virtuales, con el fin de analizar su influencia en el desarrollo de los mecanismos de falla evidenciados en campo.

3.1 Trabajo de campo

Se realizaron tres visitas a los taludes intervenidos durante la construcción de la doble calzada denominada Concesión Briceño – Tunja – Sogamoso (CBTS), con el propósito de identificar la problemática de los taludes. Como resultado de las visitas se seleccionaron tres taludes, los cuales representan tres diferentes mecanismos de falla y donde se identificó la presencia y el patrón del fisuramiento sobre los materiales que conforman el talud.

3.1.1 Descripción del Sitio N° 1

Este sitio se localiza sobre la margen derecha del Kilómetro 55 de la vía Bogotá – Tunja (Figura 24), en el municipio de Chocontá y hace parte de los taludes intervenidos durante la construcción de la doble calzada.



Figura 24. Sitio N° 1. a) Vista general del talud y b) Detalle mecanismo de falla por volteo en IGMs.

Tabla 5. Coordenadas del sitio N° 1

	Grados	minutos	Segundos
Latitud	5	8	34
Longitud	73	41	40

La geometría del talud presenta una inclinación de aproximadamente 77° y su altura varía entre 2 y 10 metros, como se puede observar en la Figura 24.



Figura 25. Sitio N° 1. a) Detalle de la degradación diferencial en el pie del talud en un estrato más débil y b) Taludes casi verticales donde se observan la estratigrafía.

Los materiales aflorantes en este sitio corresponden a la formación Tilata (N2t), en la Figura 26a se observa roca altamente meteorizada de grano grueso compuesta por gran contenido de cuarzo y silicatos con variabilidad en coloración y en Figura 26b se observa presencia de minerales arcillo-limosos producto de la alteración de los constituyentes parentales, también se reconoce oxidación ferrosa y alteración local acilosa en tonalidades blancuzcas.



(a)



(b)

Figura 26. Materiales del Sitio N° 1. a) Se observa el carácter granular de los materiales y b) Betas de oxidación en el material, indicando presencia de agua.



(a)



(b)

Figura 27. a) Vista general del área de afectación de la fisuración en la corona del talud y b) Fisura abierta cerca a la cara del talud, formando un bloque potencial de caída.

El mecanismo de falla observado en este sitio, según la clasificación de Cruden y Varnes (1996), es una “Caída en suelo”, definida como una masa de suelo que se desprende de una ladera escarpada o acantilado, a lo largo de una superficie sobre la cual muy poco o nulo es el desplazamiento por corte; desciende por el aire en caída libre, saltando o rodando. Las principales causas están relacionadas con la presencia de fisuras (Figura 27), degradación diferencial en el pie de la ladera (Figura 25).

3.1.1.1 Levantamiento de fisuras sobre los taludes

Para el levantamiento de las fisuras se utilizó un formato para la toma de la información del talud y sus patrones de fisuración: Tipo (Junta o fisura, Estratificación, Falla, Talud), Dirección de buzamiento, Buzamiento, Espaciamiento, Persistencia, Abertura, Relleno (Cerrada, Cementada, Relleno con arcilla, Relleno con arena, Relleno con grava), Aspereza (Lisa, Rugosa, Muy Rugosa), y Presencia de agua (Este parámetro define si en los materiales se encontró humedad y si afloraba agua a través de las discontinuidades).

A continuación se presenta un resumen del levantamiento.

- ❖ Dirección de buzamiento: Varía entre 238° y 348°.
 - ❖ Buzamiento: Varía entre 70° y 87° (Favorable a la estabilidad)
 - ❖ Espaciamiento: Entre 10 y 29 centímetros. (Entre junto y medianamente junto)
 - ❖ Persistencia: Alta a media (continuas)
 - ❖ Abertura: Entre 2 y 10 milímetros (Medianamente ancha).
 - ❖ Relleno: No
 - ❖ Aspereza: Rugosa
-

-
- ❖ Agua: No se encontró
 - ❖ Inclinación del talud: 77° (inicialmente vertical)
 - ❖ Mecanismo de falla: Caída de suelo

En las Figura 28, Figura 29 y Figura 30 se muestra el procedimiento llevado a cabo en las visitas, para la toma de la información de las fisuras y geometría del talud.



(a)



(b)

Figura 28. a) Abertura de las discontinuidades y b) Toma de buzamiento de los planos de las fisuras.



(a)



(b)

Figura 29. a) Medición de la geometría del talud y b) Vista a nivel macro de las fisuras que se generan en el material.



Figura 30. a) Medición de la separación de las fisuras en la corona de los taludes, las cuales corresponden a los bloques fallados y que están próximos a desprenderse y b) Medición de la separación de las fisuras en la superficie del talud.

El levantamiento completo se encuentra en el ANEXO A.

3.1.2 Descripción del Sitio N° 2

Este sitio se localiza sobre la margen derecha de la vía Bogotá – Tunja, entre el K47+540 al K47+850 de la CBTS en el municipio de Villapinzón (Ver localización en la Tabla 6), el cual hace parte de los taludes intervenidos durante la construcción de la doble calzada.

Tabla 6. Coordenadas del sitio N° 2

	Grados	minutos	segundos
Latitud	5	8	38
Longitud	73	41	27

La geometría del talud presenta una inclinación en su mayoría menor de 45°, y la altura varía entre los 2.0 hasta más de 20 metros. La Figura 31 se observa la morfología de la ladera.



Figura 31. Sitio N° 2. a) Vista general del deslizamiento y b) Vista del deslizamiento huésped localizado en la parte sur.

Los materiales aflorantes en este sitio, depósitos de la formación Tilatá consistentes en arcillas y areniscas dispuestas en forma lenticular de color gris amarillento entrelazadas con lentes de arcillas limosas color marrón (ver Figura 32). Hacia superficie remanentes de paleocanales de origen fluvio-glaciar constituidos por capas de arenas con lomos arcillosos dispuestos en capas de 5 a 10 cm no consolidadas. Tanto los niveles arcillosos como las arenas tienen un leve buzamiento en el sentido contrario a la pendiente y existe presencia de grietas y fisuras (ver Figura 32) (Servicios de Ingeniería Ltda 2011).

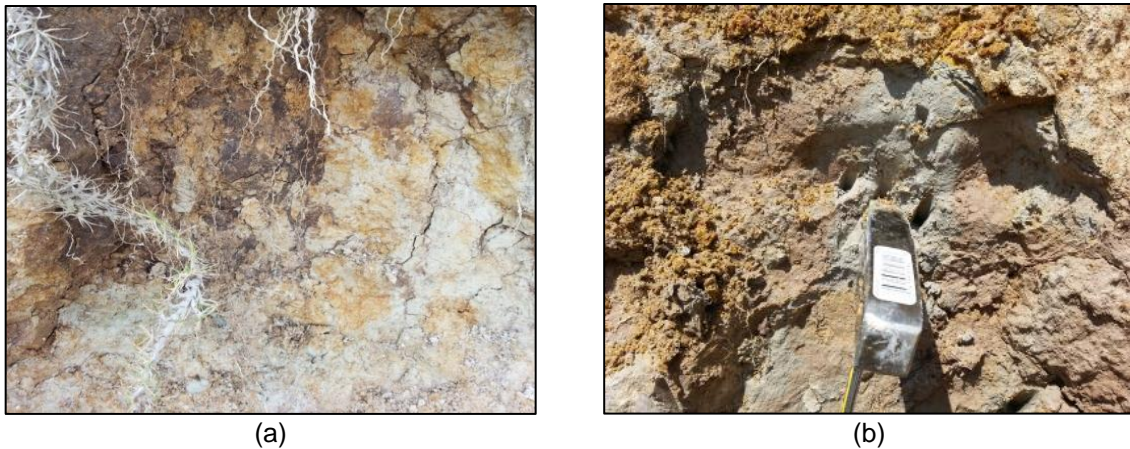


Figura 32. Vista general de los materiales aflorantes del sitio N° 2. a) Detalle de la fisuración sobre los materiales y b) Alto grado de humedad y degradación de los materiales.

El mecanismo de falla de este talud se clasifica según la metodología propuesta por (Cruden y Varnes 1996) como un movimiento compuesto o complejo, entendiéndose por compuesto aquellos movimientos de ladera que incluyen una combinación de uno o varios de los principales tipos de movimiento (caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral y flujo), ya sea dentro de las diferentes partes de la masa en movimiento o en las diferentes etapas del desarrollo del movimiento. En el sitio se identificó un movimiento principal de tipo deslizamiento traslacional y un deslizamiento rotacional en el sector sur del movimiento (ver Figura 31b). Este último probablemente se inició como traslacional, y debido a las condiciones topográficas y al avance retrogresivo del movimiento hacia la parte alta de la ladera, se convirtió en rotacional. El movimiento principal presenta una gran extensión (más de 100 metros).

3.1.2.1 Levantamiento de fisuras sobre los taludes

En este sitio no fue posible la toma de información relacionada con las fisuras, ya que el deslizamiento en el momento de las visitas se encontraba intervenido, observándose la construcción de múltiples obras para el manejo de escorrentía tales como canales en sacos de suelo cemento, trinchos de madera, revegetalización de área de suelo movida, entre otros.

3.1.3 Descripción del Sitio N° 3

Este sitio se localiza sobre la margen derecha en el KM 104+200 de la vía Bogotá – Tunja, en el sector Ventaquemada (ver localización en la Tabla 7), el cual hace parte de los taludes intervenidos durante la construcción de la doble calzada CBTS.

Tabla 7. Coordenadas sitio N° 3

	Grados	minutos	Segundos
Latitud	5	25	20
Longitud	73	27	05

La geometría del talud presenta una inclinación de aproximadamente 50°, y la altura promedio es de 10 metros, como se puede observar en la Figura 33a.



(a)



(b)

Figura 33. a) Vista general de la geometría del sitio N°3 y b) Contacto entre el escarpe principal y el escarpe del flanco derecho del deslizamiento.

Los materiales aflorantes corresponden a la Formación Bogotá (E1b), evidenciándose espesos niveles de arcillolitas limosas abigarradas con tonalidades fuertes de naranja y ocre rojizo por la presencia de óxidos de hierro y presencia de agua en las fisuras que contribuye a la inestabilidad del talud (ver Figura 34).

El mecanismo de falla que se presenta en el este sitio corresponde a un deslizamiento rotacional según la clasificación de Cruden y Varnes (1996), exhibiendo una superficie de ruptura curvilínea y cóncava hacia arriba. El movimiento de deslizamiento es más o menos de rotación alrededor de un eje que es paralelo al contorno de la pendiente. En la Figura 35 se puede ver con detalla la superficie de ruptura del deslizamiento.

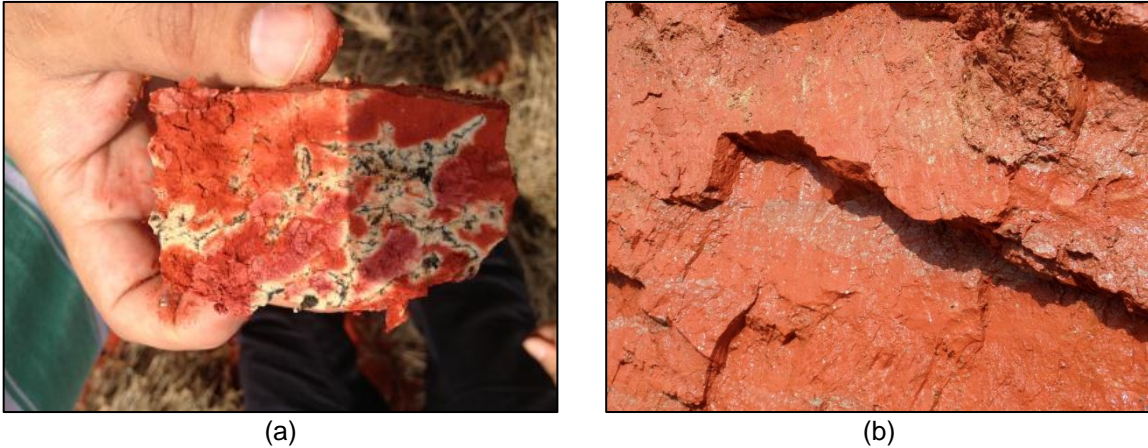


Figura 34. a) Estructuras formadas por agentes que favorecen el grado de desarrollo de la oxidación y b) Presencia de fisuras llenas de agua, facilitando el desprendimiento del material.



Figura 35. Detalle de la superficie de ruptura del deslizamiento rotacional del sitio N°3

3.1.3.1 Levantamiento de fisuras sobre los taludes

Para el levantamiento de las fisuras se utilizó un formato para la toma de: Tipo (Junta o fisura, Estratificación, Falla, Talud), Dirección de buzamiento, Buzamiento, Espaciamiento, Persistencia, Abertura, Relleno (Cerrada, Cementada, Relleno con arcilla, Relleno con arena, Relleno con grava), Aspereza

(Lisa, Rugosa, Muy Rugosa) y Presencia de agua (Este parámetro define si en los materiales se encontró humedad y si afloraba agua a través de las discontinuidades).

A continuación se presenta un resumen del levantamiento.

- ❖ Dirección de buzamiento: Varía entre 134° y 152°.
- ❖ Buzamiento: Varía entre 70° y 78°. (Favorable a la estabilidad)
- ❖ Espaciamiento: Entre 15 y 21 centímetros (junto).
- ❖ Persistencia: Media (poca continuidad).
- ❖ Abertura: Entre 1 y 2 milímetros (Abierta).
- ❖ Relleno: Cerrada
- ❖ Aspereza: Lisa
- ❖ Agua: Si. Abundante.
- ❖ Inclinación del talud: 50°
- ❖ Mecanismo de falla: Rotacional.

En las Figura 36 y Figura 37 se muestra el procedimiento llevado a cabo en las visitas, para la toma de la información de las fisuras y geometría del talud.

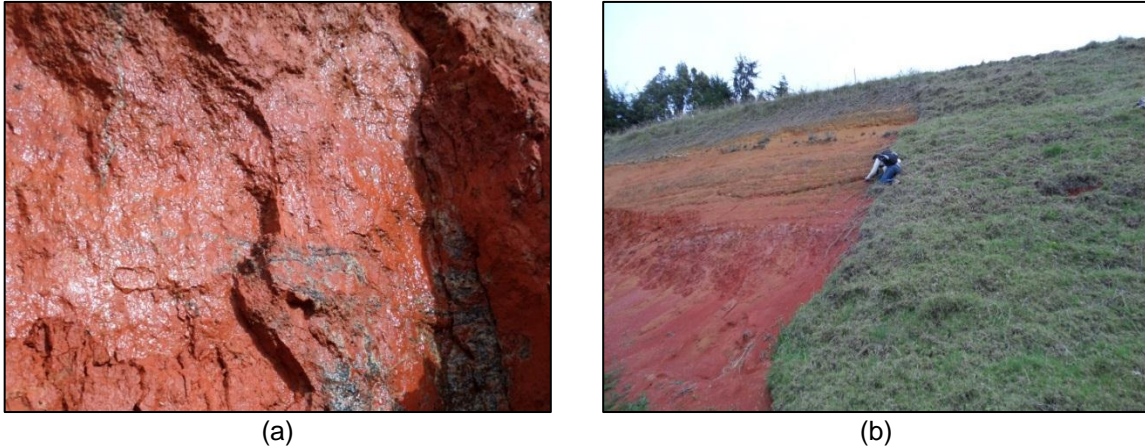


Figura 36. a) Presencia de agua en las fisuras del talud y b) Medición de la inclinación y buzamiento del talud.

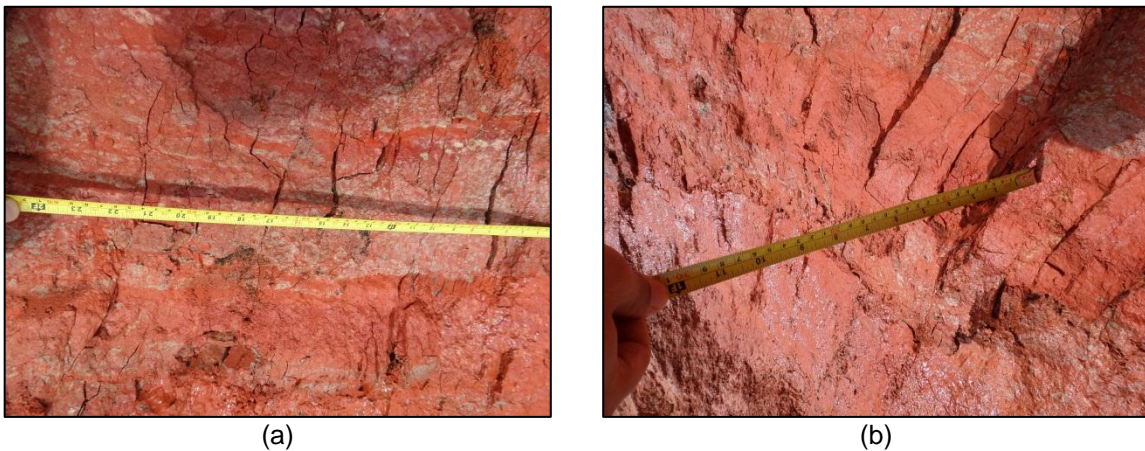


Figura 37. a y b). Medición de la separación y profundidad de las fisuras.

El levantamiento completo se encuentra en el ANEXO A.

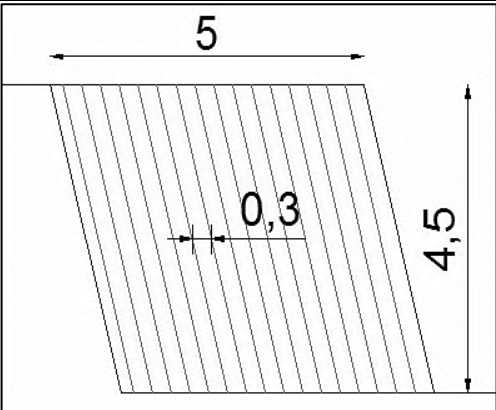
3.1.4 Definición de los parámetros de separación, orientación y persistencia de las fisuras

Teniendo en cuenta los resultados de los levantamientos en campo realizados en los sitios seleccionados, se determinaron las siguientes propiedades de las fisuras para el talud virtual:

- ❖ Separación de las fisuras: se eligió teniendo en cuenta los levantamientos de campo y las limitaciones de la simulación en cuanto al tamaño de partícula (ver numeral 3.2.3). En la Tabla 8 se puede ver la representación esquemática de las separaciones.
- ❖ La persistencia de las fisuras se dividió en tres tipos, los cuales se encuentran representados en la Tabla 9.

Debido a la imposibilidad de medir la orientación en profundidad de las fisuras, se definieron tres orientaciones en función de cómo podrían llegar a afectar la estabilidad del talud. En la Tabla 10 se representan los tres tipos de orientaciones a analizar en las simulaciones.

Tabla 8. Descripción de los tipos de separación

Separación	Representación esquemática
Juntas	

Separación	Representación esquemática
Separadas	
Muy separadas	

Tabla 9. Descripción de los tipos de persistencia

Persistencia	Representación esquemática
Totalmente Persistente	

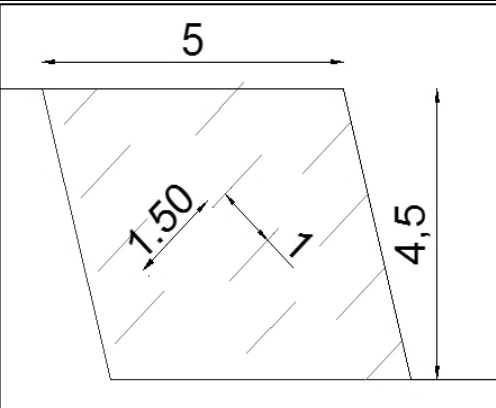
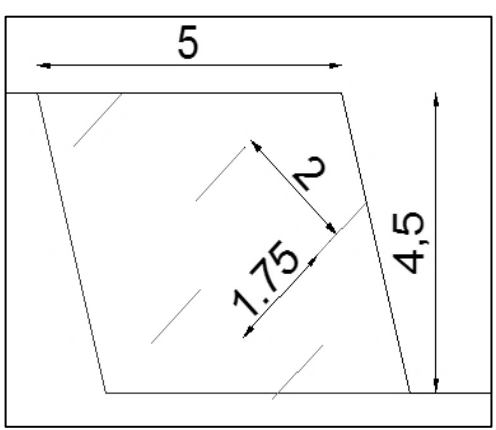
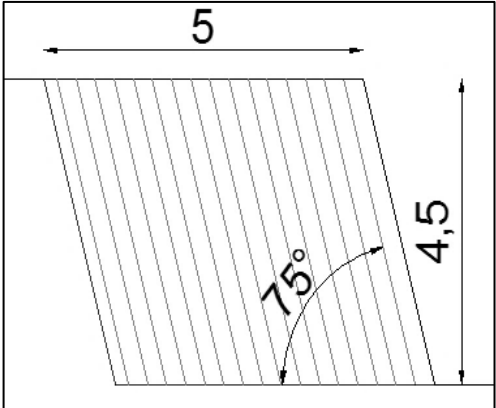
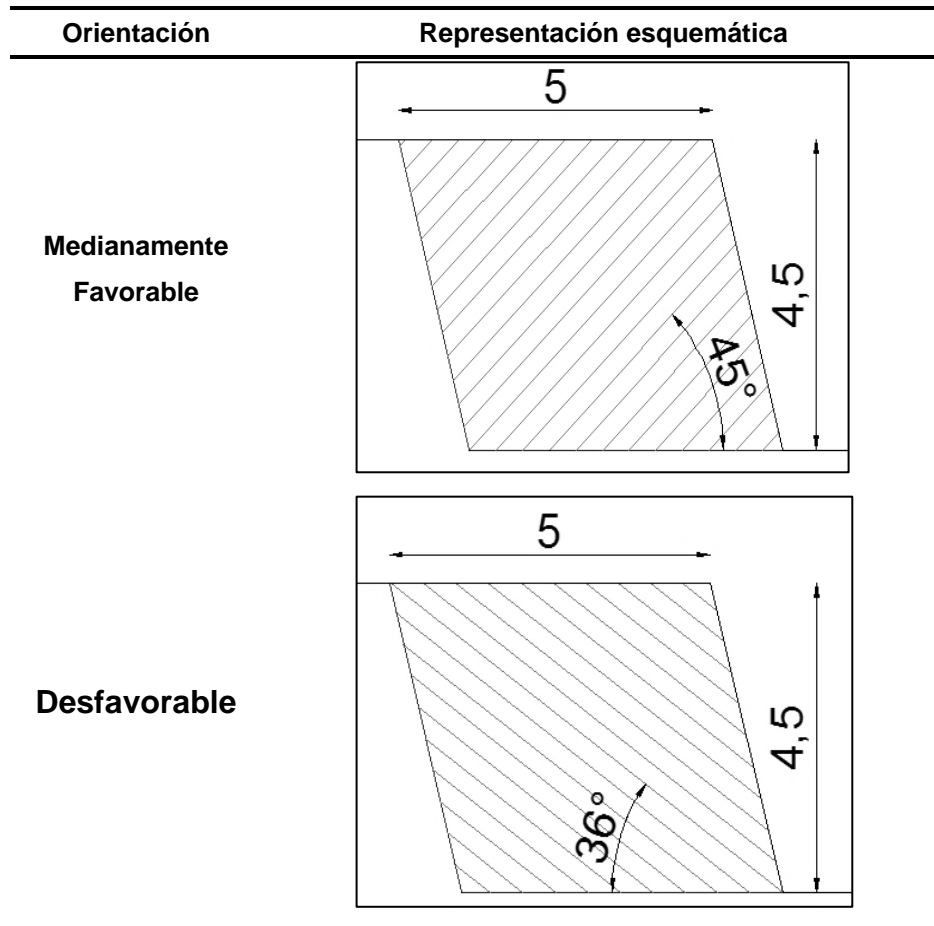
Persistencia	Representación esquemática
<p>Medianamente Persistente</p>	
<p>Poco persistente</p>	

Tabla 10. Descripción de los tipos de orientaciones

Orientación	Representación esquemática
<p>Favorable</p>	



3.2 Formulación de la simulación

La construcción de la rutina para el análisis de los mecanismos de falla en IGM's se realizó utilizando análisis numérico en DEM, utilizando el programa PFC-2D[®] (descrito en el numeral 2.2.2). El PFC-2D[®] es un software que permite crear una rutina de análisis para cualquier material desde el punto de vista discreto, a partir de una serie de comandos propios y un lenguaje de programación llamado "Fish", en el cual, el usuario crea las condiciones de contorno y control de la simulación. Itasca Consulting Group Inc. (2002) recomienda siete pasos para el desarrollo de un análisis numérico en geomecánica (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Pasos recomendados para un análisis numérico en geomecánica

Paso	Descripción
1	Definir los objetivos para el modelo de análisis
2	Crear una figura conceptual del sistema físico
3	Construir y correr modelos simples idealizados
4	Datos del arreglo del problema específico
5	Prepara una serie de detalles del modelo a correr
6	Realizar los cálculos del modelo
7	Presentar resultados para interpretación

Fuente: (Itasca Consulting Group Inc. 2002)

Entiéndase por simulaciones o modelos simples, aquellos algoritmos que no exigen un alto grado de programación, es decir, que no requiere de gran esfuerzo computacional y son rutinas cortas.

En este apartado se realiza una breve descripción desde el inicio hasta el final de la concepción de la rutina de análisis aplicada en la modelación de taludes.

3.2.1 Modelo conceptual del sistema físico

El problema físico a representar consiste en la representación de los mecanismos de falla en los taludes de corte efectuados para la construcción de vías, analizando la fisuración como principal causante en la inestabilidad de los taludes, la cual se da producto de la degradación de los IGM's.

La Figura 39 representa la conceptualización del problema físico, idealizada con base en las observaciones de campo, dónde:

h_2 : Altura del talud virtual.

h_1 : Profundidad por debajo del pie del talud.

b_1 : Ancho del talud virtual.

b_2 : Ancho después del pie del talud.

th : Talud horizontal.

tv : Talud vertical.

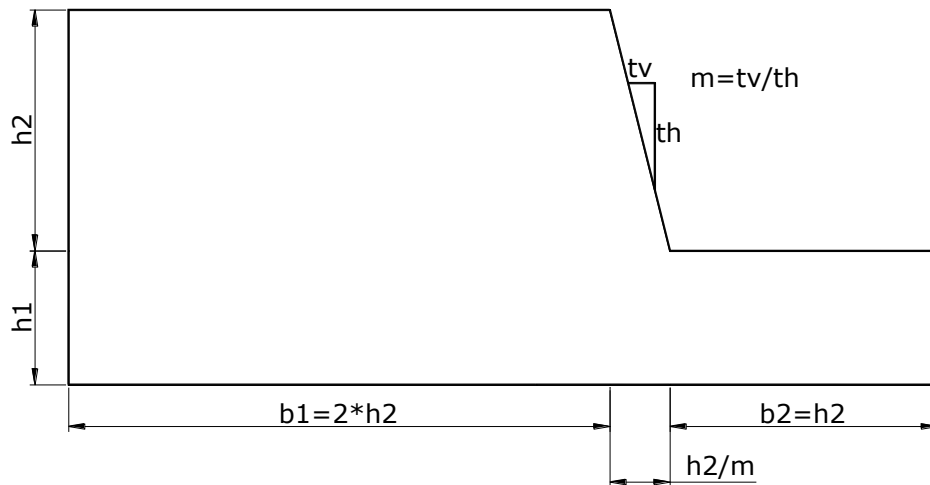


Figura 38. Esquema del talud virtual

Las dimensiones del talud fueron escogidas luego de realizar las visitas de campo, así como simulaciones simples (algoritmos que no exigen un alto grado de programación), y donde se analizaron las condiciones de borde del problema.

De acuerdo a los levantamientos de campo, las alturas de los taludes visitados en la CBTS, varían desde 1.0 metro hasta los 15 metros; teniendo en cuenta el alcance de esta investigación, se decidió trabajar con una altura promedio de 5.0 metros.

El análisis de los efectos de borde se realizó por medio de simulaciones simples teniendo en cuenta la altura del talud de 5.0 metros. En la Figura 39a se muestra la conceptualización del talud en el programa PFC-2D[®], al cual se le asignaron propiedades a las partículas y los modelos de contacto, afectando la simulación solamente por la gravedad. En la Figura 39b se presenta el resultado de esta simulación, luego de 5.000 iteraciones de cálculo, en donde se puede evidenciar el efecto de borde en la parte superior izquierda del talud; para evitar este efecto se

tomó un ancho del talud igual al doble de la altura. Por otro lado, también se puede observar que en la parte inferior derecha se presenta el efecto de borde.

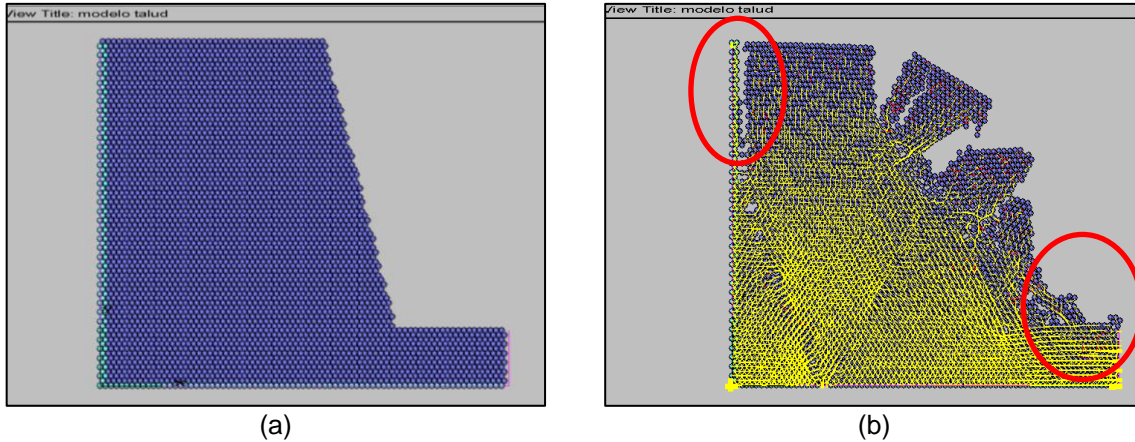


Figura 39. Efectos de borde. a) Idealización del talud con altura de 5.0 metros y b) Simulación luego de 5.000 iteraciones

Luego de realizar simulaciones con diferentes combinaciones de dimensiones, y con el fin de minimizar los efectos de borde, las dimensiones del talud virtual finales se asignaron en función su altura; estas dimensiones se encuentran consignadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Dimensiones del talud virtual

Dimensión	Valor	Relación con h2
<i>h1</i>	2.5 m	$h2/2$
<i>h2</i>	5.0 m	--
<i>b1</i>	10.0 0	$2 * h2$
<i>b2</i>	5.0 m	$h2$
<i>th</i>	0.25	--
<i>tv</i>	1	--

3.2.2 Estado inicial de esfuerzos en la simulación

El estado de esfuerzos inicial en el terreno corresponde a los esfuerzos verticales y horizontales, a los cuales está sometido el subsuelo. Si se supone que el

subsuelo es un semiespacio elástico e isótropo, sin más acciones que las gravitatorias perpendiculares al contorno, la presión vertical σ_v a una profundidad z (ver Figura 40) puede ser determinada mediante la Ecuación 11 (Serrano 2004).

$$\sigma_v = \gamma * z$$

Ecuación 11

$$\gamma = \rho * g$$

Ecuación 12

Dónde:

σ_v : es el esfuerzo vertical a una profundidad z .

γ : es el peso específico del suelo.

ρ : es la densidad del suelo.

g : es la gravedad de la tierra equivalente a 9.81 m/s.

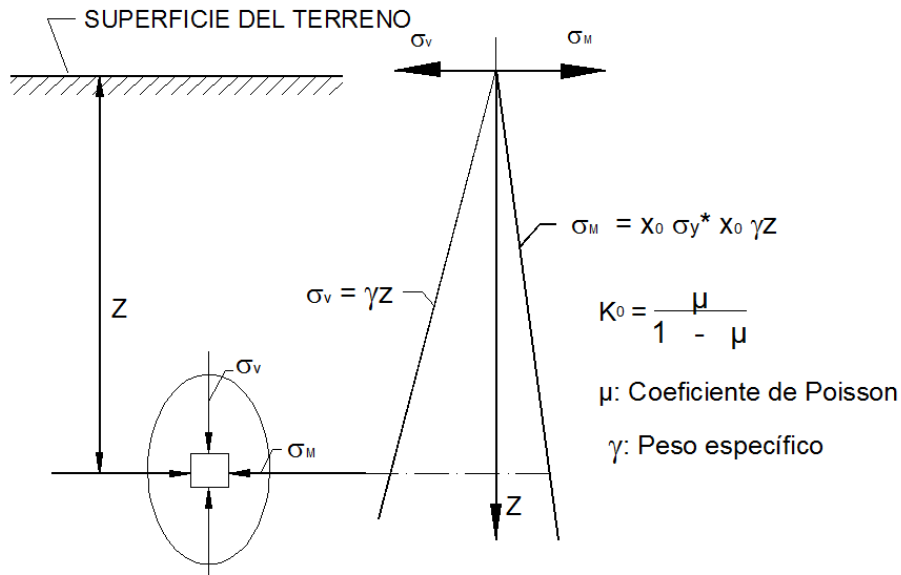


Figura 40. Tensiones geostáticas (Serrano 2004).

La rutina de programación consistió en los siguientes pasos:

1. Geometría de la simulación: se idealizó en un rectángulo de 10 metros de ancho por 5 metros de altura.
2. Generar el arreglo de partículas: se dibujó un arreglo de partículas ordenado, con un radio de 0.15 m, y traslapeo entre partículas correspondiente al 10% del radio de la partícula. El número partículas del arreglo fue de 1456 (Ver Figura 41).
3. Asignar parámetros de resistencia, densidad, y gravedad a los modelos de contacto y las partículas. Se adoptaron los siguientes valores:
 - ❖ Densidad de las partículas: 2000 kg/cm³
 - ❖ Relación de rigideces: $K_n/K_s = 1$.
 - ❖ Gravedad: 9.81 m/s.

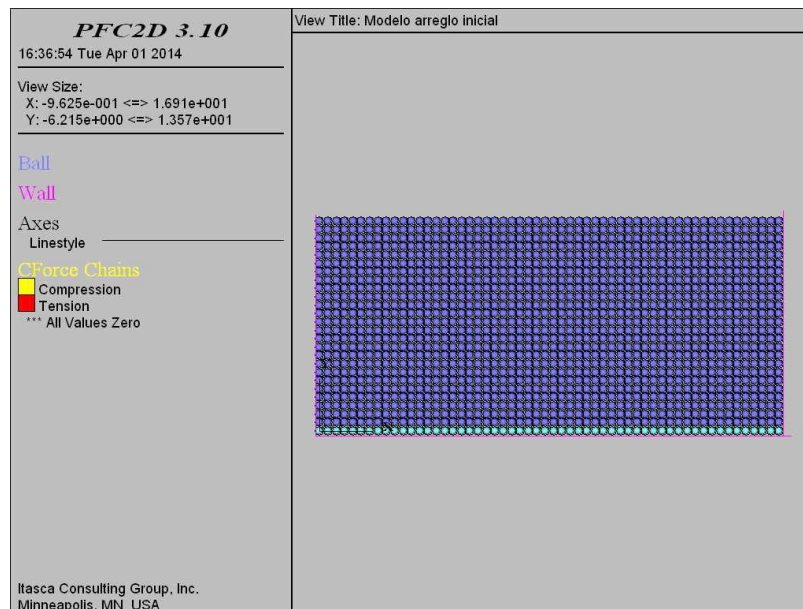


Figura 41. Idealización del problema.

4. Asignar condiciones de contorno: la simulación se realiza en un espacio finito, por lo cual se asigna restricción de movimiento vertical a las partículas que se

encuentran en la zona inferior del arreglo, para evitar que por efecto de la gravedad las partículas desciendan indefinidamente.

5. Ejecutar el algoritmo hasta que éste alcance el equilibrio de fuerzas: el criterio de equilibrio establecido se basa en el concepto de los comandos **muf** y **mcf** (*mean unbalanced force* y *mean contact force*), que ofrece el programa PFC-2D[®]; estos comandos fueron graficados respecto al número de iteraciones o ciclos de cálculo propios del PFC-2D[®].

En la Figura 42 se observa que la simulación alcanza un estado constante tanto en **muf** (promedio de fuerzas desbalanceadoras) como en **mcf** (promedio de fuerzas de contacto), alrededor de 1500 ciclos; cuando se logra éste estado de equilibrio, se considera que se da el estado de esfuerzos inicial o geostáticos en la simulación. El número de ciclos requerido para que se dé el estado de esfuerzos geostáticos en una simulación varía según el tamaño de las y cantidad de partículas.

Para comprobar el estado de esfuerzos geostáticos en la simulación, se diseñó una subrutina que extrae el tensor de esfuerzos en cada partícula, así como su posición, para obtener el valor del esfuerzo vertical y horizontal a medida que varía la profundidad. Para esto, se eligieron las partículas contenidas en una misma línea de profundidad, luego de que se alcanzó el estado de equilibrio en la simulación (ver Figura 43), y se extrajo el valor del esfuerzo σ_{22} correspondiente al esfuerzo vertical en la simulación; por otro lado se determinó el valor del esfuerzo vertical por medio de la Ecuación 11. En la Figura 44 se muestran los resultados, tanto del cálculo realizado por medio del PFC-2D[®] como el cálculo realizado con la Ecuación 11, que sería el valor exacto en condiciones elásticas e isotropas. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (índice que mide el grado de relación de dos variables), dándonos un valor muy cercano a 1, lo cual significa que los resultados están relacionados.

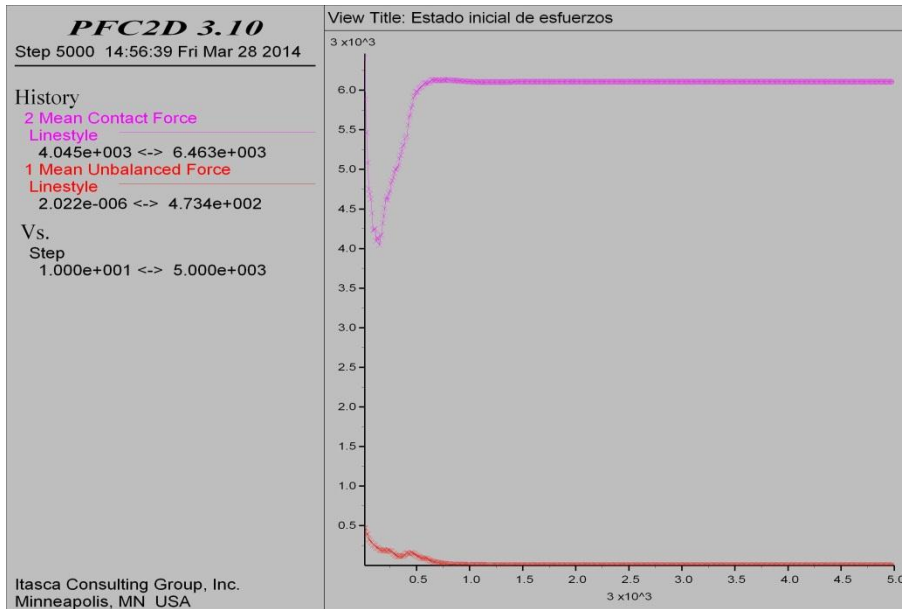


Figura 42. Tendencia de muf y mcf en función del número de ciclos

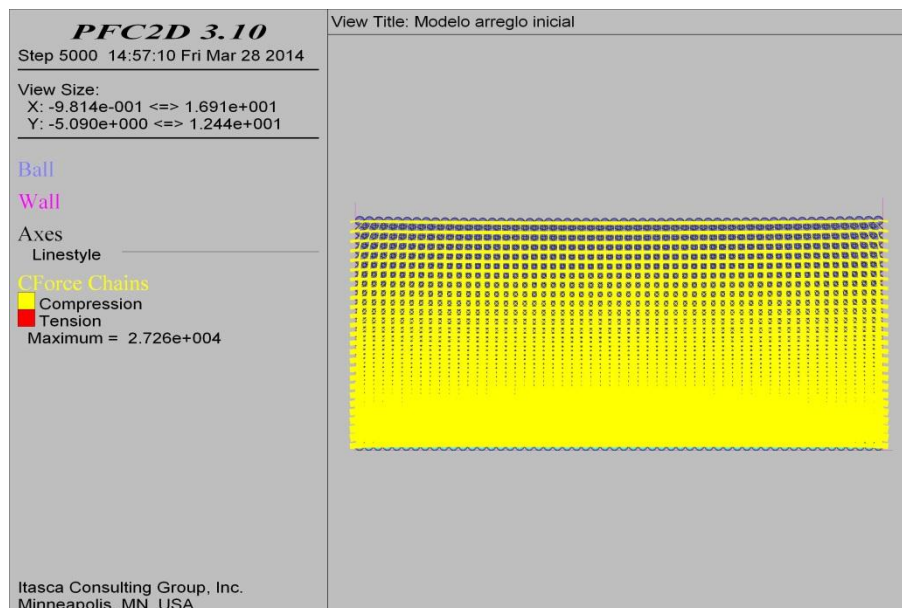


Figura 43. Estado final del arreglo luego de alcanzar el estado de esfuerzos inicial

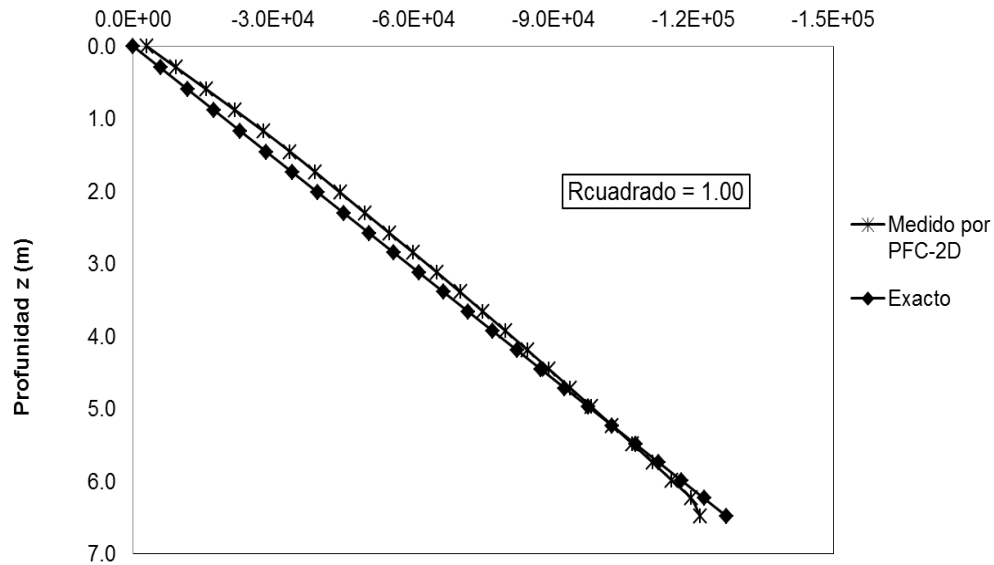


Figura 44. Esfuerzo vertical medido y exacto

Se determinó la diferencia entre el valor medido con el PFC-2D[®] y el valor calculado con la Ecuación 11, obteniéndose un error en promedio de 7.4%, el cual se le atribuye a la diferencia de porosidades en el talud virtual y la realidad, siendo la porosidad virtual superior a la que exhibe en la realidad el material de estudio (Mejía Camones et al. 2013).

3.2.3 Definición tamaño de partículas

El tamaño de partículas, es un parámetro de la simulación que tiene una influencia importante en los resultados de la modelación (Mejía Camones et al. 2013). El tiempo computacional requerido para ejecutar una simulación, resulta ser también un parámetro que depende del radio de la partícula, puesto que a mayor número de partículas mayor será el tiempo requerido para realizar un ciclo de cálculo propio en el PFC-2D[®].

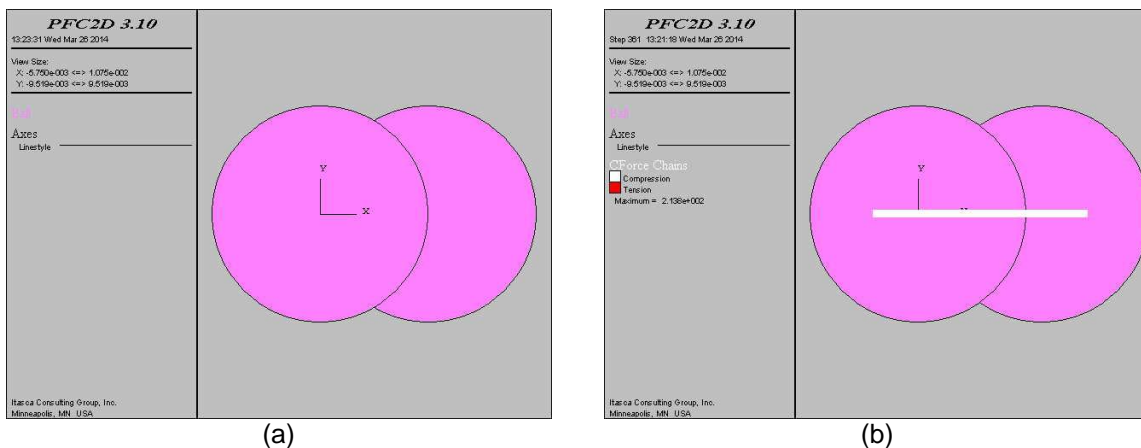
Para establecer un equilibrio entre el tiempo computacional y la calidad de los resultados, se realizaron simulaciones para modelos de dos partículas que permitieran definir el tamaño de las partículas. En primer lugar, se analizó la

variación del radio de las partículas, mediante simulaciones entre dos partículas, imponiendo una velocidad en el sentido x a una de las partículas, hasta alcanzar la ruptura de la resistencia del enlace (n_bond y s_bond). Los parámetros de las partículas y modelos de contacto utilizados se describen en la Tabla 13. En la Figura 45 se pueden observar los diferentes estados de la simulación.

Tabla 13. Parámetros de la simulación

Parámetro	Valor
ks (N/m)	1.0E+05
kn (N/m)	1.0E+05
n_bond (Pa)	1.0E+04
s_bond (Pa)	1.0E+04
$Xvel$ (m/s)	2.0E-03
$C.Fricción$	3.0E-01

Se realizaron 6 variaciones de radio, desde 0.005 m hasta 0.03 m. En la Figura 46 se muestra la tendencia de la variación del radio y su influencia en la distancia a la cual se rompe el enlace (n_bond y s_bond). Se observó una relación lineal entre el radio de la partícula y el desplazamiento centro a centro que sufre la partícula hasta que se rompe el enlace que la mantiene con una unión virtual, luego de que se acaba el traslape impuesto inicialmente. Por otro lado, a mayor radio de la partícula, la simulación tardo menos ciclos para alcanzar la ruptura del enlace, por lo cual el tiempo computacional se hace más corto.



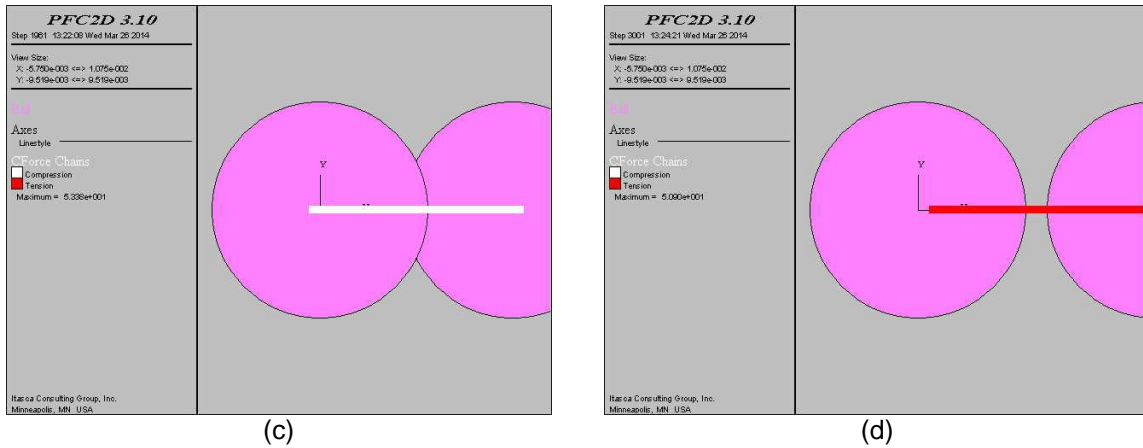


Figura 45. Estados de una simulación: a. Estado inicial de las partículas; b y c. Movimiento de la partícula de la derecha, se genera fuerza de contacto normal de compresión que van decreciendo con la distancia; d. La fuerza de contacto normal pasa a tensión, luego de que se acaba el traslape, hasta que el enlace se rompe.

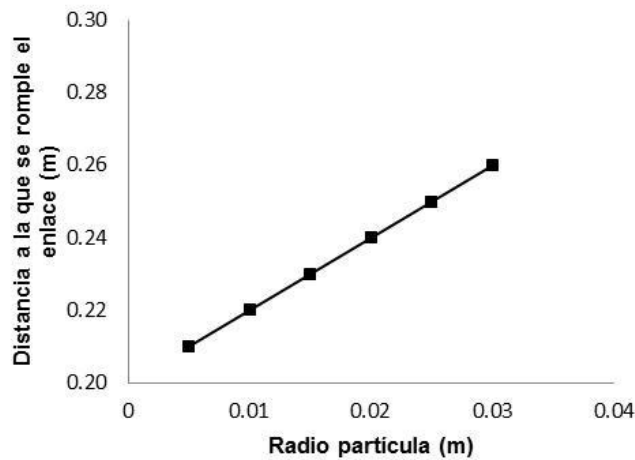


Figura 46. Variación del radio de las partículas

En segundo lugar, simulaciones sobre un talud virtual con diferentes radios de partículas y arreglo hexagonal se llevaron a cabo. Estas modelaciones permitieron analizar el tiempo computacional y el comportamiento del modelo, durante la ejecución de la rutina. Se puede concluir que el radio de 0.025 m, aunque es el que más tiempo computacional requiere, muestra una evolución detallada del movimiento de las partículas y posterior falla del talud, como se puede ver en la Figura 47.

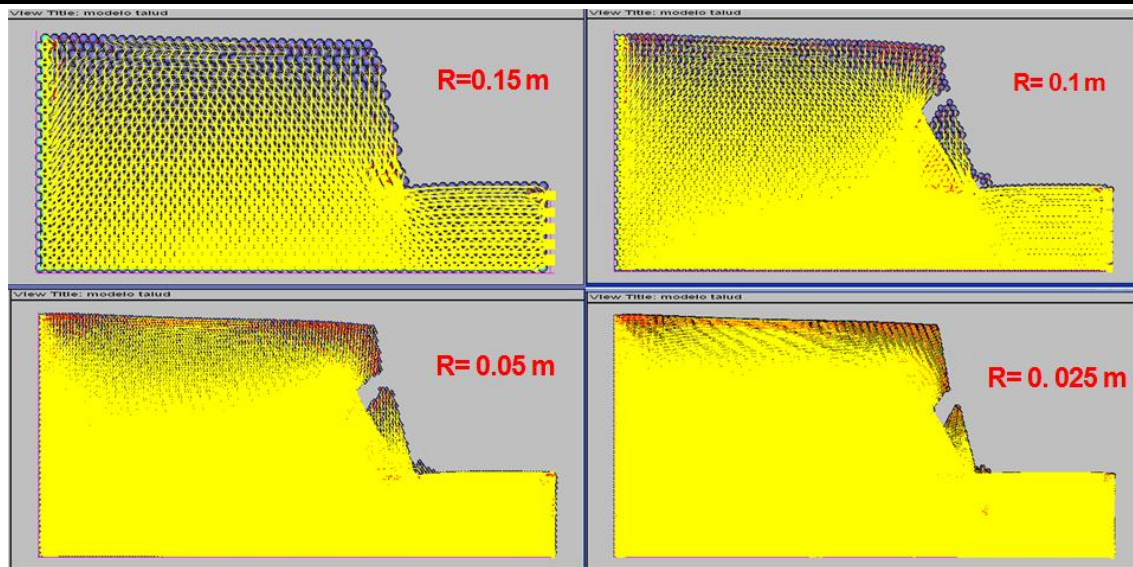


Figura 47. Modelos de talud con diferentes radios

Teniendo en cuenta los resultados de las simulaciones descritas anteriormente, se decidió trabajar con un radio de partícula de 0.025 m, el cual brinda buenos resultados y un tiempo computacional acorde con el desarrollo de esta investigación.

3.2.4 Arreglo de partículas

Se analizaron diferentes arreglos de partículas, con el fin de seleccionar la mejor aproximación al empaquetamiento real del material. Se inició realizando simulaciones sencillas entre pocas partículas y finalmente en una simulación de taludes virtuales para analizar el comportamiento.

3.2.4.1 Arreglo Ordenado

Inicialmente se realizaron simulaciones con arreglos de partículas de 4x4 hasta 20x20 para analizar el comportamiento de las fuerzas de contacto. Finalmente se realizaron simulaciones de un talud virtual.

Las simulaciones con arreglos cuadrados de 4x4 y 20x20 muestran una tendencia de separación vertical y horizontal, produciéndose una cadena de fuerzas de contacto en tensión en una misma línea, ya sea vertical u horizontal (Ver Figura 48).

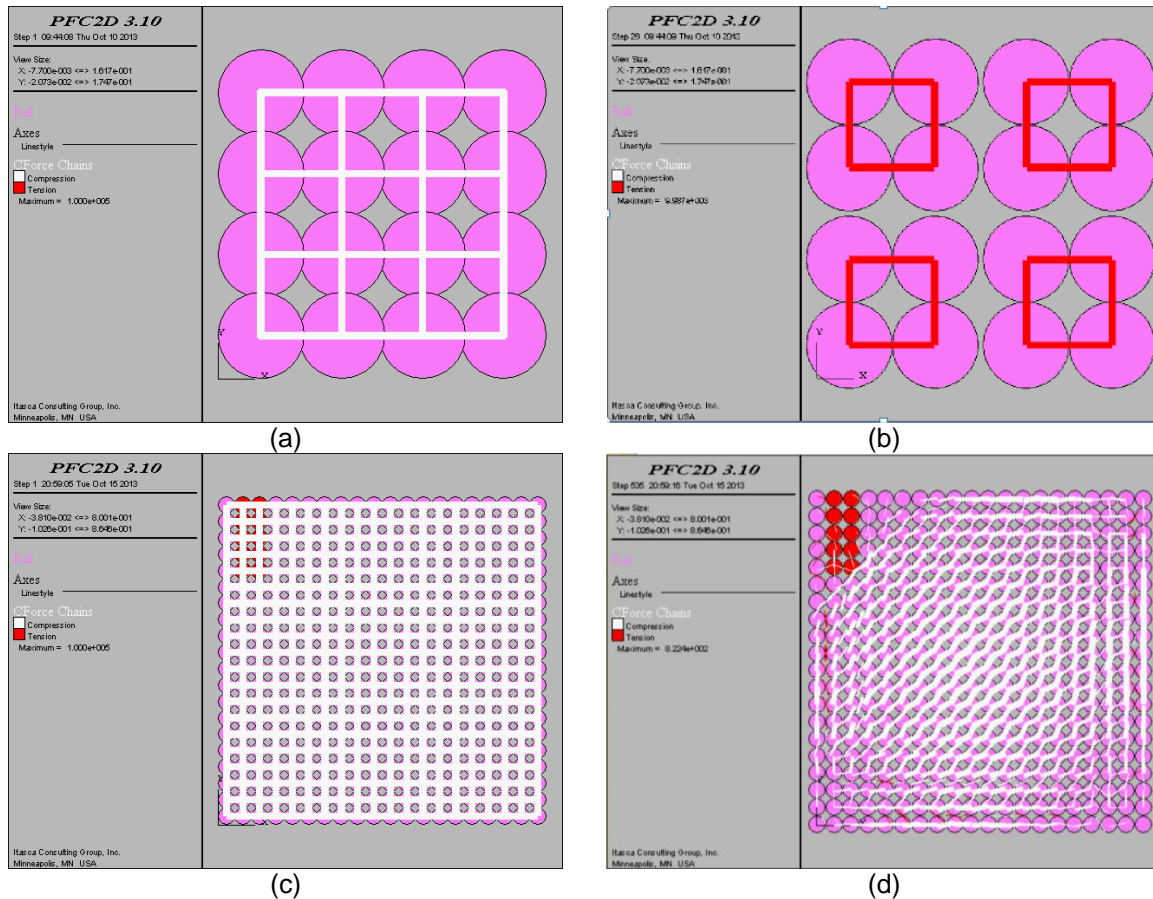


Figura 48. Simulaciones con arreglo ordenado. a y b) Arreglo 4x4 y c y d) Arreglo 20x20

Entre tanto en las simulaciones realizadas para taludes virtuales, se observó que la tendencia de falla preferencial, obedecía a la línea de contactos vertical predefinida por el arreglo ordenado, como se puede ver en la Figura 49.

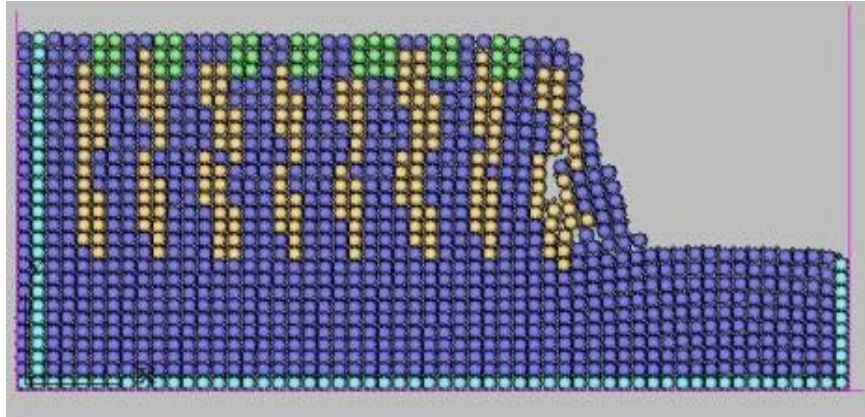


Figura 49. Simulación de un talud virtual con arreglo ordenado

3.2.4.2 Arreglo Hexagonal

Este arreglo consistió en colocar las partículas en arreglo “tres bolillo”, es decir, filas desplazadas un radio con el fin de, que el centro de las partículas de estas filas, no coincidiera con el centro de las partículas de las filas superior e inferior, de este modo se cambiaría la orientación de las fuerzas de contacto que se evidenciaron en el arreglo ordenado.

Se simularon arreglos hexagonales de 20x20 partículas y taludes virtuales, analizando el comportamiento de las fuerzas de contacto y el desplazamiento de las partículas. En el arreglo de 20x20, al inicio de la simulación, se puede ver que la tendencia de las fuerzas de contacto cambió con respecto al arreglo ordenado, evidenciándose ahora, una línea de fuerzas de contacto diagonal (ver Figura 50). Luego de cierto número de ciclos, la tendencia de los desplazamientos de las partículas y de las fuerzas de contacto siguen la línea vertical de los contactos, la cual exhibe una tendencia en zigzag como se muestra en la Figura 50 parte b.

Entre tanto en las simulaciones llevadas a cabo en geometrías de taludes virtuales, la orientación de las fuerzas de contacto como se puede observar en la Figura 51, siguen una línea de tendencia diagonal, correspondientes a la línea de unión o contacto de las partículas, produciendo de esta manera una superficie

preferencial de falla. Esta tendencia, también se puede notar en la Figura 47, en simulaciones con diferentes tamaños de partículas.

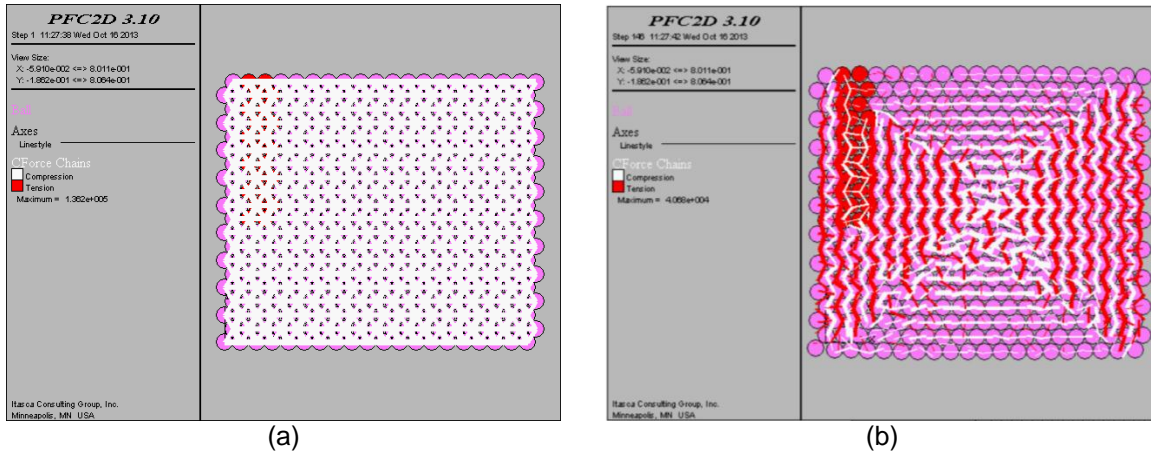


Figura 50. Arreglo 20x20. a. Fuerzas de contacto al inicio de la simulación y b. Fuerzas de contacto luego de 150 ciclos

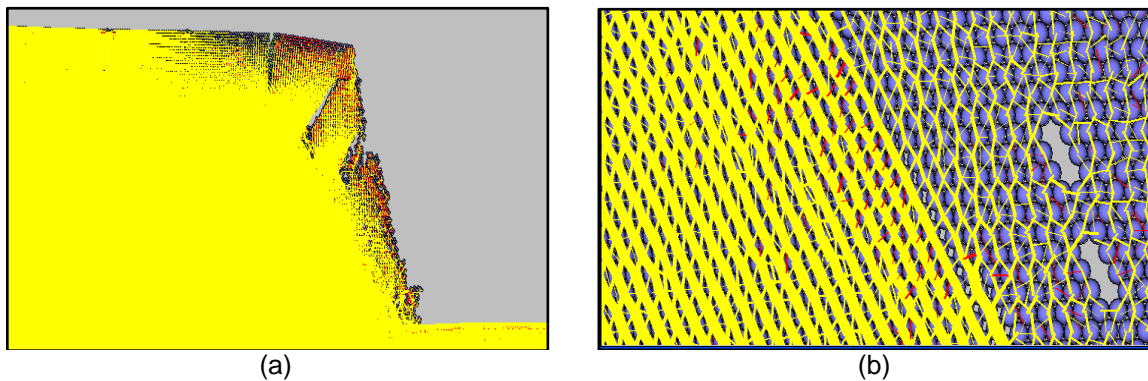


Figura 51. Simulaciones en geometrías de talud virtual. a. Modelo fallado y b. detalle de fuerzas de contacto dentro del arreglo hexagonal

3.2.4.3 Arreglo combinado

Un arreglo combinado surge de la necesidad de evitar las tendencias de falla o deslizamiento preferencial de las partículas evidenciadas en los arreglos ordenados y hexagonales. Este arreglo consiste en un arreglo ordenado con la inclusión de partículas de menor tamaño en los espacios vacíos como se muestra en la Figura 52, de esta manera las fuerzas de contacto se distribuyen en todas las direcciones, evitando así líneas de debilidad y superficies predefinidas de falla.

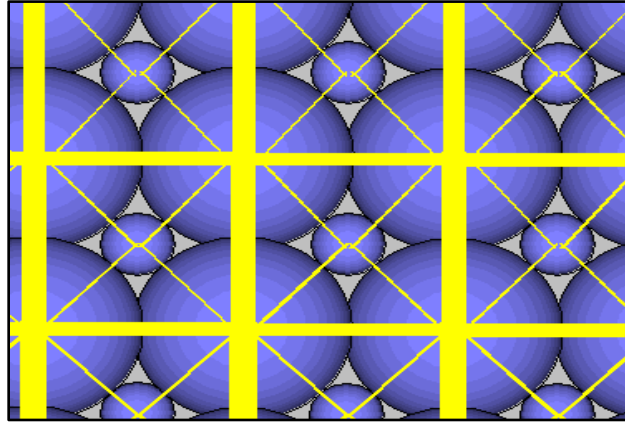


Figura 52. Vista de las fuerzas de contacto en el arreglo combinado

Analizando los tres arreglos propuestos, se eligió el arreglo combinado para la realización de las simulaciones de taludes virtuales, teniendo en cuenta que minimiza los efectos de líneas preferenciales de falla y reduce los vacíos con respecto al arreglo ordenado.

Debe tenerse en cuenta que el mejor arreglo sería un arreglo desordenado, que obedezca o represente lo mejor posible la fábrica y estructura del suelo.

3.2.5 Parámetros de los modelos de contacto

Los parámetros de los modelos utilizados en las simulaciones se encuentran consignados en la Tabla 14, los parámetros de densidad y coeficiente de fricción corresponden a valores obtenidos en ensayos de laboratorios realizados en los materiales de la concesión vial Briceño Tunja – Sogamoso (Ramírez y Ramírez 2013).

Tabla 14. Propiedades microscópicas utilizadas en el arreglo de los taludes virtuales

Parámetro	Valor	Unidad
Radio mayor (R_1)	2.5	cm
Radio menor (R_2)	0.86	cm
ks/kn	1	
Densidad	2000	kg/cm ³
C. Fricción	0.2	

Parámetro	Valor	Unidad
Traslapo	$0.1 * R$	%
Resistencia normal del contacto (n_bond)	Criterio de degradación del material	
Resistencia al corte del contacto (s_bond)		

El coeficiente de fricción utilizado en el desarrollo de esta investigación corresponde a coeficiente de fricción a nivel de partículas y no el de la muestra, dado que no se realizó calibración de parámetros con ensayos de laboratorio.

Los parámetros de resistencia normal y de corte de los contactos, se explican con detalle más adelante.

3.2.6 Condiciones de contorno

En las simulaciones de taludes, no es posible representar un talud con dimensiones infinitas, por lo cual se hace necesario incluir condiciones de contorno que representen aproximadamente esta condición. En el numeral 3.2.1 se definieron las dimensiones del talud virtual a simular en este estudio, para minimizar los efectos de borde, por lo cual se incluyeron tres condiciones de contorno.

- ❖ Restricción de movimiento en el sentido y de las partículas de la parte inferior del arreglo del talud virtual (ver Figura 53).
- ❖ Restricción de movimiento tanto en sentido x como en y en la zona lateral derecha y lateral izquierda del arreglo del talud virtual (ver Figura 53).

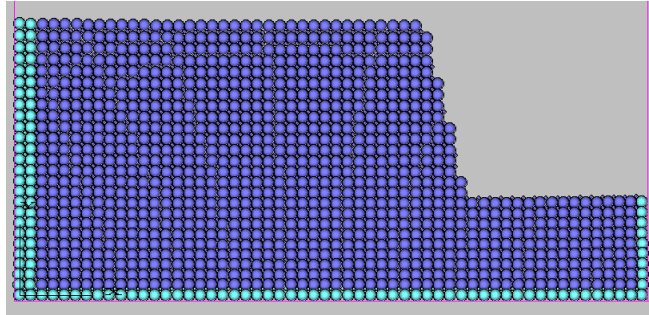


Figura 53. Condiciones de contorno en el talud virtual

3.2.7 Criterio de degradación del material

Los materiales que componen los taludes de estudio, corresponden a IGMs (llamados también rocas blandas o lodosas), los cuales fueron descritos el numeral 2.1, experimentan una degradación rápida de sus propiedades mecánicas y químicas, al ser expuestas a condiciones ambientales diferentes a los cuales fueron formados.

La cohesión, propiedad mecánica de estos materiales fue simulada en el presente estudio, mediante el modelo de contacto “contact bond” del PFC-2D[®], este modelo permite asignar una resistencia normal en el contacto enlazado F_c^n y una resistencia de corte en el contacto enlazado F_c^s que se genera entre dos partículas en contacto, manteniéndolas unidas.

Cuando la magnitud de la fuerza normal a tensión F^n actuante en el contacto es igual o supera la resistencia normal del enlace F_c^n , el enlace se rompe y las fuerzas de contacto normal y de corte se hacen cero (Itasca Consulting Group Inc. 2002). Entre tanto, cuando la magnitud de la fuerza de corte F^s es igual o excede la resistencia de corte del enlace F_c^s , el enlace se rompe, pero las fuerzas de contacto no son alteradas, siempre que la fuerza de corte no exceda el límite de fricción, y siempre que la fuerza normal sea a compresión (Itasca Consulting Group Inc. 2002). Es decir, queda activo el modelo de deslizamiento.

La cohesión es una de las propiedades mecánicas de los IGMs, que se degrada rápidamente con el tiempo; ésta degradación fue simulada mediante un criterio de máxima resistencia para los enlaces en función del traslapo y la rigidez de las partículas, como se muestra en las siguientes expresiones.

$$F_c^n = F_c^s = C_f * K * \delta$$

Ecuación 13

$$\delta = 0.1 * radio$$

Ecuación 14

Dónde:

$F_c^n = F_c^s$: es la resistencia normal y de corte en el enlace

$K = K_n = K_s$: es la rigidez normal y de corte de las partículas

C_f : Constante de falla o degradación del material

δ : es el máximo traslapo entre partículas, es decir, cuando el traslapo se pierde el enlace es roto.

Con el criterio de degradación del material, se limita el valor de la resistencia del enlace en los contactos entre las partículas, en función de la constante de falla y un máximo de traslapo. Este criterio facilita la generación de zonas de debilidad o propagación de fisuras existentes.

3.2.8 Definición de fisuras

Una de las características físicas de la degradación de los IGMs más notorias en los taludes de estudio, es la fisuración. Teniendo en cuenta que el presente estudio está orientado a simular la presencia de fisuras cerradas en el talud y su influencia en el mecanismo de falla, se elaboró una subrutina para la generación de fisuras dentro del talud virtual.

Una fractura o fisura puede ser representada en el modelo como una “zona” donde las partículas están en contacto, pero no “unidas” (Mejía Camones et al. 2013), es decir, los contactos situados a una distancia “d” del plano de la fisura son eliminados (Ver Figura 54)

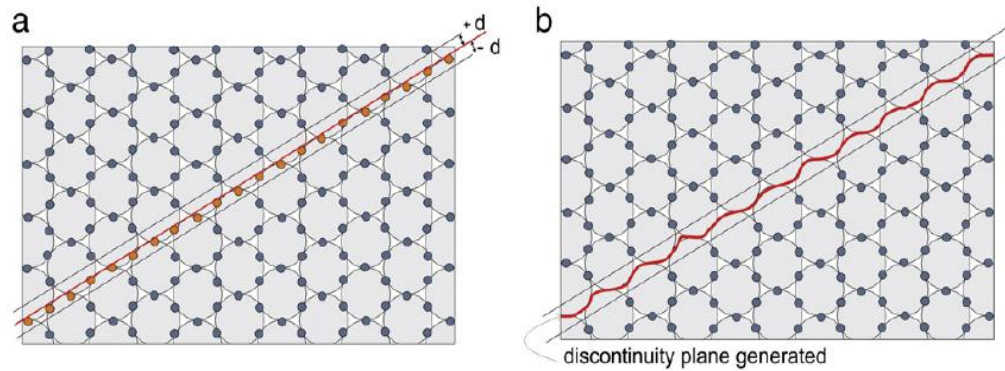


Figura 54. Criterio para generar una fisura. a) Línea que representa la fisura y la distancia “d” que determina la región donde los contactos son eliminados. b) Forma final de la fisura generada. (Mejía Camones et al. 2013)

En este estudio, una fisura cerrada fue simulada mediante zonas con resistencia de enlace cero “No Bonding”, a una distancia igual o menor al radio mayor del arreglo y a ambos lados del plano de la fisura, es decir, con un ancho igual a 2 veces el radio mayor, como se puede ver en la Figura 55.

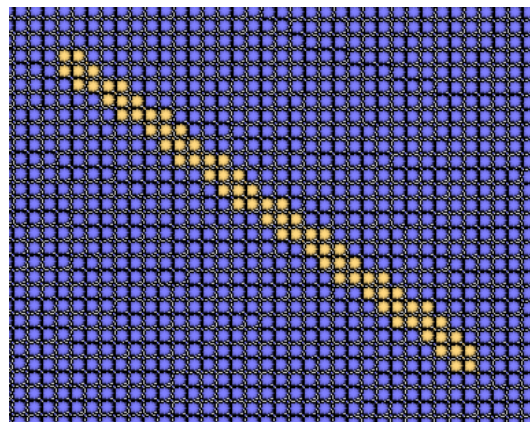


Figura 55. Idealización de una fisura.

La presencia de fisuras o zonas de debilidad, generan concentraciones de tensiones provocando la ruptura de los enlaces vecinos, favoreciendo la propagación y abertura de la fisura como lo muestra la Figura 56.

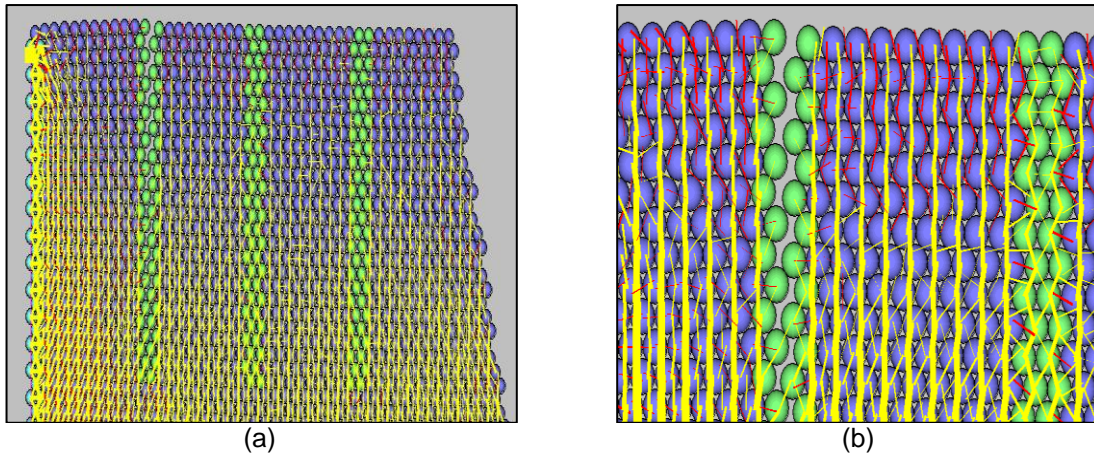


Figura 56. Fisuras en un talud. a) Idealización de fisuras en el talud virtual. b) Efecto de abertura de la fisura.

3.2.9 Criterio de falla

El establecimiento de un criterio de falla para taludes virtuales, se basó en el ensayo de laboratorio de resistencia a la compresión no confinada (INV E -152-07), dónde la resistencia a la compresión no confinada (q_u) es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple (ASTM D653 – 11). El Grupo de Geotecnia de la Universidad Nacional de Medellín define la resistencia a la compresión no confinada como el mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. Esta resistencia corresponde a la máxima carga alcanzada por unidad de área durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15% de deformación axial, lo que ocurra primero durante el ensayo.

Para el presente estudio se eligió como criterio de falla la deformación que experimenta una muestra, cuando se tiene el 50% de la resistencia a la

compresión no confinada $q_u/2$ de acuerdo a la norma INV E 152-07, es decir ϵ_{50} . La deformación experimentada por una muestra al 50% de la resistencia a la compresión no confinada, resultante de ensayos de compresión realizados sobre muestras de los materiales de la CBTS, se muestra en la Figura 57.

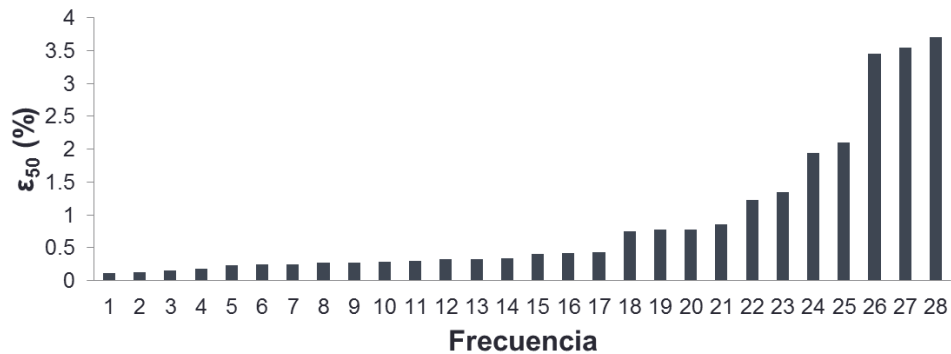


Figura 57. Tendencia de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión no confinada (Ramírez y Ramírez 2013).

En la Figura 57 se pueden observar tres rangos de deformación, los cuales para este trabajo se definieron como estados de falla del material. En la Tabla 15 se presentan los valores promedio de cada estado de falla.

Tabla 15. Rangos de deformación de los IGMs de CBTS

$q_u - \epsilon_{50}$ (%)	ϵ_{50} (%)	Estado de deformación o
$q_u/2$ (kPa)	Media	(Estado de falla)
163.65	0.27	Bajo
277.02	0.96	Medio
2861.65	3.57	Alto

Fuente: (Ramírez y Ramírez 2013)

Se analizaron diferentes criterios de falla, con el fin de seleccionar el que permitiera realizar un adecuado control de los movimientos de las partículas en el en el talud virtual.

Para los tres primeros criterios establecidos, se eligieron dos diferentes partículas de control en la cara del talud virtual (ver Figura 58) en donde se aplicaron los criterios de falla basados en la deformación unitaria de ensayos de compresión no confinada.

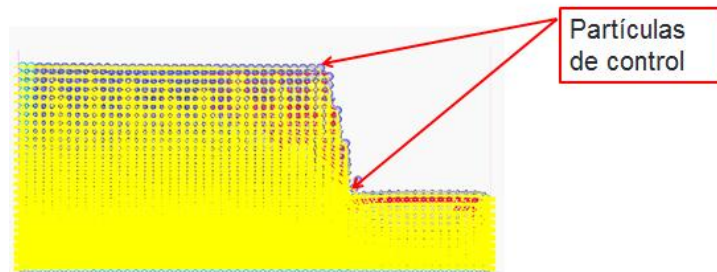


Figura 58. Partículas de control en un talud virtual

3.2.9.1 Criterio 1

Este criterio consistió en determinar el desplazamiento relativo de parejas de partículas en la cara del talud y compararlo con los estados de falla definidos en la Tabla 15.

El desplazamiento relativo se determinó calculando el vector resultante de los movimientos de las parejas de partículas de la cara del talud (R) y la distancia inicial que separa las dos partículas (ver Figura 59).

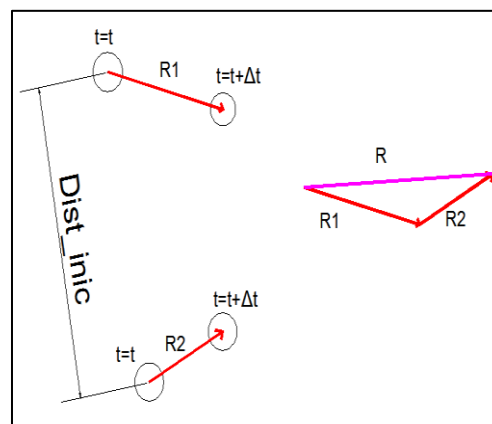


Figura 59. Esquema de determinación del vector resultante de desplazamientos de dos partículas

Se consideró estado de falla del talud cuando el desplazamiento relativo de las partículas superaba los estados de deformación o falla de los ensayos de compresión no confinada (ver Ecuación 15) definidos en la Tabla 15.

$$R/Dist_inic > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 15

Este criterio presenta dos desventajas principales:

- ❖ Si las partículas se mueven en dirección x una cantidad muy similar, el desplazamiento relativo sería pequeño y no ocurriría la falla.
- ❖ Se requeriría de un esfuerzo computacional alto para ejecutar múltiples combinaciones de partículas para poder hacer el control.

3.2.9.2 Criterio 2

Este criterio consistió en determinar el desplazamiento relativo de parejas de partículas en la cara del talud y compararlo con los estados de falla del material.

El desplazamiento relativo se determinó calculando las distancia inicial y final de las parejas de partículas de la cara del talud $R1$ y $R2$ (ver Figura 60).

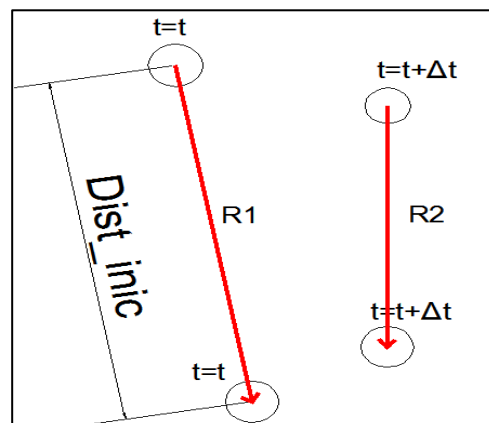


Figura 60. Esquema de determinación distancia inicial y final de dos partículas

Se consideró estado de falla del talud cuando el desplazamiento relativo de las partículas superaba los estados de deformación o falla de los ensayos de compresión no confinada (ver Ecuación 16) definidos en la Tabla 15.

$$R1/R2 > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 16

Este criterio presenta las mismas desventajas que nos proporcionaba el criterio 1, esfuerzo computacional alto y falencias en la falla.

3.2.9.3 Criterio 3

Este criterio consistió en determinar el desplazamiento relativo en las direcciones x y y de parejas de partículas en la cara del talud y compararlo con los estados de falla del material.

El desplazamiento relativo se determinó calculando las posiciones relativas de las dos partículas tanto en x como en y , siendo para la partícula 1 $\Delta x1$ y $\Delta y1$ y para la partícula 2 $\Delta x2$ y $\Delta y2$ (ver Figura 61).

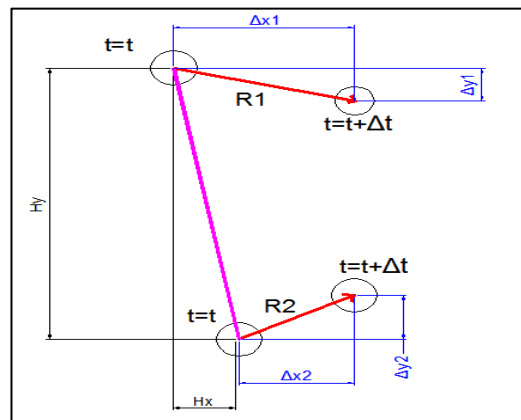


Figura 61. Esquema de determinación de los desplazamientos relativos en x y en y de dos partículas

Se consideró estado de falla del talud cuando se cumple alguna de las 4 condiciones descritas de la Ecuación 17 a la Ecuación 20.

$$\Delta x1/Hx > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 17

$$\Delta y1/Hy > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 18

$$\Delta x2/Hx > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 19

$$\Delta y^2/Hy > \varepsilon_{50}$$

Ecuación 20

La principal desventaja de este método al igual que los dos anteriores es el costo computacional requerido para realizar múltiples combinaciones de partículas y la ejecución de los controles.

3.2.9.4 Criterio final

El criterio final, definido para establecer los estados de falla en el talud consistió en determinar los desplazamientos promedios acumulados de las todas las partículas contenidas en un área de control, mediante los comandos preestablecidos en el PFC-2D®.

Se definió un área de control, teniendo en cuenta la influencia en la fisuración de los taludes visitados en la vía. Esta área corresponde a la que se indica en la Figura 62, donde δ_x equivale a h_2 .

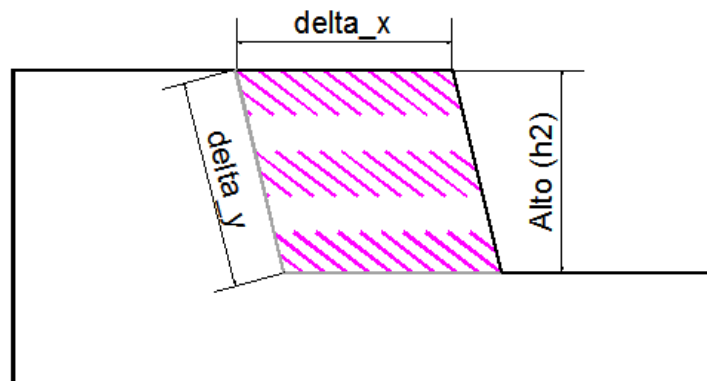


Figura 62. Esquema del área de medición de los desplazamientos relativos

El desplazamiento promedio es igual a la sumatoria del desplazamiento acumulado de cada una de las partículas dividido en el número de partículas dentro del área de medición.

$$\overline{desp(x, y)} = \frac{\sum desp(x, y)}{\# particulas} \quad \text{Ecuación 21}$$

El desplazamiento relativo es entonces igual a:

$$desp_relativo_x = \frac{\overline{desp(x)}}{\overline{delta_x}} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$desp_relativo_y = \frac{\overline{desp(y)}}{\overline{delta_y}} \quad \text{Ecuación 23}$$

Se considera un estado de falla cuando el desplazamiento relativo supera los límites de ε_{50} definidos en la Tabla 15.

En la Figura 63 se describe el paso a paso de la rutina de análisis de taludes, en donde el estado de falla determinado por ε_{50} , se dividió en 10 intervalos con el fin de analizar la evolución de la falla.

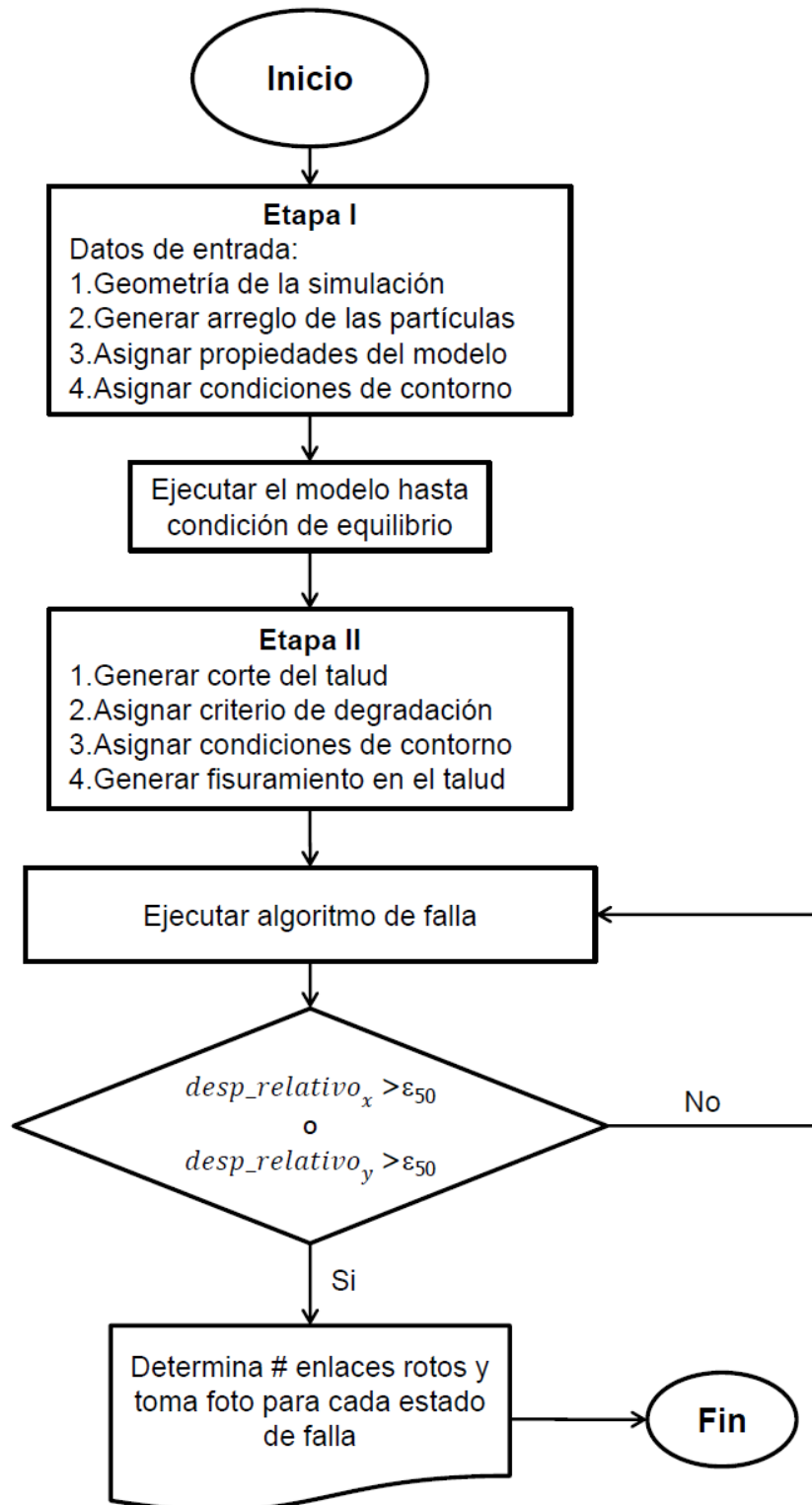


Figura 63. Diagrama de flujo de la rutina de simulación para el PFC-2D®

3.2.10 Determinación de la evolución de la falla

La determinación de la evolución de la falla se realizó comparando las simulaciones reales (con fisuras) con una simulación ideal (sin fisuras). En la simulación ideal se determinó el número de enlaces rotos para el estado de degradación bajo ($\varepsilon_{50} = 0.27\%$), y para las simulaciones reales se determinó el número de enlaces rotos para cada estado de falla; El estado de falla se dividió en 10 intervalos, con el fin de determinar el número de enlaces rotos y tomar una imagen de cada estado, para graficar la evolución de la falla.

El estado de falla se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Estado de falla} = 1 - \frac{\text{Enlaces rotos talud ideal}}{\text{Enlaces rotos talud real}} \quad \text{Ecuación 24}$$

El estado de falla se determinó desde 0.257% hasta 3.57% con incrementos de 0.33%.

Luego de alcanzar el estado máximo de falla definido en el numeral 3.2.9, se elaboró una subrutina para la toma de imágenes periódica hasta que, en la simulación se estableciera un estado de reposo (movimiento de las partículas nulo o muy bajo), utilizando el mismo criterio definido en el numeral 3.2.2, utilizando los comandos de *mcf* y *muf*.

El talud idea (referencia) no falla.

3.2.11 Escenarios de simulación

Una vez elaborada la rutina de análisis, se eligieron 27 combinaciones de fisuras variando la orientación, persistencia y separación, basadas en los análisis de los

levantamientos de campo detallados en el numeral 3.1.4. En la Tabla 16 se consignan los parámetros de las fisuras para cada combinación.

Tabla 16. Parámetros de las fisuras para las 27 combinaciones

Orientación	Persistencia	Separación (m)	Combinación
Favorable	Baja	0.30 - 1.0 y 2.0	1, 2 y 3
	Media	0.30 - 1.0 y 2.0	4, 5 y 6
	Alta	0.30 - 1.0 y 2.0	7, 8 y 9
Medianamente favorable	Baja	0.30 - 1.0 y 2.0	10, 11 y 12
	Media	0.30 - 1.0 y 2.0	13, 14 y 15
	Alta	0.30 - 1.0 y 2.0	16, 17 y 18
Desfavorable	Baja	0.30 - 1.0 y 2.0	19, 20 y 21
	Media	0.30 - 1.0 y 2.0	22, 23 y 24
	Alta	0.30 - 1.0 y 2.0	25, 26 y 27

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El principal resultado de esta investigación es la rutina de análisis numérico que permitió observar la evolución de la falla de un talud virtual sometido a diferentes combinaciones de fisuración, así como la influencia de los parámetros de las fisuras en la reproducción de los mecanismos de falla evidenciados en campo.

4.1 Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en términos de los tres tipos de orientación de las fisuras, tal como se definieron en la Tabla 16. Se presenta una imagen del máximo estado de falla alcanzado por cada simulación, en donde se puede observar como es el mecanismo de falla y la gráfica de la evolución de la falla.

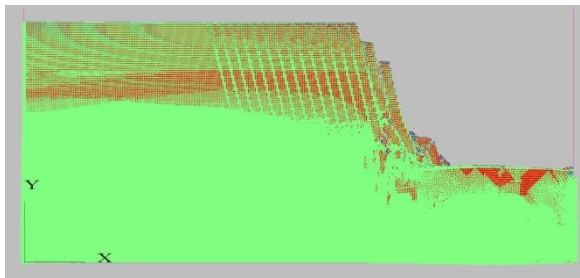
4.1.1 Orientación favorable a la estabilidad del talud

Para la orientación favorable se realizaron 9 simulaciones variando la separación y la persistencia según la Tabla 16.

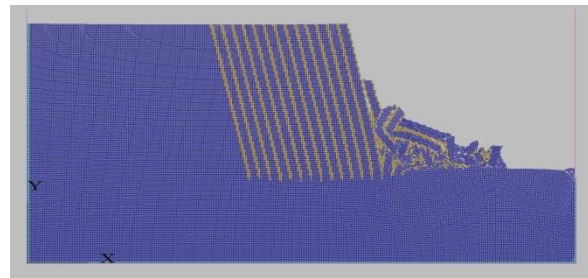
Las combinaciones 1, 4 y 7, las cuales corresponden a los tres tipos de persistencia y separación de 0.3 metros, alcanzaron el estado de falla máximo definido en la Tabla 15, es decir, 3.57% (ver Figura 64a, a la Figura 66a). Entre tanto las combinaciones 2, 3, 5, 6, 8 y 9 solo alcanzaron el estado de falla del 3.24% (ver Figura 67a a la Figura 72a).

Se realizaron curvas de evolución de falla desde 0.257% hasta el máximo estado de falla alcanzado para cada simulación con incrementos de 0.33%, en las cuales se puede observar cómo se van rompiendo los enlaces entre partículas, a medida que avanza la simulación (ver Figura 64d a la Figura 72d).

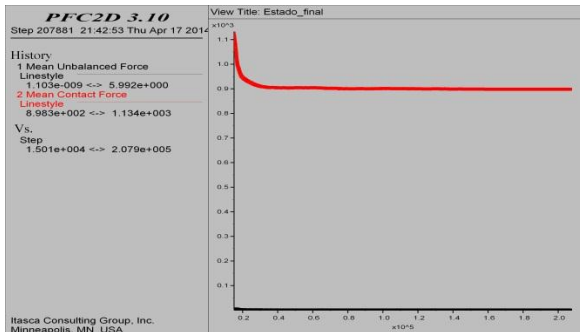
El numeral (b) y (c) de la Figura 64 a la Figura 72 corresponde a la figura del talud virtual al alcanzar el estado de reposo y la gráfica de *muf* y *mcf* (criterio de reposo del movimiento), para cada simulación respectivamente.



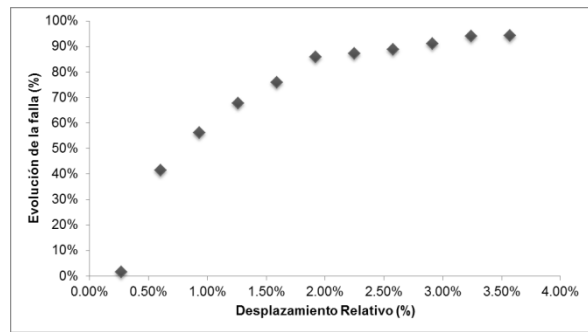
(a) Numero ciclos 41,080



(b) Numero de ciclos 207,881

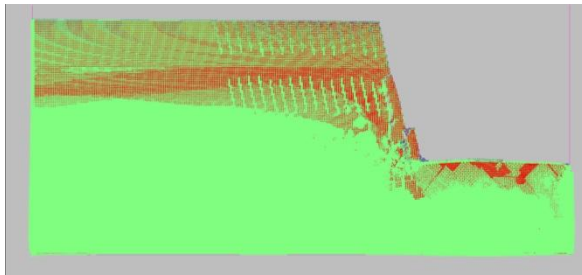


(c)

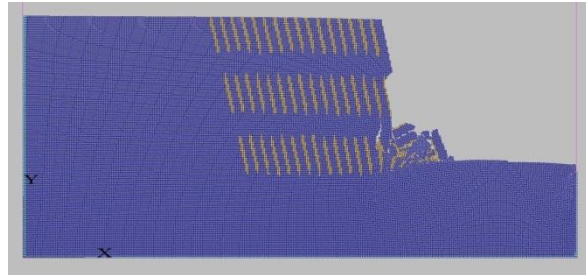


(d)

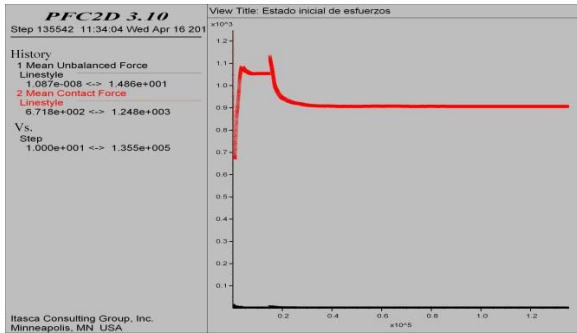
Figura 64. Combinación 1 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla, c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



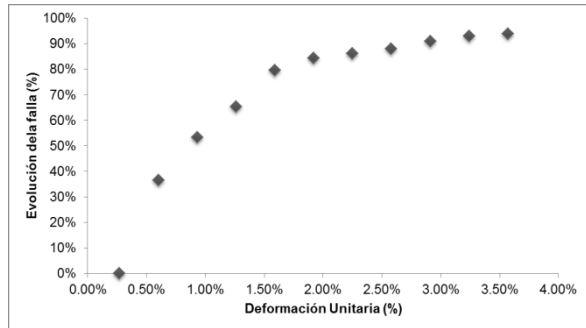
(a) Numero ciclos 32,260



(b) Numero de ciclos 135,542

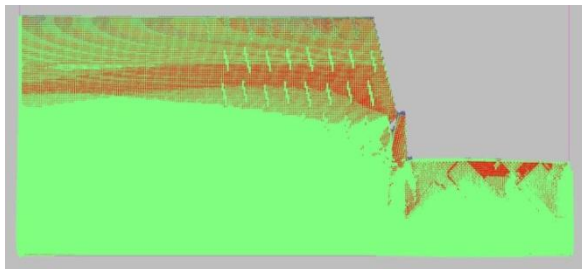


(c)

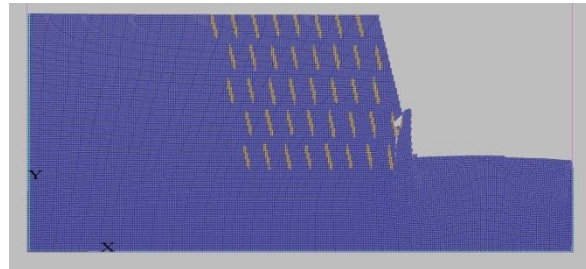


(d)

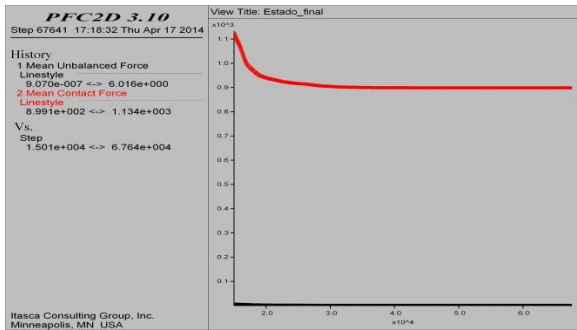
Figura 65. Combinación 4 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



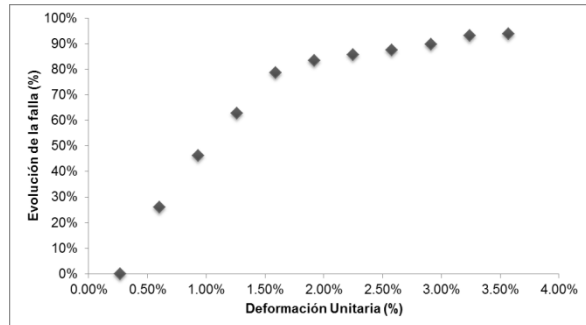
(a) Numero ciclos 32,220



(b) Numero de ciclos 67,641

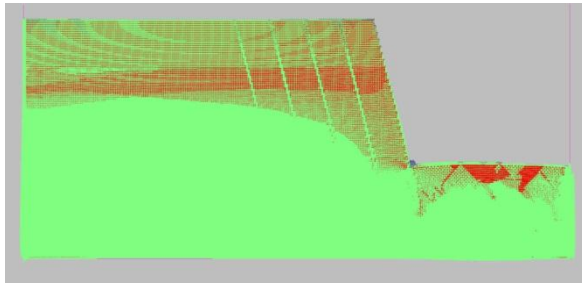


(c)

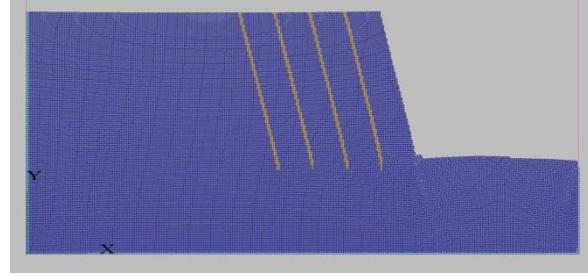


(d)

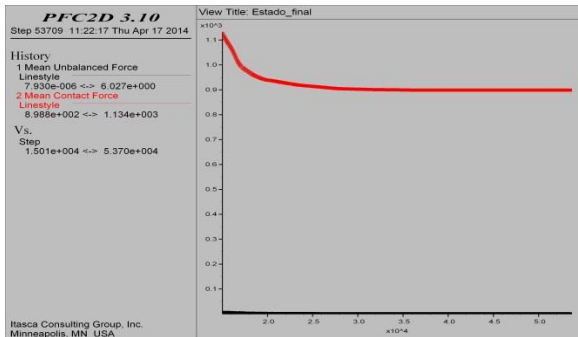
Figura 66. Combinación 7 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



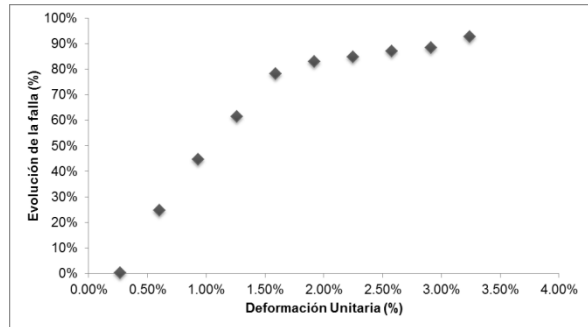
(a) Numero ciclos 27,420



(b) Numero de ciclos 53,709

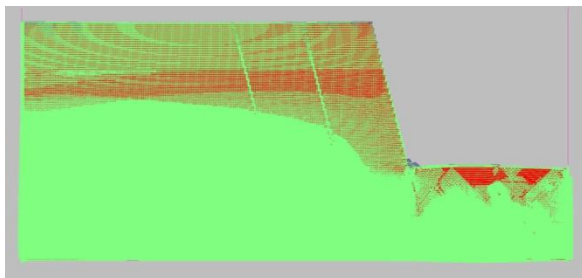


(c)

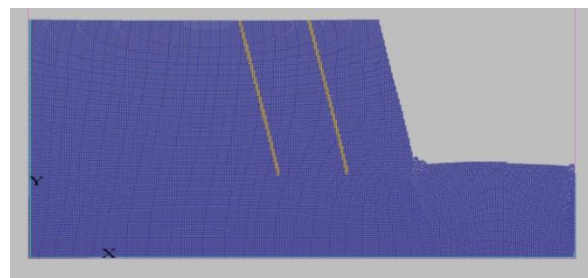


(d)

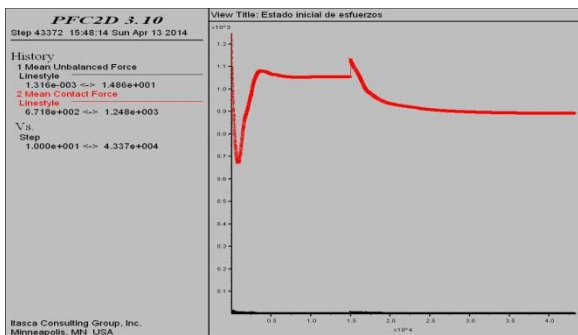
Figura 67. Combinación 2 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



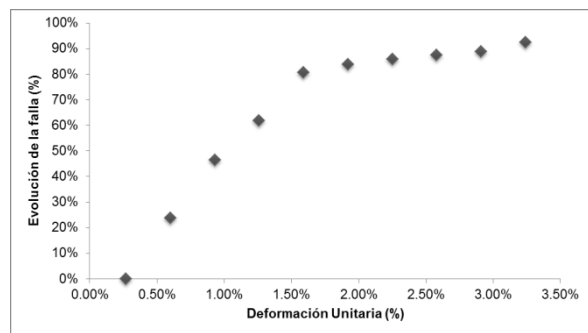
(a) Numero ciclos 26,100



(b) Numero de ciclos 55,941



(c)



(d)

Figura 68. Combinación 3 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

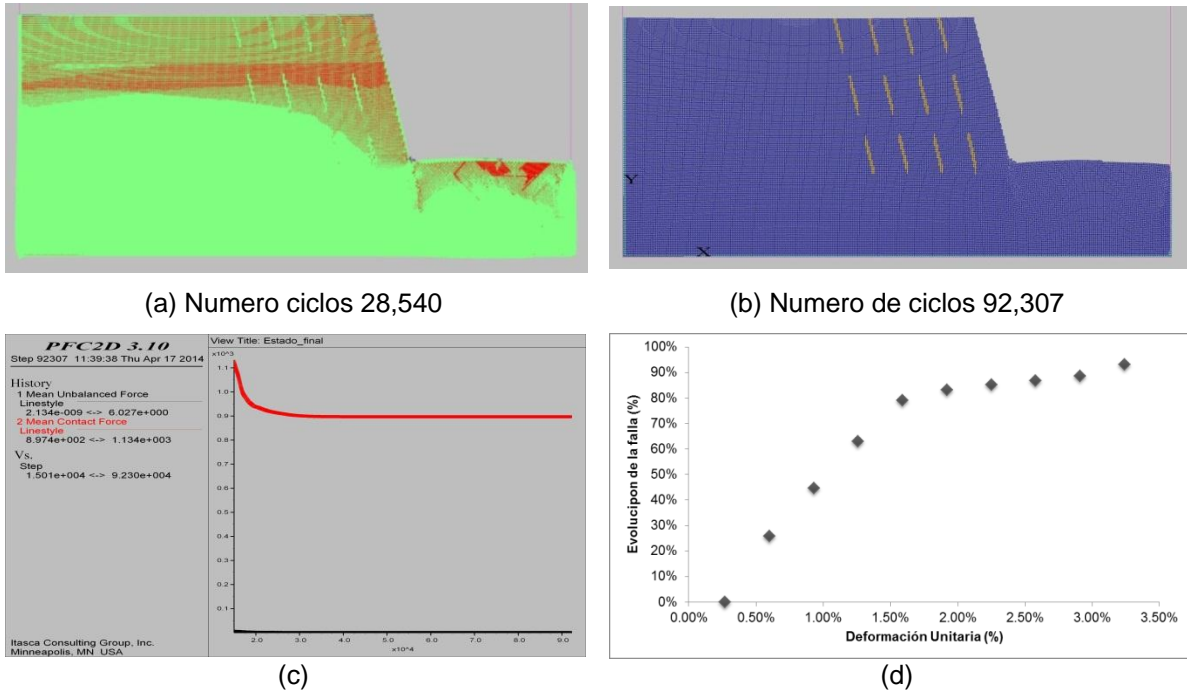


Figura 69. Combinación 5 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

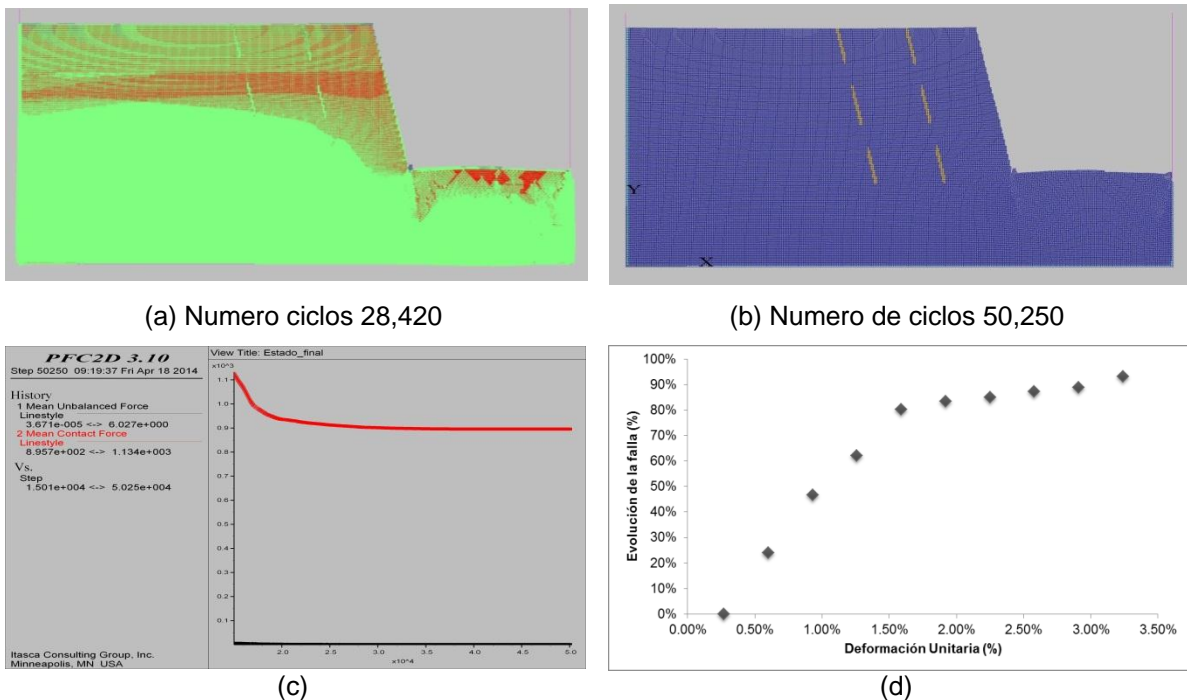
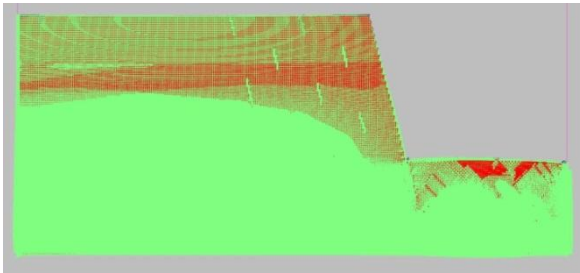
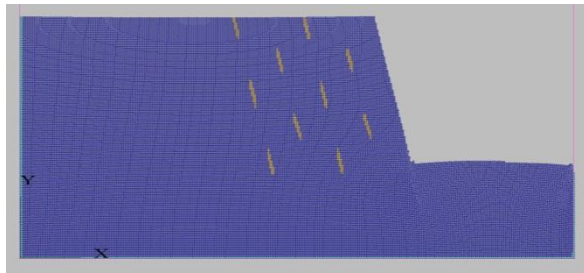


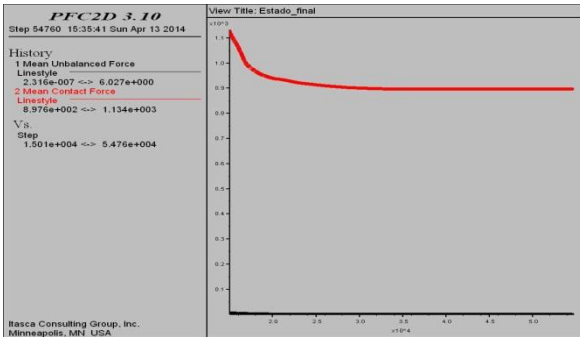
Figura 70. Combinación 6 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



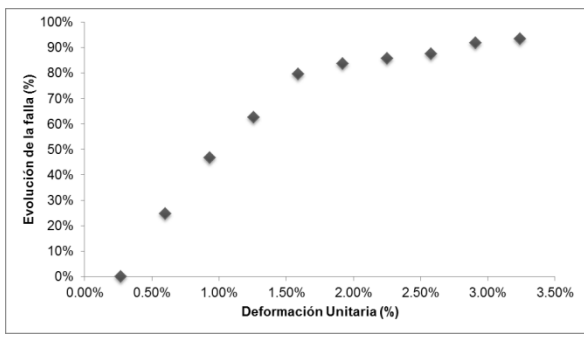
(a) Numero ciclos 30,760



(b) Numero de ciclos 54,760

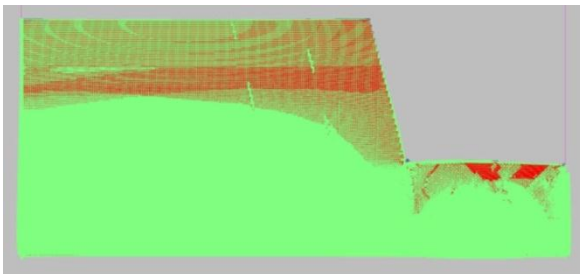


(c)

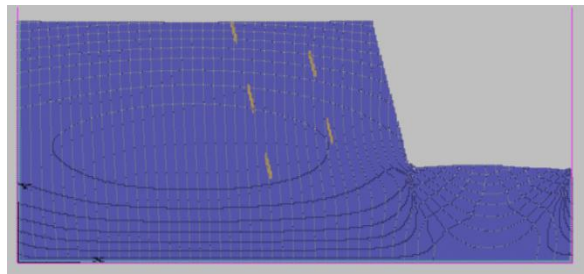


(d)

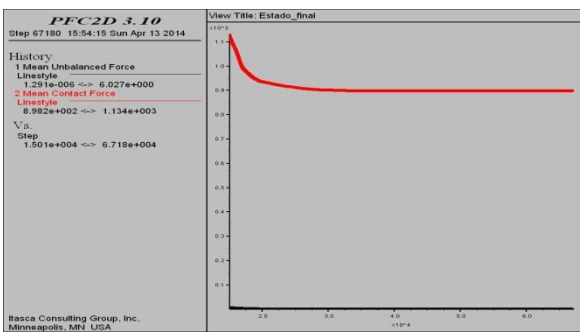
Figura 71. Combinación 8 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



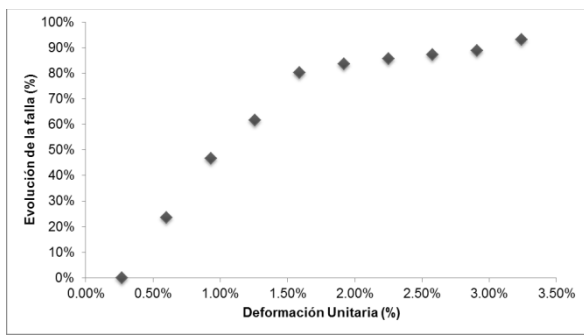
(a) Numero ciclos 29,340



(b) Numero de ciclos 67,780



(c)



(d)

Figura 72. Combinación 9 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

En el ANEXO B se presenta la secuencia de imágenes en donde se puede apreciar de manera gráfica la evolución de la falla del talud virtual; también se presenta la secuencia de imágenes post-falla (evolución del movimiento de las partículas del talud virtual, luego de alcanzar el máximo estado de falla), hasta que alcanzan el estado de reposo.

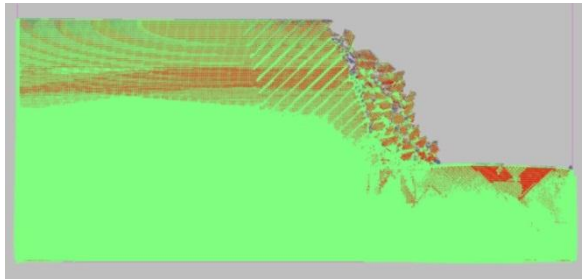
4.1.2 Orientación medianamente favorable a la estabilidad

Para la orientación medianamente favorable se realizaron 9 simulaciones variando la separación y la persistencia según la Tabla 16.

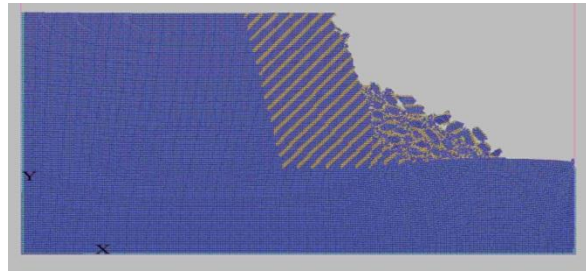
Las combinaciones 10, 13, 14, 16 y 17, alcanzaron el estado de falla máximo definido en la Tabla 15, es decir, 3.57% (ver Figura 73a a la Figura 77a) Entre tanto las combinaciones 11, 12, 15 y 18 solo alcanzaron el estado de falla del 3.24% (ver Figura 78a a la Figura 81a).

Se realizaron curvas de evolución de falla desde 0.257% hasta el máximo estado de falla alcanzado para cada simulación con incrementos de 0.33%, en las cuales se puede observar cómo se van rompiendo los enlaces entre partículas, a medida que avanza la simulación (ver Figura 73d a la Figura 81d).

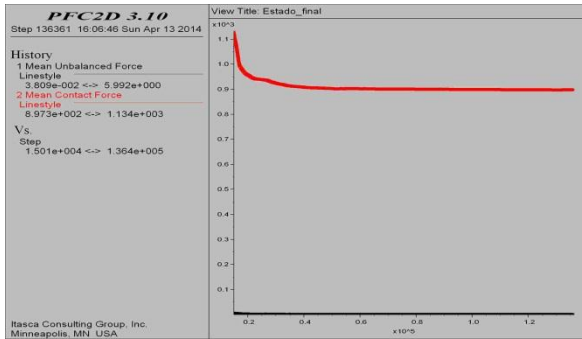
El numeral (b) y (c) de la Figura 73 a la Figura 81 corresponde a la figura del talud virtual al alcanzar el estado de reposo y la gráfica de *muf* y *mcf* (criterio de reposo del movimiento), para cada simulación respectivamente.



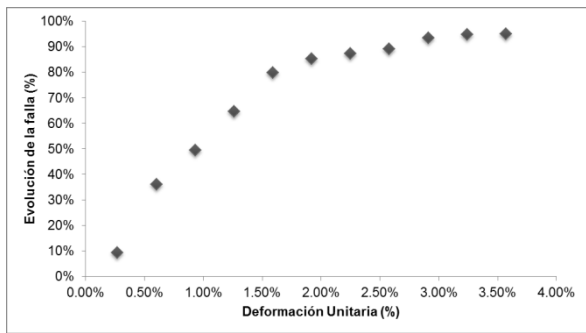
(a) Numero ciclos 46,480



(b) Numero de ciclos 136,361

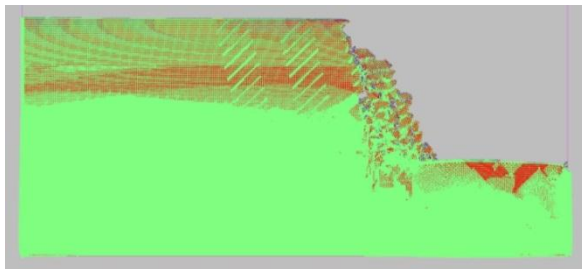


(c)

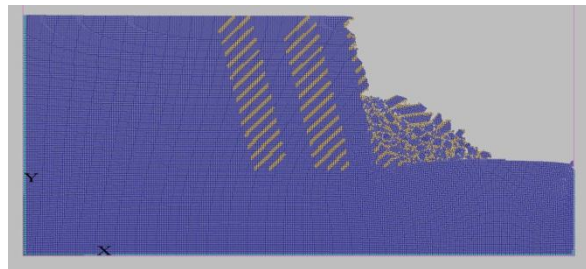


(d)

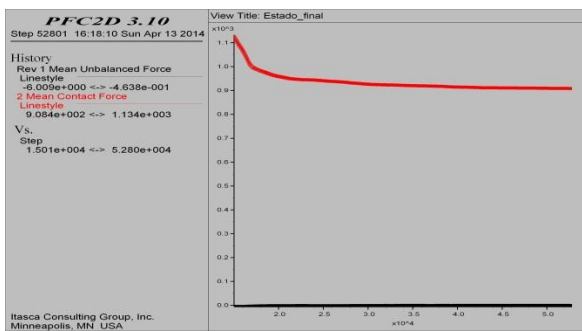
Figura 73. Combinación 10 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



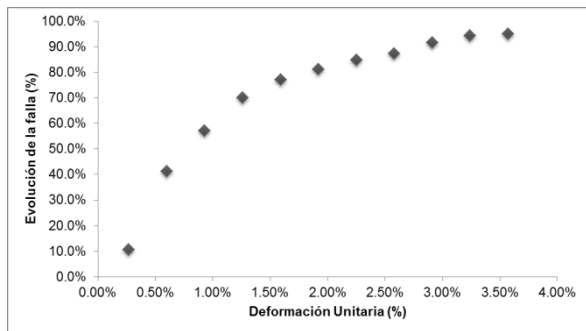
(a) Numero ciclos 53,740



(b) Numero de ciclos 107,493



(c)



(d)

Figura 74. Combinación 13 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

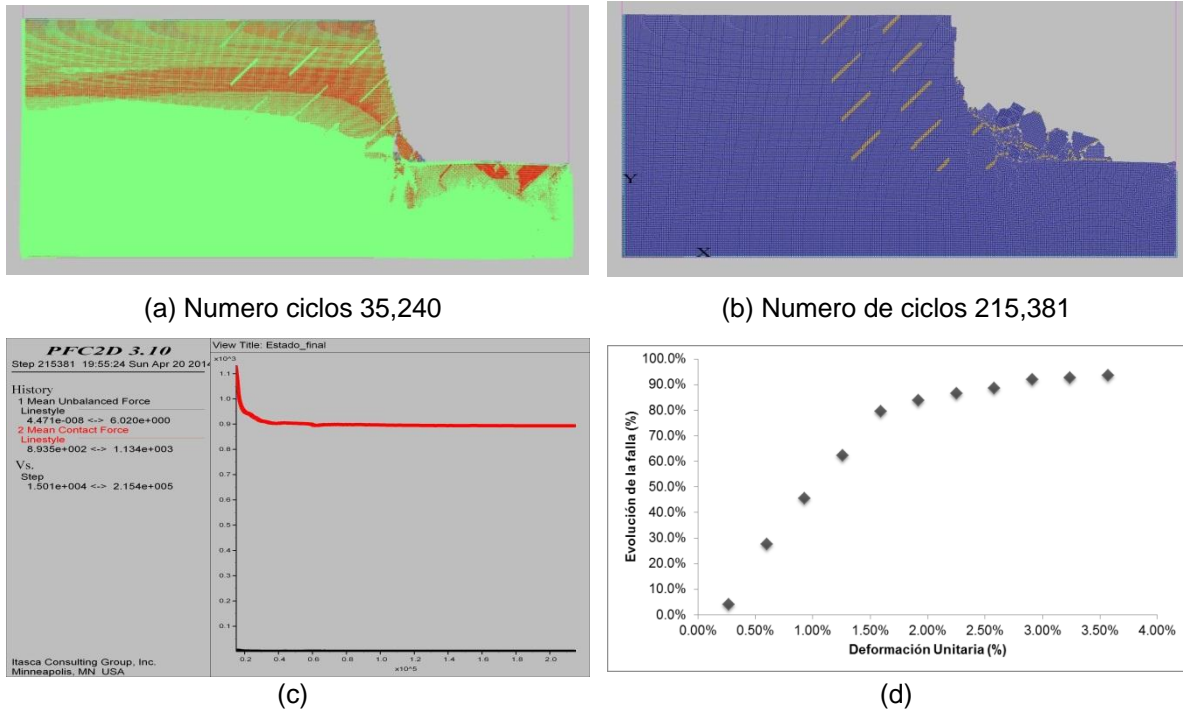


Figura 75. Combinación 14 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

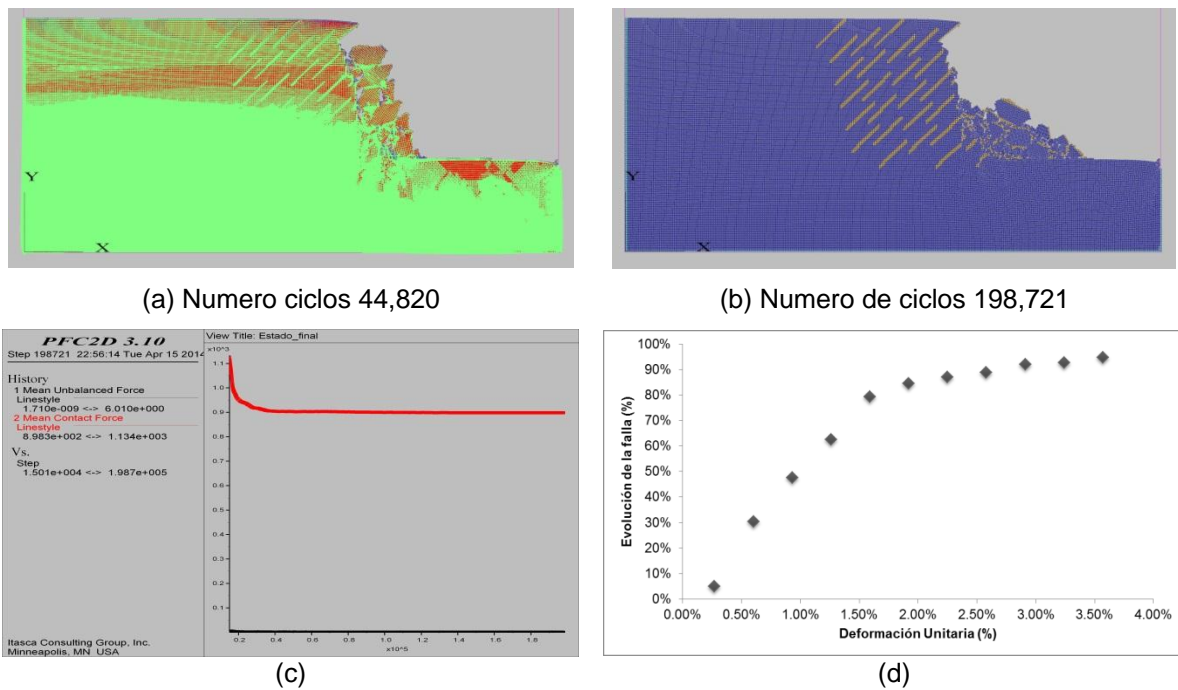
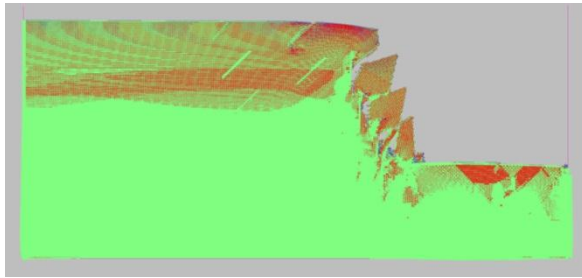
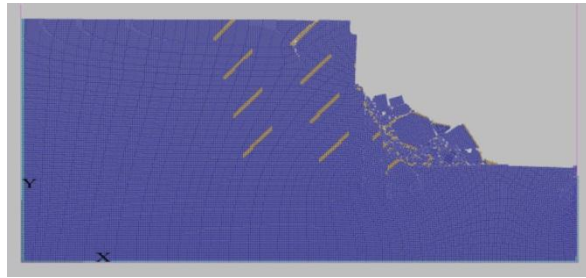


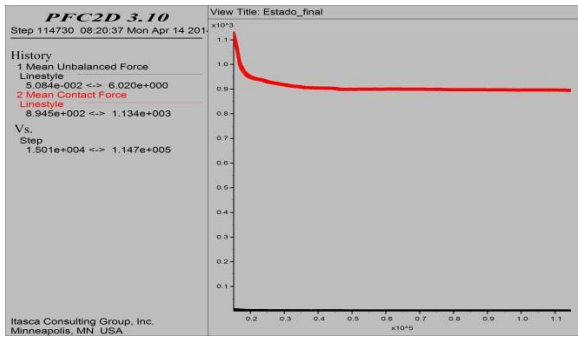
Figura 76. Combinación 16 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



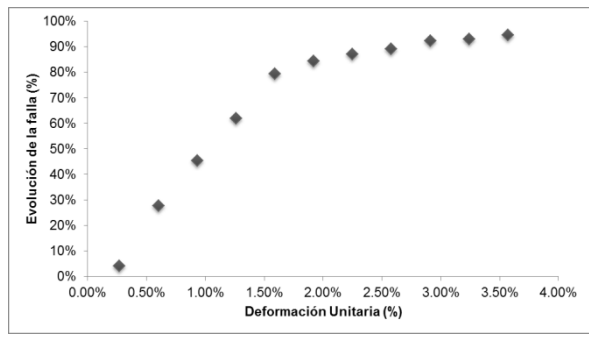
(a) Numero ciclos 36,180



(b) Numero de ciclos 114,730

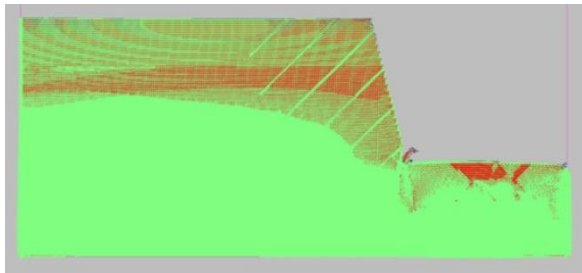


(c)

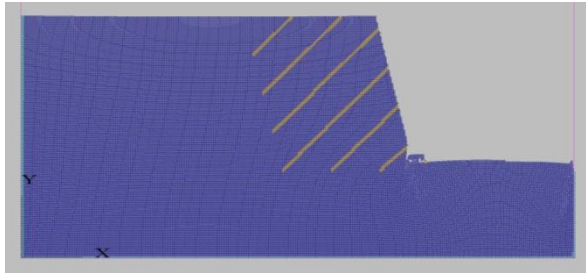


(d)

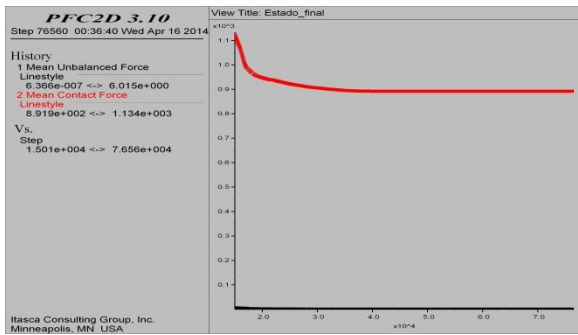
Figura 77. Combinación 17 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



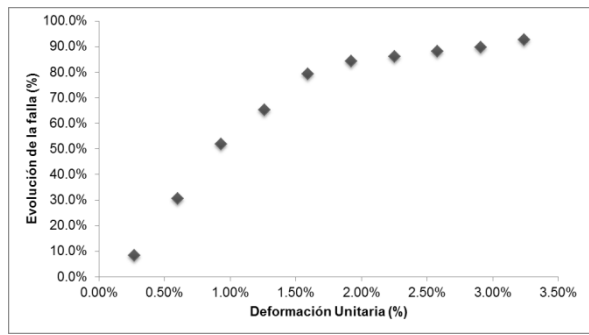
(a) Numero ciclos 28,040



(b) Numero de ciclos 76,560

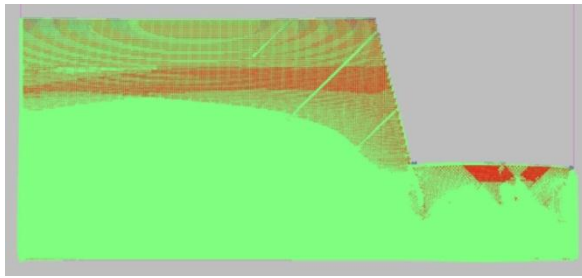


(c)

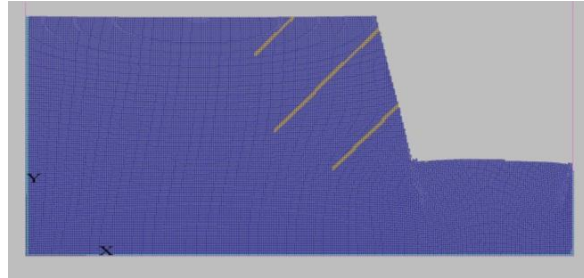


(d)

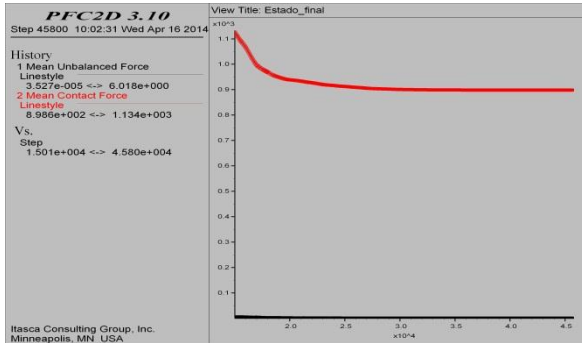
Figura 78. Combinación 11 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



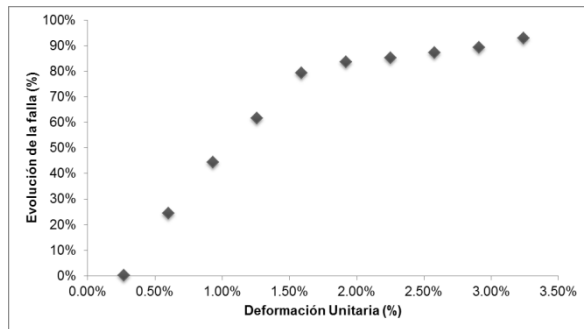
(a) Numero ciclos 28,620



(b) Numero de ciclos 45,800

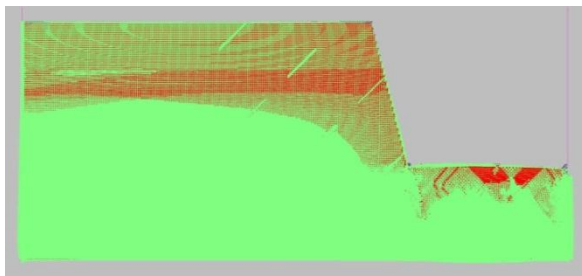


(c)

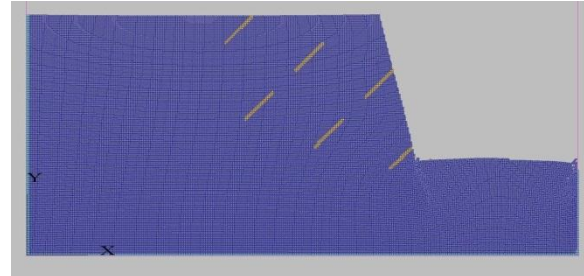


(d)

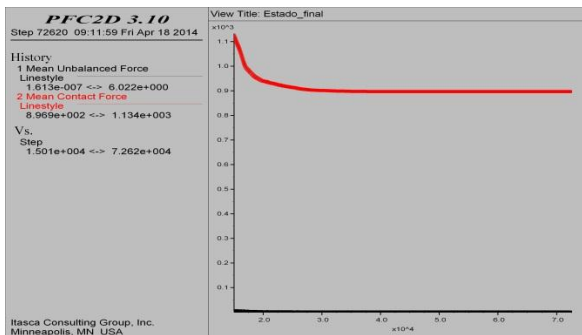
Figura 79. Combinación 12 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



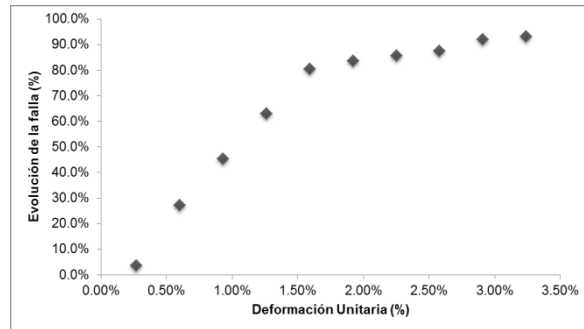
(a) Numero ciclos 28,740



(b) Numero de ciclos 72,620



(c)



(d)

Figura 80. Combinación 15 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

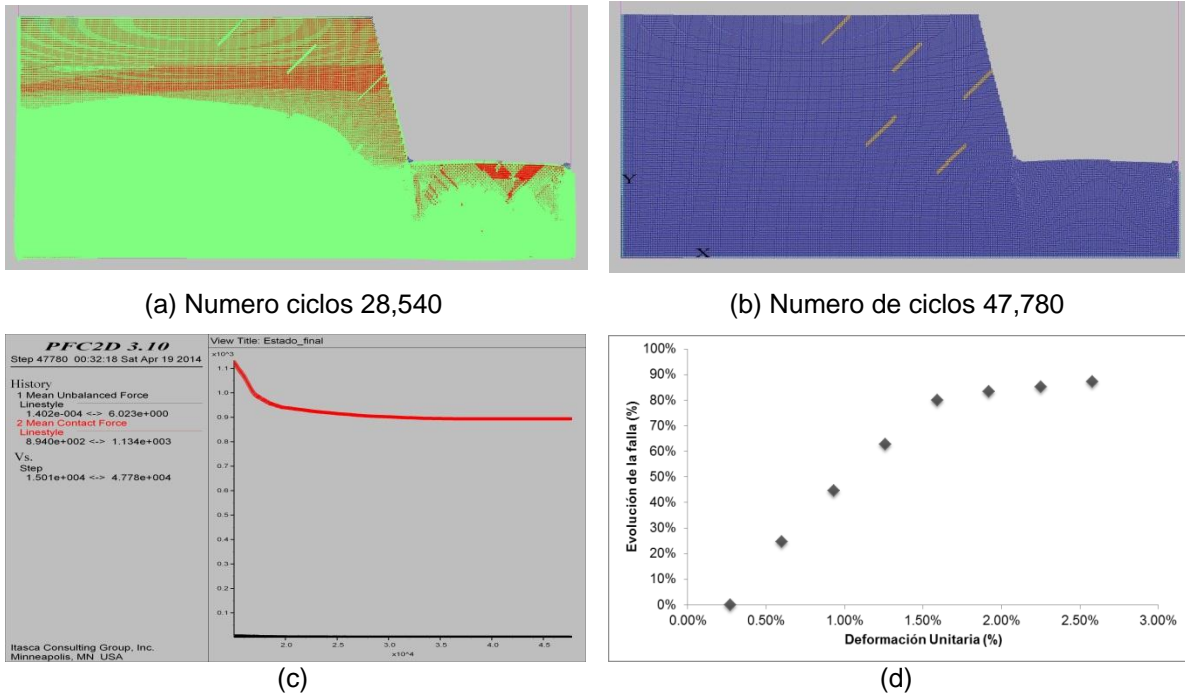


Figura 81. Combinación 18 a) Estado de falla de 3.24%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

En el ANEXO B se presenta la secuencia de imágenes en donde se puede apreciar de manera gráfica la evolución de la falla del talud virtual; también se presenta la secuencia de imágenes post-falla (evolución del movimiento de las partículas del talud virtual, luego de alcanzar el máximo estado de falla), hasta que alcanzan el estado de reposo.

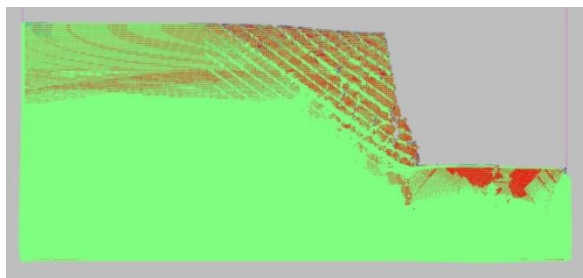
4.1.3 Orientación desfavorable a la estabilidad

Para la orientación desfavorable se realizaron 9 simulaciones variando la separación y la persistencia según la Tabla 16.

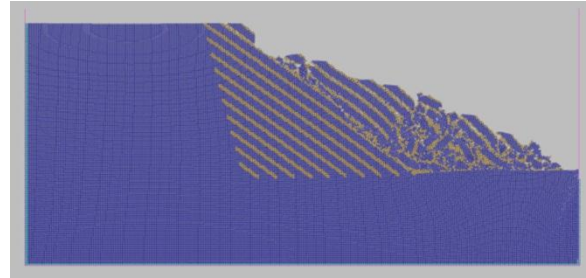
Todas las combinaciones de esta orientación (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, y 27) alcanzaron el estado de falla máximo definido en la Tabla 15, es decir, 3.57% (ver Figura 82a a la Figura 90a).

Se realizaron curvas de evolución de falla desde 0.257% hasta el máximo estado de falla alcanzado para cada simulación con incrementos de 0.33%, en las cuales se puede observar cómo se van rompiendo los enlaces entre partículas, a medida que avanza la simulación (ver Figura 82d a la Figura 90d).

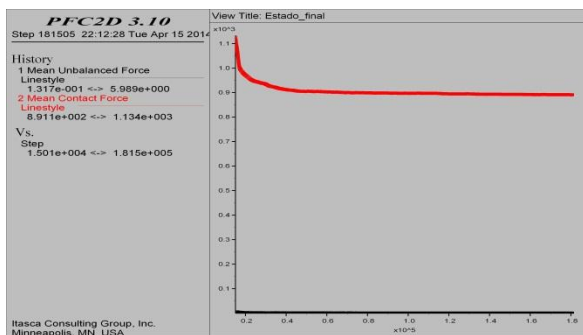
El numeral (b) y (c) de la Figura 82 a la Figura 90 corresponde a la figura del talud virtual al alcanzar el estado de reposo y la gráfica de *muf* y *mcf* (criterio de reposo del movimiento), para cada simulación respectivamente.



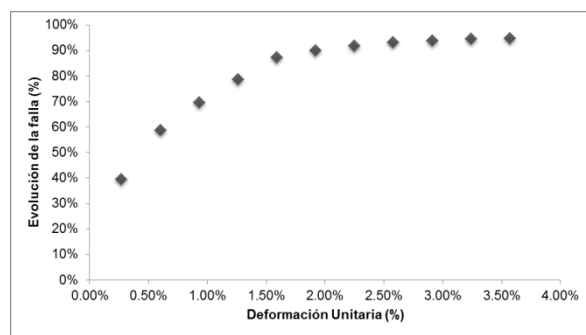
(a) Numero ciclos 31,460



(b) Numero de ciclos 181,505

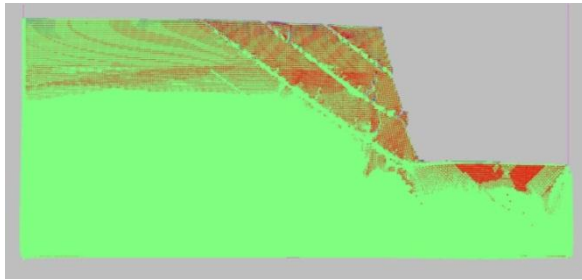


(c)

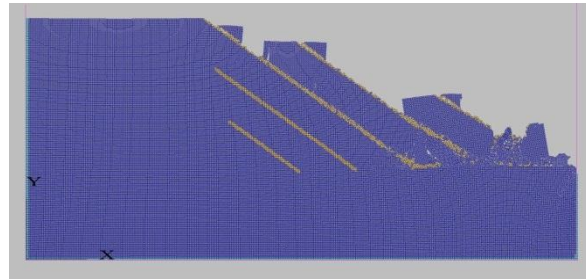


(d)

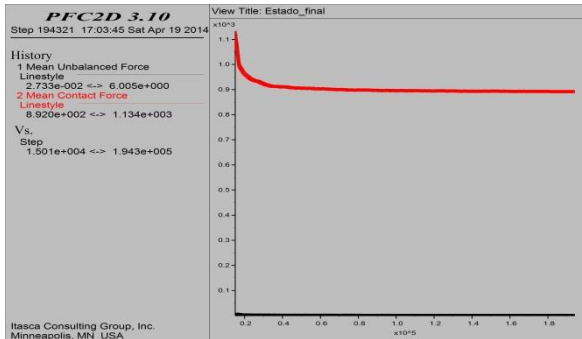
Figura 82. Combinación 19 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



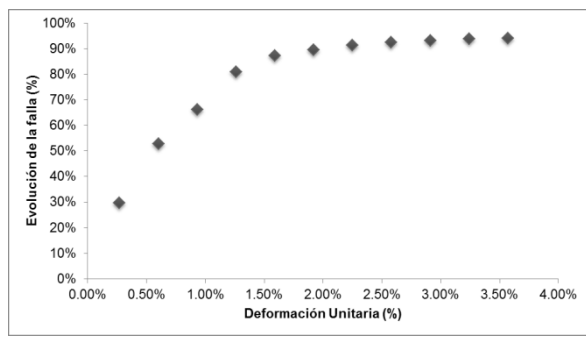
(a) Numero ciclos 28,460



(b) Numero de ciclos 194,321

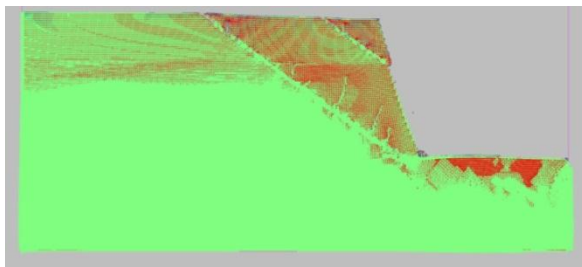


(c)

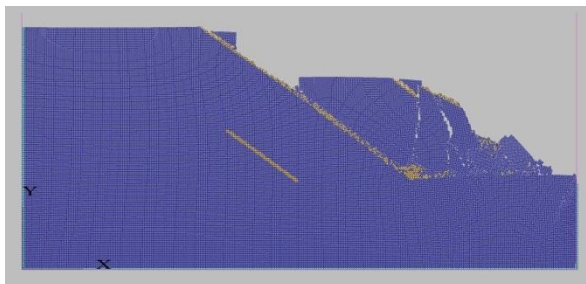


(d)

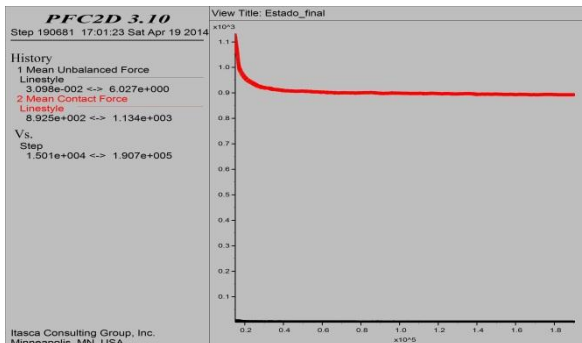
Figura 83. Combinación 20 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



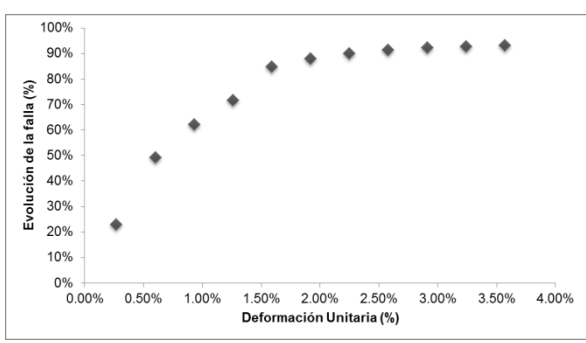
(a) Numero ciclos 25,880



(b) Numero de ciclos 190,681



(c)



(d)

Figura 84. Combinación 21 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

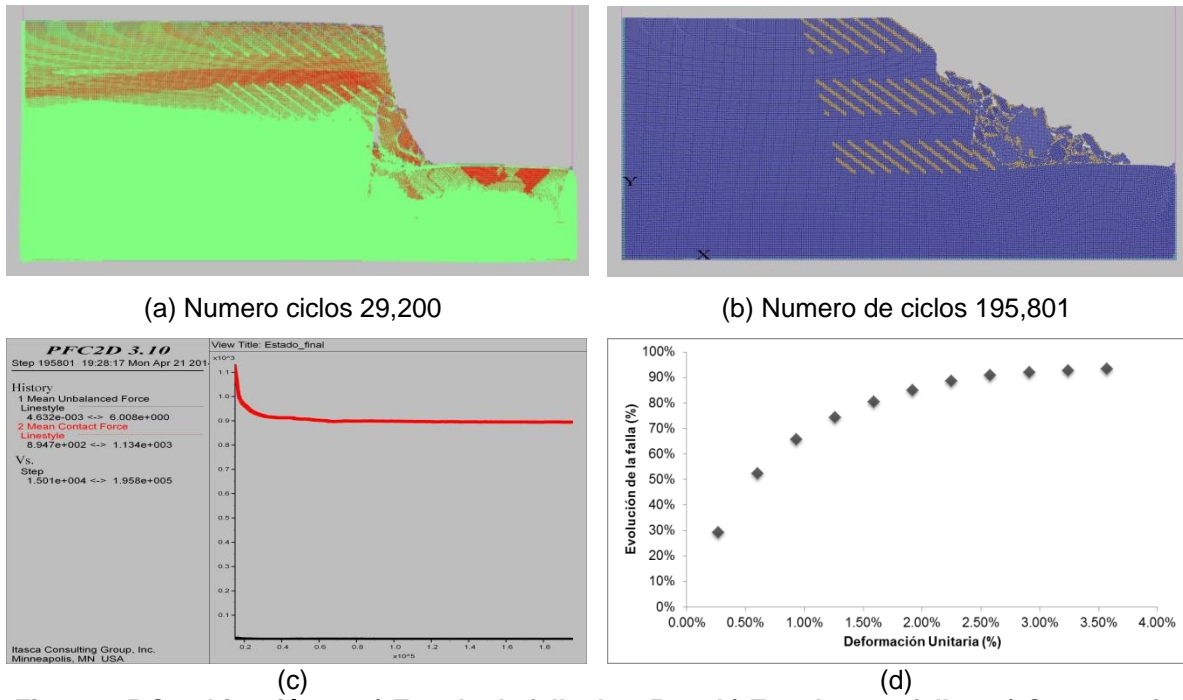


Figura 85. Combinación 22 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

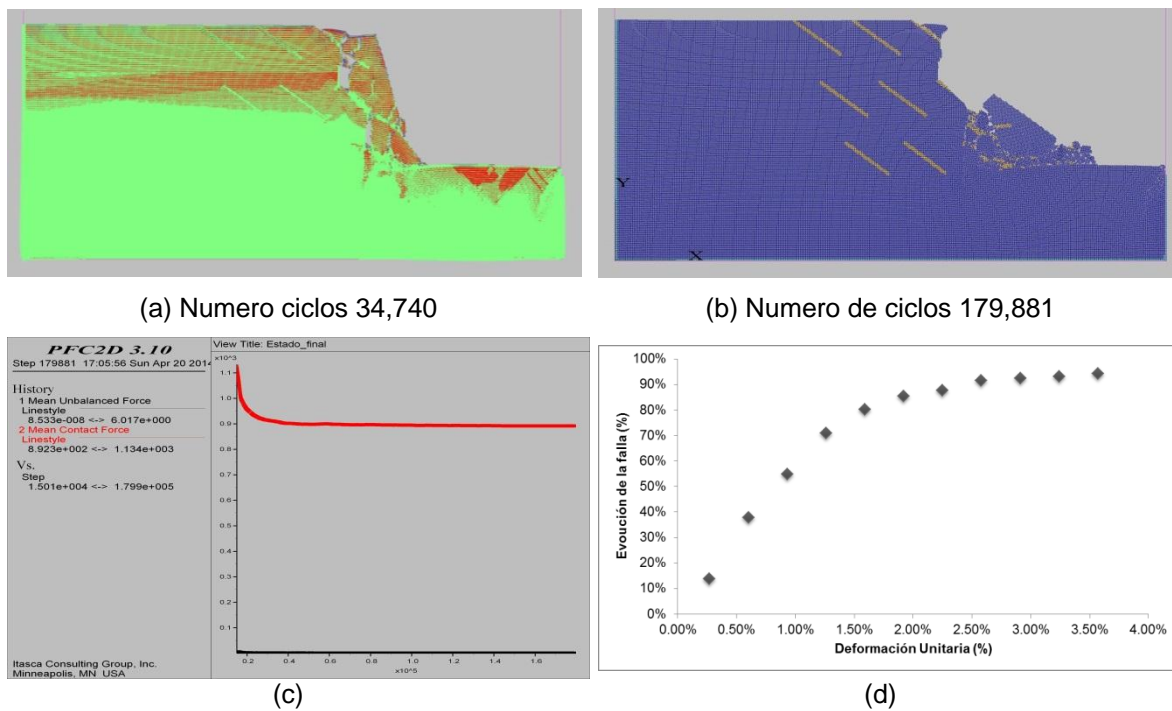
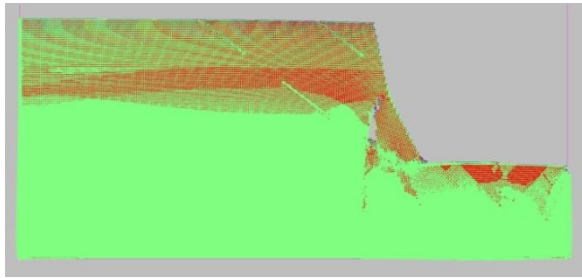
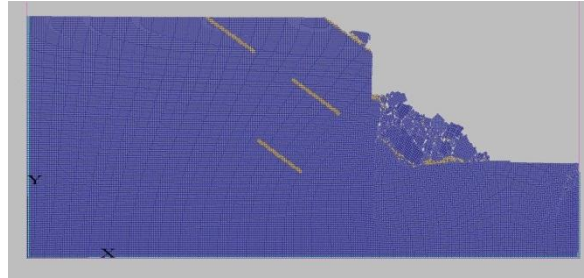


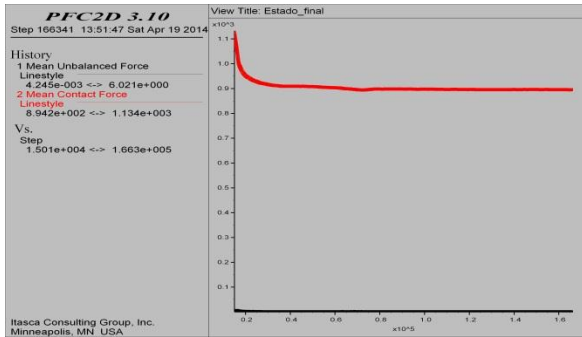
Figura 86. Combinación 23 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



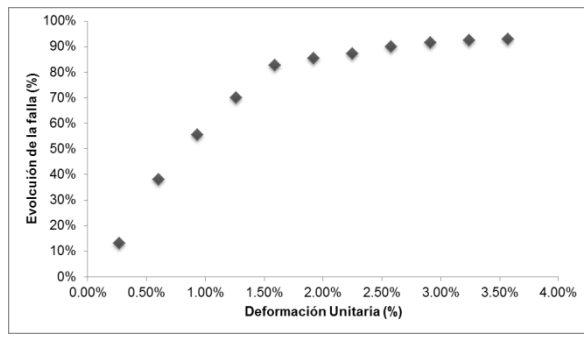
(a) Numero ciclos 28,820



(b) Numero de ciclos 166,341

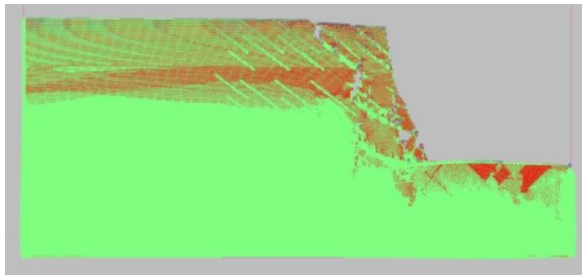


(c)

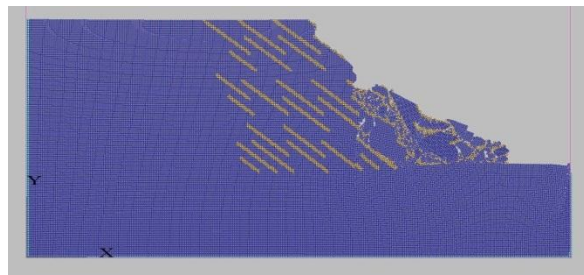


(d)

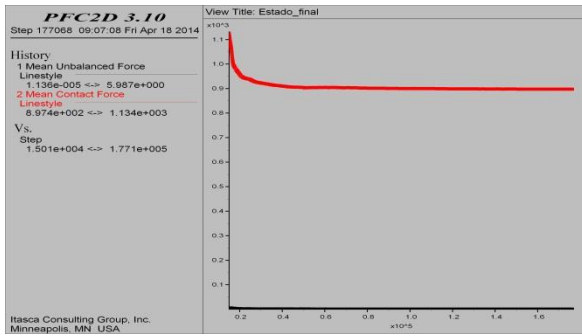
Figura 87. Combinación 24 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



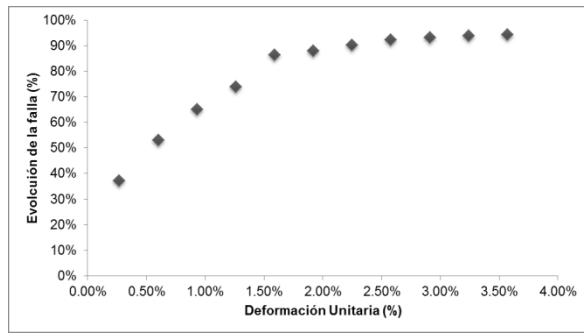
(a) Numero ciclos 32,060



(b) Numero de ciclos 177,068

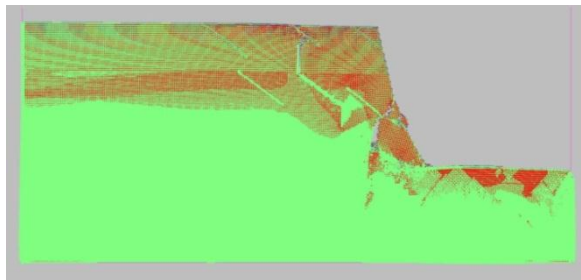


(c)

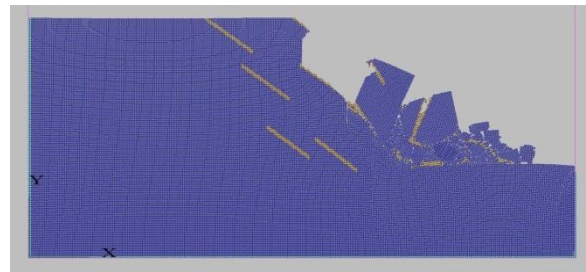


(d)

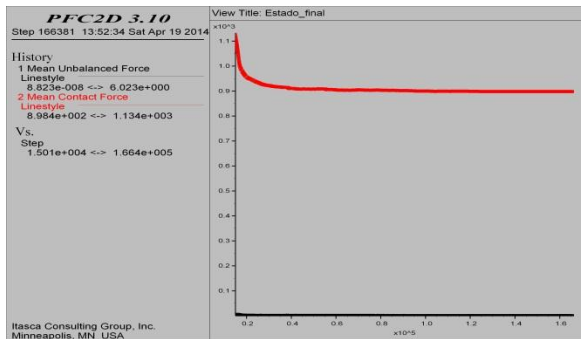
Figura 88. Combinación 25 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



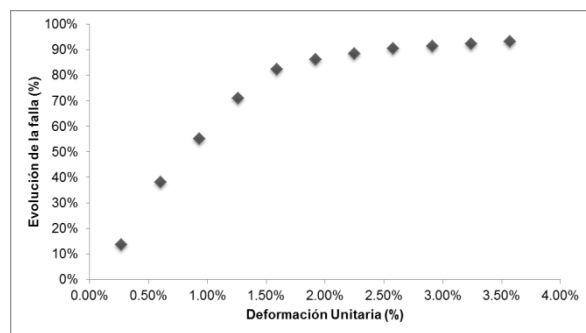
(a) Numero ciclos 29,120



(b) Numero de ciclos 166,381

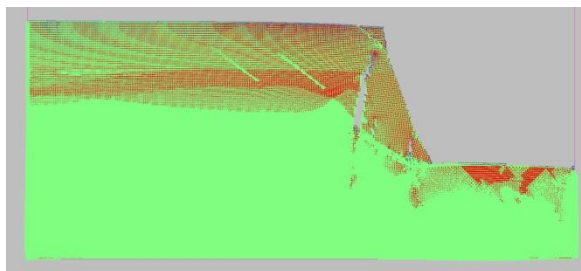


(c)

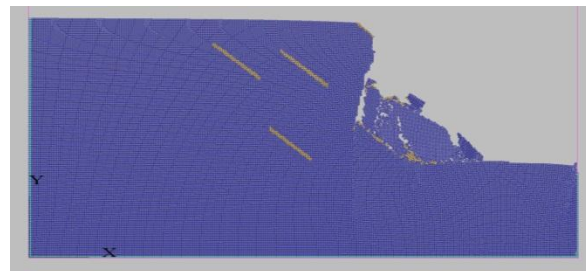


(d)

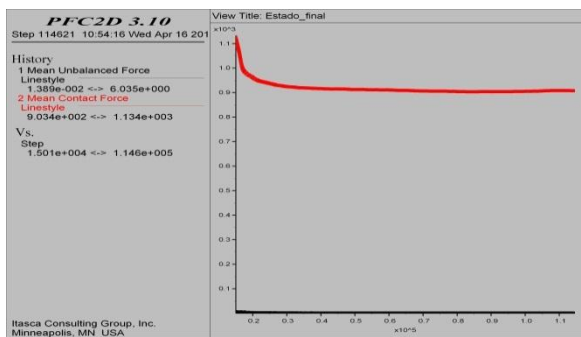
Figura 89. Combinación 26 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



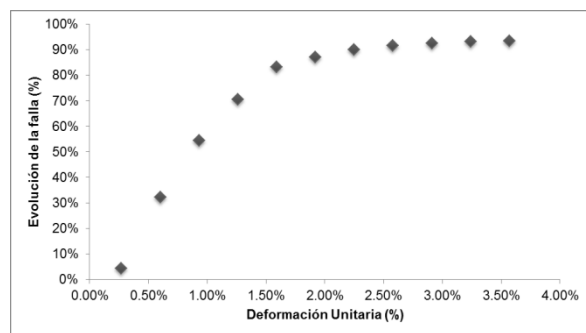
(a) Numero ciclos 32,000



(b) Numero de ciclos 114,621



(c)



(d)

Figura 90. Combinación 27 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

En el ANEXO B se presenta la secuencia de imágenes en donde se puede apreciar de manera gráfica la evolución de la falla del talud virtual; también se presenta la secuencia de imágenes post-falla (evolución del movimiento de las partículas del talud virtual, luego de alcanzar el máximo estado de falla), hasta que alcanzan el estado de reposo.

4.1.4 Combinaciones especiales

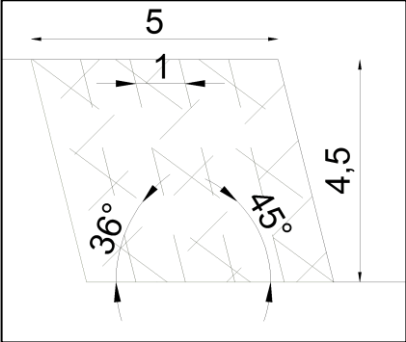
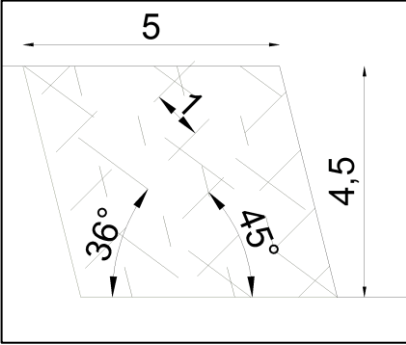
Analizando los resultados obtenidos en las 27 combinaciones inicialmente descritas en el numeral 3.1.4, surgieron 6 combinaciones especiales, en donde una combinación especial es una mezcla de tres de las combinaciones iniciales. Estas combinaciones tienen como fin enriquecer el análisis de los patrones de fisuración y su influencia en los mecanismos de falla desarrollados. En la Tabla 17 se presentan los detalles de las combinaciones.

Tabla 17. Parámetros de las fisuras para las 6 combinaciones especiales

Orientación	Persistencia	Separación (m)	Combinación
Favorable, medianamente favorable y desfavorable	Alta	0.30	28 (1-10-19)
	Media	0.30	29 (4-13-22)
	Baja	0.30	30 (7-16-25)
Favorable, medianamente favorable y desfavorable	Alta	1.0	31 (2-11-20)
	Media	1.0	32 (5-14-23)
	Baja	1.0	33 (8-17-26)

Tabla 18. Descripción de las combinaciones especiales

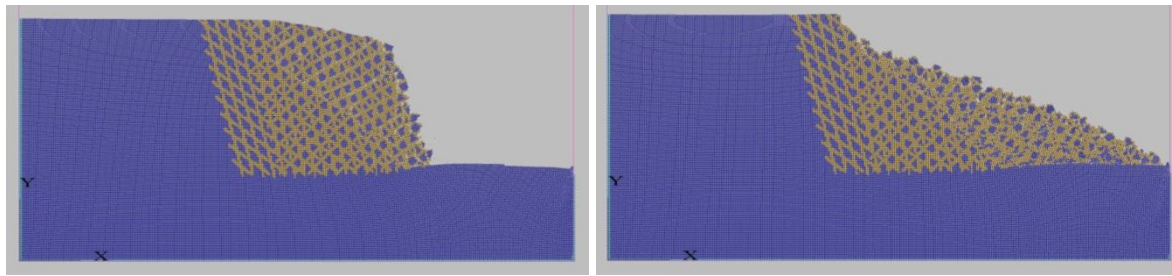
Combinación	Representación esquemática
28	
29	
30	
31	

Combinación	Representación esquemática
32	
33	

Todas las combinaciones especiales (28, 29, 30, 31, 32, 33) alcanzaron el estado de falla máximo definido en la Tabla 15, es decir, 3.57% (ver Figura 91a a la Figura 96a).

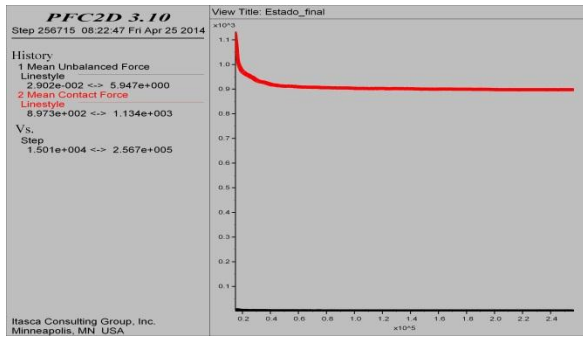
Se realizaron curvas de evolución de falla desde 0.257% hasta el máximo estado de falla alcanzado para cada simulación con incrementos de 0.33%, en las cuales se puede observar cómo se van rompiendo los enlaces entre partículas, a medida que avanza la simulación (ver Figura 91d a la Figura 96d).

El numeral (b) y (c) de la ver Figura 91 a la Figura 96 corresponde a la figura del talud virtual al alcanzar el estado de reposo y la gráfica de *muf* y *mcf* (criterio de reposo del movimiento), para cada simulación respectivamente.

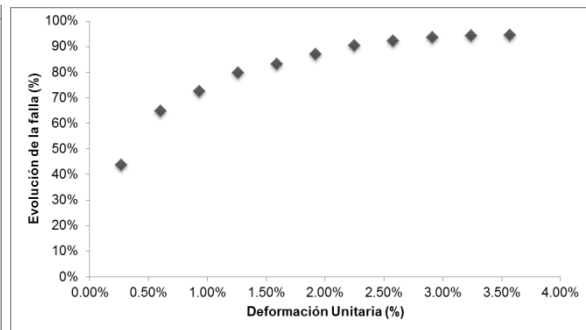


(a) Numero ciclos 34,540

(b) Numero de ciclos 256,715

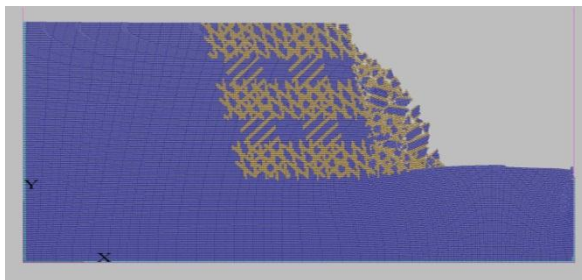


(c)

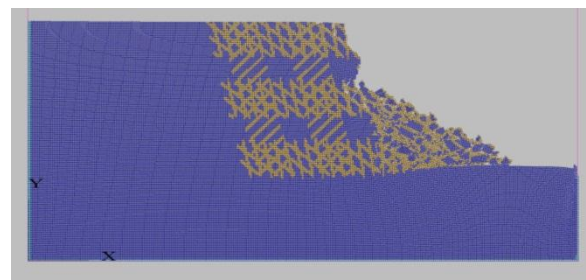


(d)

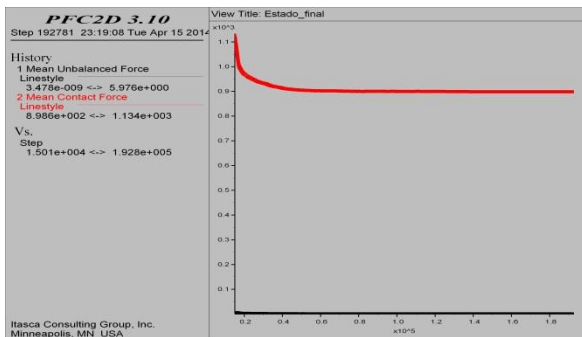
Figura 91. Combinación 28 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



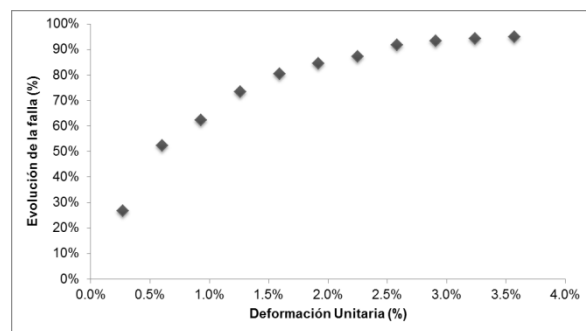
(a) Numero ciclos 46,660



(b) Numero de ciclos 192,781

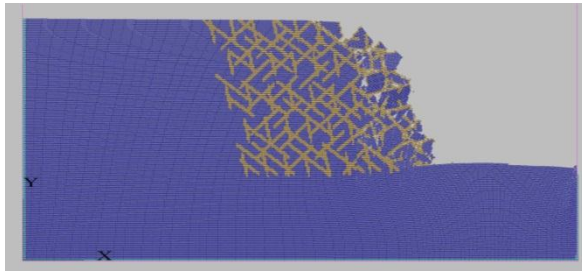


(c)

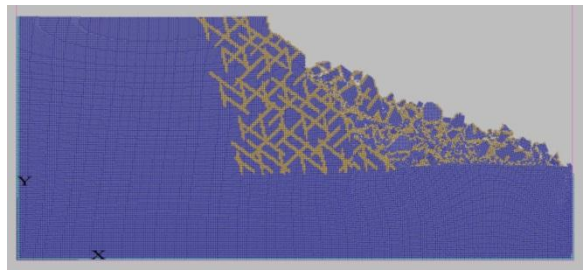


(d)

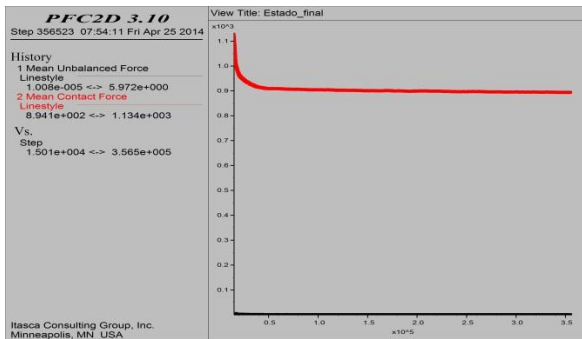
Figura 92. Combinación 29 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



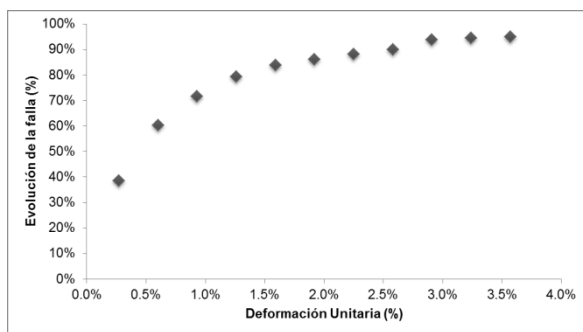
(a) Numero ciclos 39,320



(b) Numero de ciclos 356,523

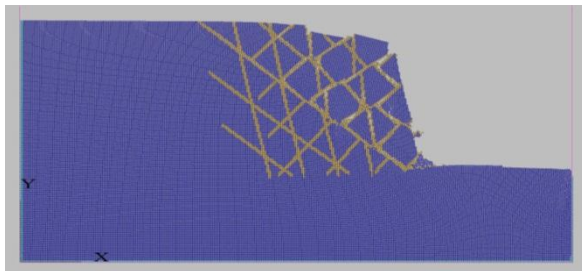


(c)

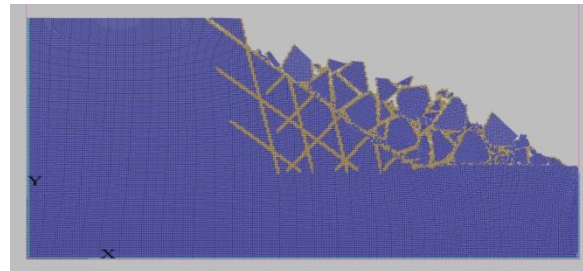


(d)

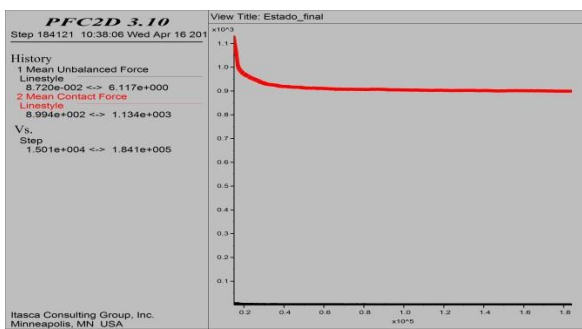
Figura 93. Combinación 30 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.



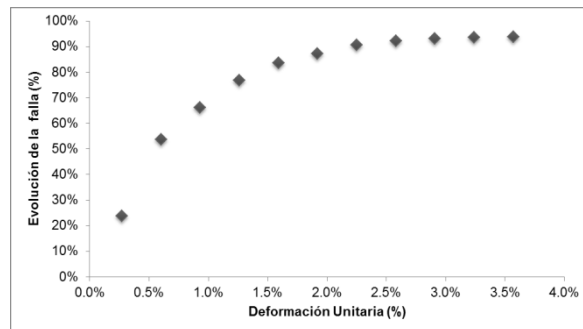
(a) Numero ciclos 30,080



(b) Numero de ciclos 184,121



(c)



(d)

Figura 94. Combinación 31 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

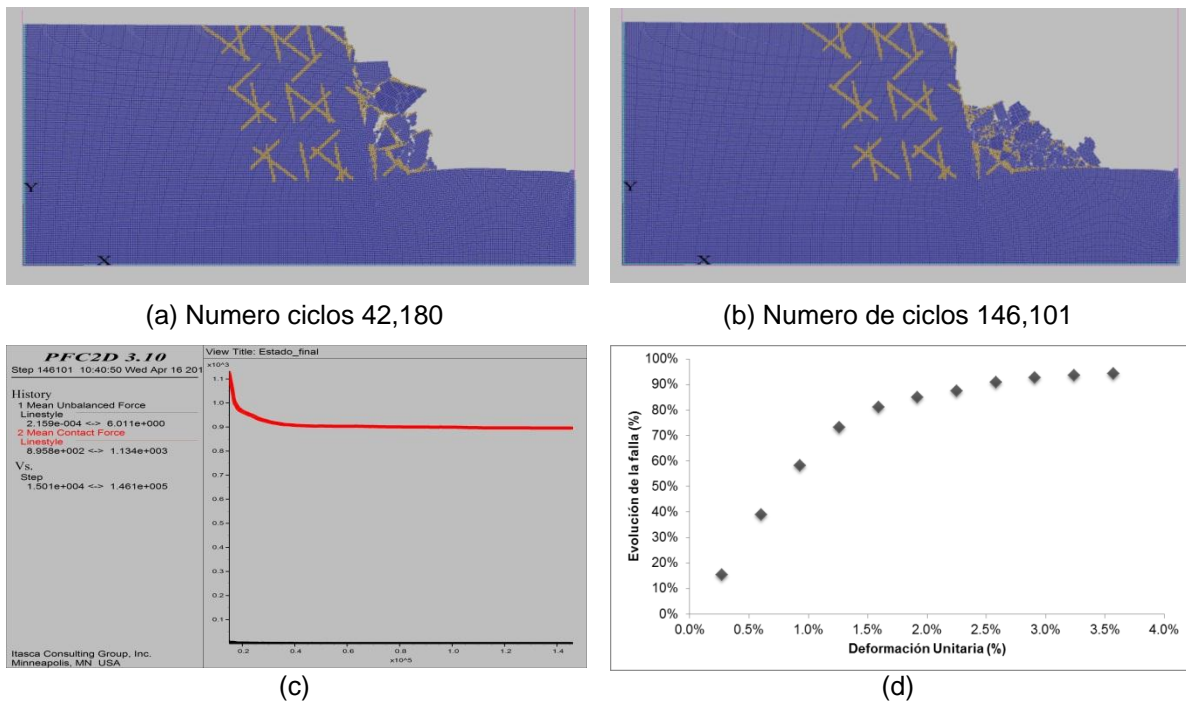


Figura 95. Combinación 32 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

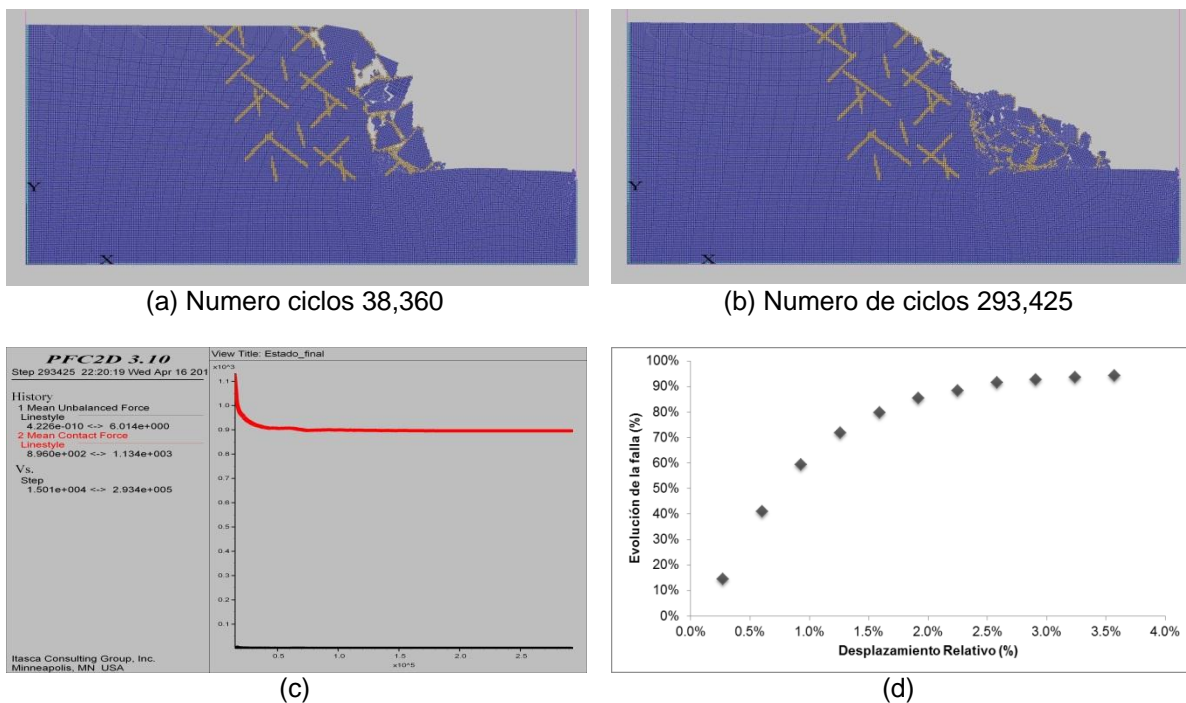


Figura 96. Combinación 33 a) Estado de falla de 3.57%, b) Estado post-falla y c) Curva *mcf* y *muf* y d) Evolución de la falla.

En el ANEXO B se presenta la secuencia de imágenes en dónde se puede apreciar de manera gráfica la evolución de la falla del talud virtual; también se presenta la secuencia de imágenes post-falla (evolución del movimiento de las partículas del talud virtual, luego de alcanzar el máximo estado de falla), hasta que alcanzan el estado de reposo.

4.2 Análisis de resultados

Los resultados se analizaron en función de los tres parámetros de las fisuras (separación, orientación y persistencia) propuestos para llevar a cabo la presente investigación.

En esta investigación se define que un talud virtual “falla”, cuando las simulaciones alcanzan el máximo estado de falla definido en el numeral 3.2.9.4, Tabla 15 y se evidencia el mecanismo de falla en los taludes virtuales.

4.2.1 Análisis de la orientación

Se concluye que la orientación es el parámetro que presentó mayor influencia en la falla de los taludes.

La orientación desfavorable conduce a la falla en los nueve taludes virtuales simulados con esta condición (combinaciones 19 a la 27), como se puede observar en la Tabla 19. Por otro lado, en la orientación favorable y medianamente favorable sólo se presentó la falla en tres combinaciones (combinación 1, 4 y 7) para la orientación favorable (ver Tabla 20), y cinco combinaciones (combinación 10, 13, 14, 16 y 17) para la orientación desfavorable (ver Tabla 21), de las nueve combinaciones planteadas para cada condición.

Tabla 19. Análisis en función de la orientación favorable

	Separación		
Persistencia	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Alta	✓		
Media	✓		
Baja	✓		

✓ Indica que el talud "falla".

Tabla 20. Análisis en función de la orientación medianamente favorable

	Separación		
Persistencia	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Alta	✓		
Media	✓	✓	
Baja	✓	✓	

✓ Indica que el talud "falla".

Tabla 21. Análisis en función de la orientación desfavorable

	Separación		
Persistencia	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Alta	✓	✓	✓
Media	✓	✓	✓
Baja	✓	✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

4.2.2 Análisis de la separación

La separación es el segundo parámetro más influyente en la generación de la falla de los taludes.

La separación de 0.3 metros es la más crítica en cuanto a estabilidad, es decir, es la que conduce a la falla de las nueve combinaciones propuestas con esta propiedad (combinación 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 y 25), como se puede ver en la Tabla 22. Entre tanto, las separaciones de 1.0 metro y 2.0 metros producen la falla en cinco combinaciones (combinación 14, 17, 20, 23 y 26) y tres combinaciones (combinación 21, 24 y 27), de las nueve propuestas para cada condición de separación. La separación y la orientación se relacionan como se describe a continuación.

Respecto a la separación de 0.30 metros:

- ❖ La separación de 0.30 metros, y las tres condiciones de orientación (combinaciones 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 y 25), evidencia el mecanismo de falla de los taludes virtuales (ver Tabla 22).

Tabla 22. Análisis en función de la separación de 0.30 metros

Persistencia	Orientación		
	Favorable	Medianamente favorable	Desfavorable
Alta	✓	✓	✓
Media	✓	✓	✓
Baja	✓	✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

Respecto a la separación de 1.0 metro:

- ❖ Las combinaciones con separación 1.0 metro y condición de orientación favorable a la estabilidad (combinaciones 2, 5 y 8) no alcanzan la máxima condición de falla, y no se evidencian mecanismos de falla en el talud virtual (ver Tabla 23).
- ❖ La condición de orientación medianamente favorable, con separación de 1.0 metro (combinaciones 14 y 17), permiten evidenciar el mecanismo de falla (ver Tabla 23).
- ❖ La condición desfavorable, y separación de 1.0 metro (combinaciones 20, 23 y 26), evidencian el mecanismo de falla (ver Tabla 23).

Tabla 23. Análisis en función de la separación de 1.0 metro

Persistencia	Orientación		
	Favorable	Medianamente favorable	Desfavorable
Alta			✓
Media		✓	✓
Baja		✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

Respecto a la separación de 2.0 metros:

- ❖ Para la separación de 2.0 metros, y únicamente con la condición de orientación desfavorable de las fisuras (combinaciones 21, 24 y 27), se evidencian los mecanismos de falla (ver Tabla 24).

Tabla 24. Análisis en función de la separación de 2.0 metros

Persistencia	Orientación		
	Favorable	Medianamente favorable	Desfavorable
Alta			✓
Media			✓
Baja			✓

✓ Indica que el talud "falla".

4.2.3 Análisis de la persistencia

La persistencia, por sí sola, no es un parámetro que condicione la falla de los taludes; a continuación se presenta el análisis de los tres tipos de persistencia propuestos.

En cuanto a la persistencia alta:

- ❖ La persistencia alta, combinada con la orientación favorable (combinaciones 1, 2 y 3), solo evidencia falla en la combinación 1, la cual corresponde a la separación de 0.3 metros (ver Tabla 25).
- ❖ Para el caso de la persistencia alta, combinada con la orientación medianamente favorable (combinaciones 10, 11 y 12), sólo se presenta la falla del talud en la combinación 10, que corresponde a la separación de 0.30 metros (al igual que en la orientación favorable) (ver Tabla 25).
- ❖ La combinación de persistencia alta y orientación desfavorable (combinaciones 19, 20 y 21), conduce a la falla de los tres taludes virtuales, evidenciándose el mecanismo de falla (ver Tabla 25).

Tabla 25. Análisis en función de la persistencia alta

Orientación	Separación		
	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Favorable	✓		
Medianamente favorable	✓		
Desfavorable	✓	✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

En cuanto a la persistencia media y baja:

- ❖ En términos de persistencia media (combinaciones 4, 5 y 6) y persistencia baja (combinaciones 7, 8 y 9), combinada con orientación favorable, únicamente en las combinaciones 4 y 7 se produce la falla del talud virtual, las cuales corresponden a la separación de 0.30 metros (ver Tabla 26 y Tabla 27).

Tabla 26. Análisis en función de la persistencia media

Orientación	Separación		
	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Favorable	✓		
Medianamente favorable	✓	✓	
Desfavorable	✓	✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

Tabla 27. Análisis en función de la persistencia baja

Orientación	Separación		
	0.30 m	1.0 m	2.0 m
Favorable	✓		
Medianamente favorable	✓	✓	
Desfavorable	✓	✓	✓

✓ Indica que el talud "falla".

- ❖ En la persistencia media (combinaciones 13, 14 y 15) y persistencia baja (combinaciones 16, 17 y 18), combinada con la orientación medianamente favorable, solo en los casos donde la separación es de 0.30 metros (combinaciones 13 y 16) y 1.0 metro (combinaciones 14 y 17), se puede evidenciar el mecanismo de falla de los taludes virtuales (ver Tabla 26 y Tabla 27).
- ❖ En la persistencia media (combinaciones 22, 23 y 24), y persistencia baja (combinaciones 25, 26 y 27), combinada con la orientación desfavorable, se puede evidenciar el mecanismo de falla en las seis simulaciones (ver Tabla 26 y Tabla 27).

La simulación de la combinación 11 (persistencia alta, separación 1.0 metro y orientación medianamente favorable), no presentó la falla del talud. Se realizó un análisis entre esta combinación (11) y la combinación 14 (persistencia media, separación 1.0 metro y orientación medianamente favorable) teniendo en cuenta que la combinación 14 sí evidenció la falla del talud. Comparando las dos simulaciones, se observó que la combinación 14 (persistencia media, separación 1.0 metro y orientación medianamente favorable) mostró una tendencia a formar bloques delimitados por las fisuras y la separación entre ellas, adicionalmente se generó una superficie de falla definida por la persistencia (Figura 97a), tomando en cuenta lo anterior, los bloques a formarse en la combinación 11 (persistencia alta, separación 1.0 metro y orientación medianamente favorable) serían de mayor tamaño en comparación con aquellos en la combinación 14 (Figura 97b), lo que genera un mayor esfuerzo actuante para producir el vuelco de los bloques. Por otro lado, en la Figura 97c se puede observar que el bloque que inicia la falla del talud en la combinación 14 es de mayor tamaño que el que muestra la combinación 11 (Figura 97d); el primer bloque fallado en la combinación 14 genera un efecto desestabilizante en el bloque inmediatamente superior, produciendo el vuelco y la caída sucesiva de los bloques que le siguen, mientras que en el caso de la combinación 11, el tamaño del bloque que inicia la falla no es

lo suficientemente grande para generar la desestabilización del bloque inmediatamente superior, y establece su equilibrio antes de que se presente la falla.

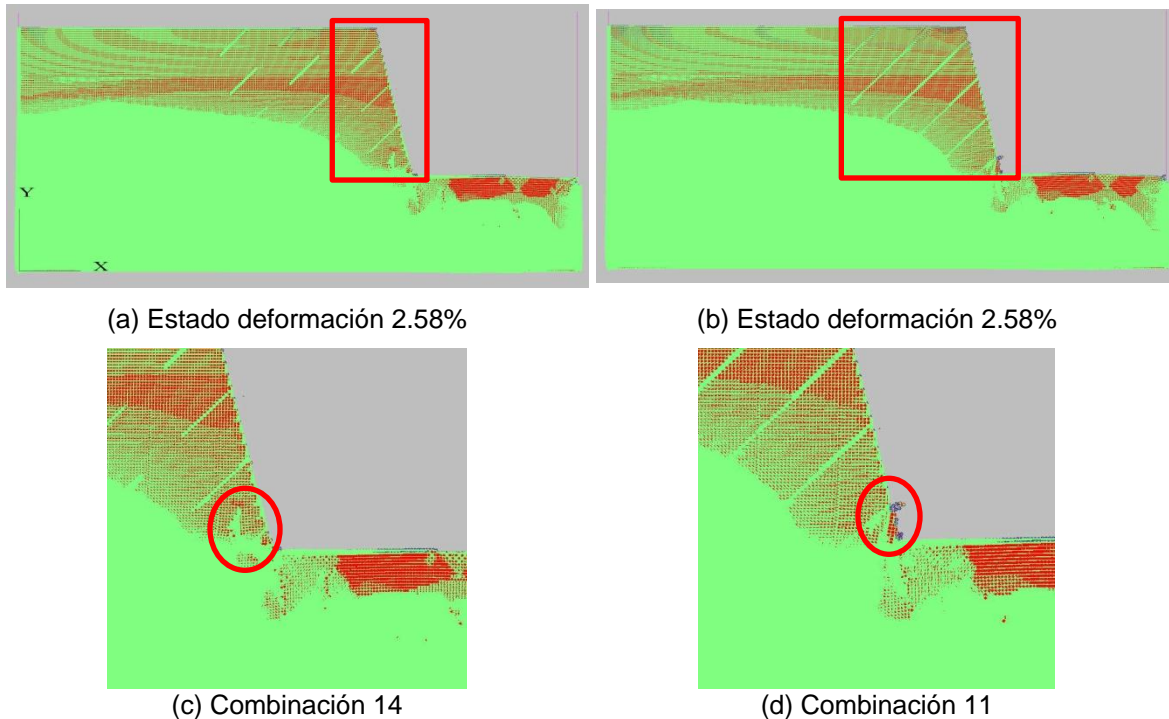


Figura 97. a) Bloques definidos por las fisuras y la persistencia (combinación 14), b) Bloques definidos por las fisuras y la persistencia (combinación 11), c) Inicio de falla (combinación 14) y d) c) Inicio de falla (combinación 11).

4.2.4 Análisis de las combinaciones especiales

La separación (0.30 metros y 1.0 metro), combinada con los tres tipos de orientación (favorable, medianamente favorable y desfavorable), condicionan el tamaño de los bloques que caen del talud.

Se observa que la orientación medianamente favorable condiciona que el mecanismo de falla del talud sea “vuelcos” y “caídas”; por otro lado, las combinaciones 28 y 31 tienen adicionalmente una componente de movimiento “traslacional”, mostrando tendencia a deslizarse sobre las fisuras con orientación desfavorable.

Es evidente que, la persistencia de las fisuras influye en el tamaño de la masa que se mueve en los taludes virtuales, siendo las combinaciones con persistencia alta (combinaciones 28 y 31), donde se presenta mayor cantidad de masa desplazada de entre las seis combinaciones especiales planteadas.

4.2.5 Otros resultados a tener en cuenta

La posición de las fisuras en el pie del talud, condiciona la estabilidad del mismo. Se realizó una prueba en la combinación 16, donde se eliminó la fisura ubicada en el pie del talud como se puede observar en la Figura 98 (a) y (b), obteniendo como resultado que, el talud con la fisura en el pie del talud virtual falla, mientras que el talud sin dicha fisura no falla, como se puede ver en la Figura 98 (c) y (d). En campo se pudo observar la presencia de socavación o erosión del pie del talud (mayor fisuración por efecto de la degradación del material), condición que actúa como un detonante en la falla del talud.

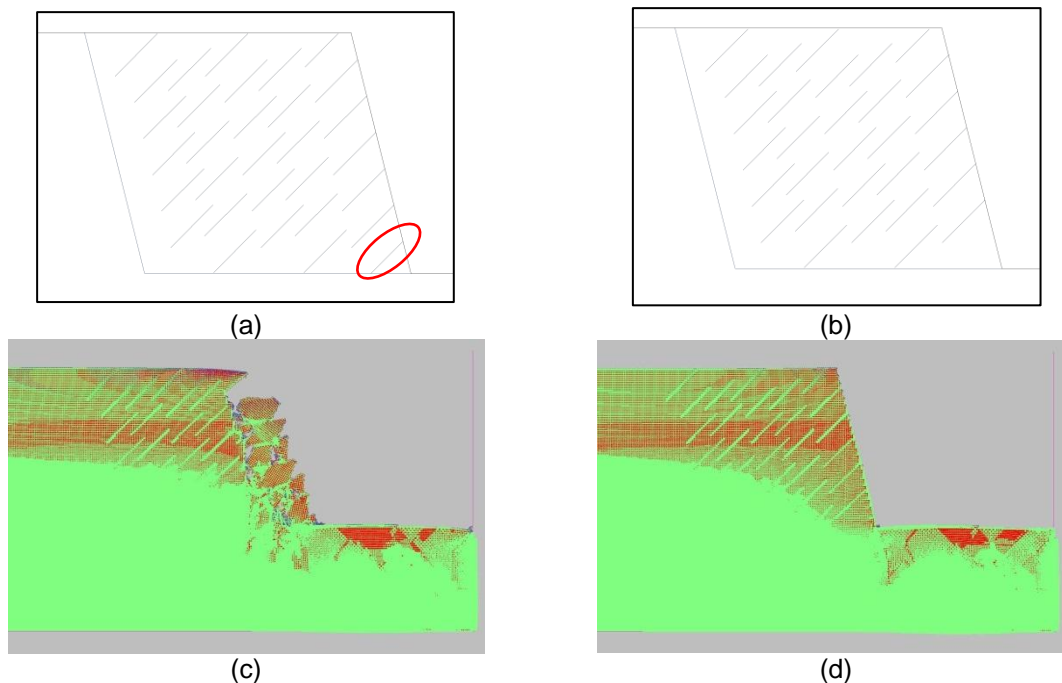


Figura 98. (a). Esquema combinación 16, b). Esquema combinación 16 sin fisura en el pie del talud, c) Estado de falla alcanzado 3.57% y d) Estado de falla alcanzado 3.24%.

4.2.6 Correlaciones entre las simulaciones y campo

Teniendo en cuenta que el objetivo de esta investigación es representar los mecanismos de falla que se presentan en los taludes de la CBTS, a continuación se presentan imágenes correlacionables entre los resultados obtenidos en las simulaciones de taludes virtuales realizadas en PFC-2D[®] y lo que se evidenció en los taludes de la CBTS (ver Figura 99 a la Figura 104). Las imágenes de las simulaciones usadas para las correlaciones no son, en todos los casos la condición de estado de falla máximo (3.57%), ni el estado final de post-falla o reposo, en algunos casos se eligieron fotos intermedias en la evolución de la falla del talud, las cuales se encuentran relacionadas en su totalidad en el ANEXO B.

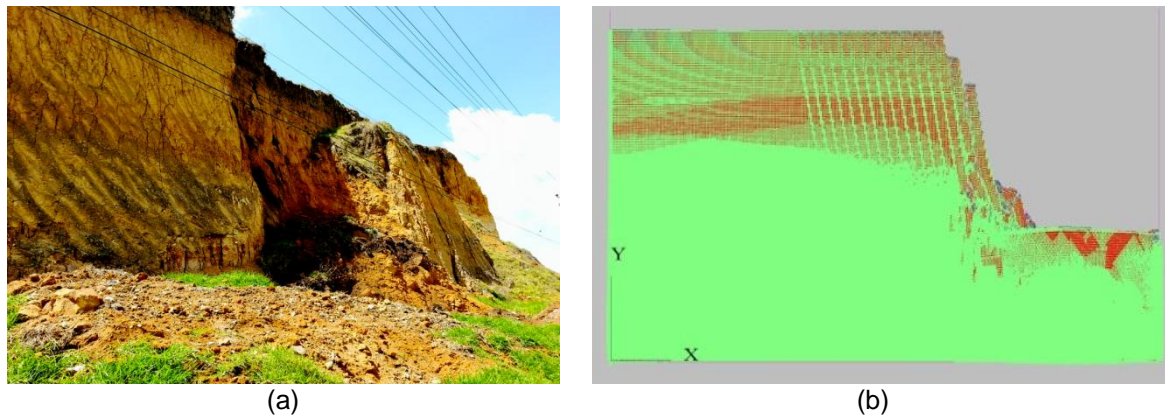


Figura 99. Mecanismo de falla “Caidas” en el KM 55 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 1 en PFC-2D[®].

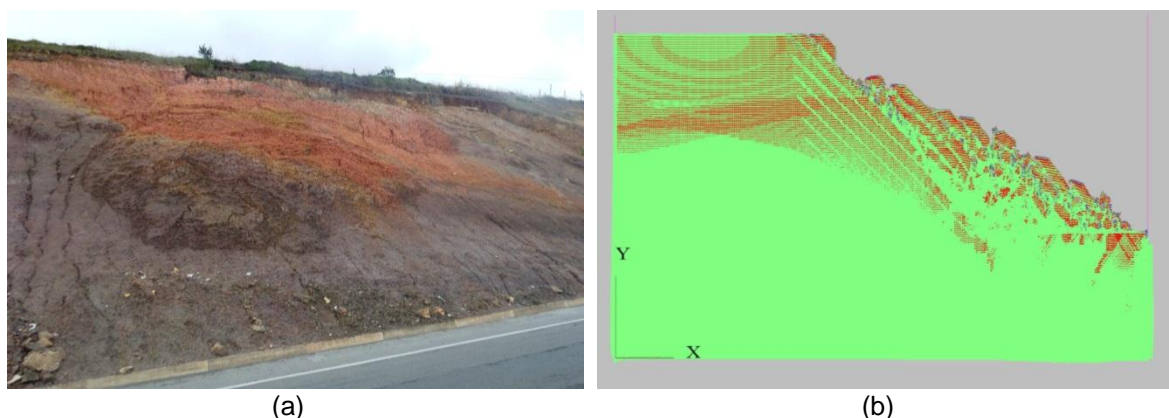


Figura 100. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 76+00 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 19 en PFC-2D[®].

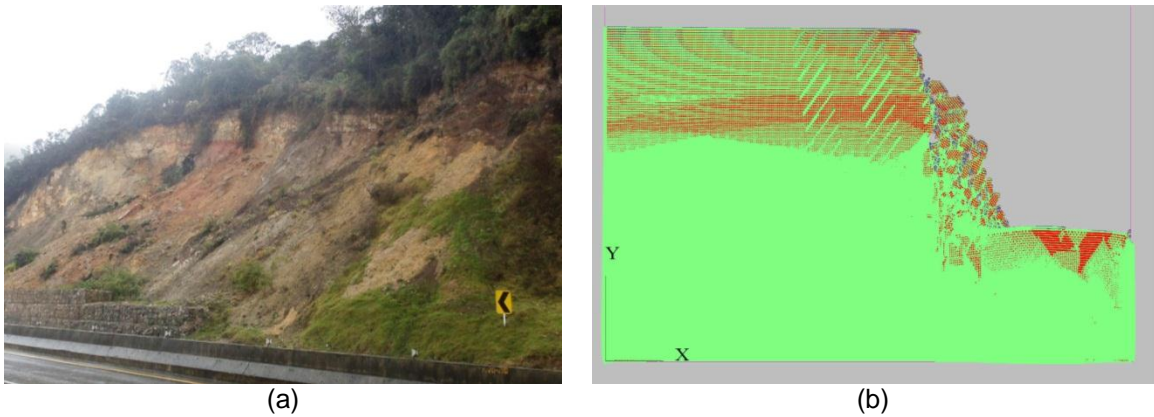


Figura 101. Mecanismo de falla “Vuelcos” en el KM 91+700 margen izquierda Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 13 en PFC-2D®.

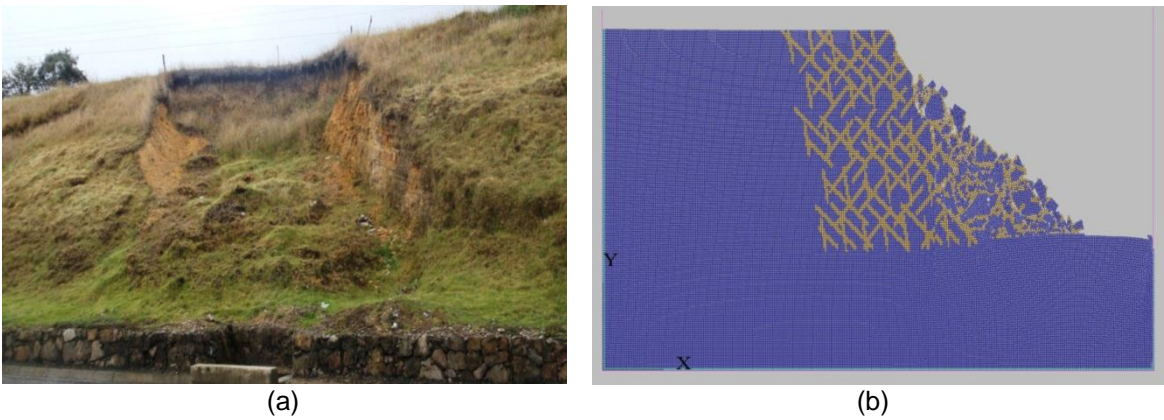


Figura 102. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional con componente rotacional” en el KM 102+700 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 30 en PFC-2D®.

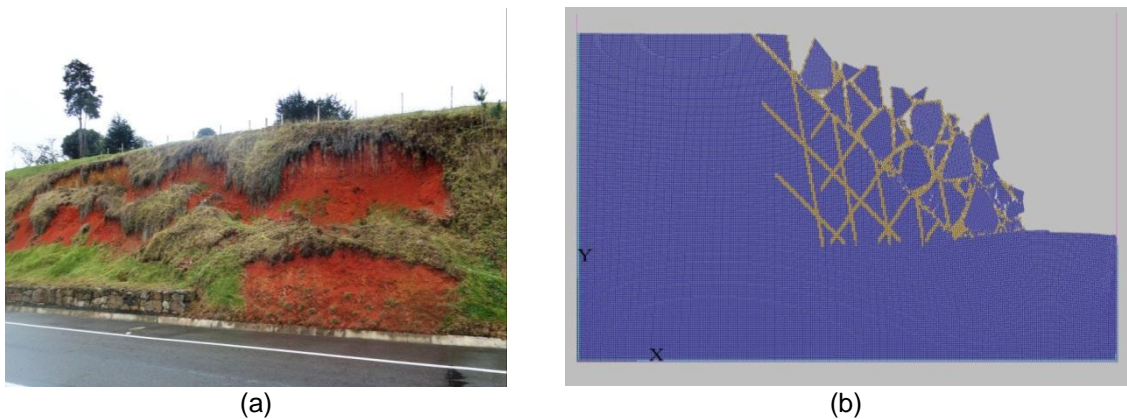


Figura 103. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 103+200 margen derecha Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 31 en PFC-2D®.

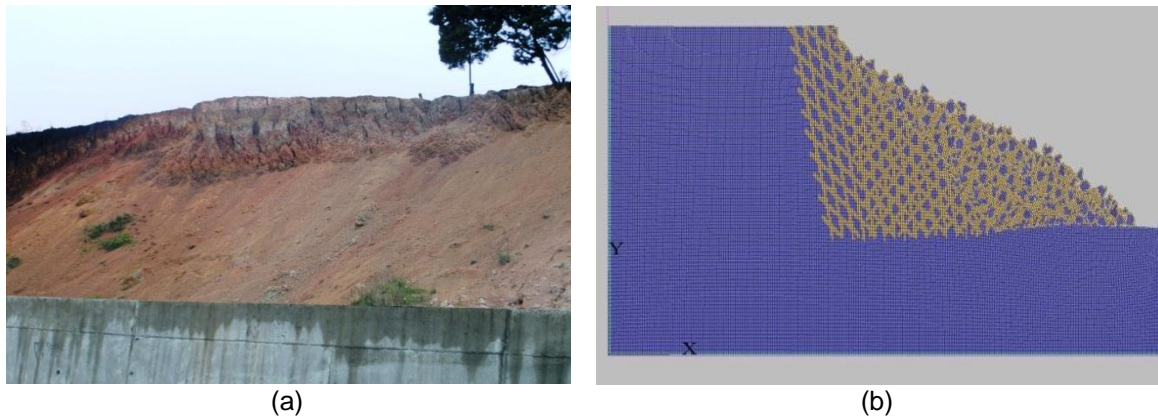


Figura 104. Mecanismo de falla “Deslizamiento traslacional” en el KM 101+300 margen izquierda Bogotá – Tunja. a) Talud CBTS y b) Simulación combinación 28 en PFC-2D®.

En la Tabla 28 se presenta el resumen de los tipos de mecanismos de falla obtenidos mediante las 33 simulaciones realizadas en PFC-2D®, según la clasificación Cruden y Varnes (1996).

Tabla 28. Resumen de los mecanismos de falla reproducidos mediante PFC-2D® según Cruden y Varnes (1996).

Combinación	Mecanismo de falla	Combinación	Mecanismo de falla
1	Caídas	18	No presenta
2	No presenta	19	Traslacional
3	No presenta	20	Traslacional
4	Caídas + vuelcos	21	Traslacional
5	No presenta	22	Traslacional Escalonado
6	No presenta	23	Traslacional Escalonado
7	Vuelcos	24	Traslacional Escalonado
8	No presenta	25	Traslacional Escalonado
9	No presenta	26	Traslacional Escalonado
10	Vuelcos	27	Traslacional

Combinación	Mecanismo de falla	Combinación	Mecanismo de falla (Caída)
11	No presenta	28	Traslacional
12	No presenta	29	Vuelcos
13	Vuelcos	30	Vuelcos con Componente Rotacional
14	Vuelcos	31	Traslacional
15	No presenta	32	Vuelco
16	Vuelcos + caídas	33	Vuelco
17	Vuelcos + caídas		

5 DISCUSIÓN

La propagación y coalescencia de fisuras que se obtuvo en el presente estudio fue similar a la que obtuvieron Mejía Camones et al. (2013) en el estudio de taludes de roca de gran altura; este proceso no es posible reproducirlo mediante el método de equilibrio límite y FEM. Adicionalmente, el mecanismo de falla escalonado simulado por Mejía Camones et al. (2013) también fue obtenido en las simulaciones del presente trabajo.

La persistencia de las fisuras mostró influencia en el tamaño de la masa que se desplaza, siendo mayor el tamaño de la masa fallada cuando mayor es la persistencia de las fisuras (ver Figura 91 a la Figura 96); este resultado también se puede observar en el trabajo de Wang, Tannant, y Lilly (2003), donde la persistencia con el 90% generó una superficie de falla más profunda respecto a la del 70% (ver Figura 20 y Figura 21).

Los mecanismos de falla que se pueden representar mediante métodos de equilibrio límite y continuo están restringidos, en su mayoría, a mecanismos de deslizamiento rotacional (superficie de falla circular) y deslizamiento traslacional (superficie de falla planar). En el presente estudio se logró reproducir mecanismos de falla tipo “vuelcos”, “caídas”, “traslacionales”, “traslacionales escalonados” y “complejos” (entendiéndose complejo a la combinación de dos o más mecanismos de falla), los cuales se acercan más a los mecanismos evidenciados en campo.

6 CONCLUSIONES

Los resultados de la inspección de campo permitieron determinar el patrón del fisuramiento de los IGMs, los cuales definen el comportamiento de los taludes, y que fue tomado como base para la simulación del talud virtual, sobre el cual fueron realizados los análisis de los mecanismos de falla. Del análisis realizado a los patrones de fisuración, se definieron los parámetros de orientación, separación y persistencia, como aquellos que más afectan la estabilidad del talud.

A partir de los mecanismos de fisuración identificados en los IGMs estudiados, se definieron los modelos de contacto de rigideces y deslizamiento para simular un medio granular y el modelo de “*Contact Bond* – enlace por contacto” para simular la cementación de los IGMs teniendo en cuenta que estos materiales están compuestos por un medio particulado cementado, la inclusión de los patrones de fisuración eliminando la resistencia de los enlaces en los contactos involucrados en una fisura condujo a resultados correlacionables con lo evidenciado en campo.

Las simulaciones realizadas en el programa PFC-2D[®] permitieron representar los mecanismos de falla traslacional, volteo y caídos definidos por Cruden y Varnes (1996). Adicionalmente se reprodujeron mecanismos de falla complejos (combinación de dos o más mecanismos de falla). El mecanismo de falla rotacional no se logró reproducir con los esquemas de fisuración planteados.

El análisis de los mecanismos de falla en los IGMs, basados en DEM y realizados mediante el software PFC-2D[®], permiten concluir lo siguiente:

- ❖ La orientación de las fisuras ejerce un control estructural en la falla de los taludes, y a su vez define el mecanismo de falla del talud. Se concluye que la orientación “desfavorable” es la que mejor representa el mecanismo de falla traslacional, la orientación “medianamente favorable” contribuye a la

reproducción de vuelcos y finalmente la orientación “favorable” conduce al mecanismo de falla de caídas.

- ❖ Se encontró que a menor separación de las fisuras, mayor es la susceptibilidad a la falla de los taludes.
- ❖ A mayor persistencia de las fisuras, mayor es en la profundidad de la superficie de falla, es decir mayor es el área de masa afectada en la falla del talud.
- ❖ La localización de las fisuras en el pie del talud, actúan como un factor condicionante en la falla de los taludes.

El método de elementos discretos (DEM) permitió representar y analizar los mecanismos de falla en taludes de IGMs adecuadamente, mostrando su potencialidad en análisis la evolución de los mecanismos de falla, donde es posible observar donde inicia y cómo se desarrolla la falla. Este conocimiento puede brindar a los ingenieros diseñadores una herramienta para optimizar los diseños en nuevos cortes de taludes.

Finalmente resultados adecuados y consistentes solo pueden ser obtenidos mediante una buena calibración de los parámetros del modelo DEM y del tamaño de la partícula.

7 RECOMENDACIONES

El DEM es una herramienta que ha resultado ser útil para el análisis de la estabilidad de taludes. Los IGMs, son materiales cuyo comportamiento en la estabilidad de taludes no ha sido ampliamente estudiado, es por ello que se plantean recomendaciones y sugerencias para futuros trabajos que puedan contribuir en el análisis e interpretación del comportamiento de estos materiales, con el fin de encontrar soluciones ingenieriles que permitan minimizar los riesgos de deslizamientos y pérdidas económicas en las excavaciones involucradas.

Esta investigación puede complementarse incorporando los siguientes aspectos:

- ❖ Realizar ensayos de laboratorio para la calibración de los parámetros en la micro-escala (parámetros de los modelos de contacto del PFC-2D[®]) y extrapolarlos a la macro-escala en los IGMs.
- ❖ Implementar un modelo de degradación física como el propuesto por Ocampo, M. S. (2009) y modelo de degradación química como el empleado en el trabajo desarrollado por Calvetti, Nova, y Castellanza (2007), procesos que experimentan los IGMs.
- ❖ Incluir el efecto de presión del agua en las fisuras.
- ❖ Disminuir el tamaño de partícula para poder disminuir separación de las fisuras y acercarse más a los patrones de fisuración evidenciados en campo.
- ❖ Generar una metodología para encontrar una analogía entre el tiempo de corrida de una simulación y el tiempo de falla en la vida real.
- ❖ Realizar análisis en 3D, donde se pueda analizar el efecto de diferentes familias de fisuras.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Brooks, Heather Margaret. 2008. «Axial Capacity of Piles Supported on Intermediate Geomaterials». Montana State University - Bozeman, College of Engineering. <http://scholarworks.montana.edu/xmlui/handle/1/979>.
- Cabrera, M. 2010. «Influencia de la persistencia de una familia de discontinuidades en la estabilidad frente al deslizamiento de una presa de gravedad». Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.k
- Calvetti, F., R. Nova, y R. Castellanza. 2007. «Weathering of soft rocks: continuum and discrete approaches». *Department of Structural Engineering, Politecnico di Milano, Italy*. «Weathering of soft rocks: continuum and discrete approaches». Accedido mayo 8. <http://www.stru.polimi.it/Alert/Elenco%20articoli/Nova/calvetti-nova-castellanza.pdf>.
- Chang, Ching S. 1992. «Discrete element method for slope stability analysis». *Journal of geotechnical engineering* 118 (12): 1889-1905.
- Cruden, D. M., y D. J. Varnes. 1996. «Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) Landslides: Investigation and Mitigation». *Transportation Research Board Special Report*, n.º 247: 36-75.
- Cundall, P. A. 1971. «A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems». «A discontinuous future for numerical modelling in geomechanics?» *Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering* 149 (1): 41-47.
- Cundall, P. A., y O. D. L. Strack. 1979. «A discrete numerical model for granular assemblies». *Géotechnique* 29 (1): 47-65.

Do Nascimento, Emilio Lima, Humberto Carvalho Júnior, Adeildo Soares Ramos, y Viviane Carrillo Leão Ramos. 2007. «Aplicação do método de elementos discretos na análise de estabilidade de taludes». *Universidade Federal de Alagoas*.

Eberhardt, E., D. Stead, y J.S. Coggan. 2004. «Numerical analysis of initiation and progressive failure in natural rock slopes—the 1991 Randa rockslide». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41 (1): 69-87. doi:10.1016/S1365-1609(03)00076-5.

Ghazvinian, A., V. Sarfarazi, W. Schubert, y M. Blumel. 2012. «A Study of the Failure Mechanism of Planar Non-Persistent Open Joints Using PFC2D». *Rock Mechanics and Rock Engineering*, marzo. doi:10.1007/s00603-012-0233-2.

Gómez Ramírez, Susana. 2009. «Efecto de los cambios de succión y tensión en la degradación de argilitas». *Universitat Politècnica de Catalunya*, marzo.

González de Vallejo, Luis. 2002. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

Goodman, Richard E. 1993. *Engineering Geology: Rock in Engineering Construction*. 1 edition. New York: Wiley.

Gutiérrez, Gonzalo. 2001. «Elementos de simulación computacional - Dinámica Molecular y Método de Monte Carlo». Universias de Santiago de Chile.

ISRM. 1981. *Rock Characterization, Testing & Monitoring: ISRM Suggested Methods*. Published for the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics by Pergamon Press.

Itasca Consulting Group Inc. 2002. «Particle Flow Code in two dimensions».

Jaeger, J.C. 1967. «Failure of rocks under tensile conditions». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 4 (2): 219-27.

- Jennings, J. 1970. «A mathematical theory for the calculation of the stability of slopes in open cast mine.» En .
- Lisjak, A., G. Grasselli, y T. Vietor. 2014. «Continuum–discontinuum analysis of failure mechanisms around unsupported circular excavations in anisotropic clay shales». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 65 (enero): 96-115. doi:10.1016/j.ijrmms.2013.10.006.
- Lo, K. Y., y C. F. Lee. 1973. «Stress analysis and slope stability in strain softening soils». *Geotechnique*, 17.
- Mejía Camones, Luis Arnaldo Mejía, Eurípedes do Amaral Vargas, Rodrigo Peluci de Figueiredo, y Raquel Quadros Velloso. 2013. «Application of the discrete element method for modeling of rock crack propagation and coalescence in the step-path failure mechanism». *Engineering Geology* 153 (febrero): 80-94. doi:10.1016/j.enggeo.2012.11.013.
- Mellado Cruz, Juan. 2005. «Aplicación del método de los elementos discretos a problemas de desgaste». *Universitat Politècnica de Catalunya*, mayo.
- Montero, Juan. 2002. «Caracterización geológica de macizos rocosos». Universidad Nacional de Colombia.
- O’Sullivan, Catherine. 2011. *Particulate Discrete Element Modelling: A Geomechanics Perspective*. Edición: New. London ; New York: CRC Press.
- Ocampo, M. S. 2009. «Fracturamiento de partículas en materiales granulares sometidos a cargas cíclicas con rotación de esfuerzos». Bogotá: Universidad de los Andes.
- Potyondy, D.O., y P.A. Cundall. 2004. «A bonded-particle model for rock». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41 (8): 1329-64. doi:10.1016/j.ijrmms.2004.09.011.
-

- Radhakanta, Koner, y Chakravarty Debashish. 2010. «Discrete element approach for mine dump stability analysis». *Mining Science and Technology (China)* 20 (6): 809-13. doi:10.1016/S1674-5264(09)60286-6.
- Ramírez, Belsy C., y Jorge Ramírez. 2013. «Evaluación del grado de alteración física y mecánica de arcillolitas a partir de mediciones de vibración». Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sadisun, I. A., Bandonó, H. Shimada, M. Ichinose, y K. Matsui. 2003. «Slope instability of road cuts due to rock slaking». En , 747-50. Singapore: World Scientific Publishing.
- Samtani, N. C., y E. A. Nowatzki. 2006. *Soils and Foundations Reference Manual*. Report No. FHWA-NHI-06-088, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Arlington, VA.
- Serrano, Alcibiades. 2004. *Mecánica de las rocas*. Séptima. E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Servicios de Ingeniería Ltda. 2011. *Estudio geotécnico y diseño de medidas de contención en el K 47+540 al 47+850*. Villapinzón, concesión BTS.
- Valverde, N.N., Romanel, C., y López J.M.M. 2011. «Simulación del fisuramiento en mezclas asfálticas por el método de elementos discretos». En Toronto.
- Varnes, D. J. 1978. *Slope movement types and processes*. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board. Washington D. C: National Academy of Science. <http://www.abebooks.com/Landslides-Analysis-Control-Special-report-Transportation/8629013547/bd>.
- Wang, C., D.D. Tannant, y P.A. Lilly. 2003. «Numerical Analysis of the Stability of Heavily Jointed Rock Slopes Using PFC2D». *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 40 (3): 415-24. doi:10.1016/S1365-1609(03)00004-2.
-

**ANEXO A – FORMATOS PARA LEVANTAMIENTO DE FISURAS
EN LOS TALUDES DE ESTUDIO**



MEDICIÓN ESTRUCTURA GEOLOGICA

INFORMACION GENERAL

REGISTRO
Nº

0 1

PROYECTO: TESIS MAESTRIA

FECHA: 18 DE JUNIO DE 2013

OPERADOR: CARLOS BUENAHORA

HOJA DE DATOS Nº

1 DE 2

NATURALEZA Y ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

SITIO: 1. KM 55+00 vía Bogotá - Tunja - Chocontá - Cundinamarca - Colombia

Nº	TIPO	DIR. BUZAMIENTO			BUZAMIENTO		ESPACIAMIENTO cm			PERSISTENCIA				ABERTURA		RELLENO	ASPEREZA	AGUA	OBSERVACIONES
		2	5	0	8	6	0	2	9	A	L	T	A	2	mm	NO	R	N	
1	J	2	5	0	8	6	0	2	9	A	L	T	A	2	mm	NO	R	N	
2	J	2	3	8	7	0	0	1	7	A	L	T	A	10	mm	NO	R	N	
3	J	2	4	1	7	6	0	2	0	A	L	T	A	7	mm	NO	R	N	
4	J	2	5	4	8	4	0	1	0	A	L	T	A	5	mm	NO	R	N	
5	J	2	7	8	8	1	0	1	5	A	L	T	A	9	mm	NO	R	N	
6	J	2	7	5	8	4				A	L	T	A				R	N	
7	J	2	6	0	8	7				A	L	T	A				R	N	
8	J	3	2	3	8	2				MEDIA							R	N	
9	J	3	0	6	8	1				MEDIA							R	N	
10	J	3	4	8	7	7				MEDIA							R	N	
11	T	3	1	5	7	7				MEDIA							R	N	

TIPO			
J	Junta	F	Falla
E	Estratificación	T	Talud

ASPEREZA			
L	Lisa	MR	Muy Rugosa
R	Rugosa		

RELLENO			
C	Cerrada	A	Relleno con arcilla
P	Cementada	S	Relleno con arena
G			Relleno con grava



MEDICIÓN ESTRUCTURA GEOLOGICA

INFORMACION GENERAL

REGISTRO N° 0 2 PROYECTO TESIS MAESTRIA FECHA 18 DE JUNIO DE 2013 OPERADOR C. BUENAHORA HOJA DE DATOS N° 2 DE 2

NATURALEZA Y ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

SITIO: 3. KM 104+200 Vía Bogotá – Tunja, sector Ventaquemada, aledaño a la entrada de Jenesano

Nº	TIPO	DIR. BUZAMIENTO			BUZAMIENTO		ESPACIAMIENTO cm		PERSISTENCIA	ABERTURA mm		RELLENO	ASPEREZA	AGUA	OBSERVACIONES
		1	2	3	4	5	6	7		8	9				
1	J	1	5	2	7	4	0	2	0	0	1	C	L	SI	
2	J	1	3	4	7	8	0	1	8	0	2	C	L	SI	
3	J	1	4	3	7	0	0	1	5	0	1	C	L	SI	
4	T	1	4	5	5	0	0	2	1	0	1	C	L	SI	

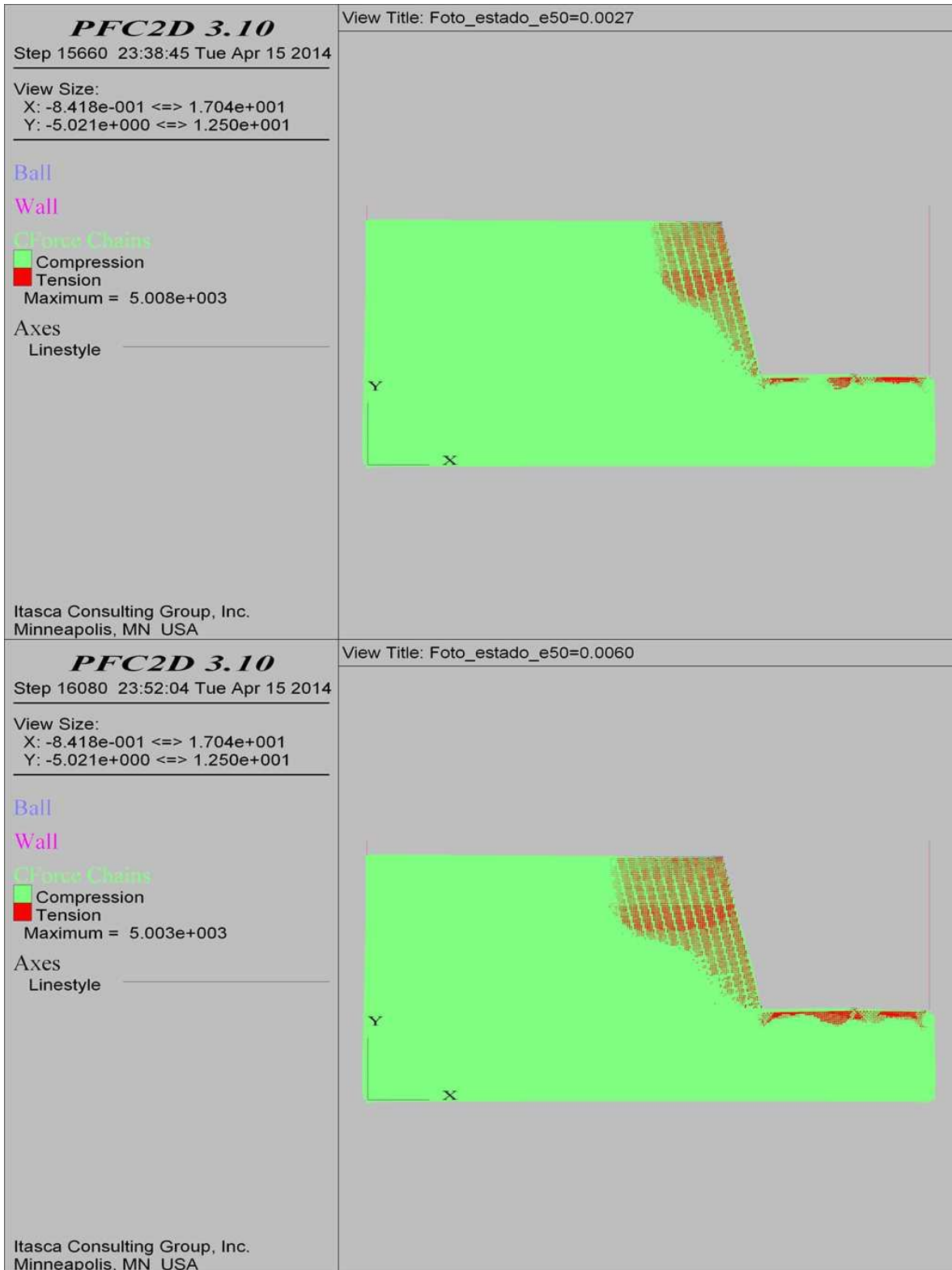
TIPO			
J	Junta	F	Falla
E	Estratificación	T	Talud

ASPEREZA			
L	Lisa	MR	Muy Rugosa
R	Rugosa		

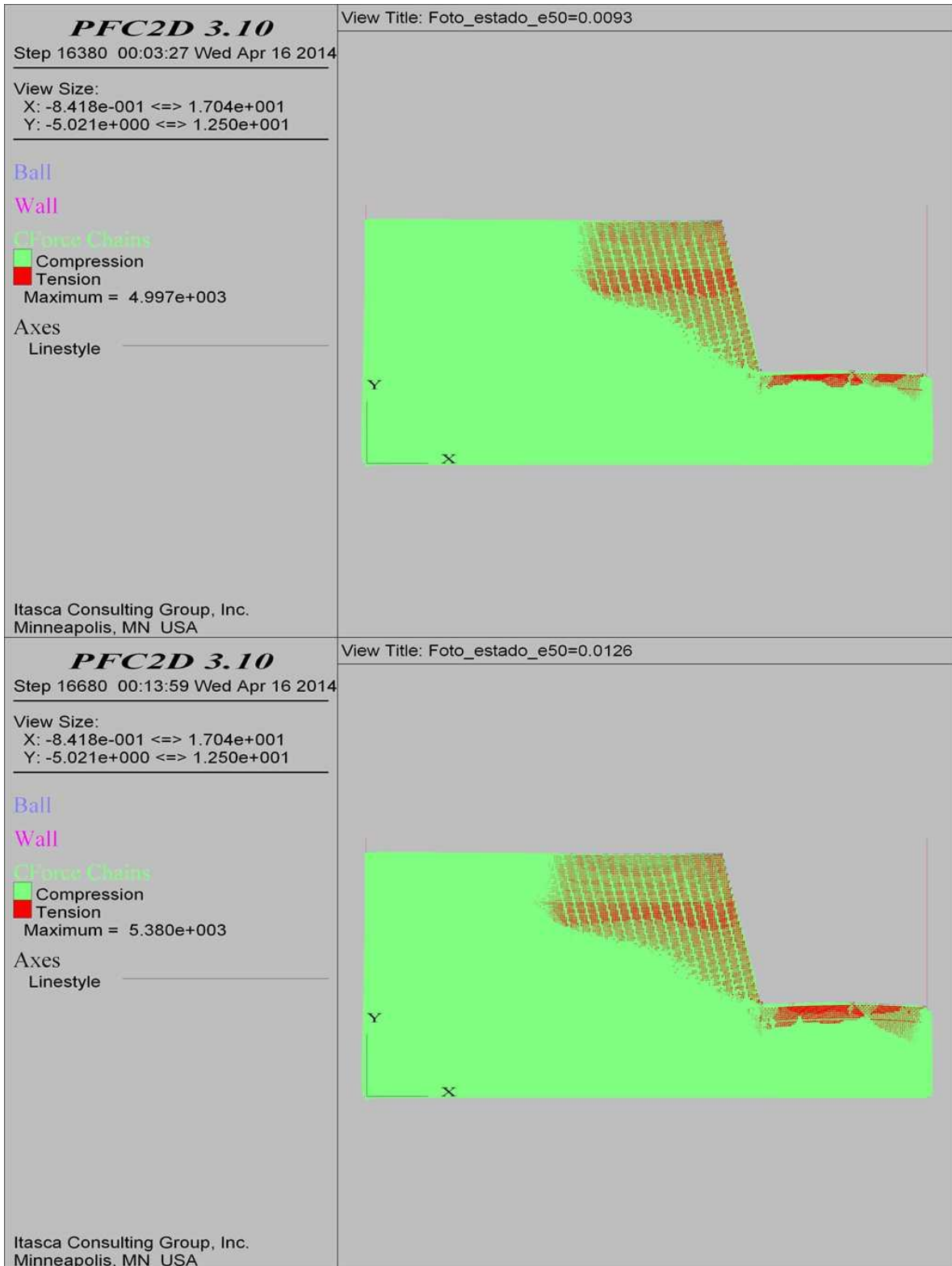
RELLENO			
C	Cerrada	A	Relleno con arcilla
P	Cementada	S	Relleno con arena
		G	Relleno con grava

ANEXO B – RESULTADOS DE LA SIMULACIONES

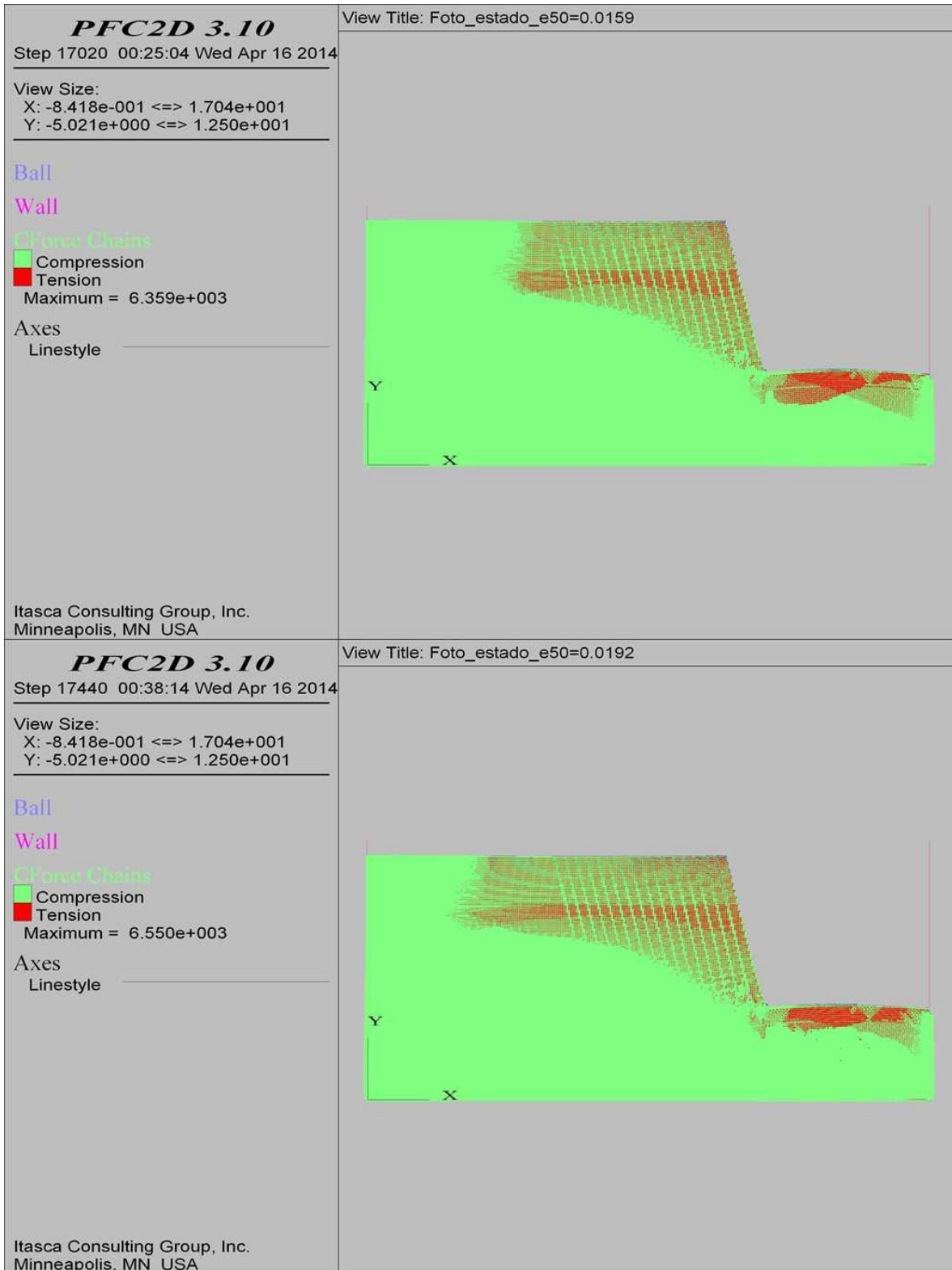
COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



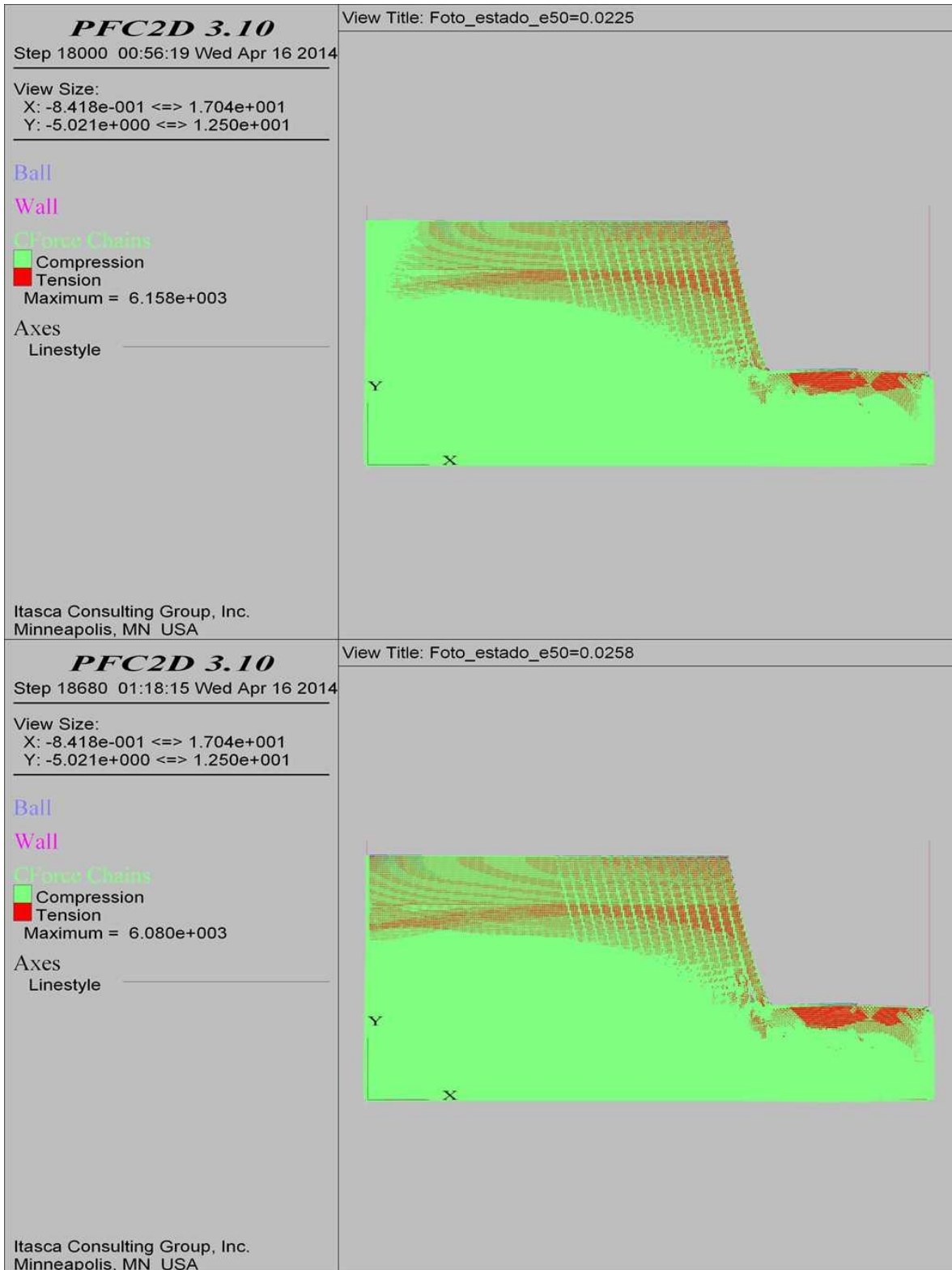
COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



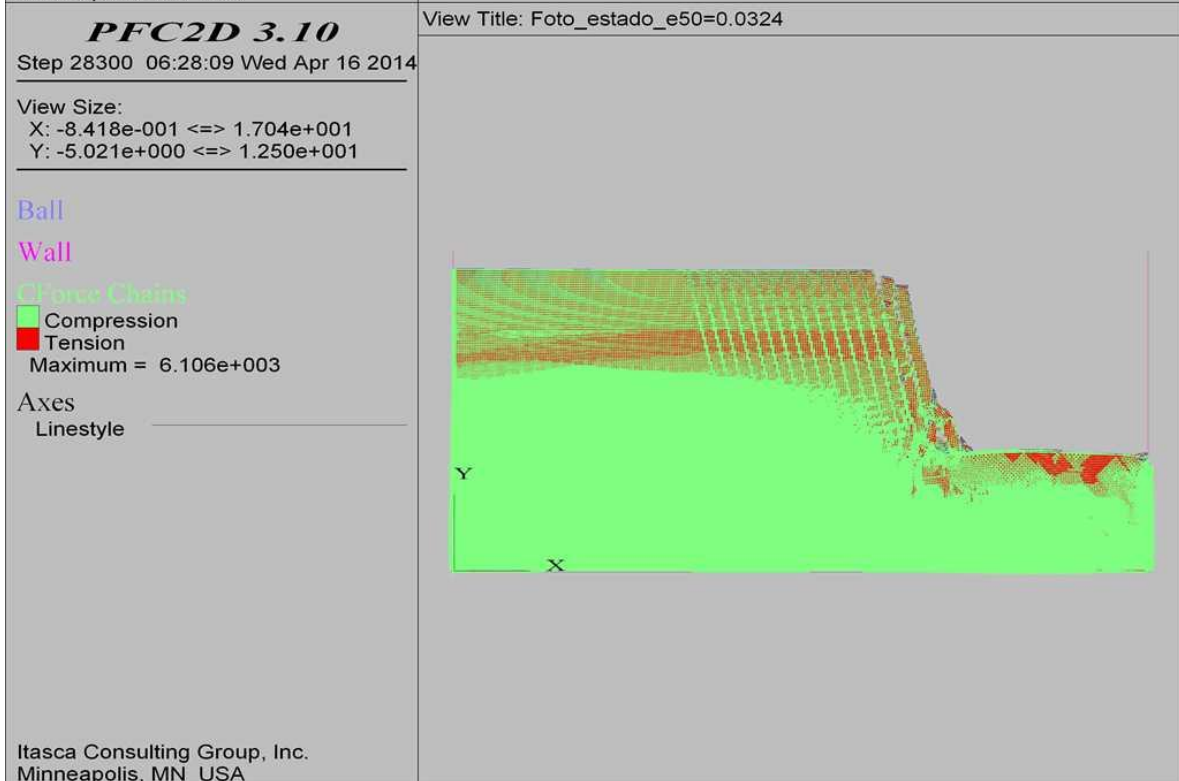
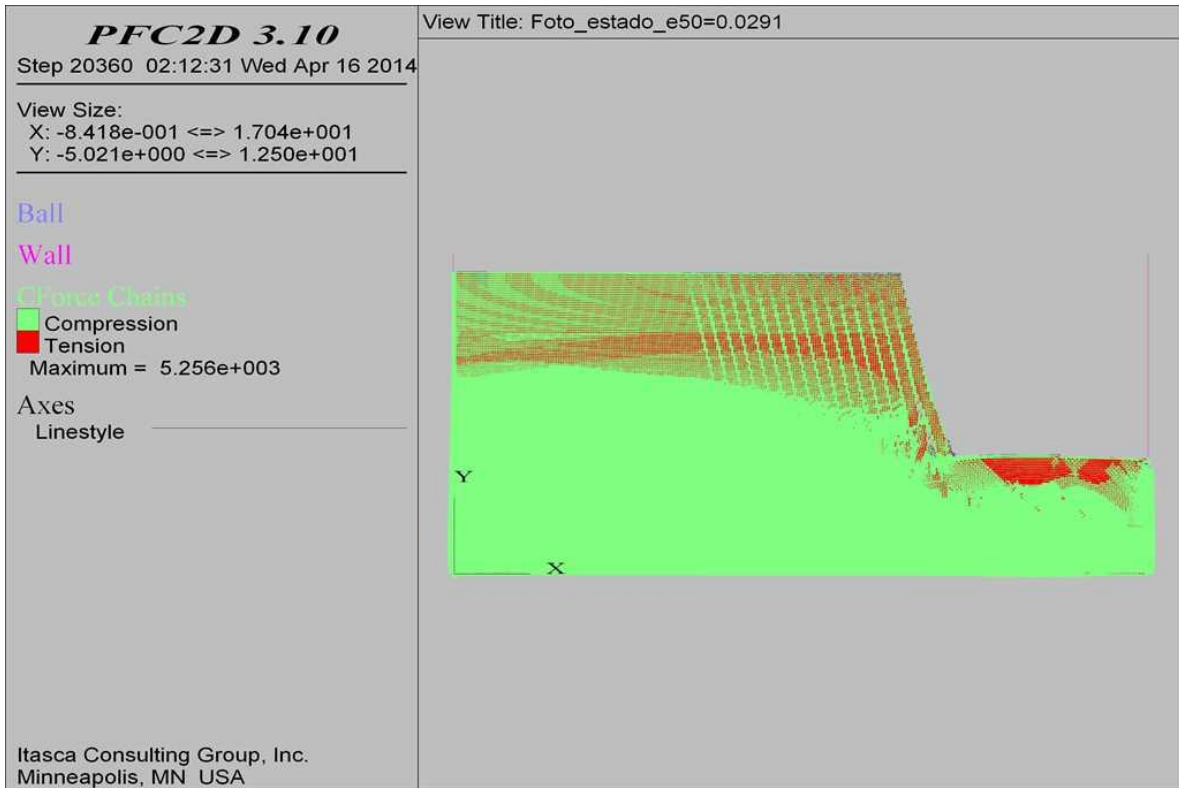
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



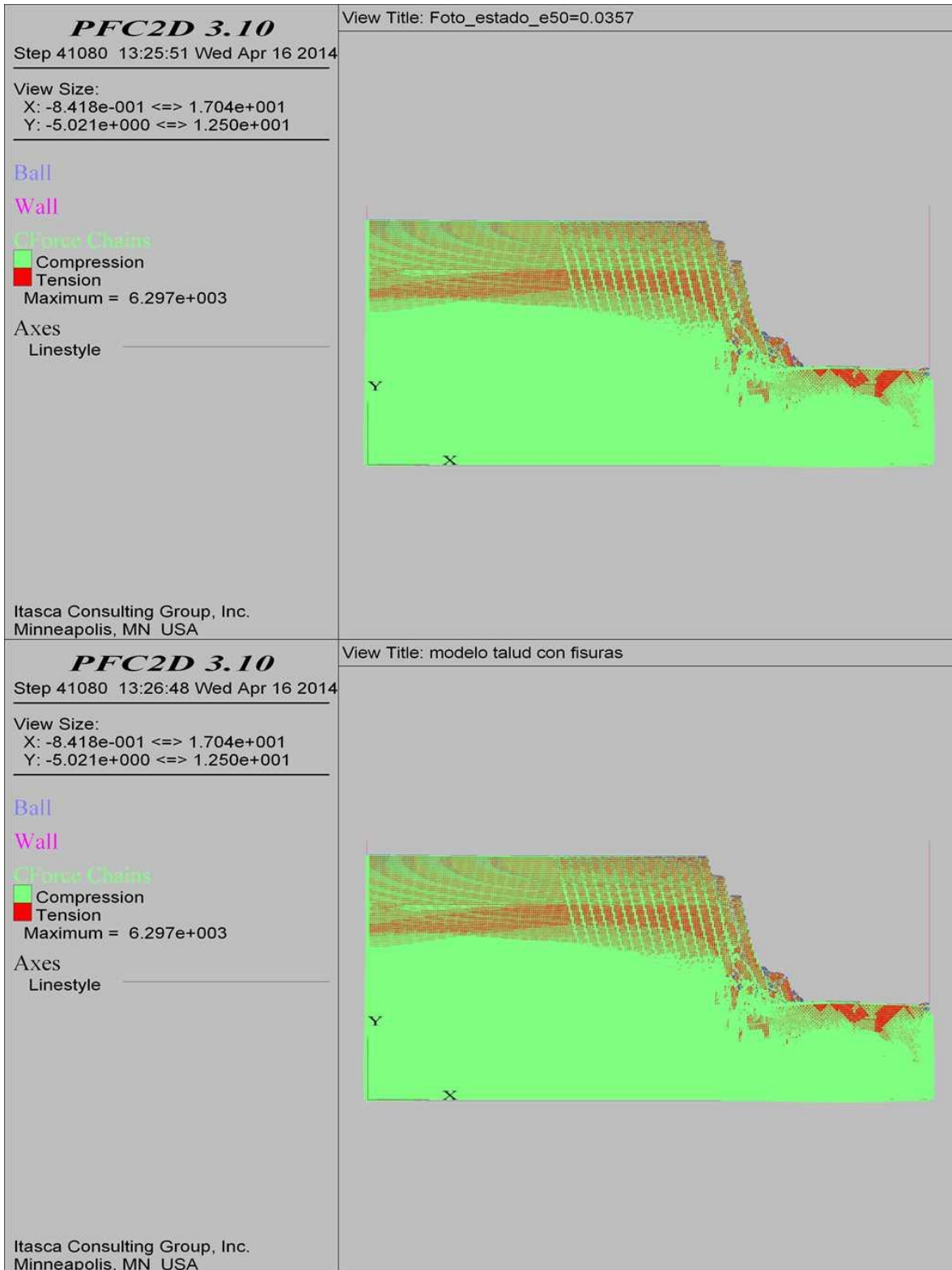
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



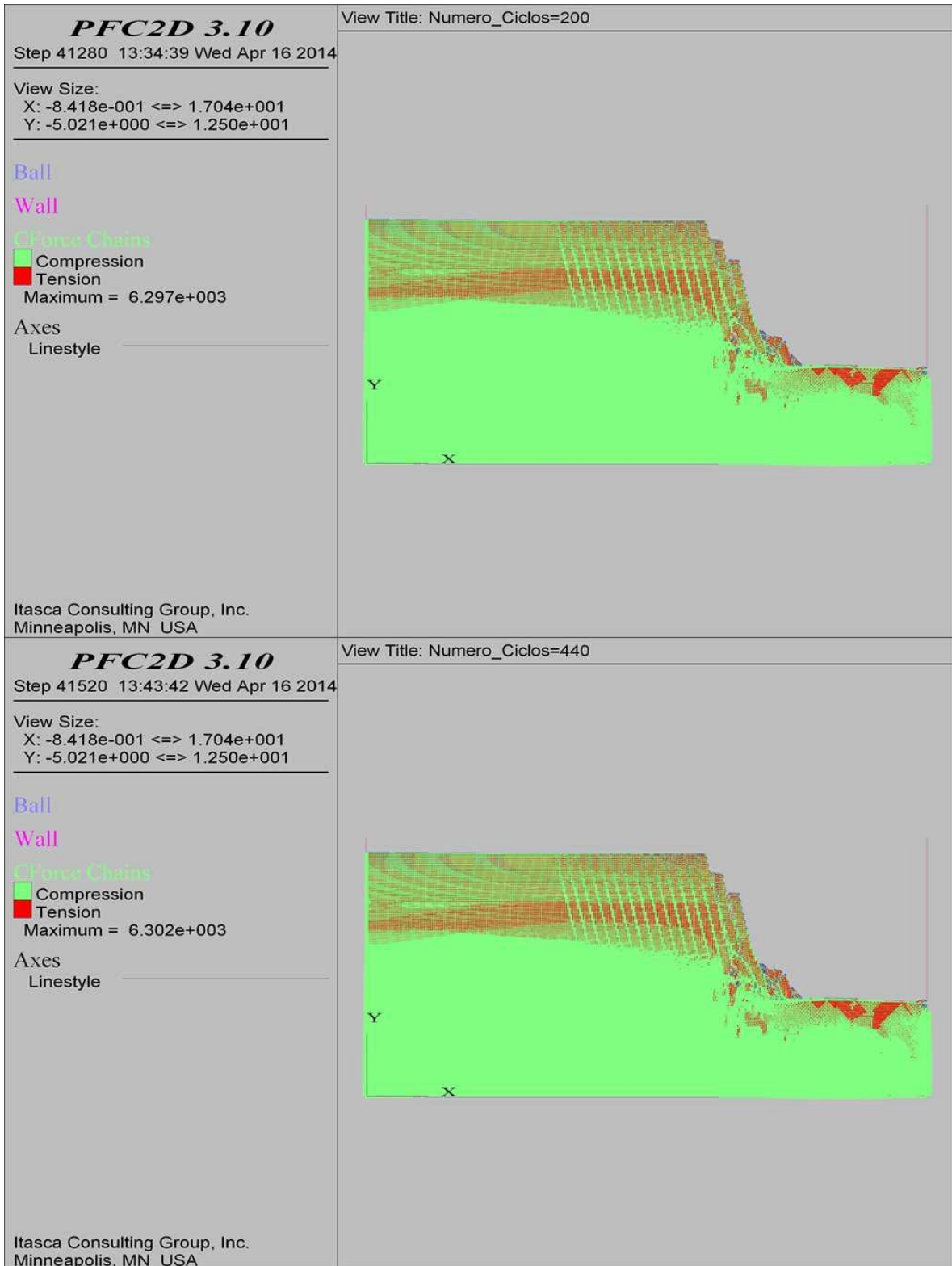
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



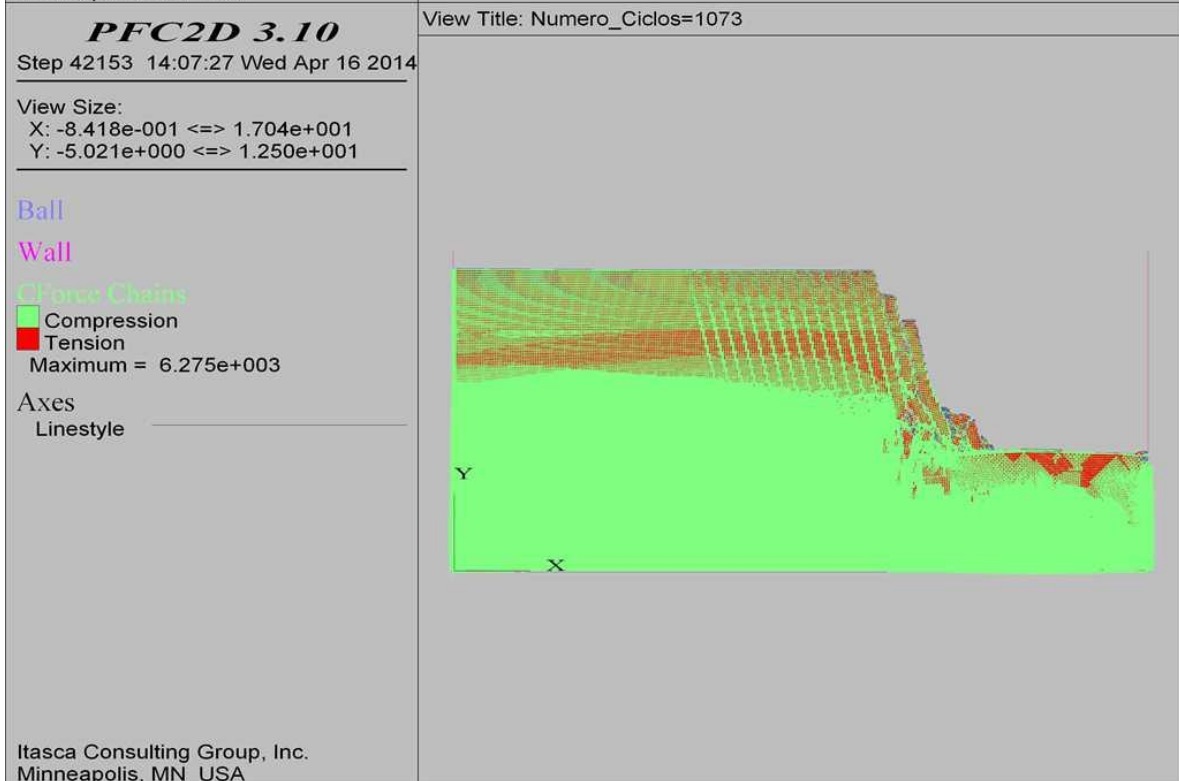
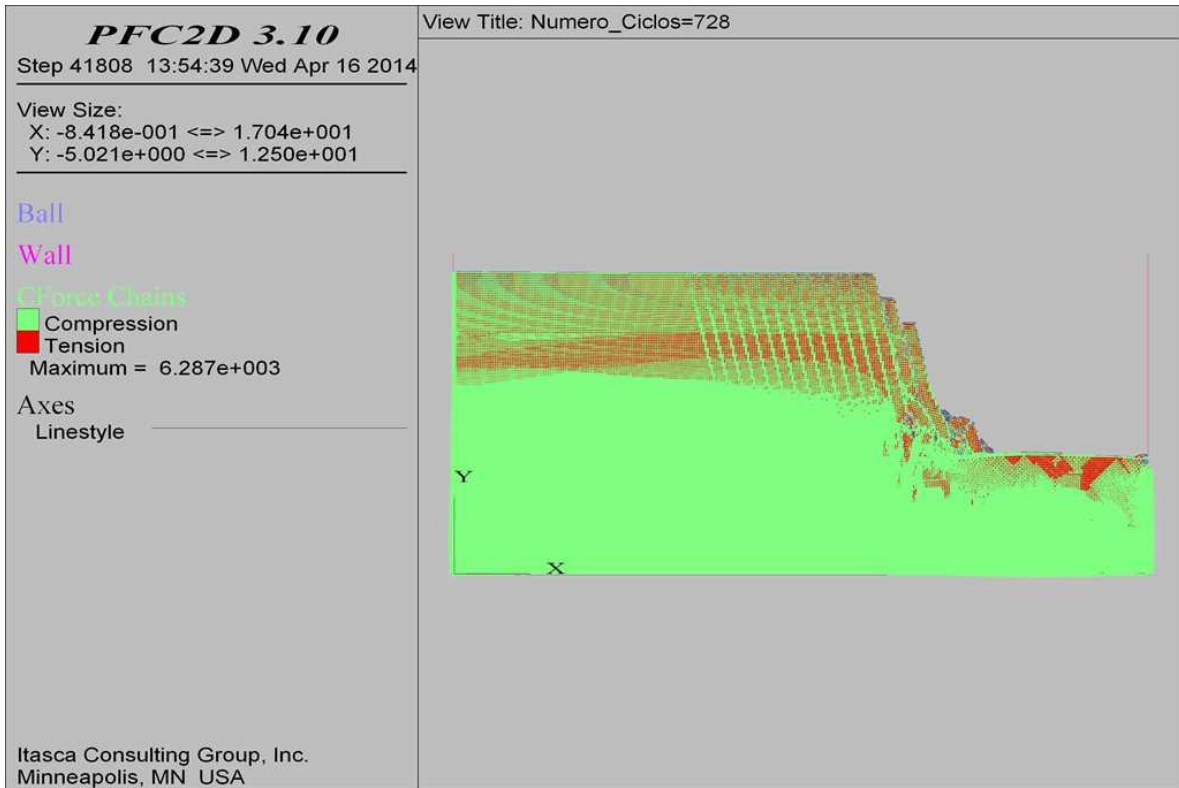
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



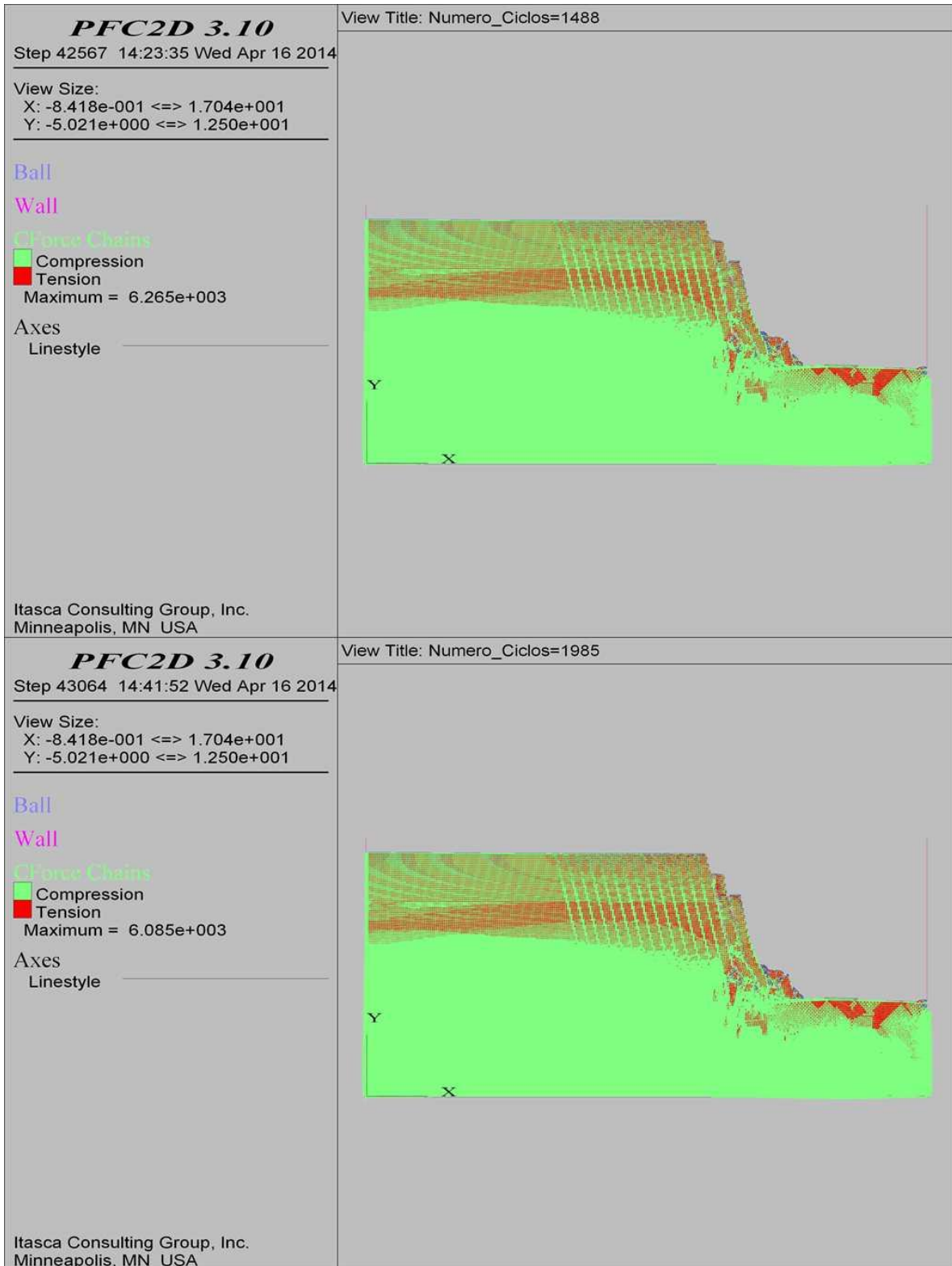
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



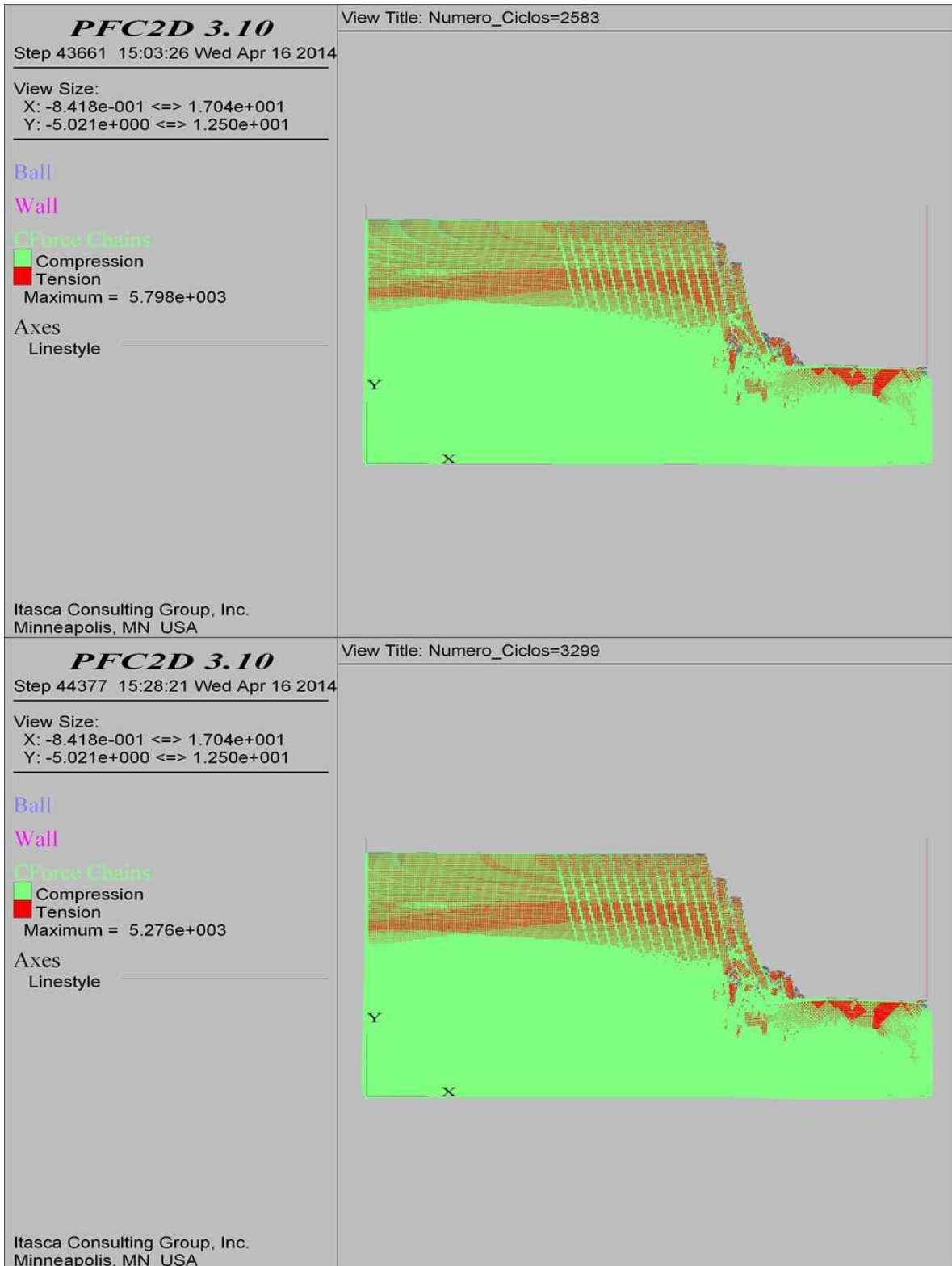
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



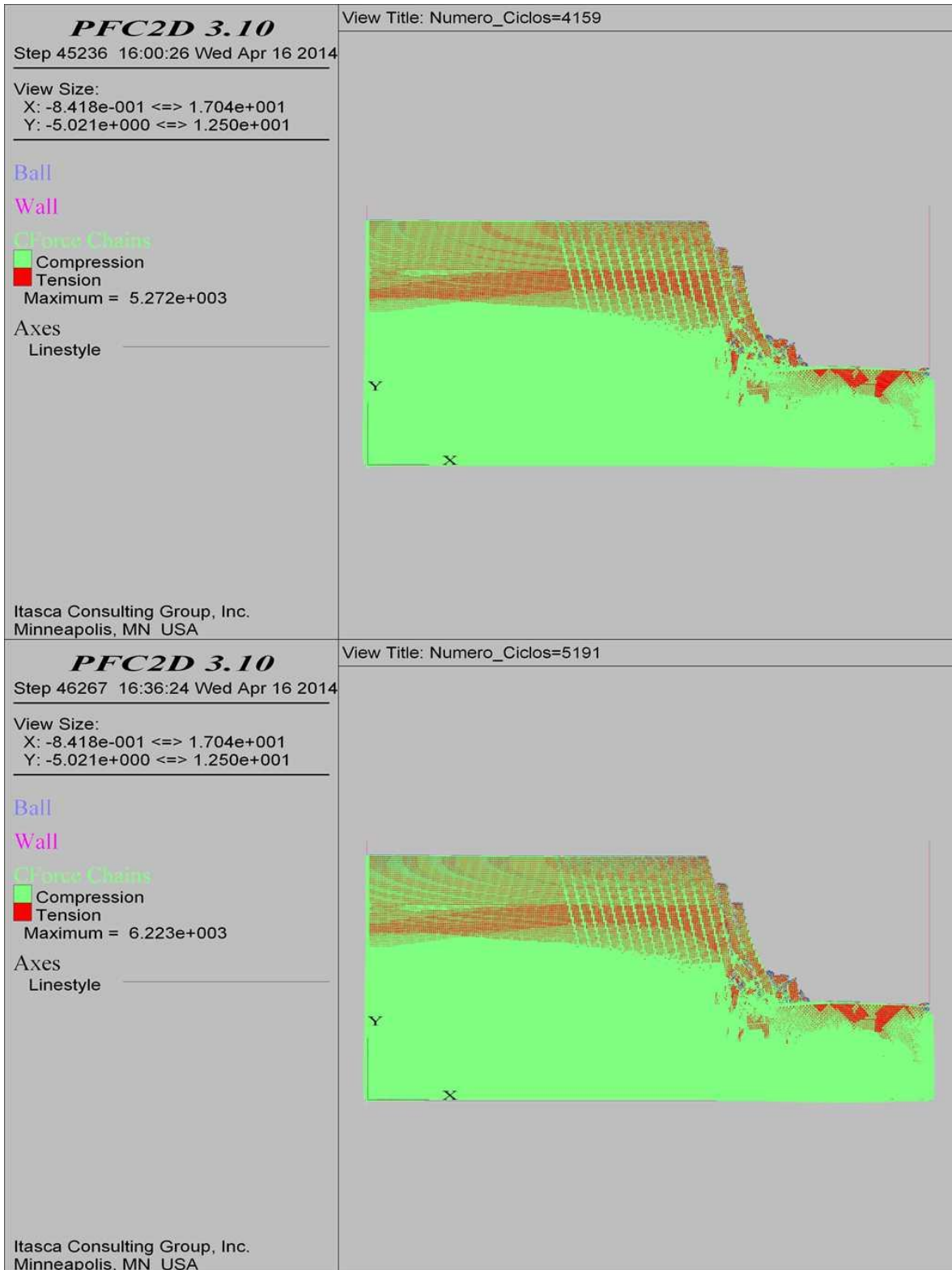
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



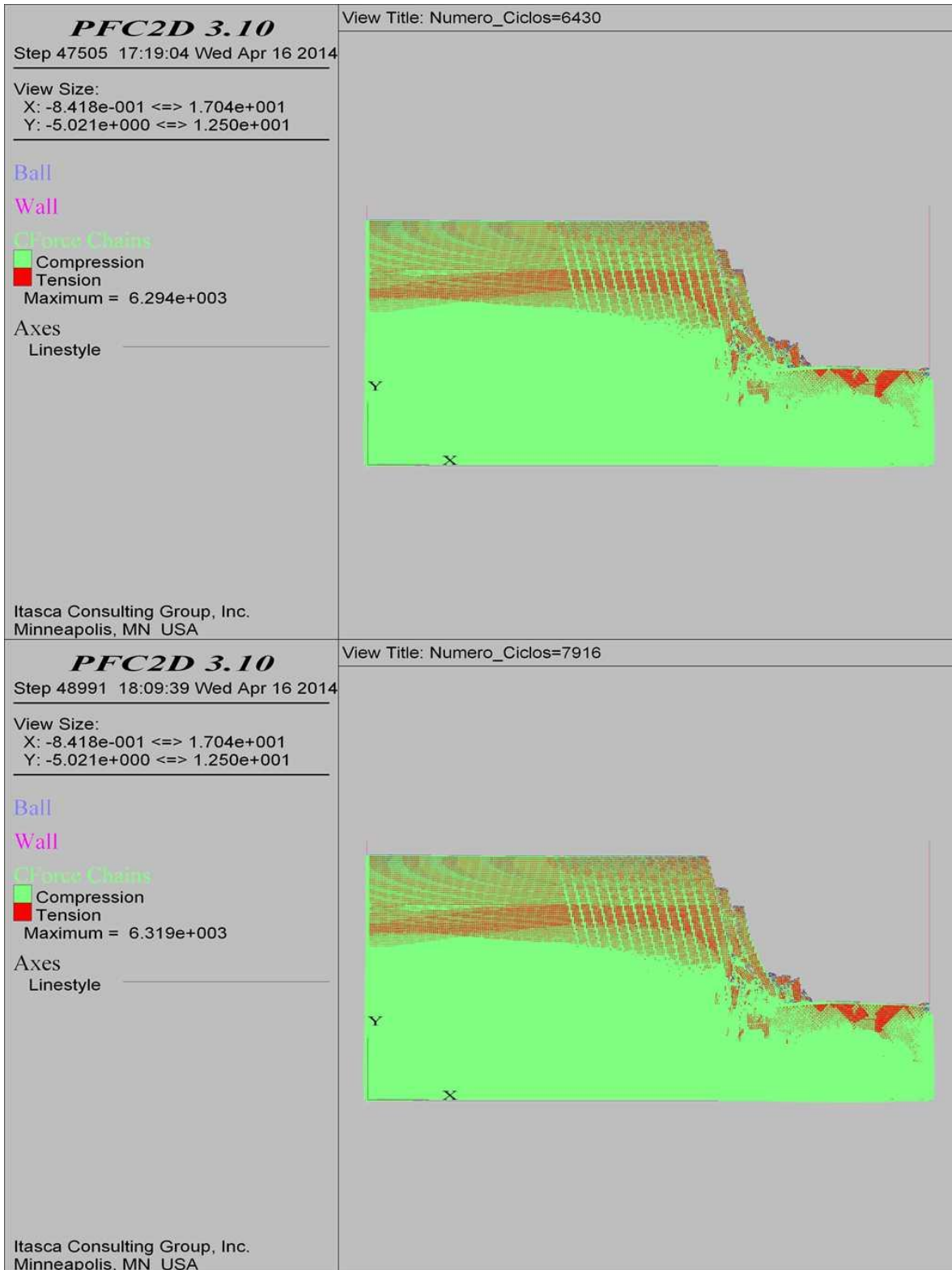
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



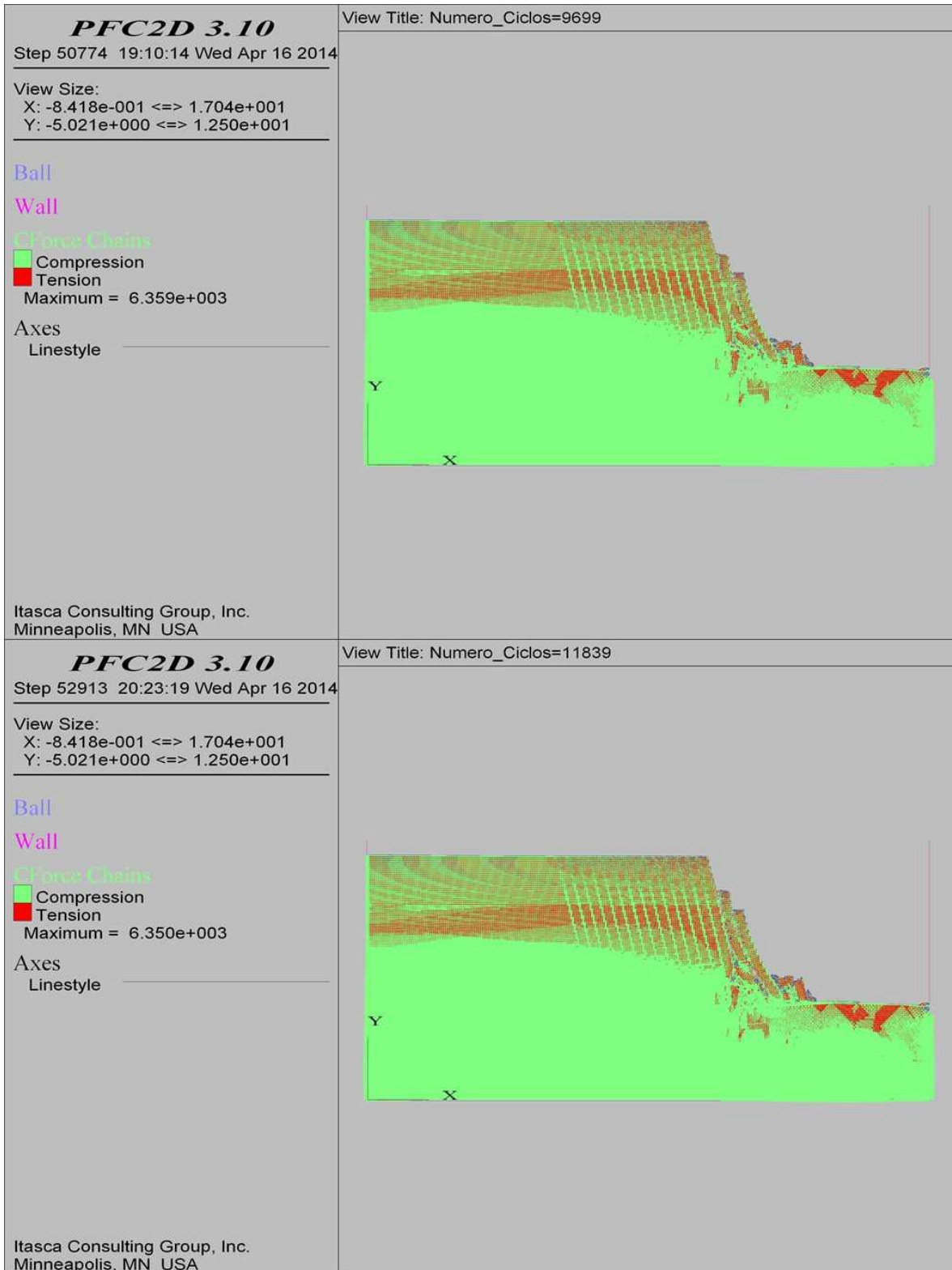
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



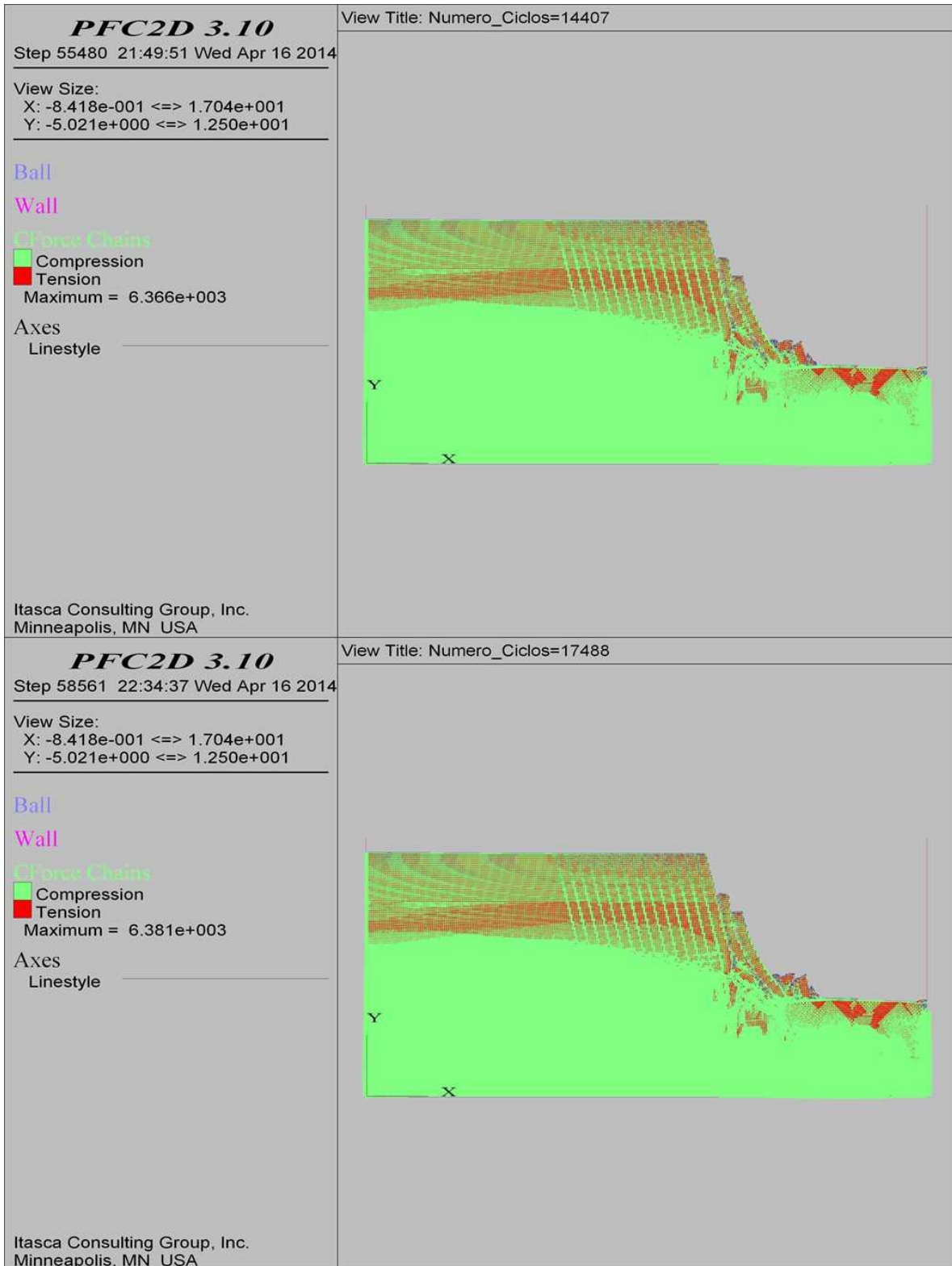
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



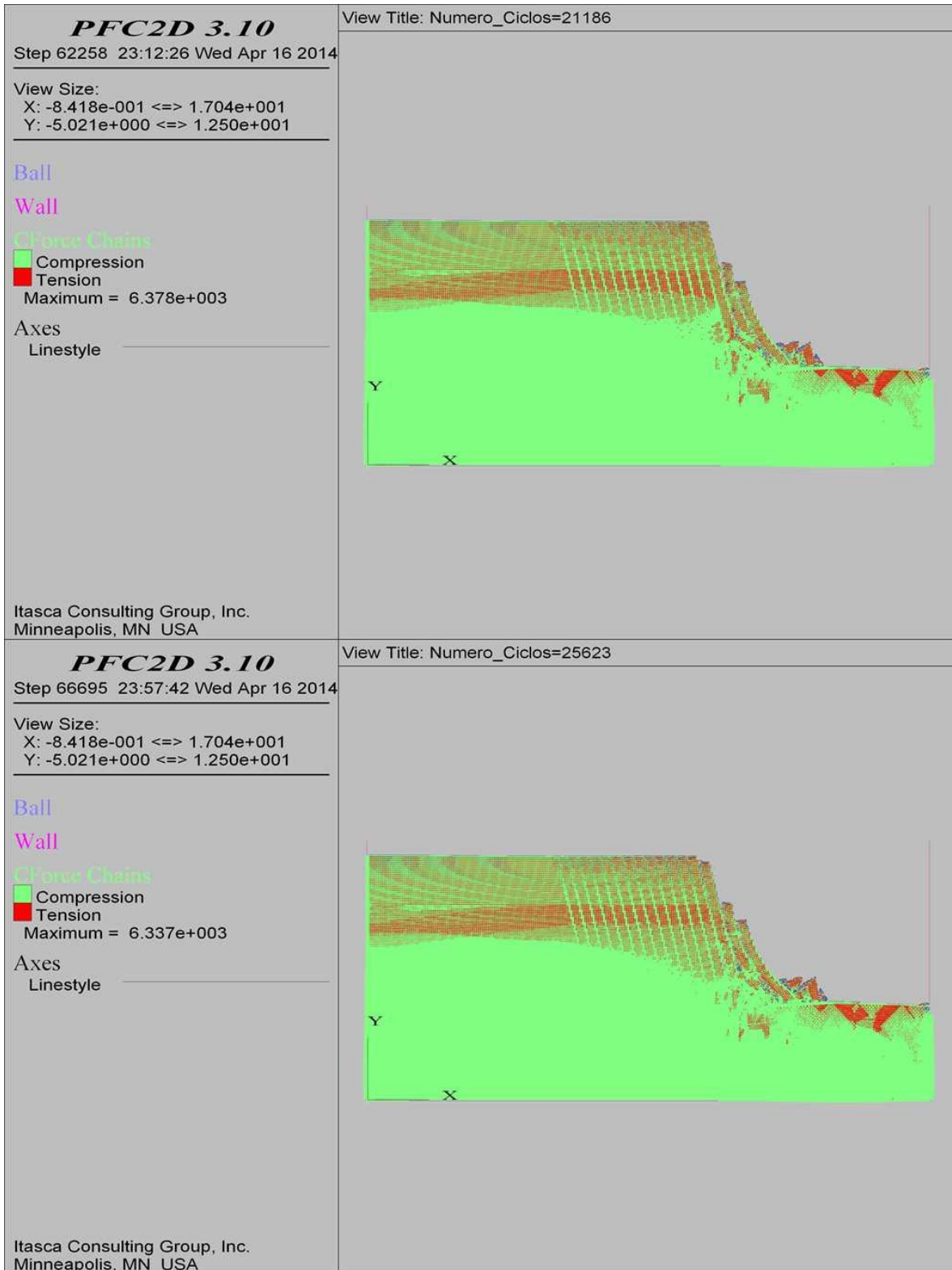
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



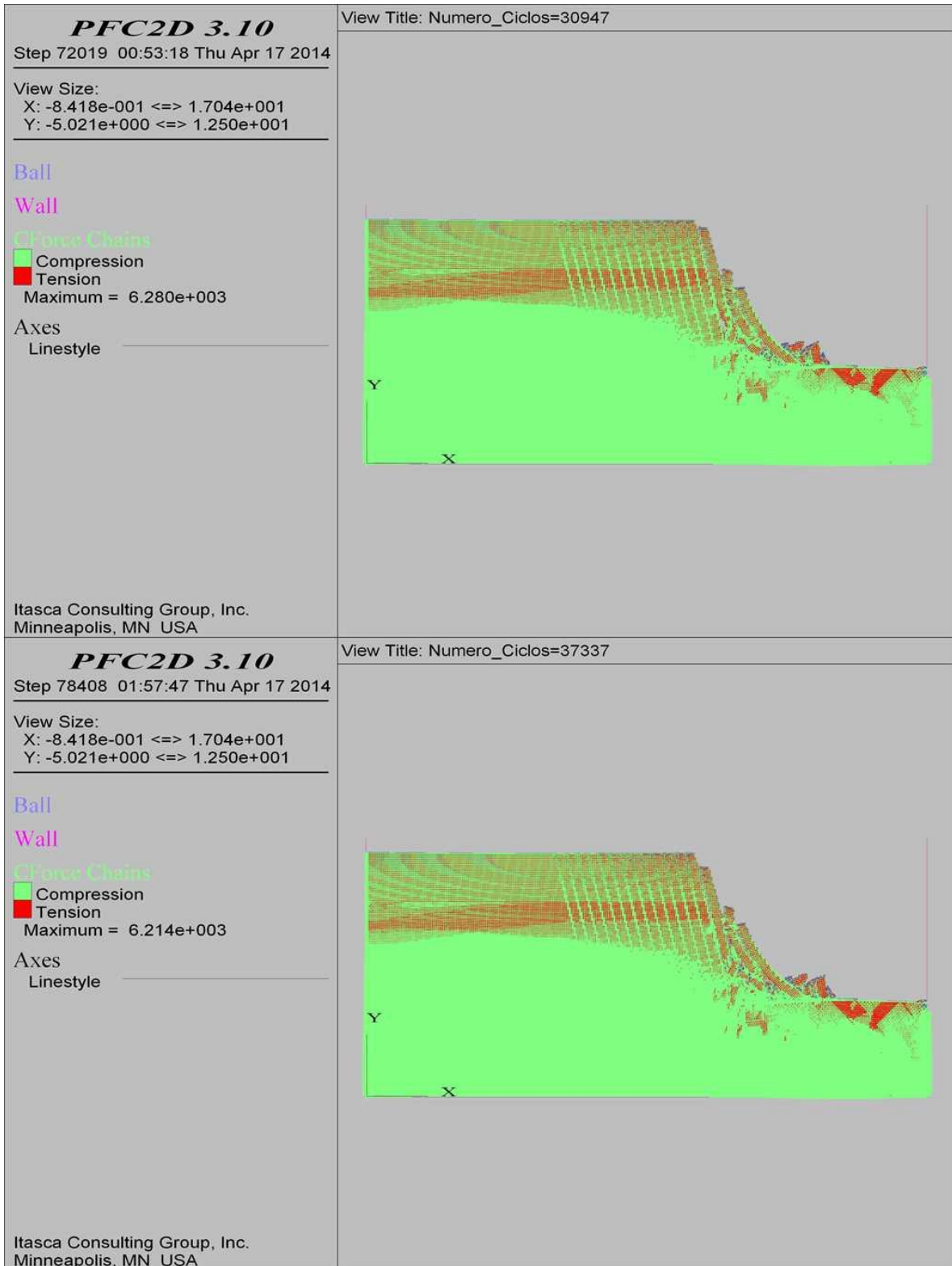
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



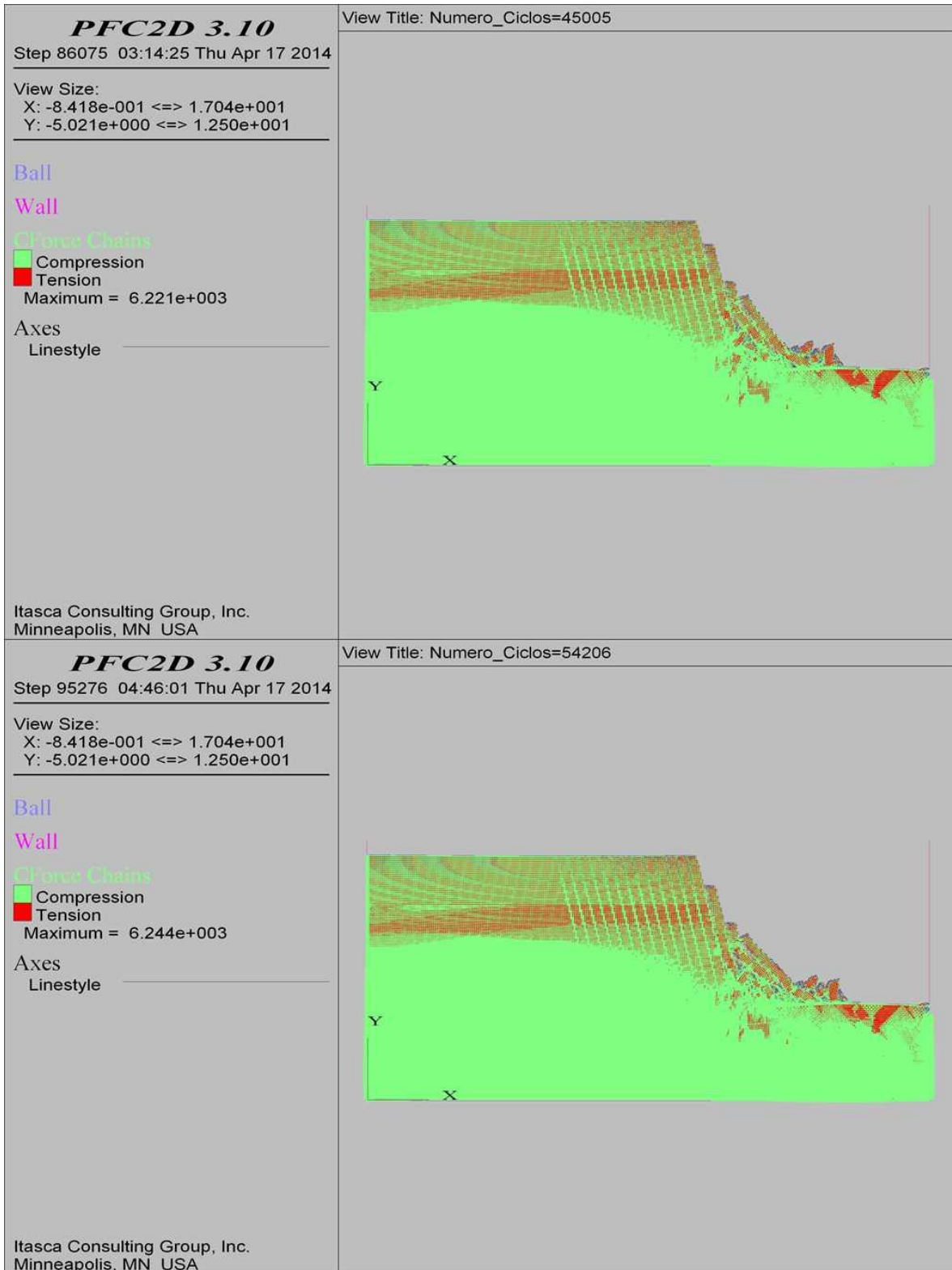
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



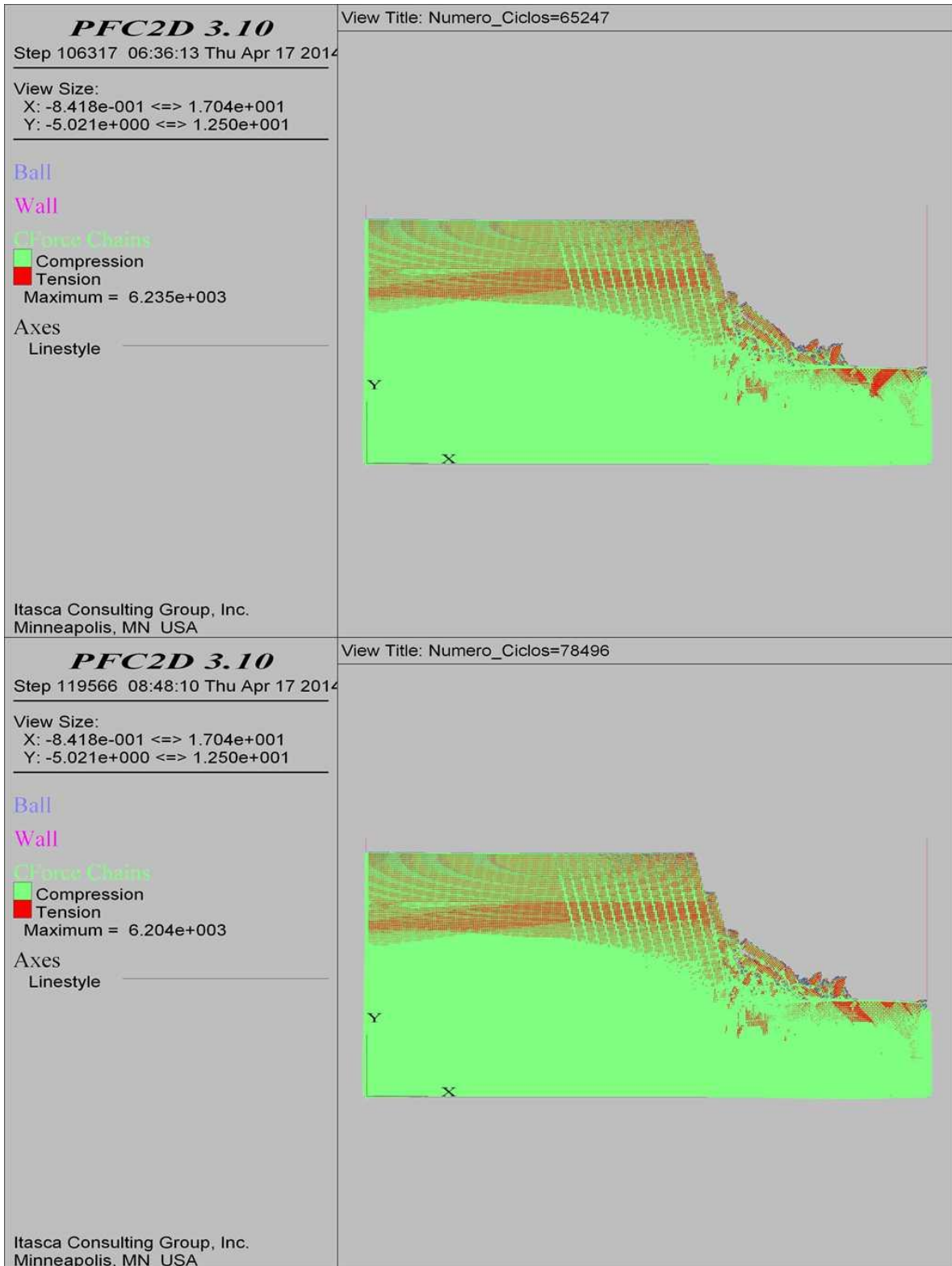
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



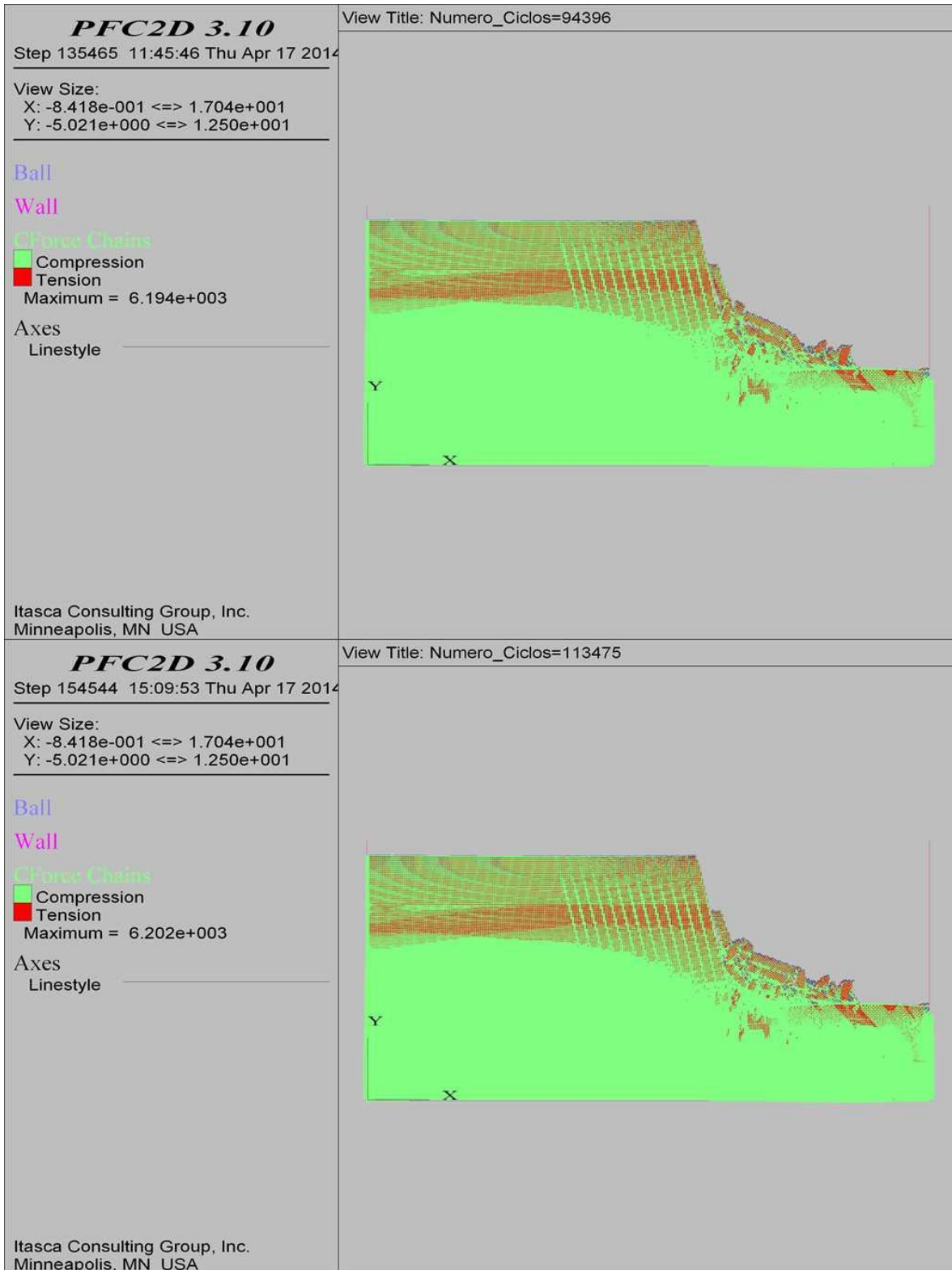
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



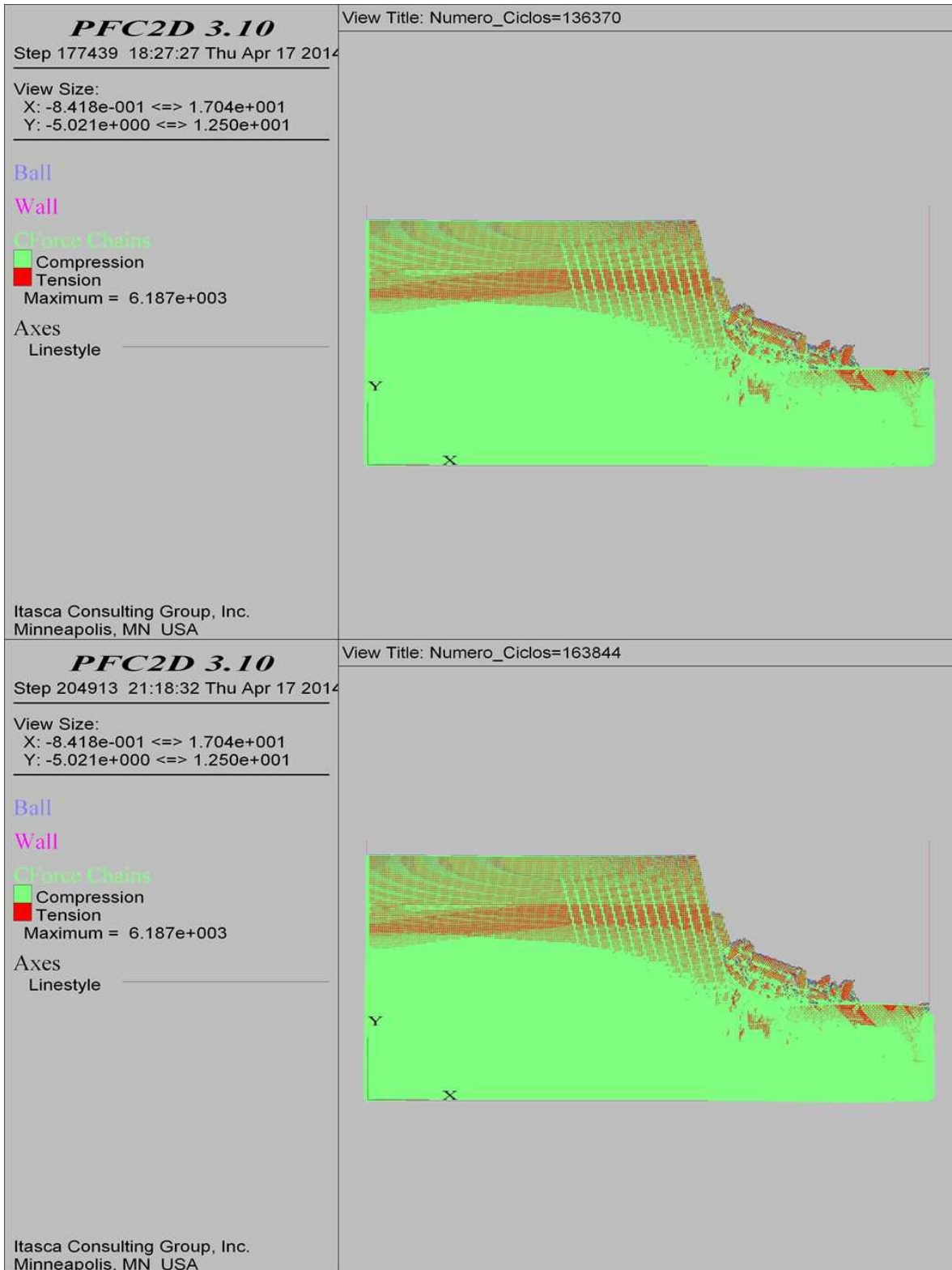
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



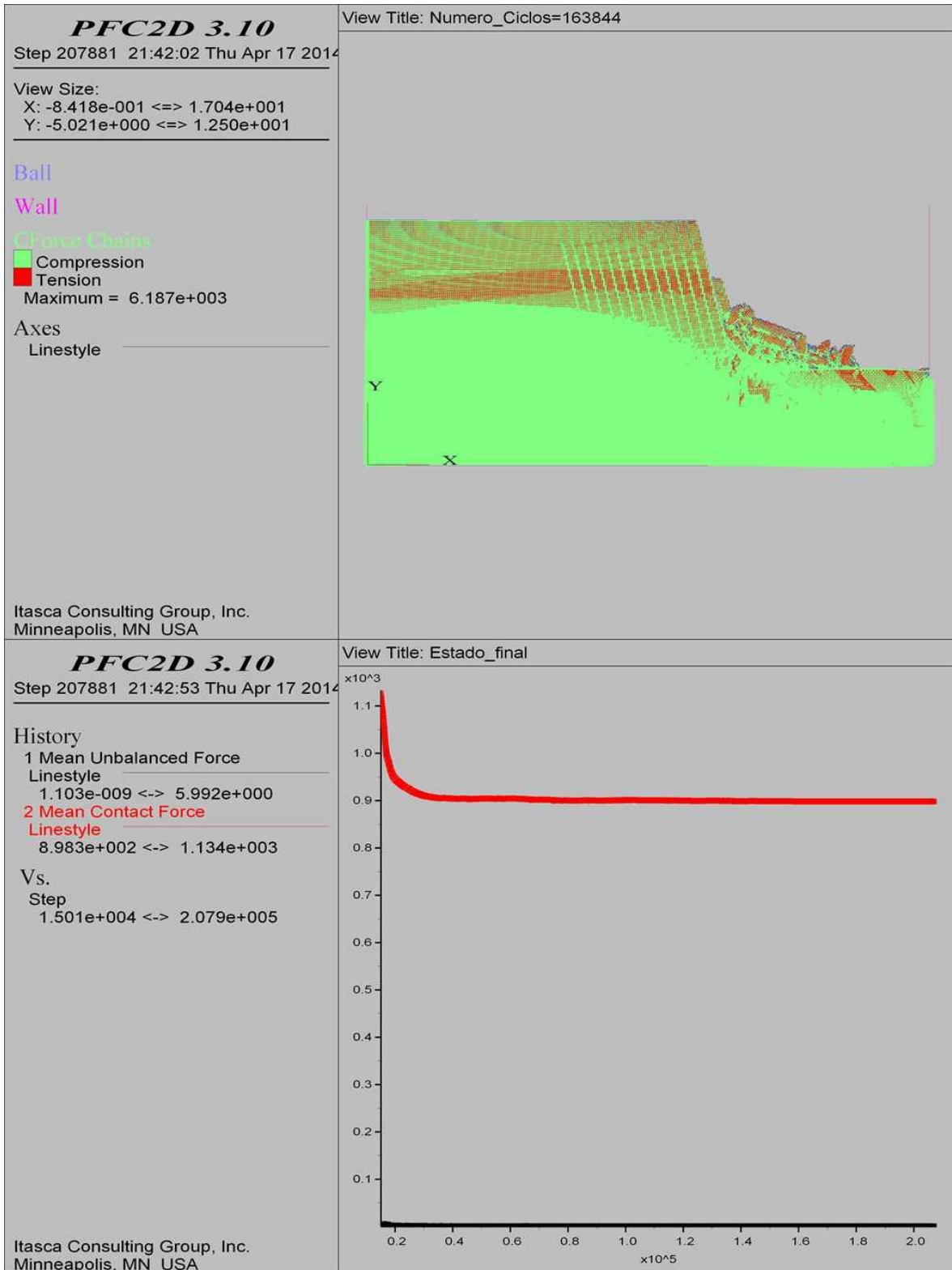
COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



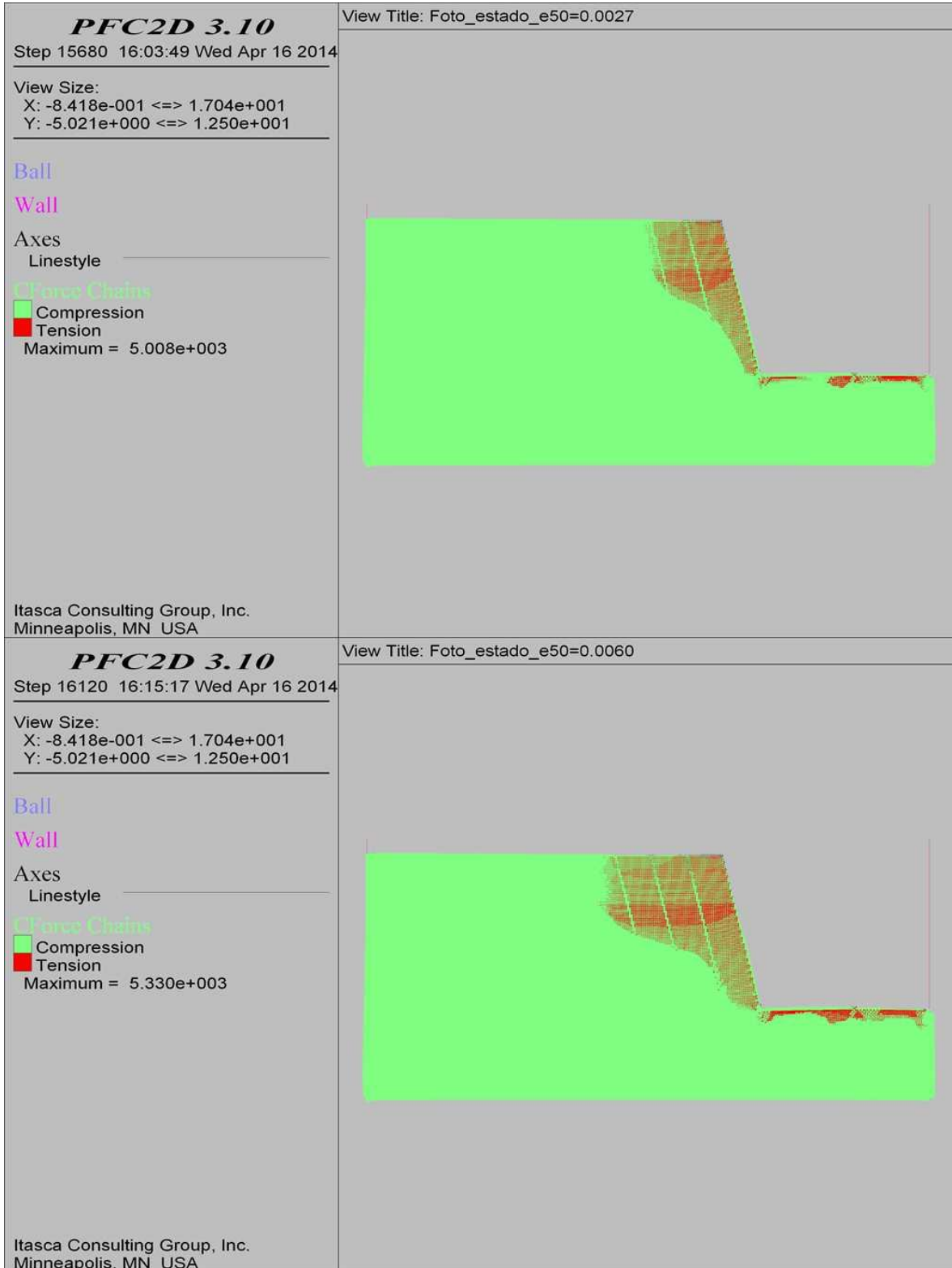
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



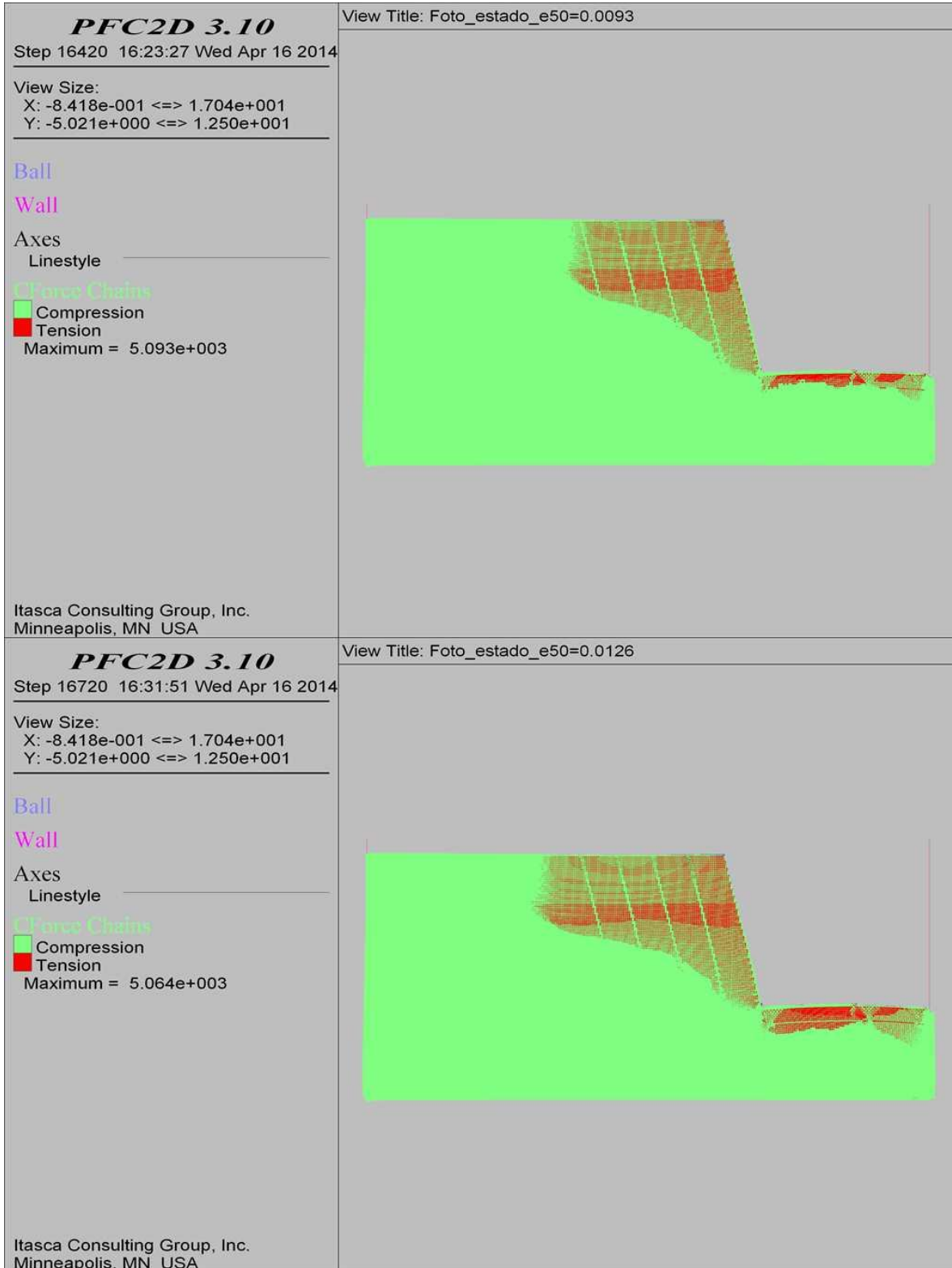
**COMBINACIÓN 1: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



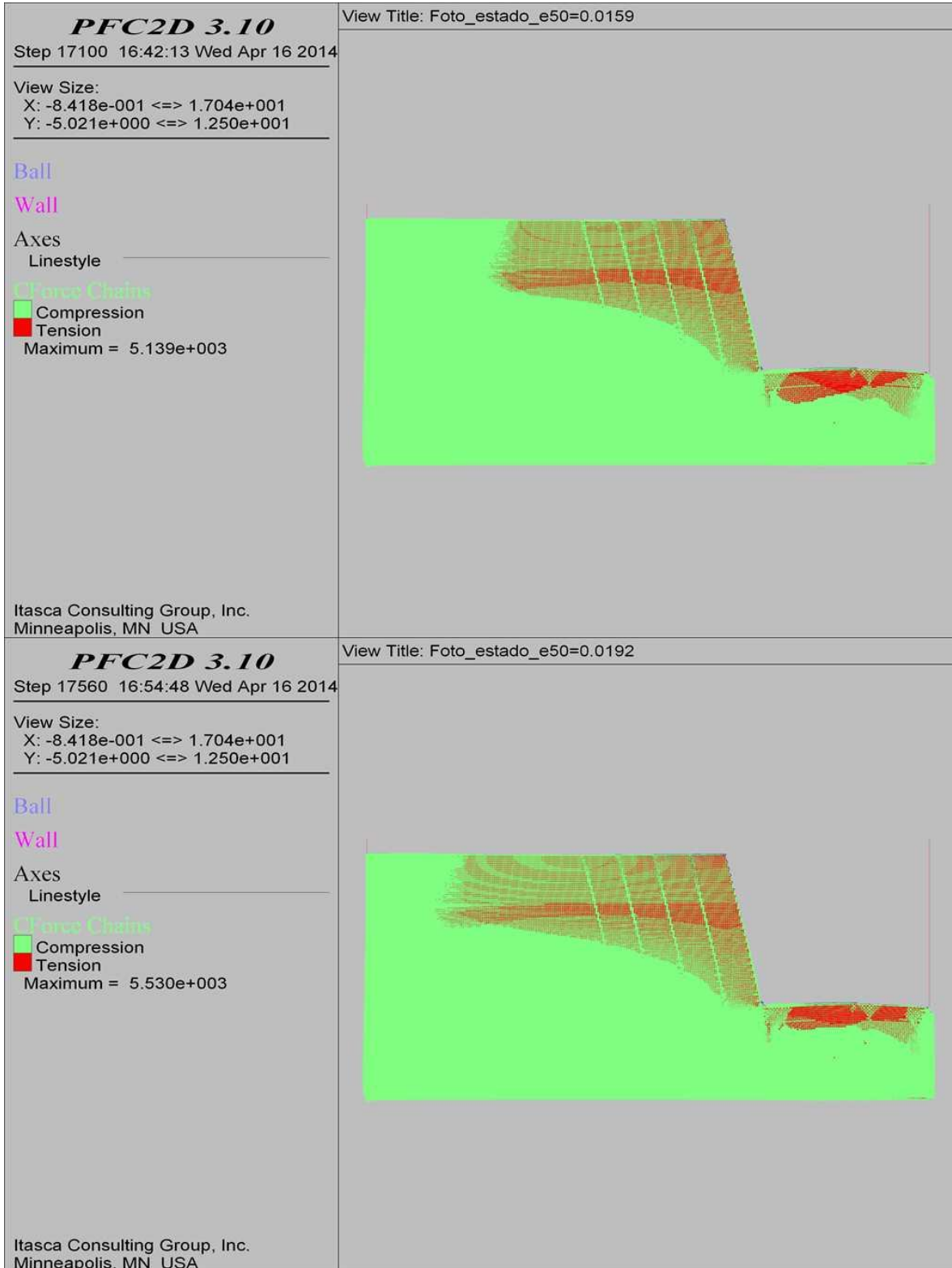
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



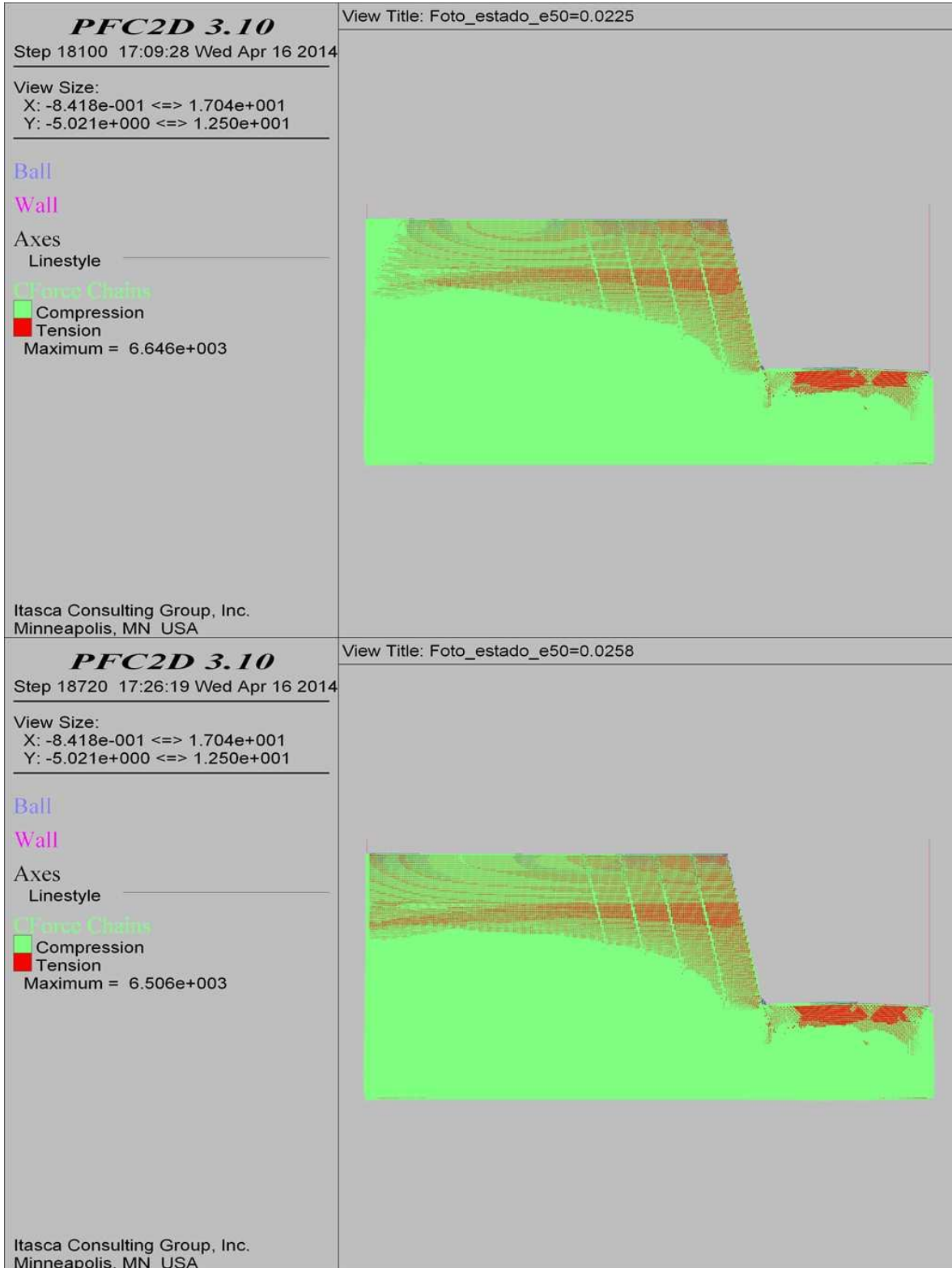
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



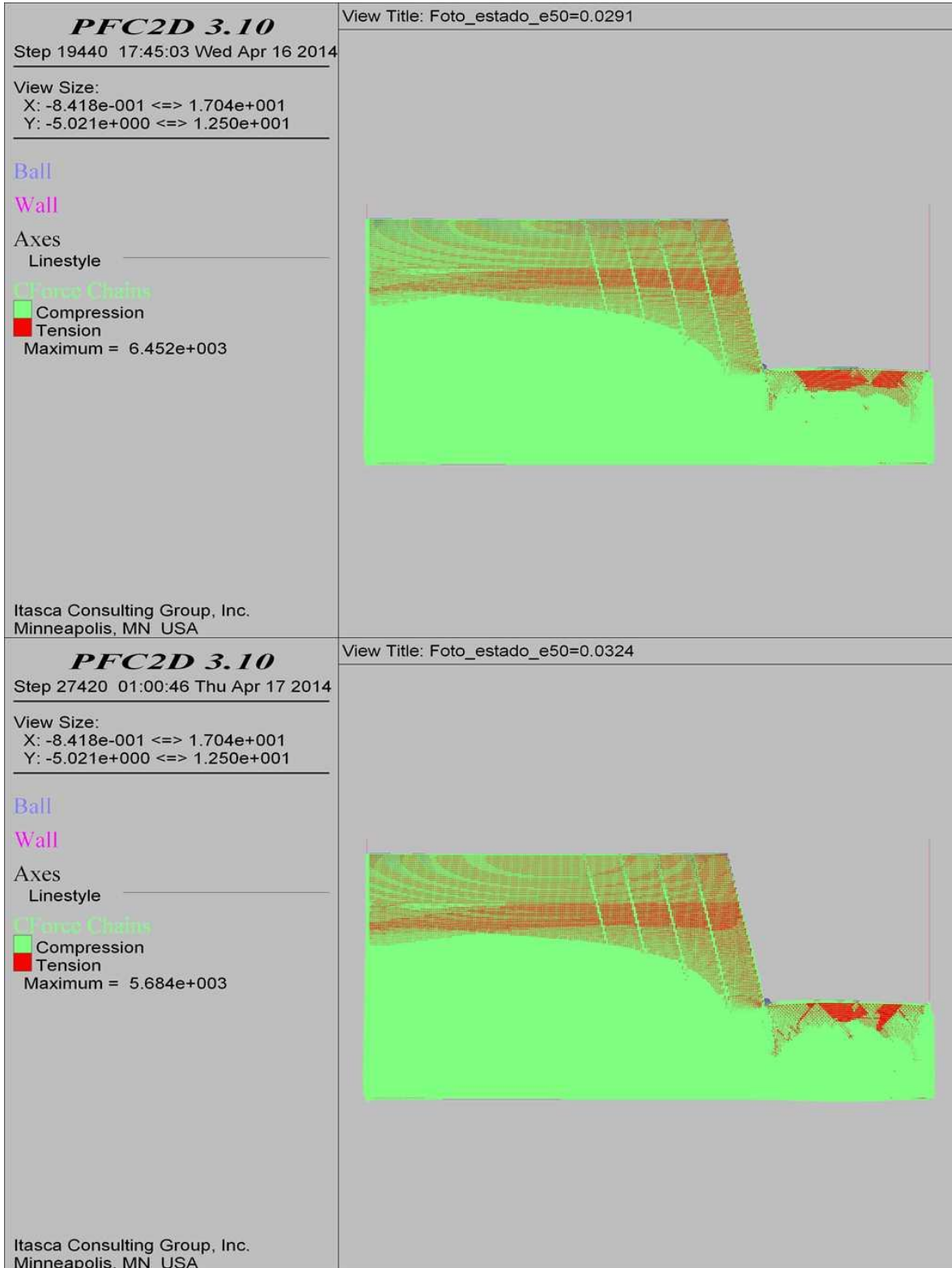
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



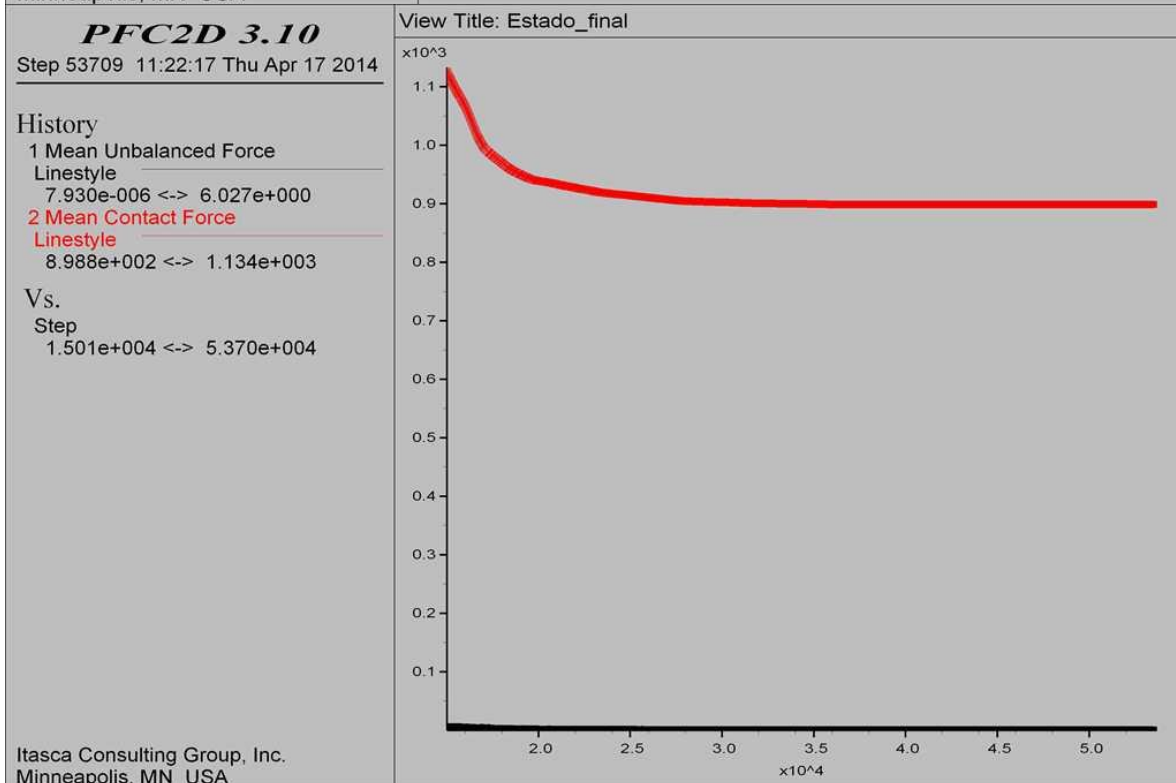
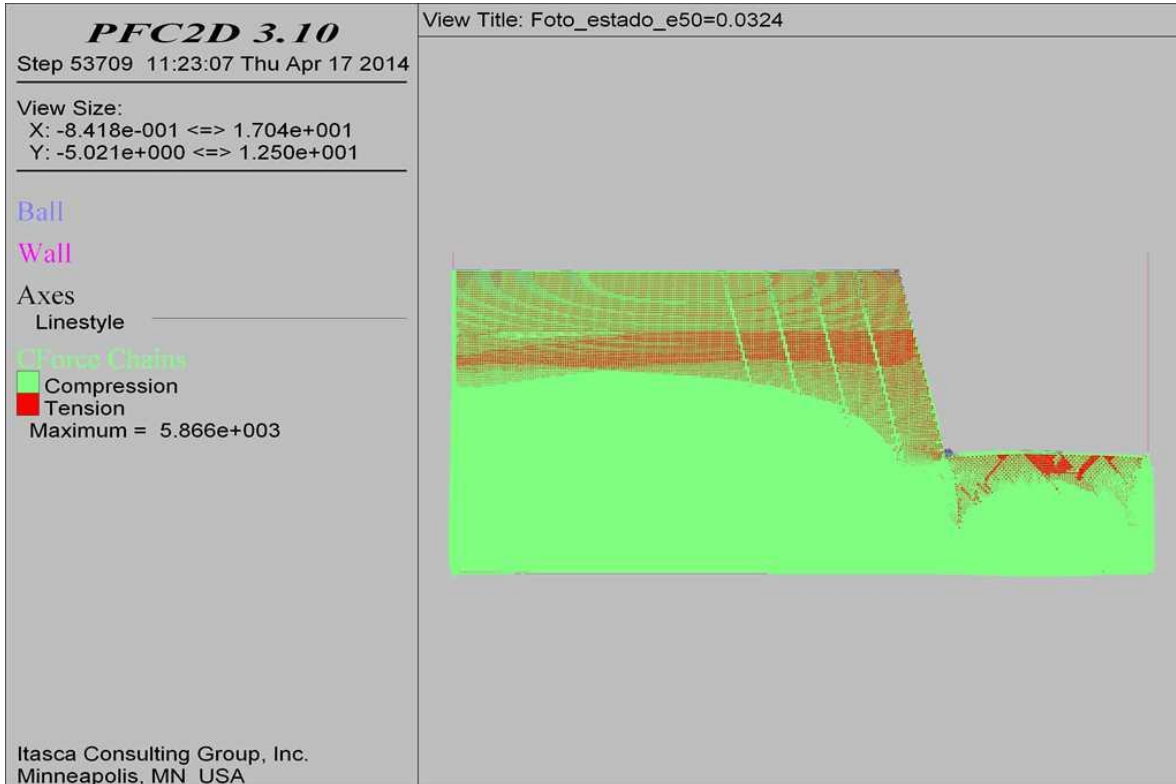
COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



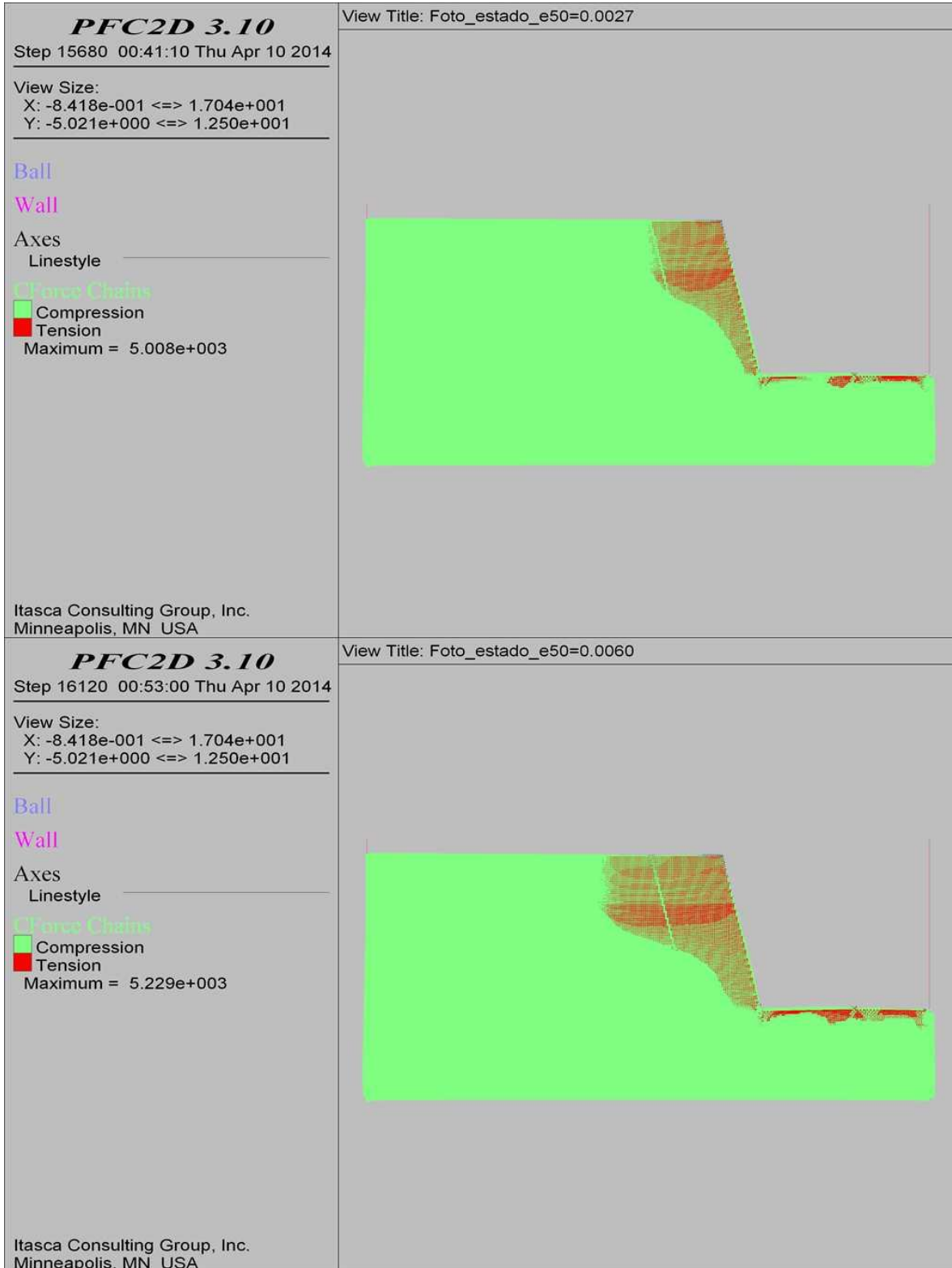
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



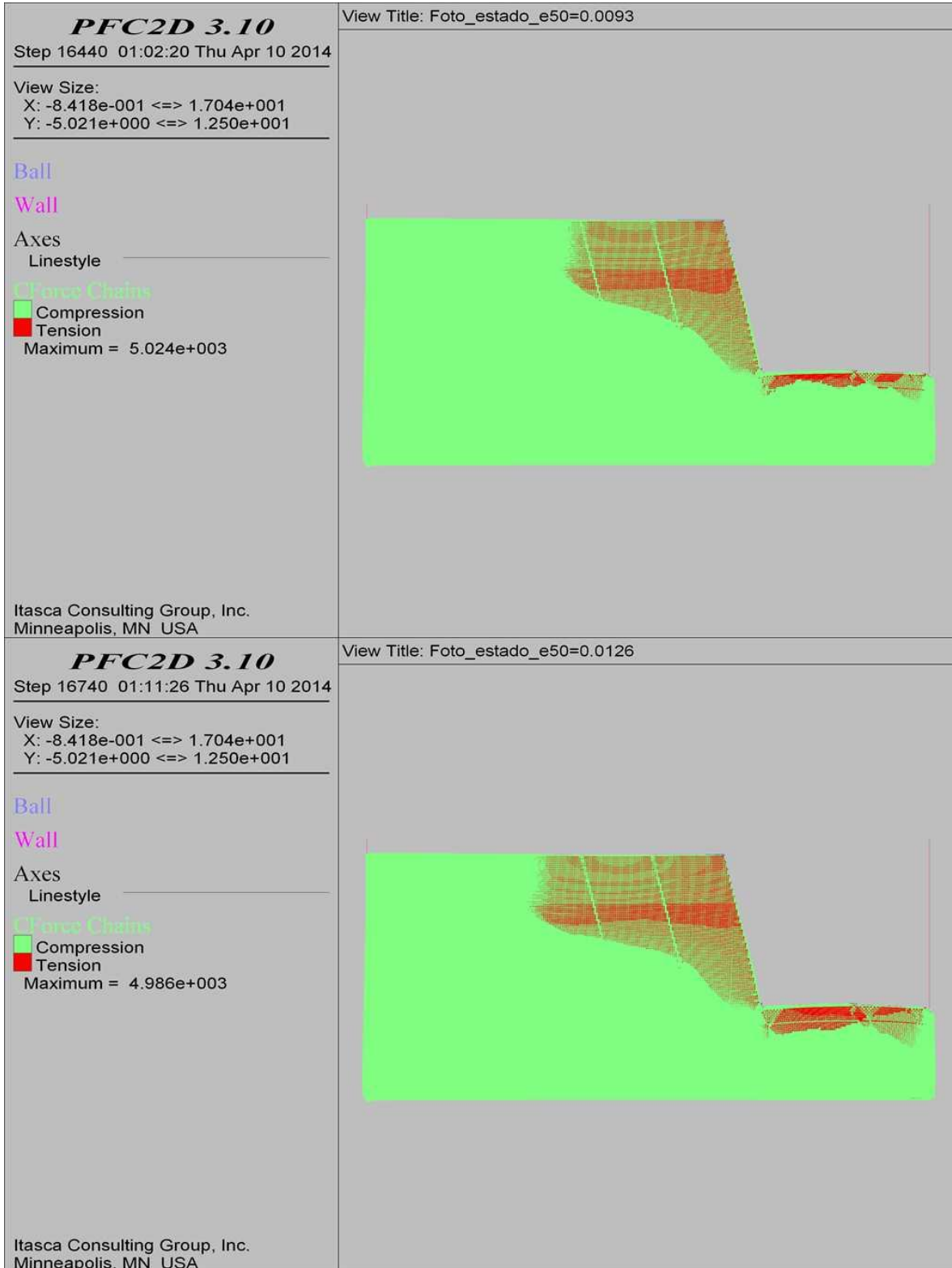
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



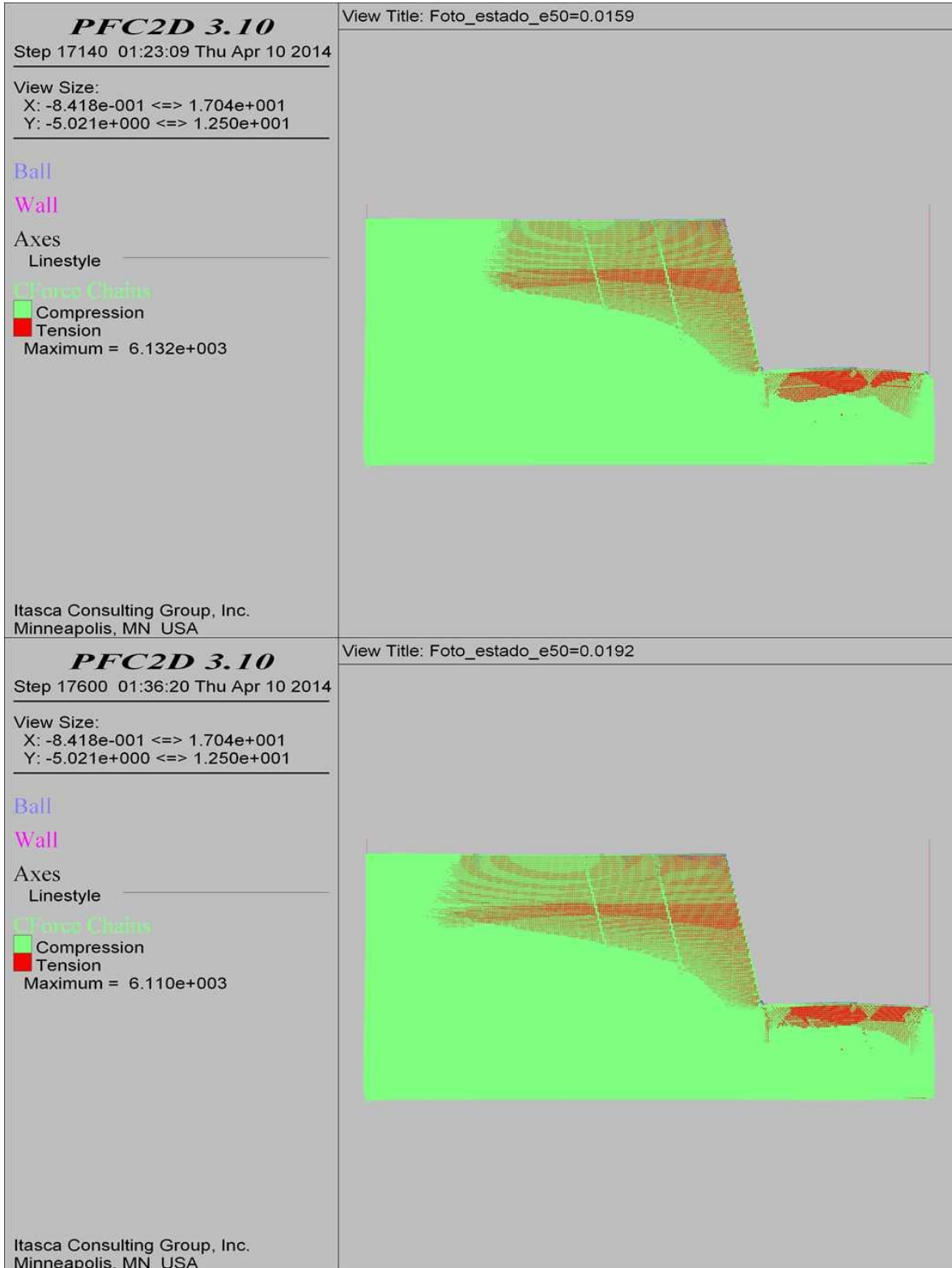
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



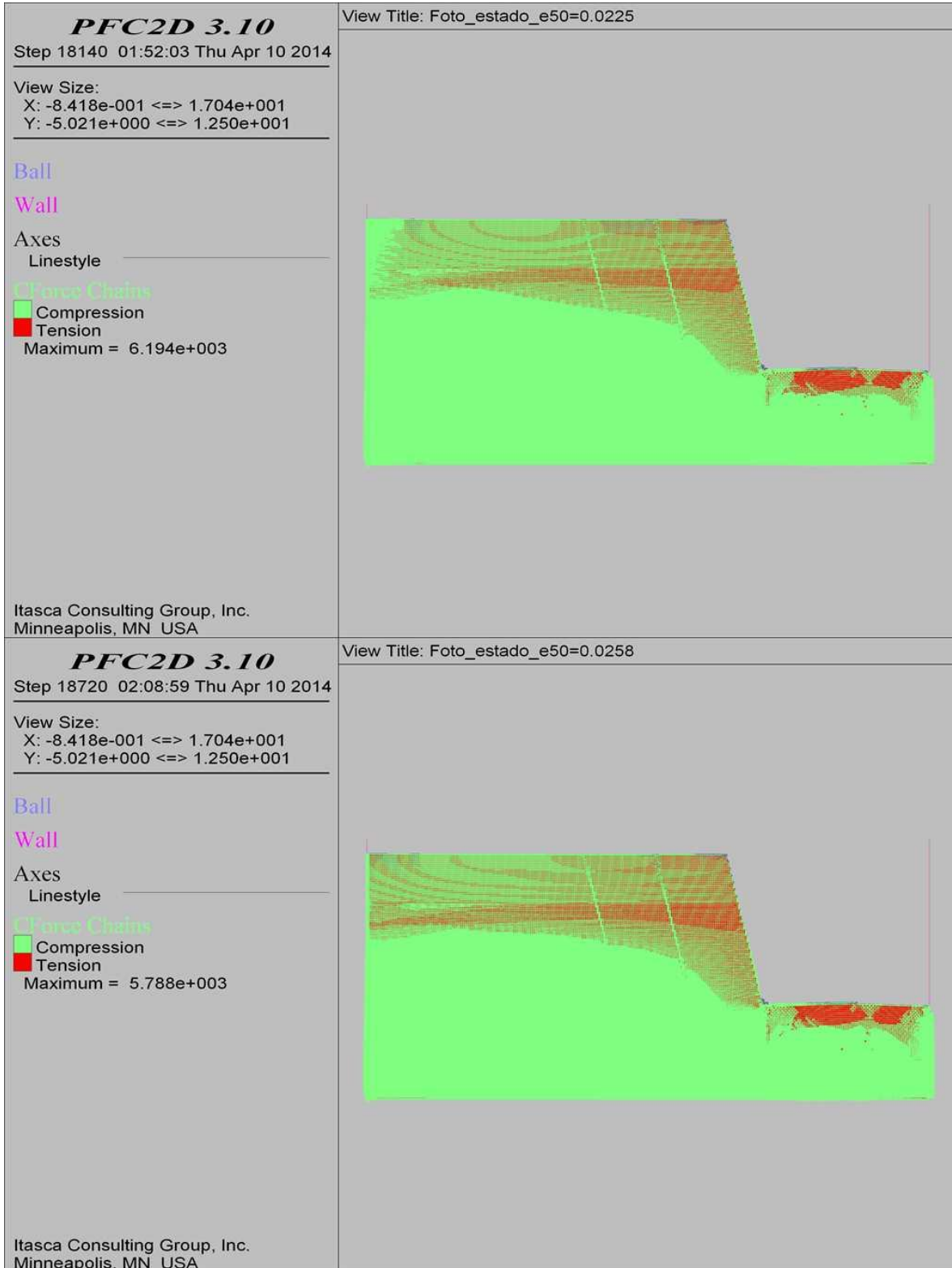
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



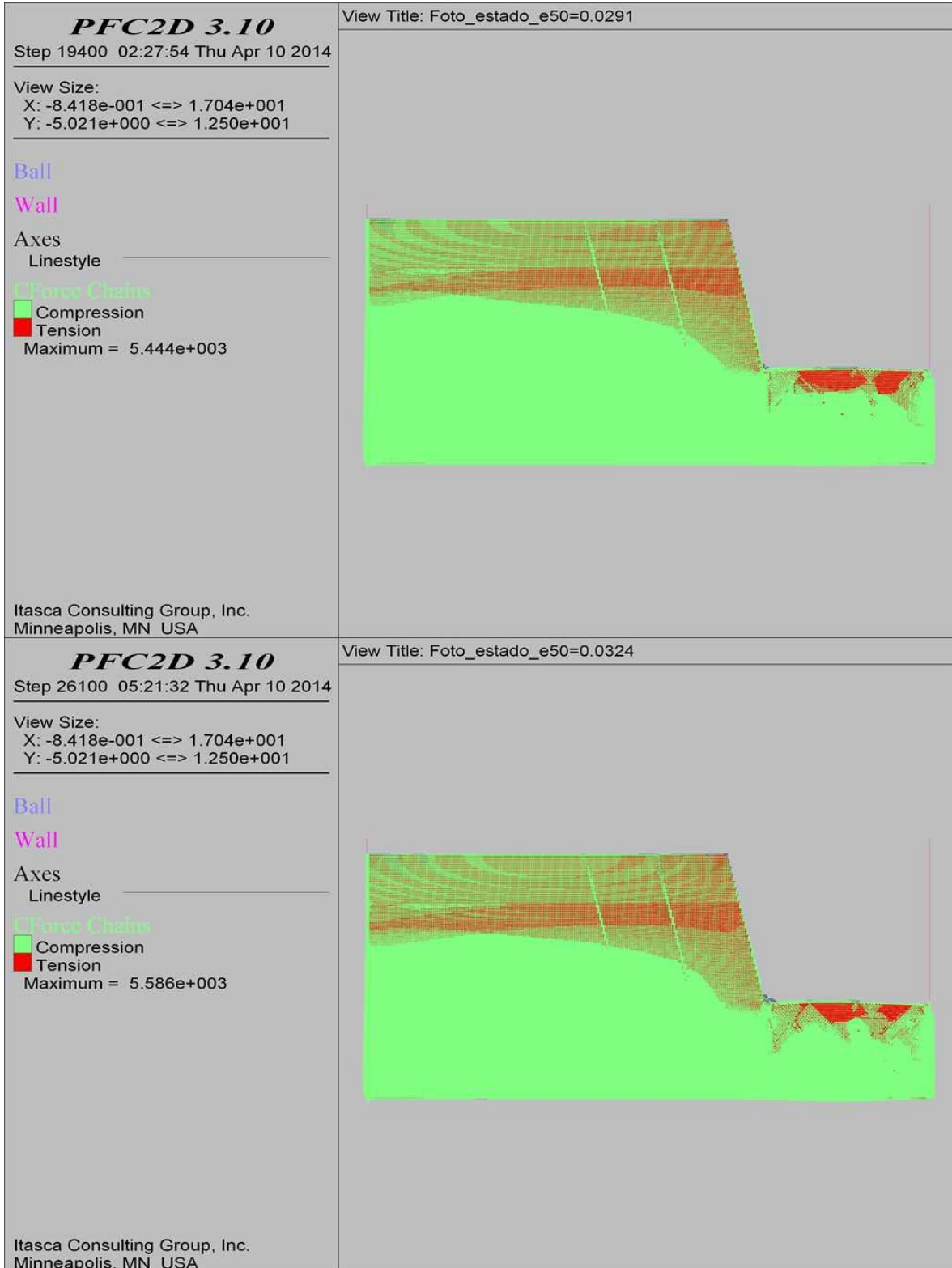
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



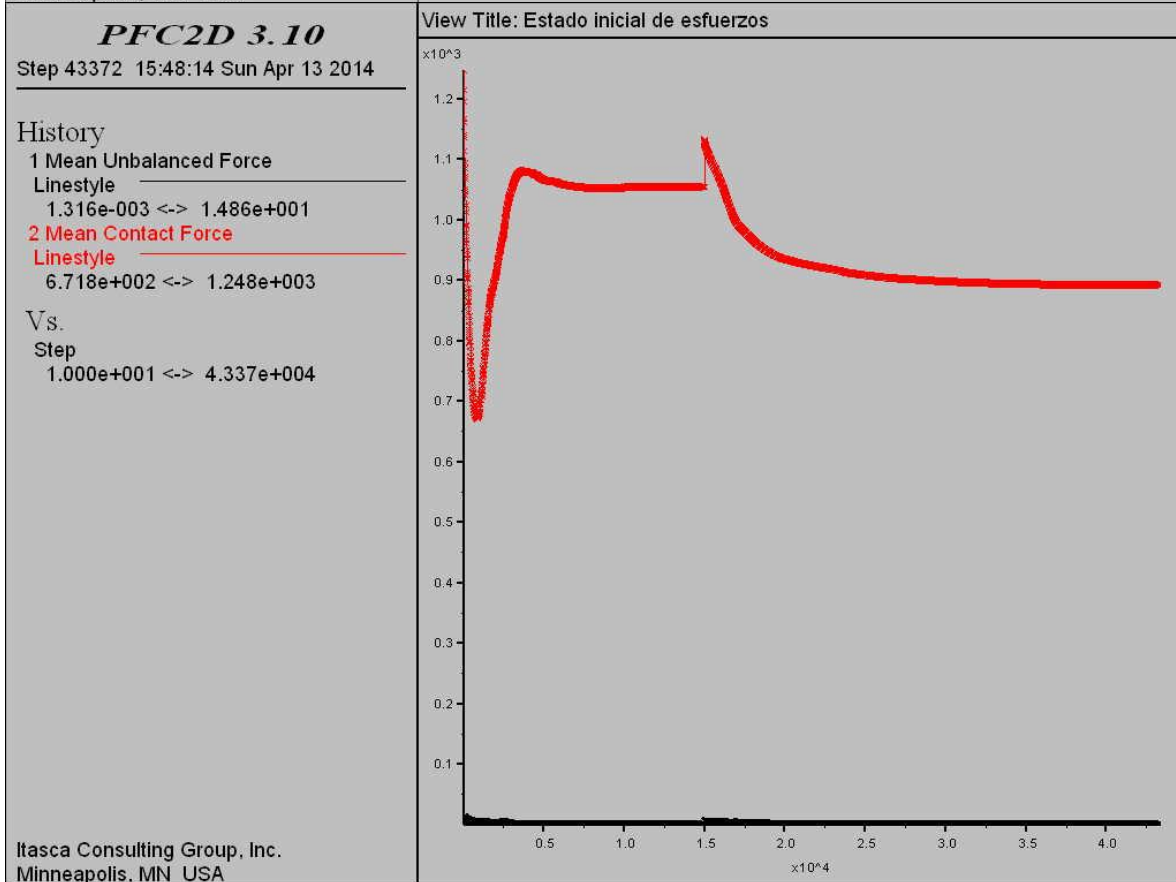
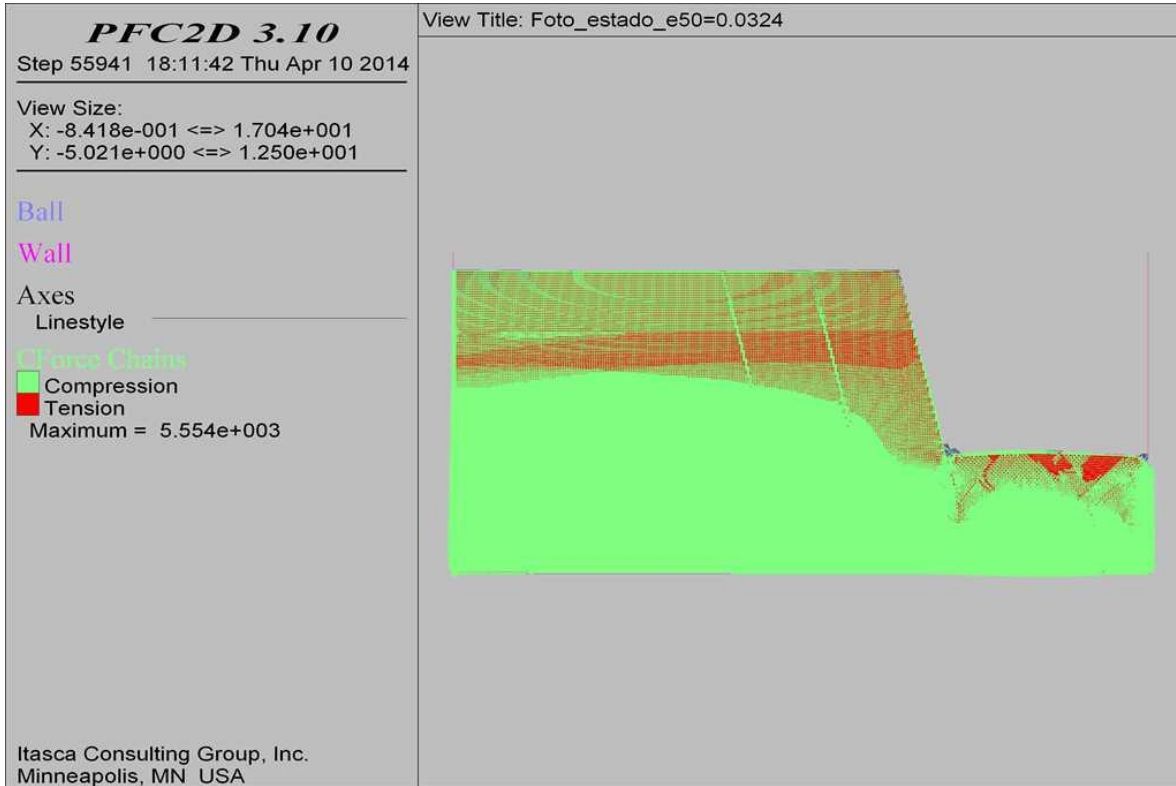
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



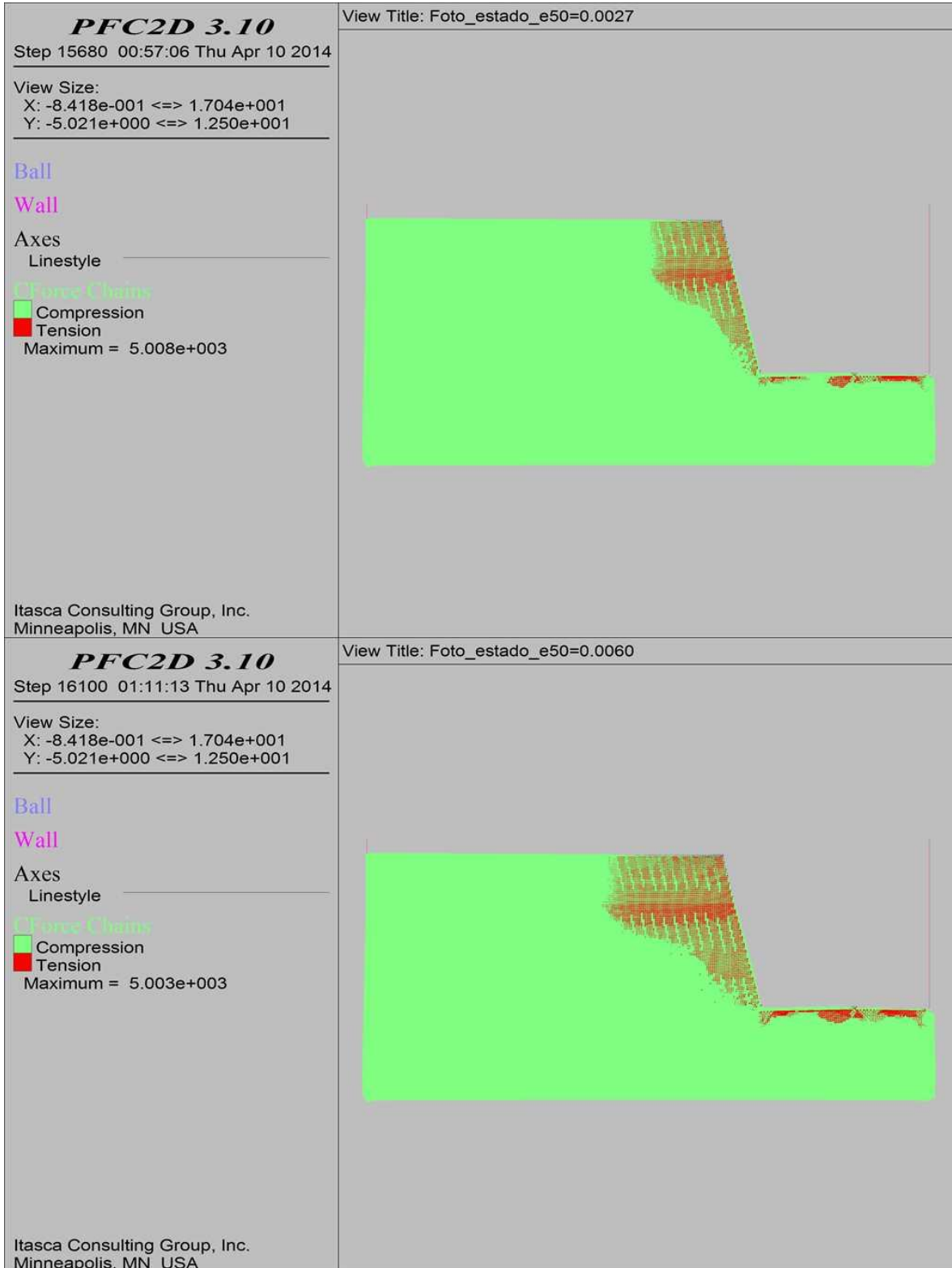
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



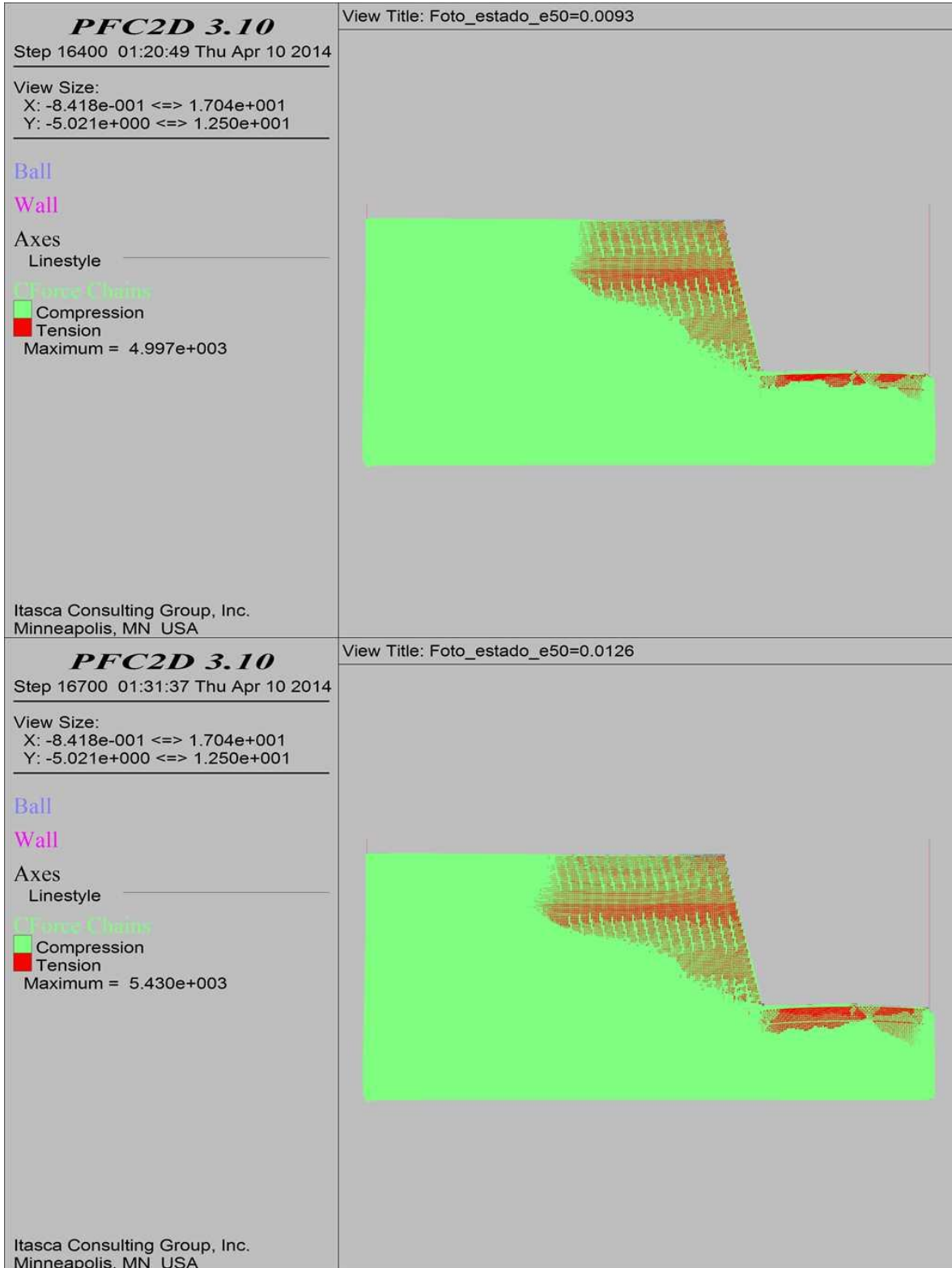
**COMBINACIÓN 2: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.**



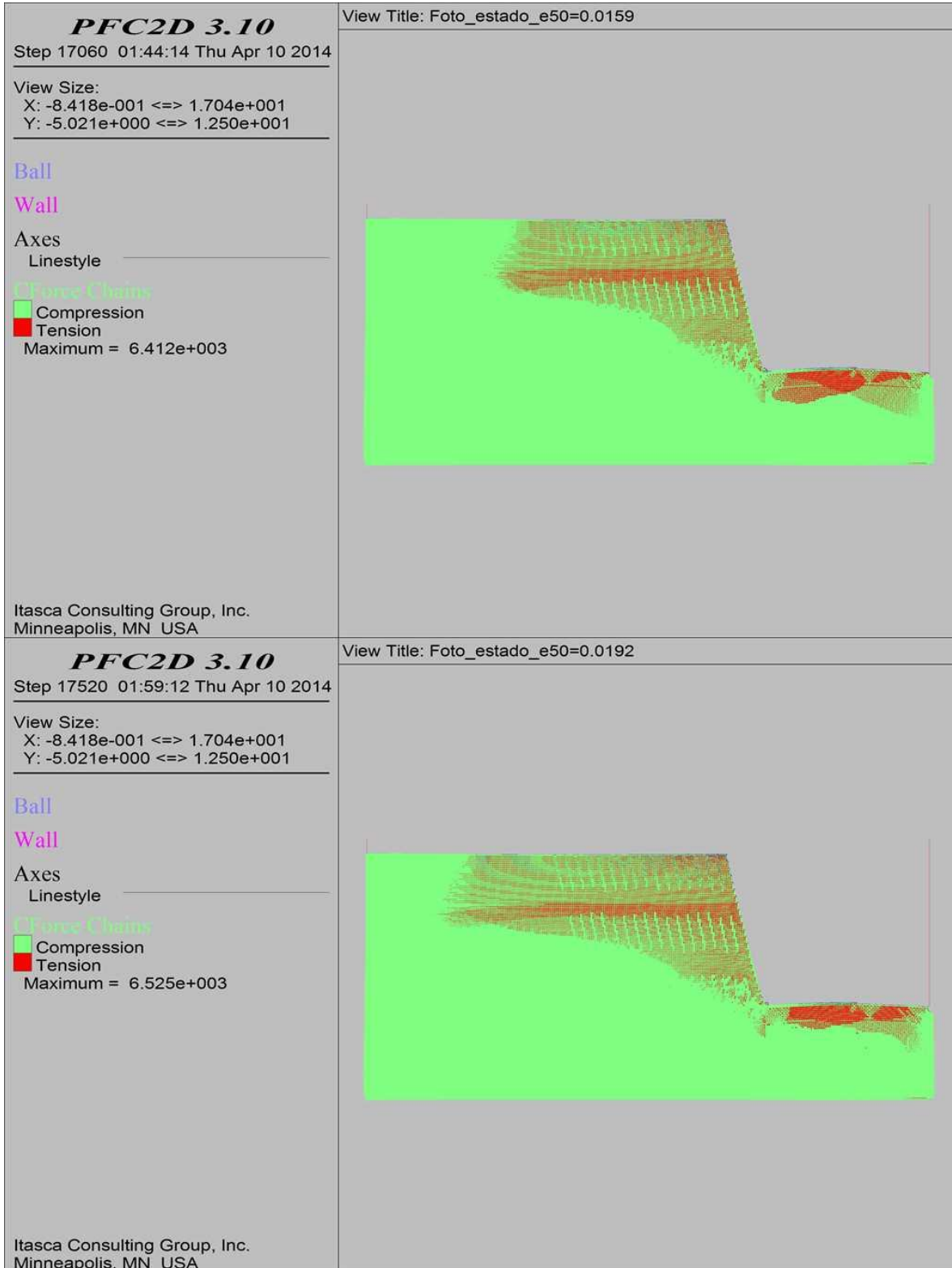
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



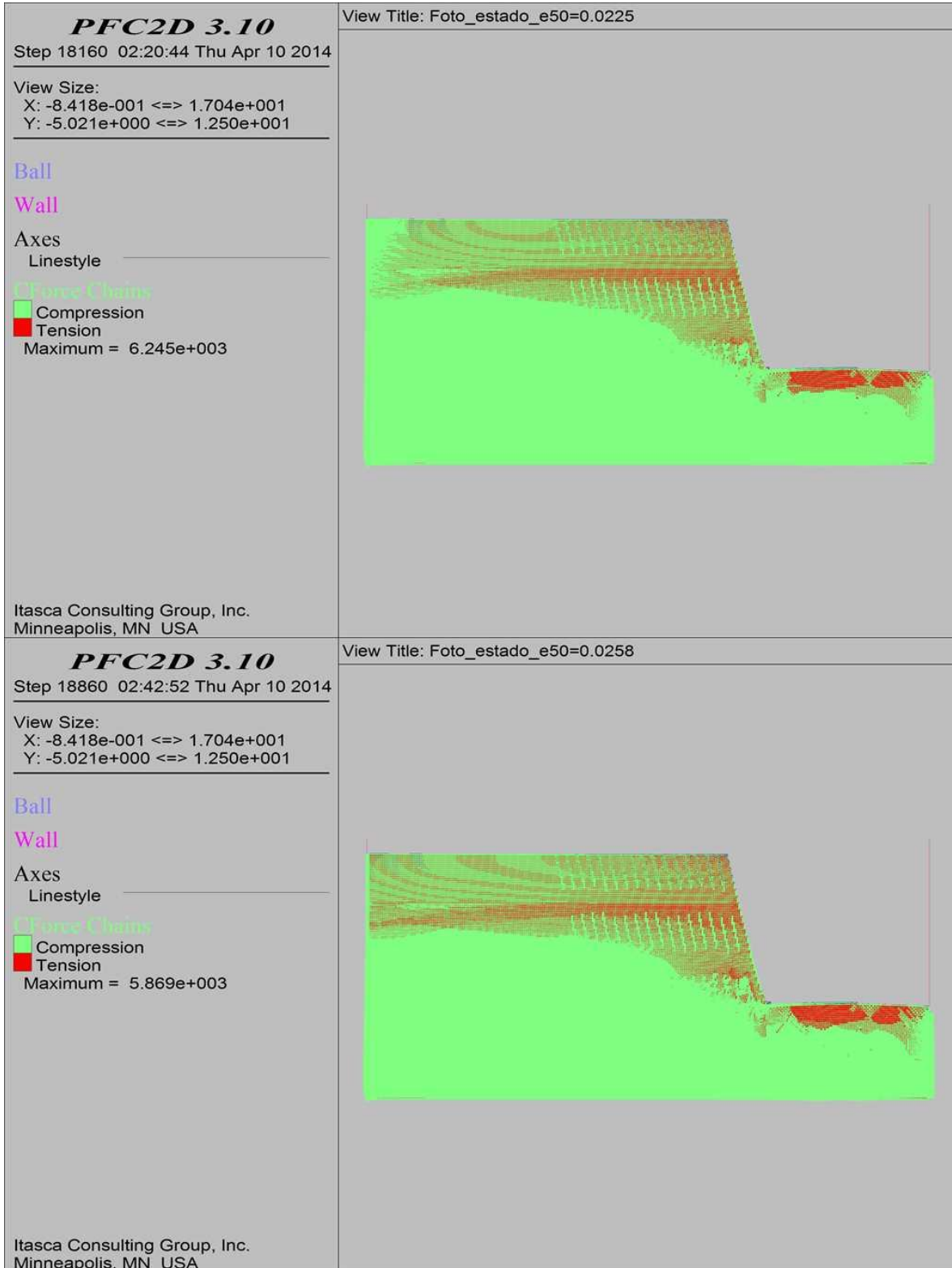
COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



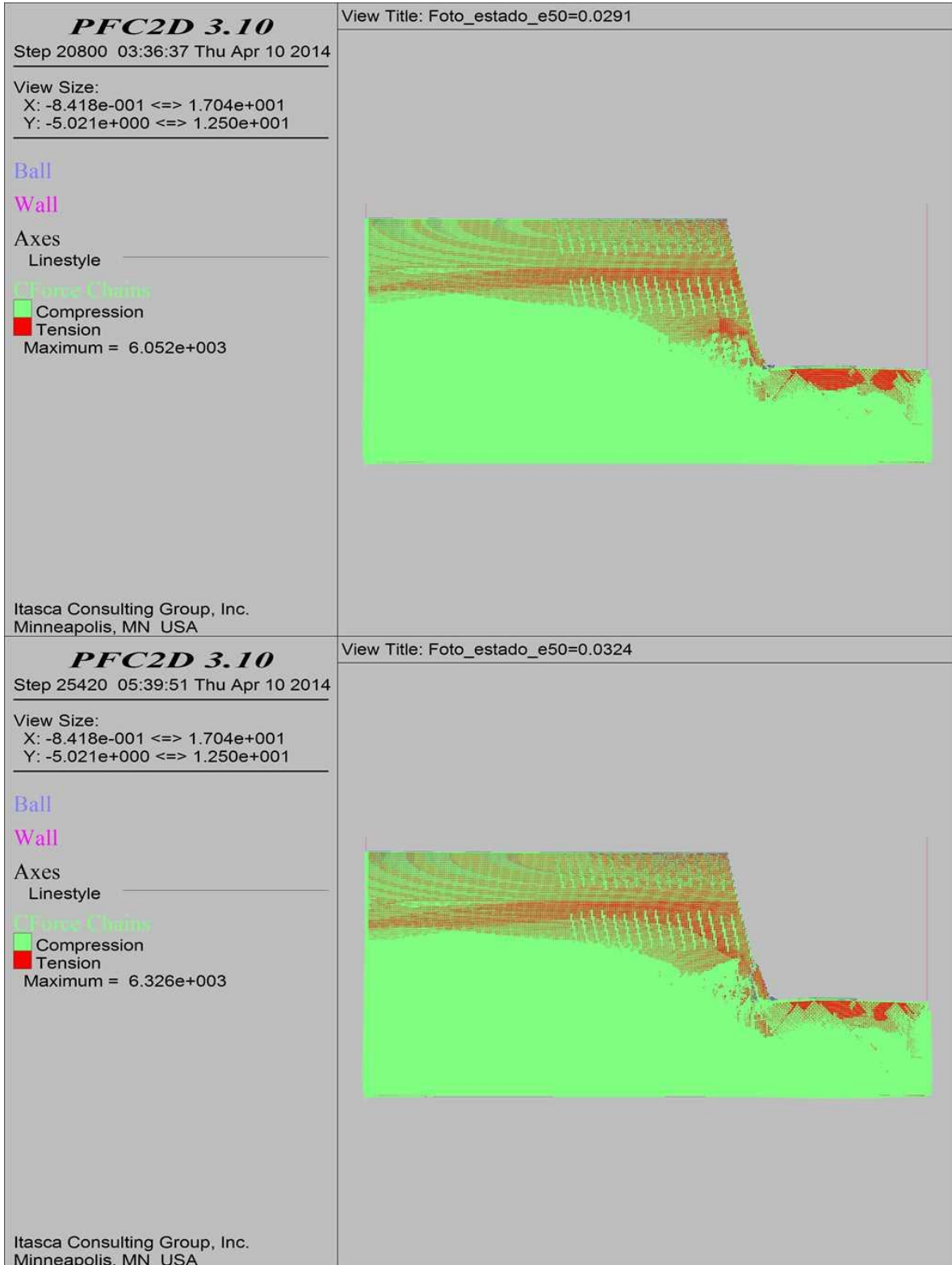
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



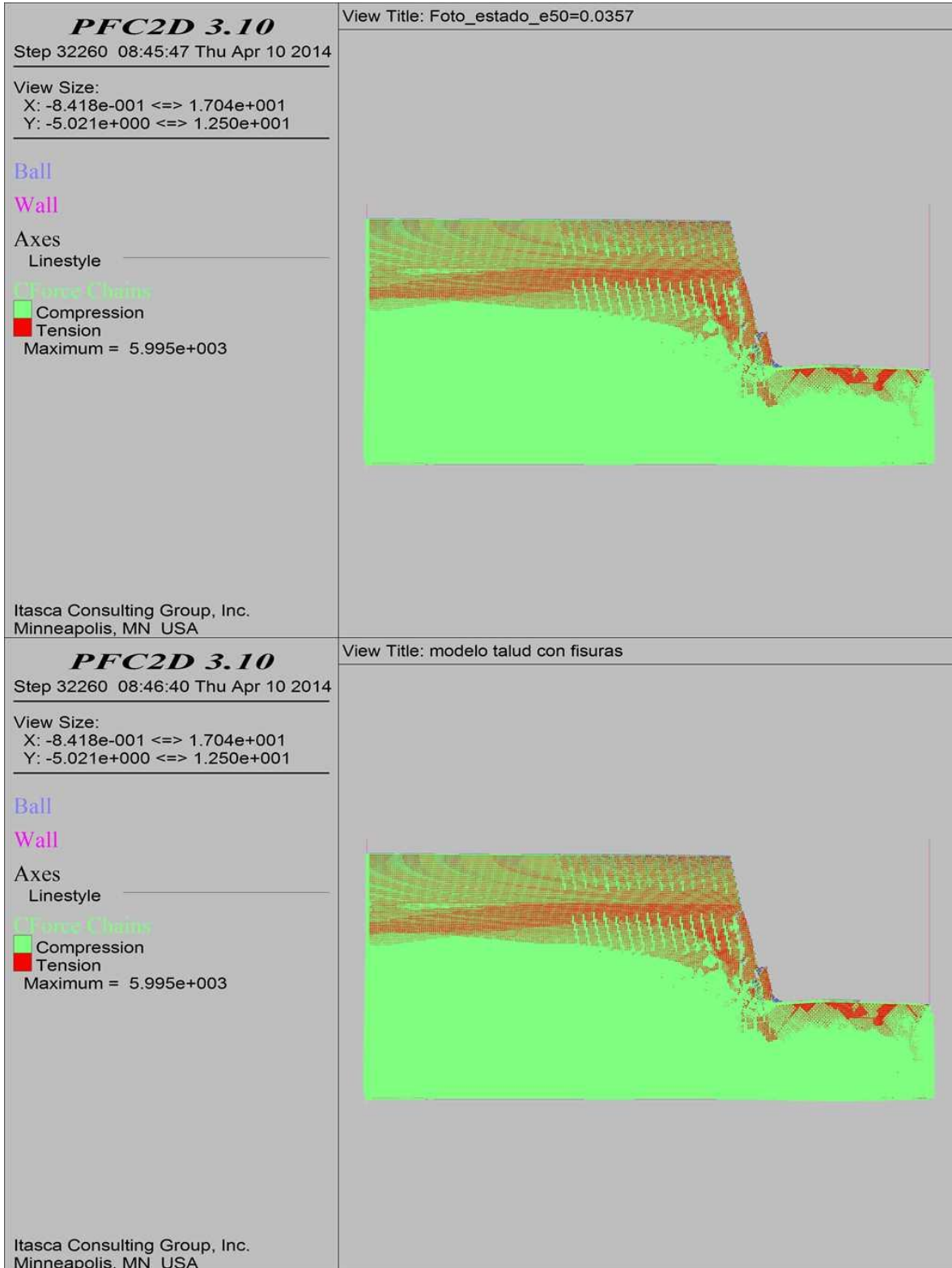
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



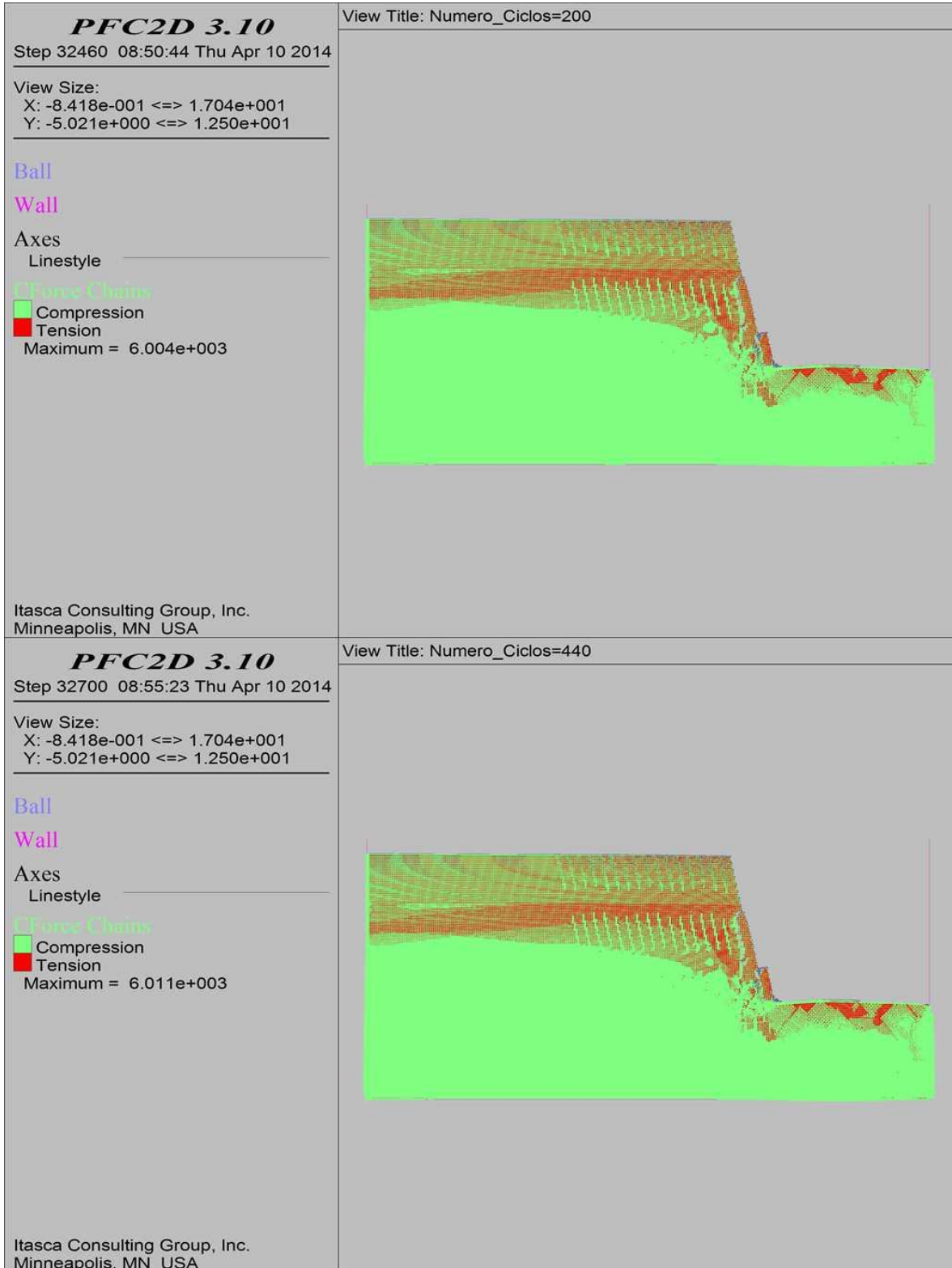
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



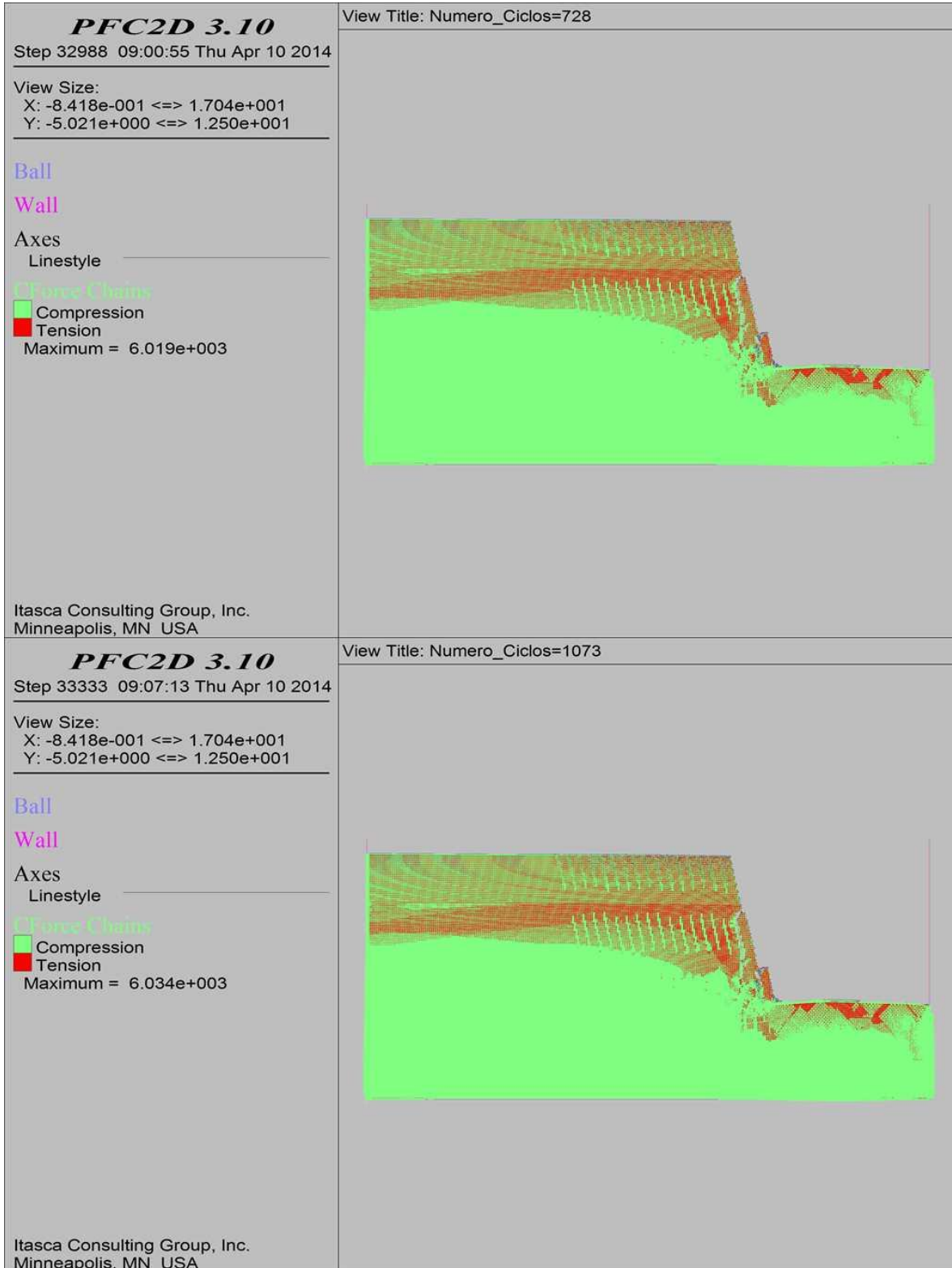
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



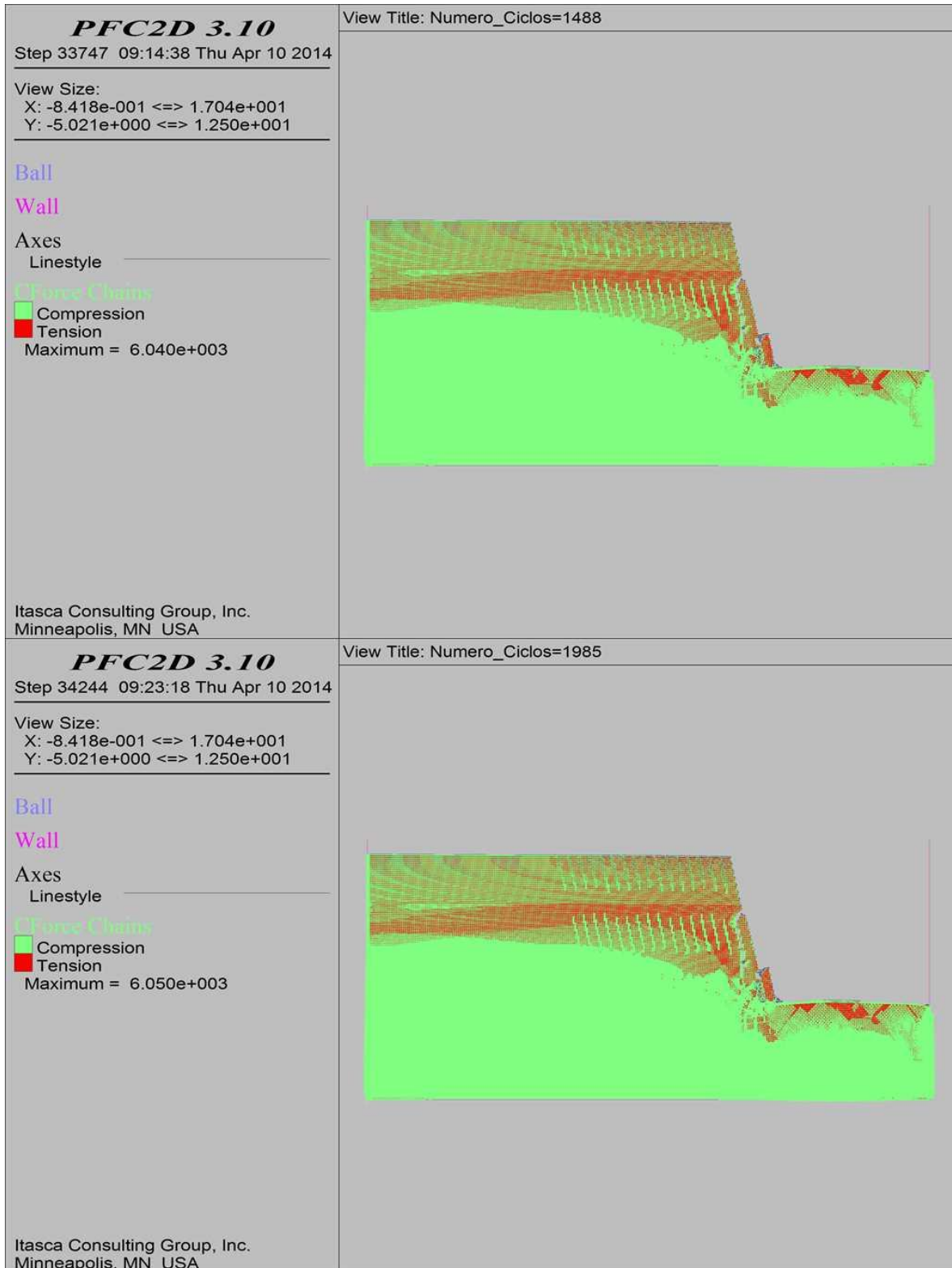
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



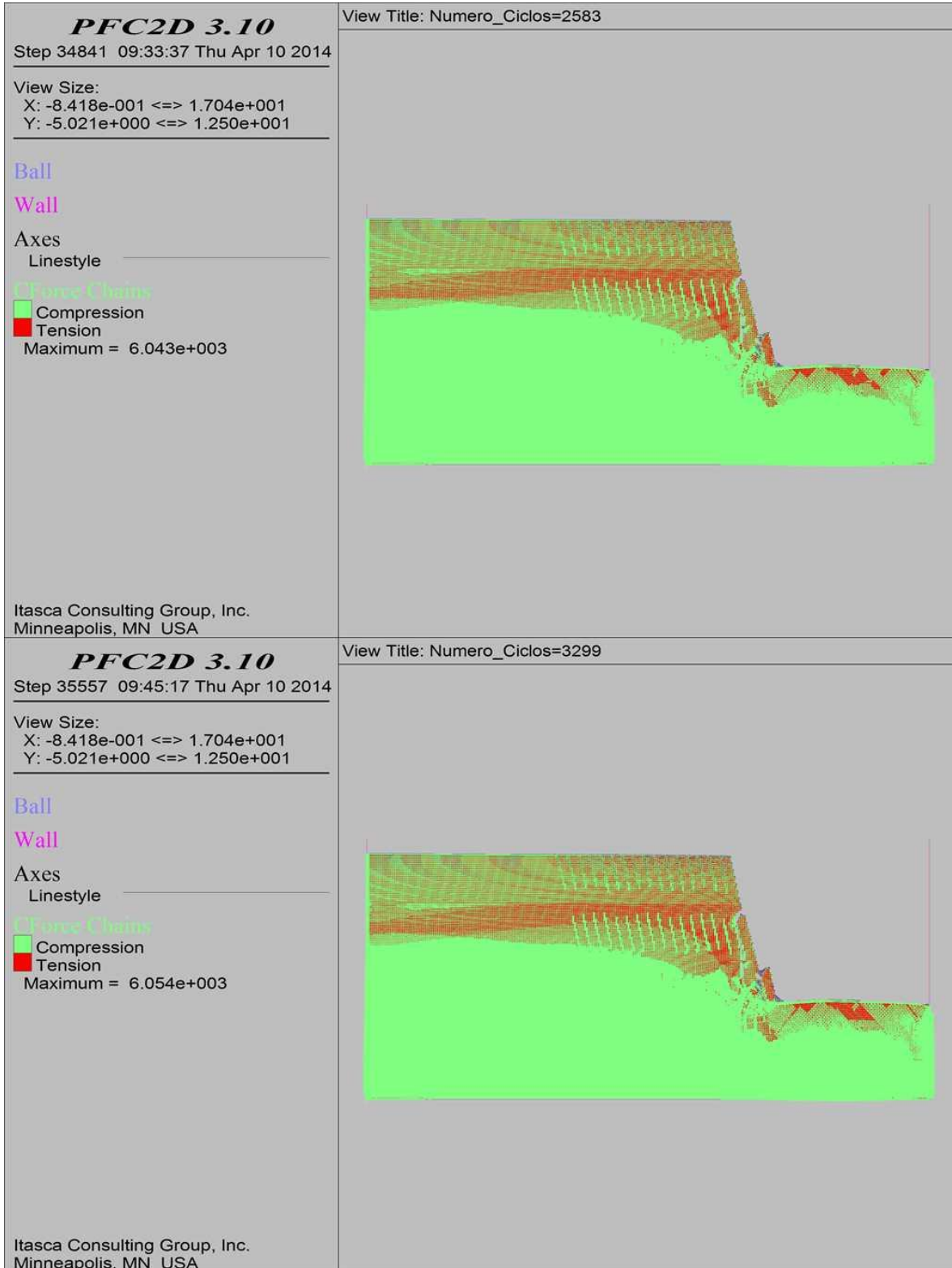
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



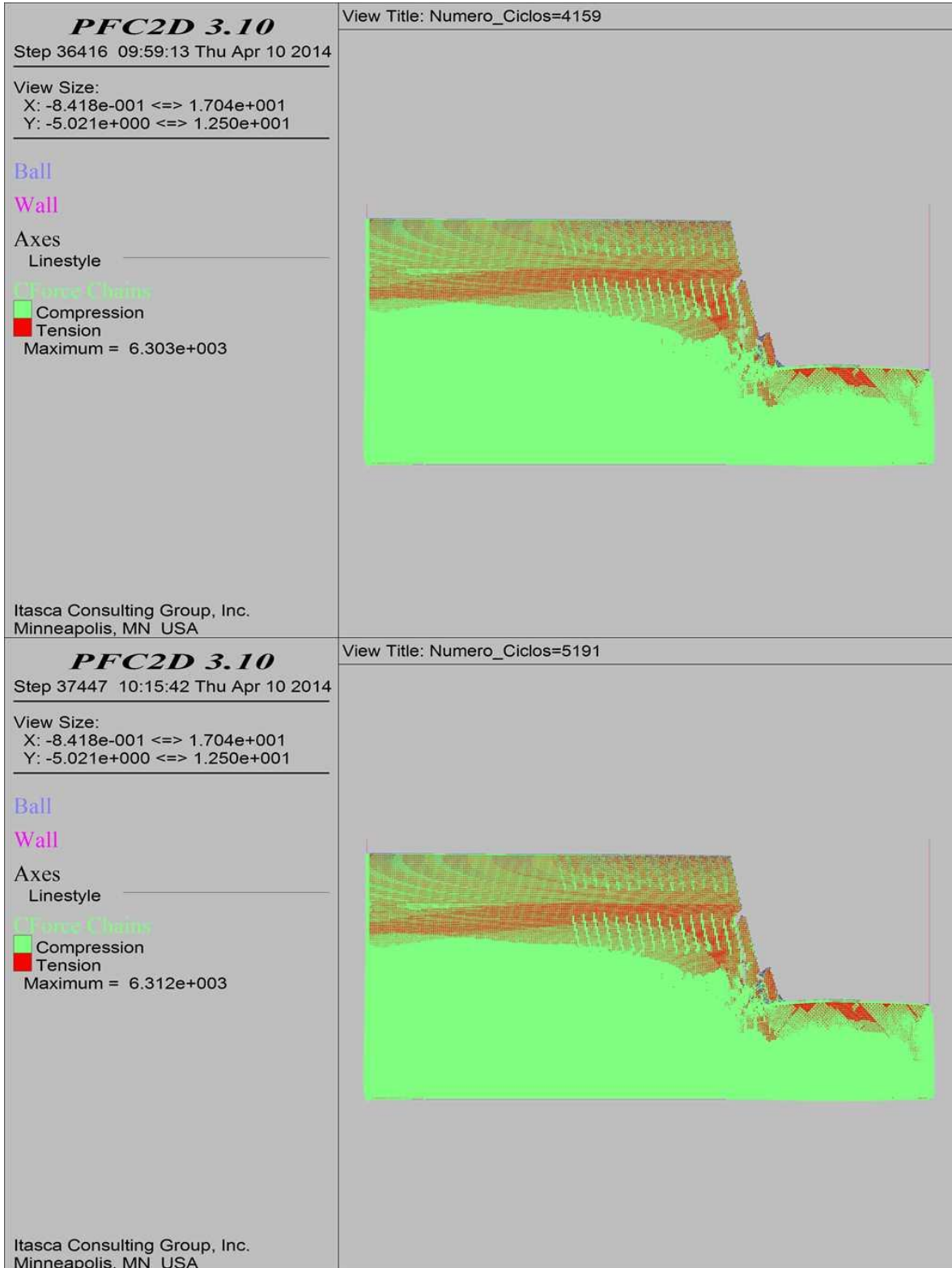
COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



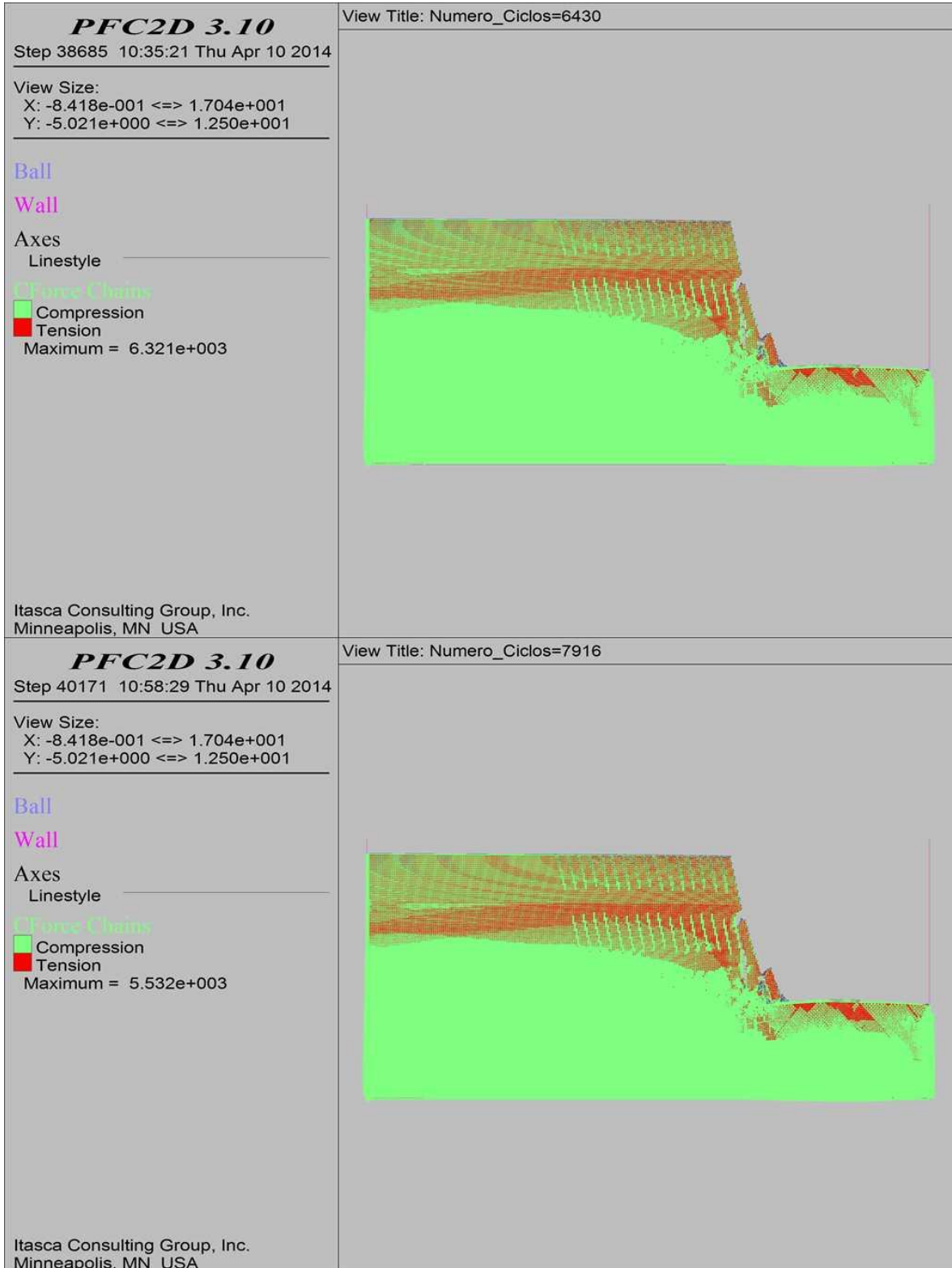
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



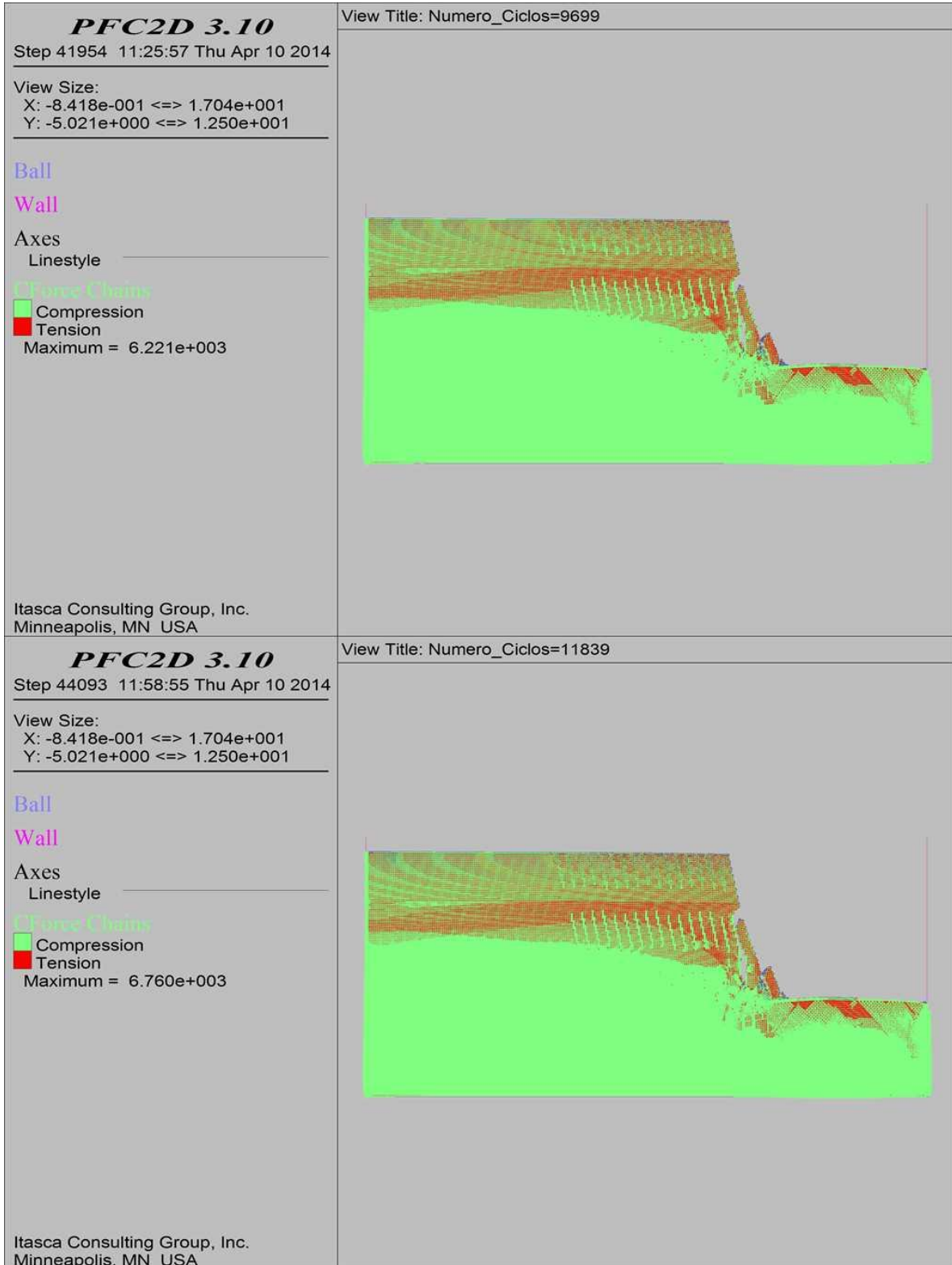
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



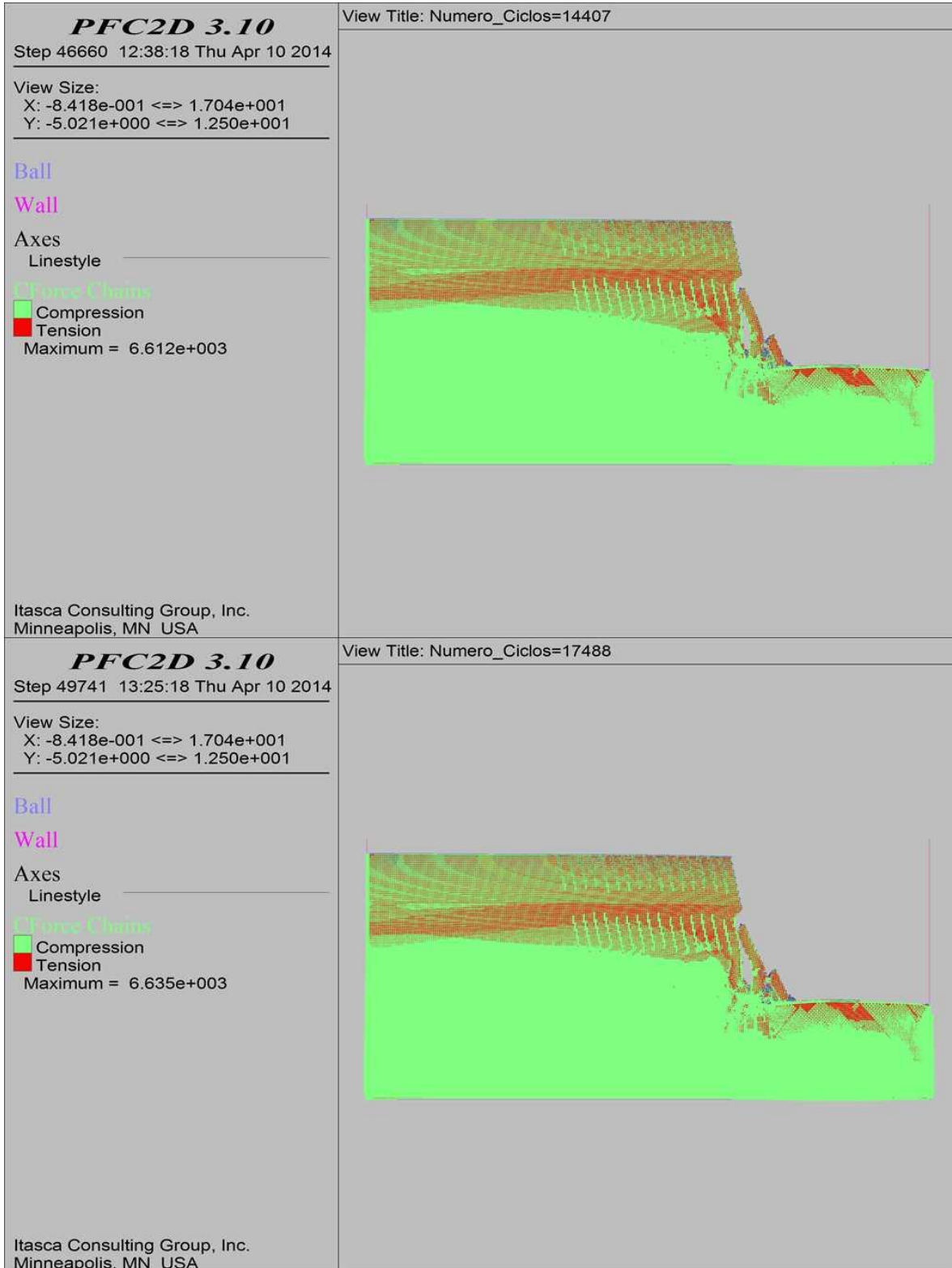
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



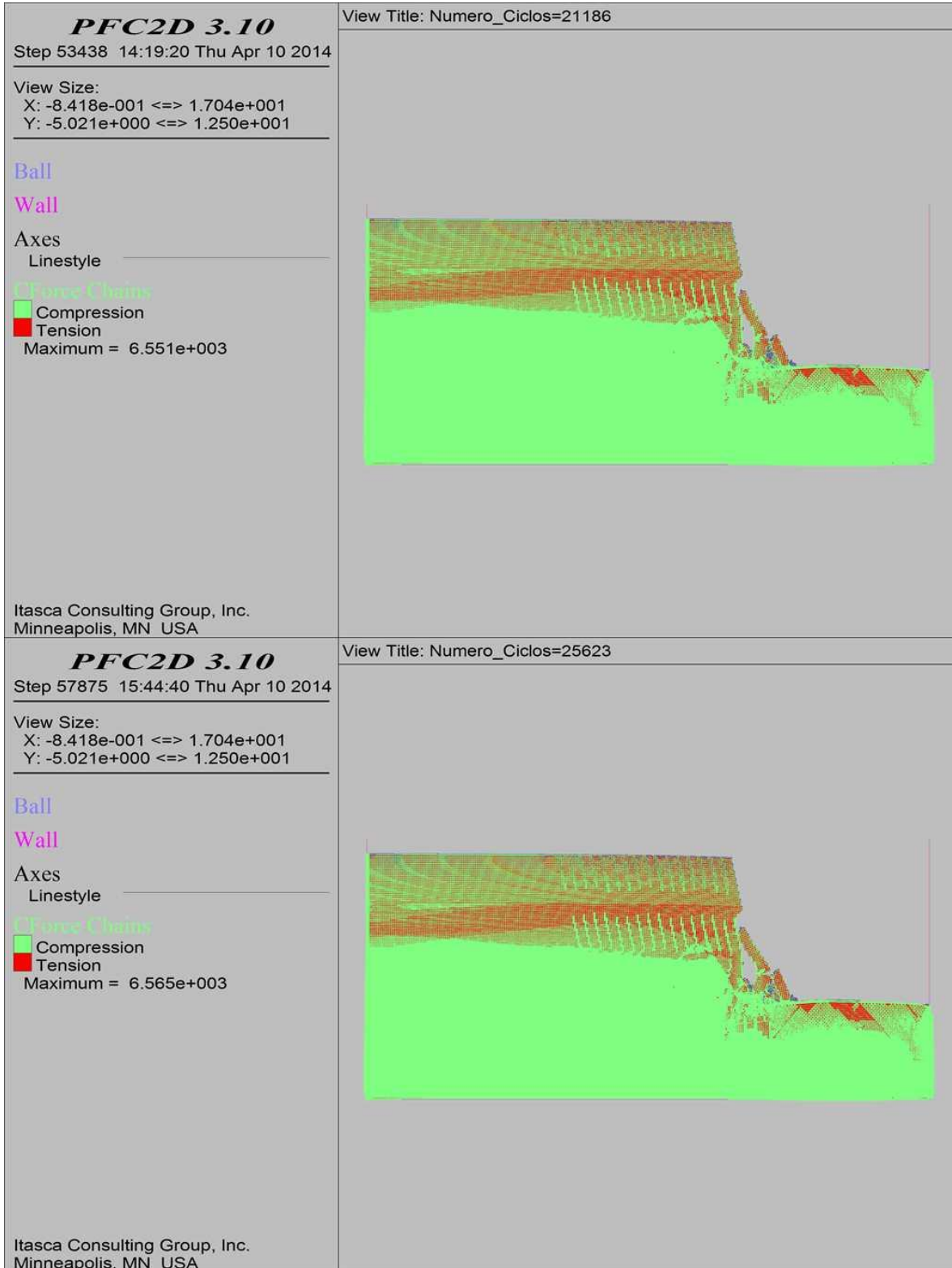
COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



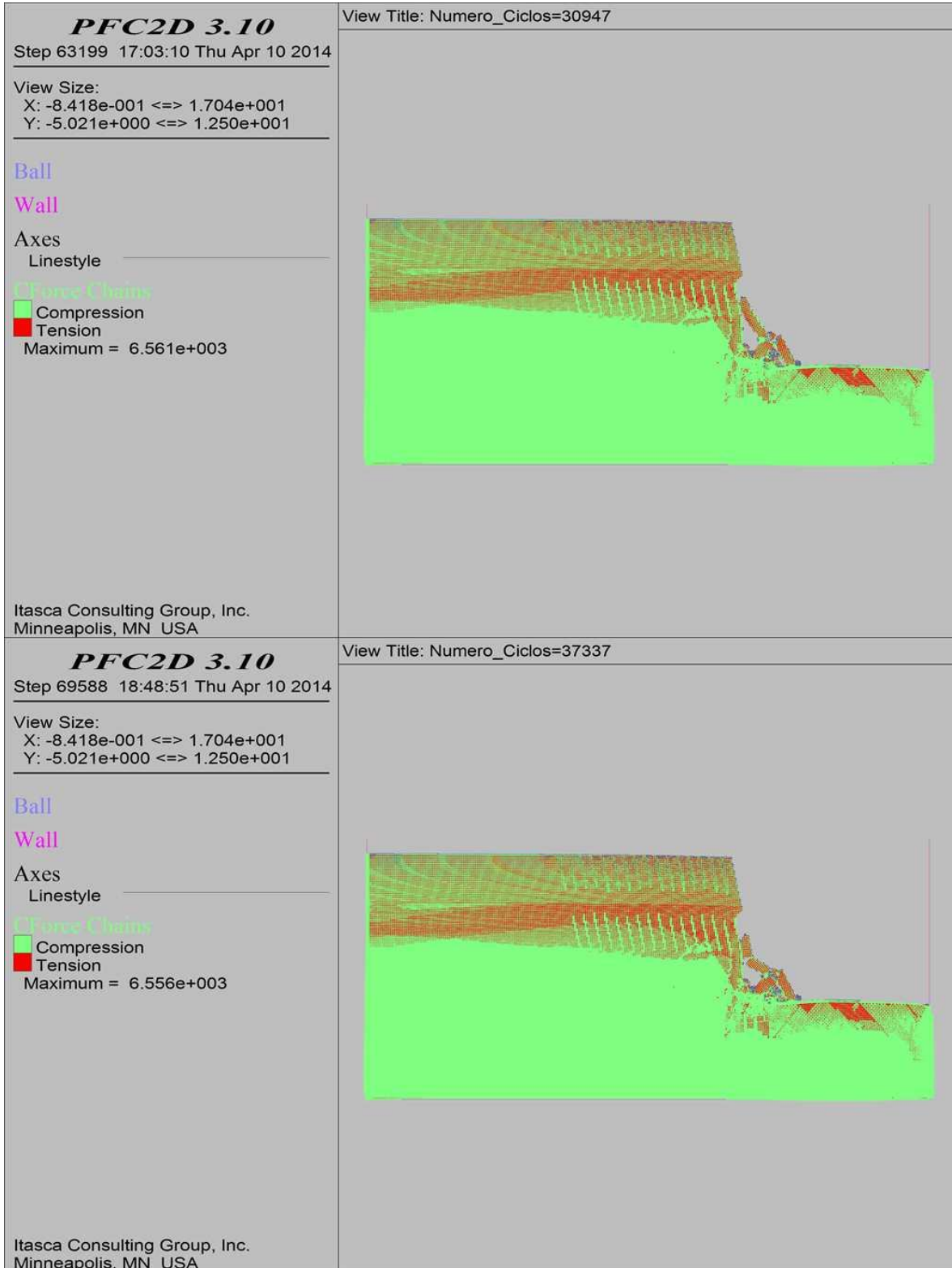
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



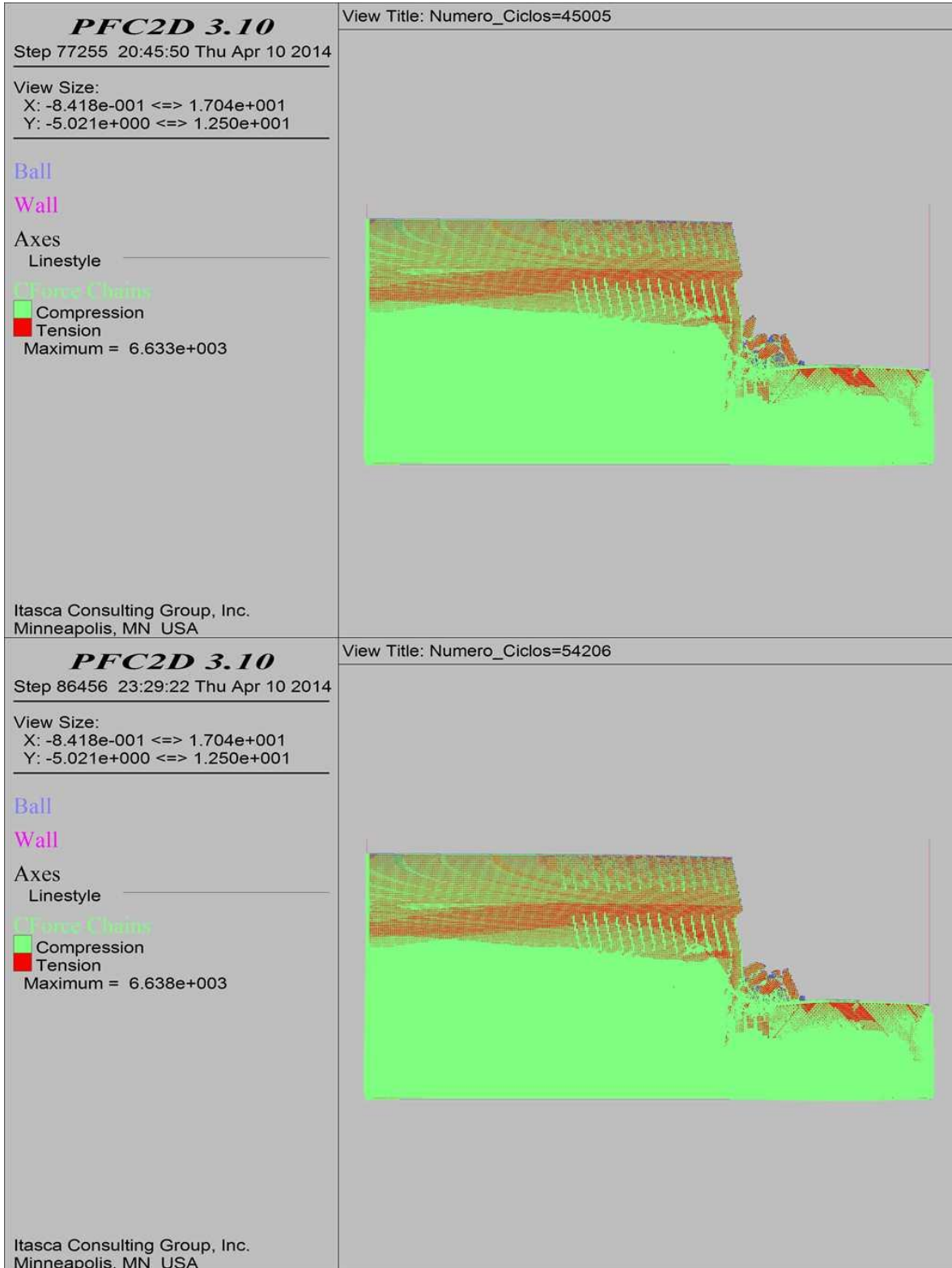
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



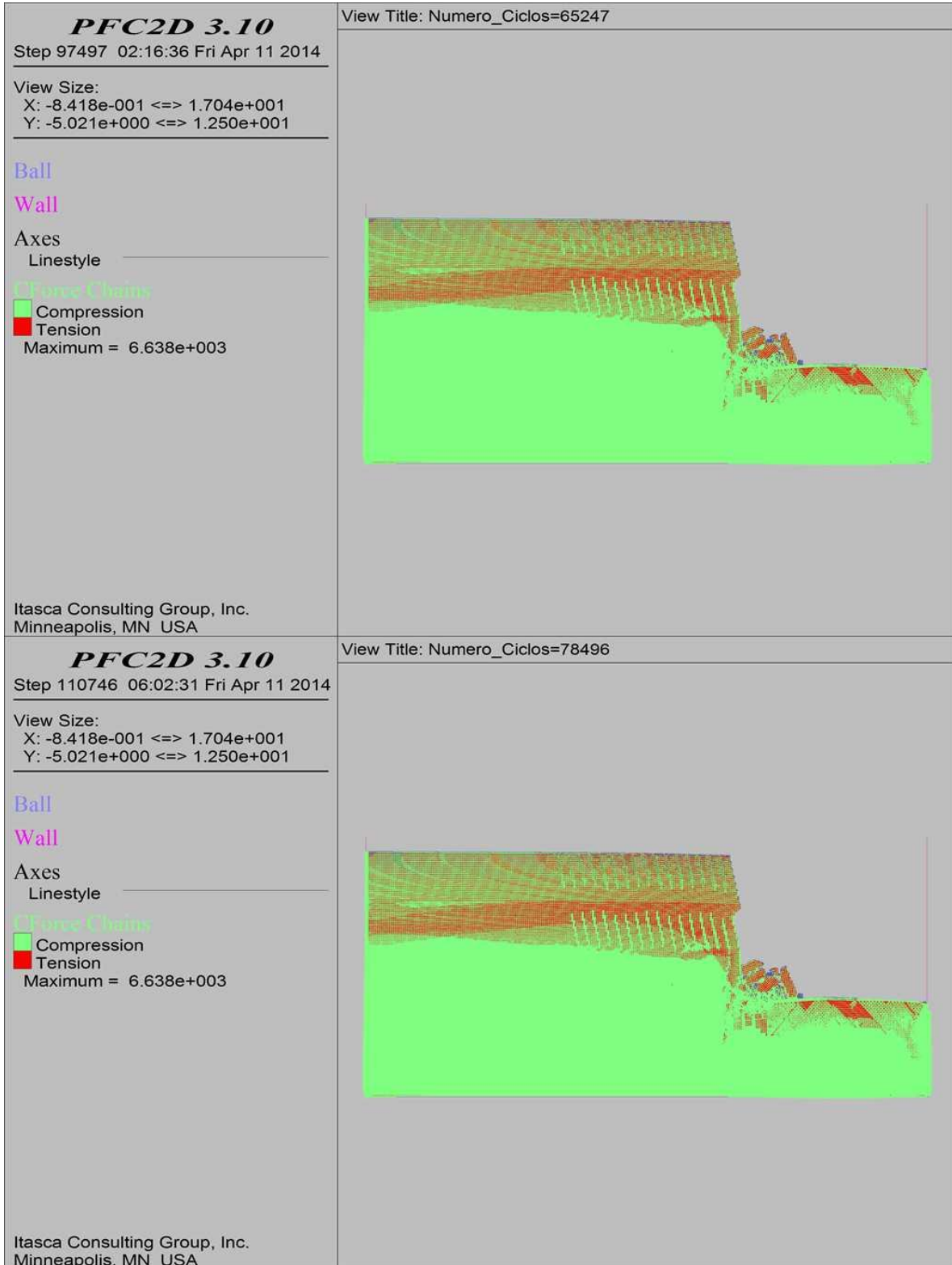
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



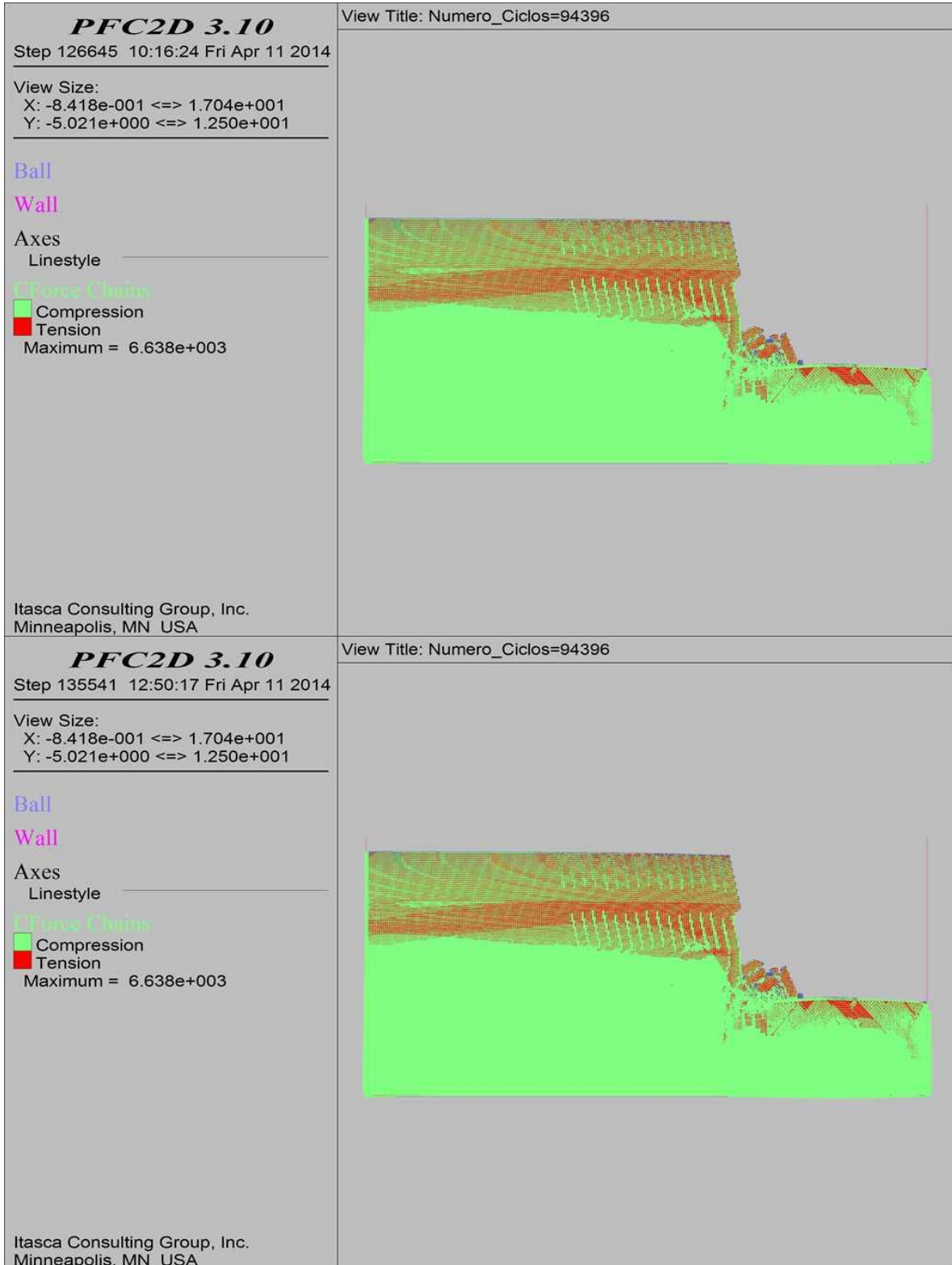
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



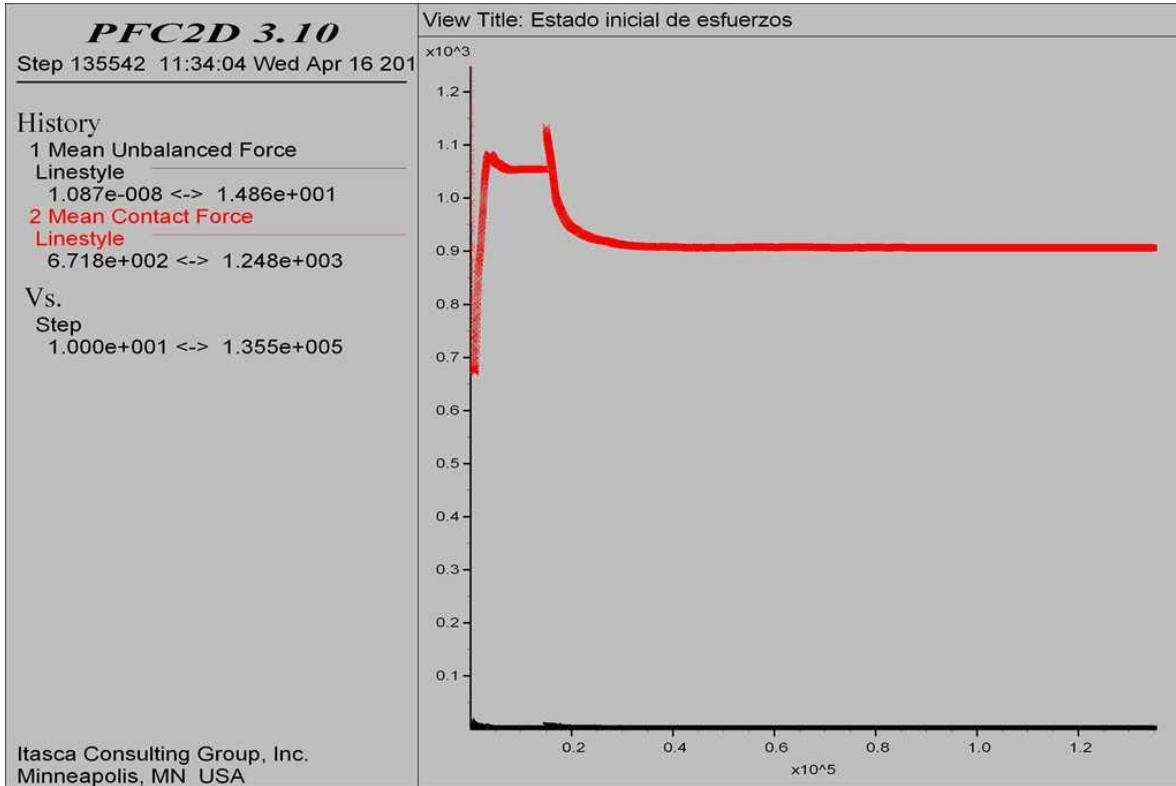
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



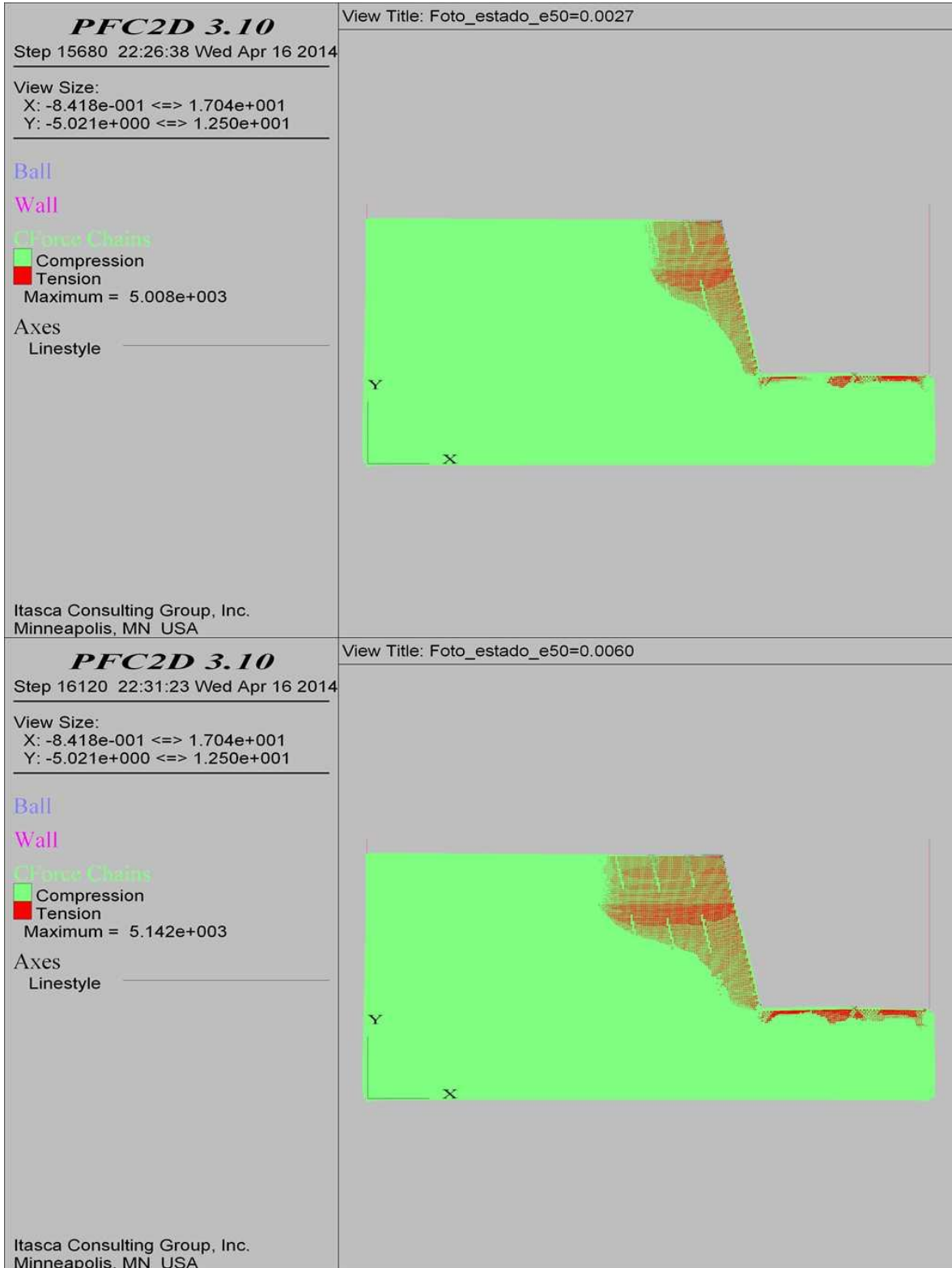
**COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



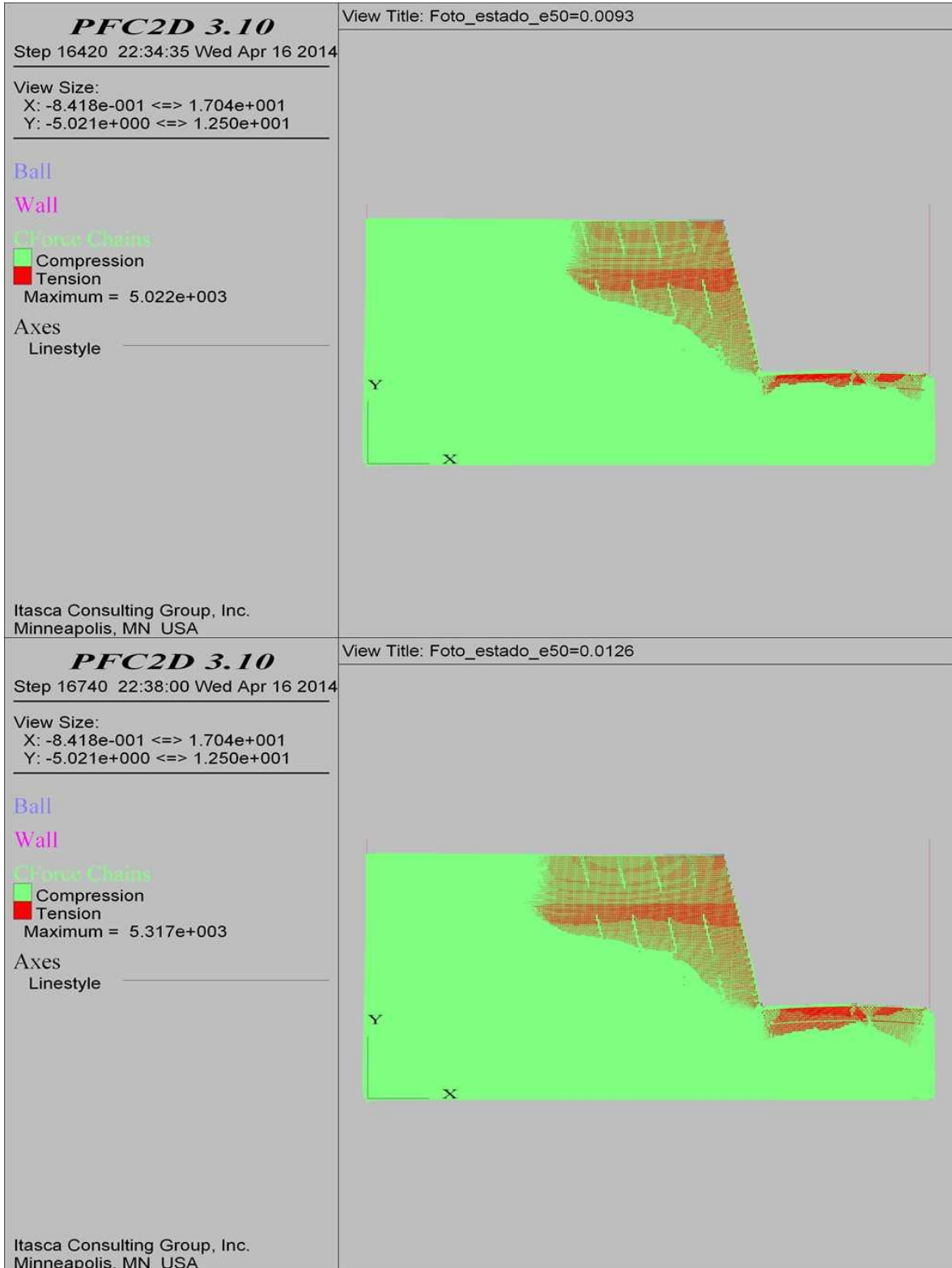
COMBINACIÓN 4: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



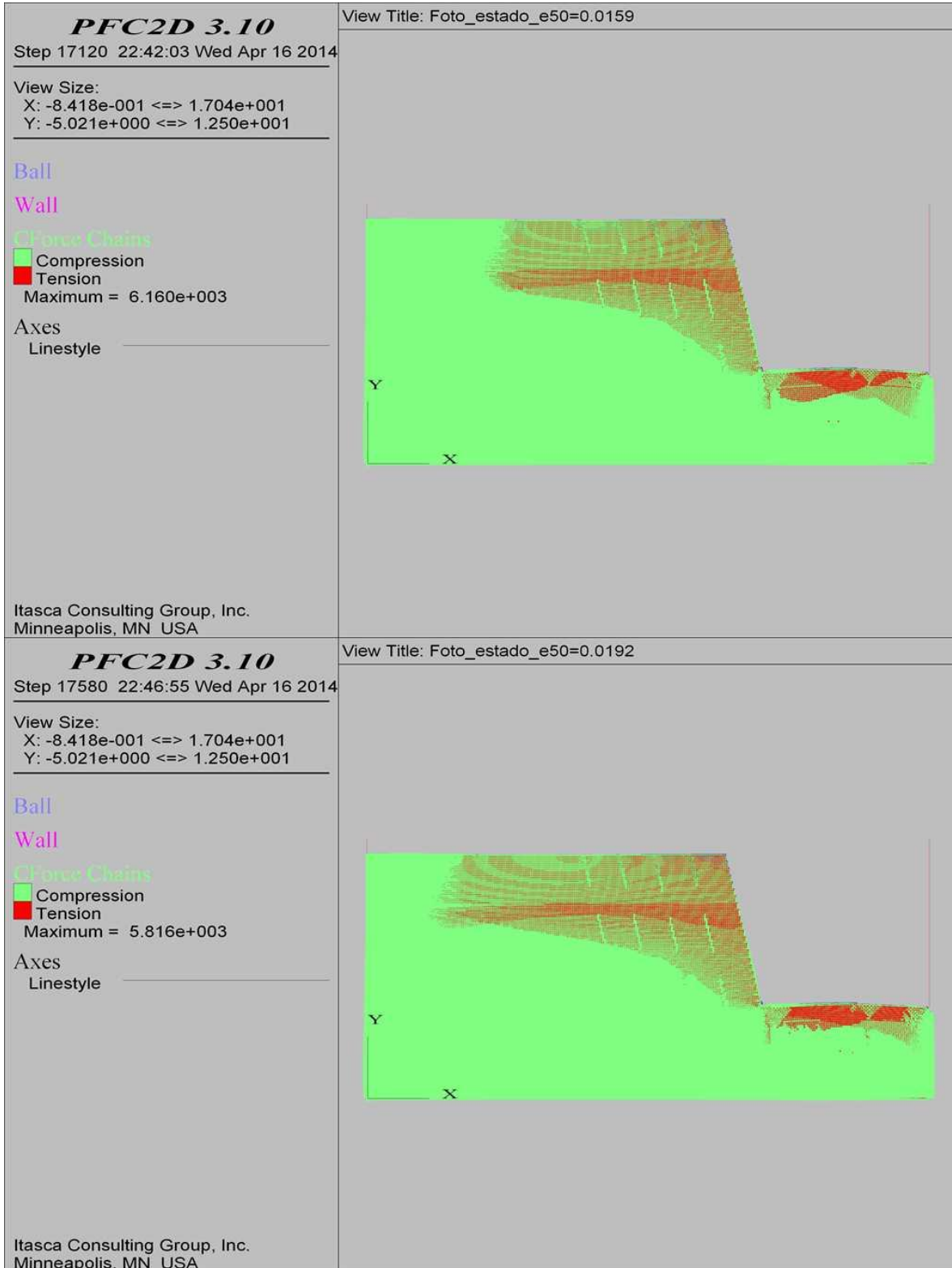
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



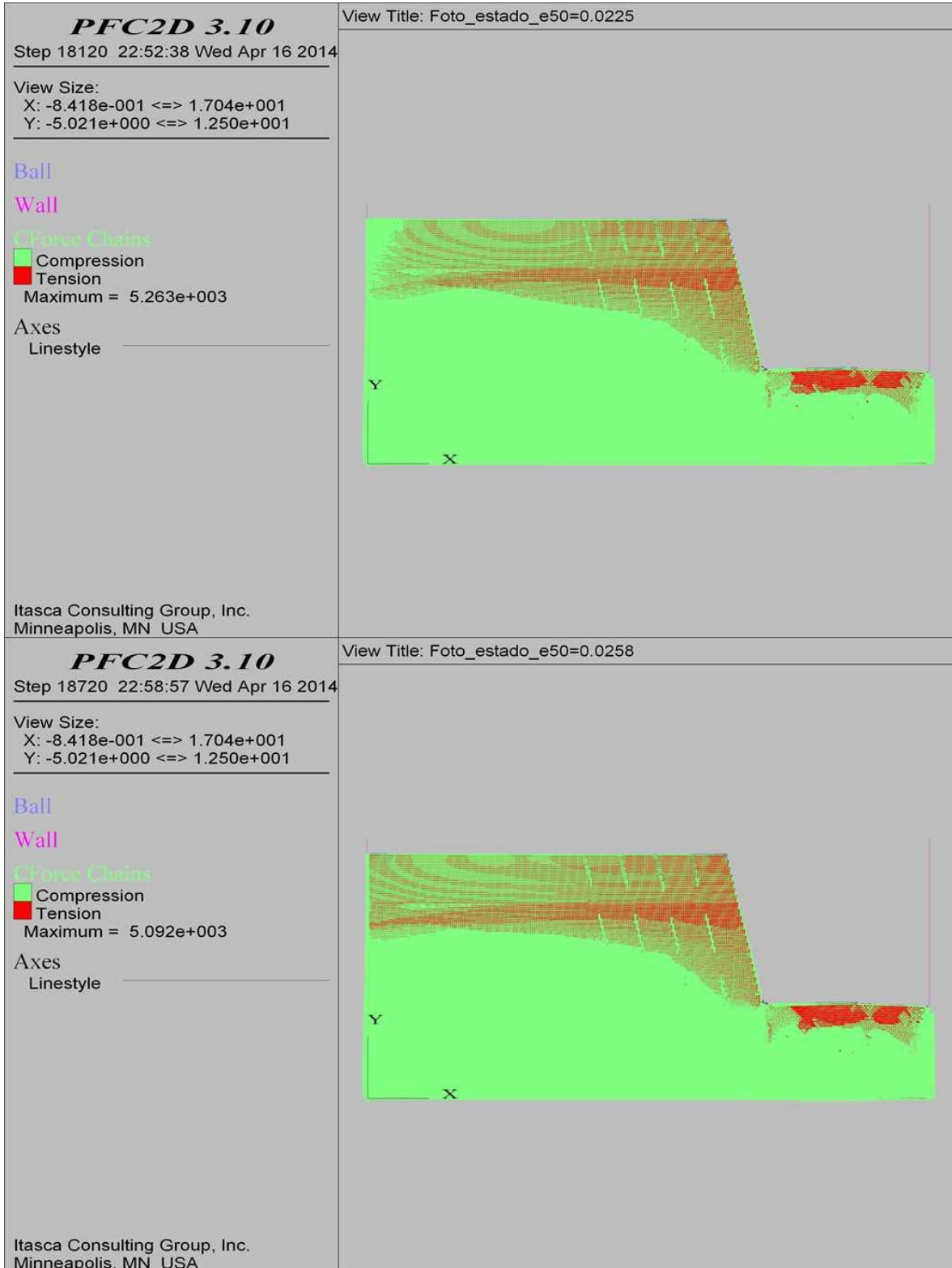
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



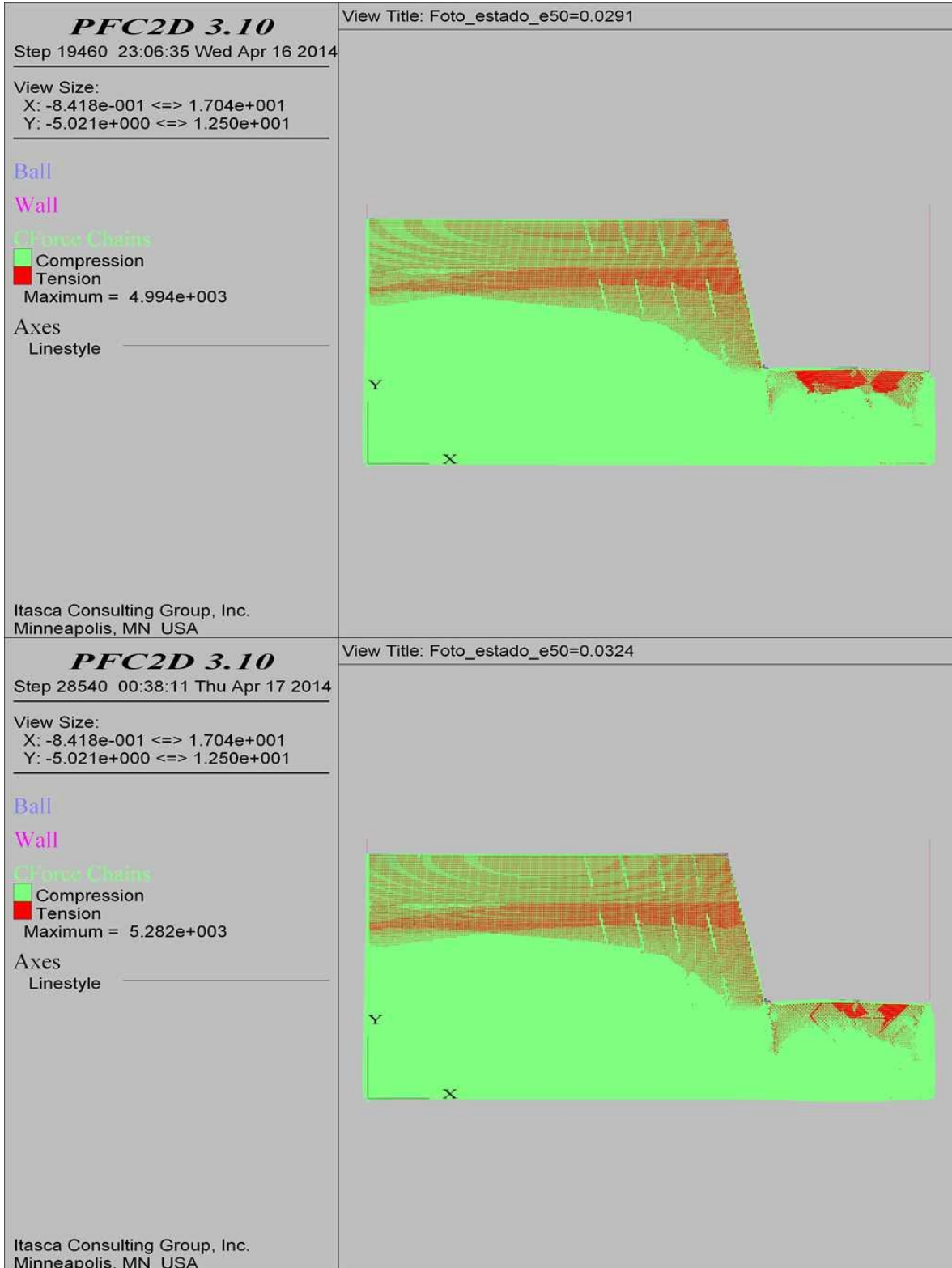
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



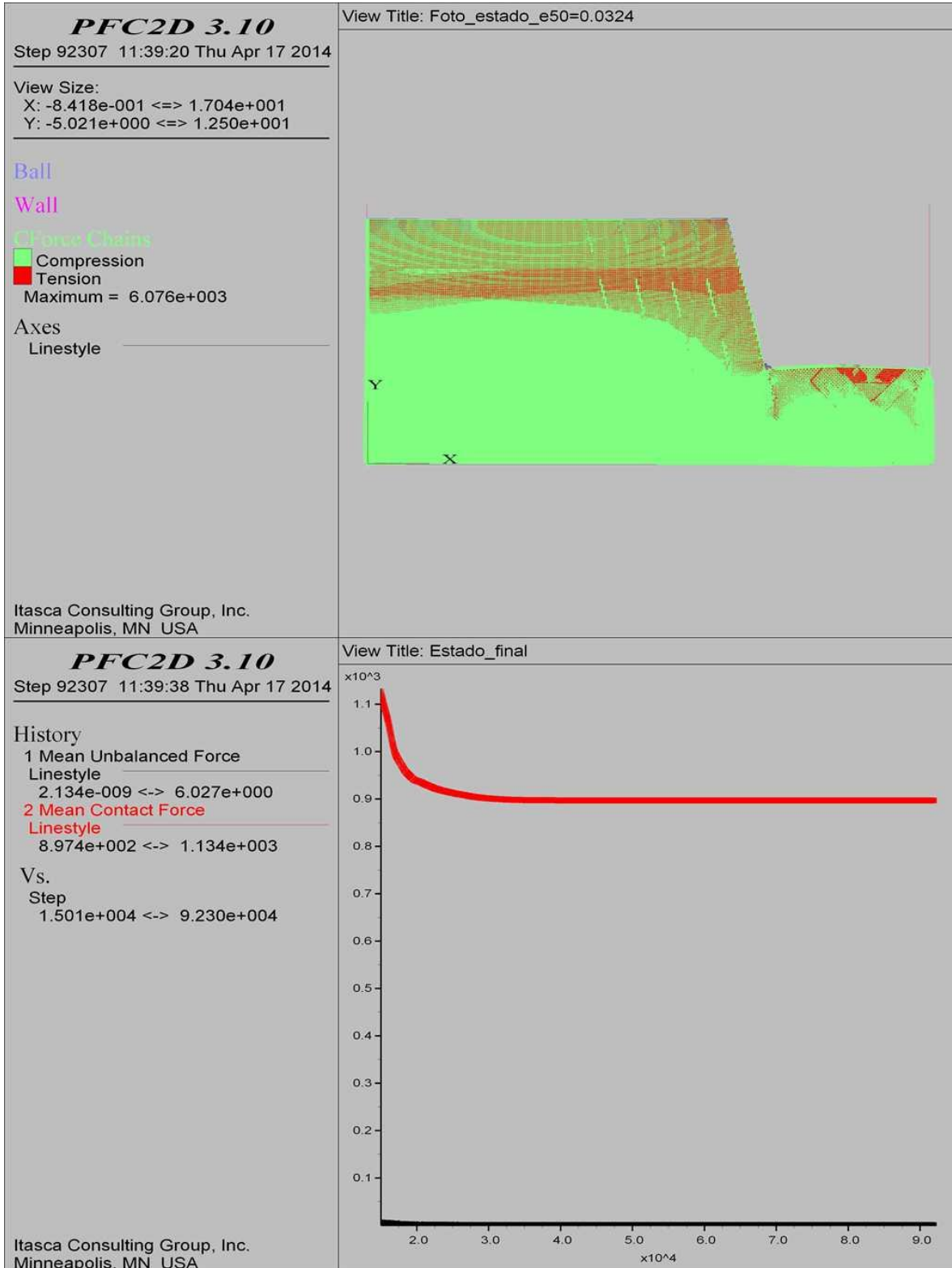
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



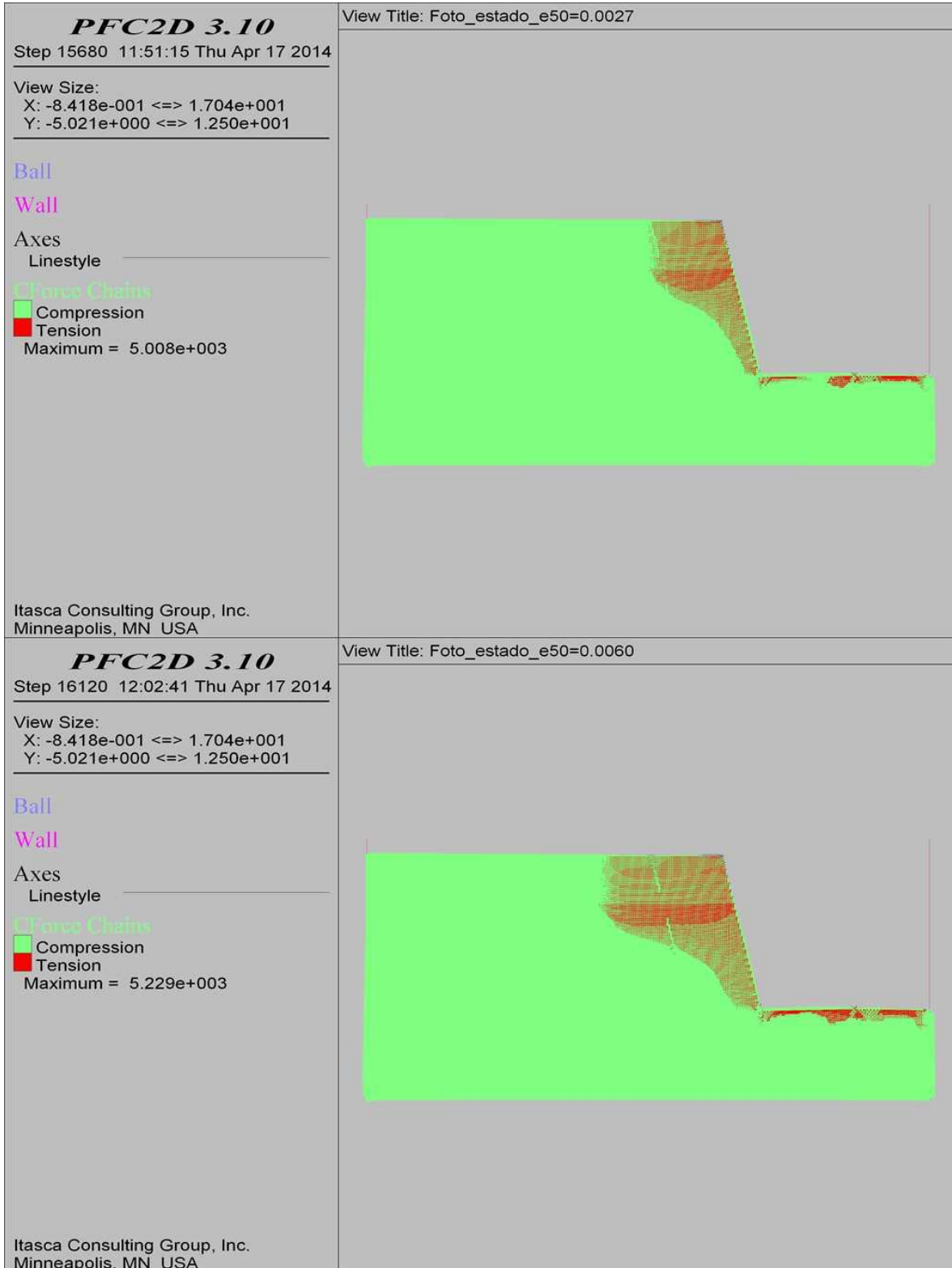
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



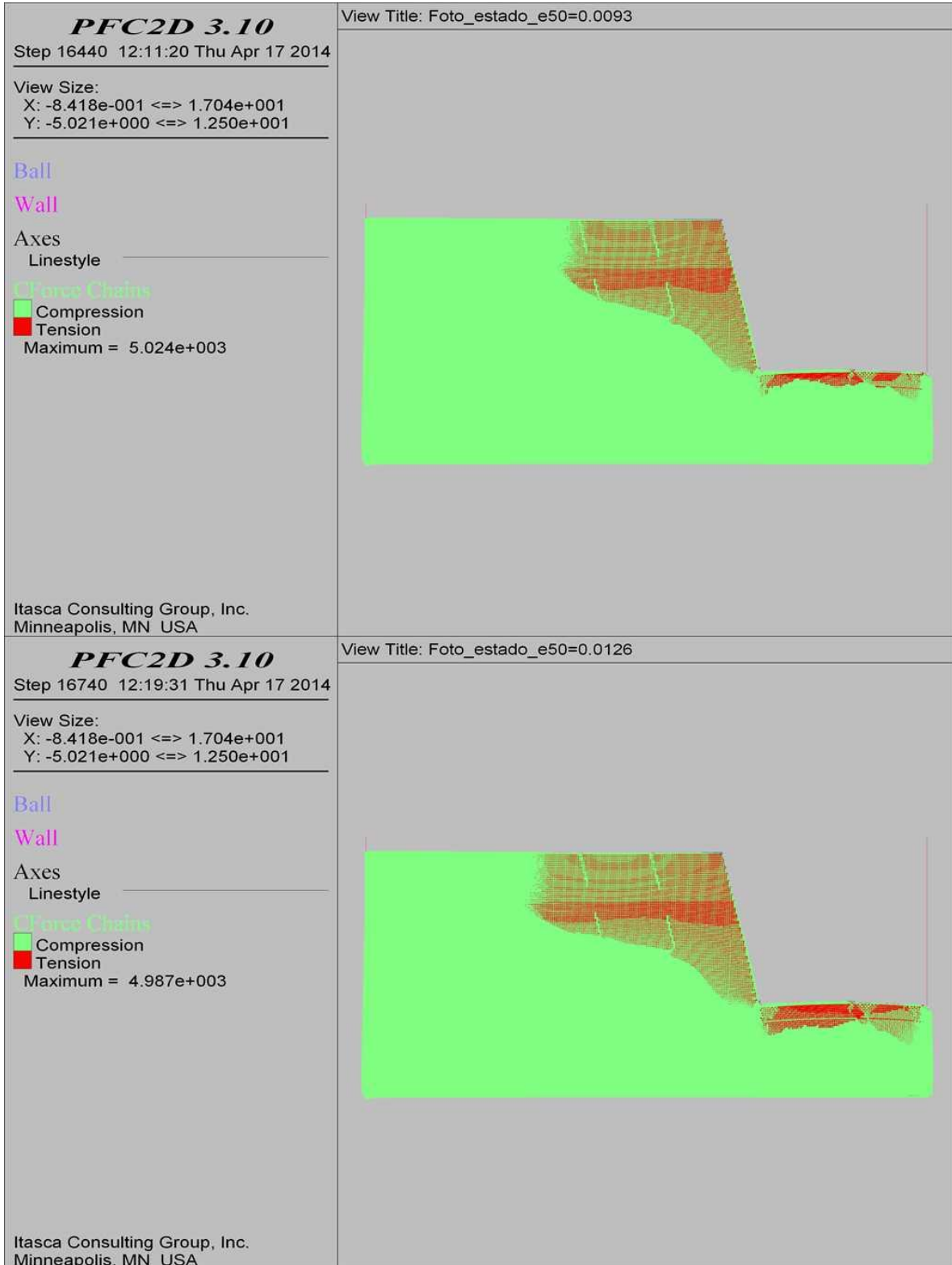
**COMBINACIÓN 5: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



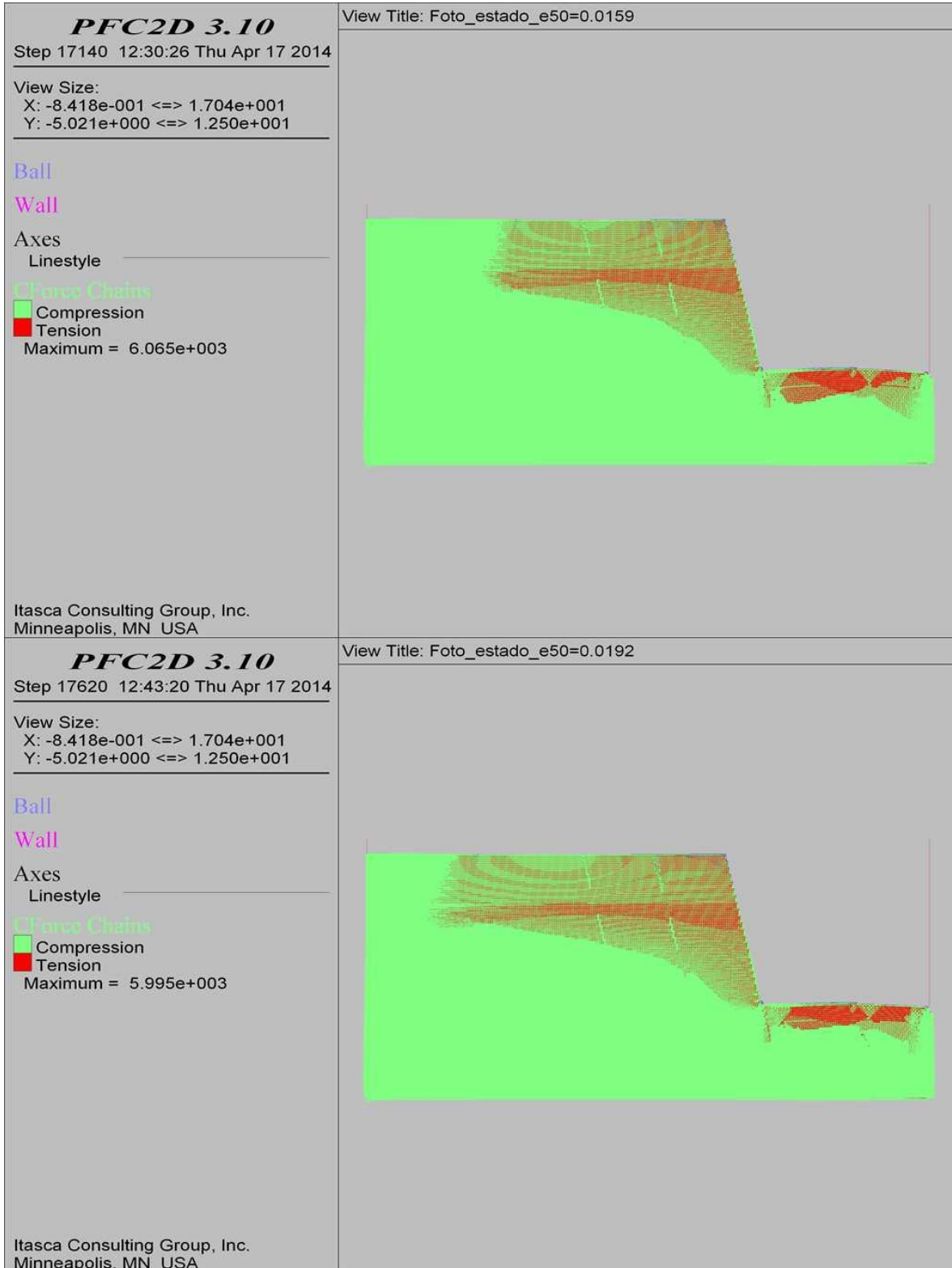
**COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



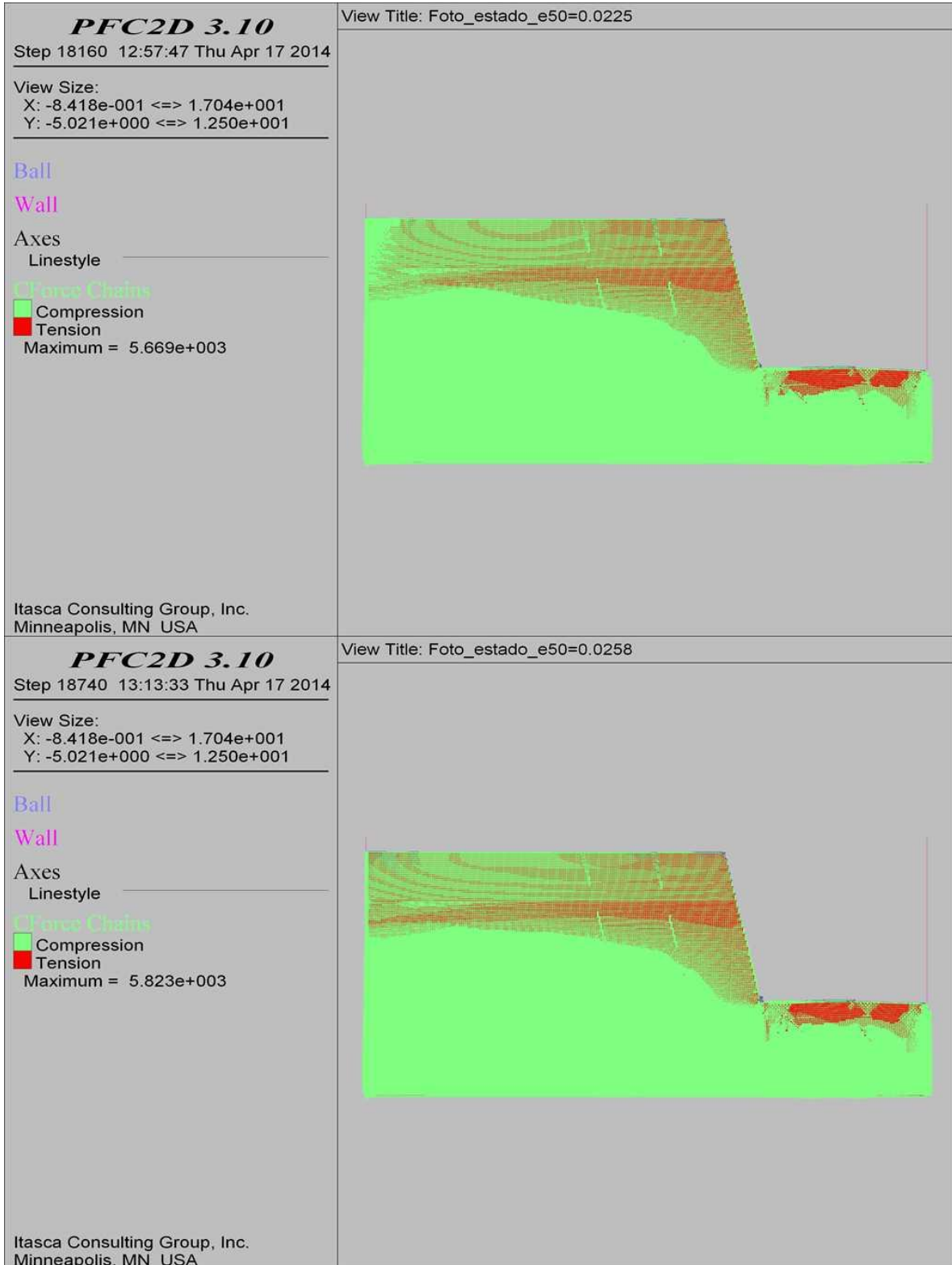
**COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



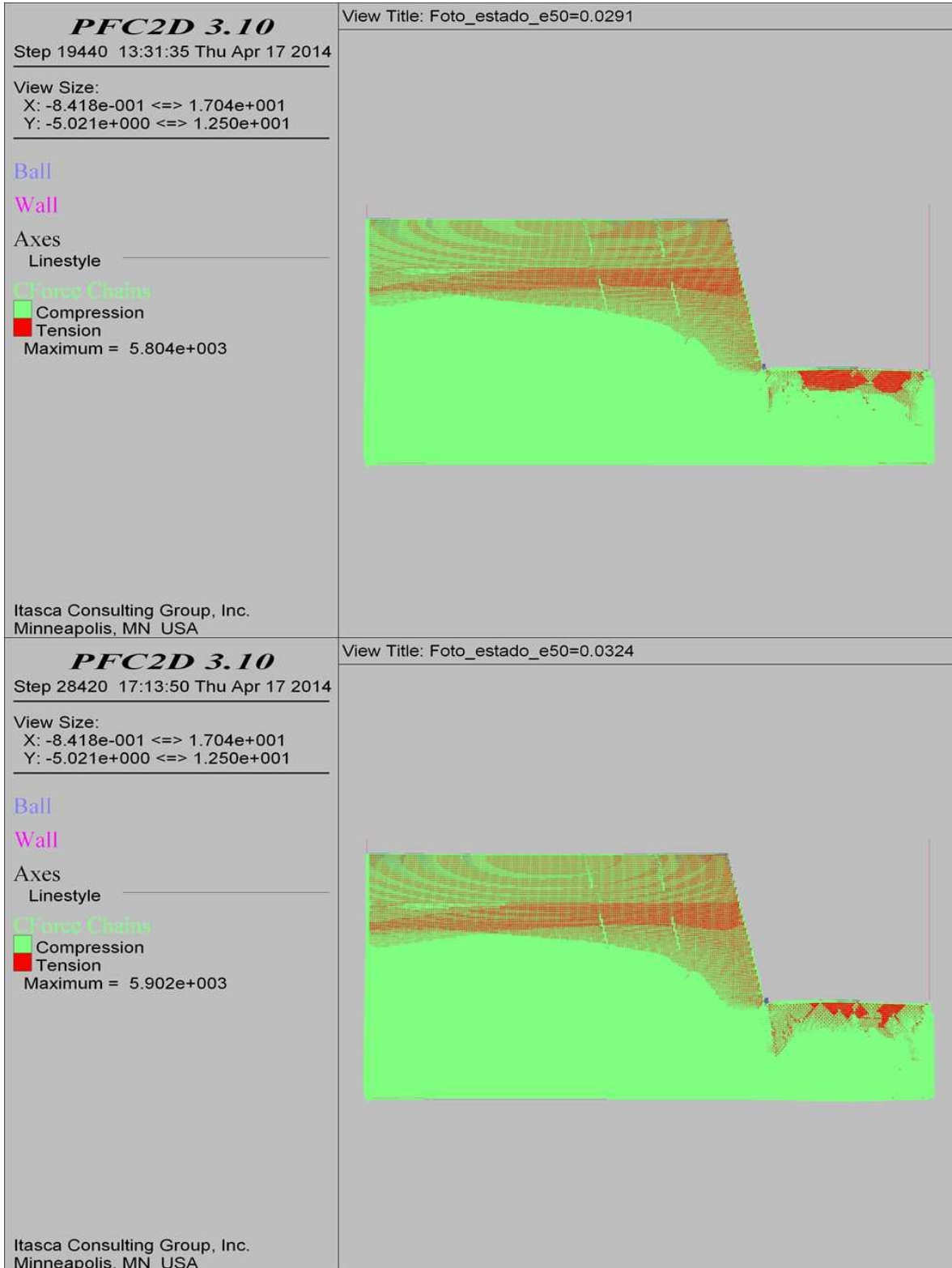
**COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



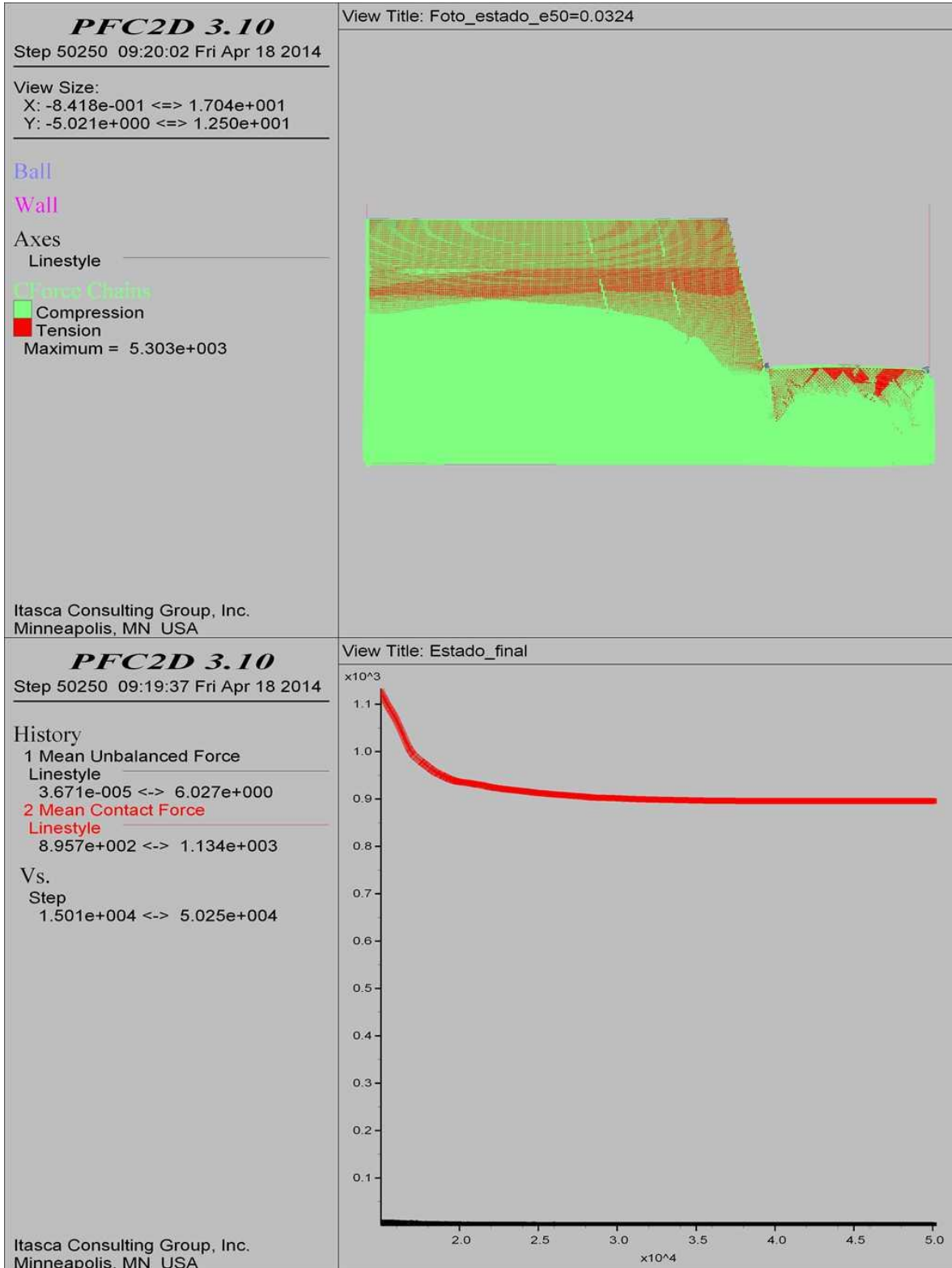
COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



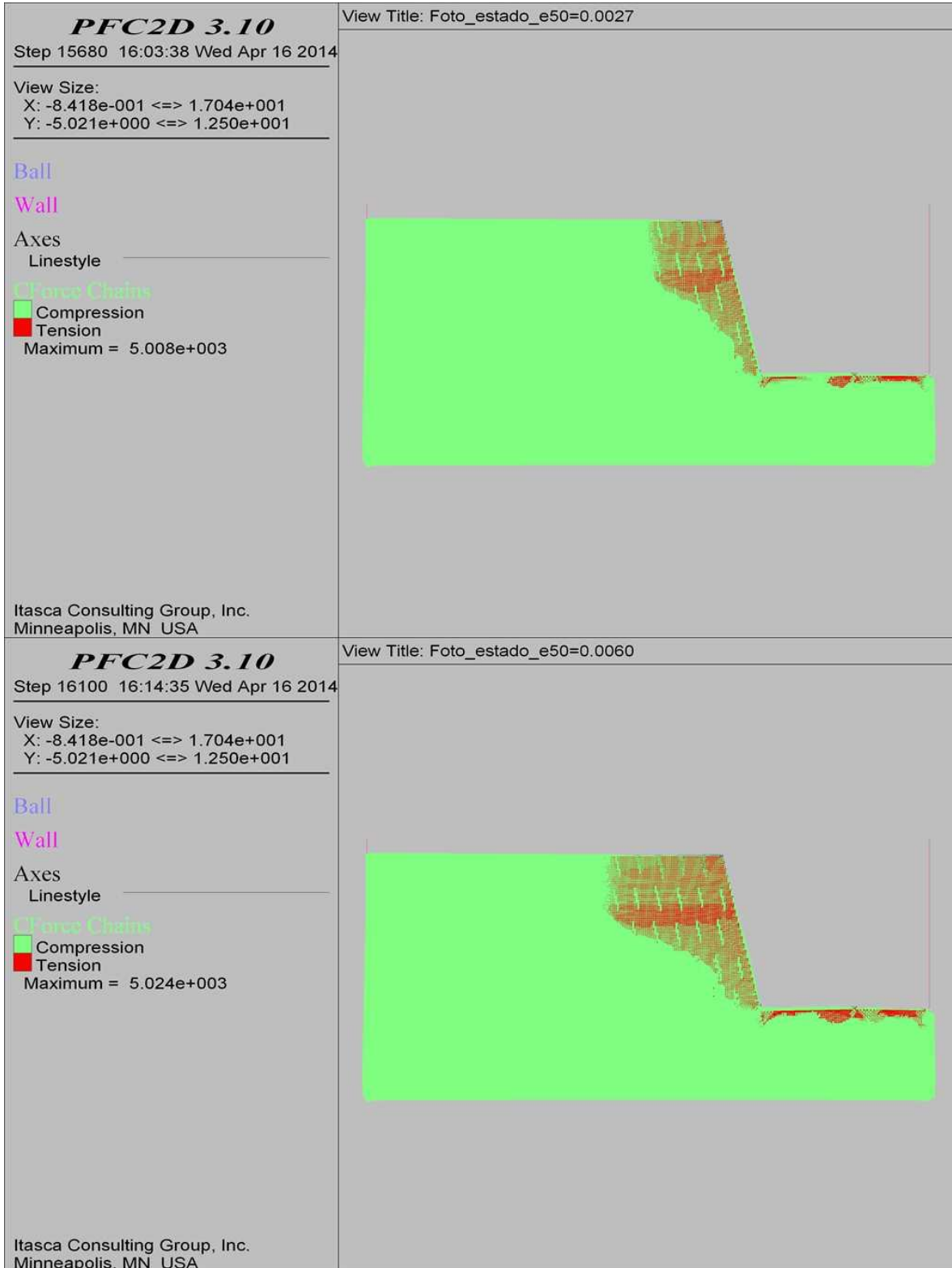
**COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



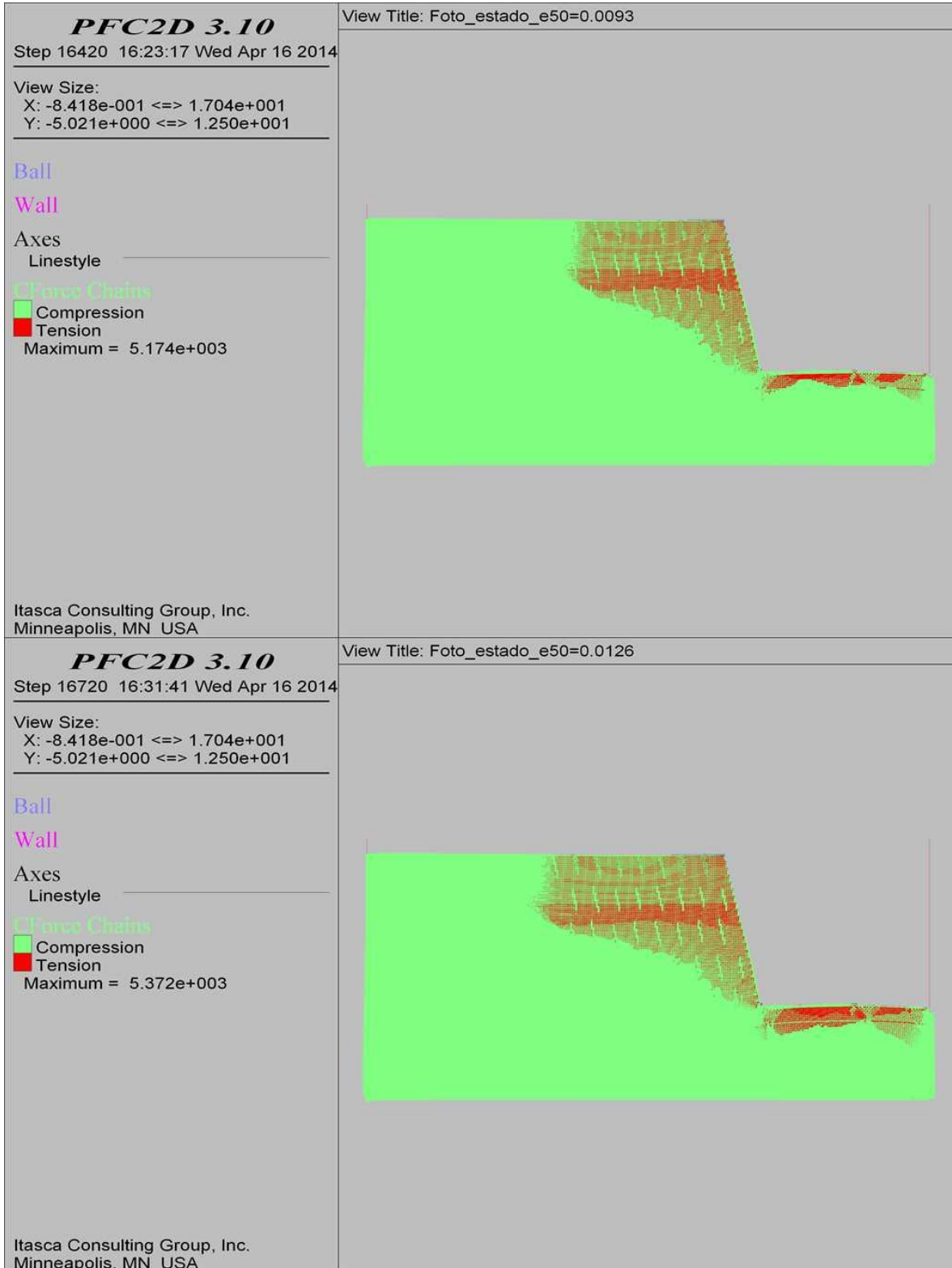
**COMBINACIÓN 6: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.**



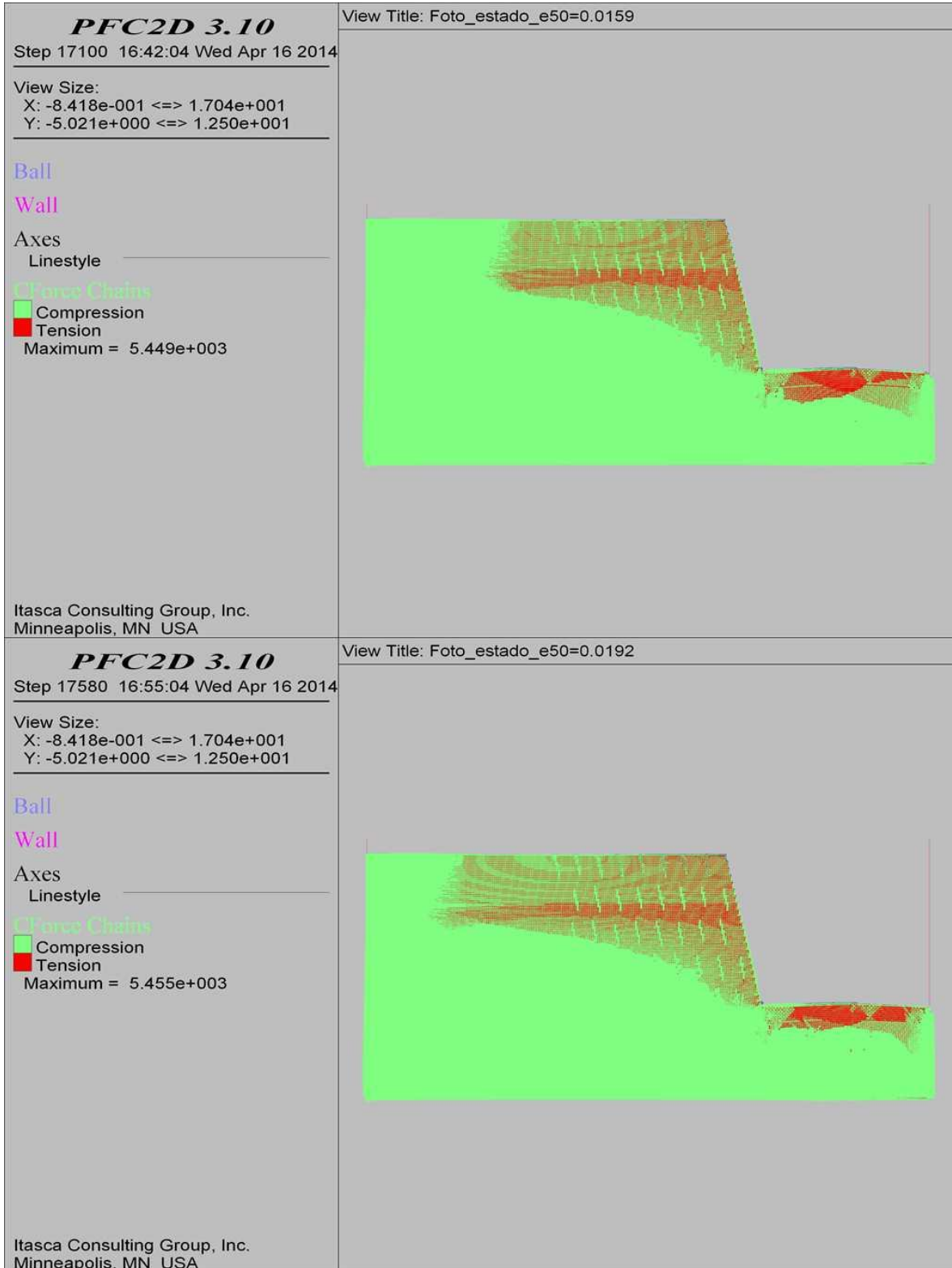
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



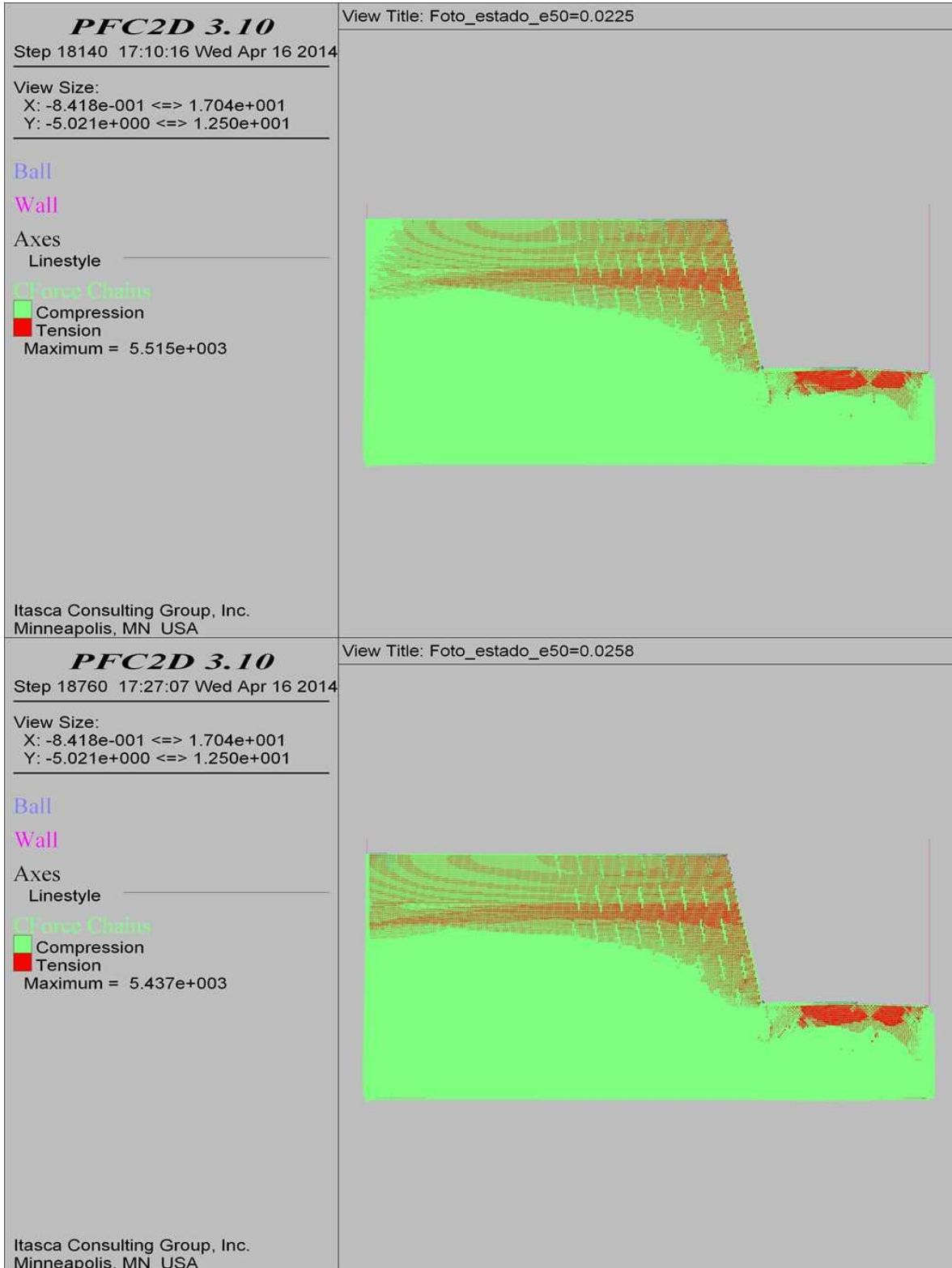
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



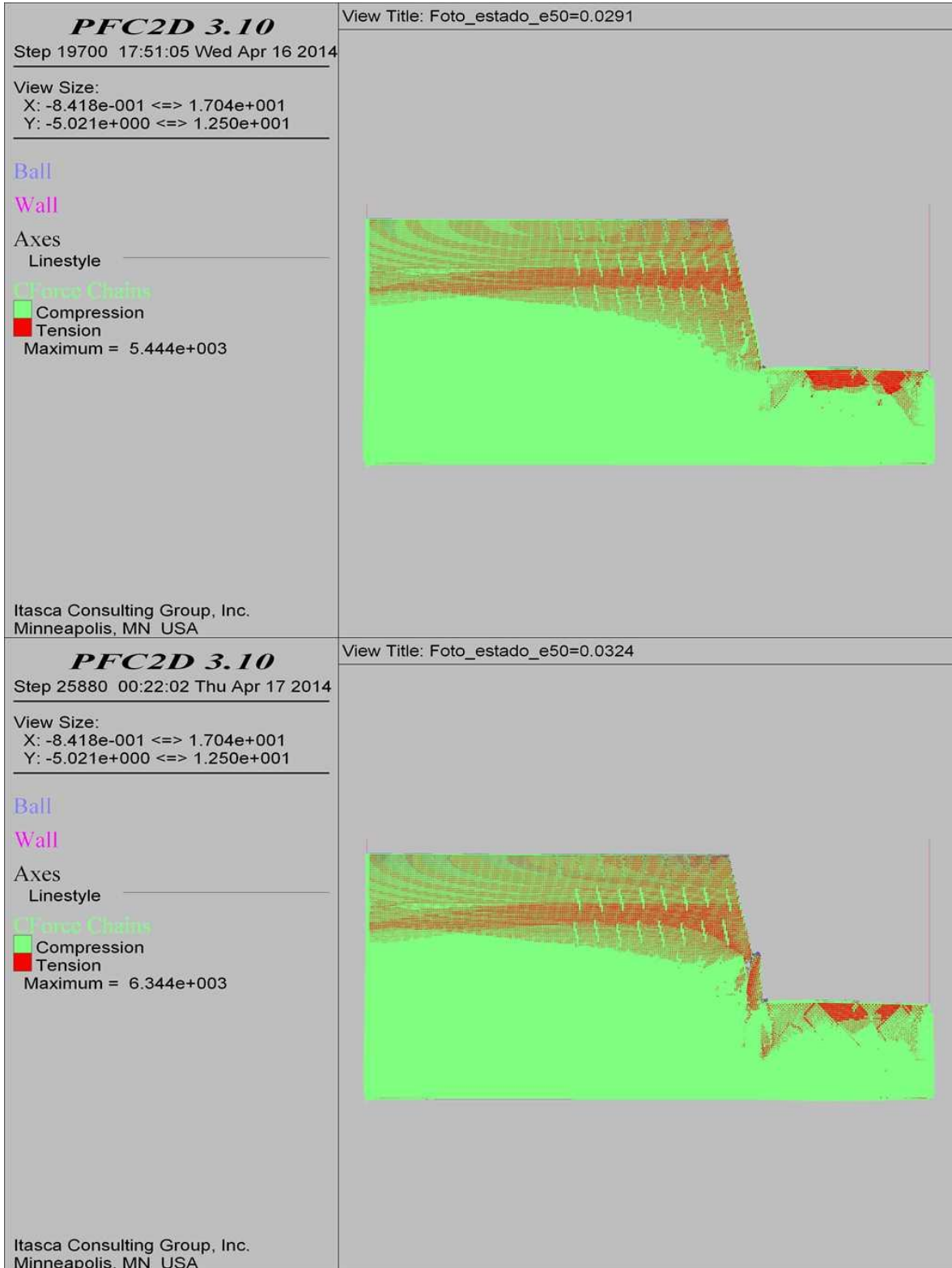
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



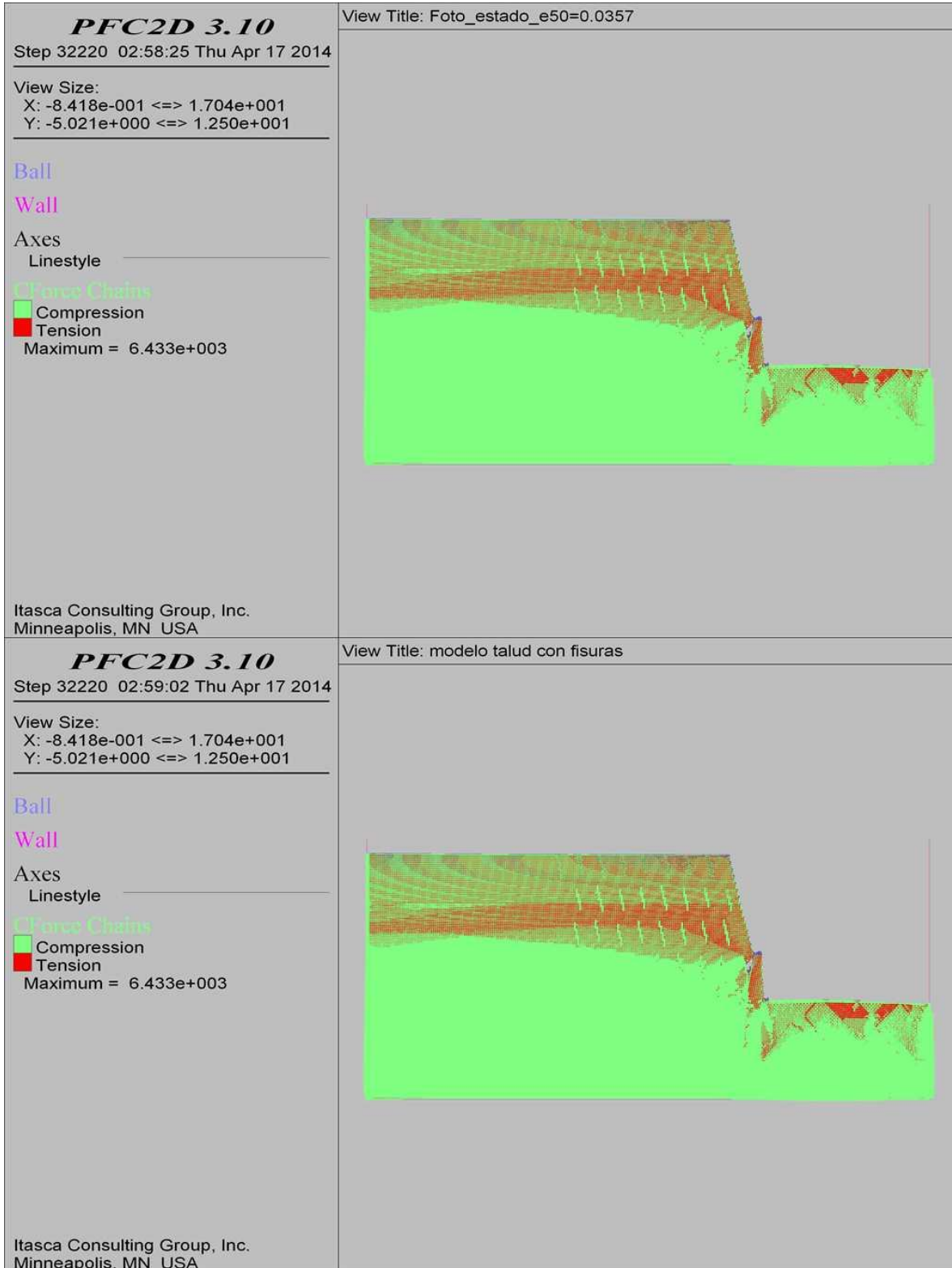
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



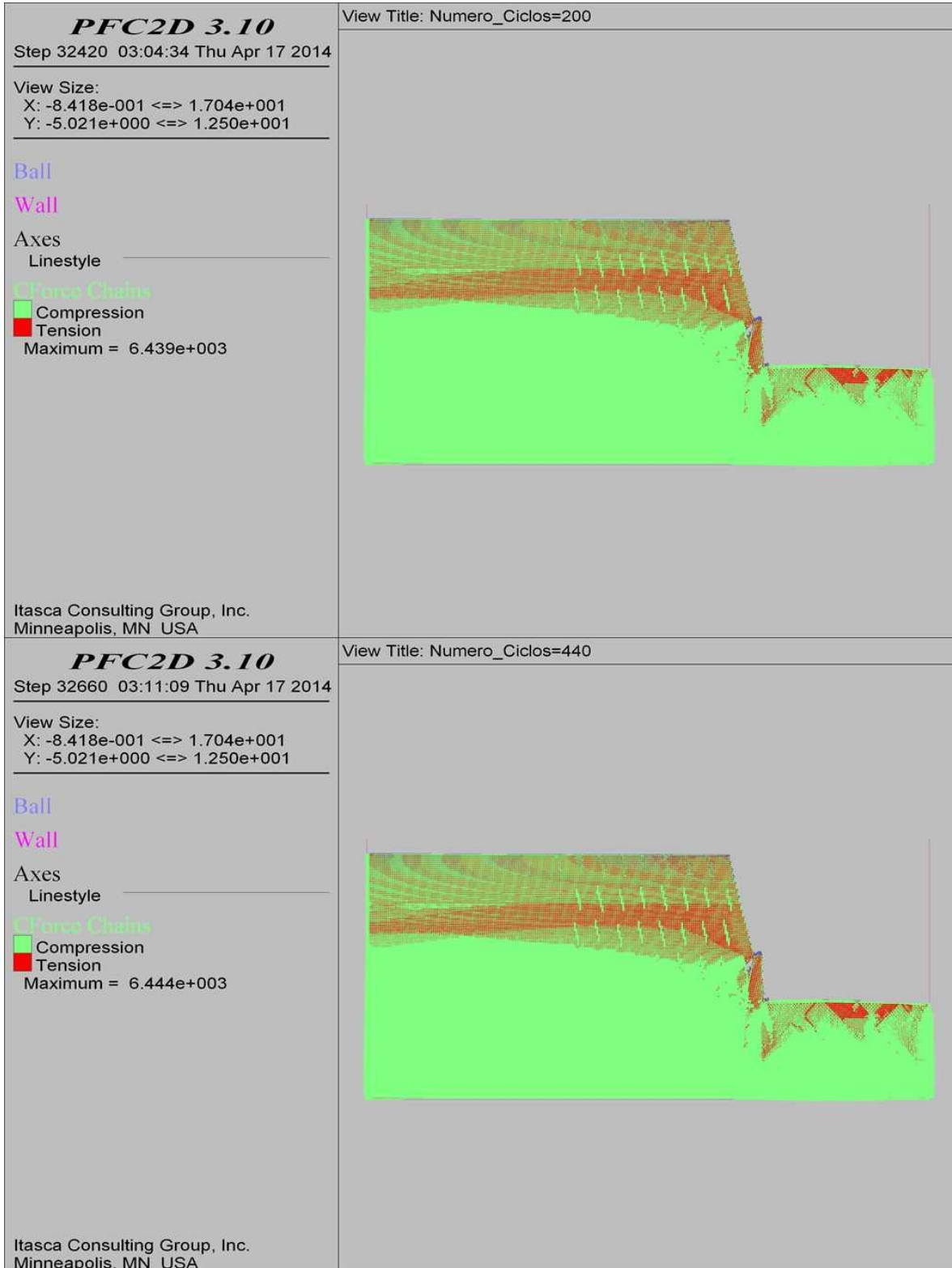
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



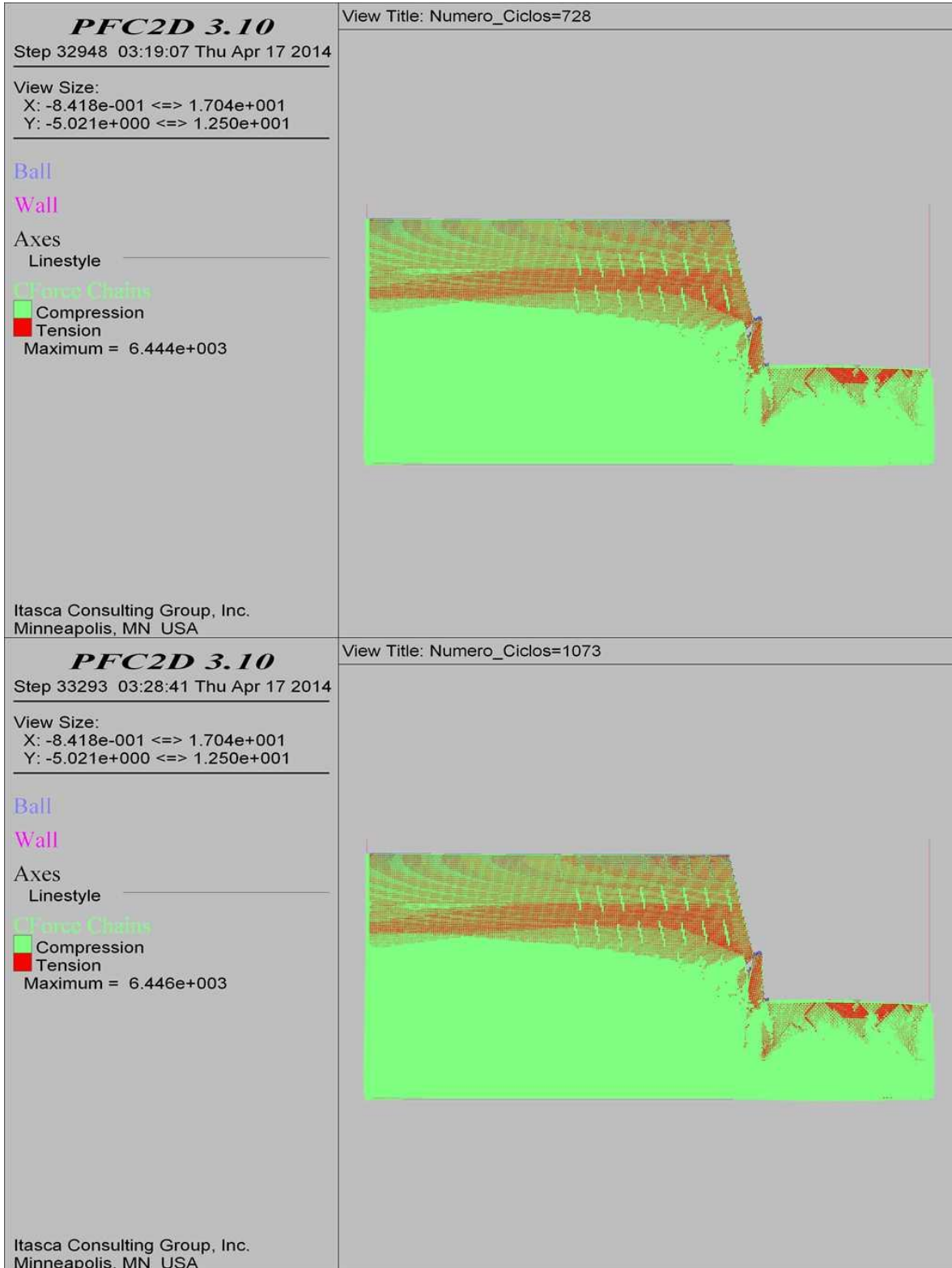
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



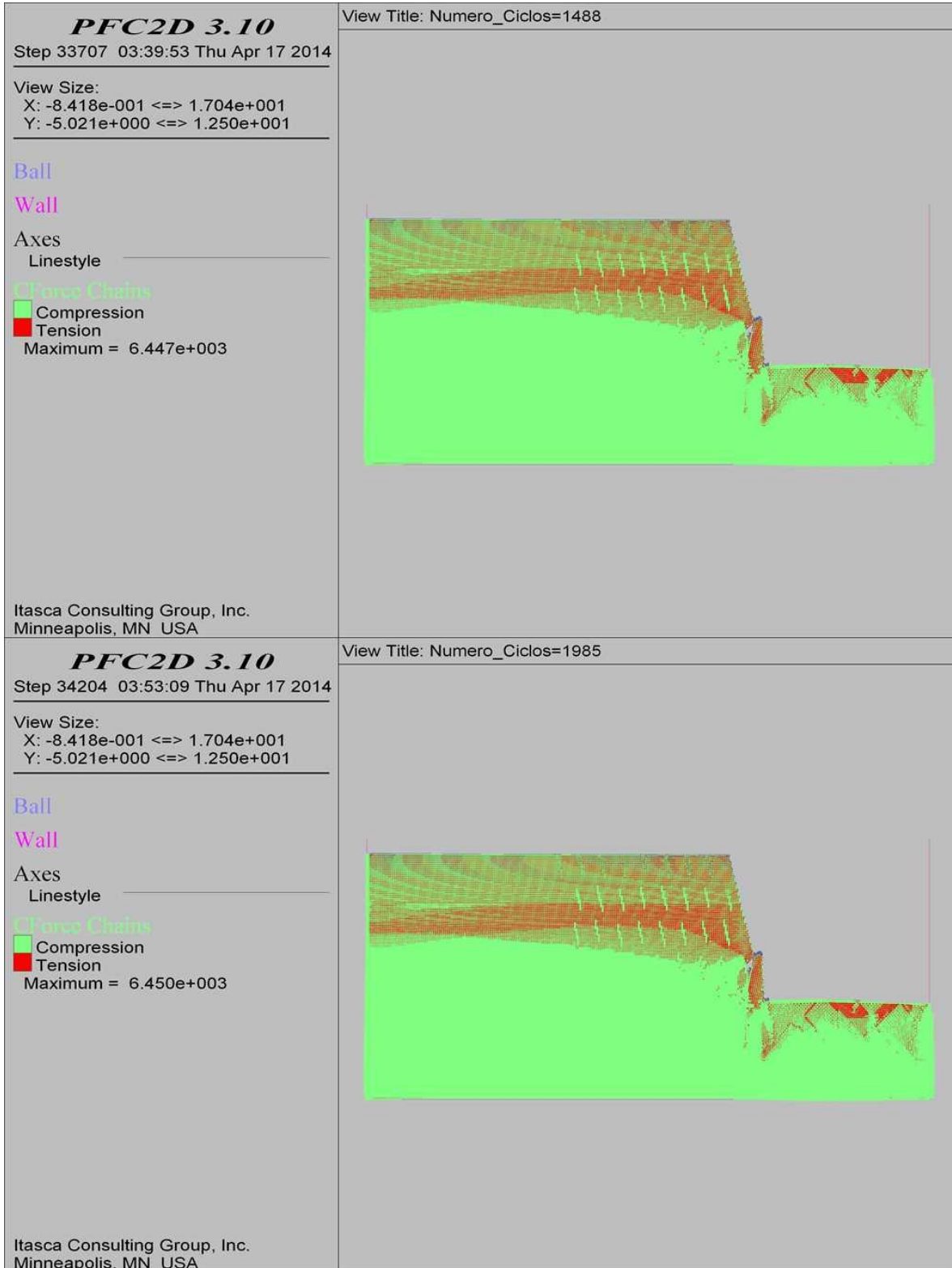
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



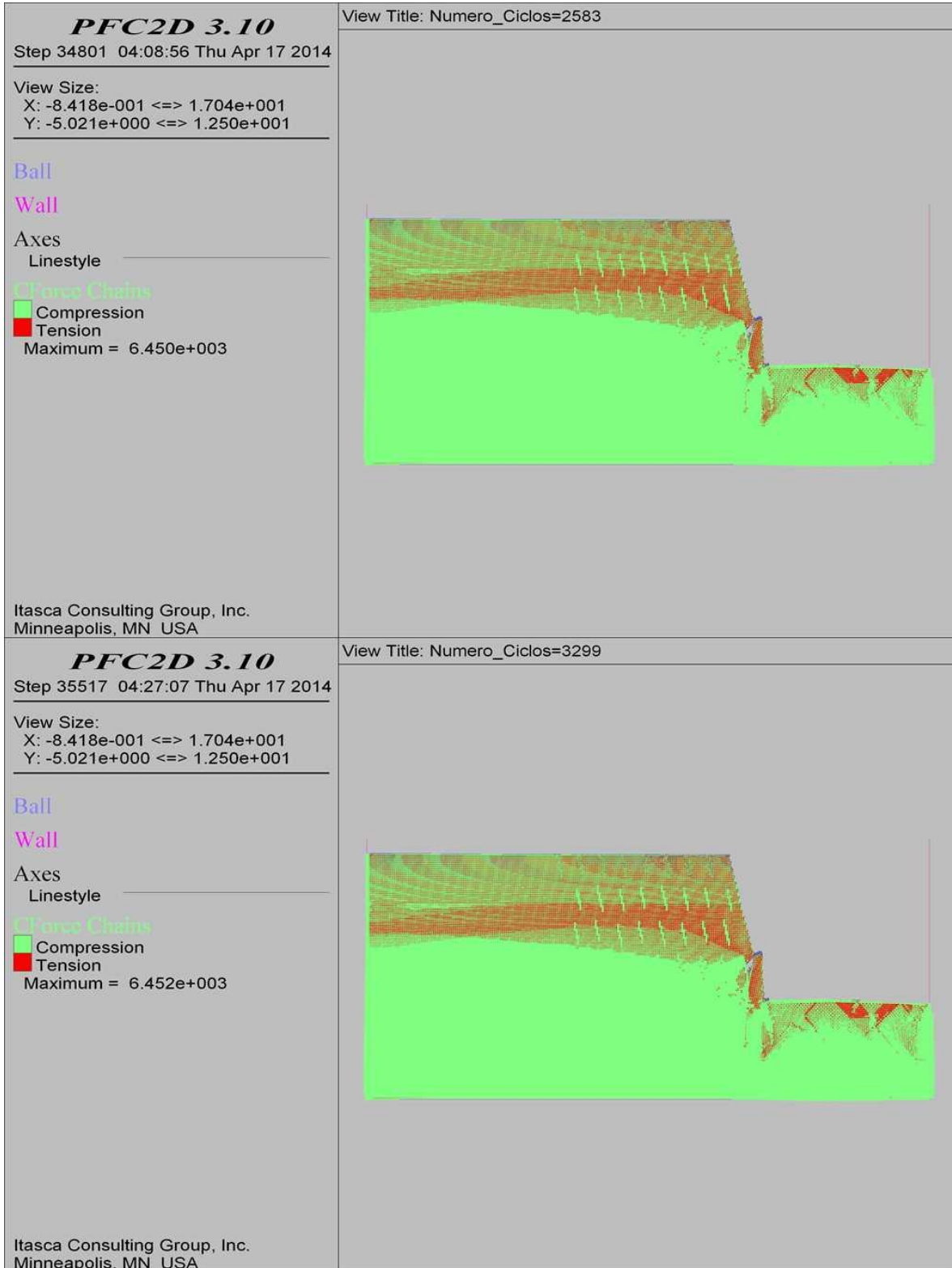
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



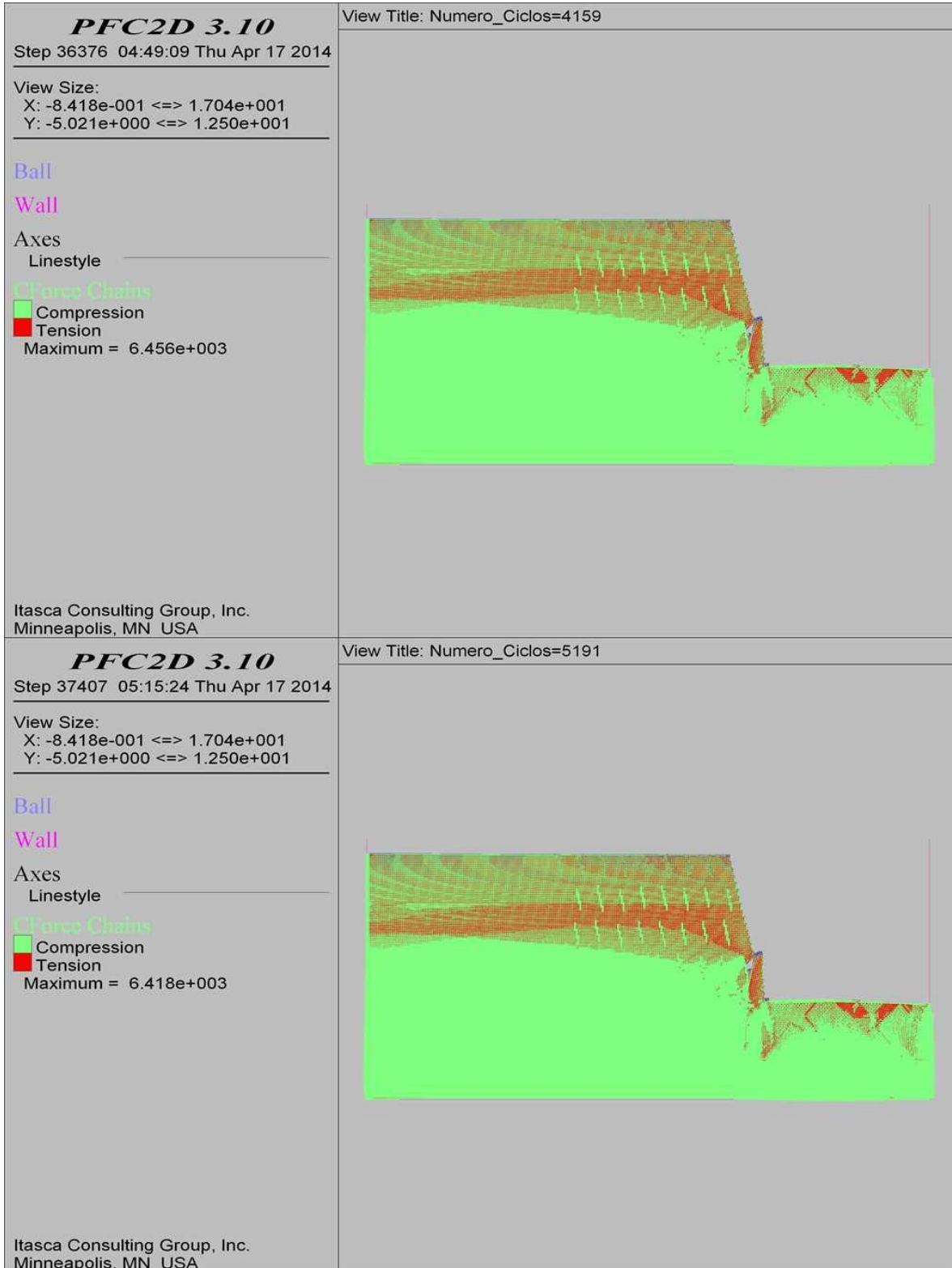
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



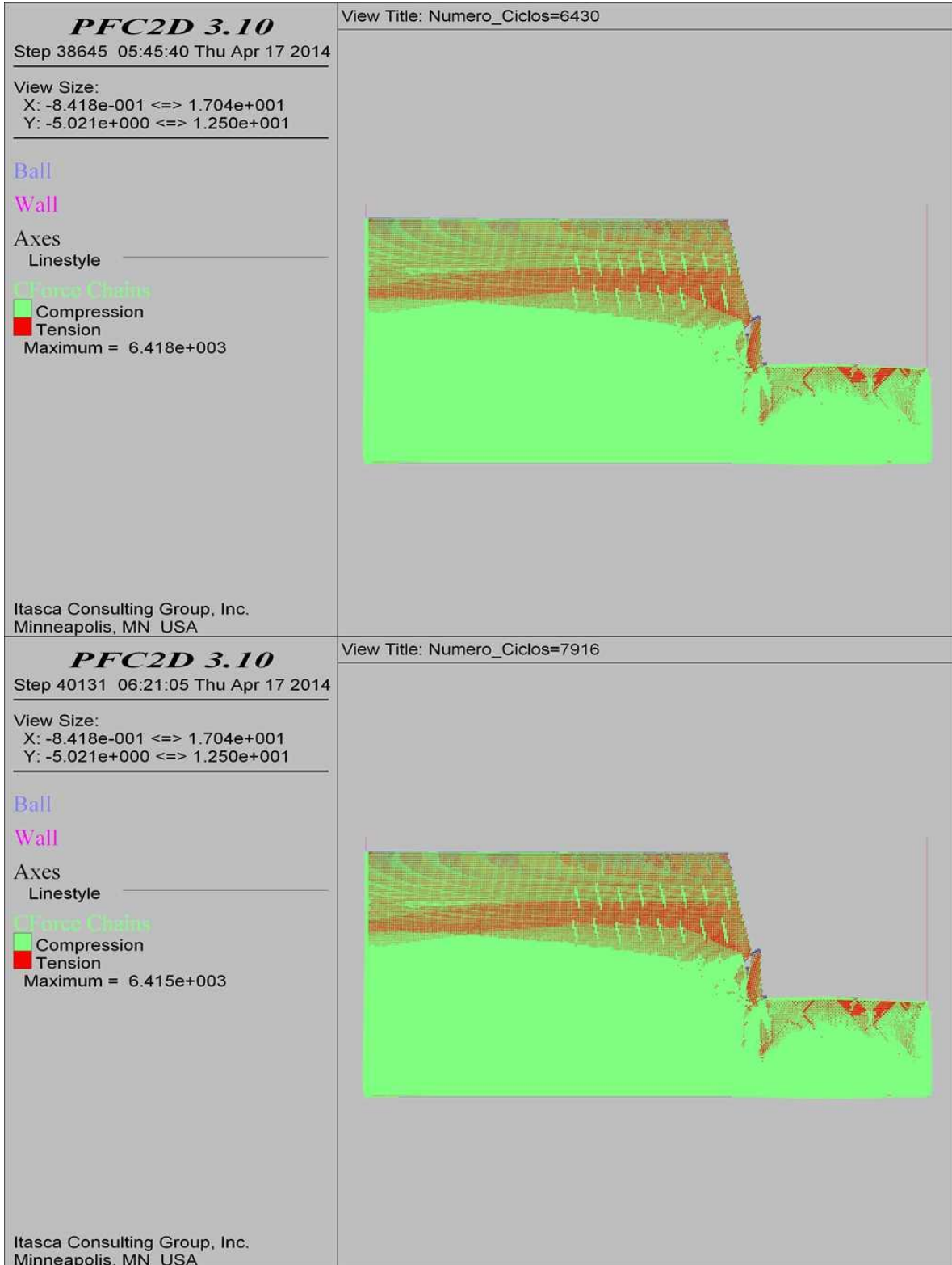
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



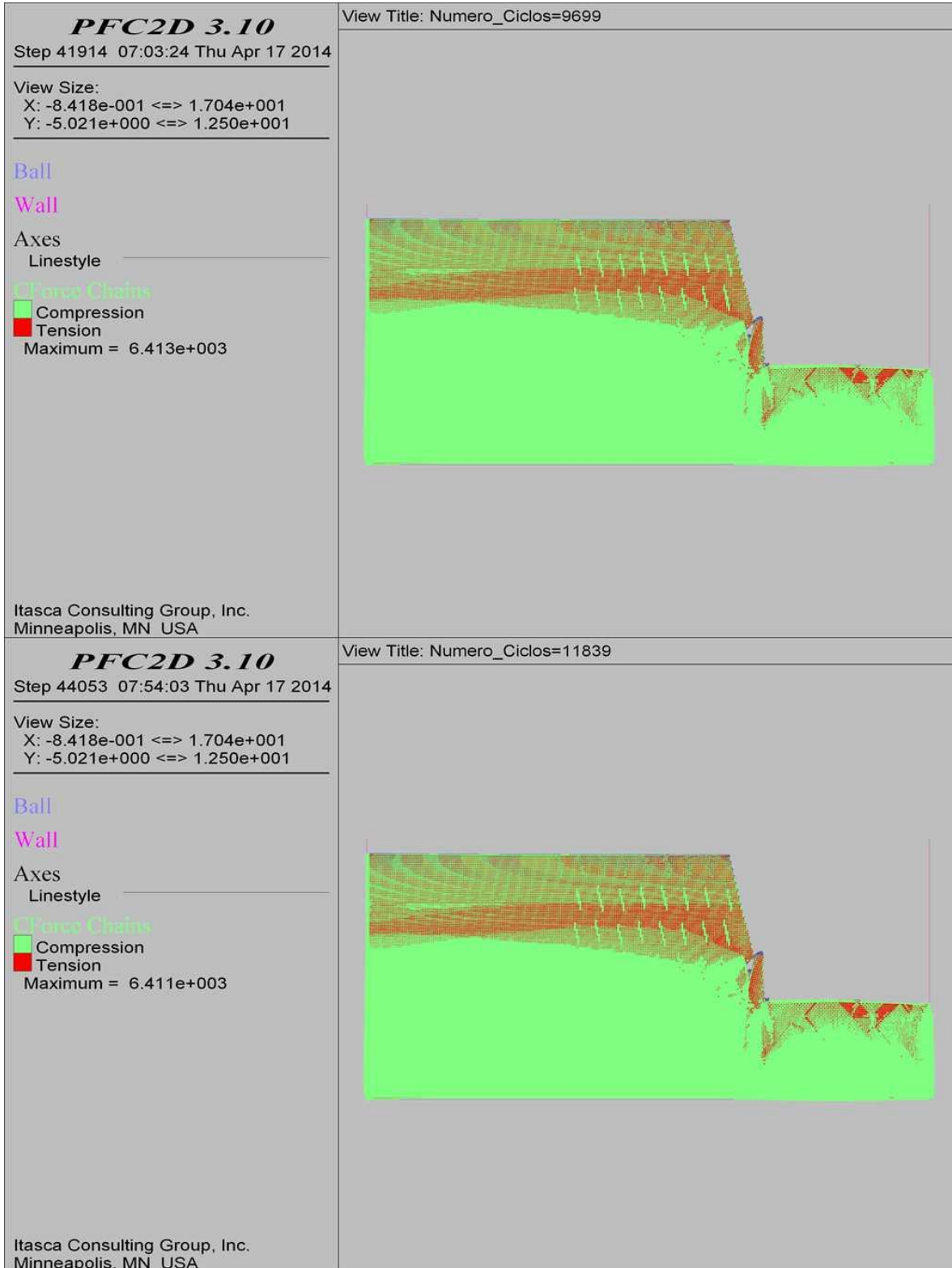
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



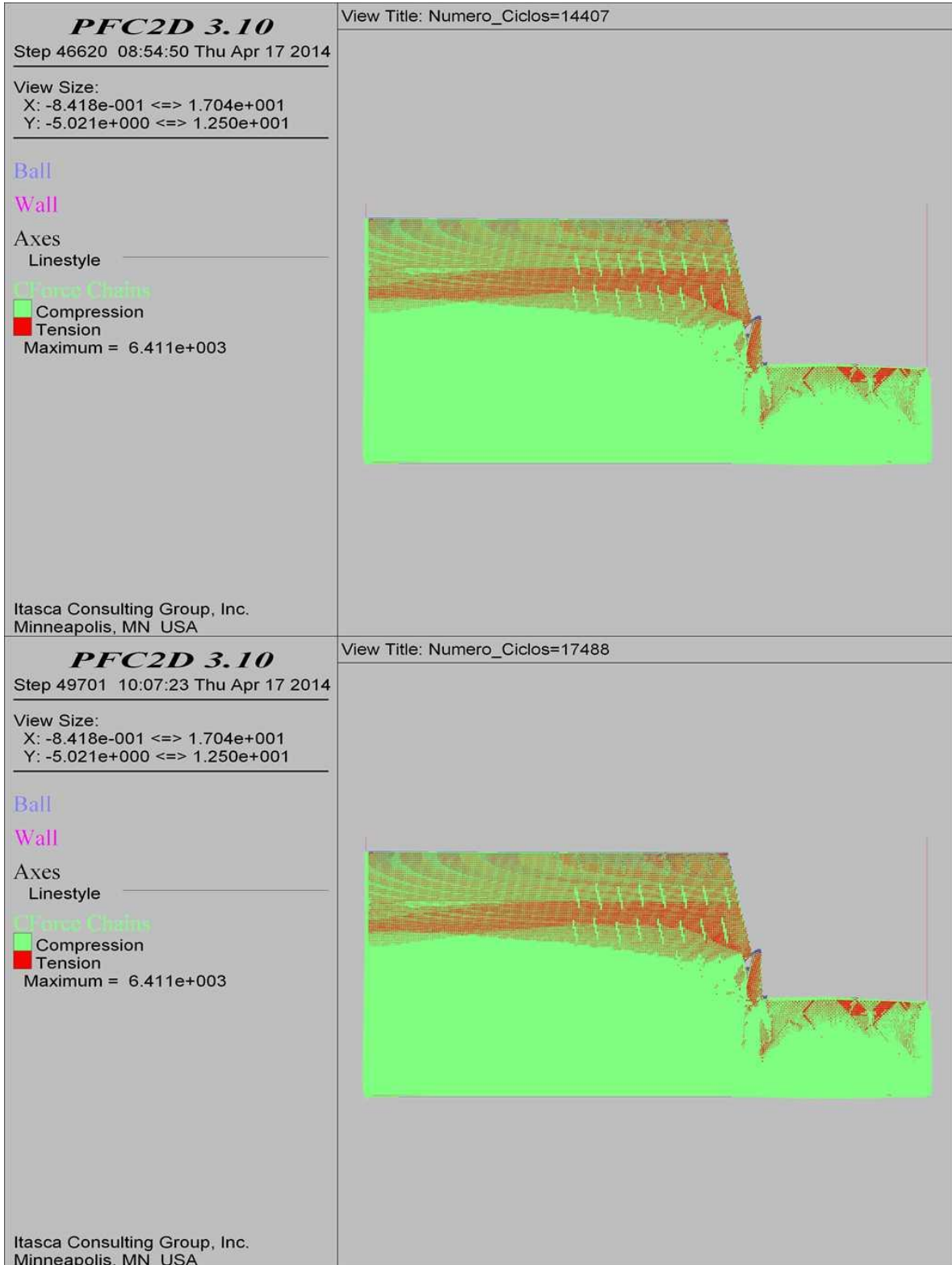
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



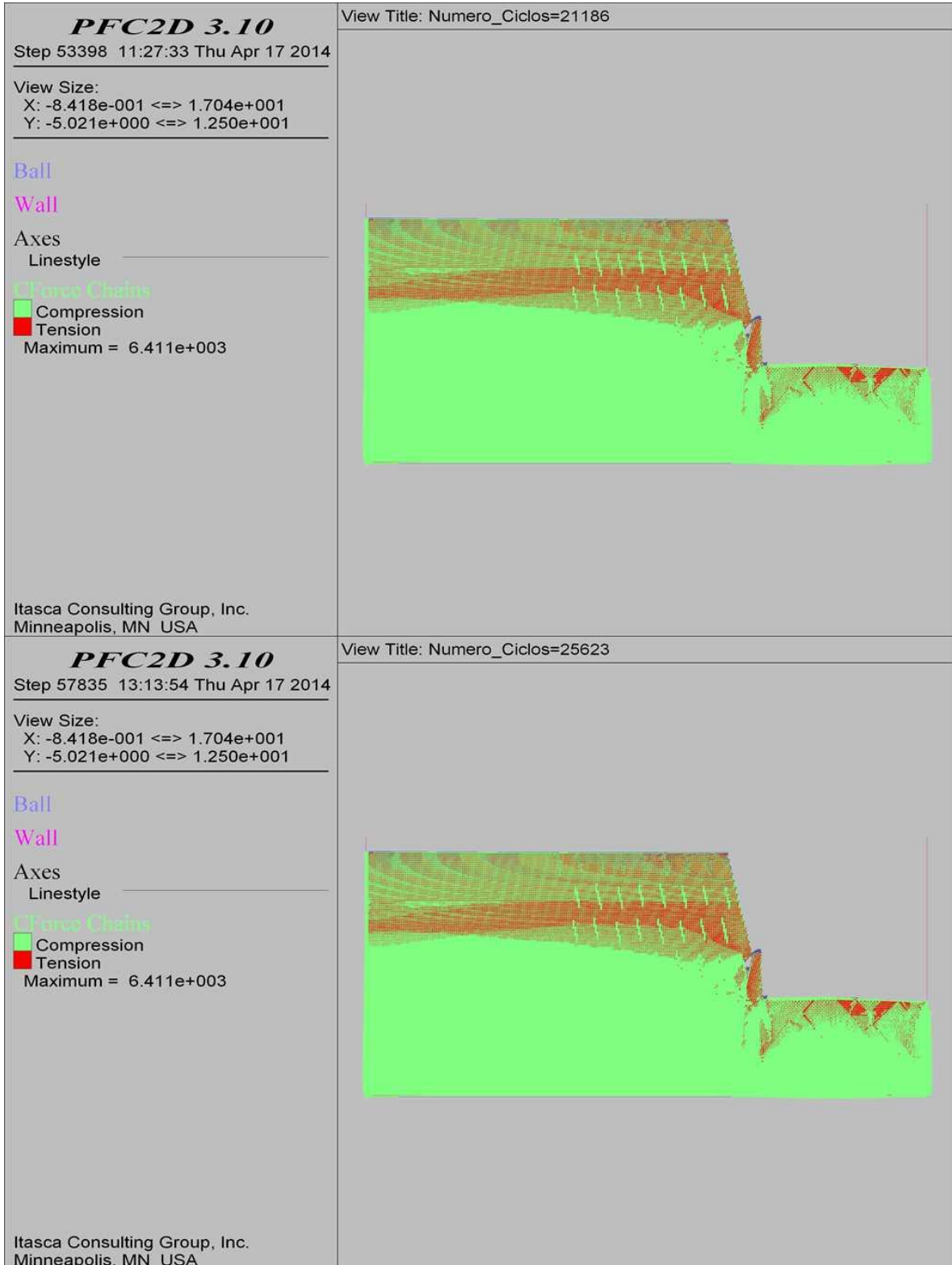
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



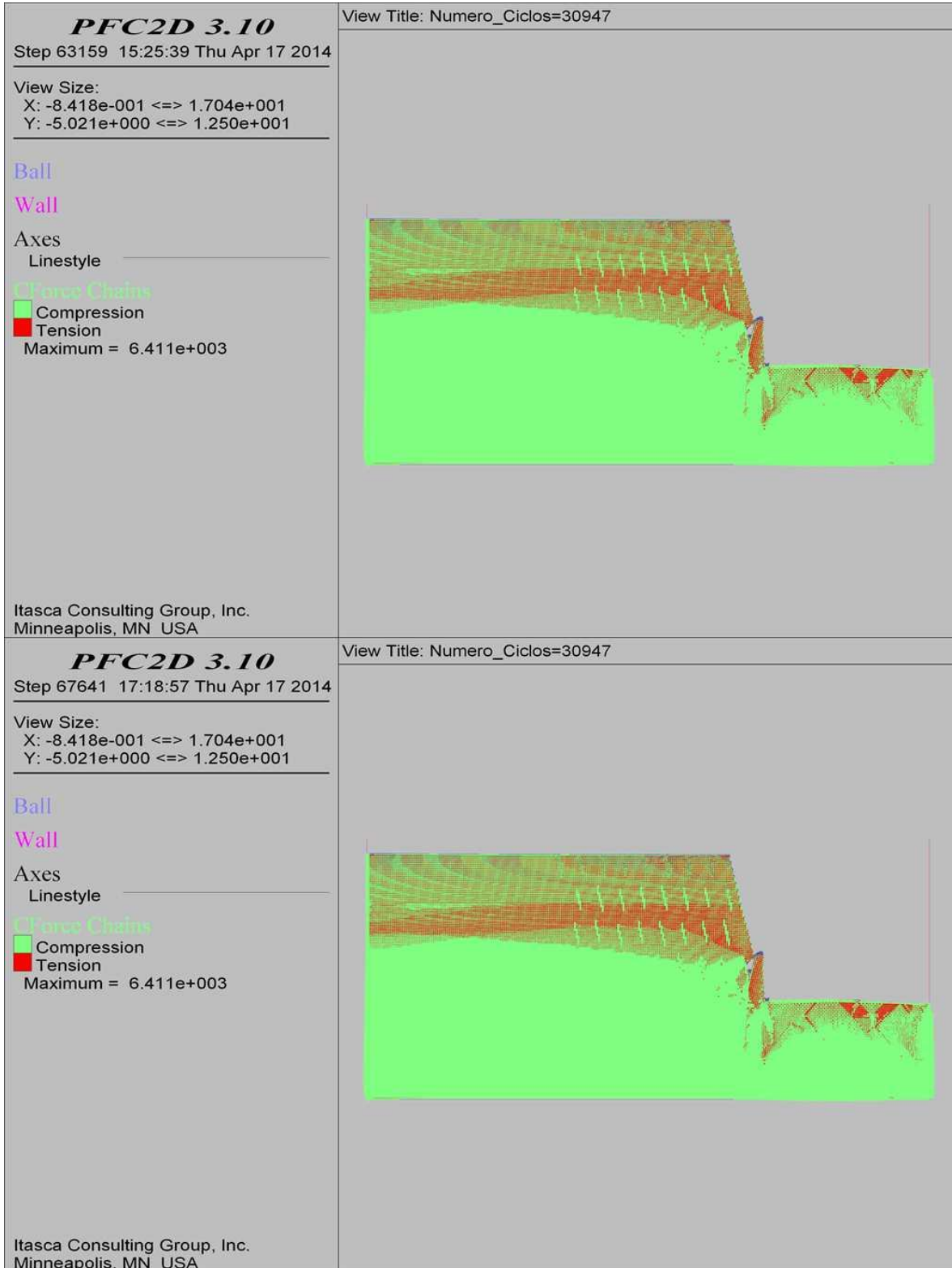
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



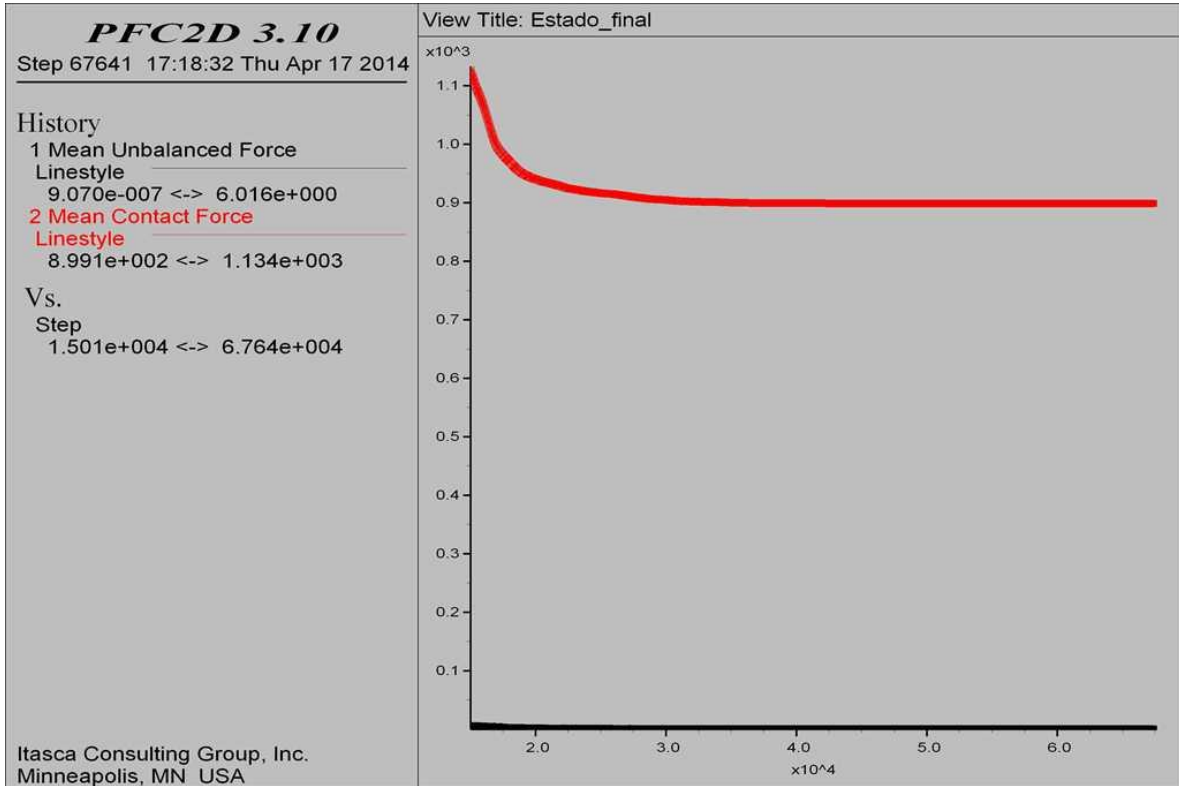
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



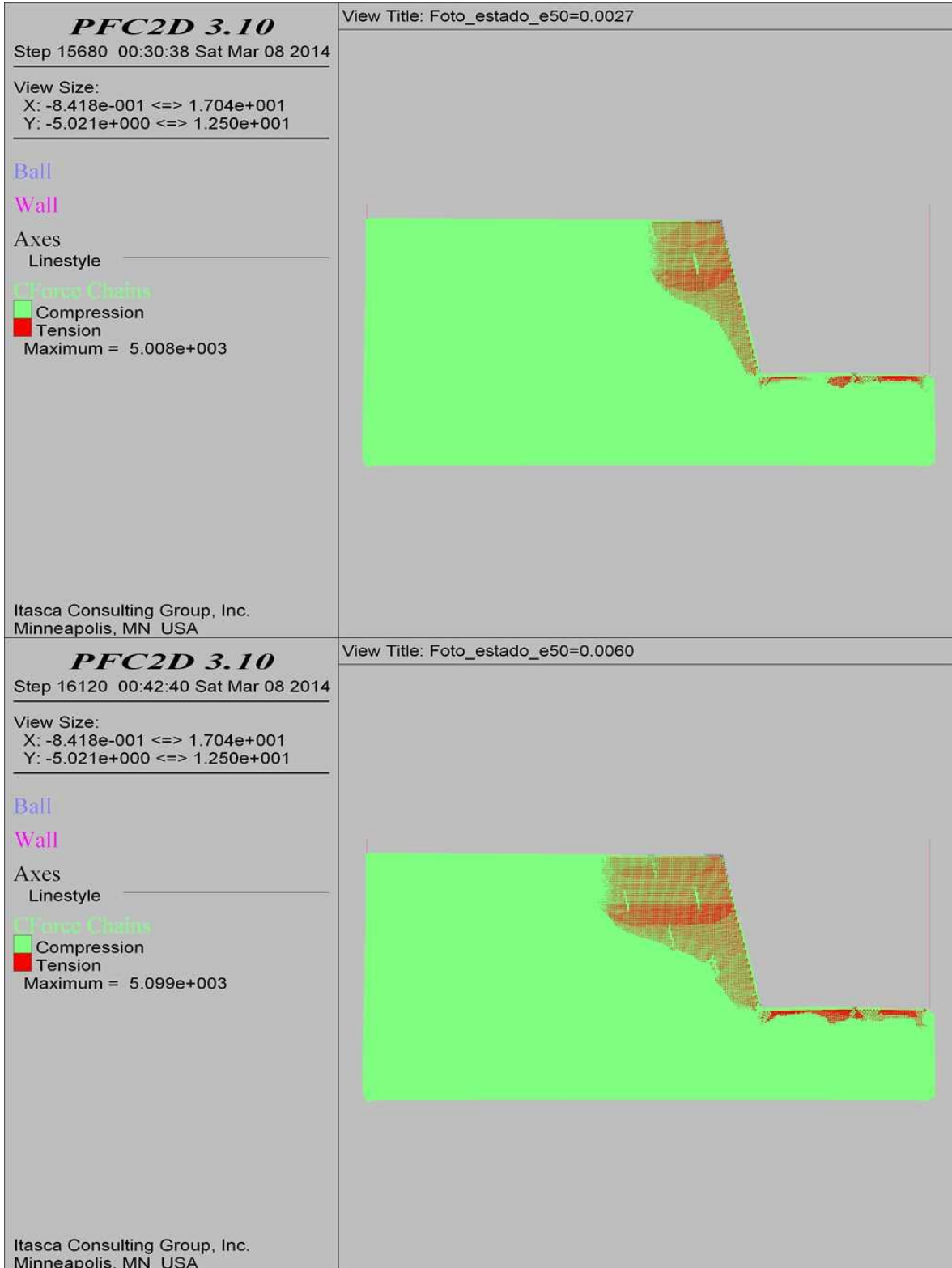
**COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



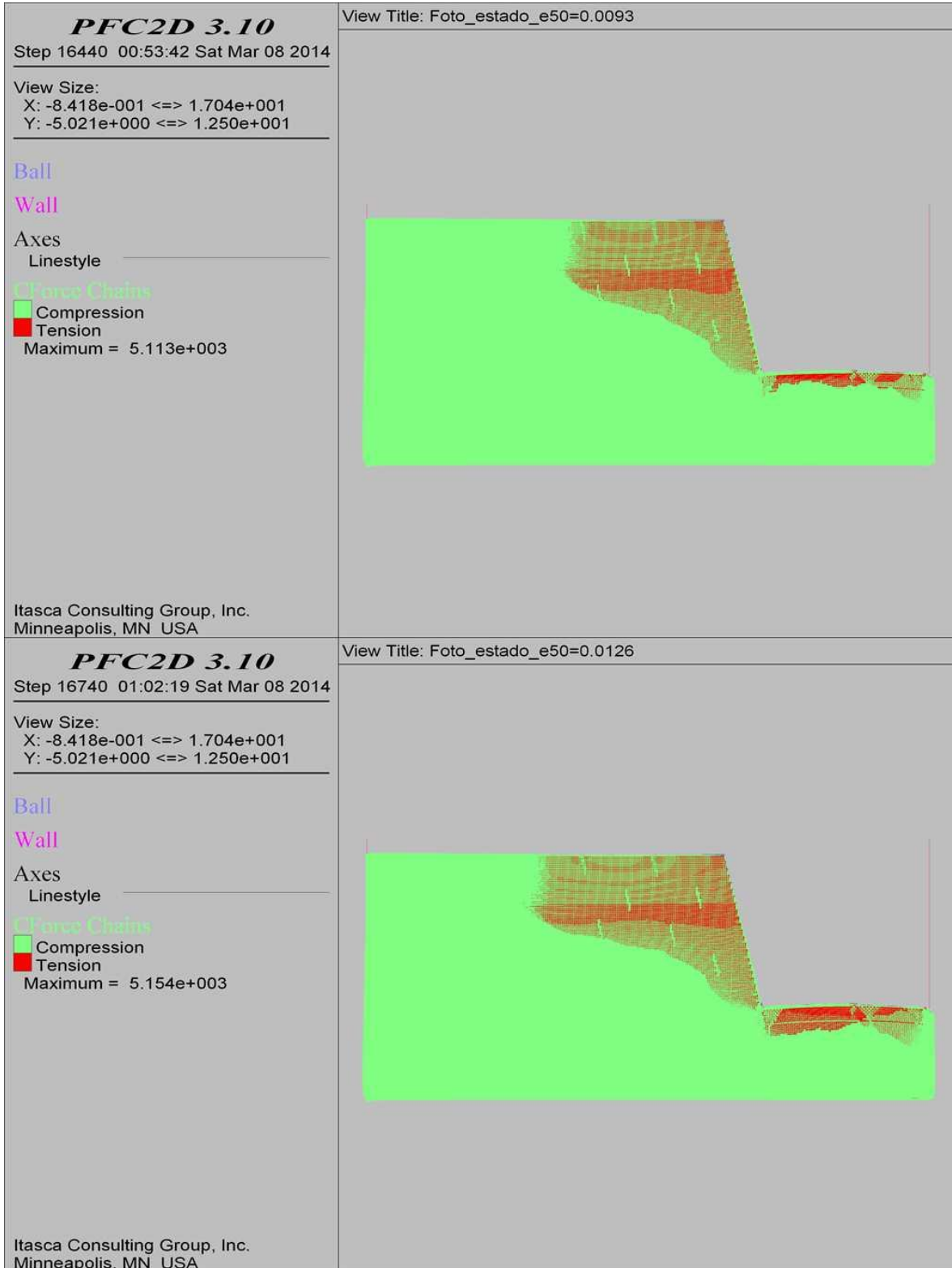
COMBINACIÓN 7: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



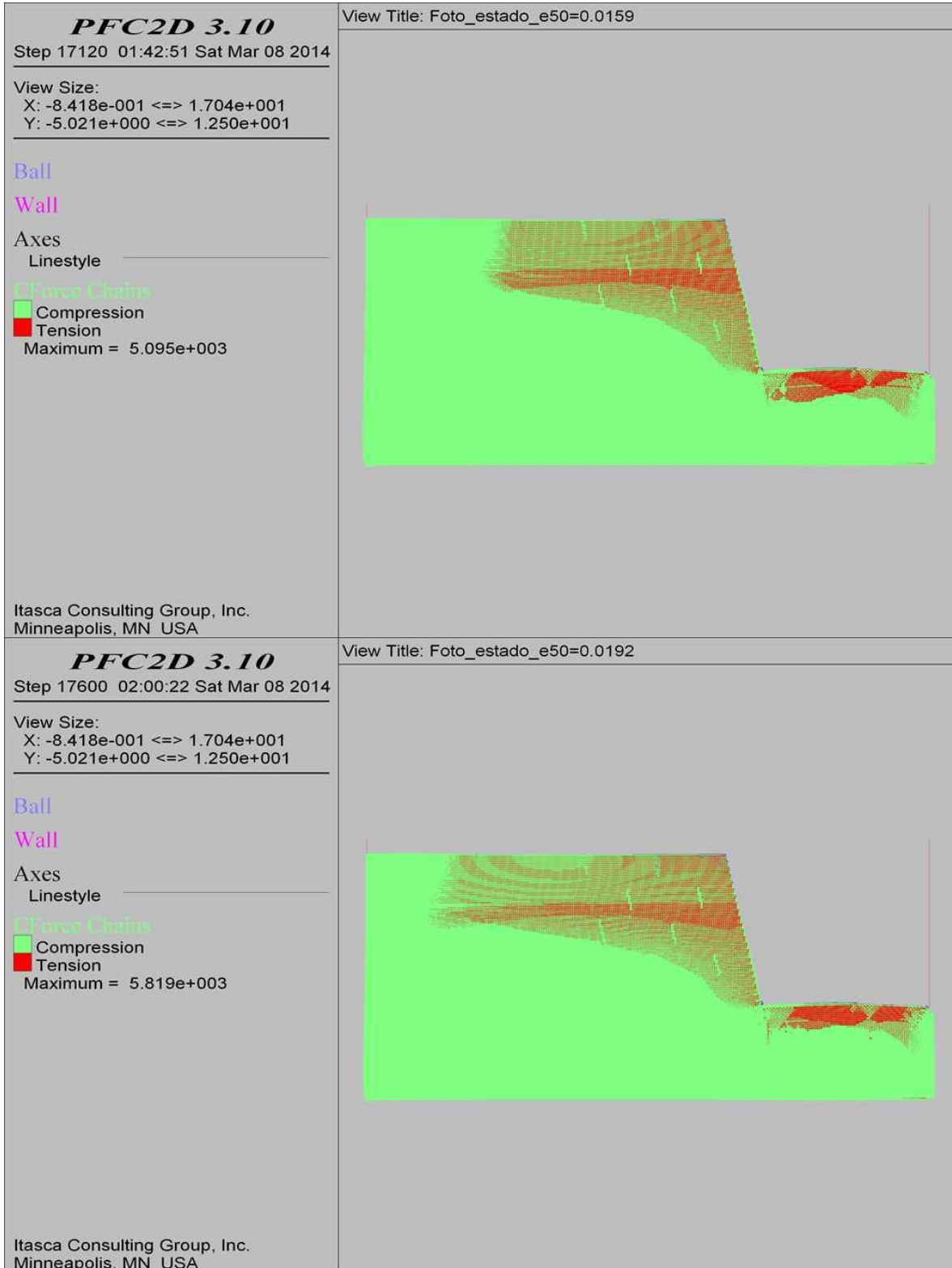
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



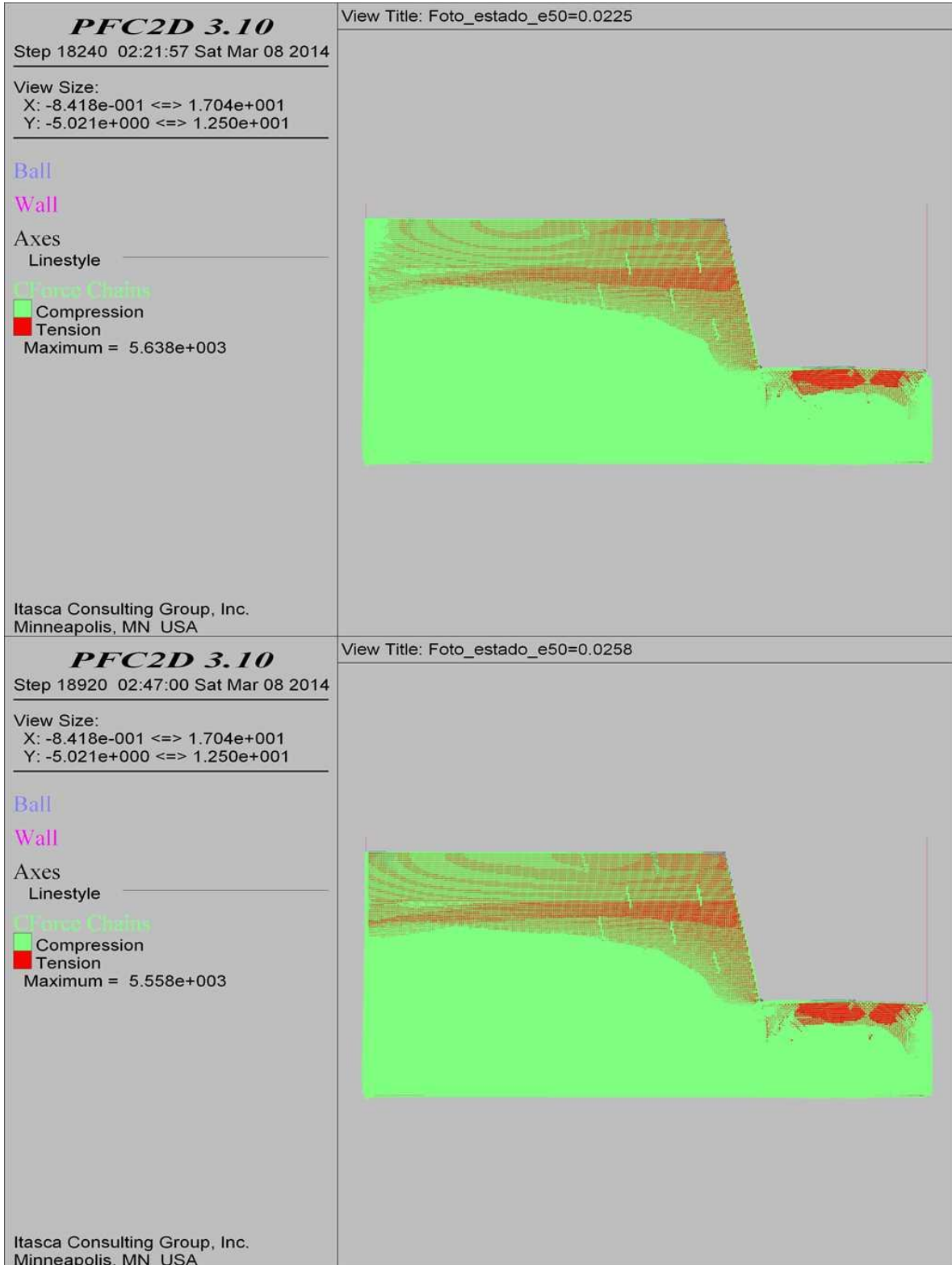
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



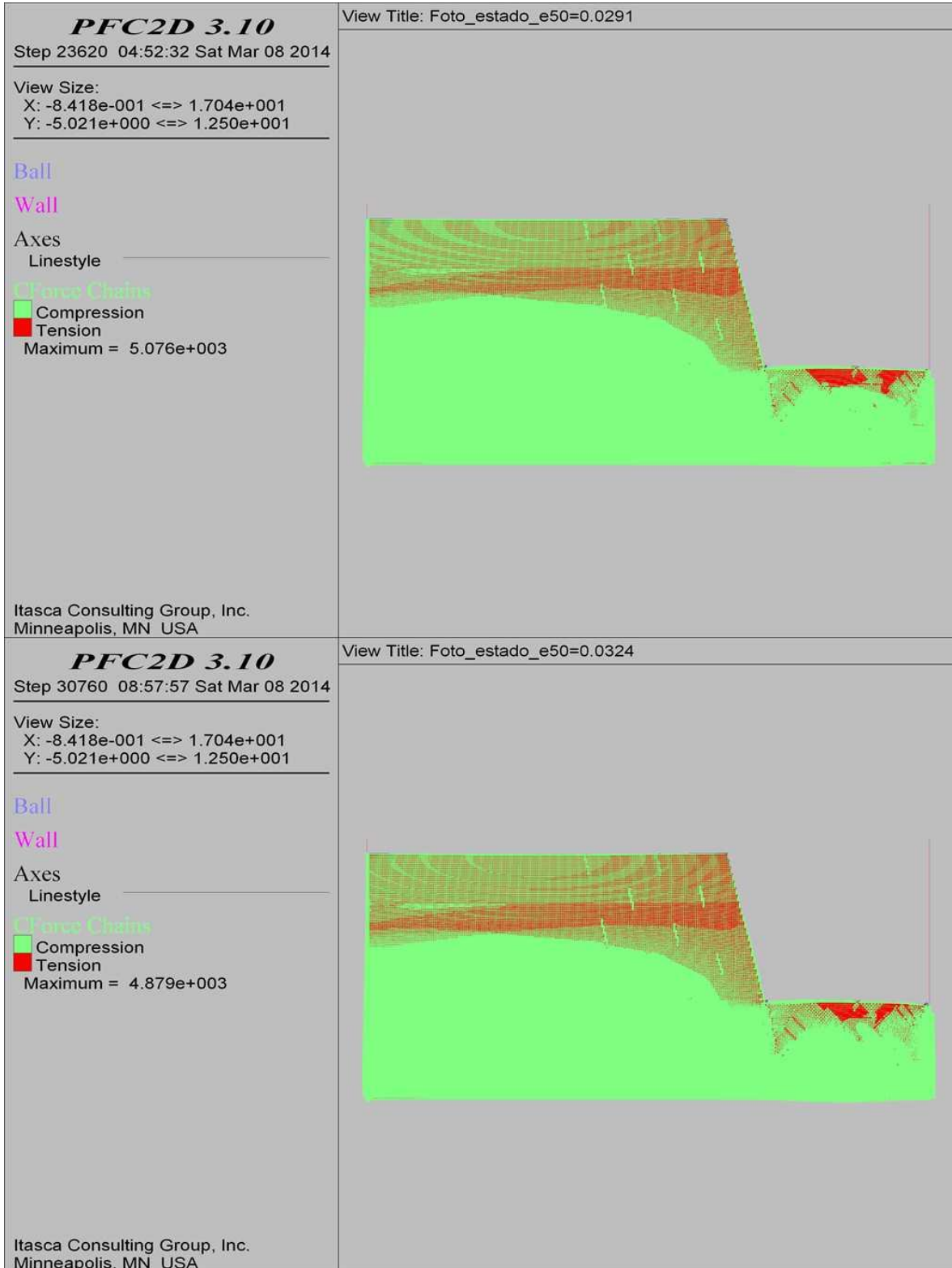
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



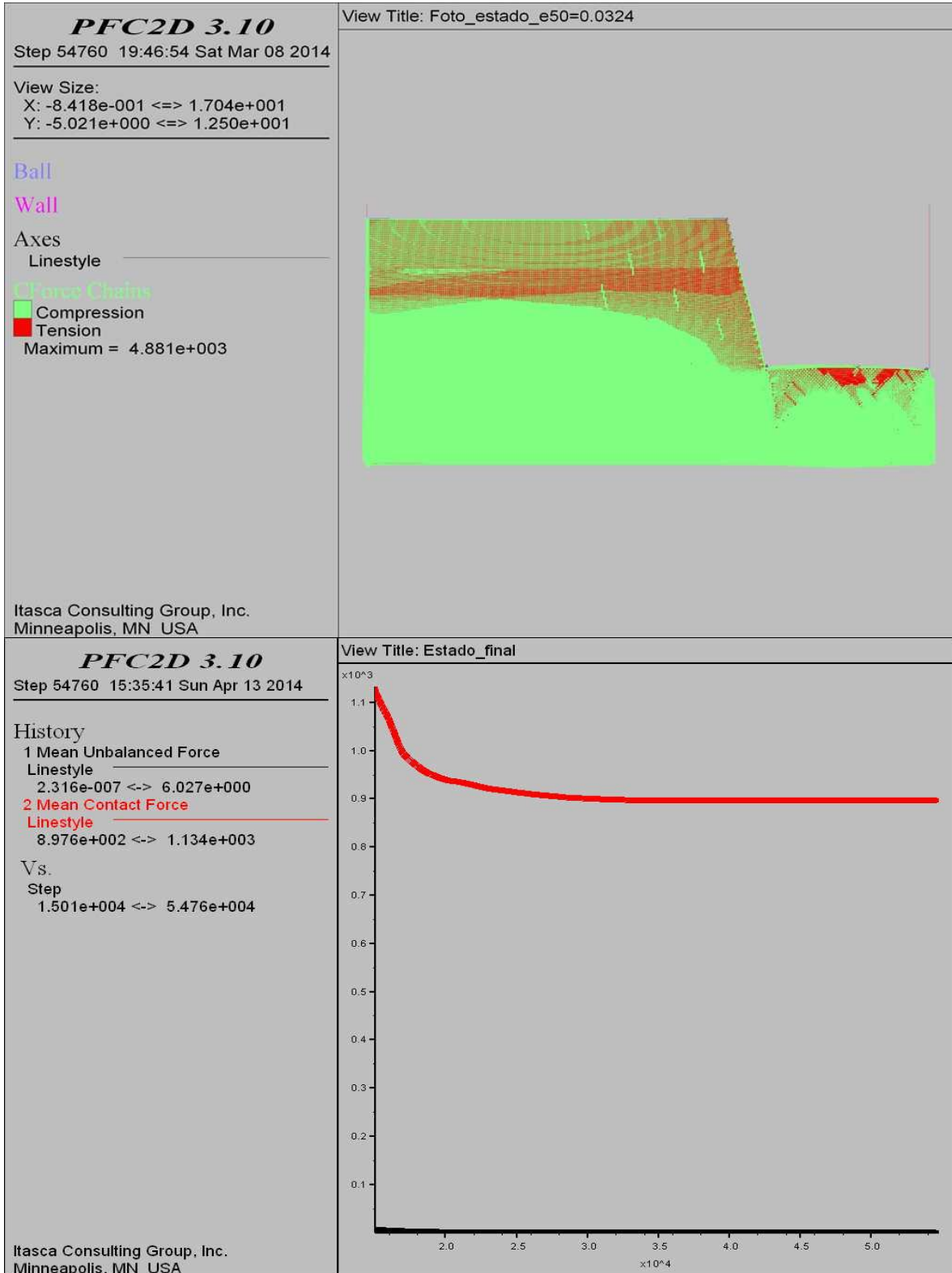
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



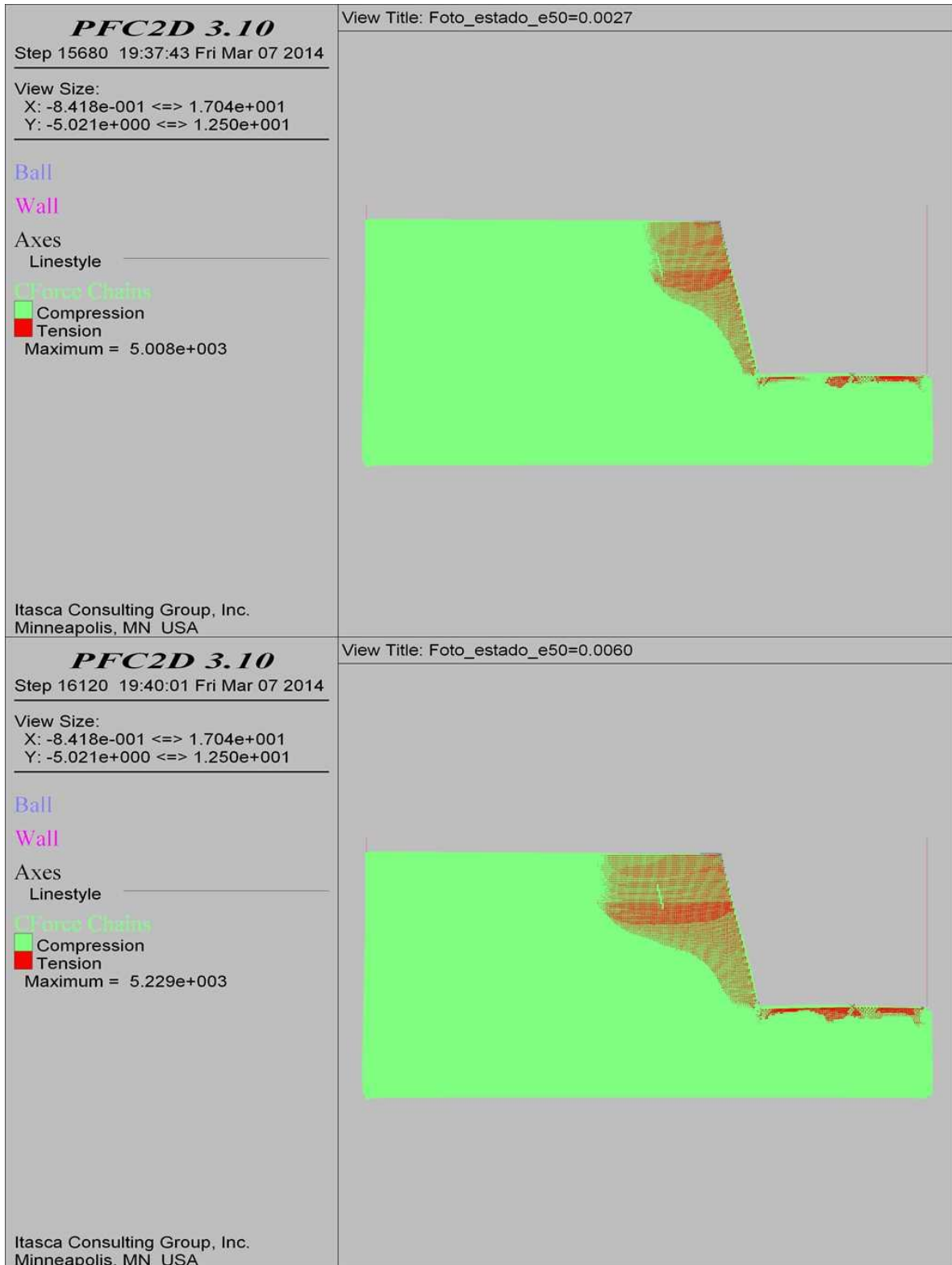
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



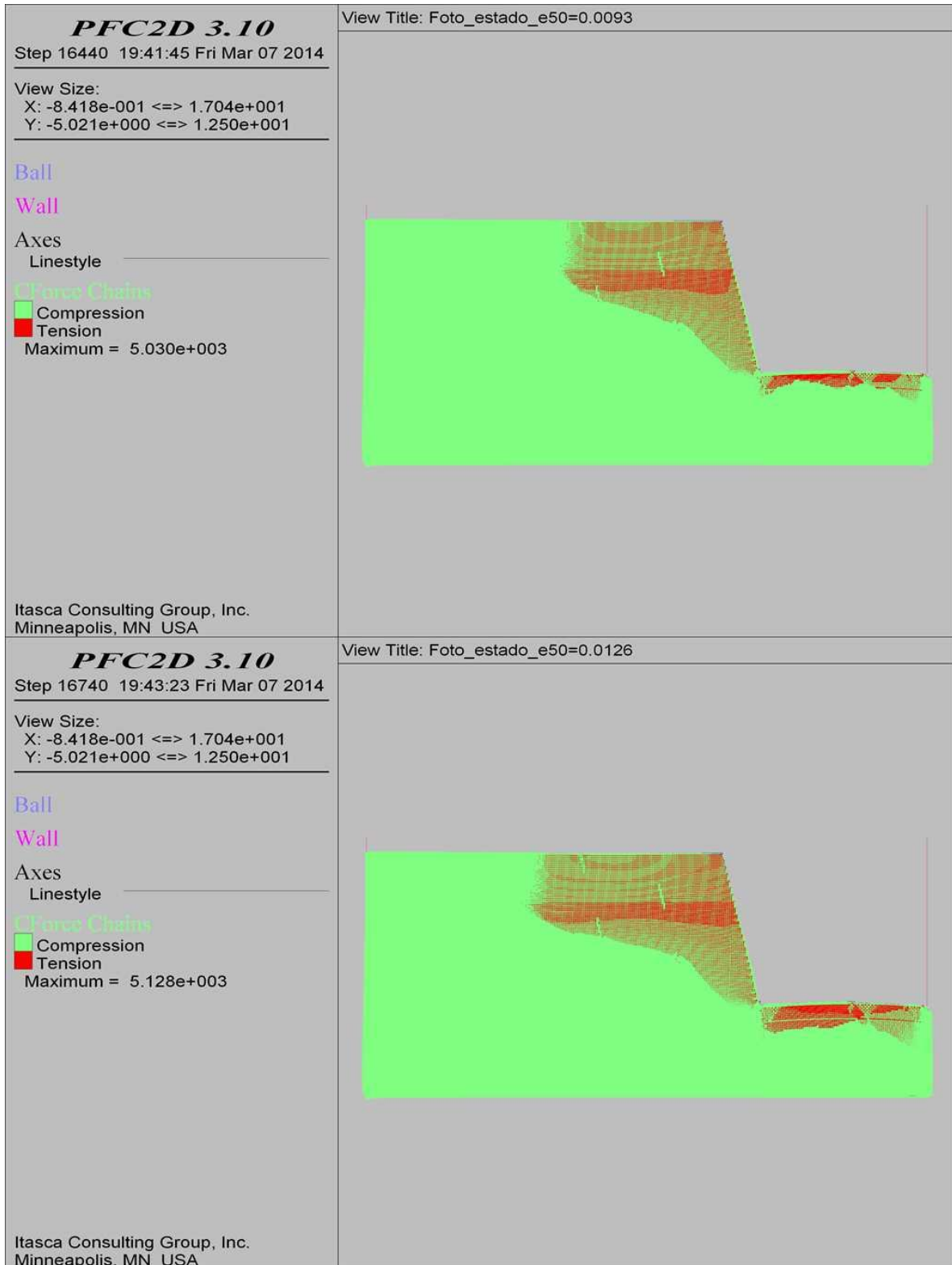
**COMBINACIÓN 8: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD,
SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.**



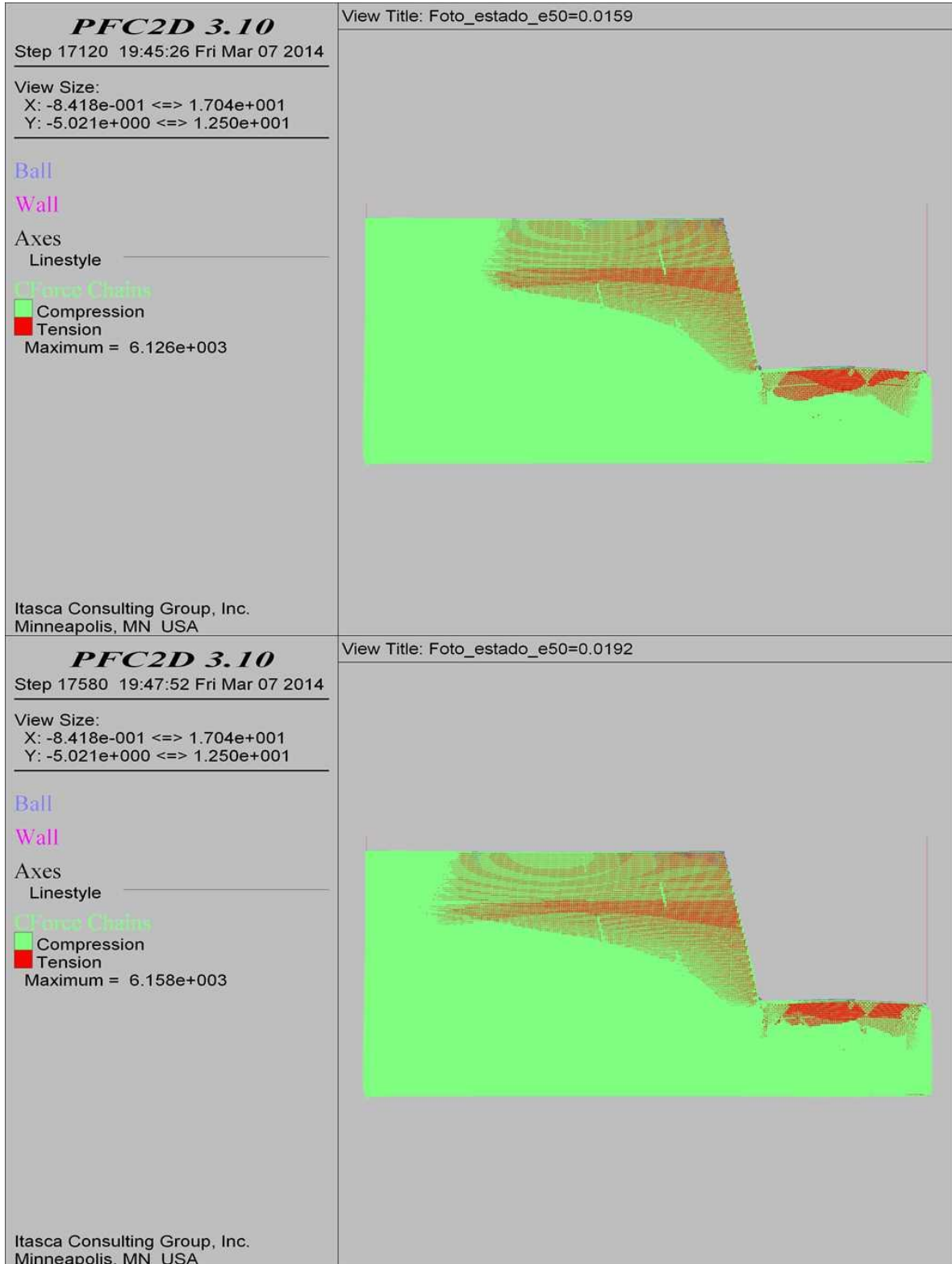
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



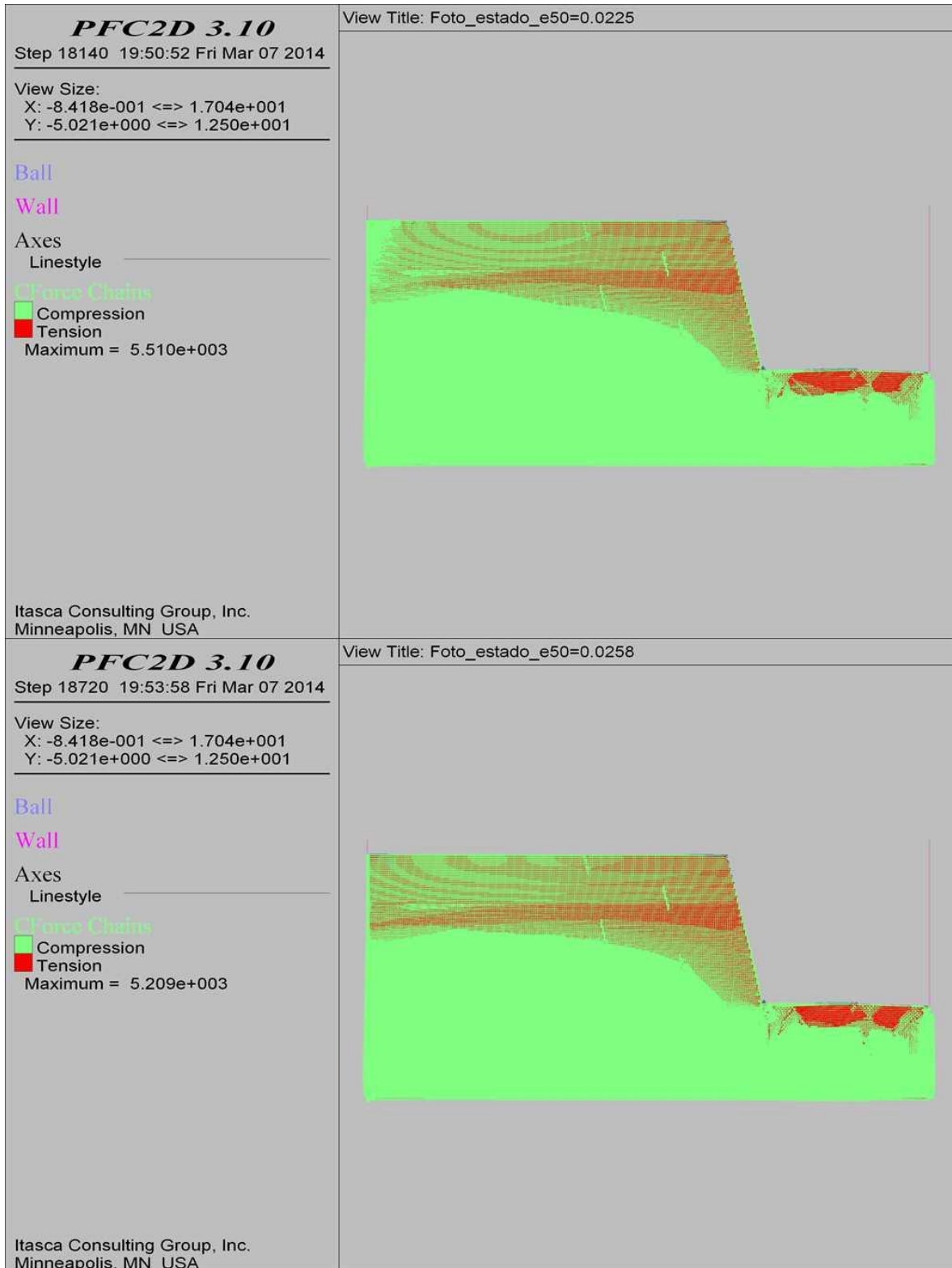
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



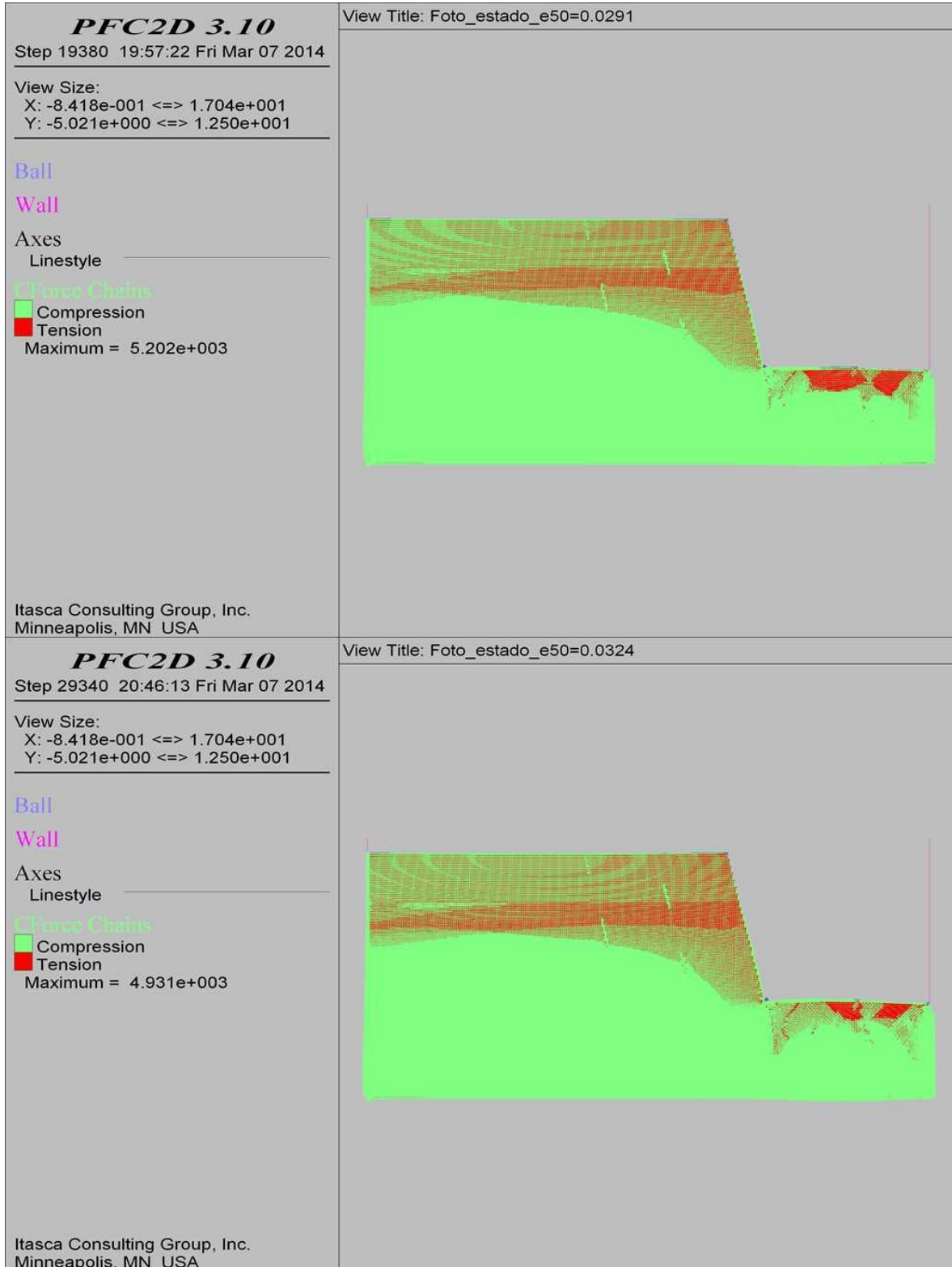
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



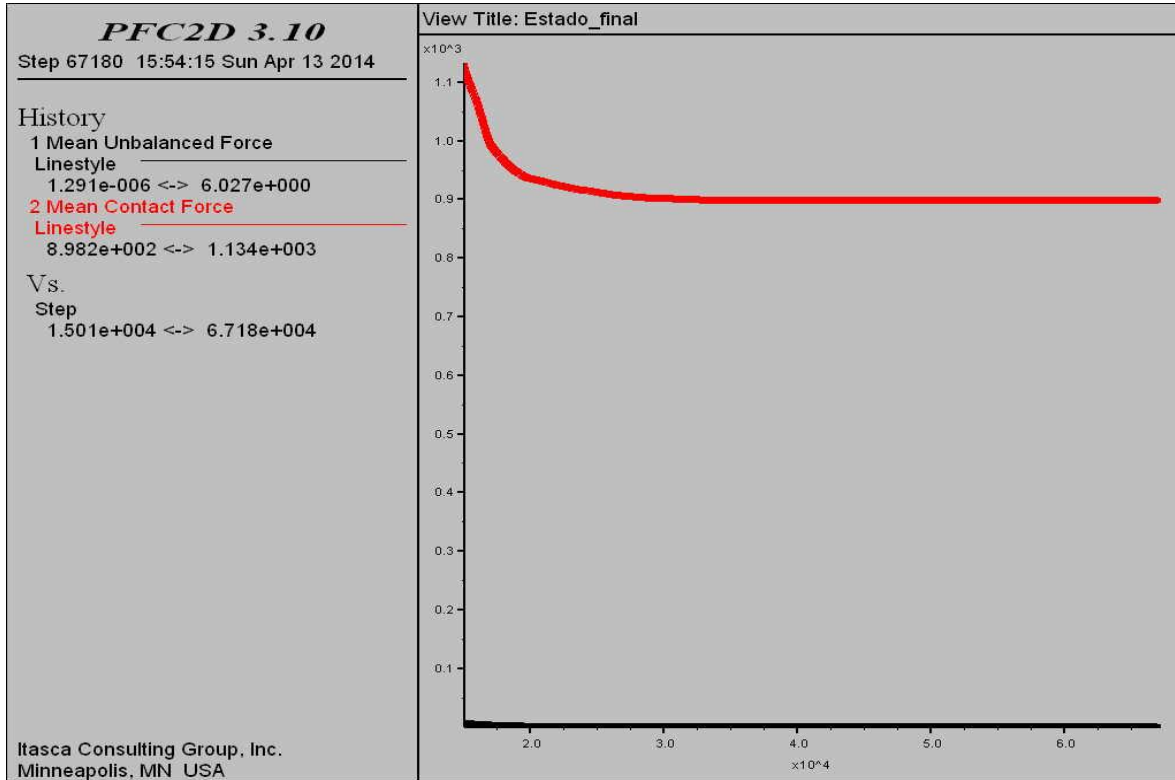
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



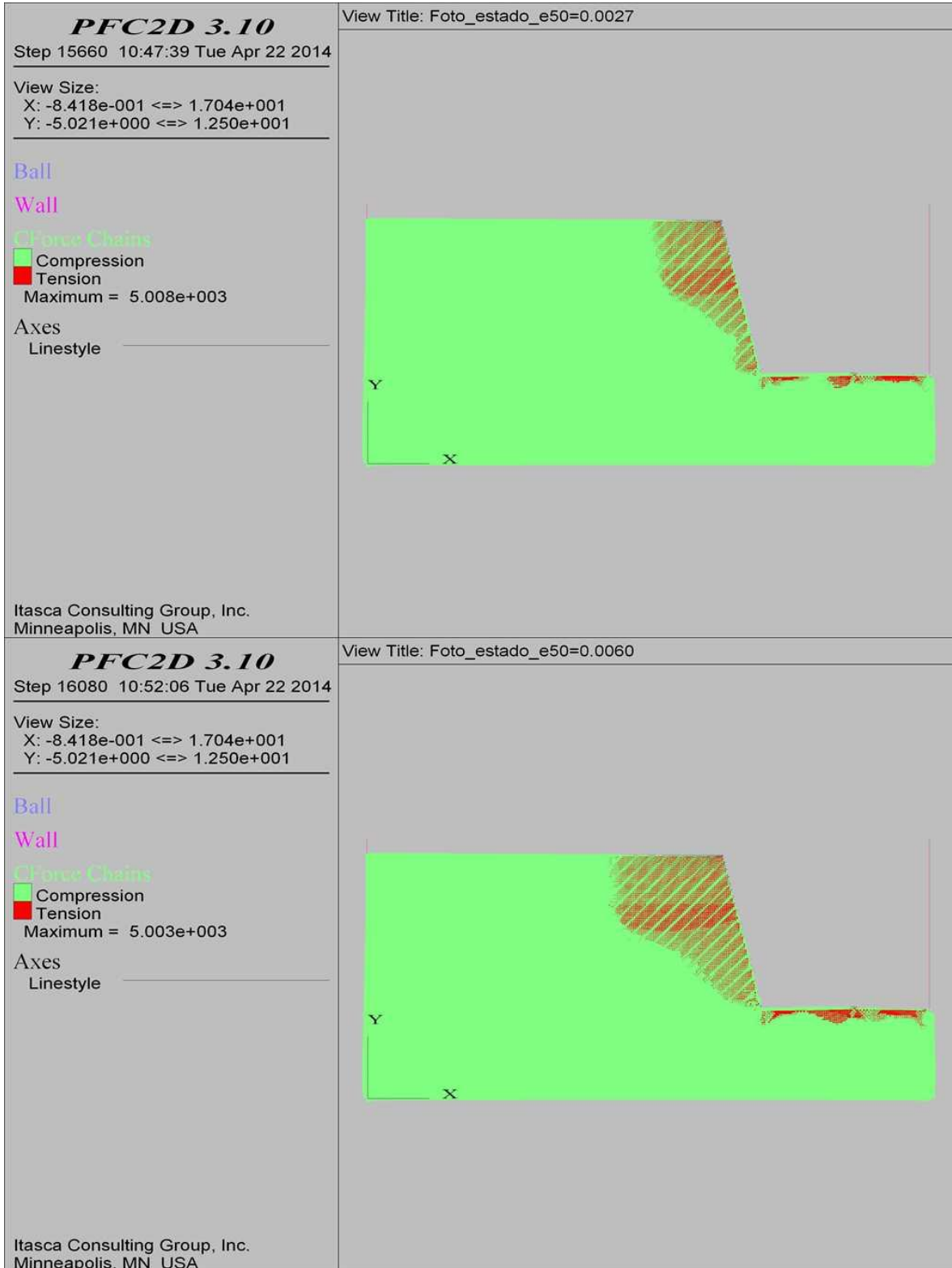
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



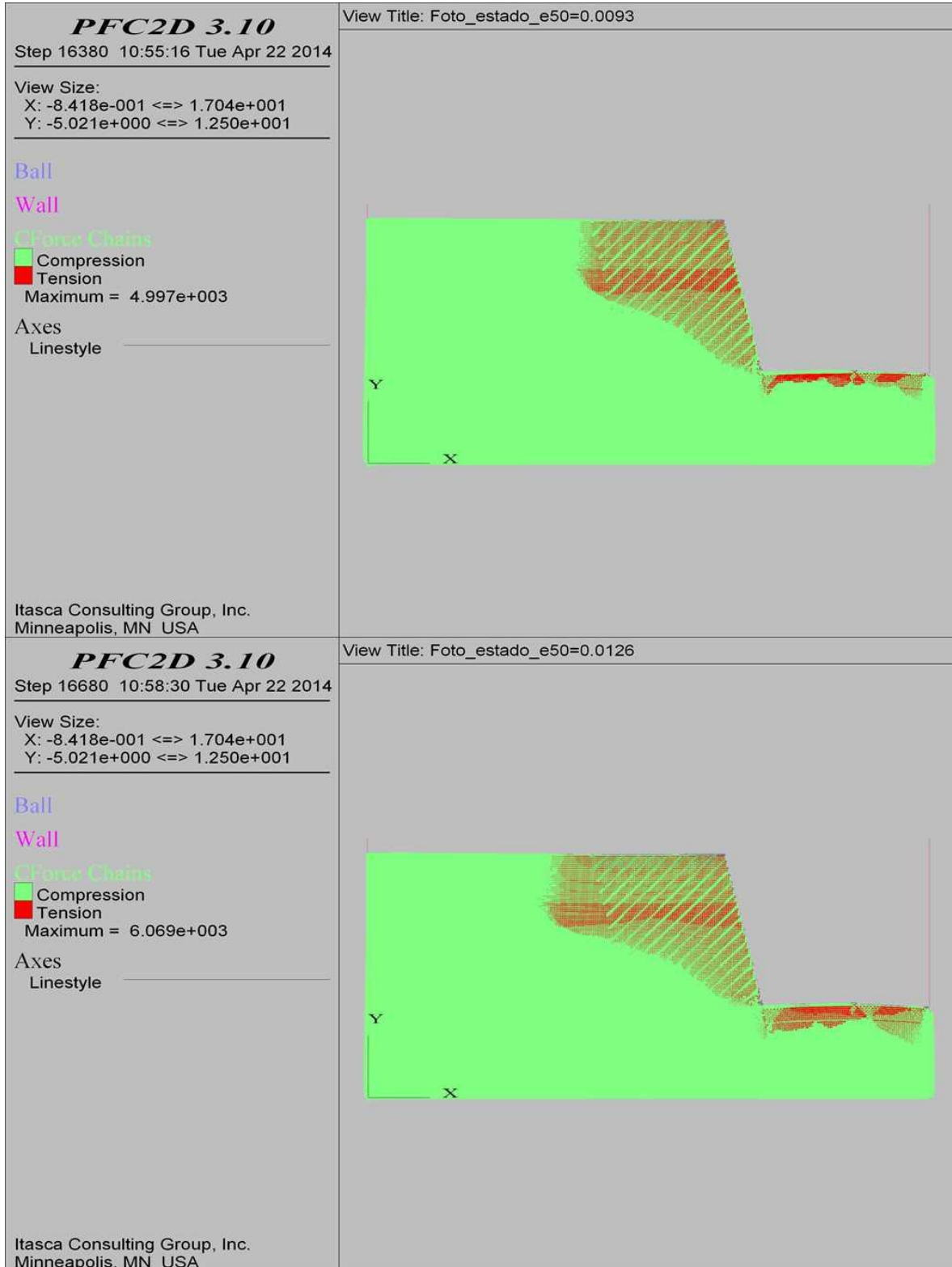
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



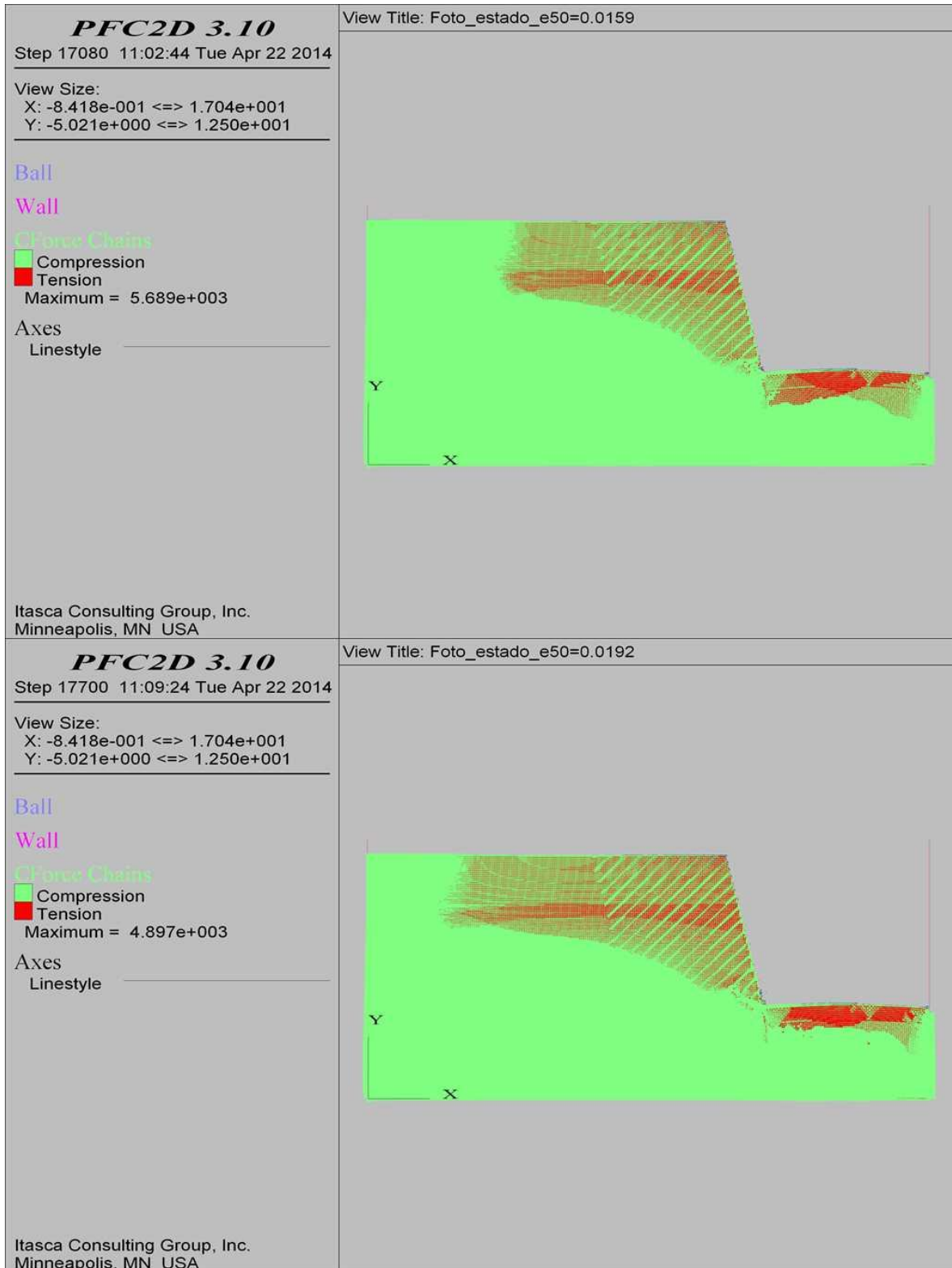
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



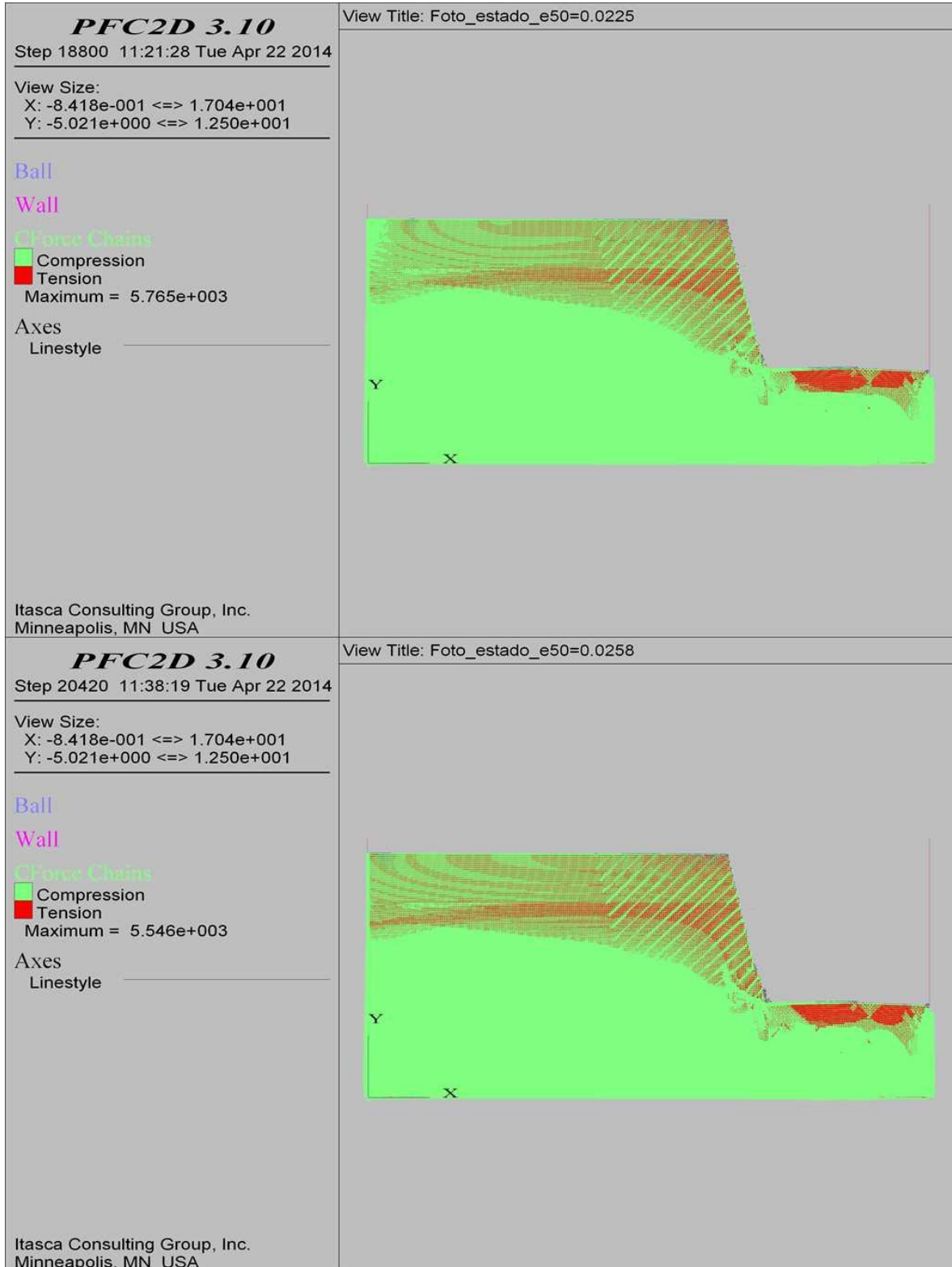
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



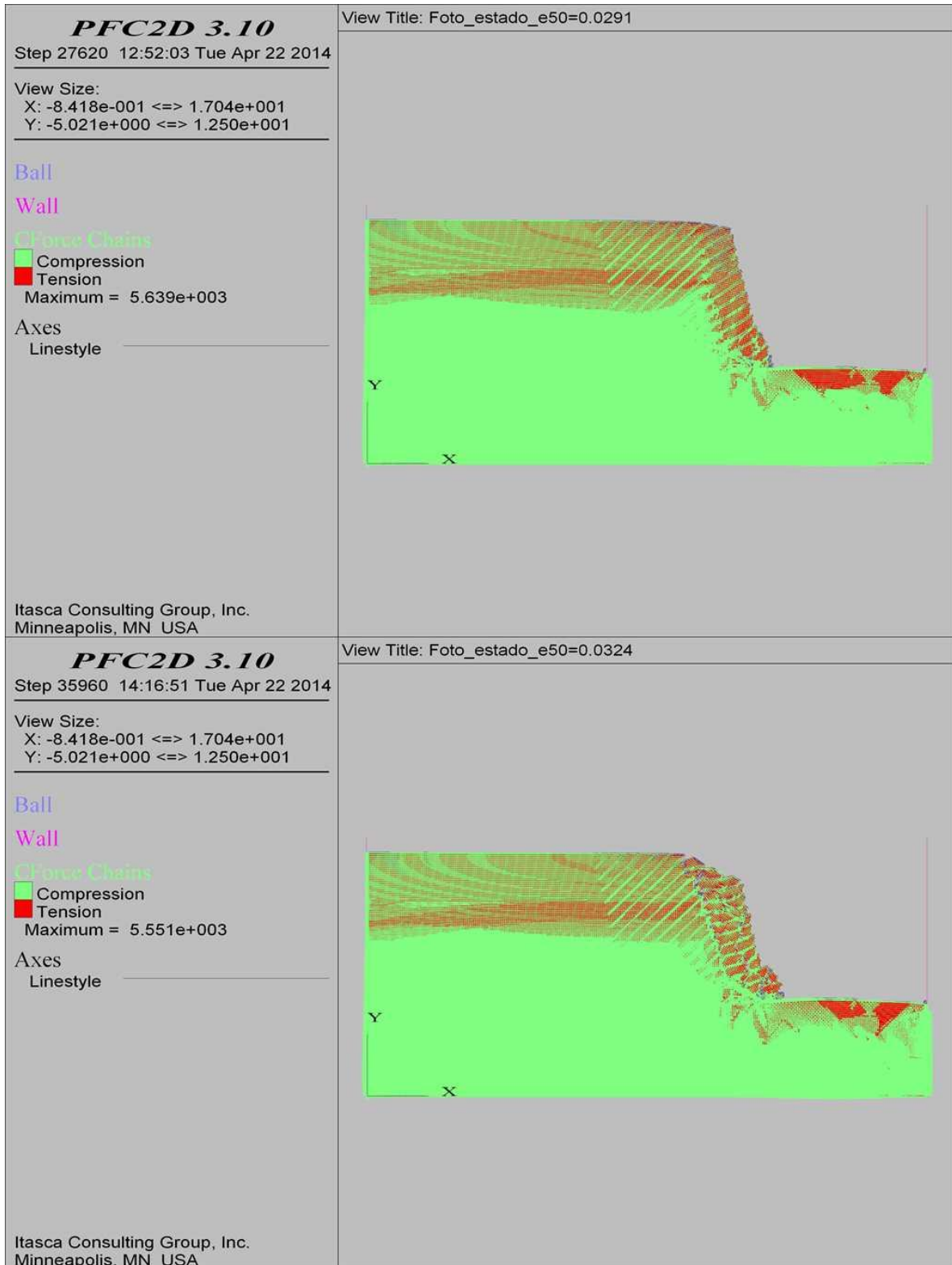
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



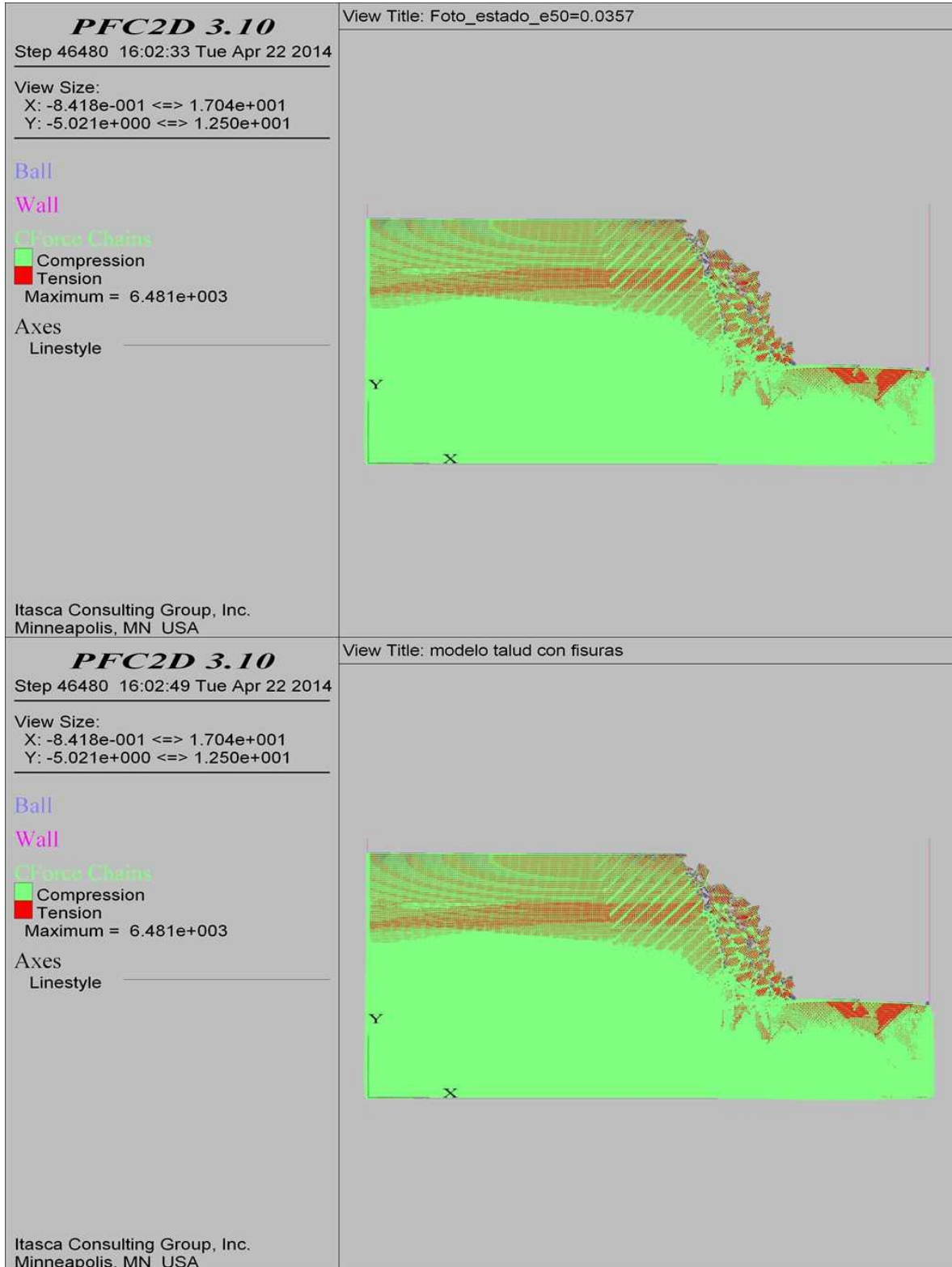
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



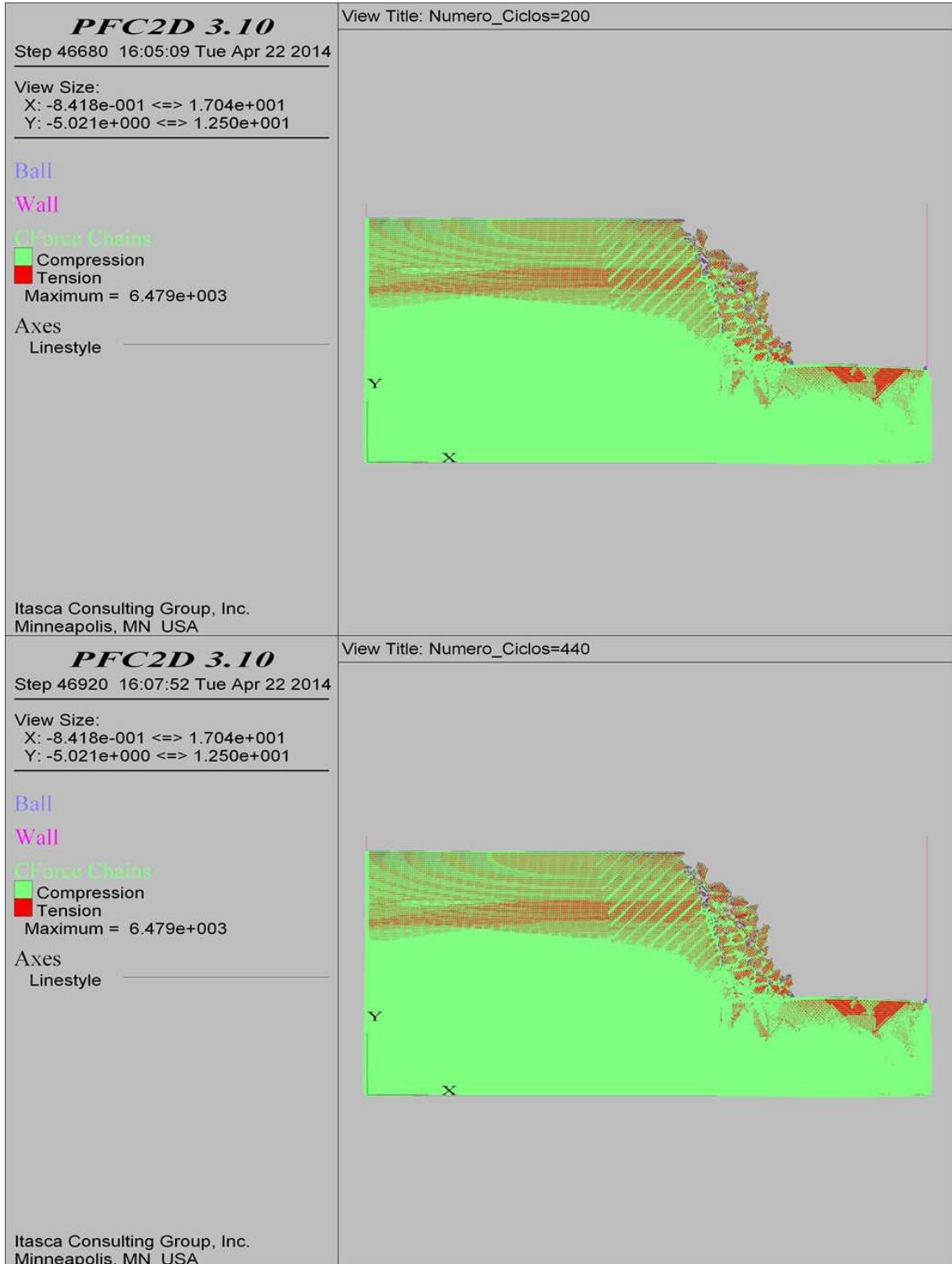
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



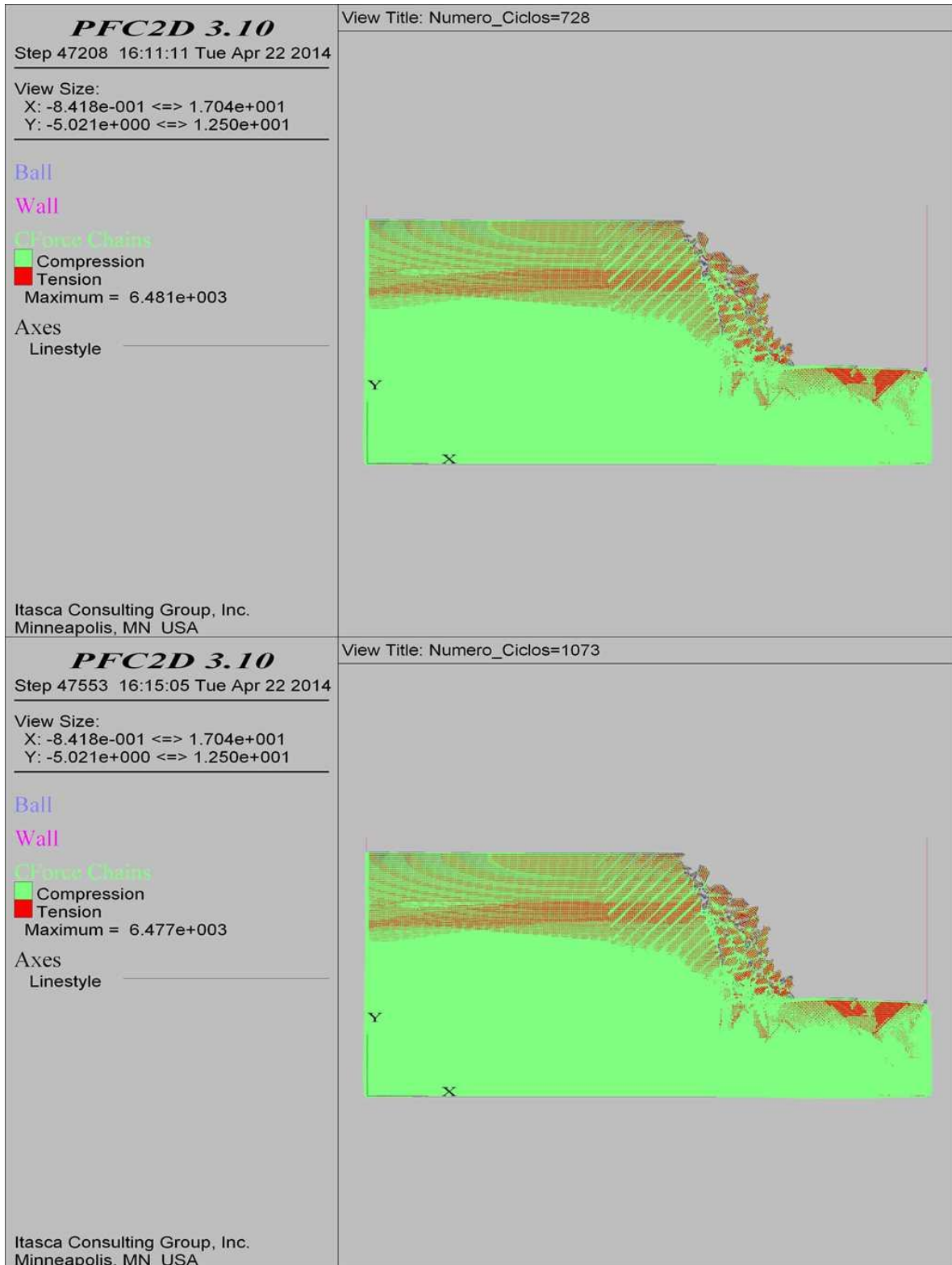
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



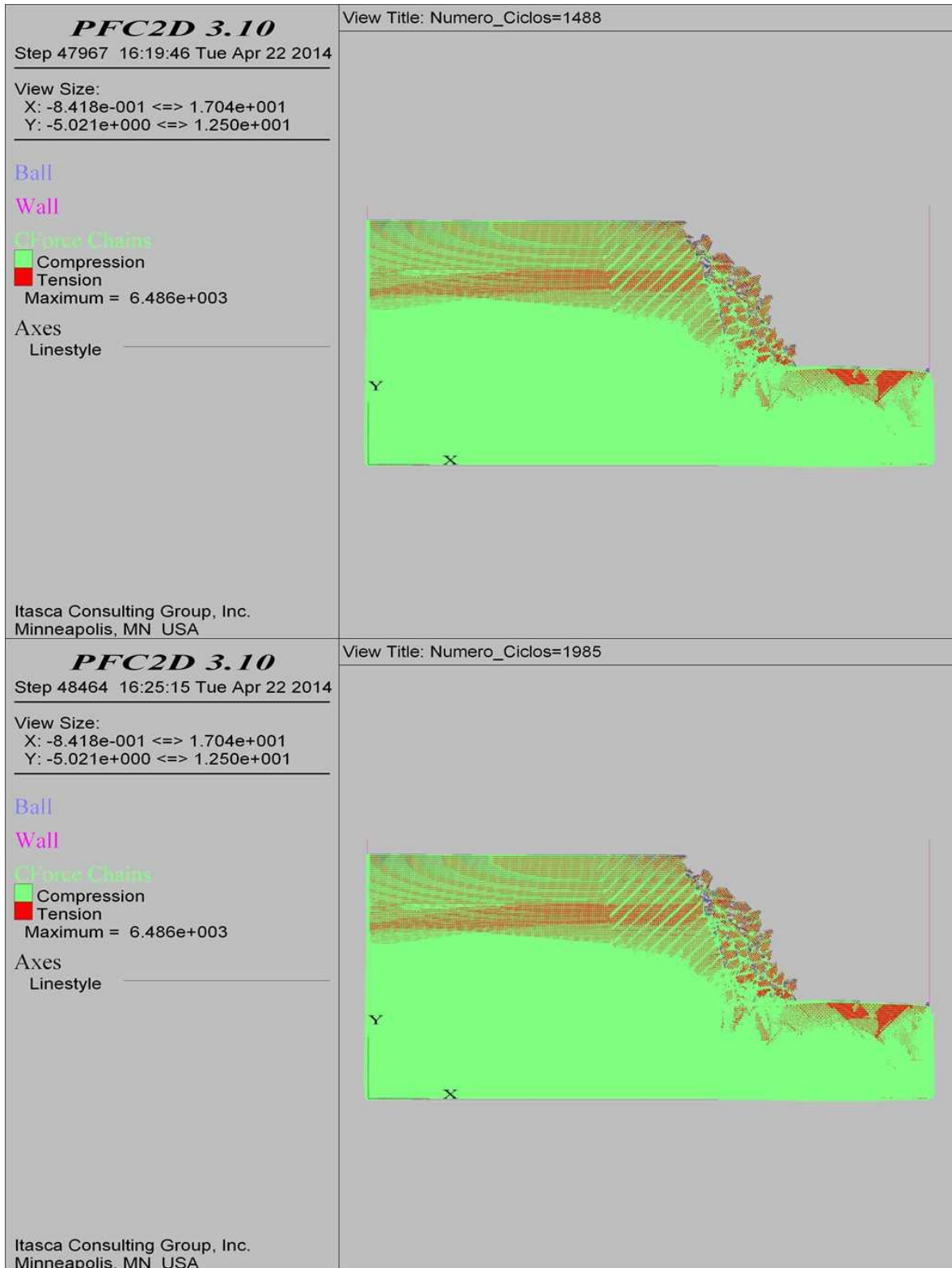
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



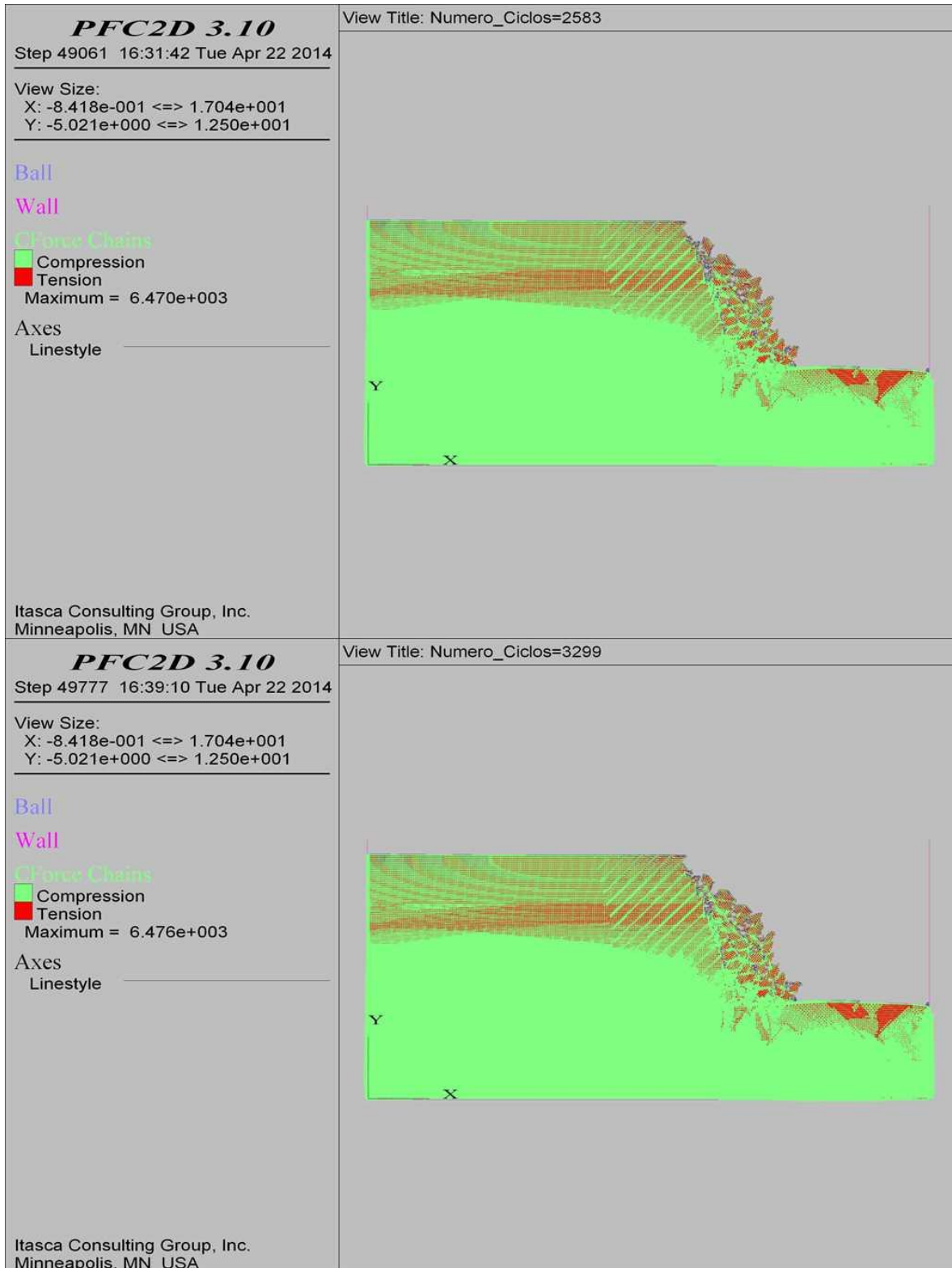
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



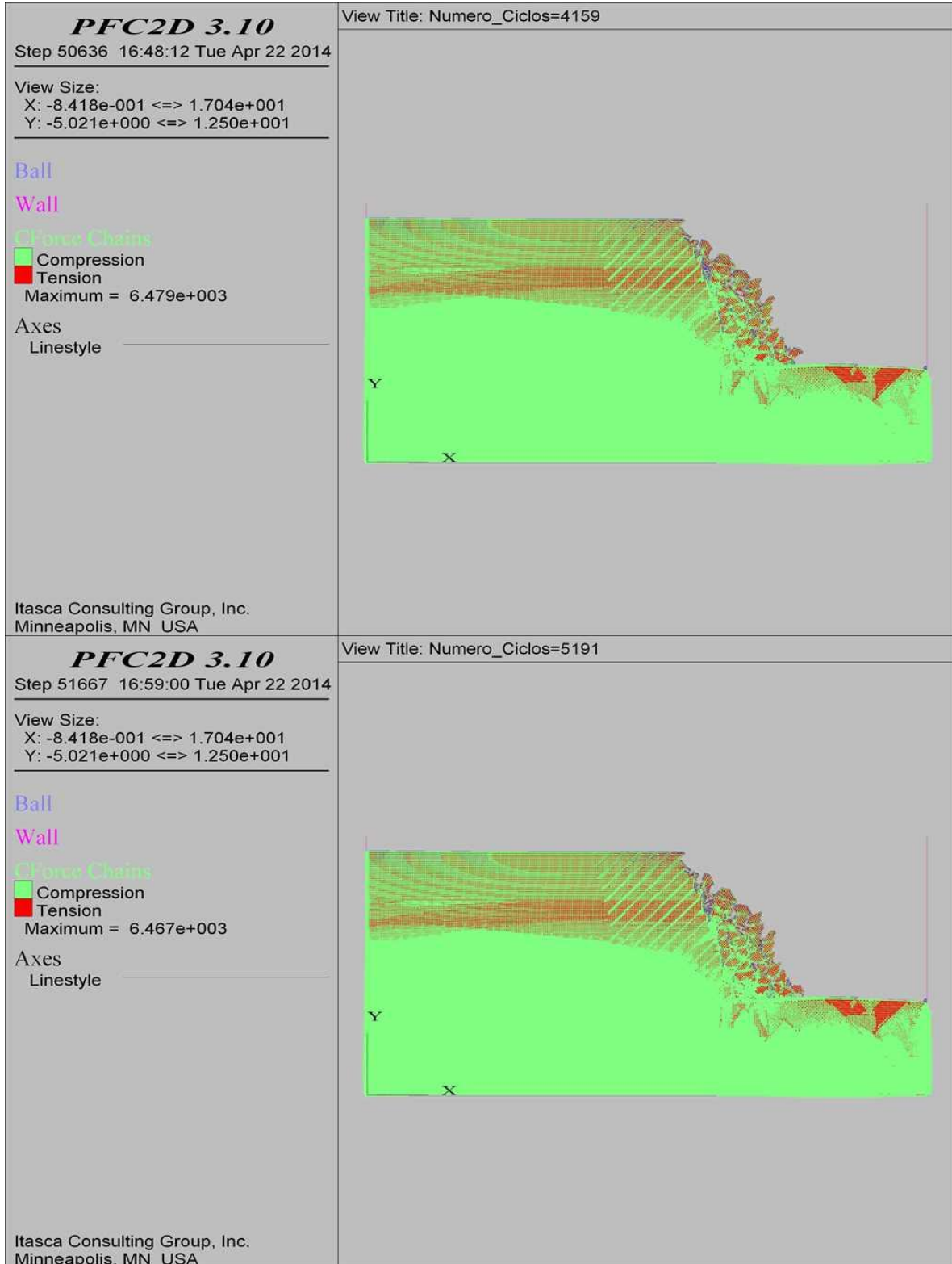
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



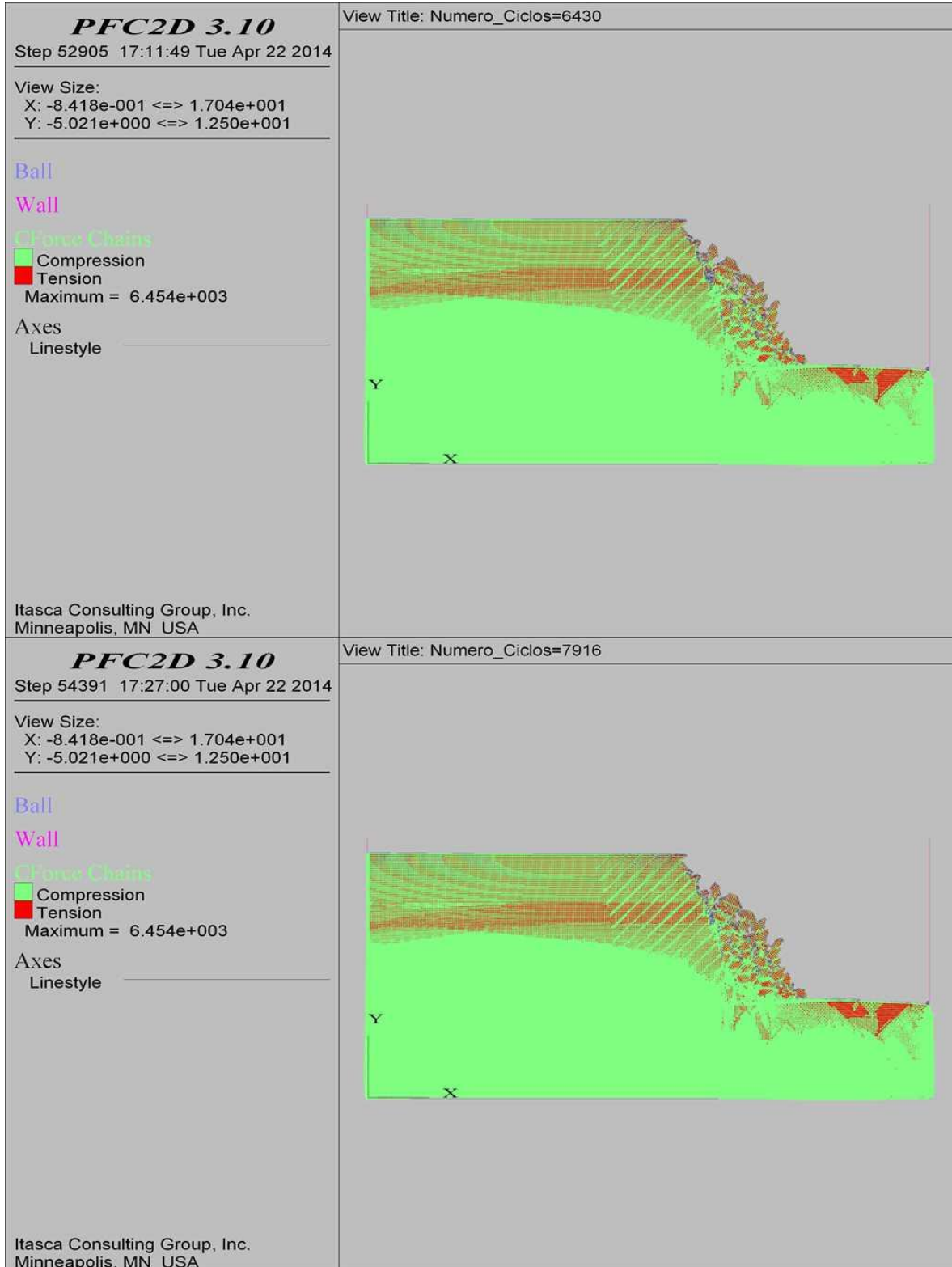
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



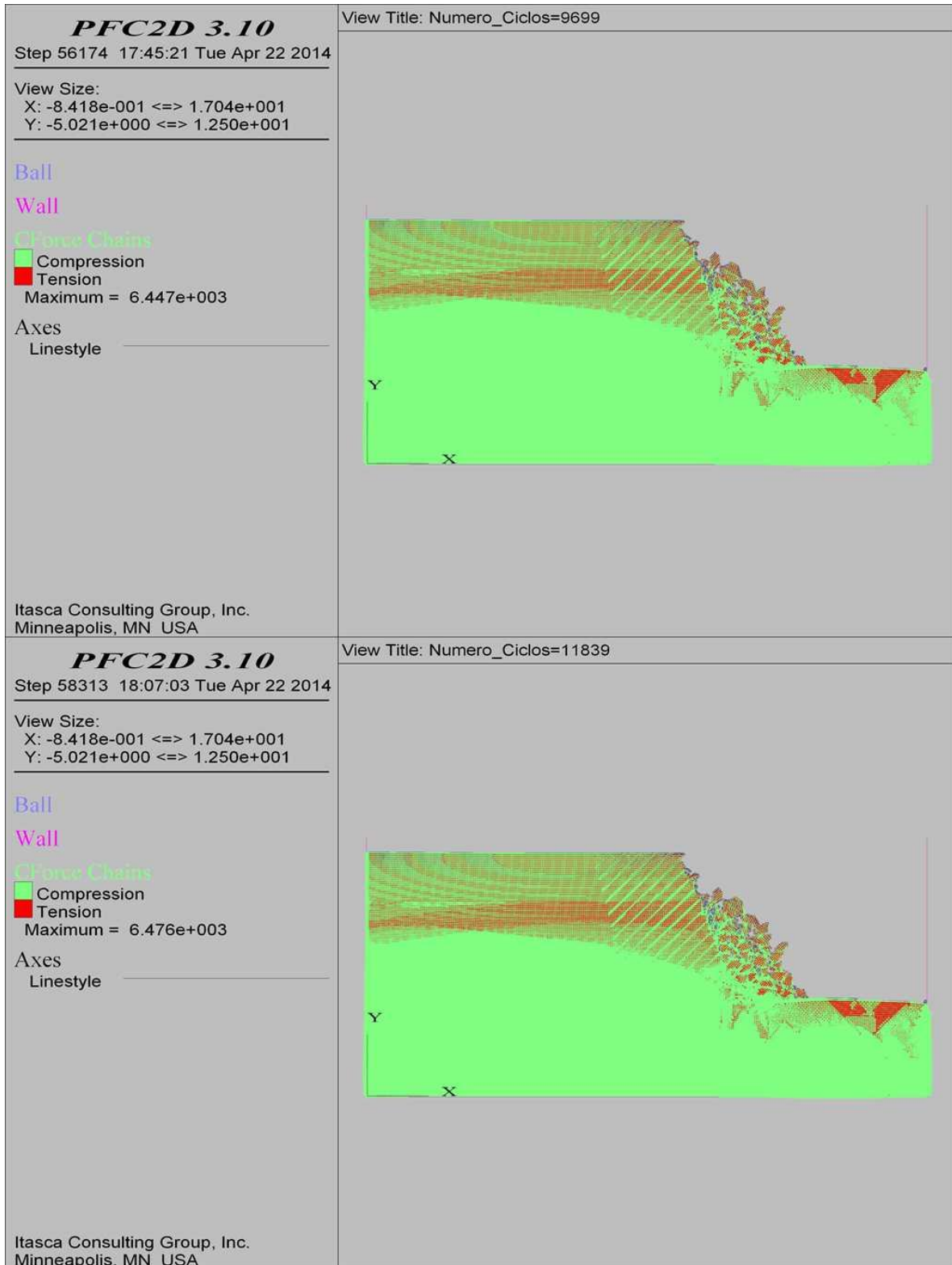
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



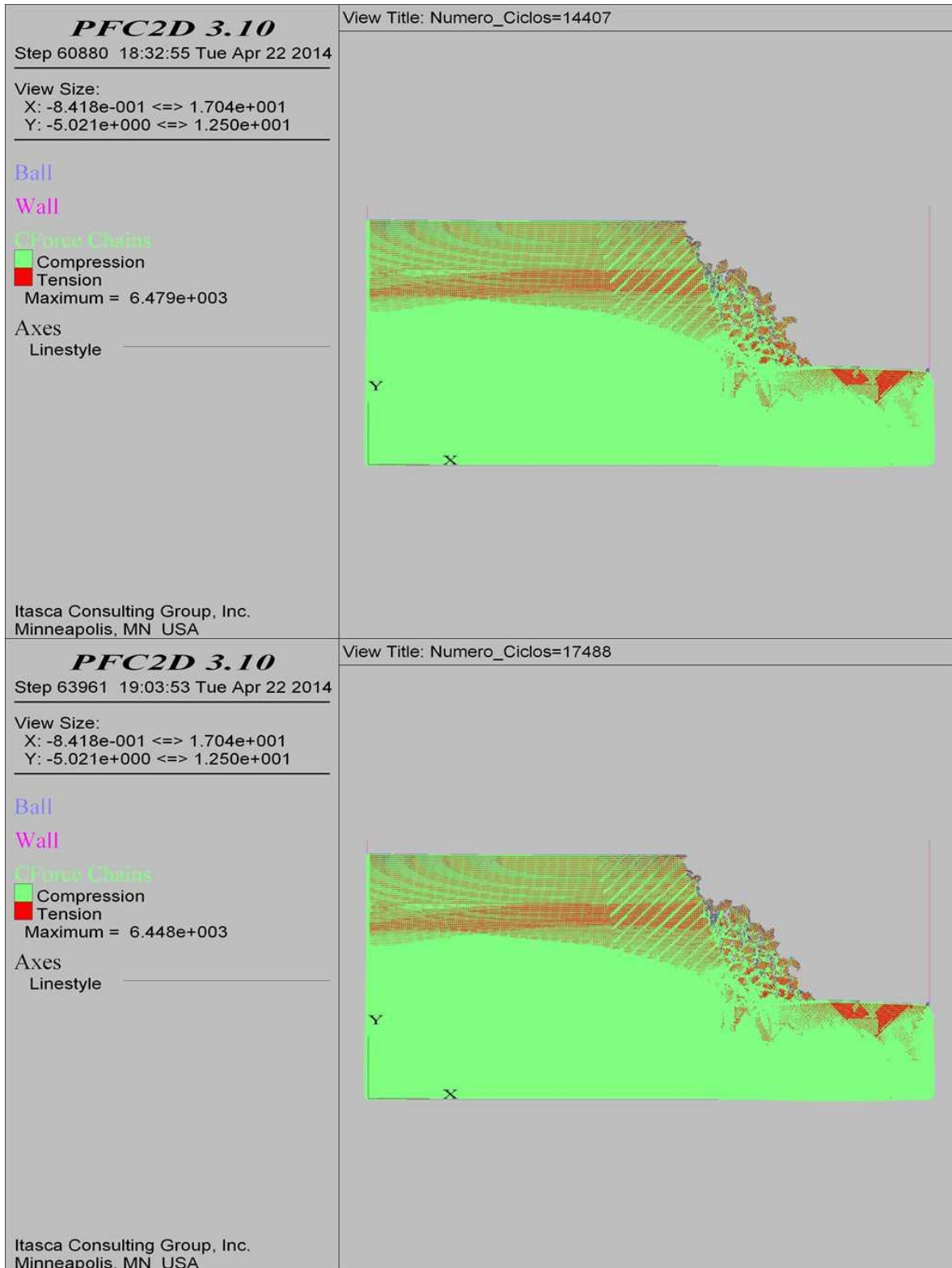
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



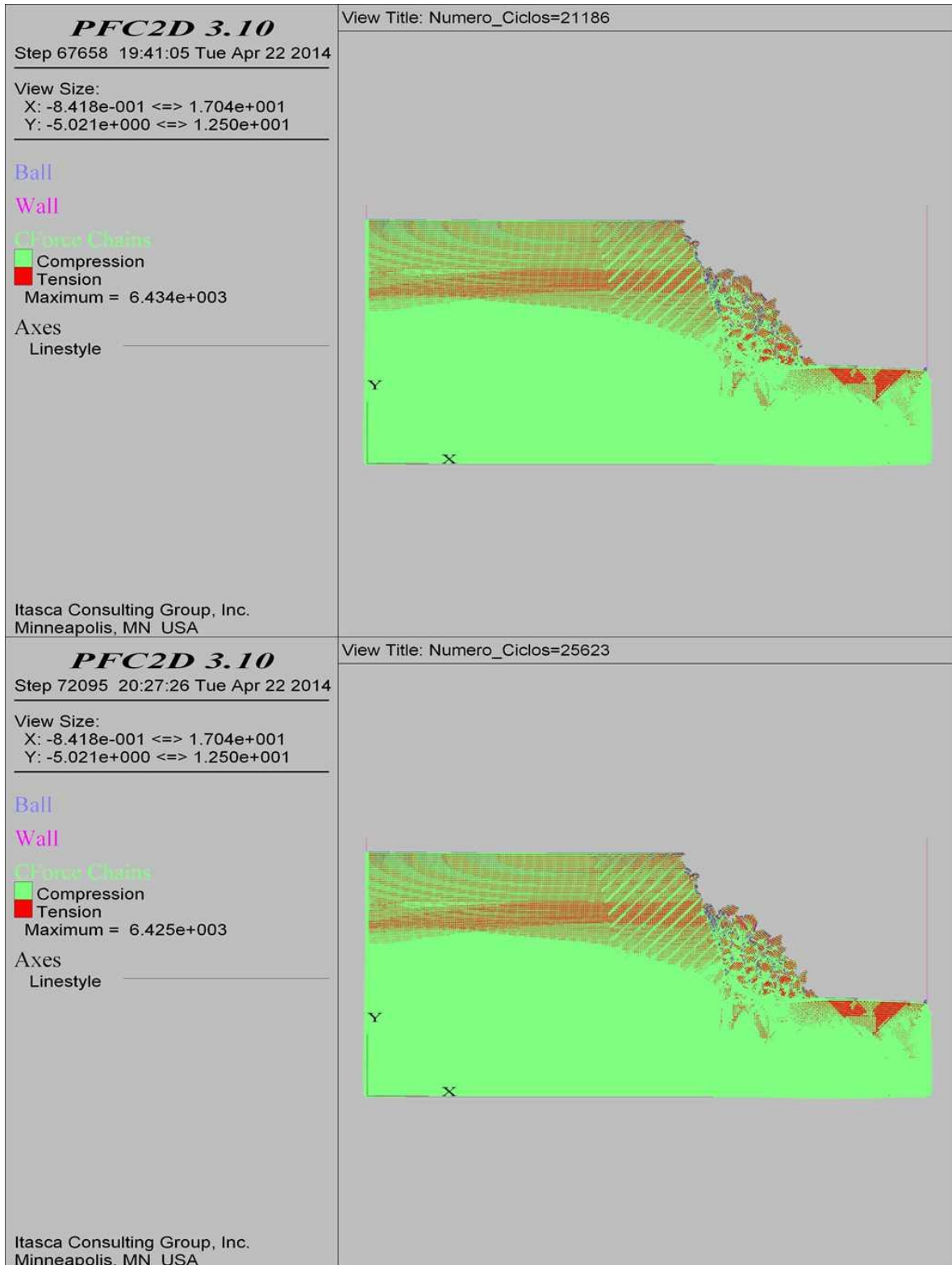
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



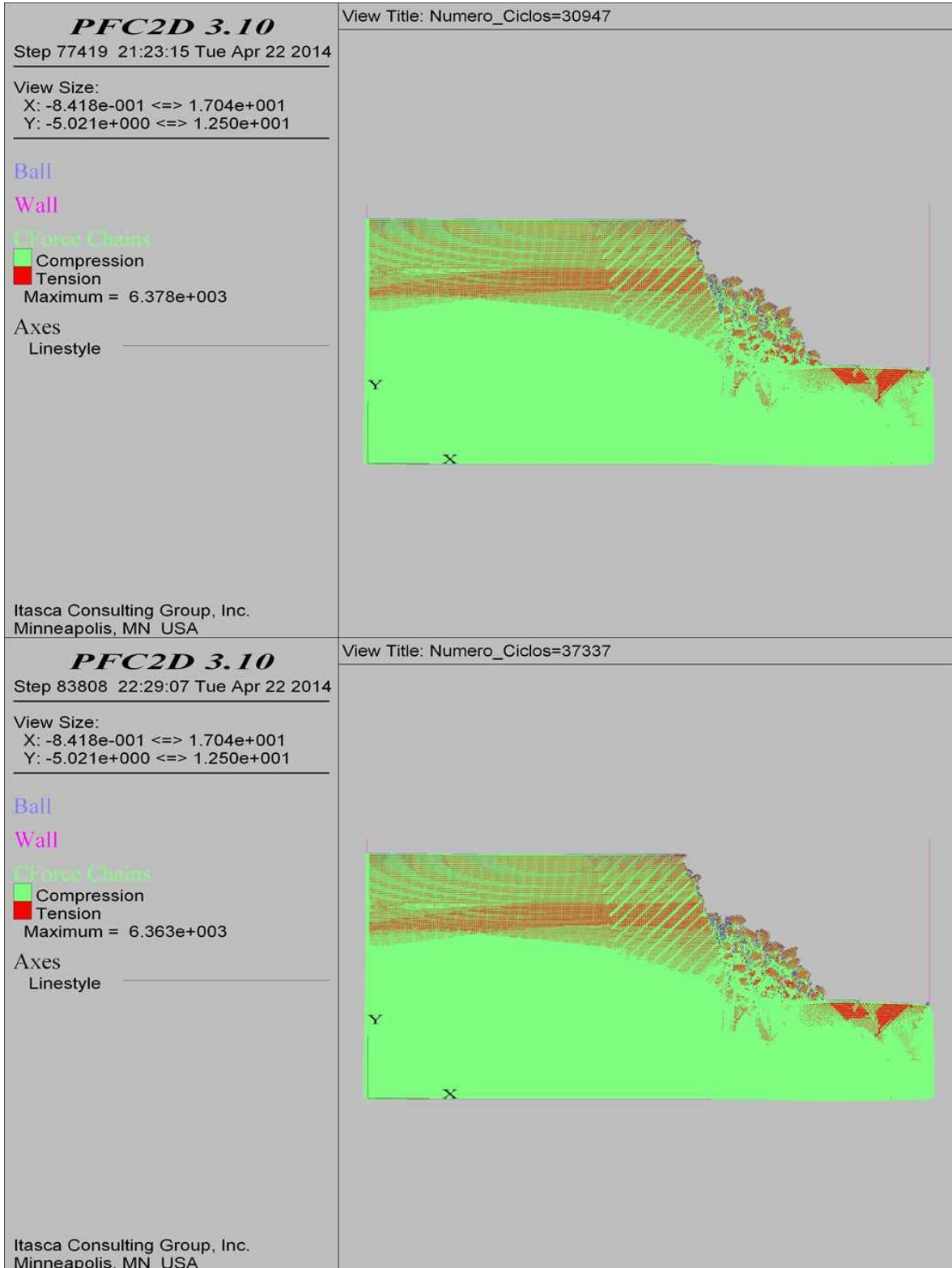
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



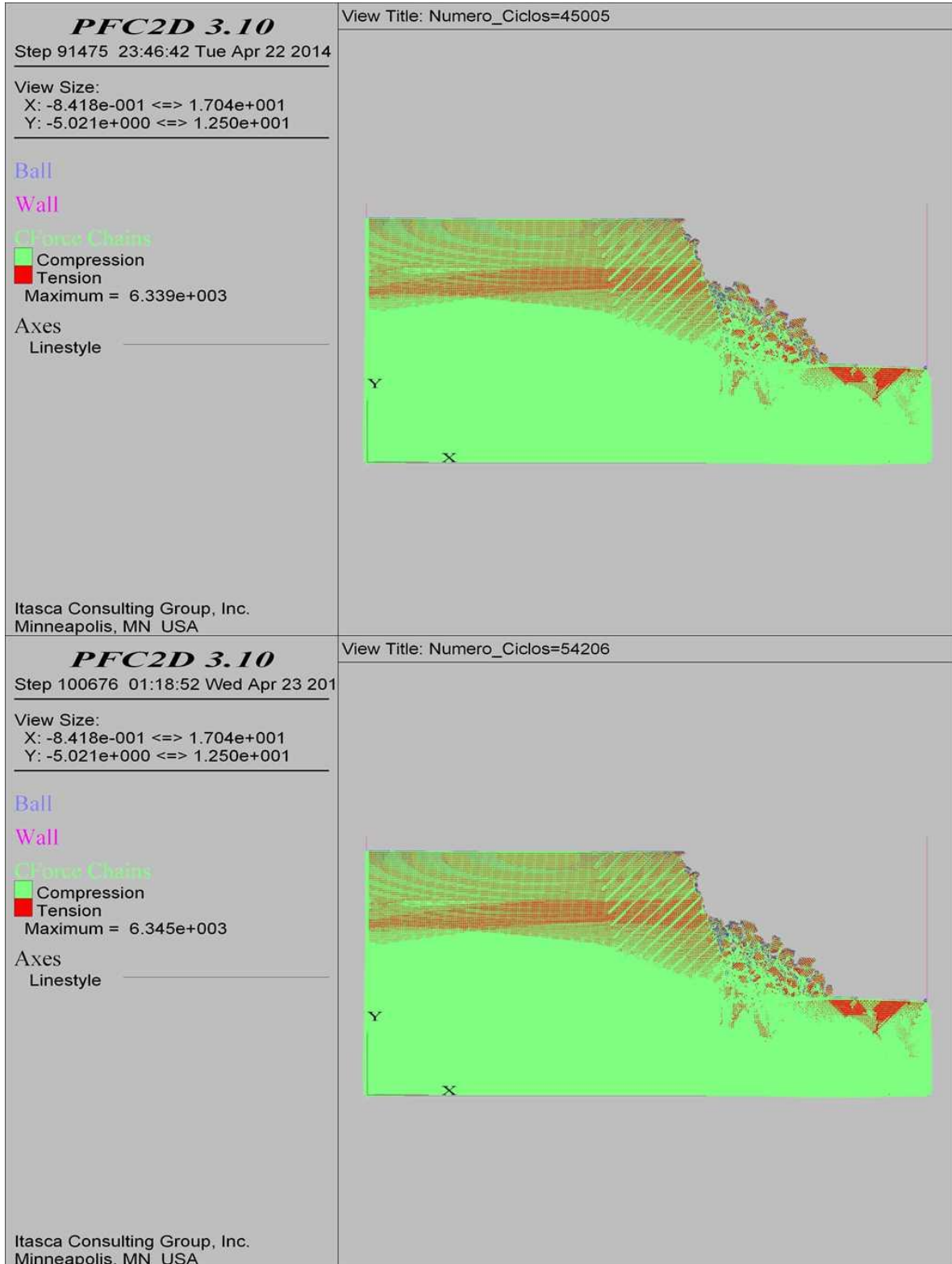
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



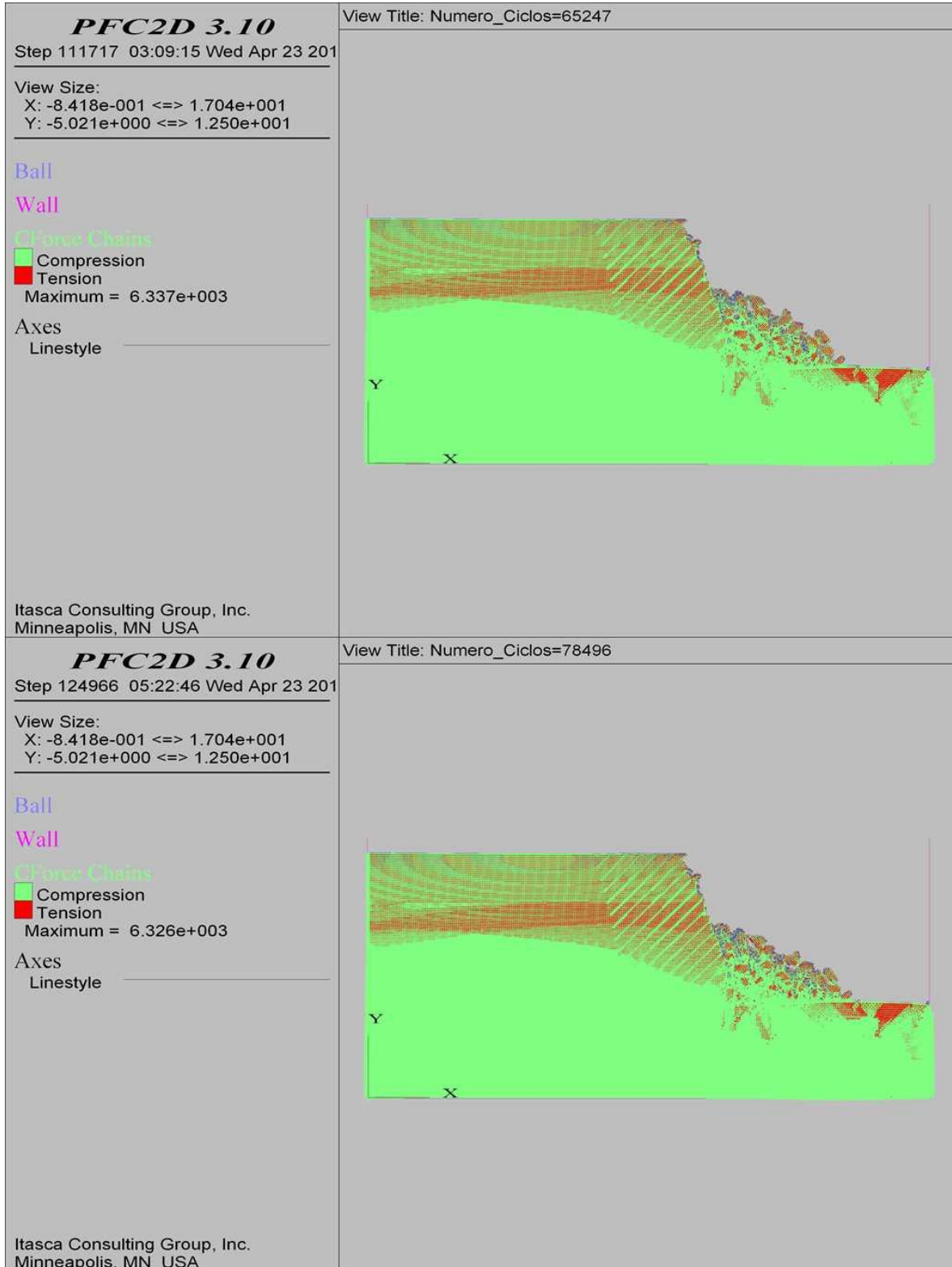
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



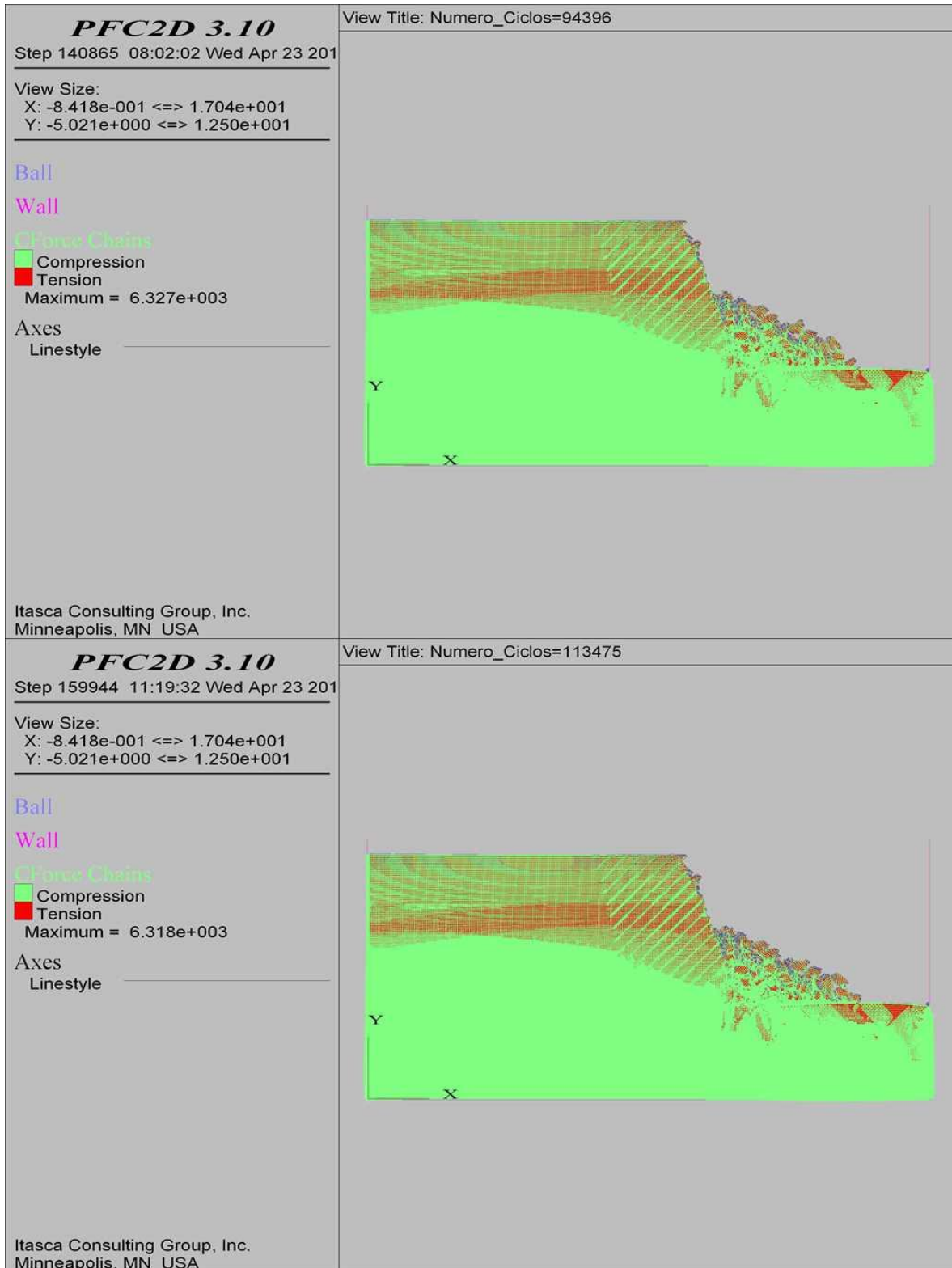
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



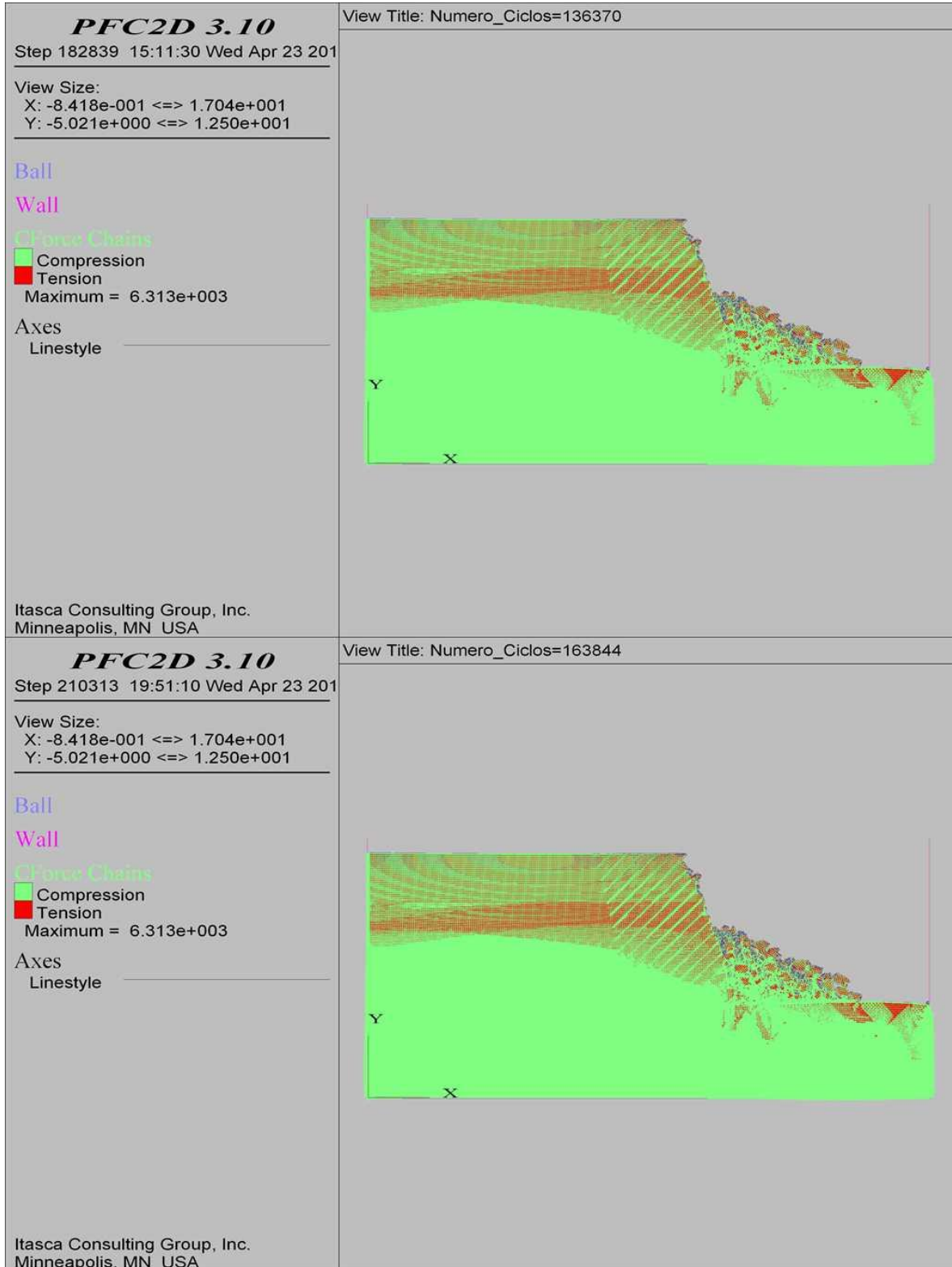
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



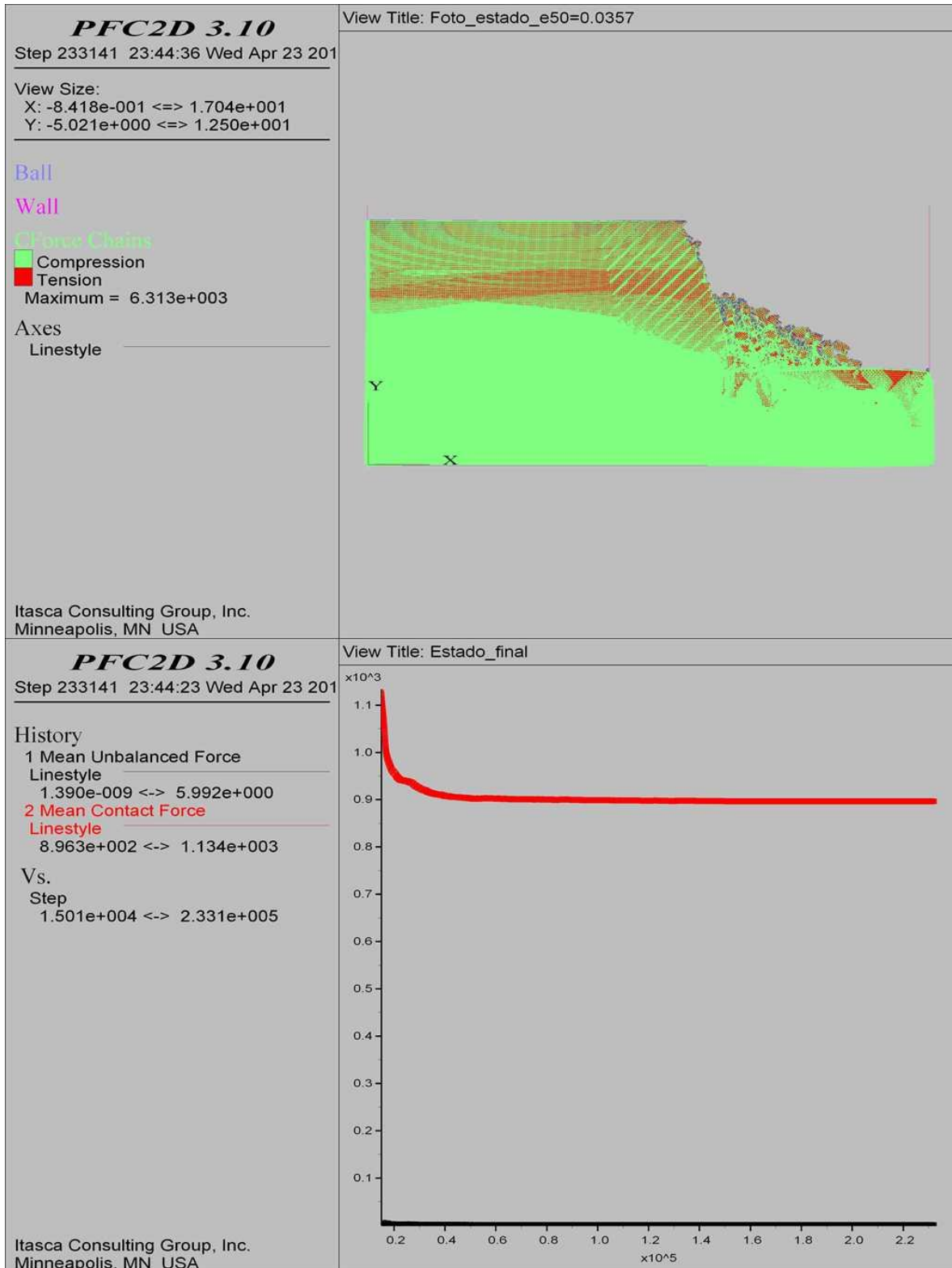
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



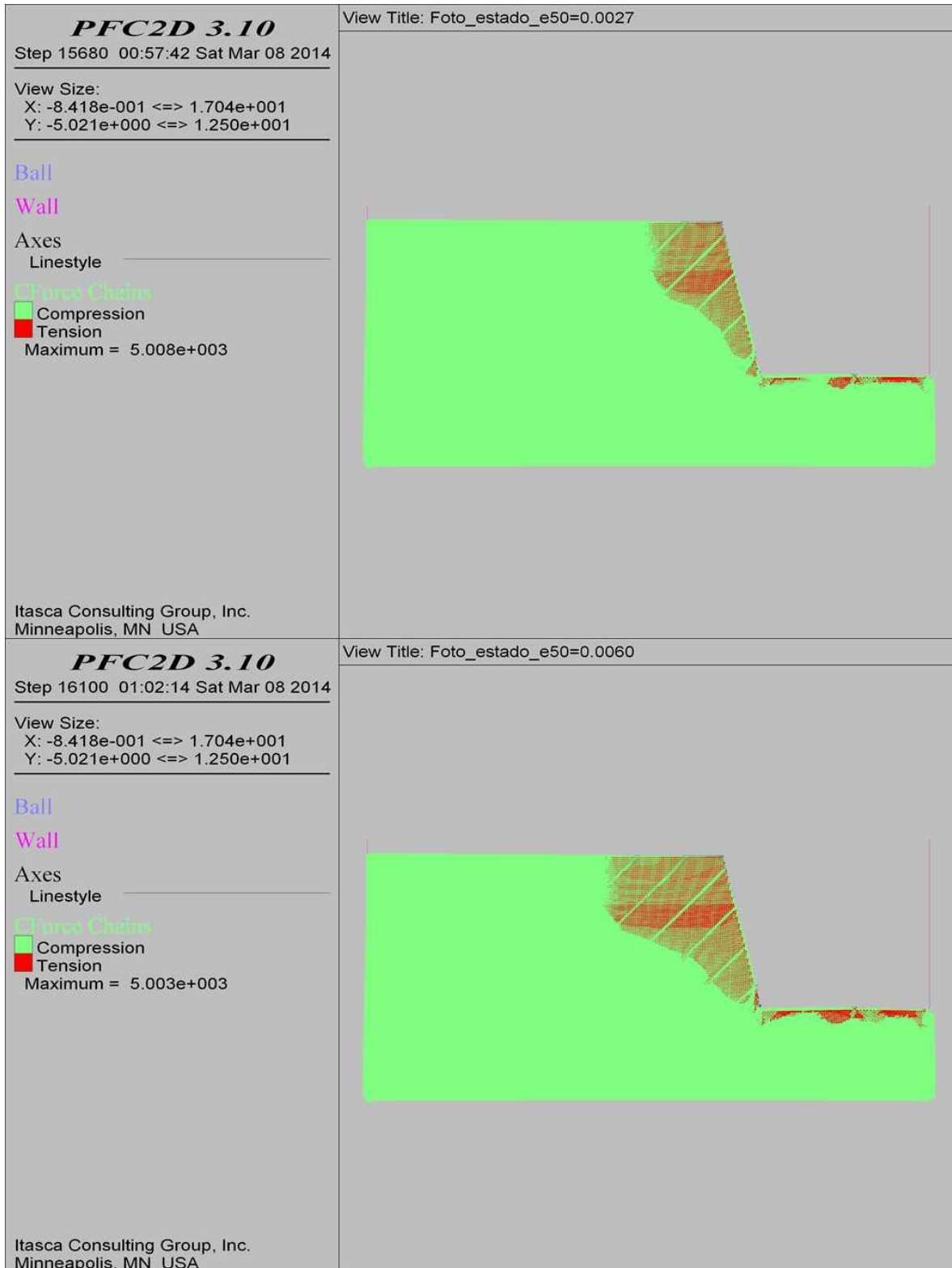
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



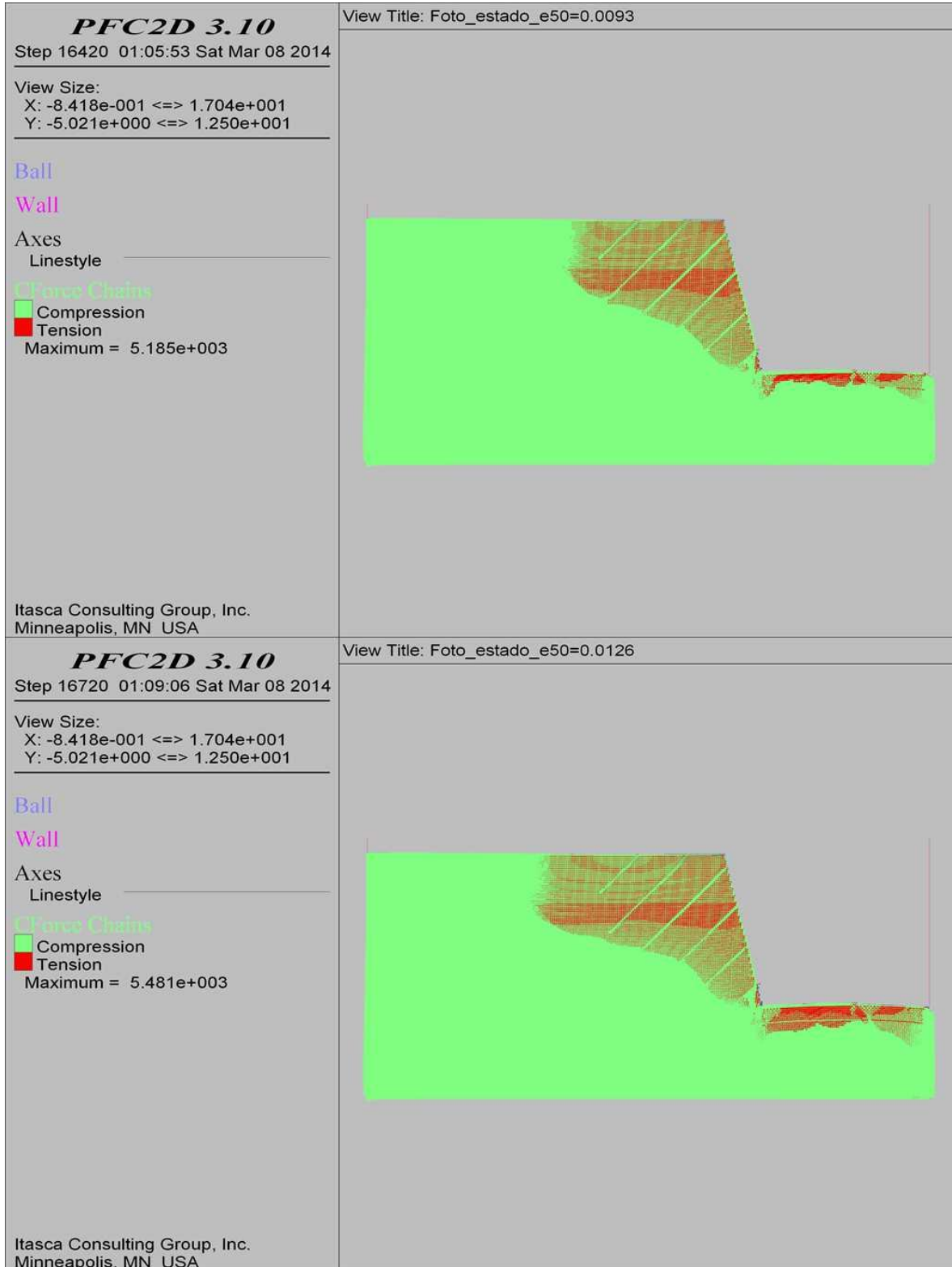
COMBINACIÓN 10: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



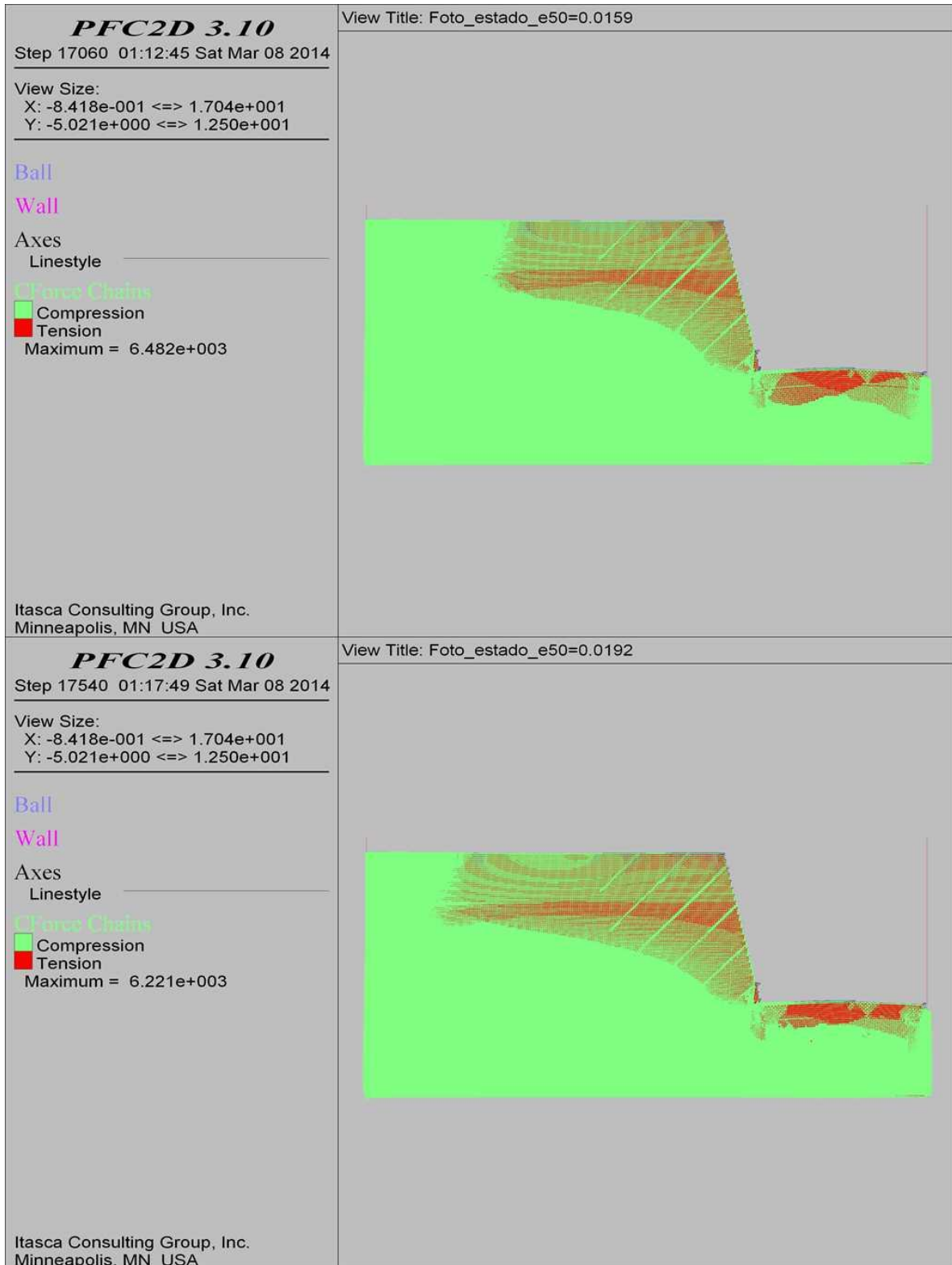
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



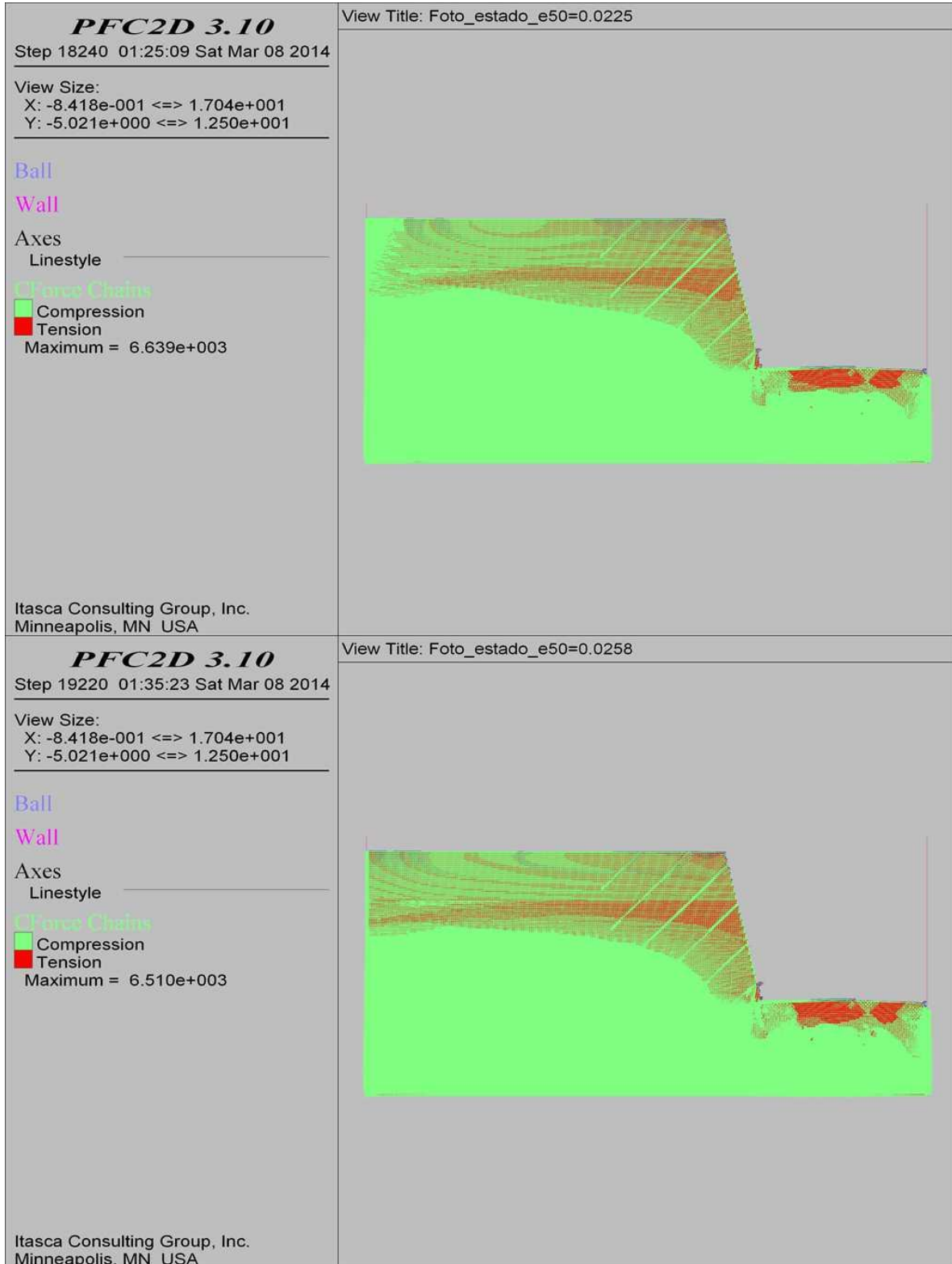
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



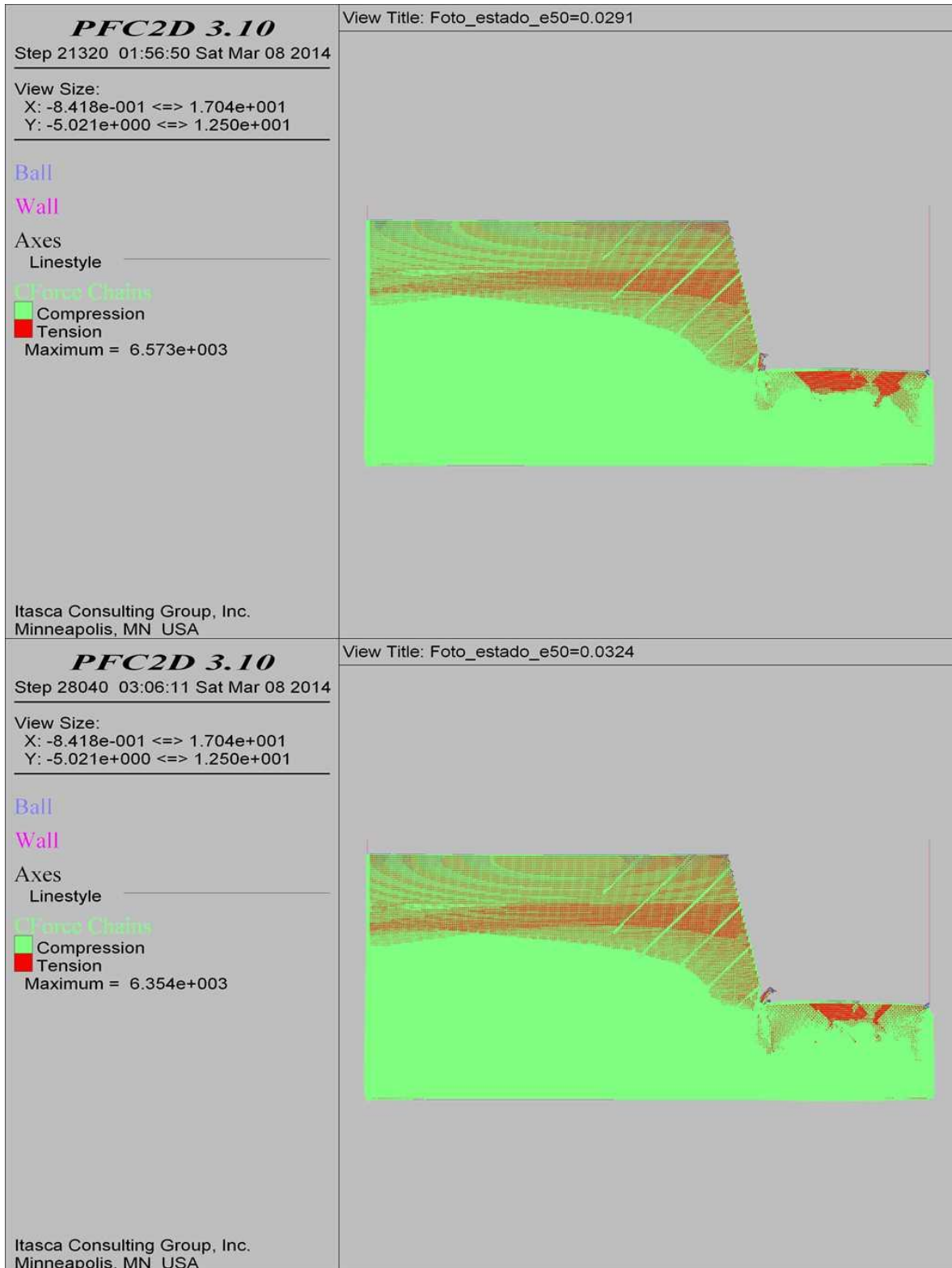
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



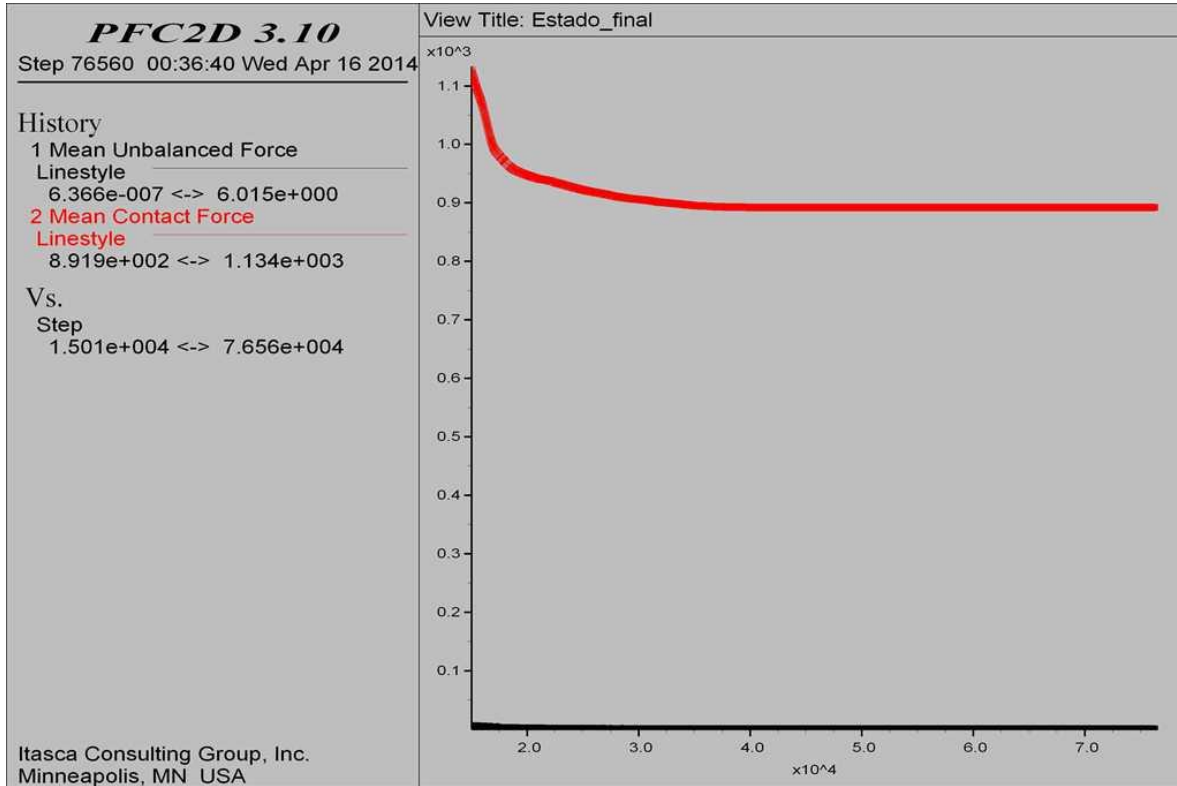
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



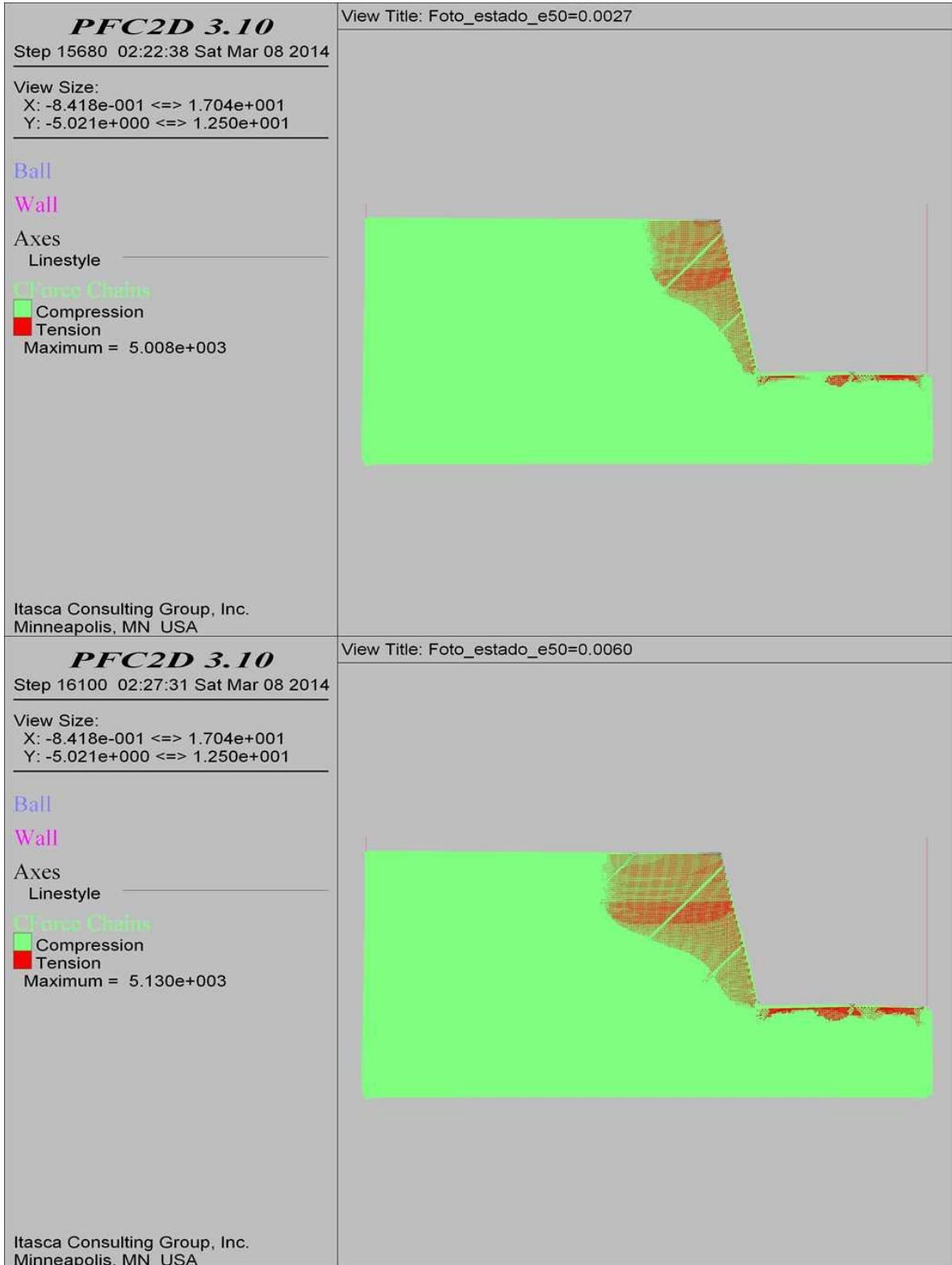
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



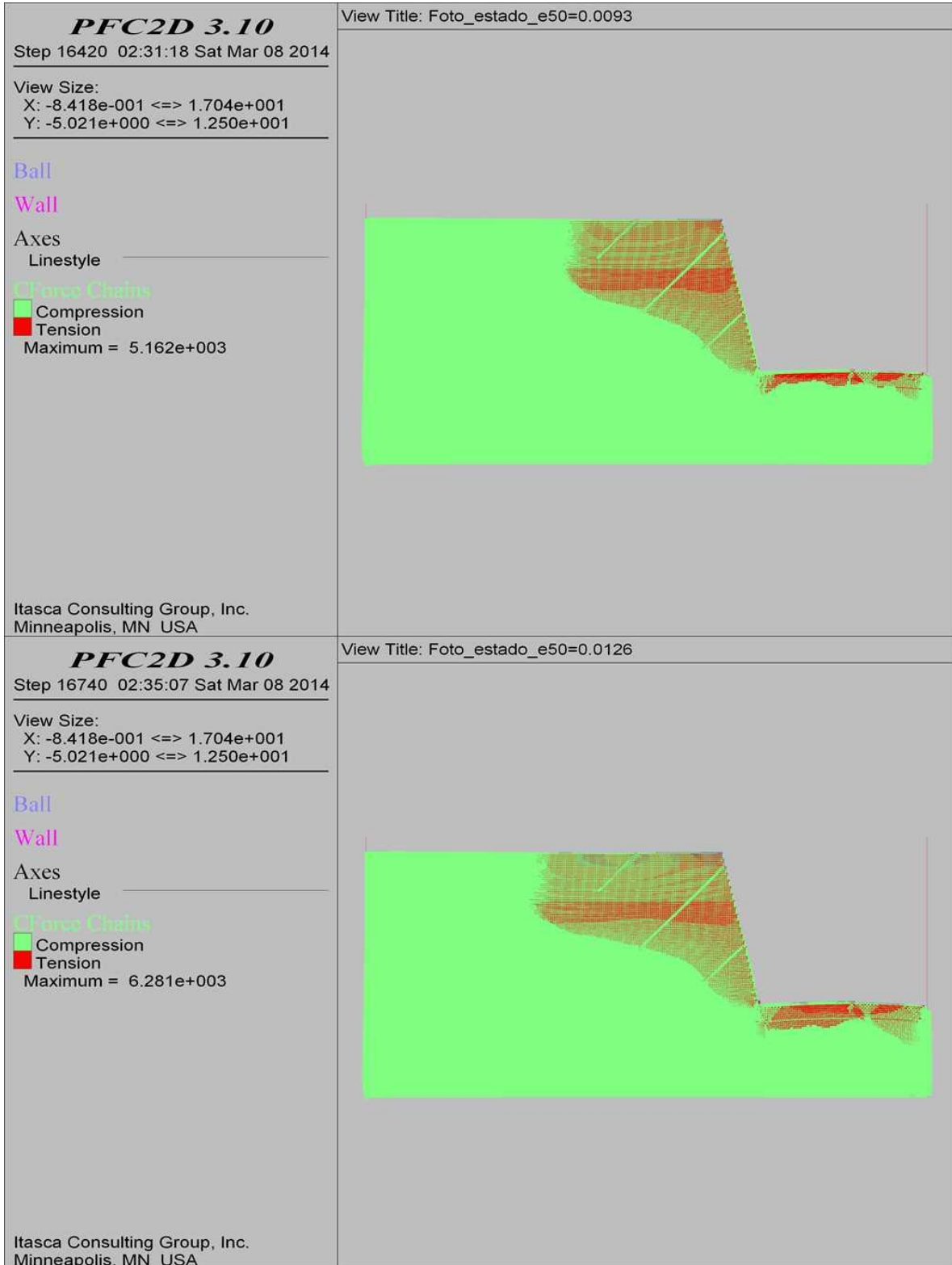
COMBINACIÓN 11: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



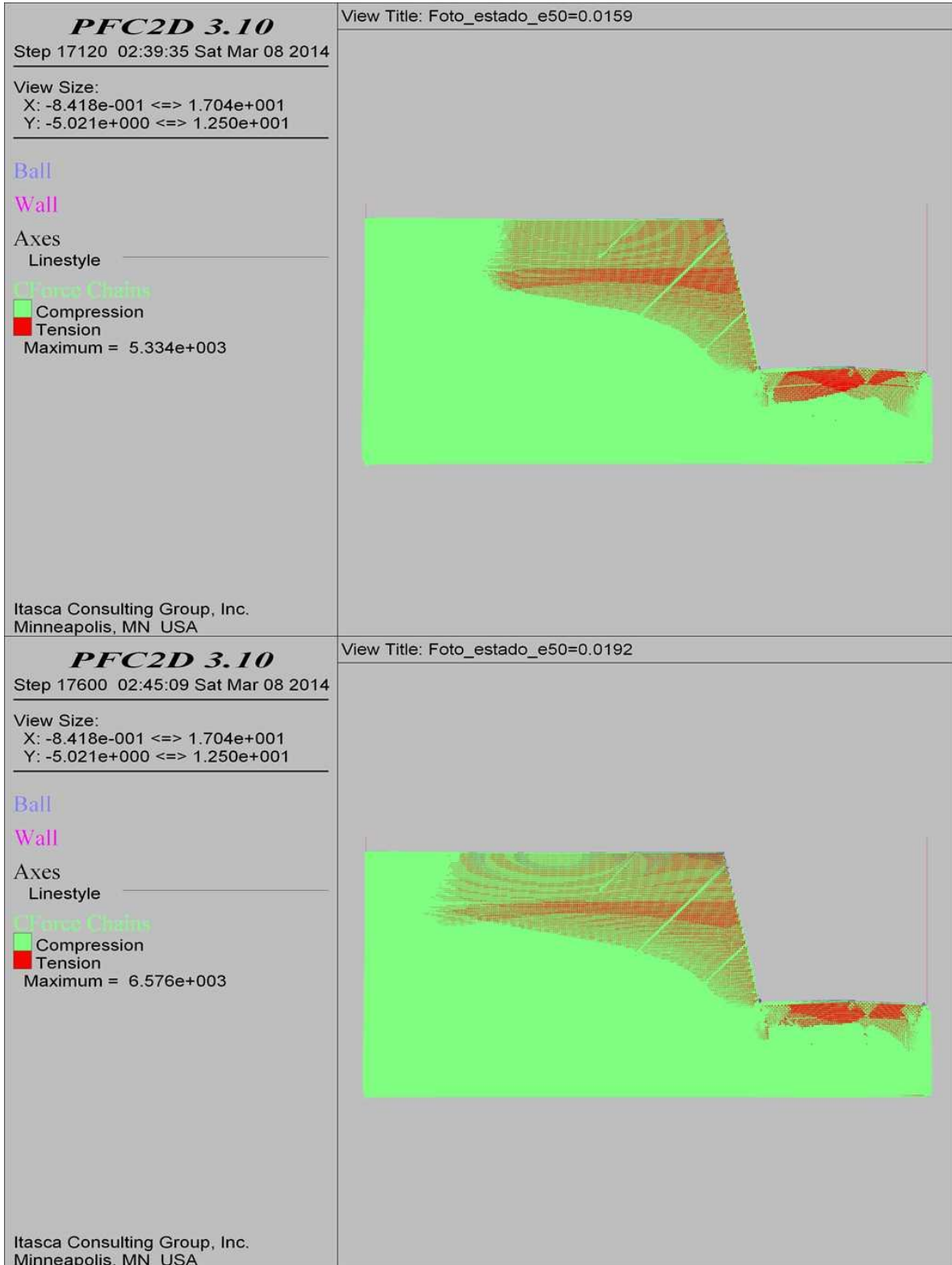
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



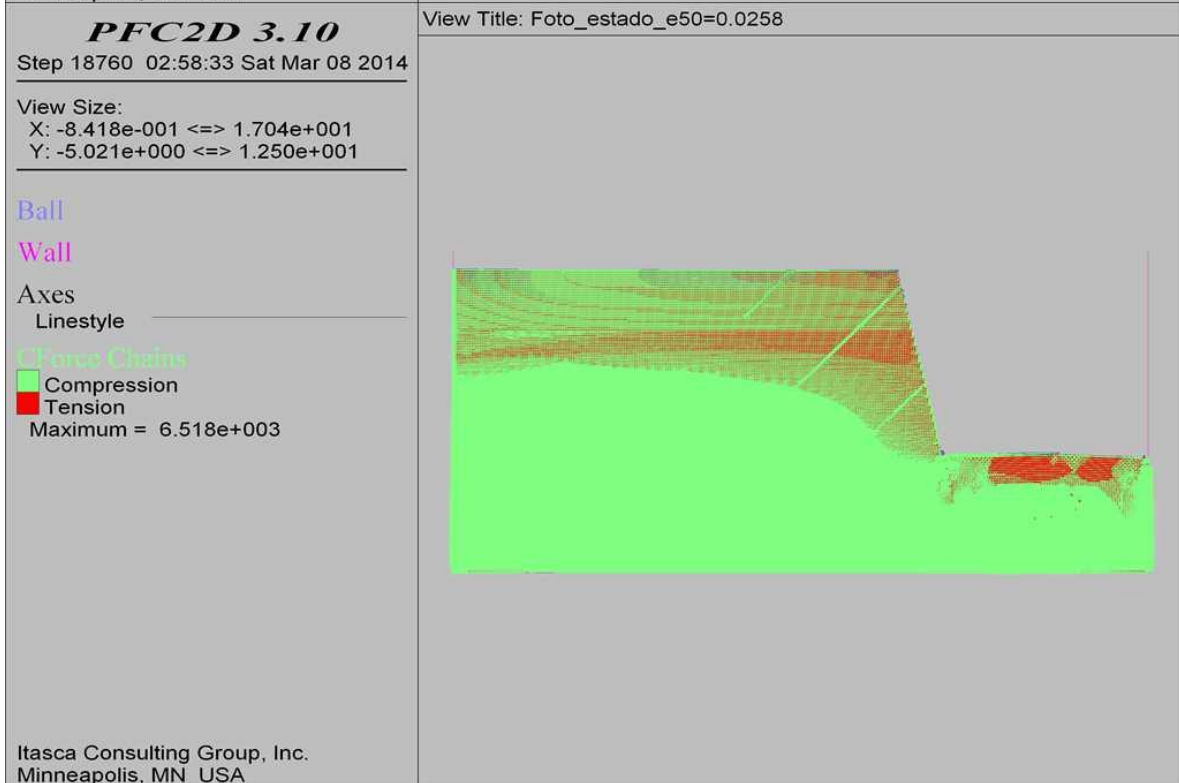
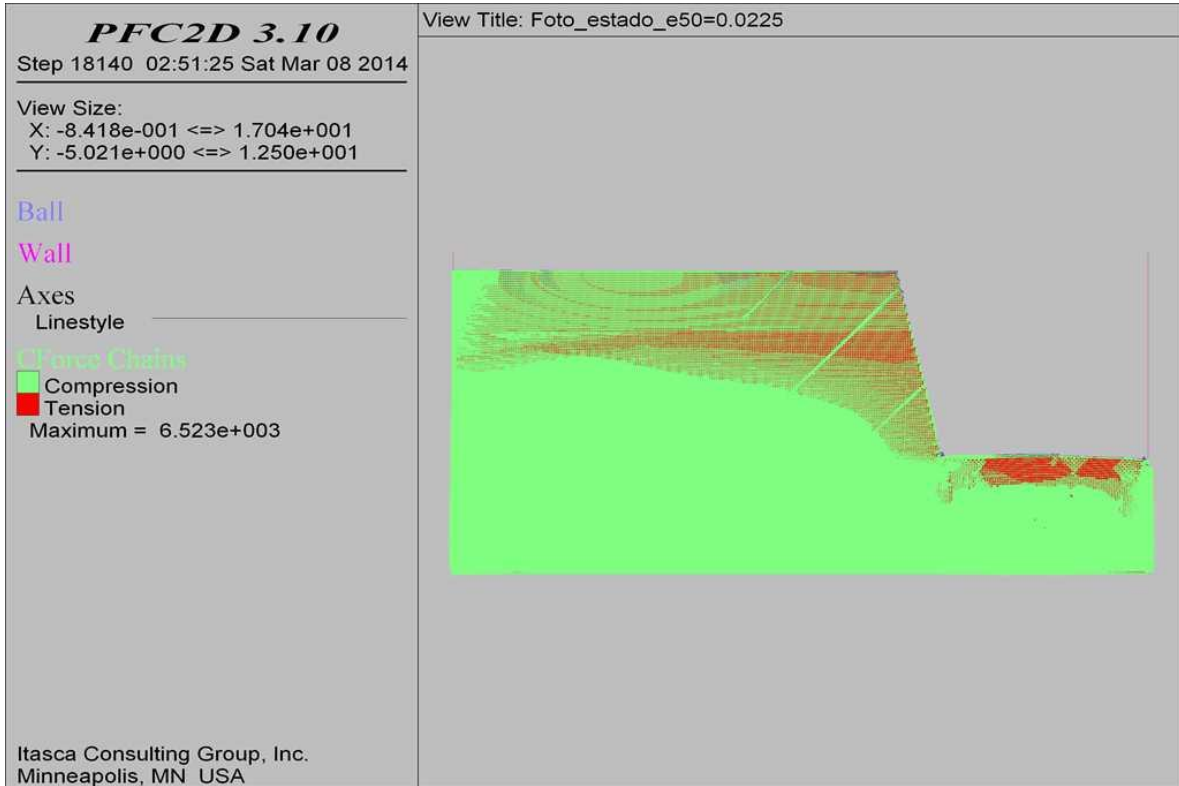
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



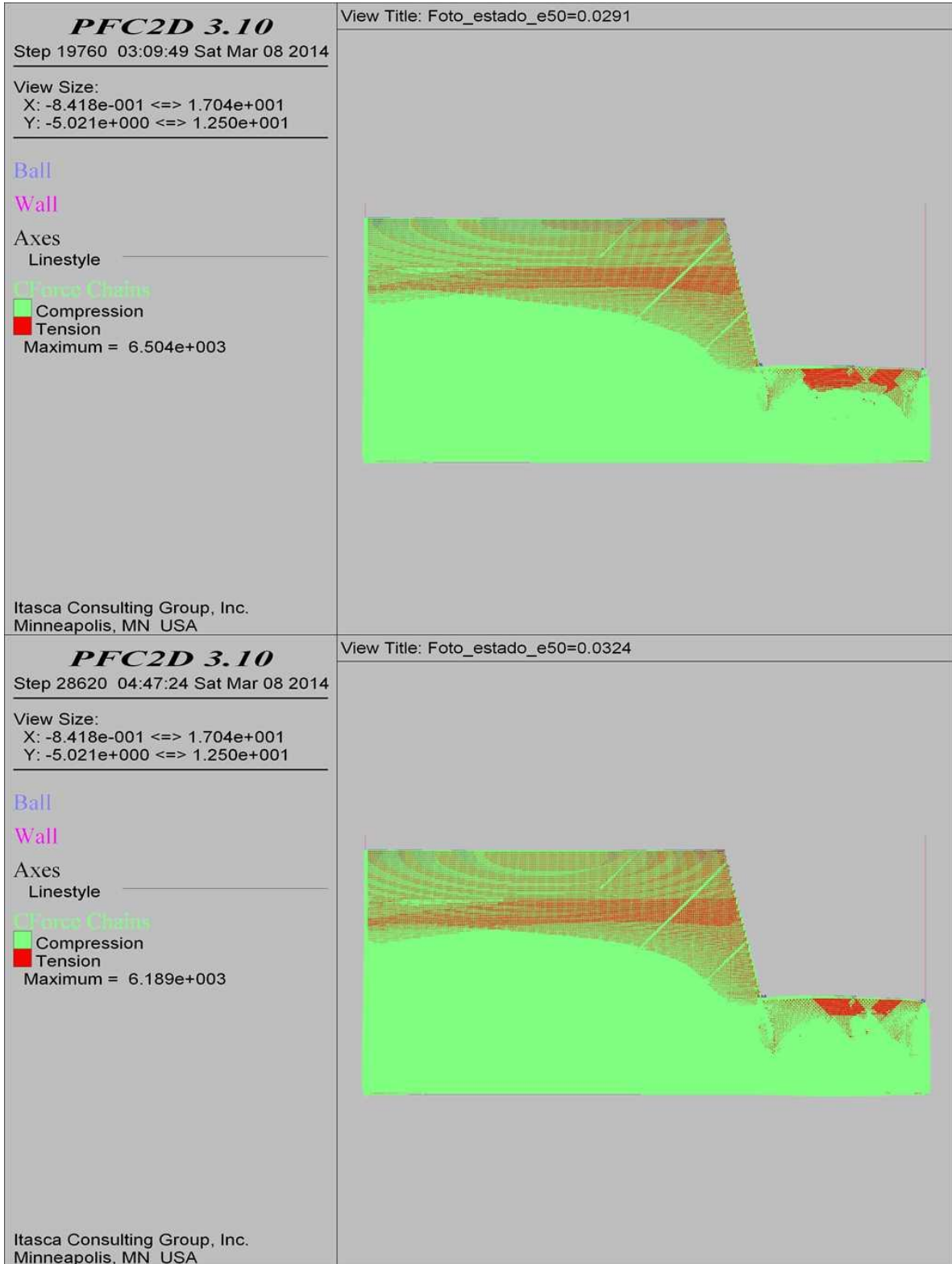
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



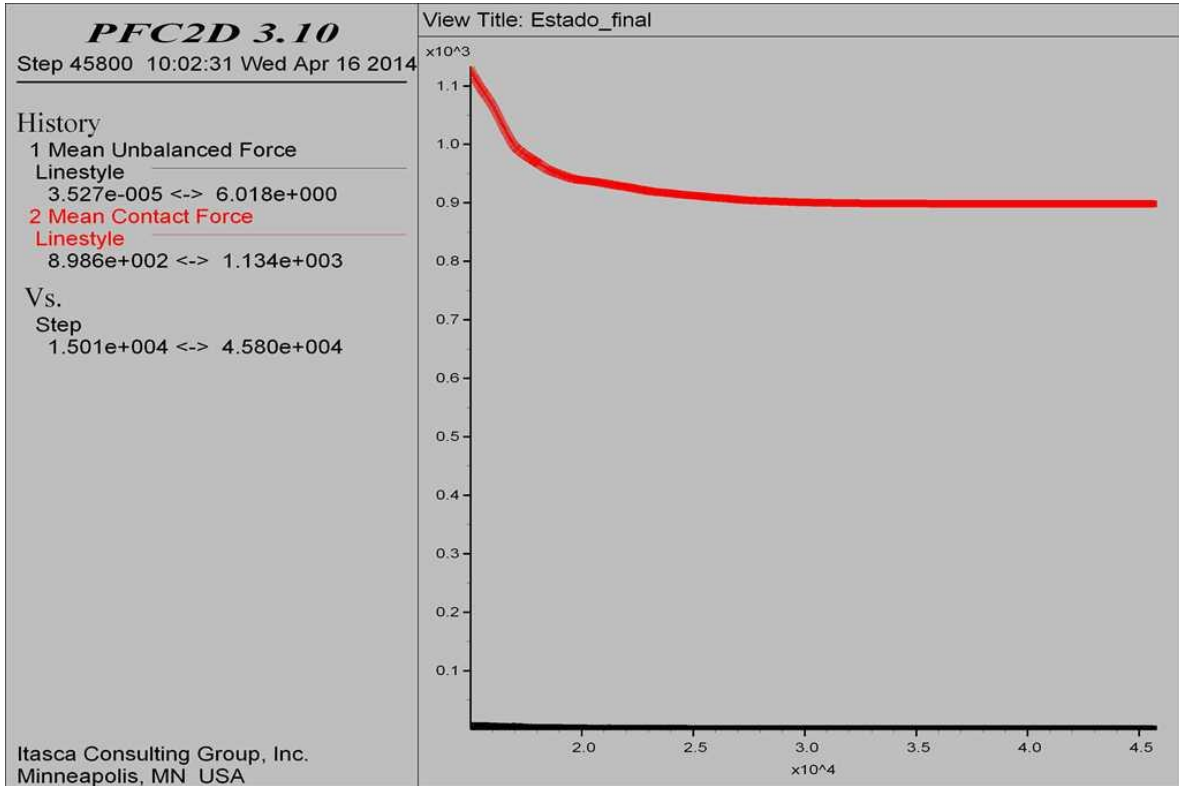
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



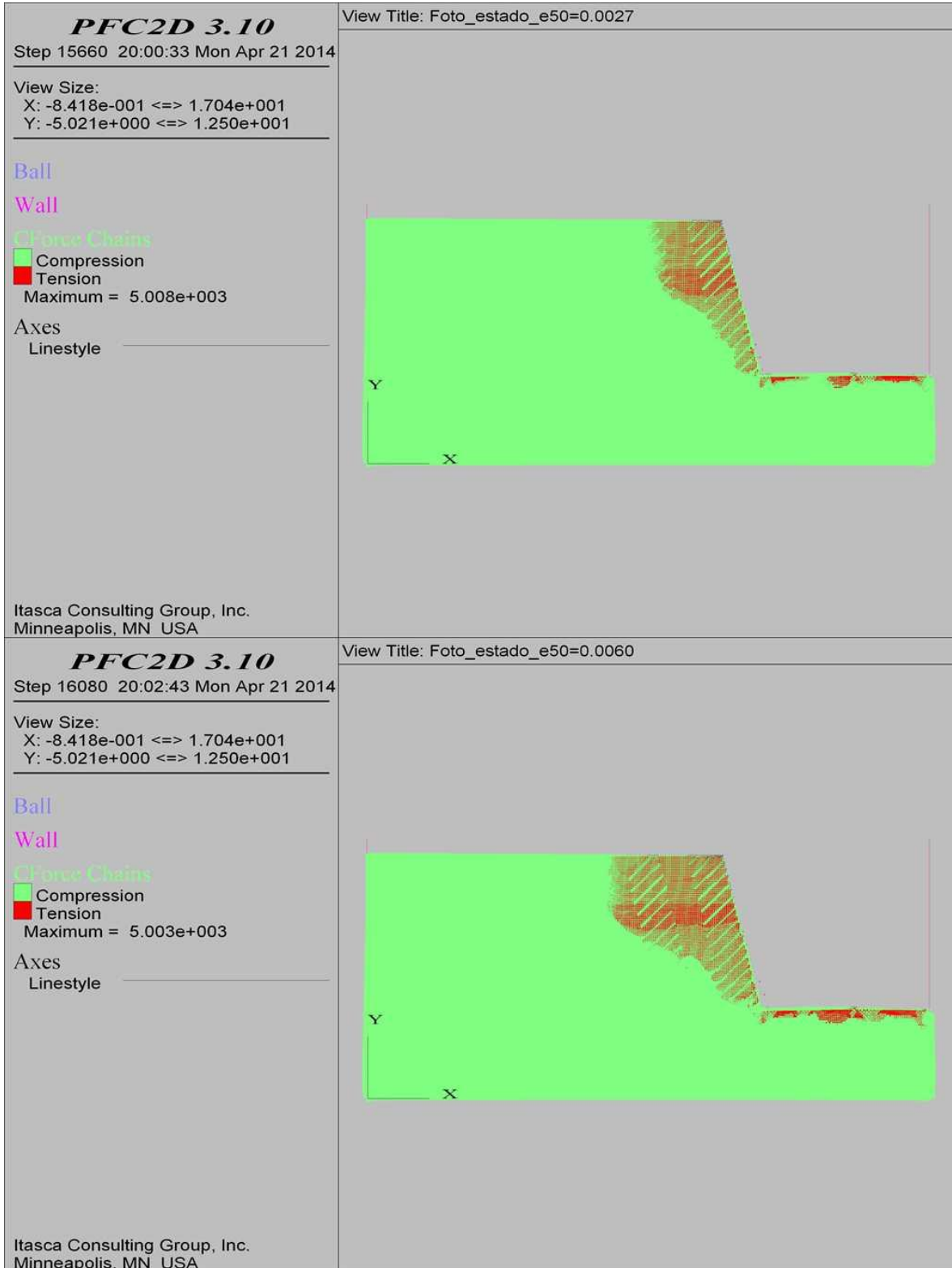
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



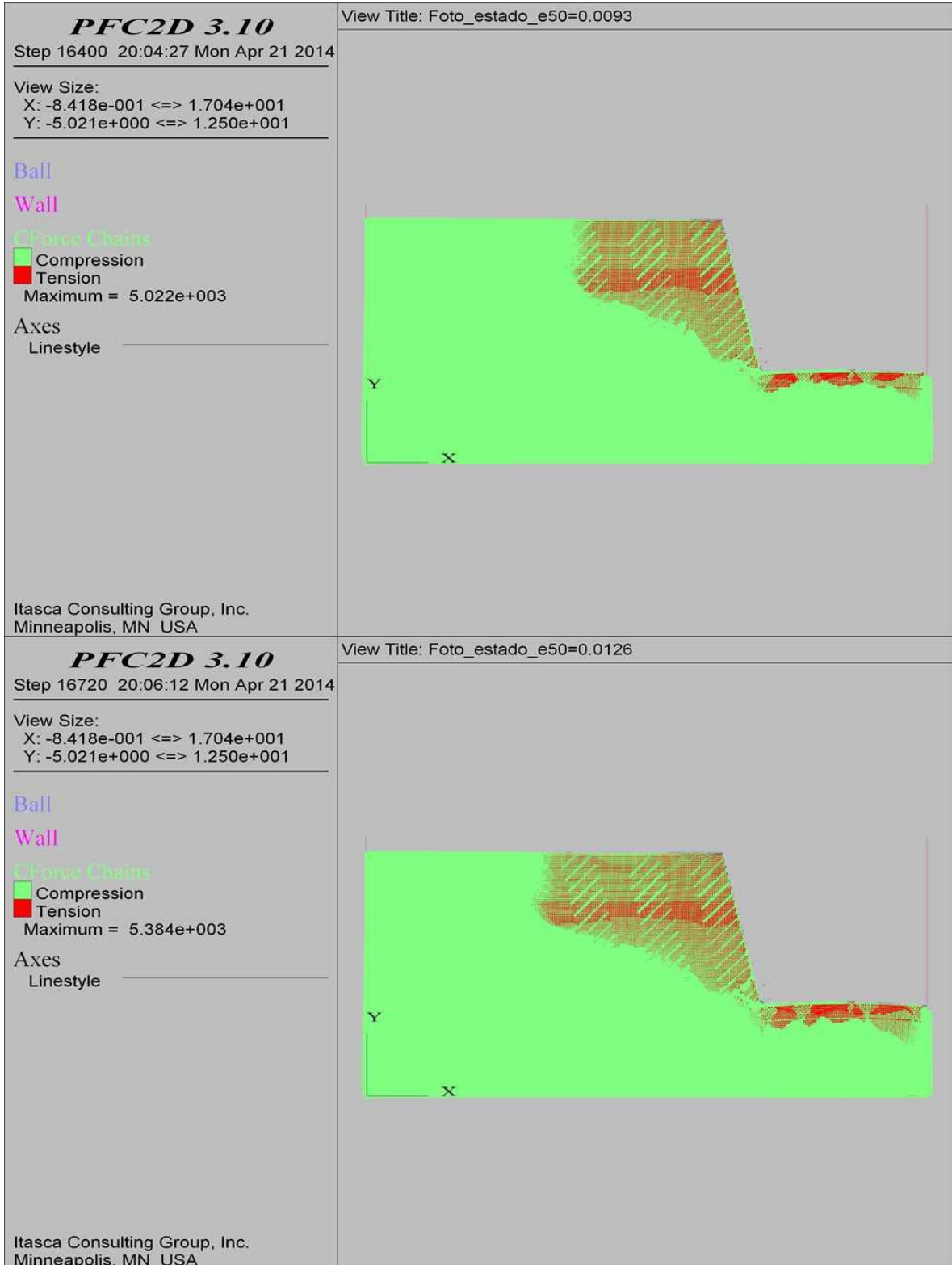
COMBINACIÓN 12: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA



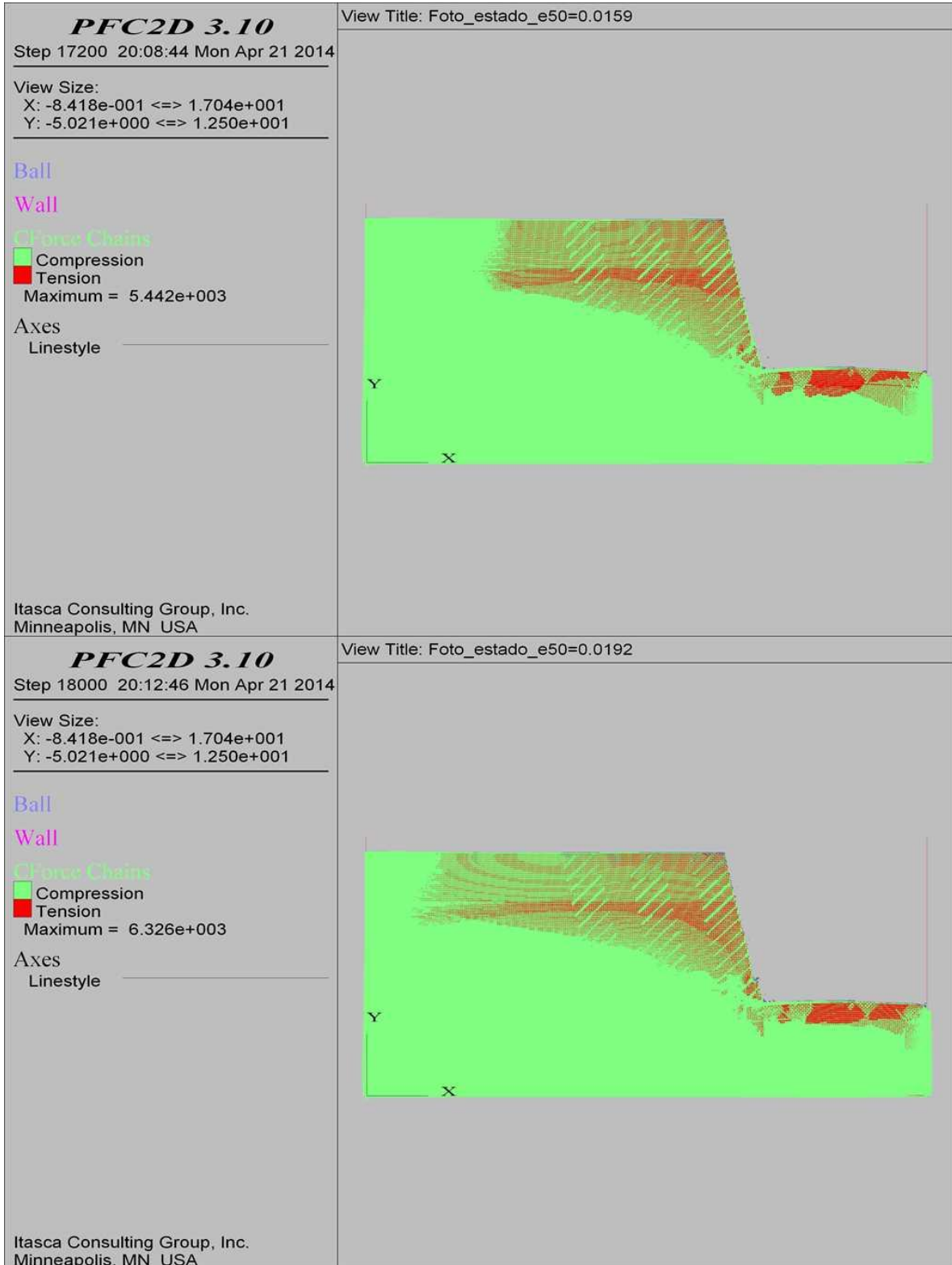
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



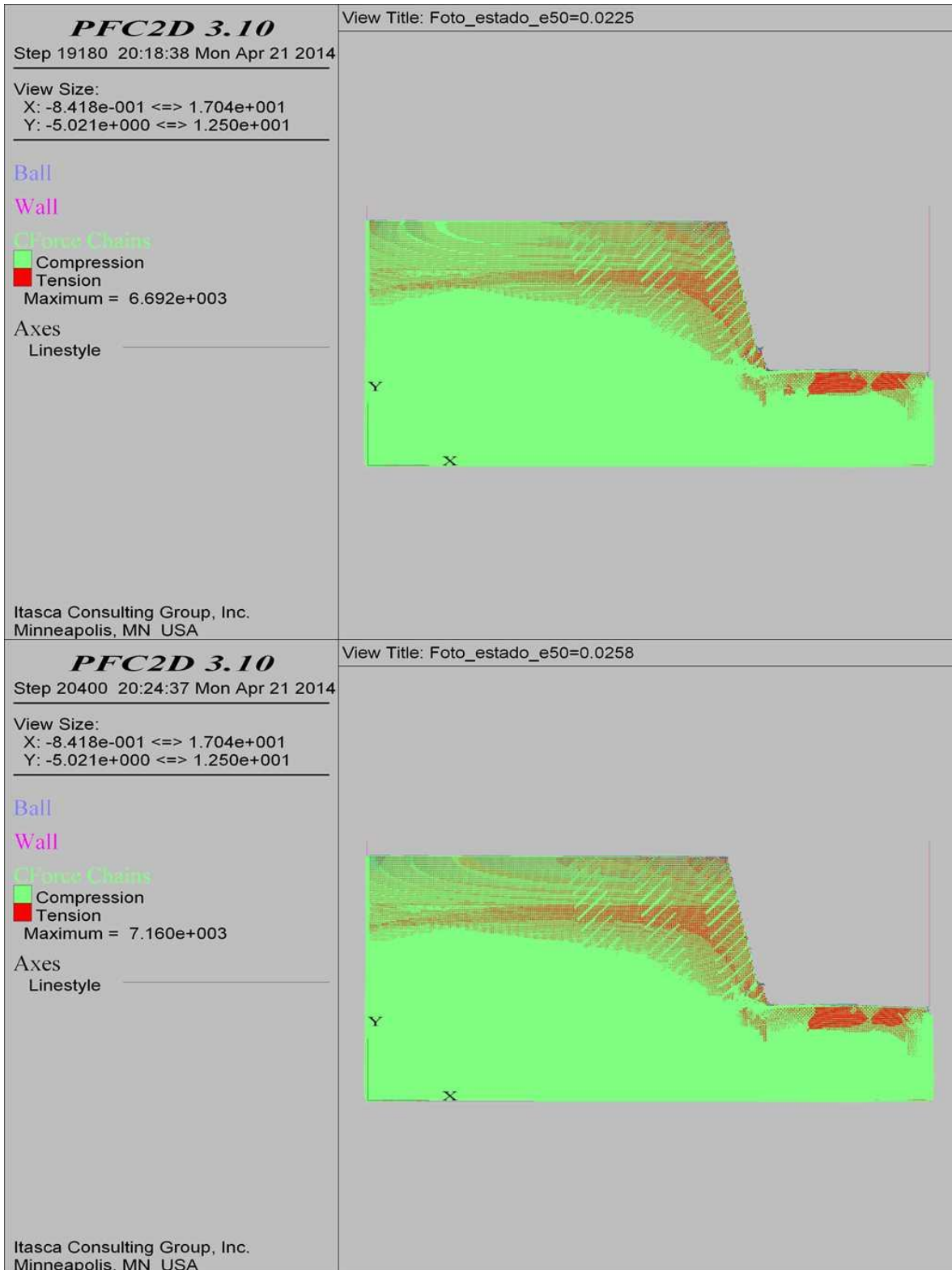
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



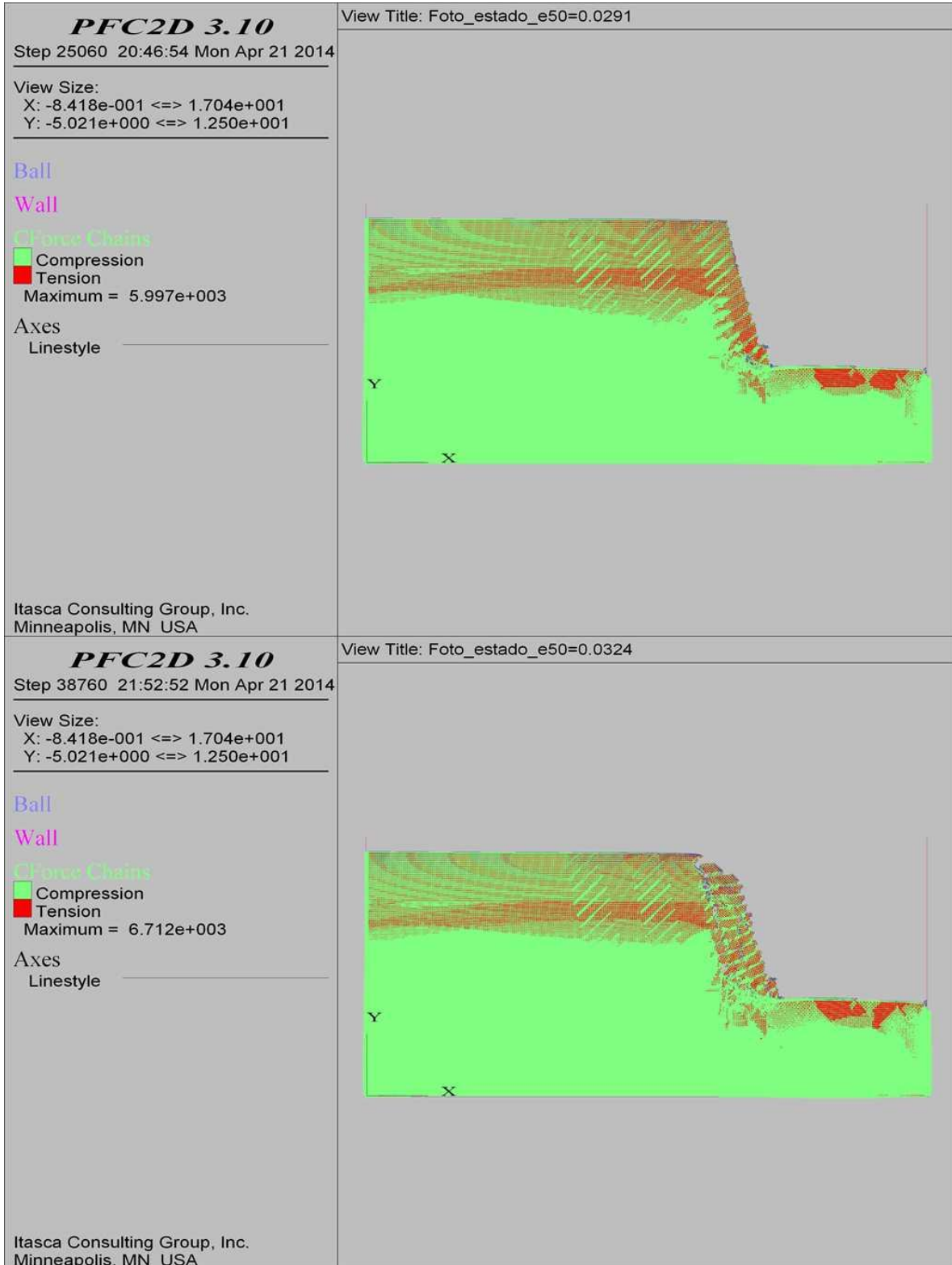
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



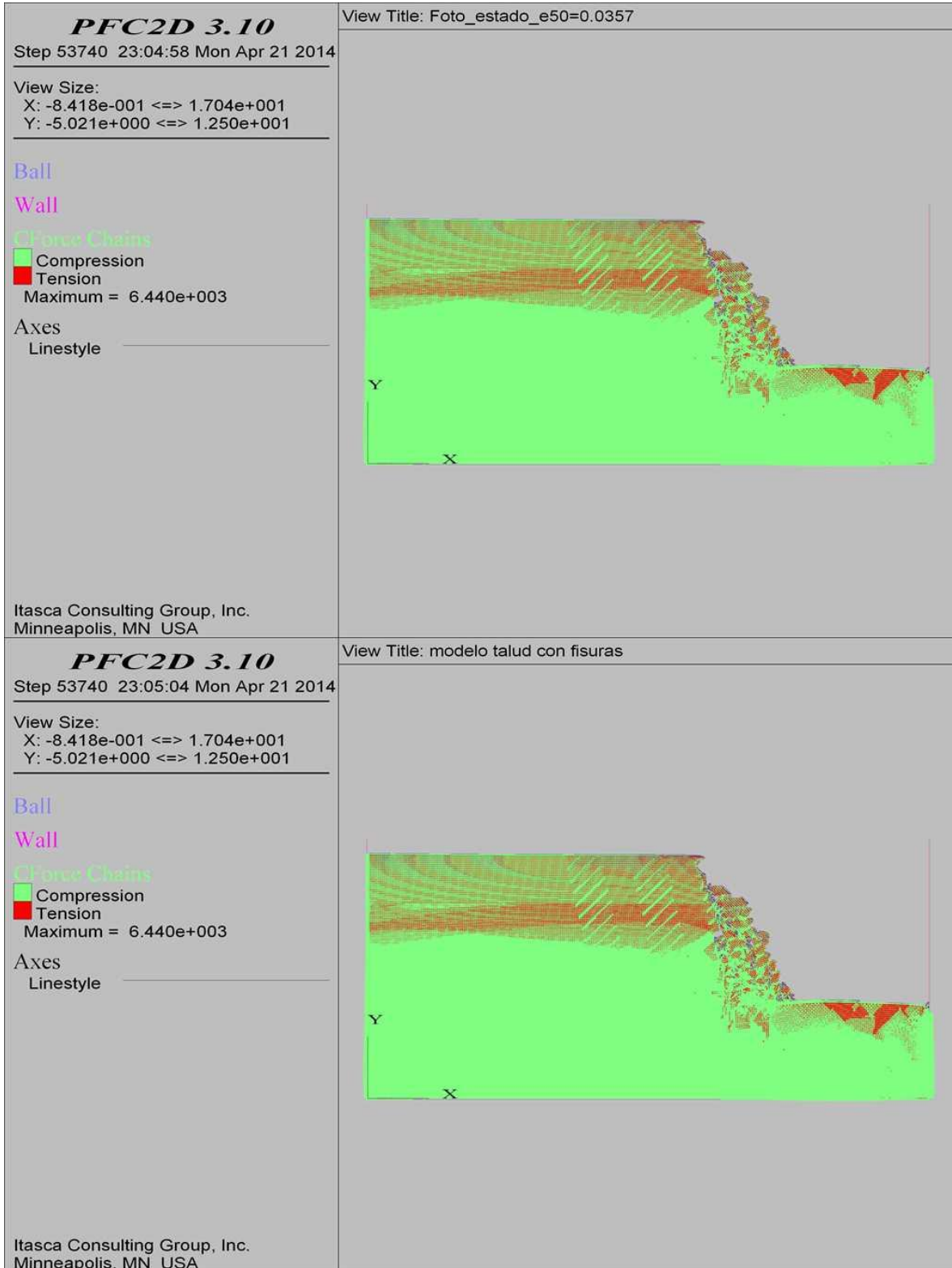
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



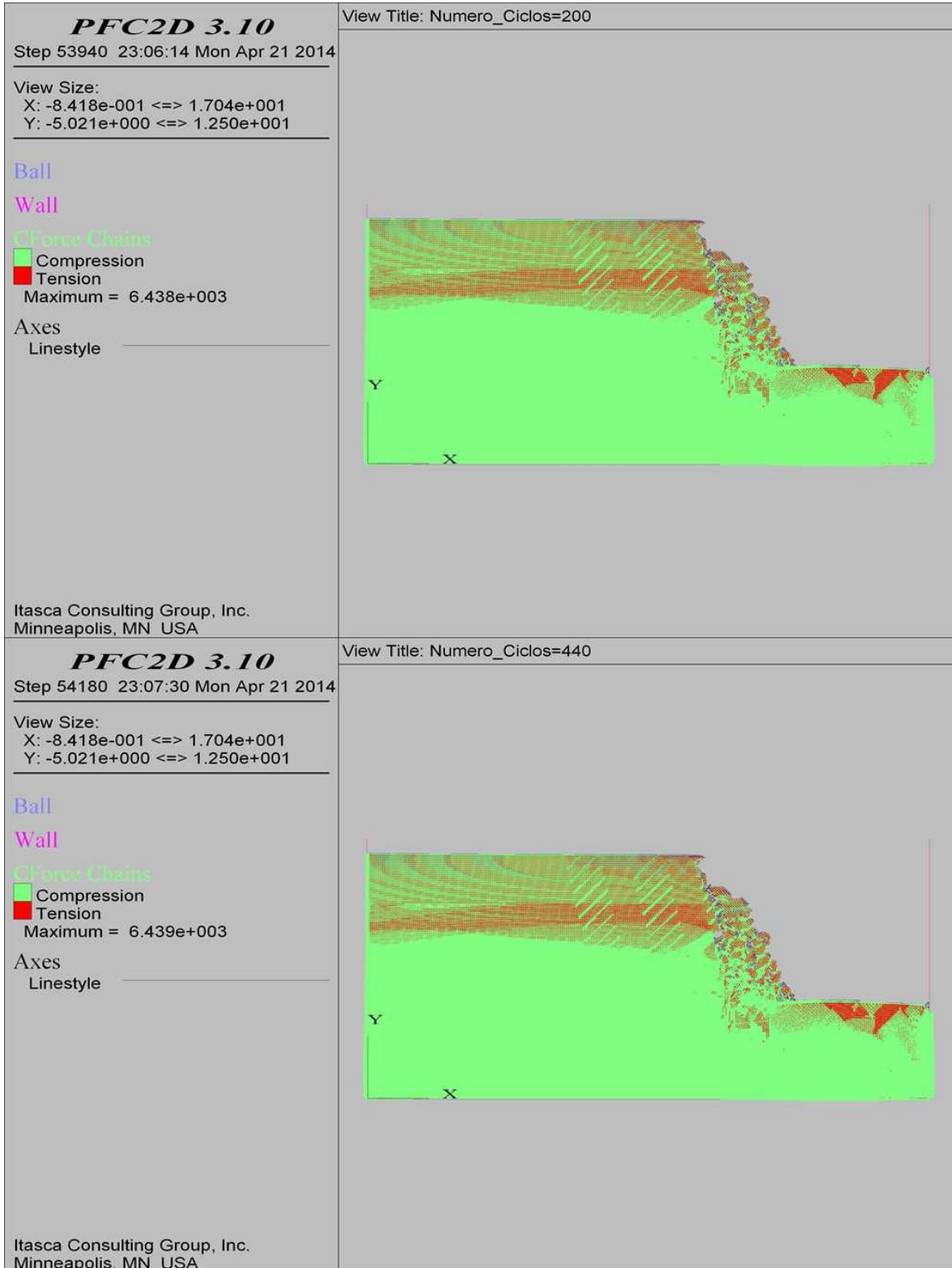
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



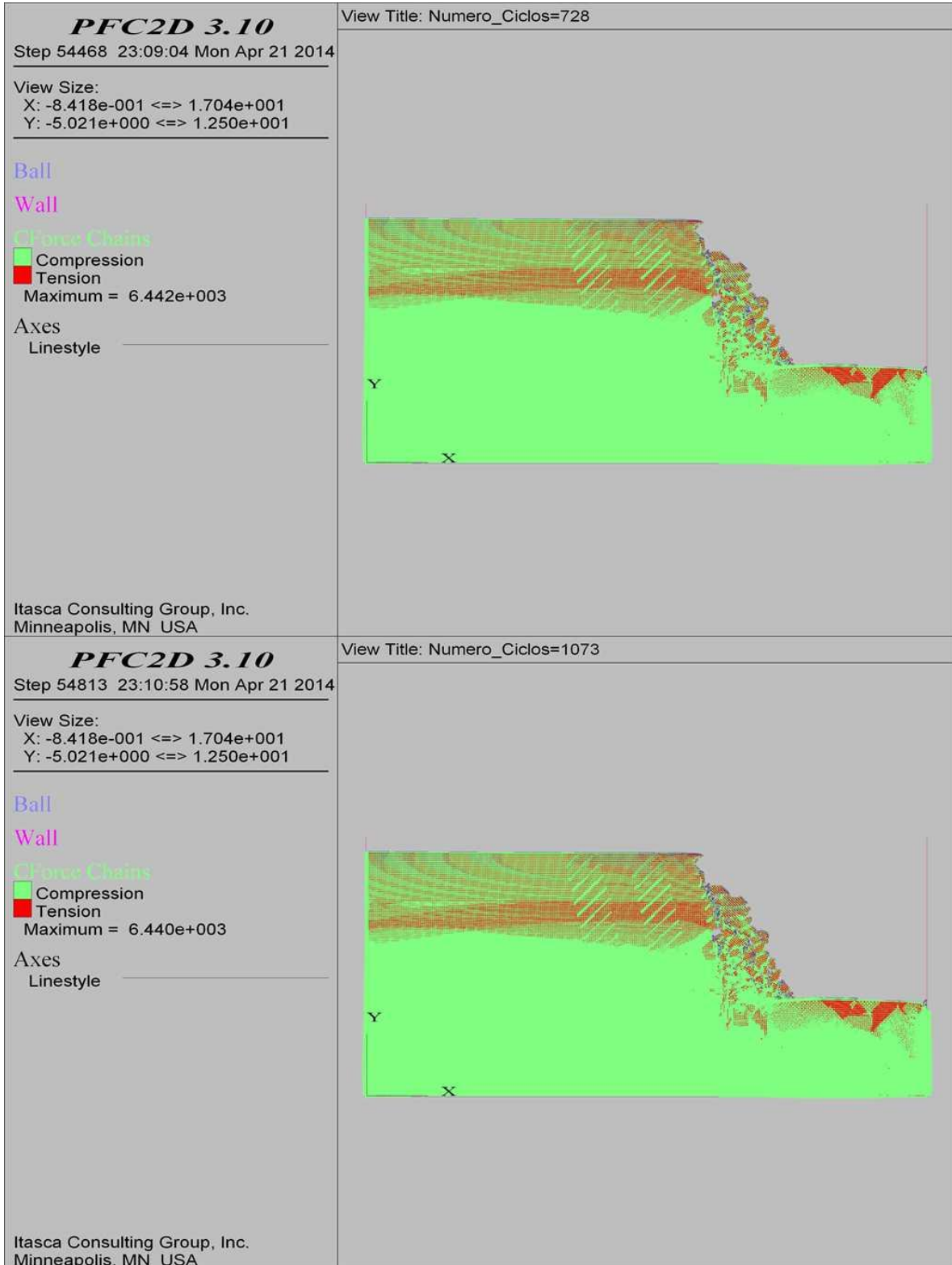
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



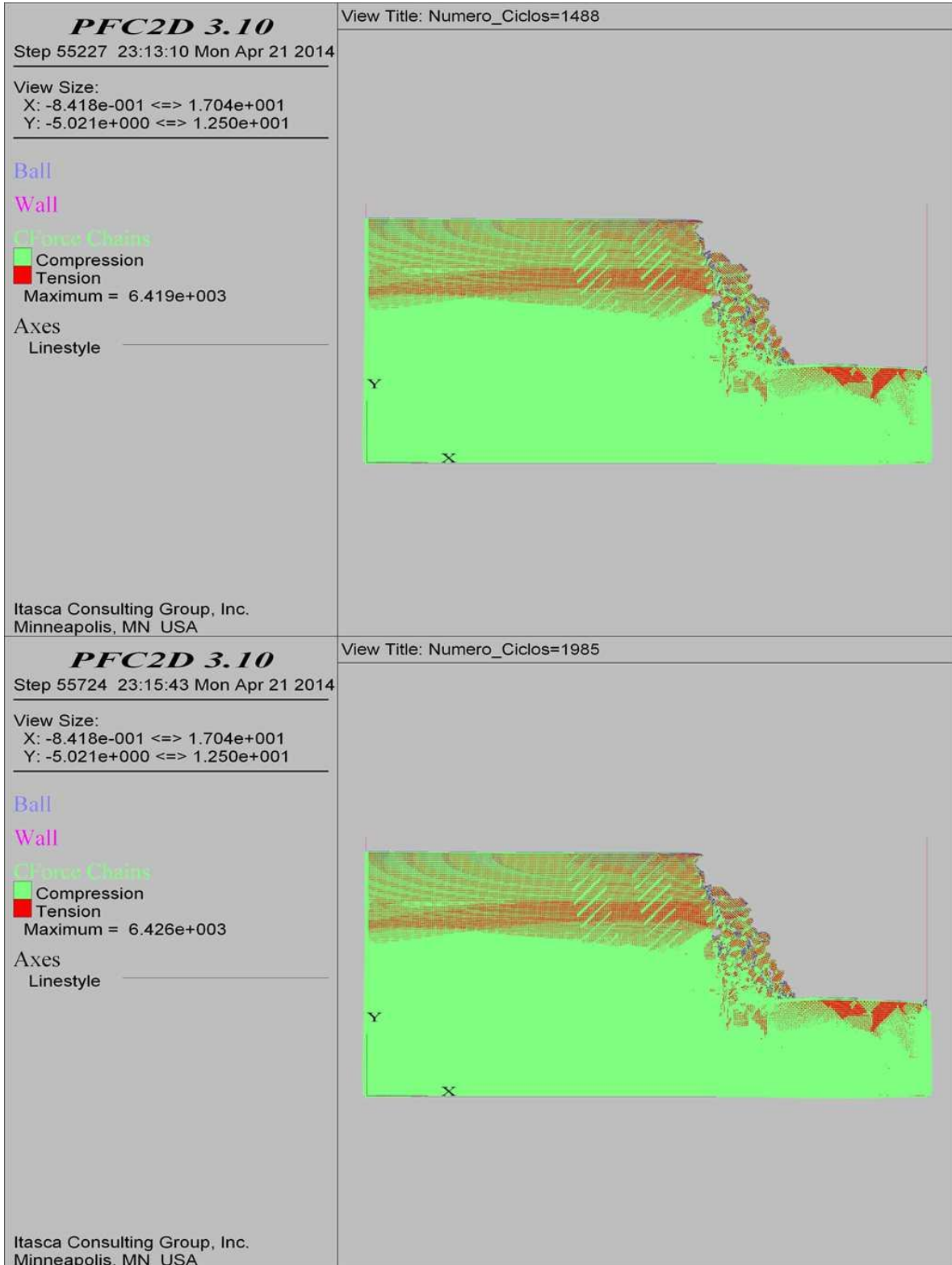
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



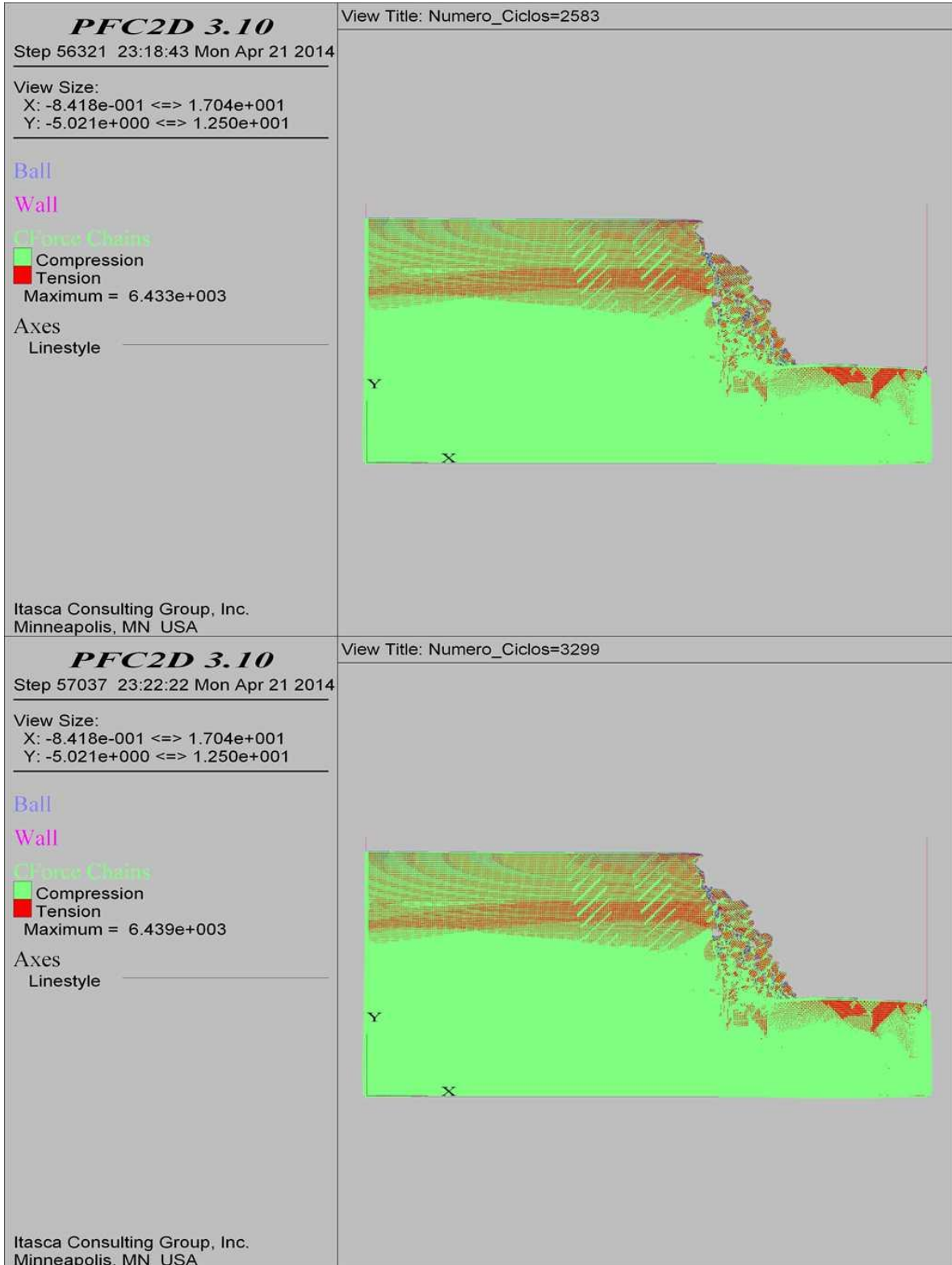
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



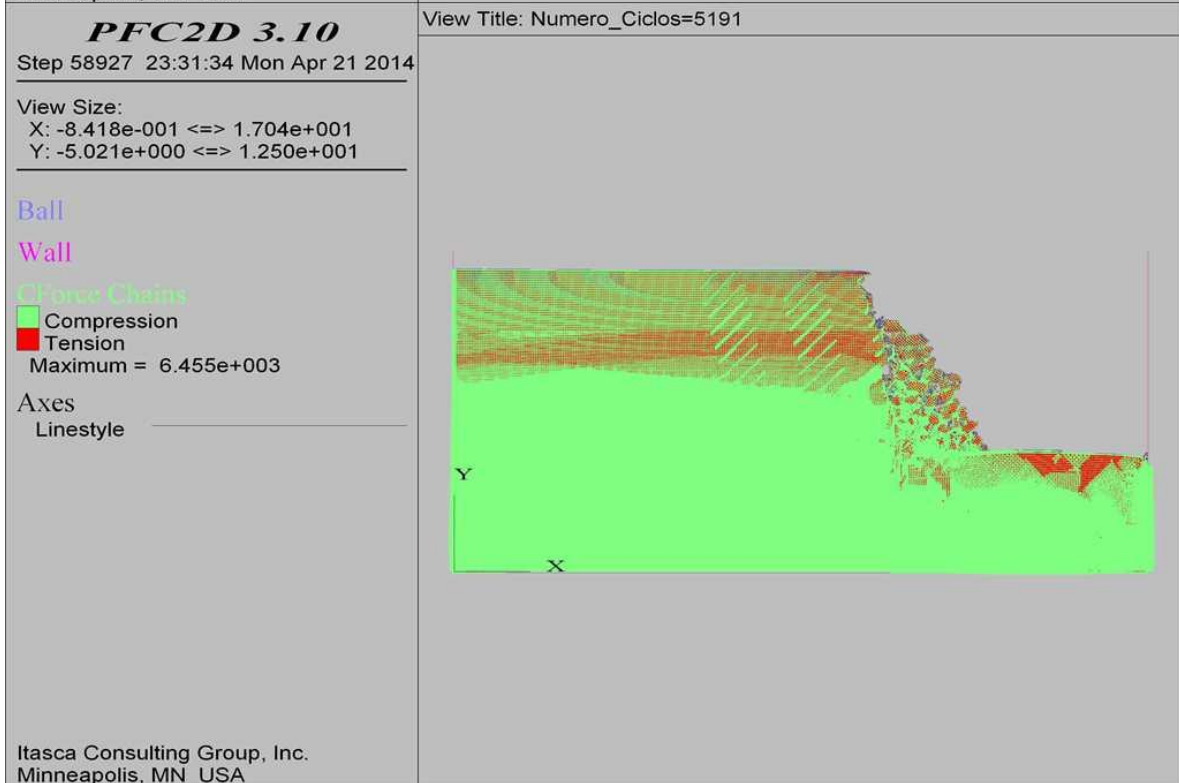
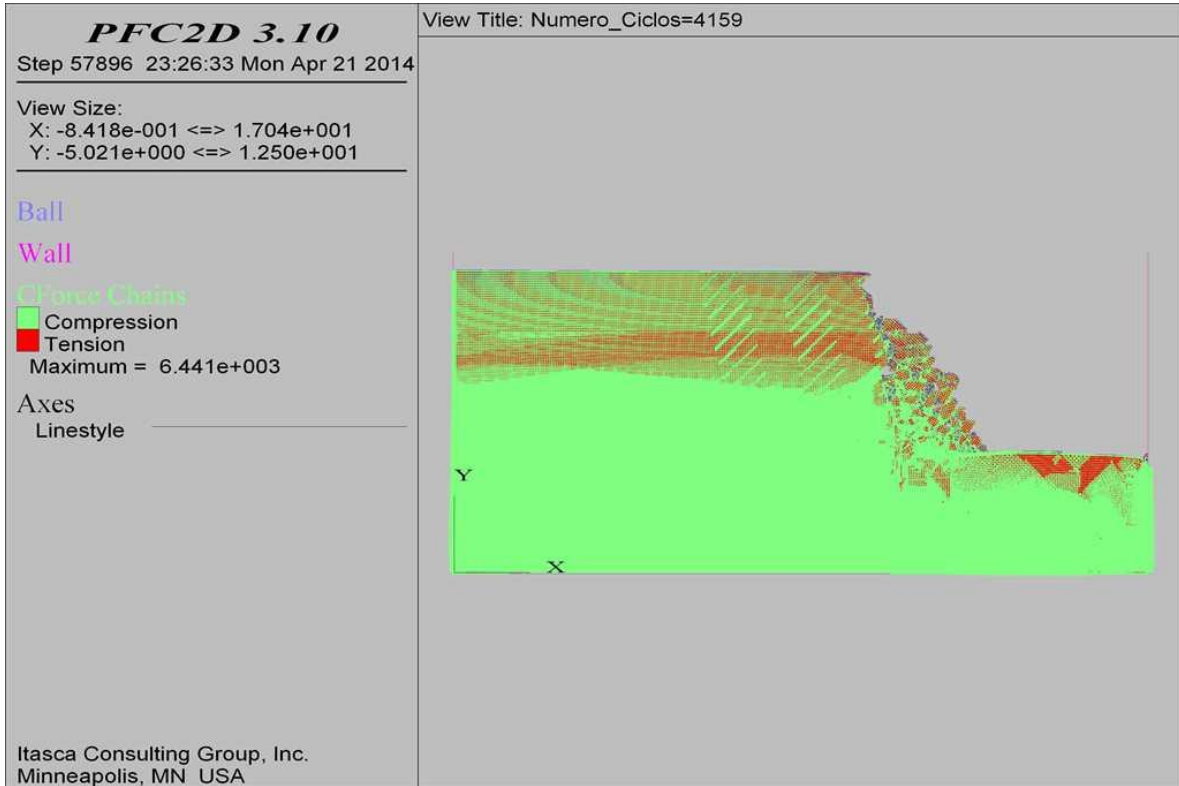
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



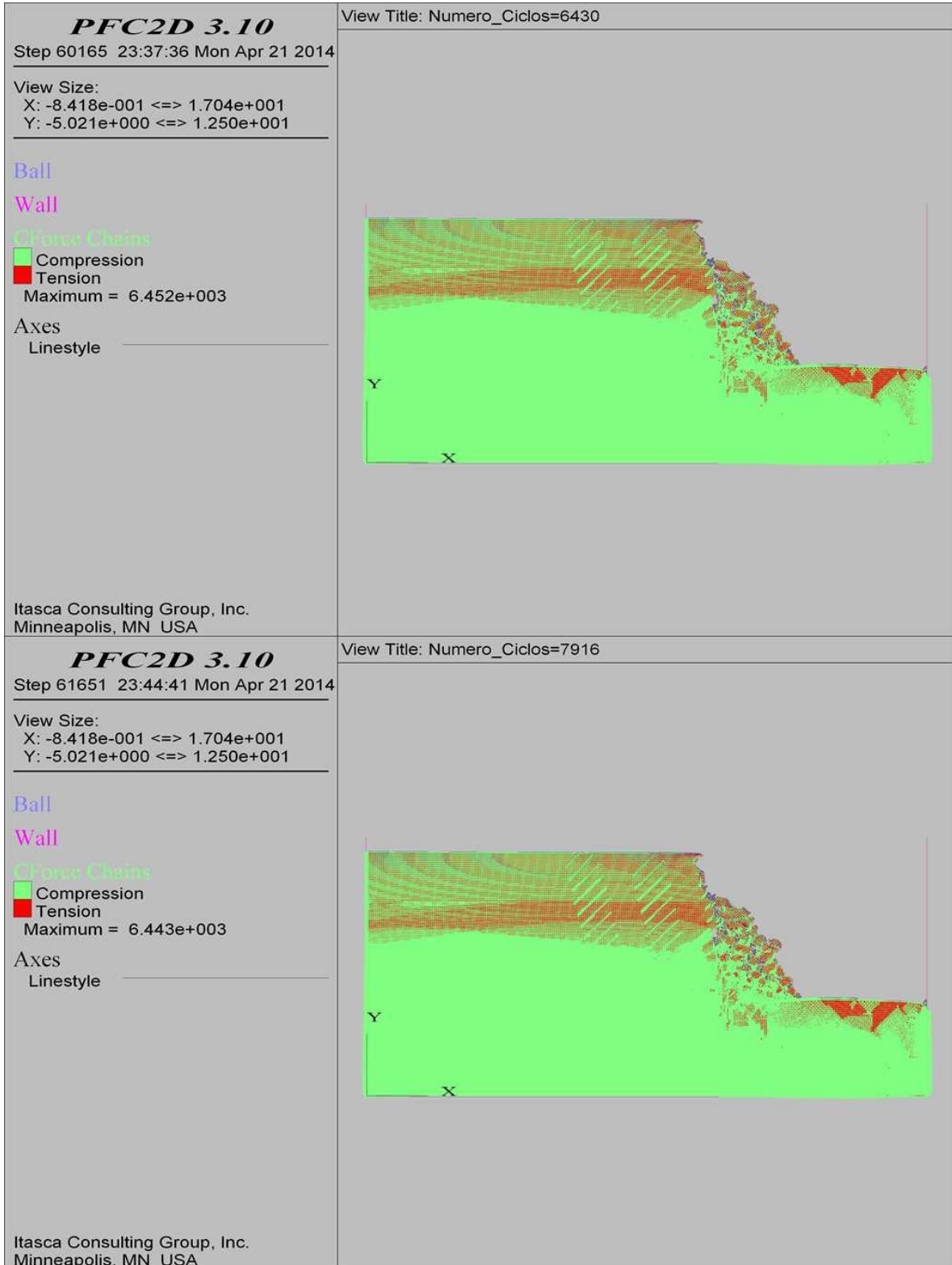
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



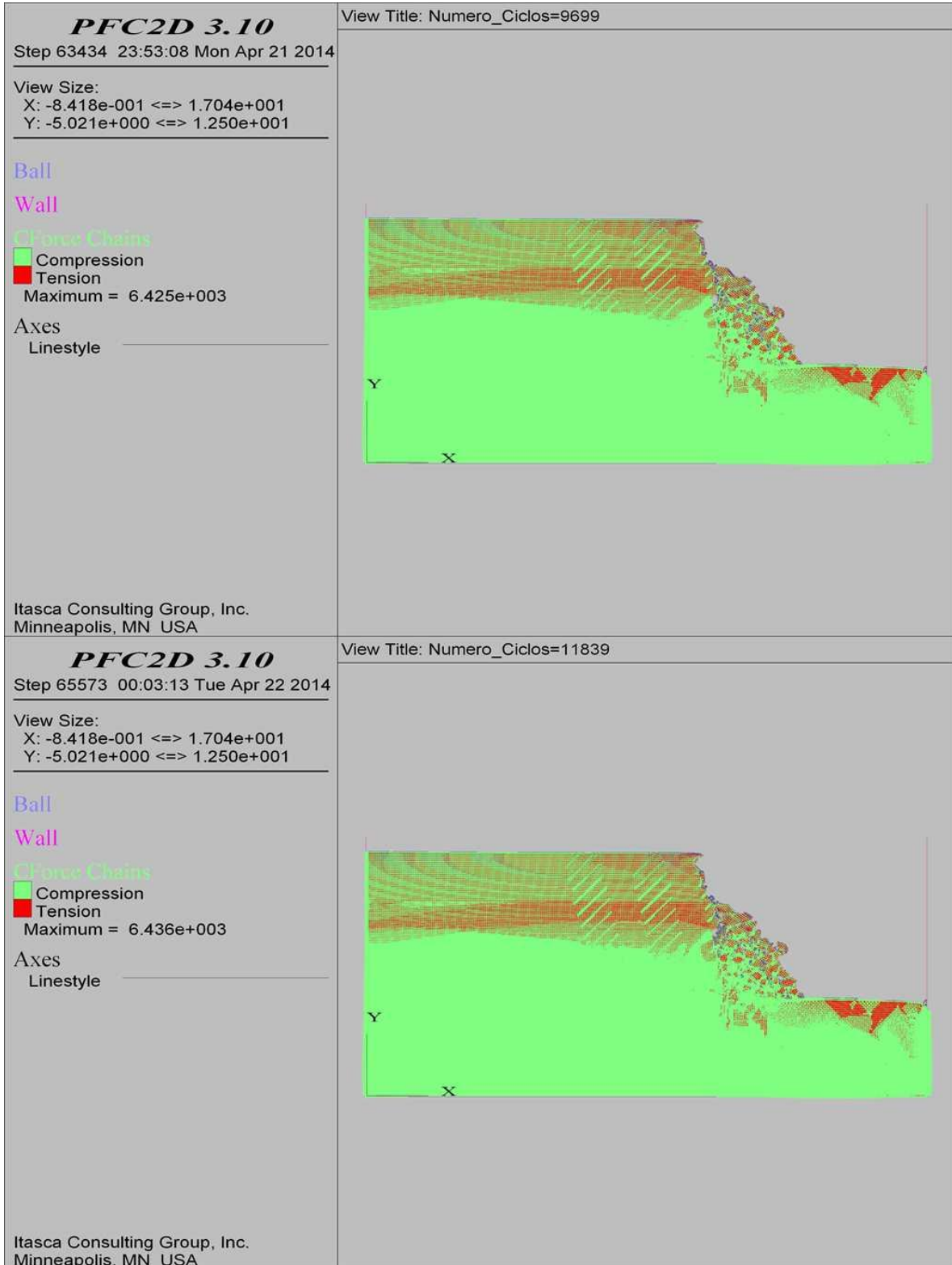
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA

PFC2D 3.10
Step 68140 00:15:14 Tue Apr 22 2014

View Size:
X: -8.418e-001 <=> 1.704e+001
Y: -5.021e+000 <=> 1.250e+001

Ball

Wall

Force Chains

Compression

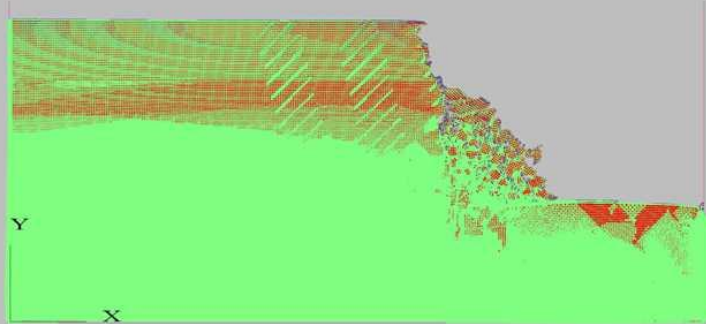
Tension

Maximum = 6.456e+003

Axes

Linestyle

View Title: Numero_Ciclos=14407



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

PFC2D 3.10

Step 71221 00:29:39 Tue Apr 22 2014

View Size:
X: -8.418e-001 <=> 1.704e+001
Y: -5.021e+000 <=> 1.250e+001

Ball

Wall

Force Chains

Compression

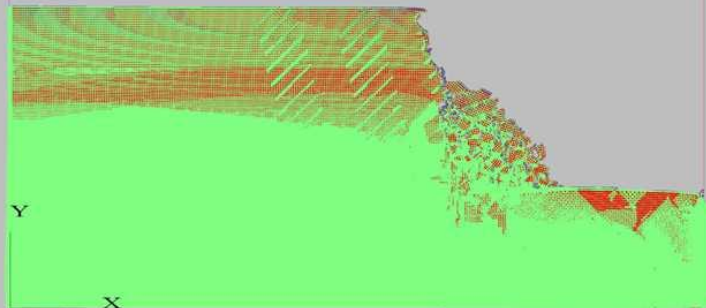
Tension

Maximum = 6.412e+003

Axes

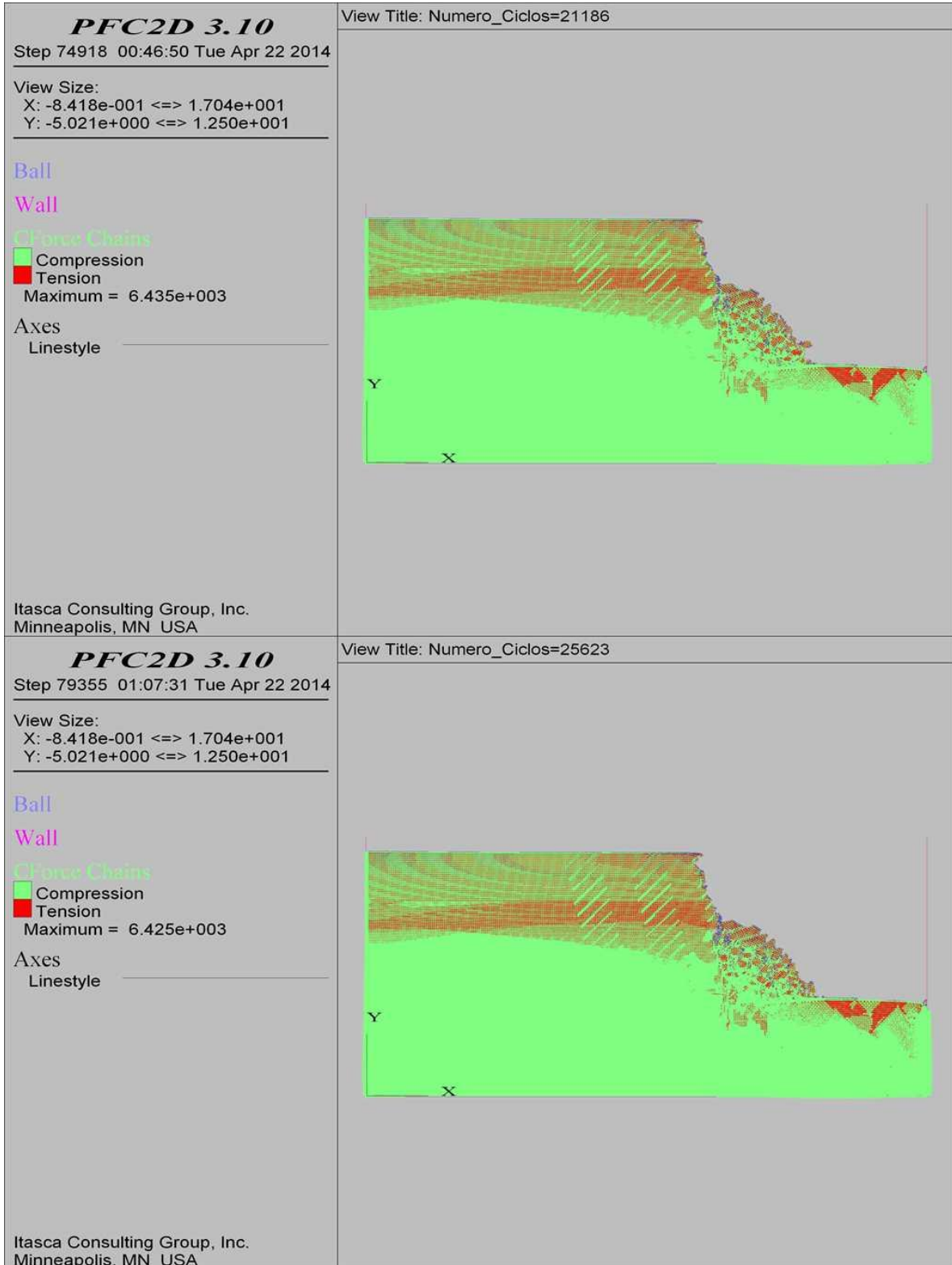
Linestyle

View Title: Numero_Ciclos=17488

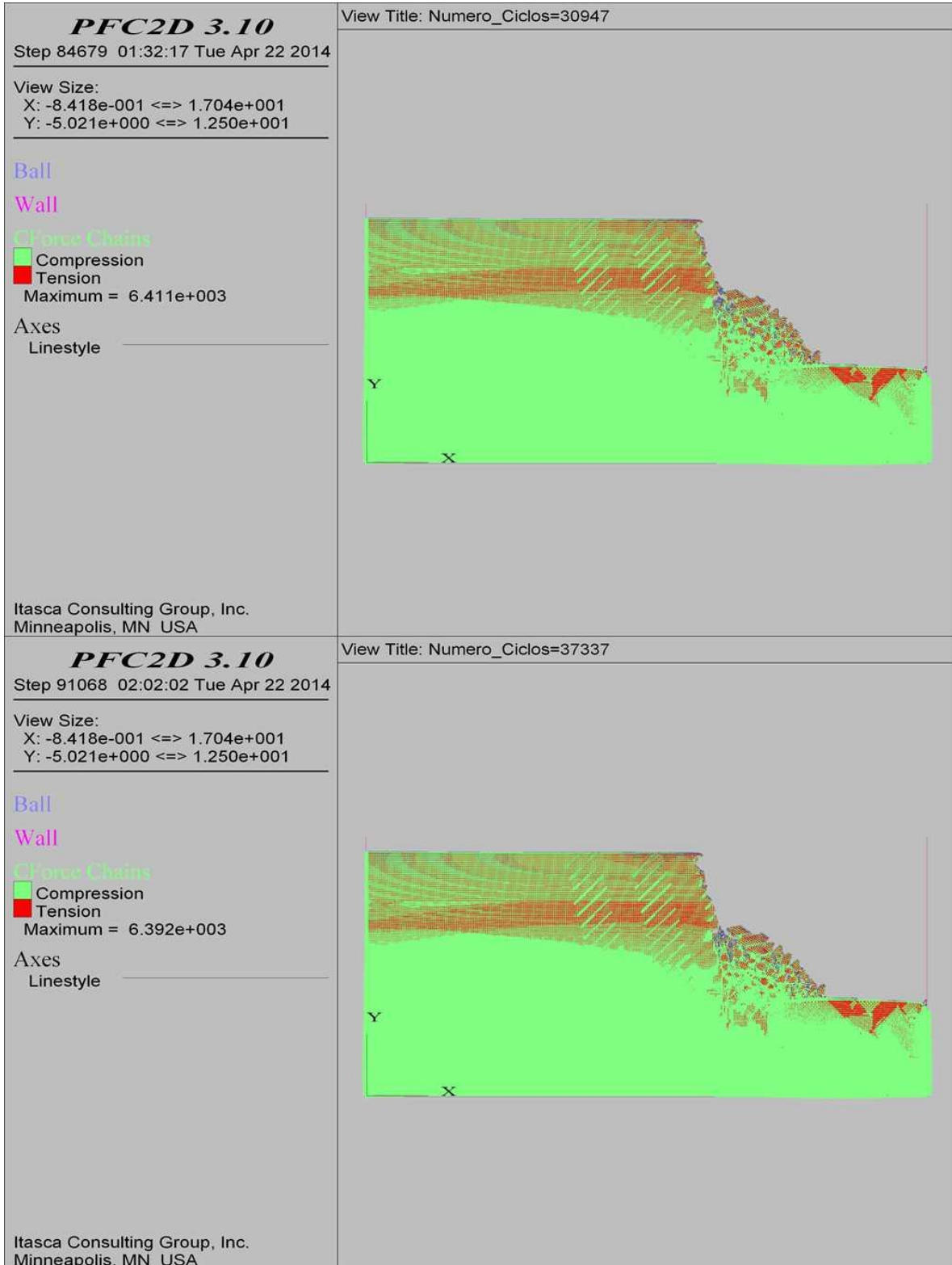


Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

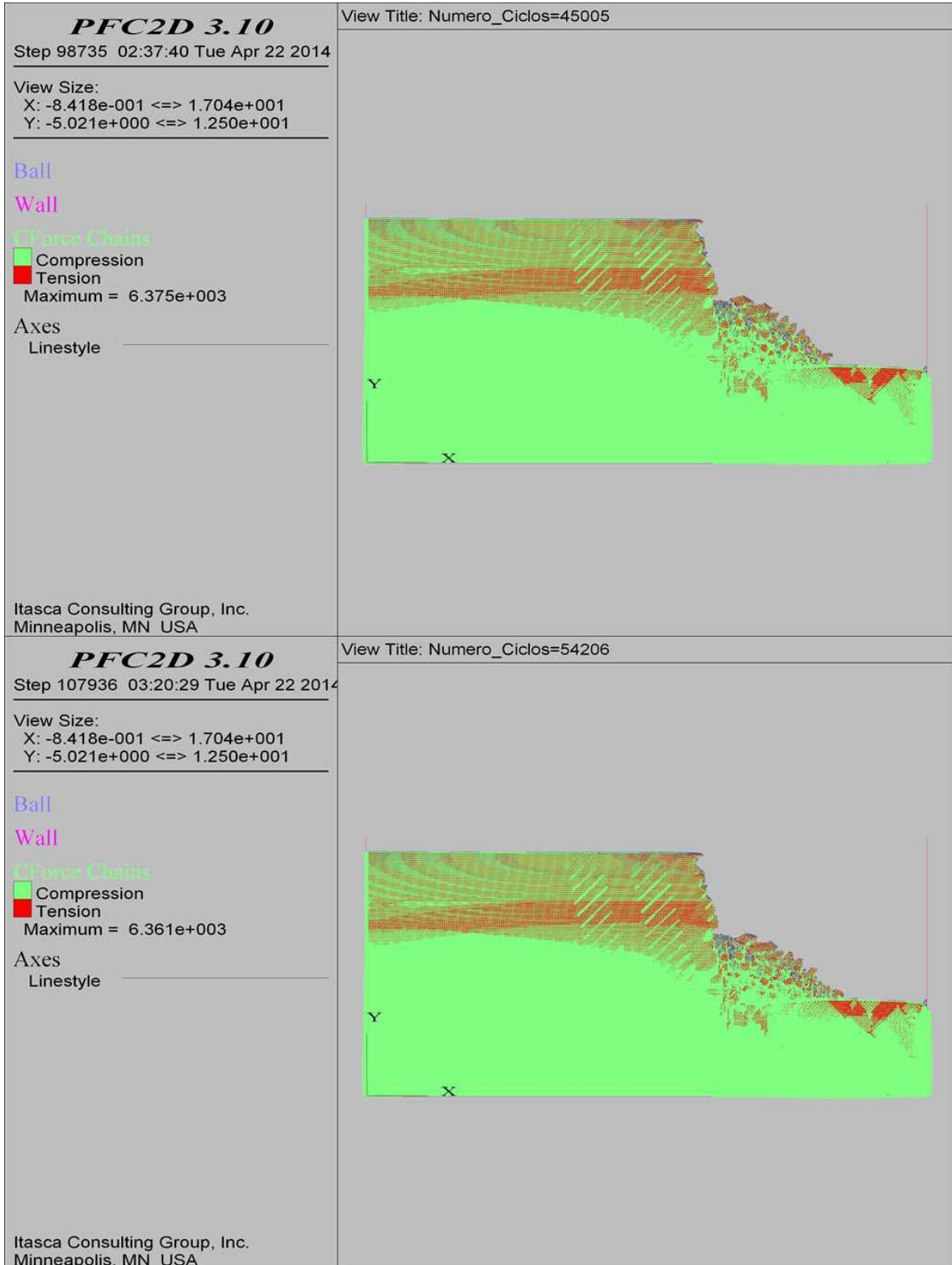
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



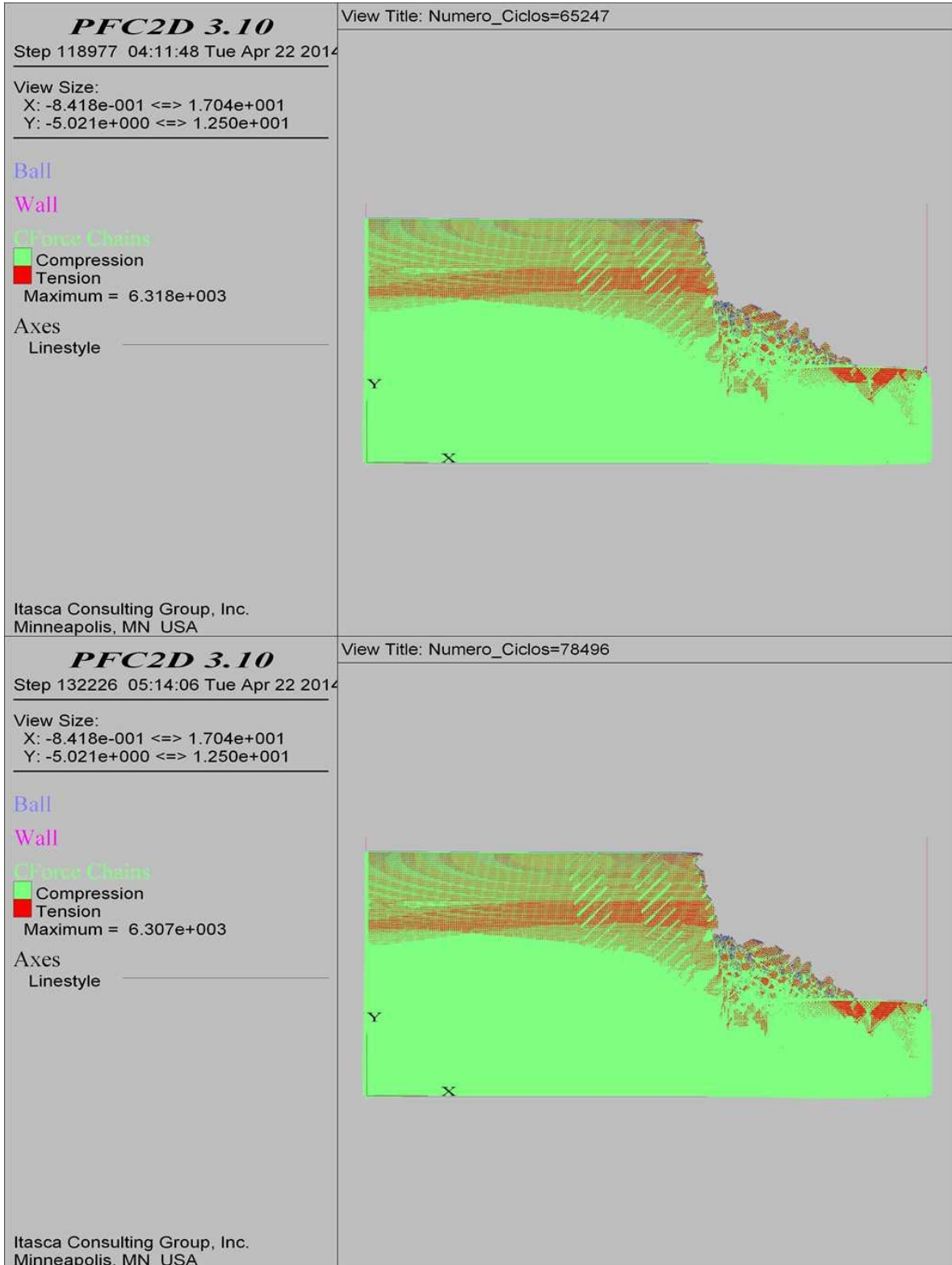
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



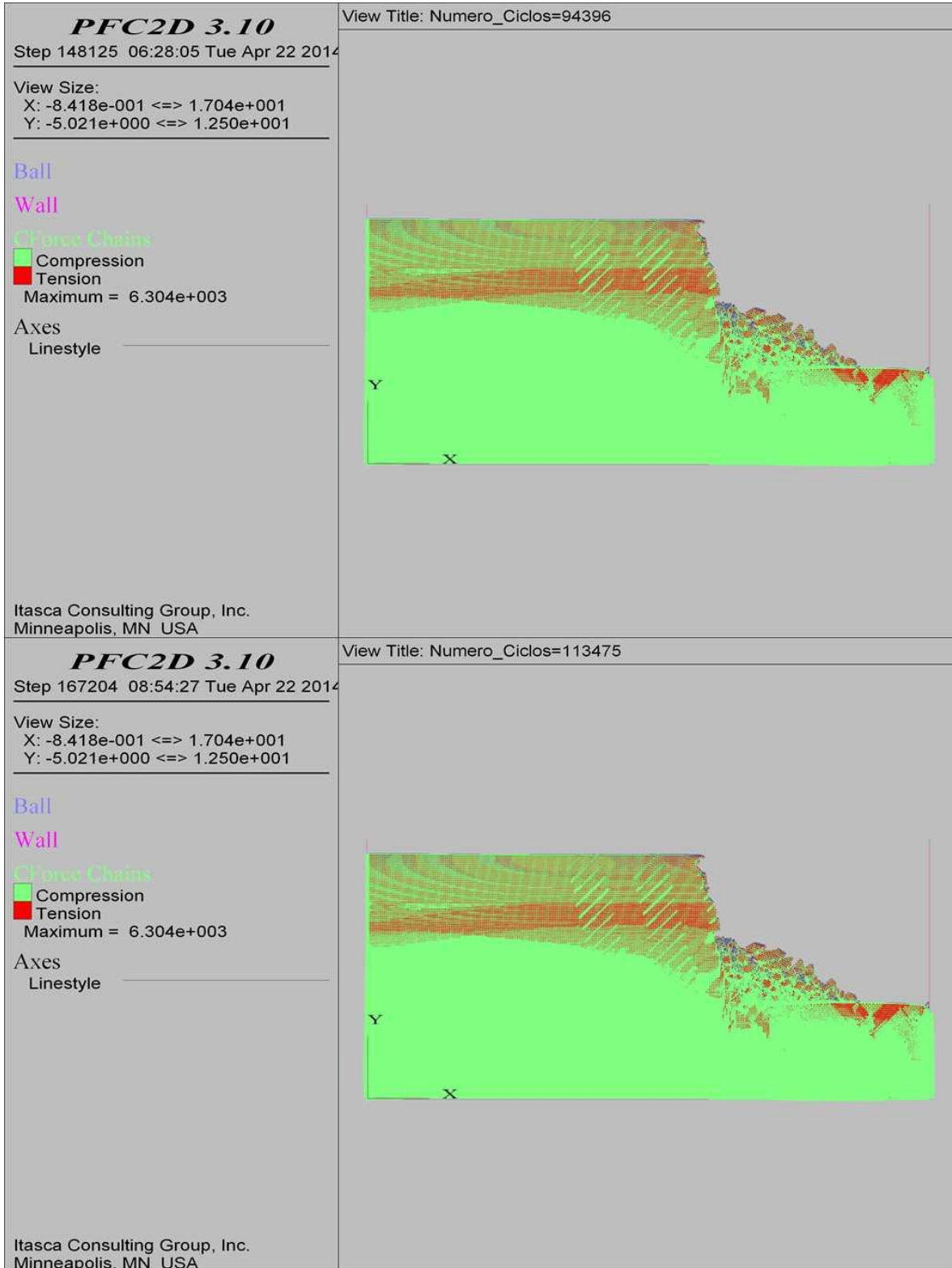
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



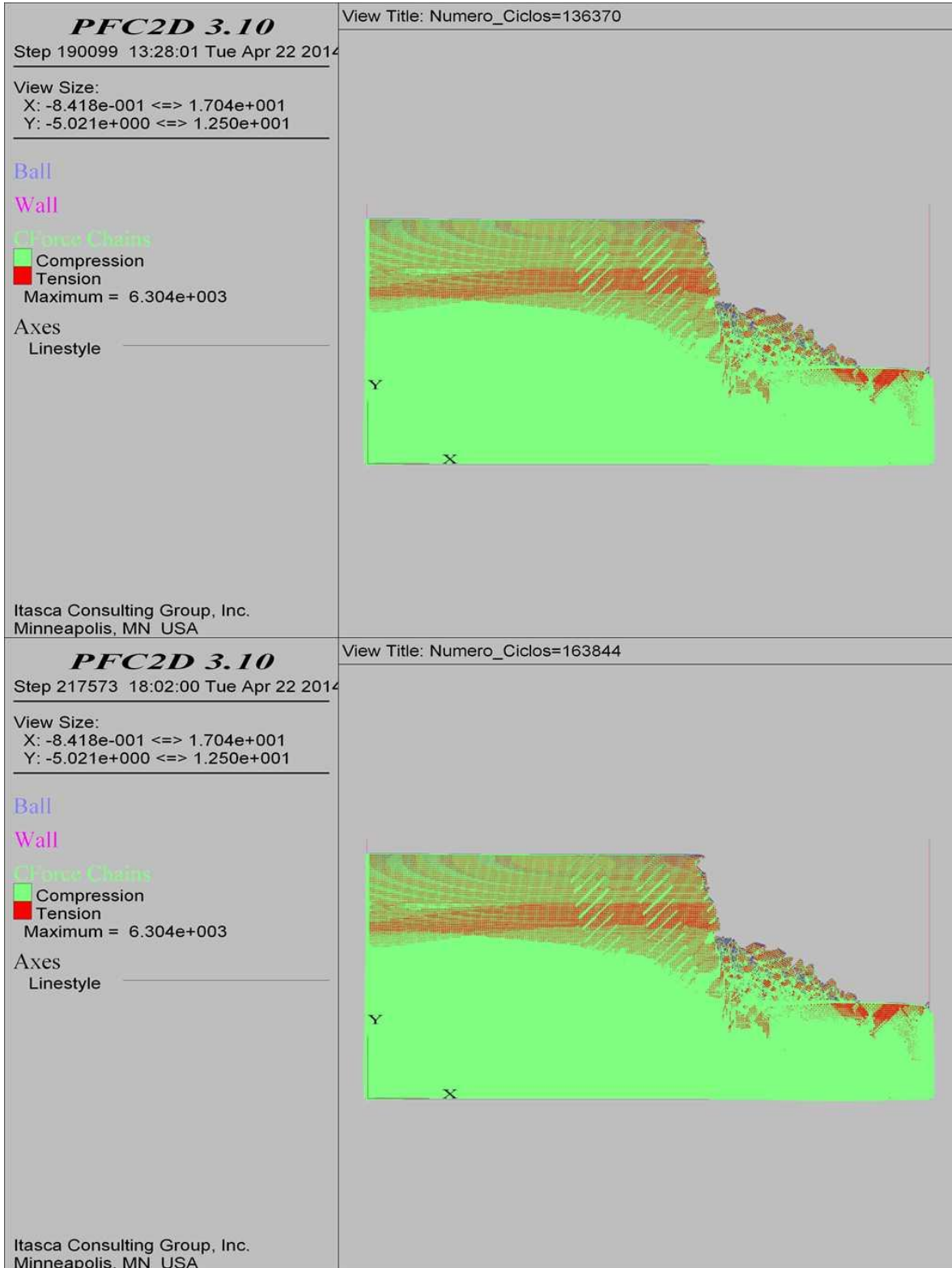
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



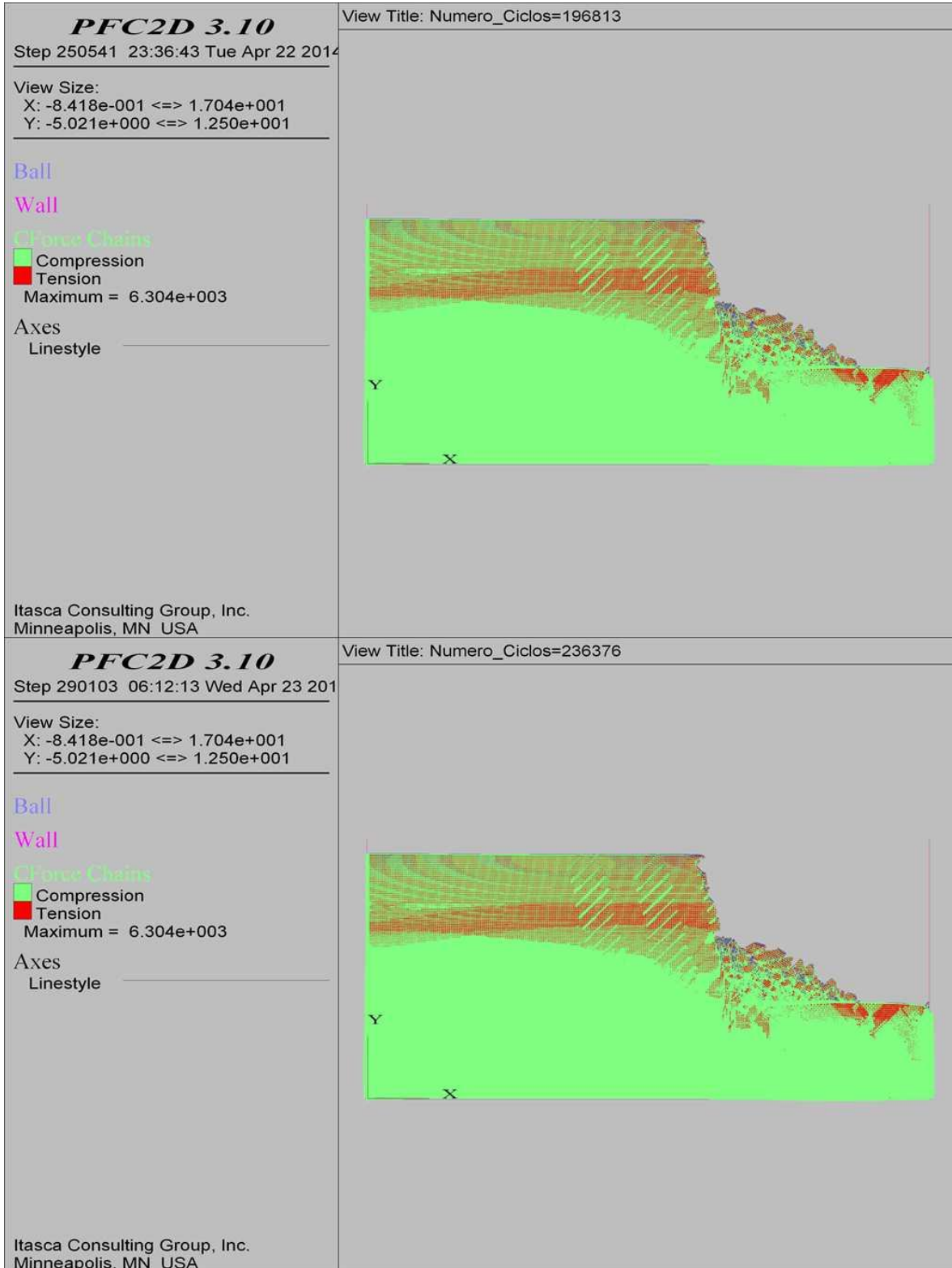
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



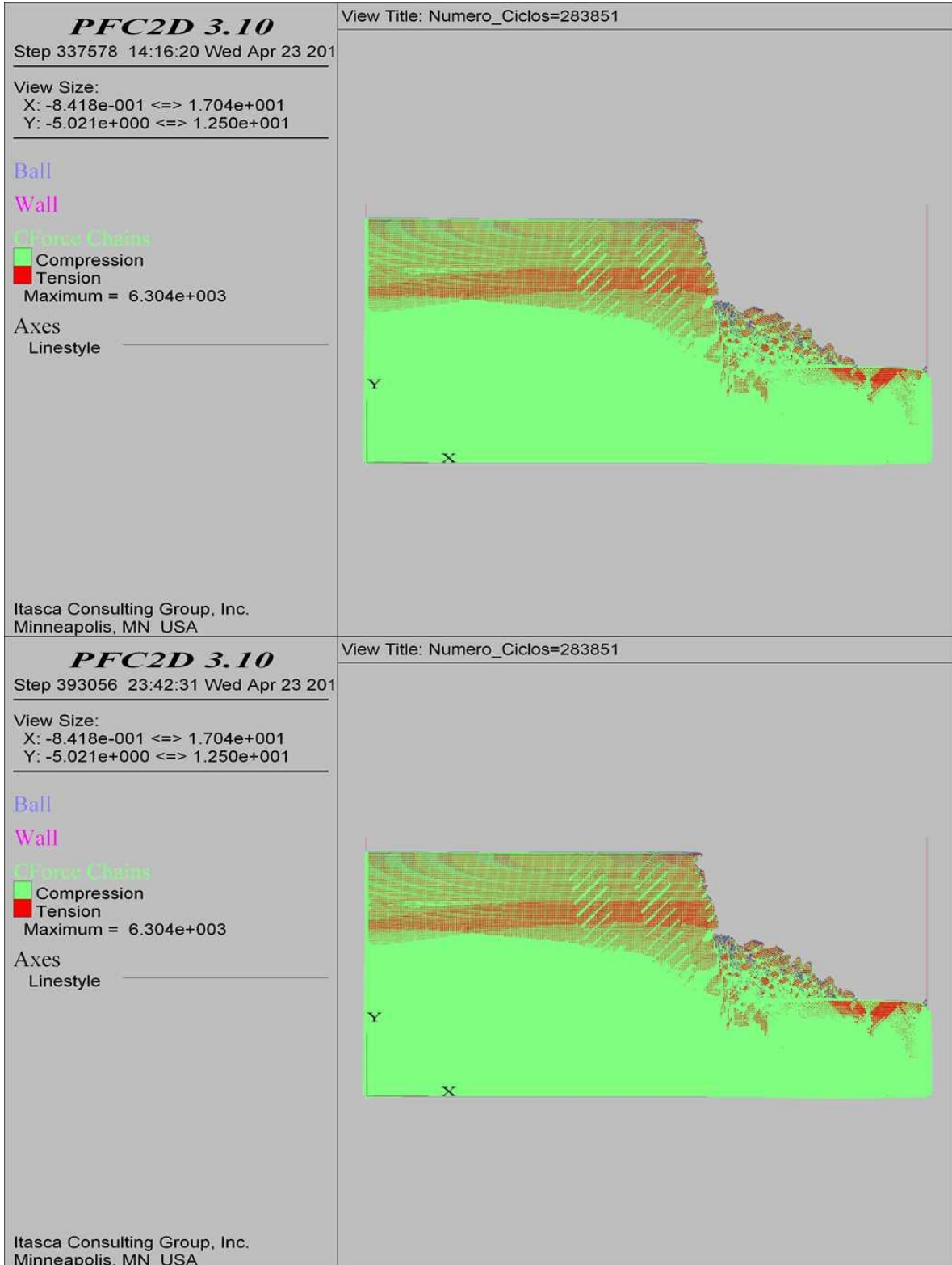
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



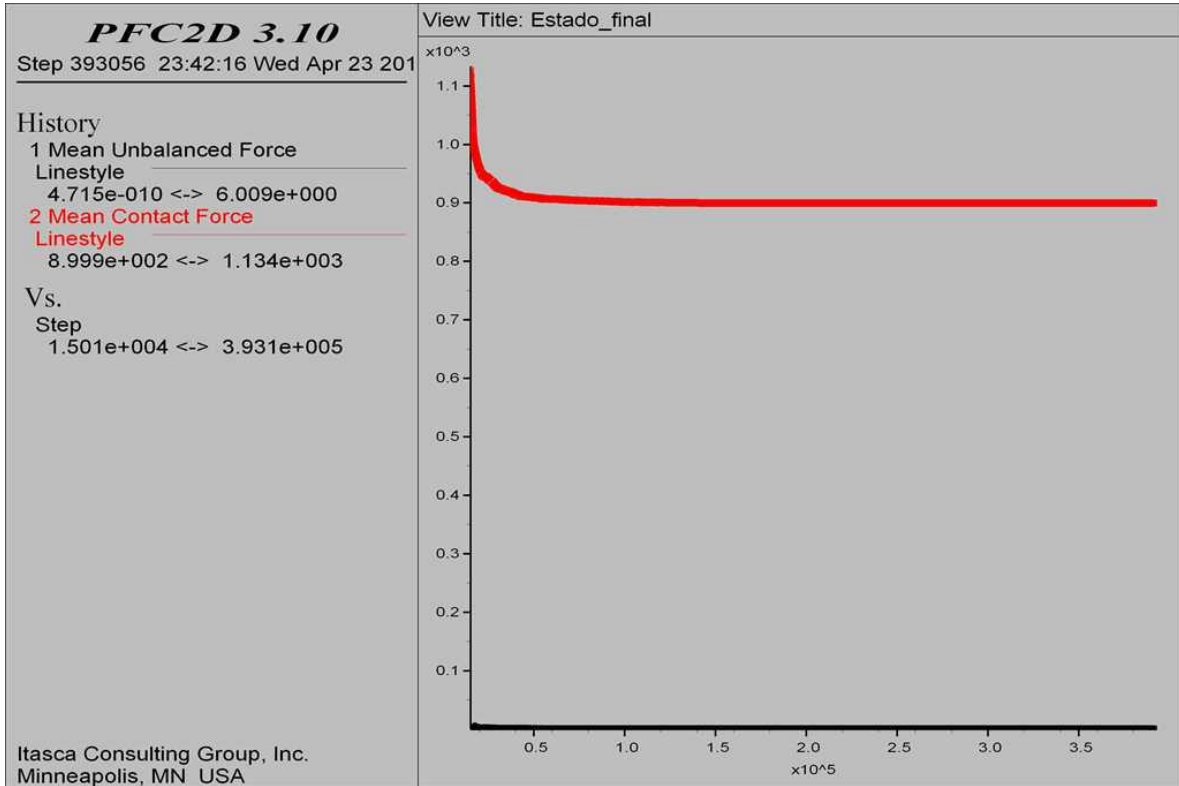
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



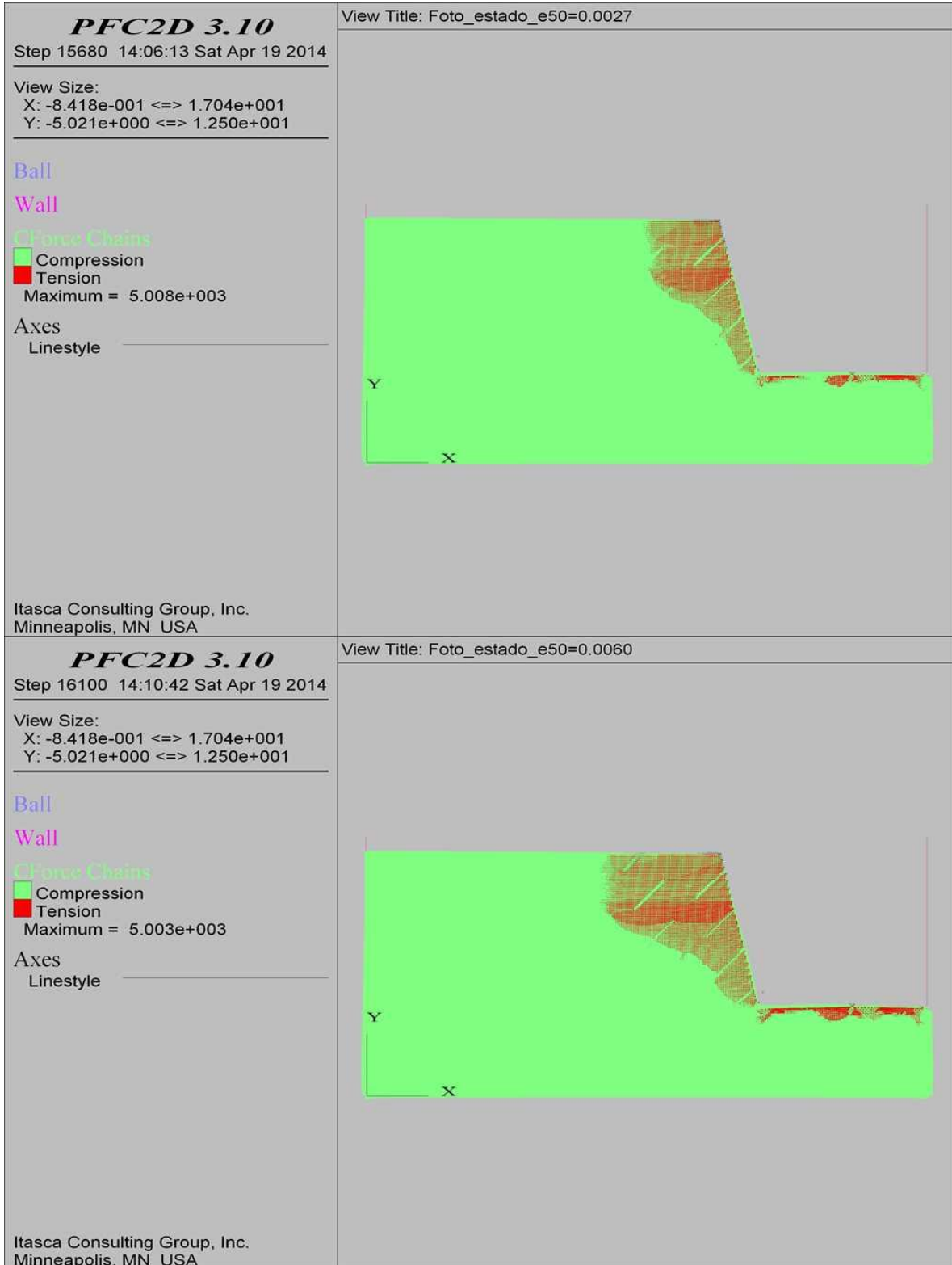
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



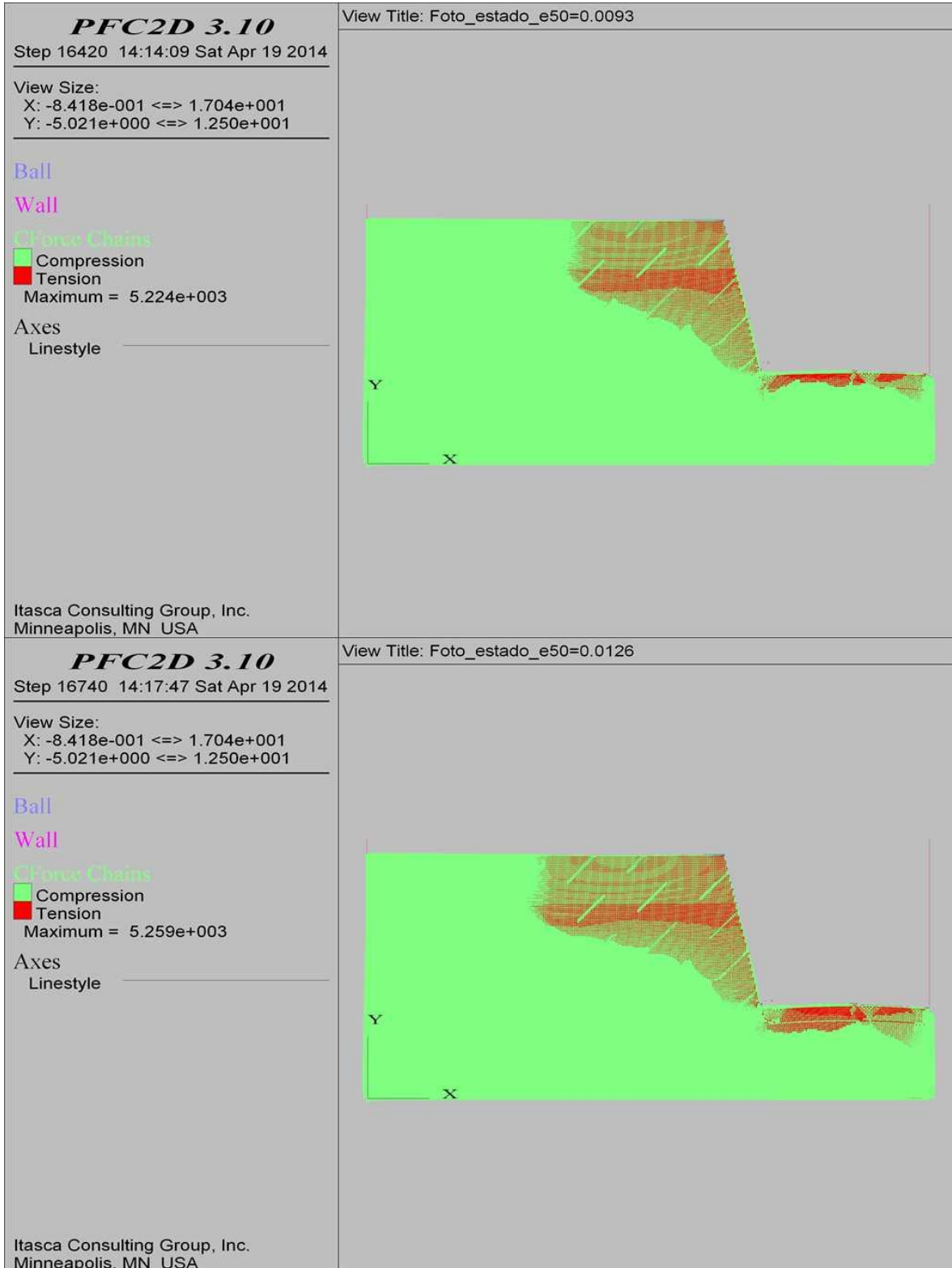
COMBINACIÓN 13: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA



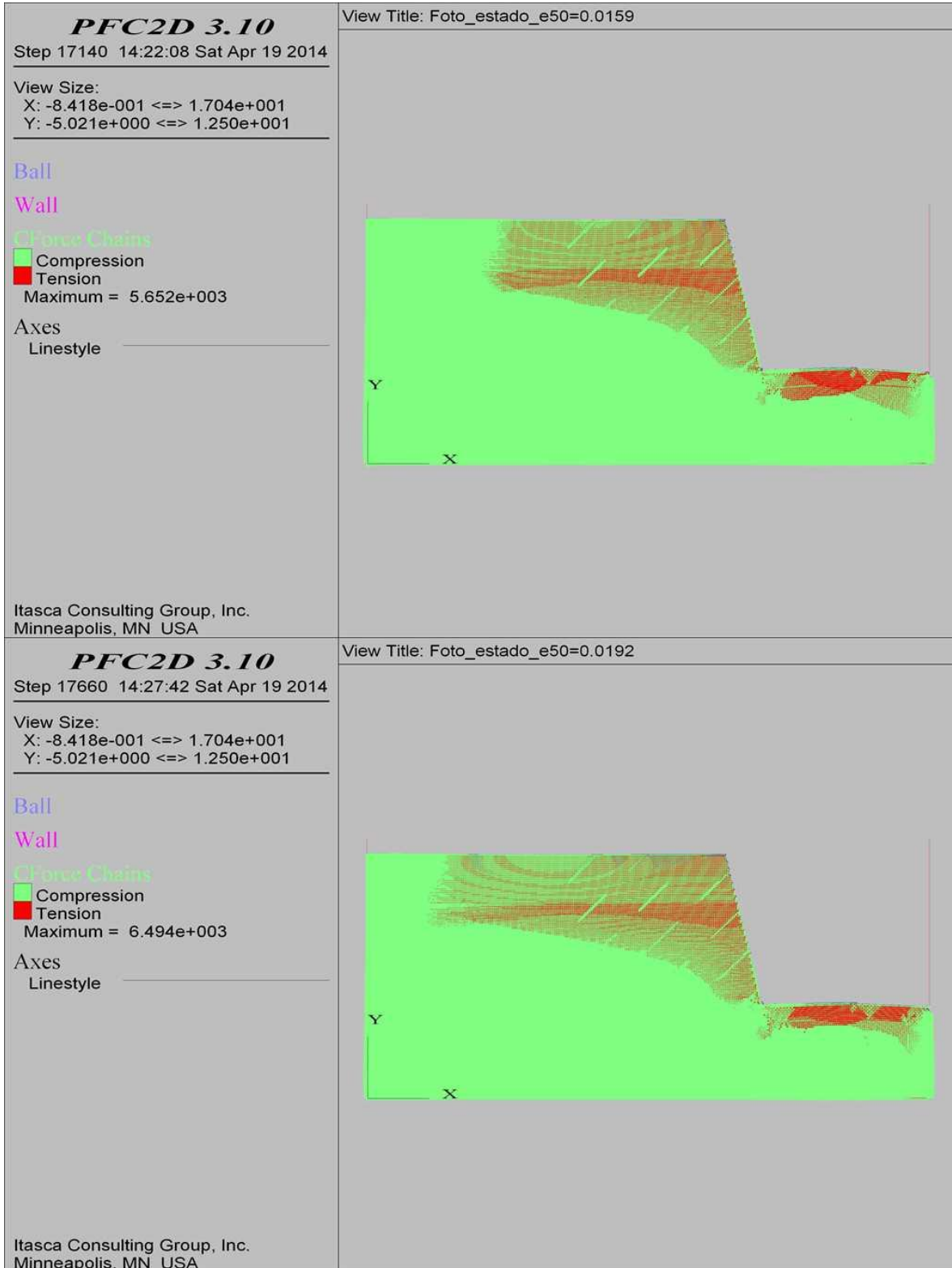
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



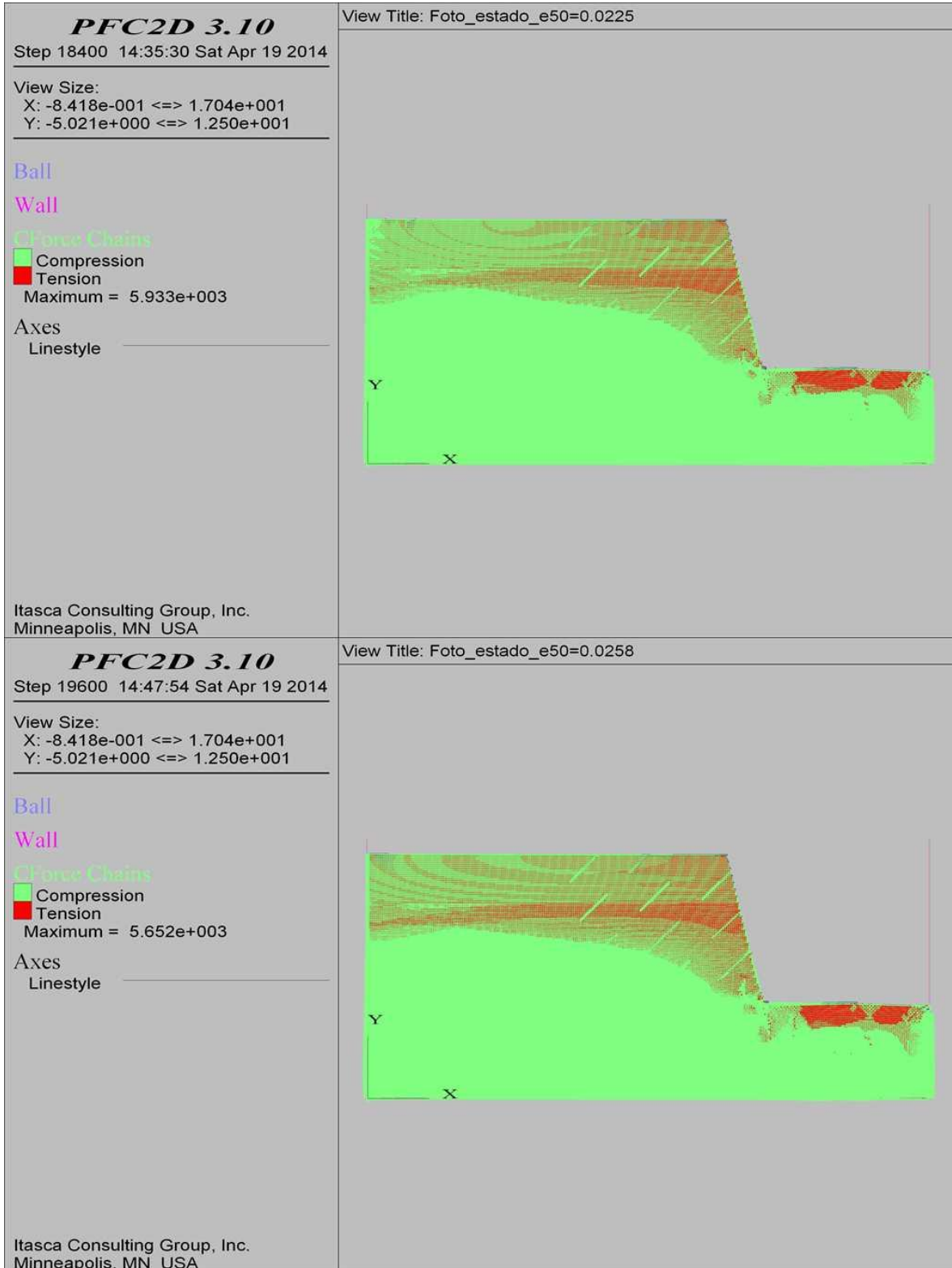
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



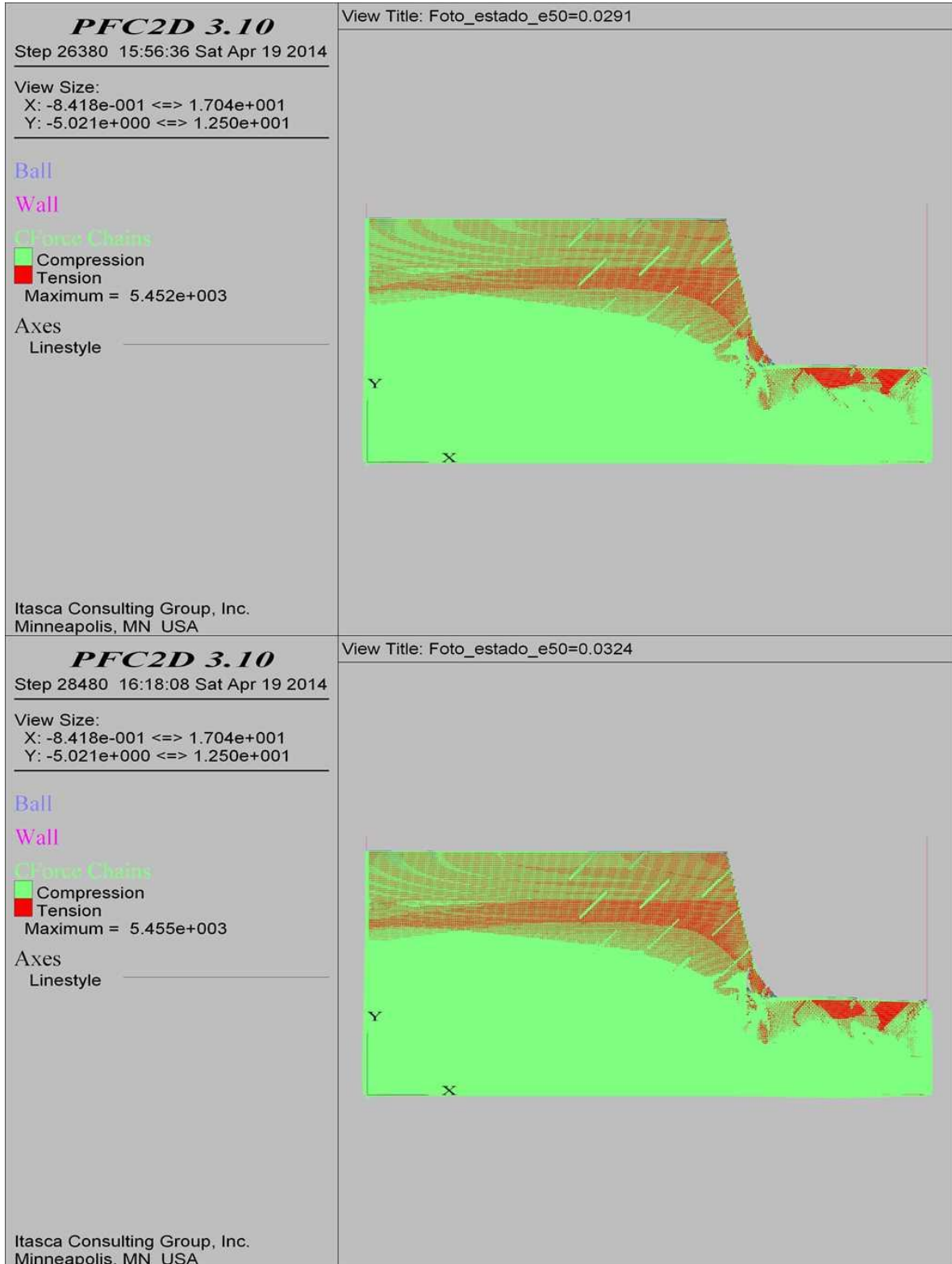
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



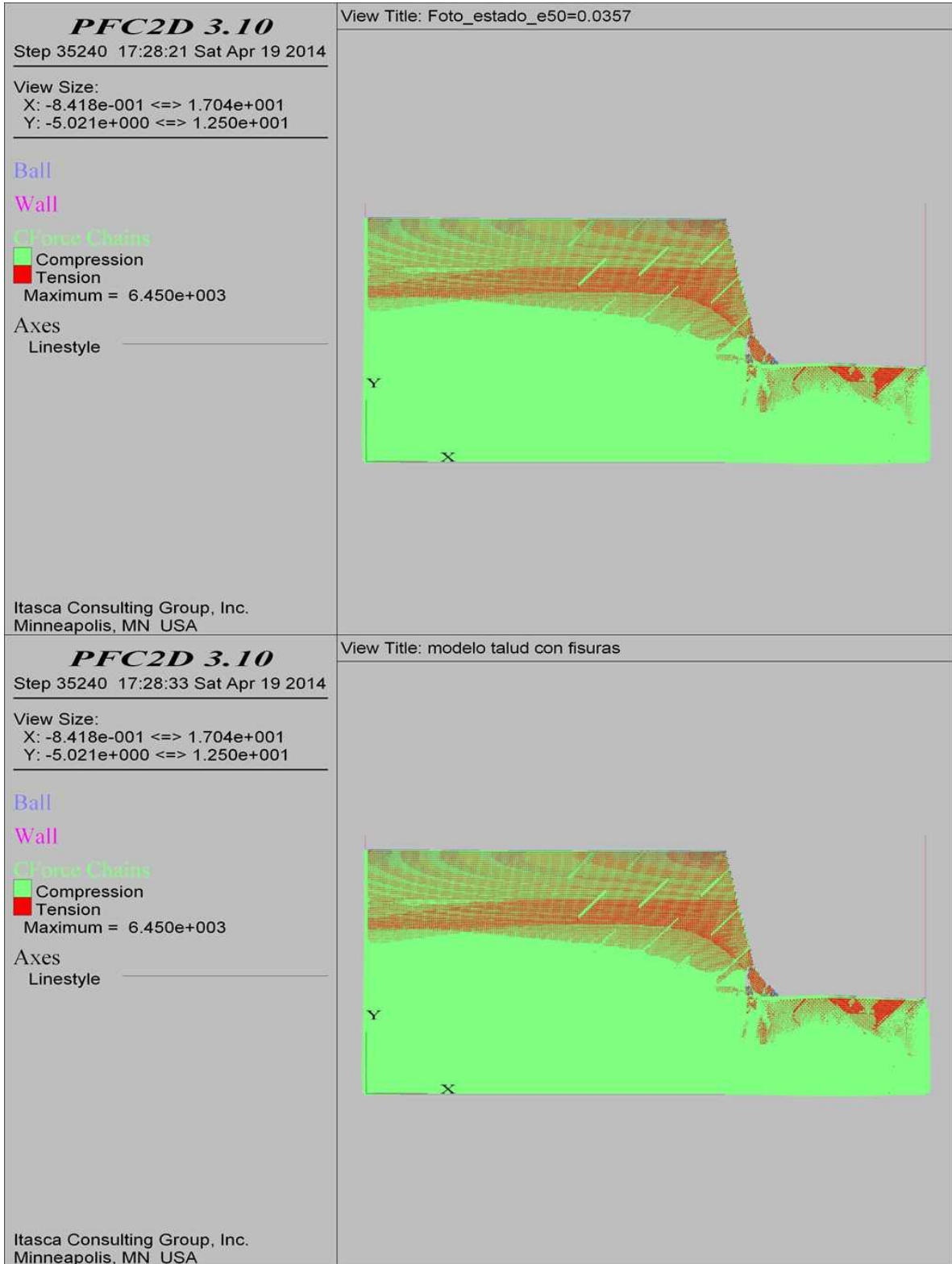
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



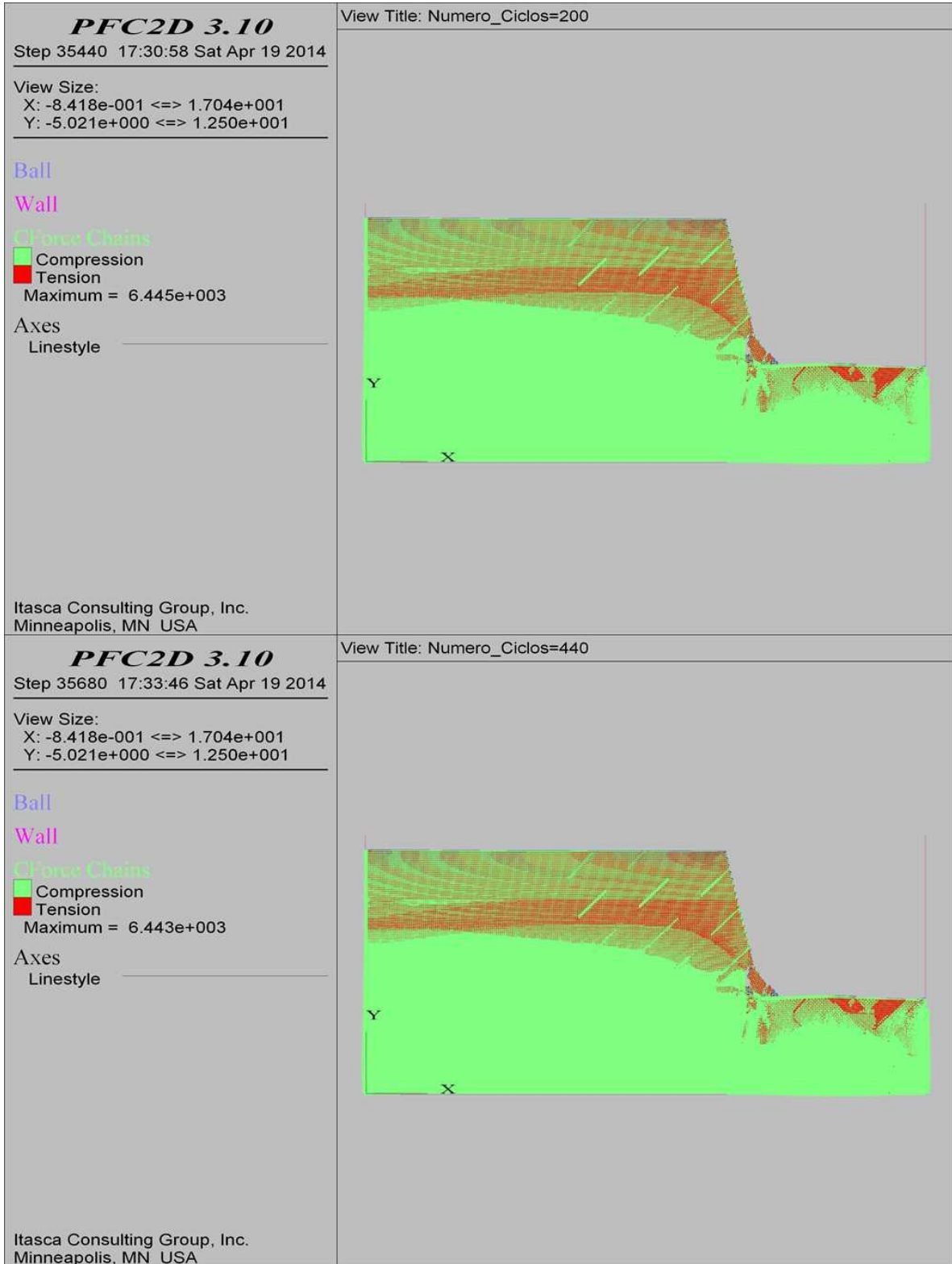
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



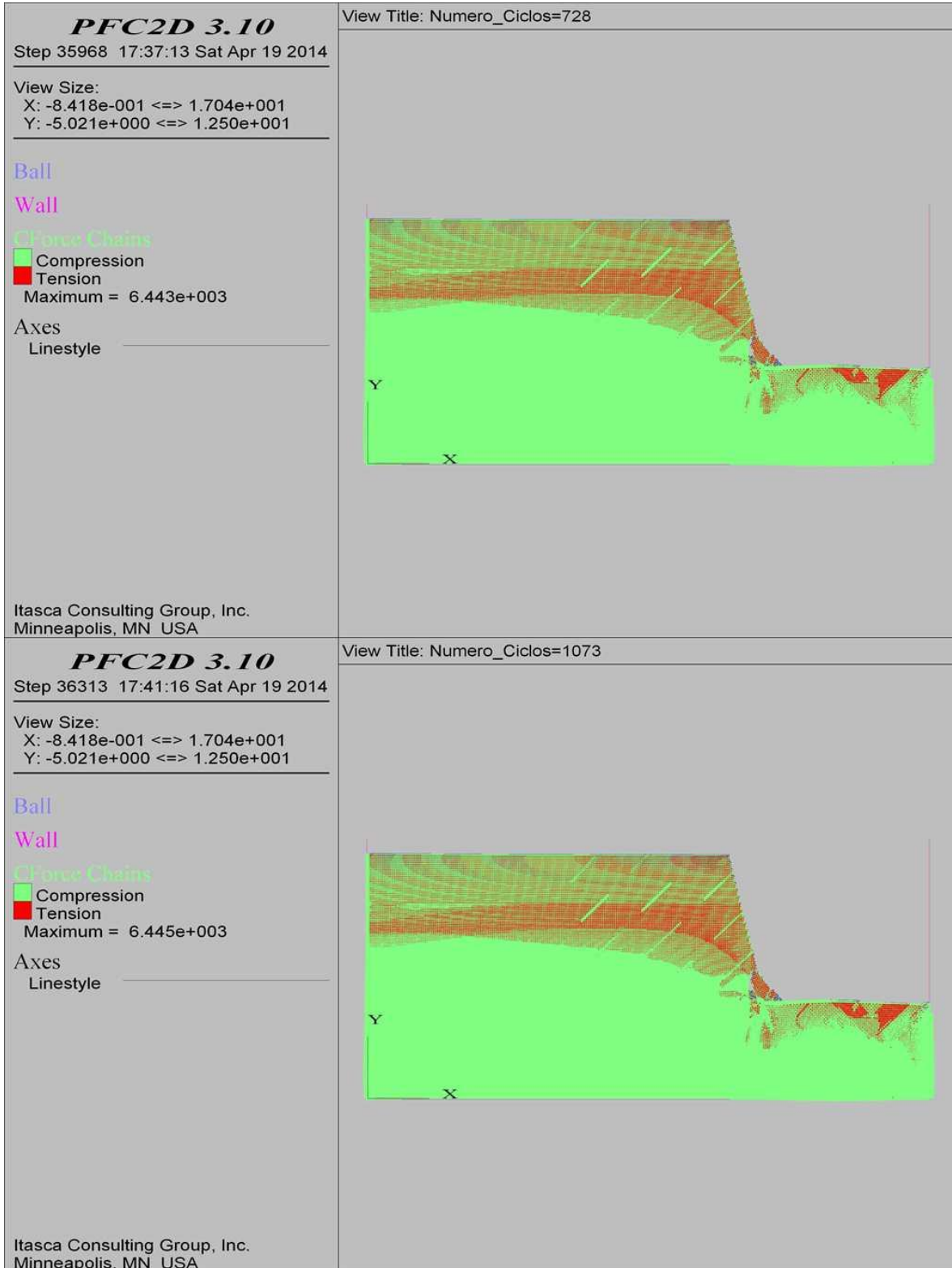
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



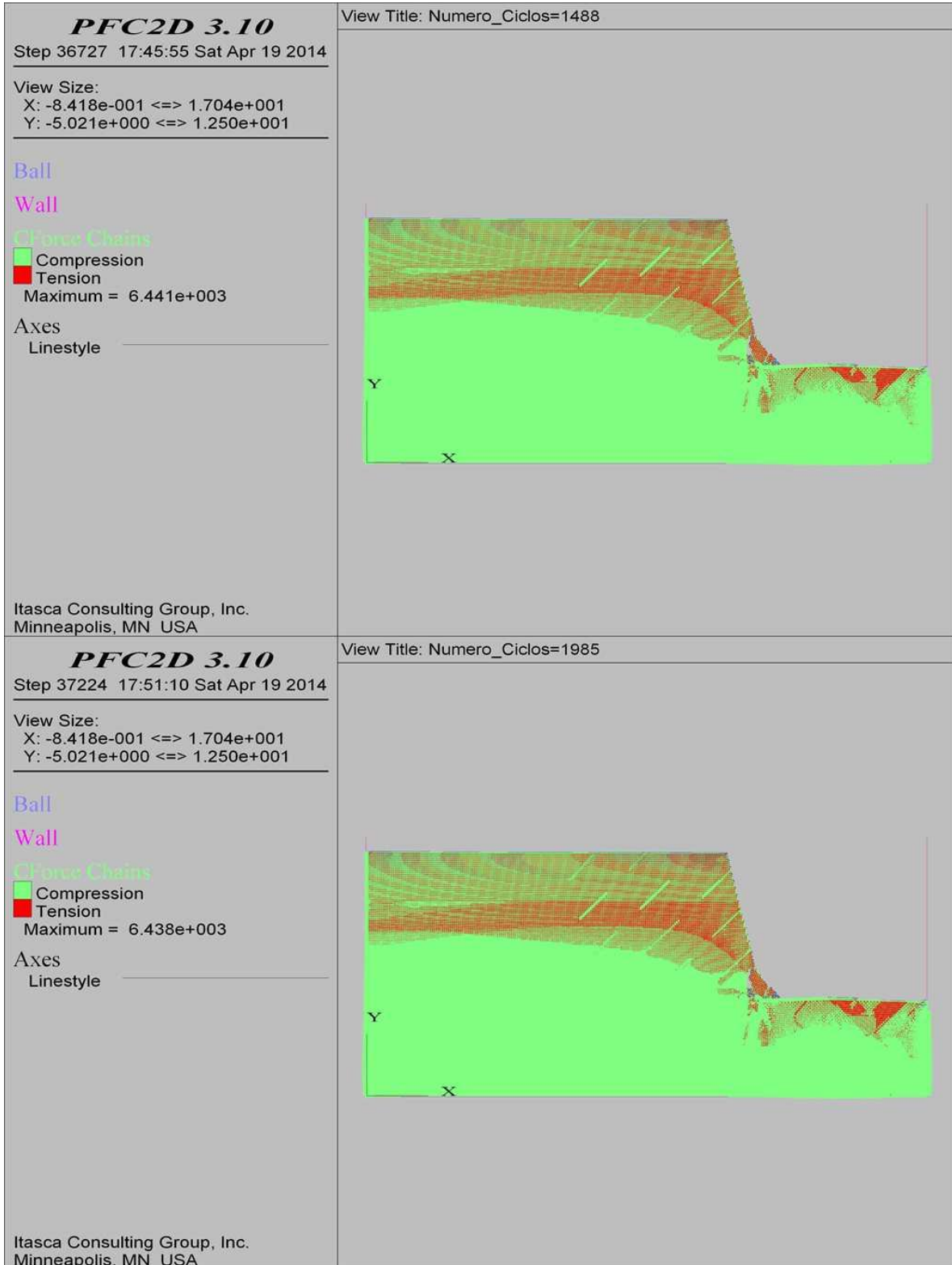
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



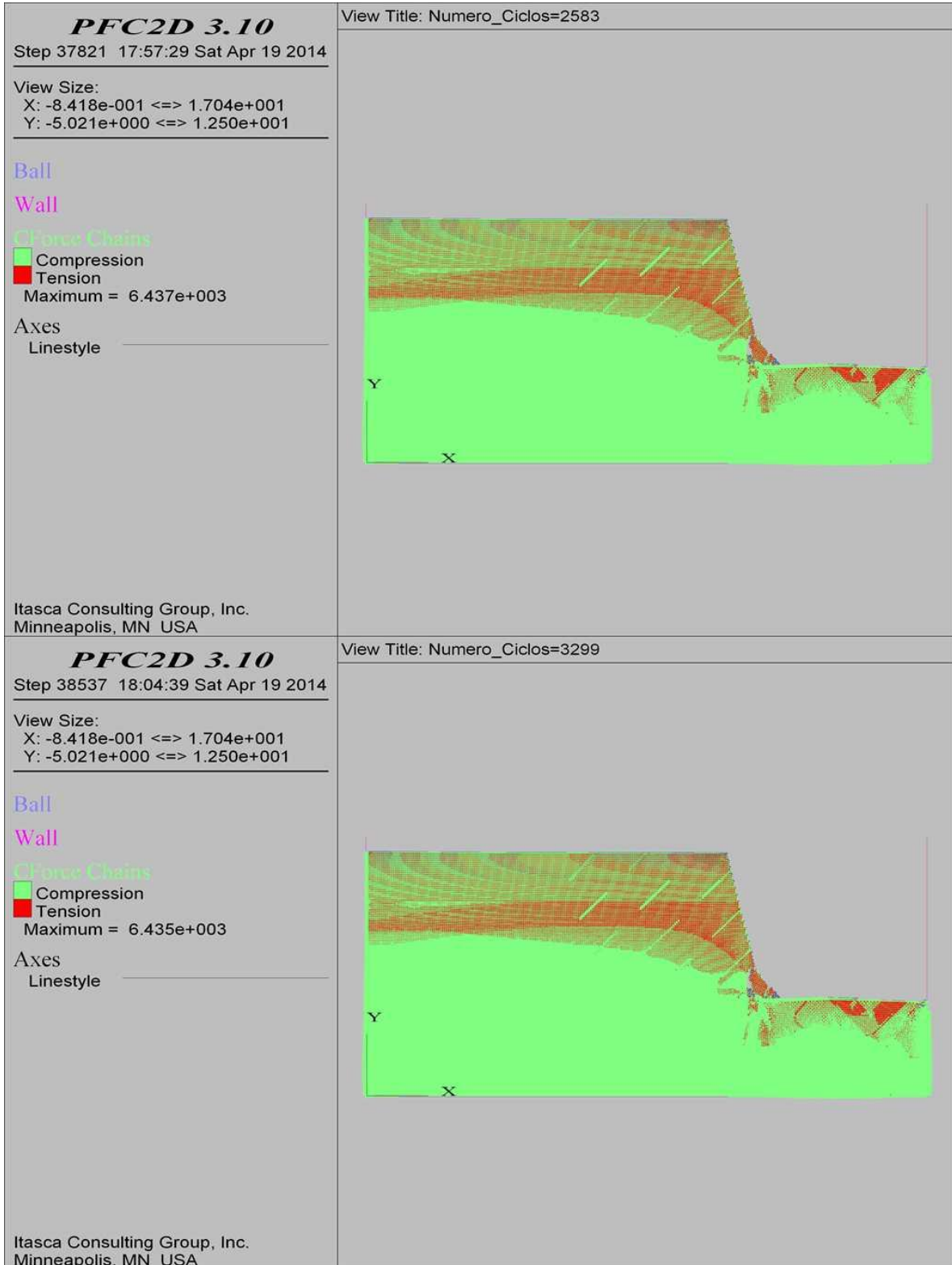
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



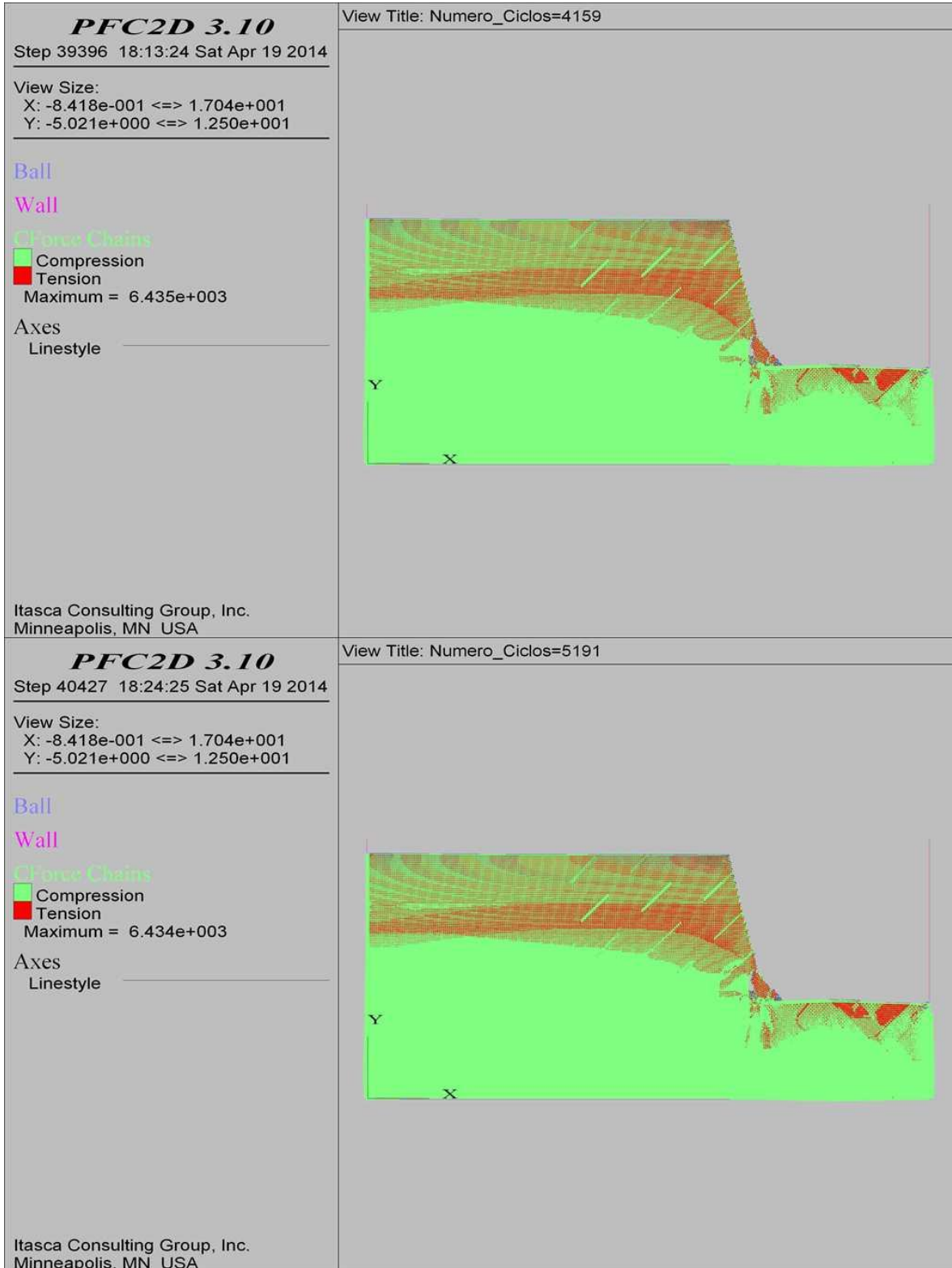
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



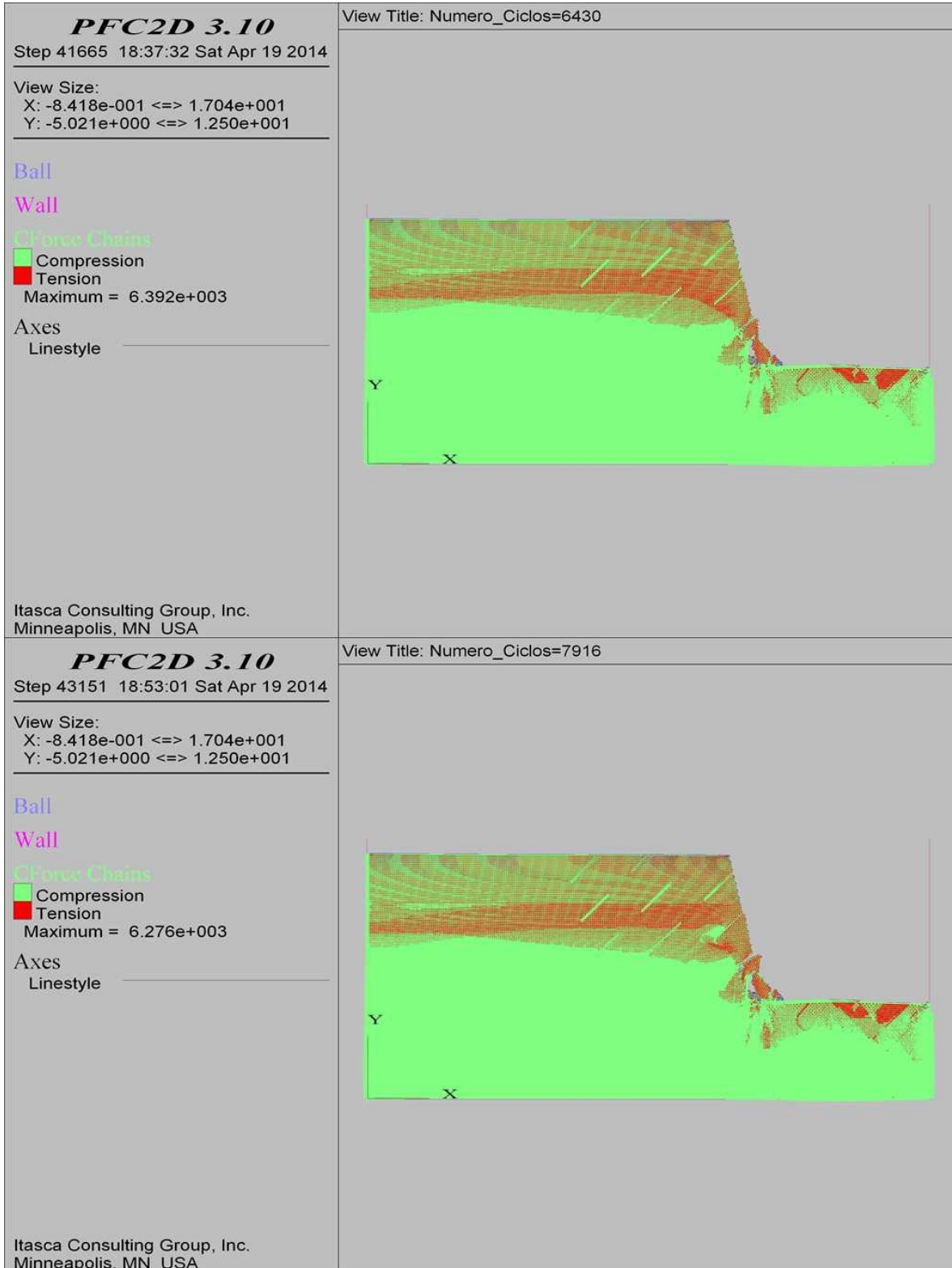
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



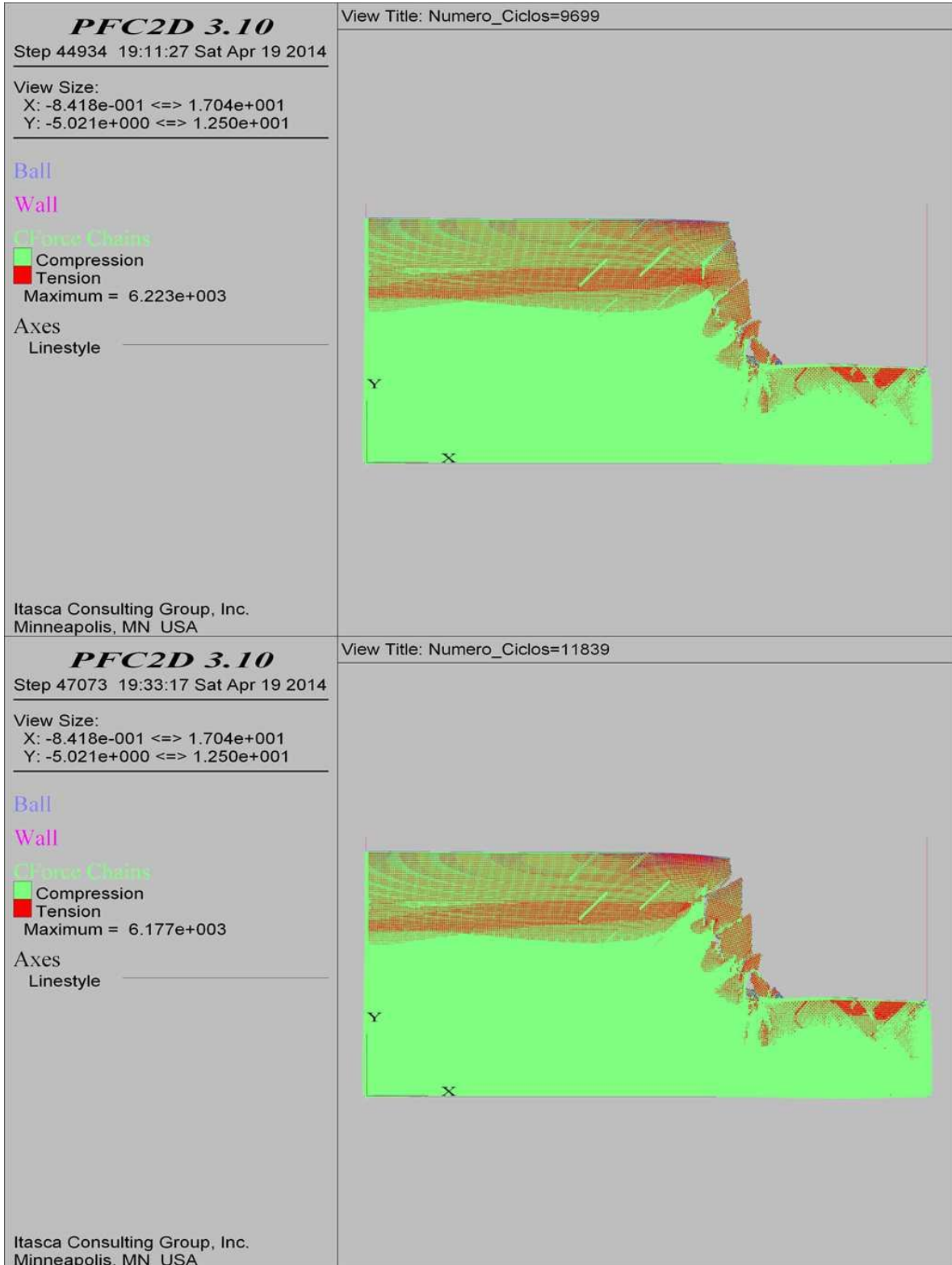
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



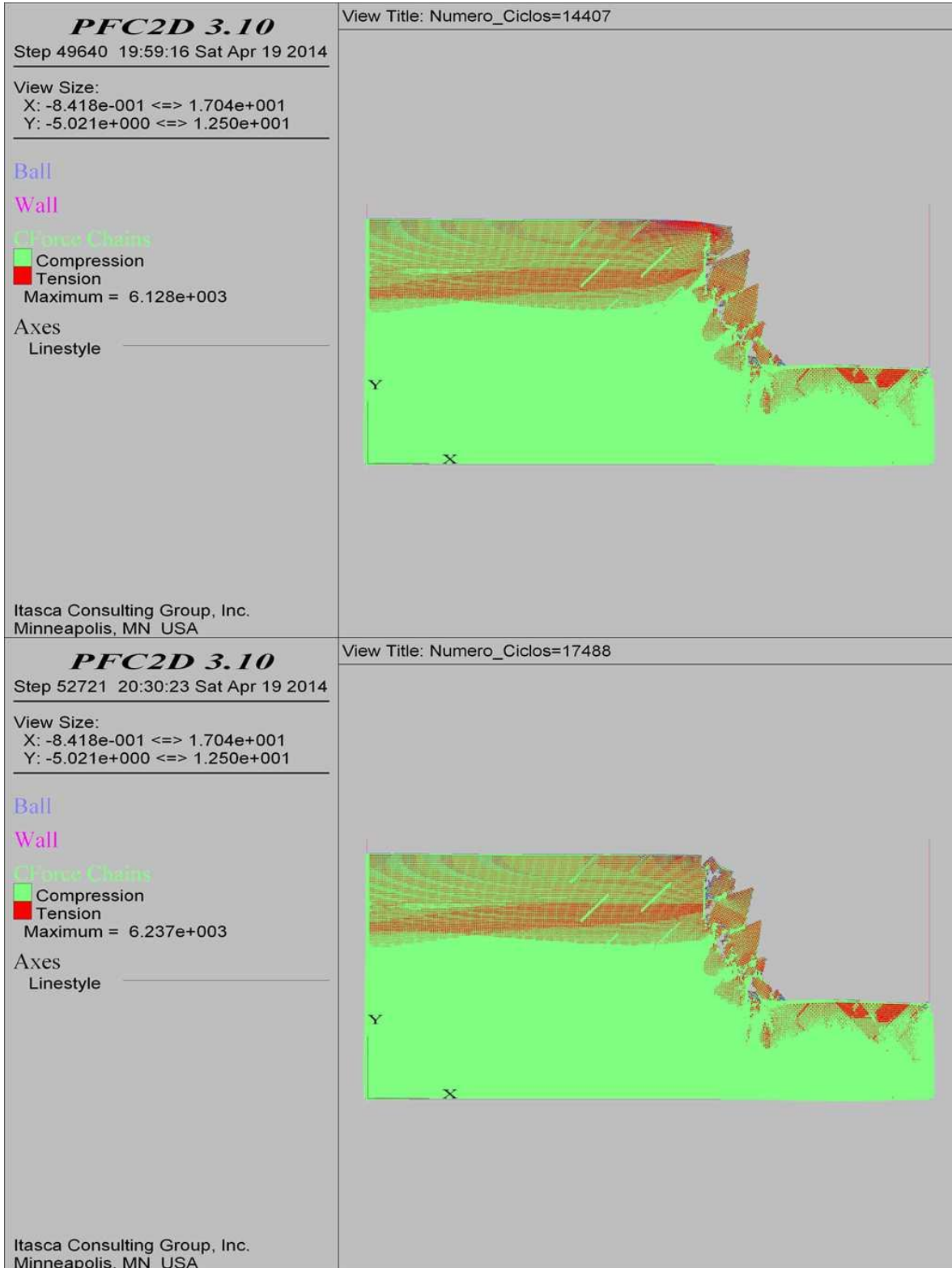
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



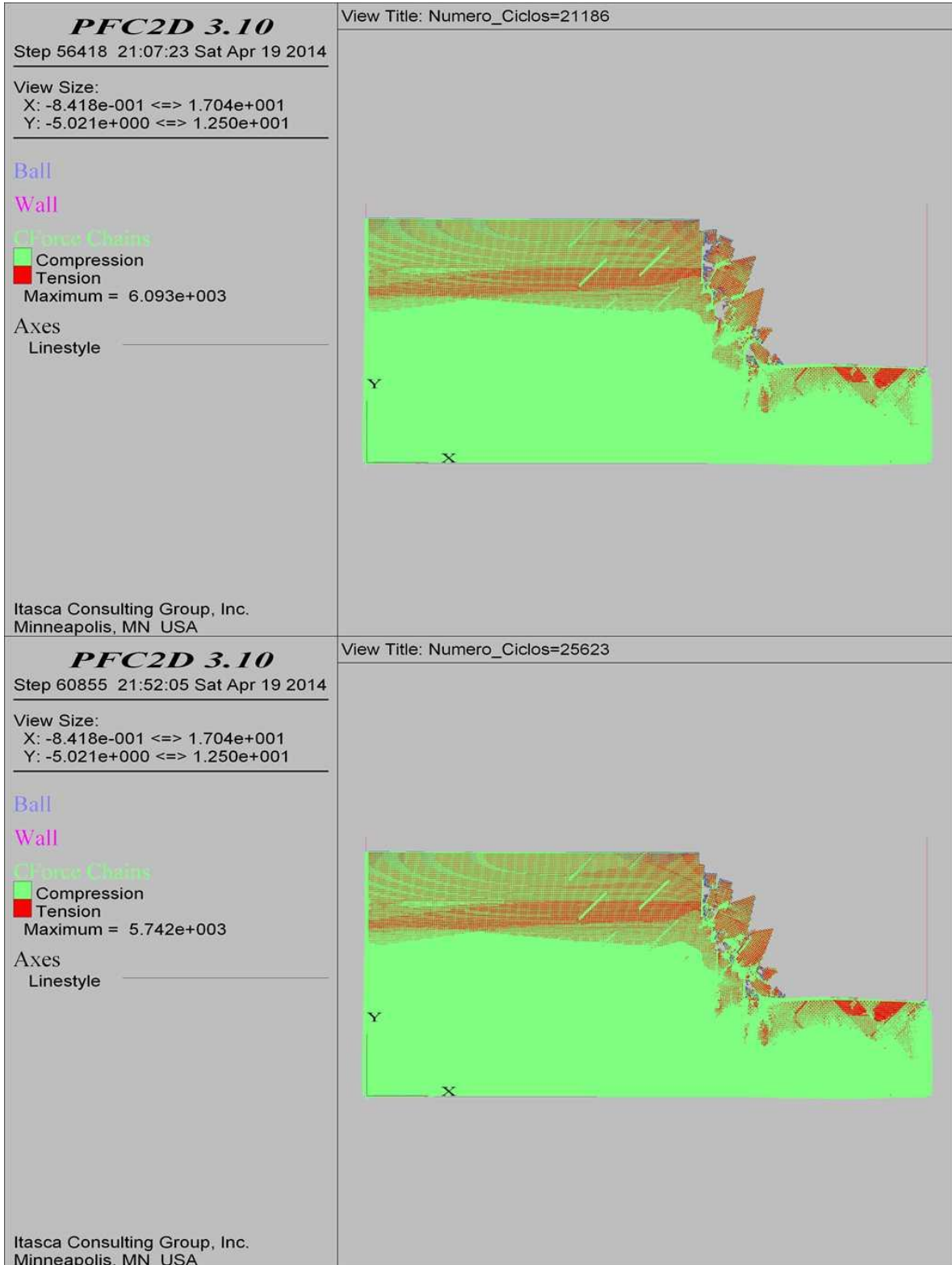
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



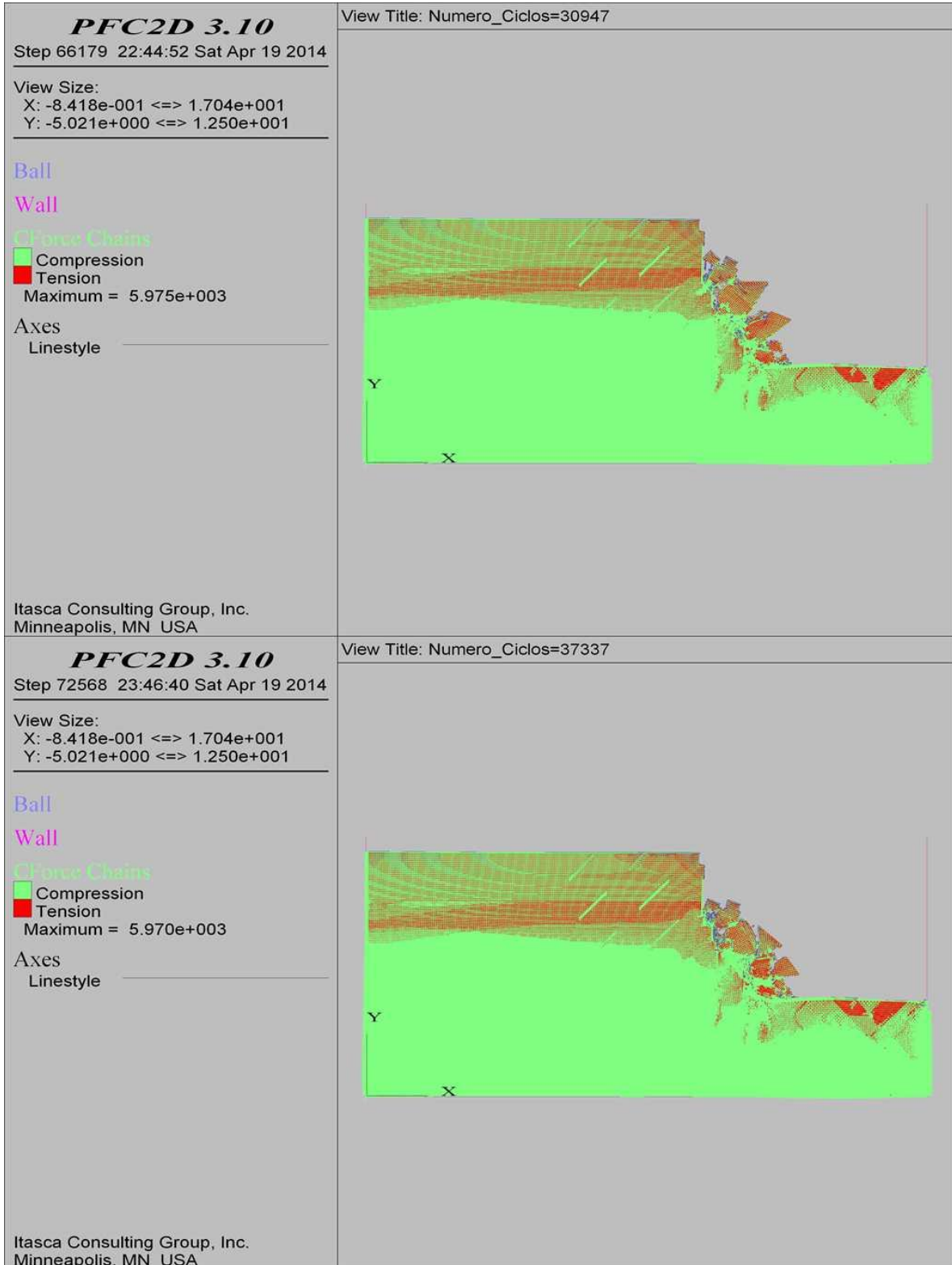
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



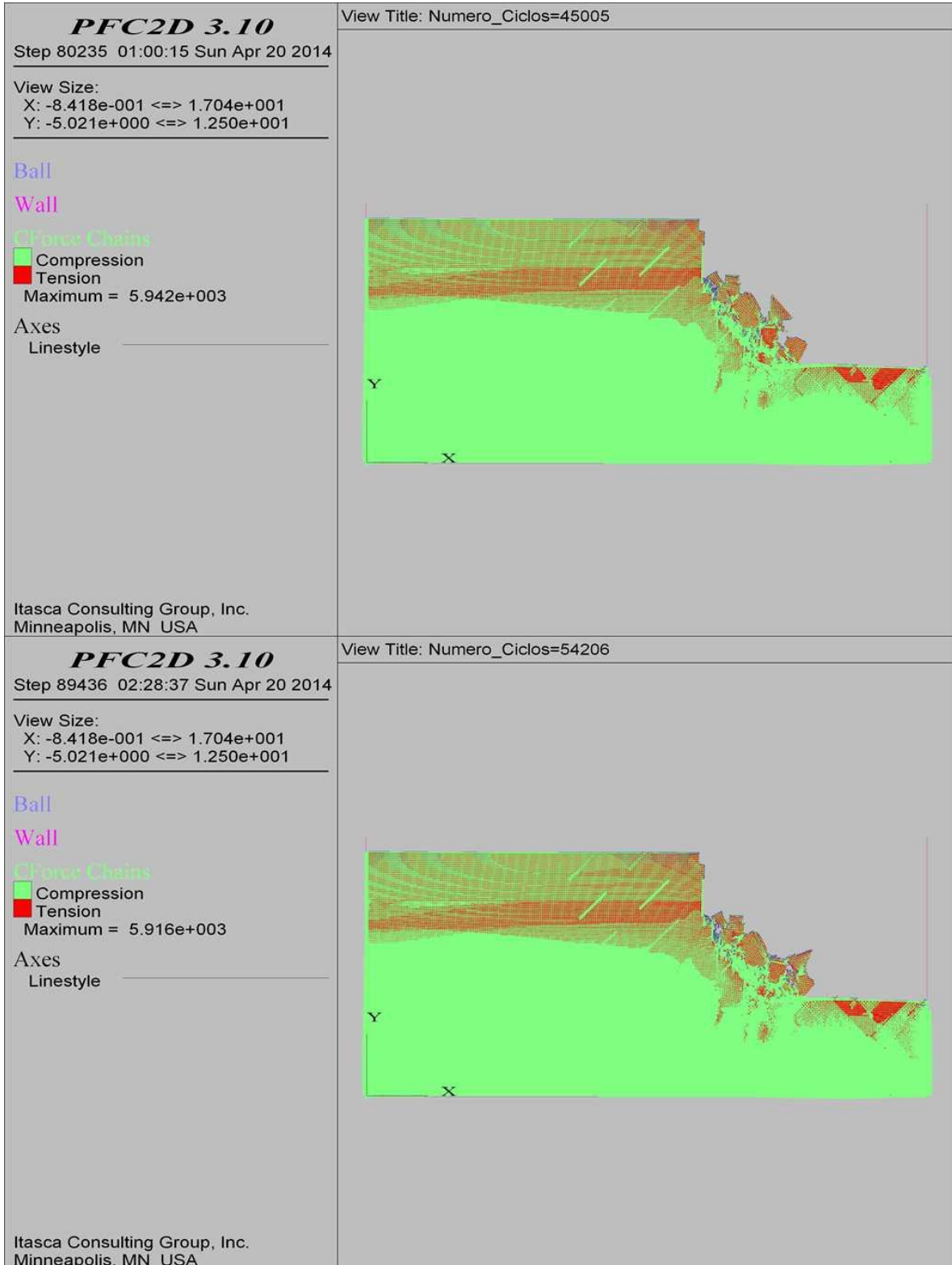
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



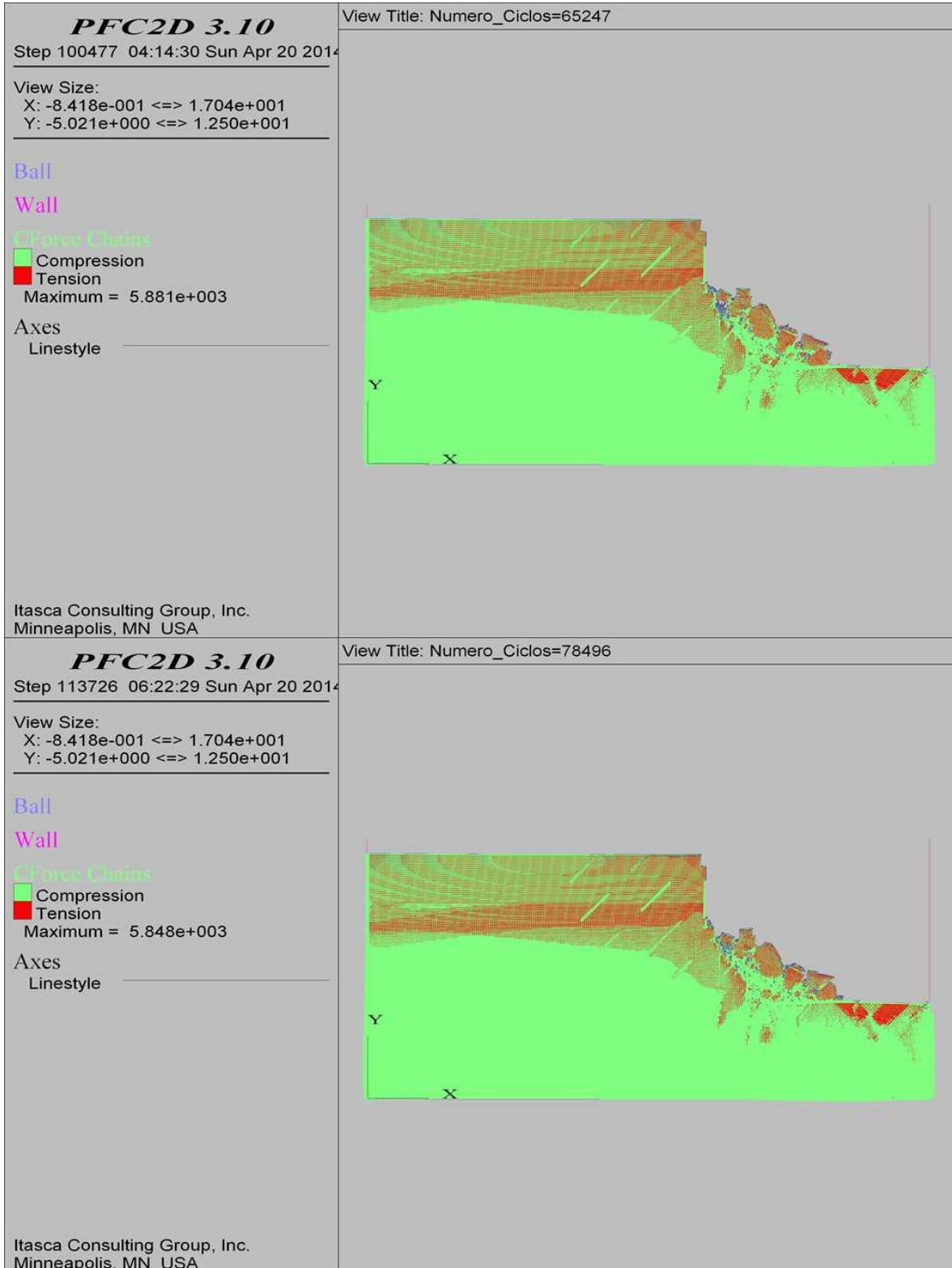
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



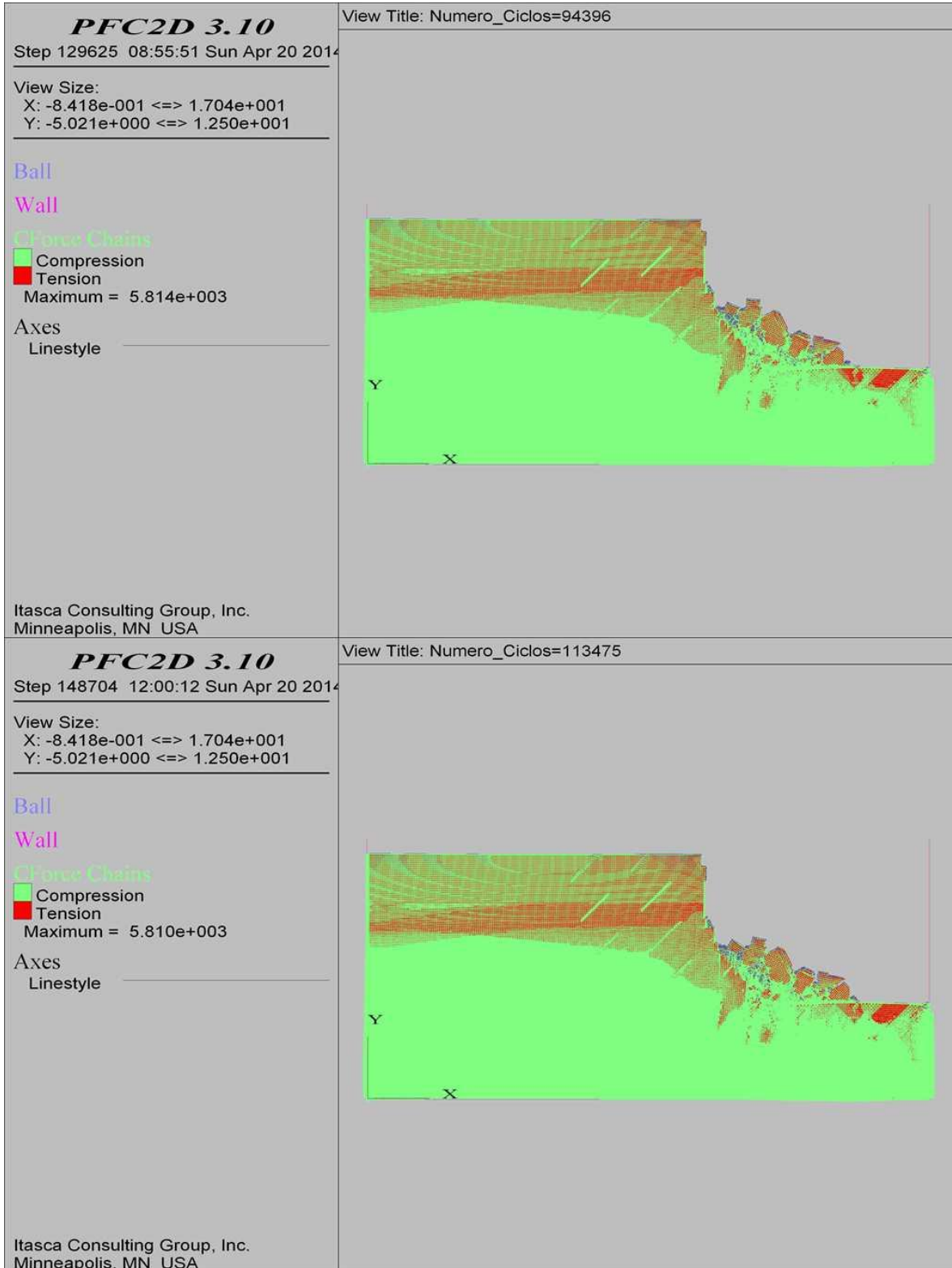
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



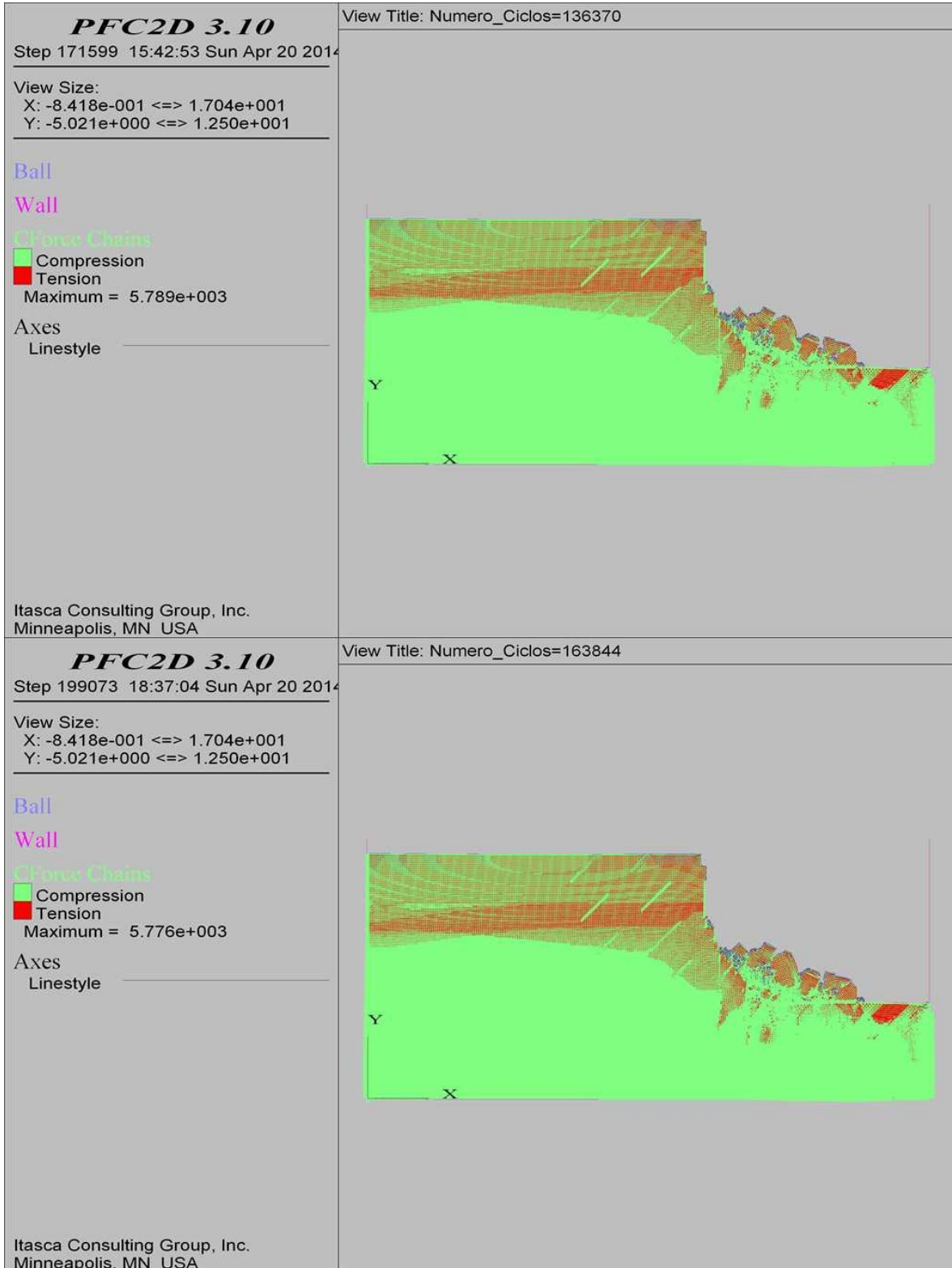
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



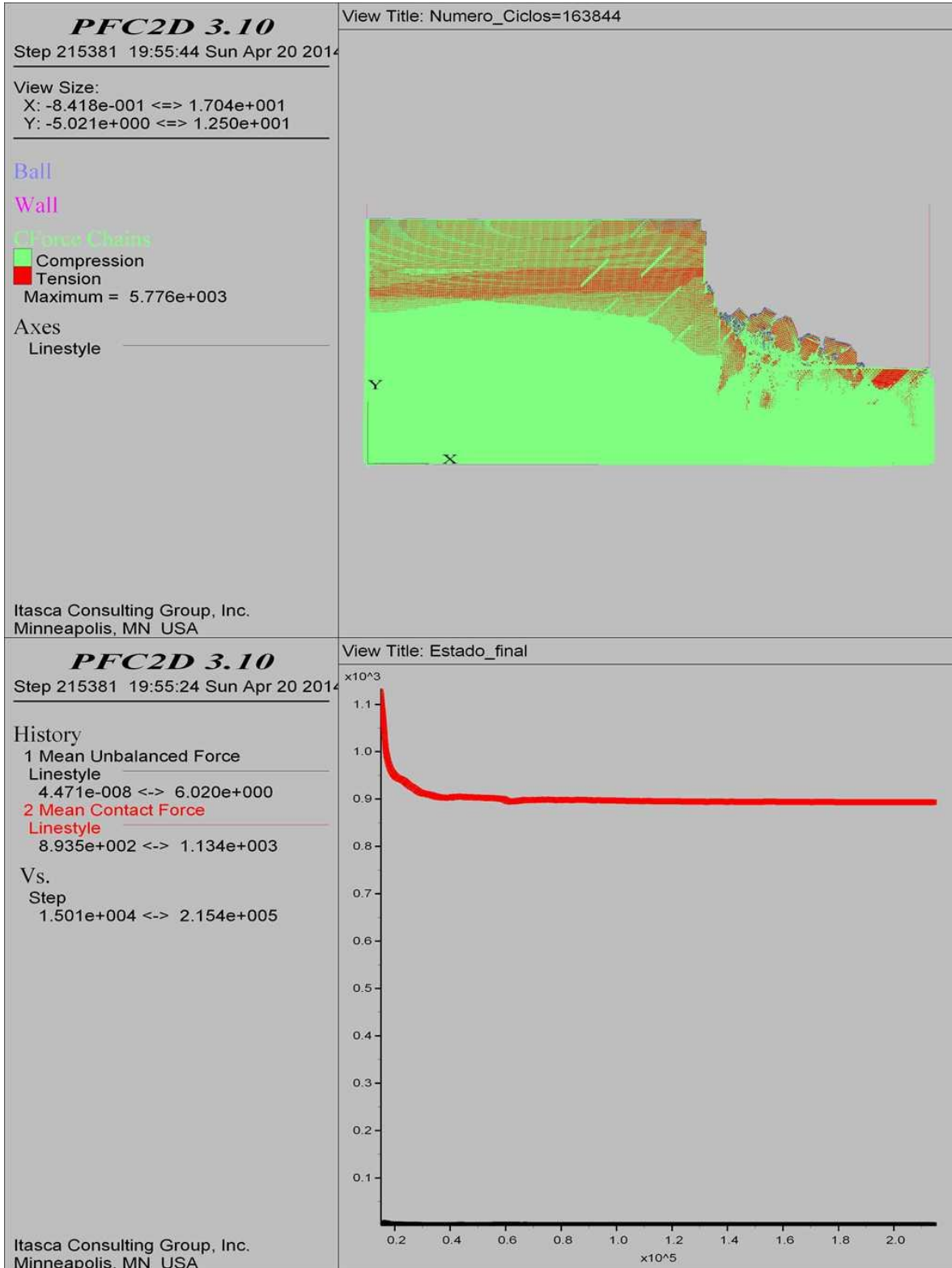
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



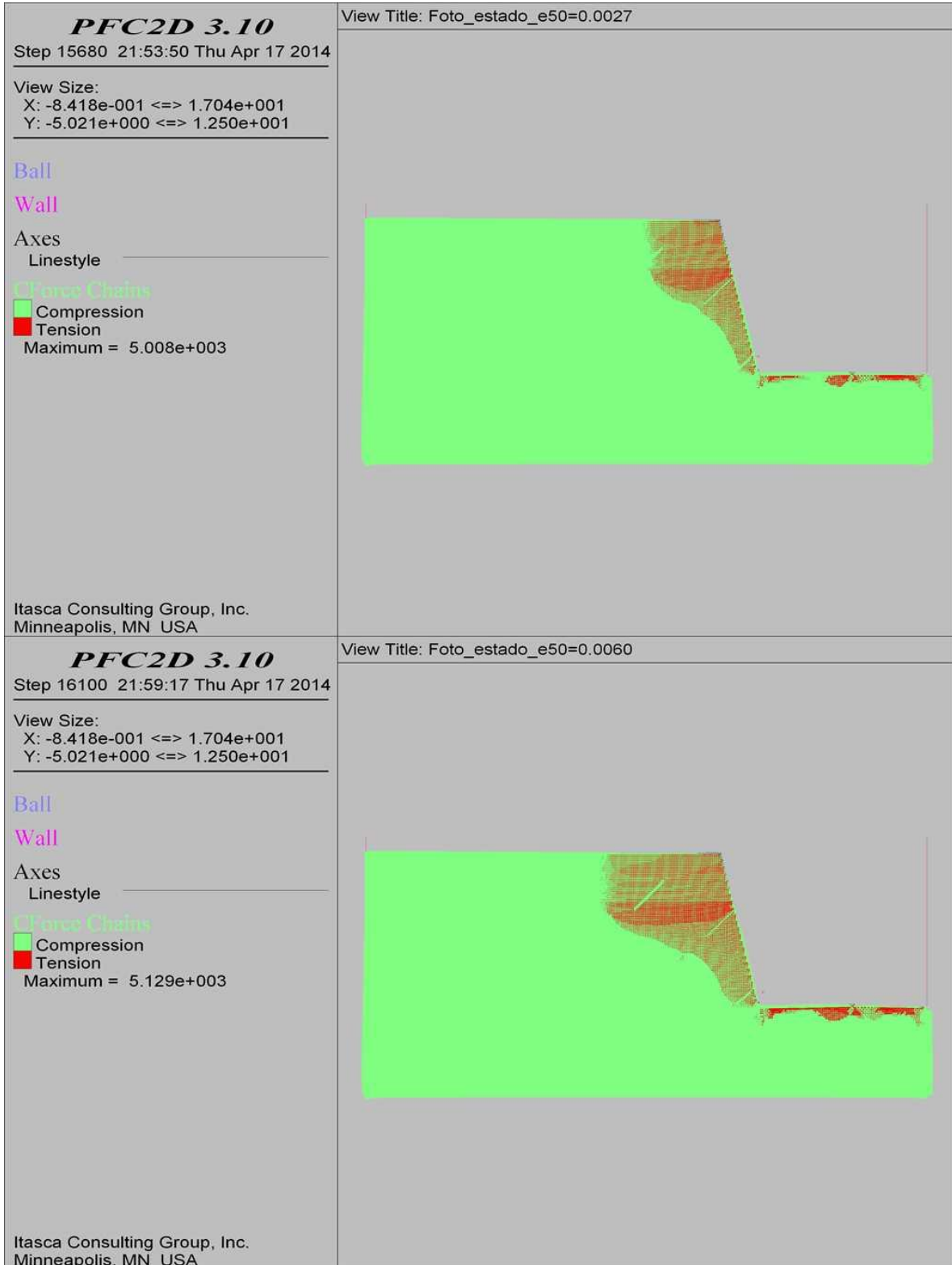
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



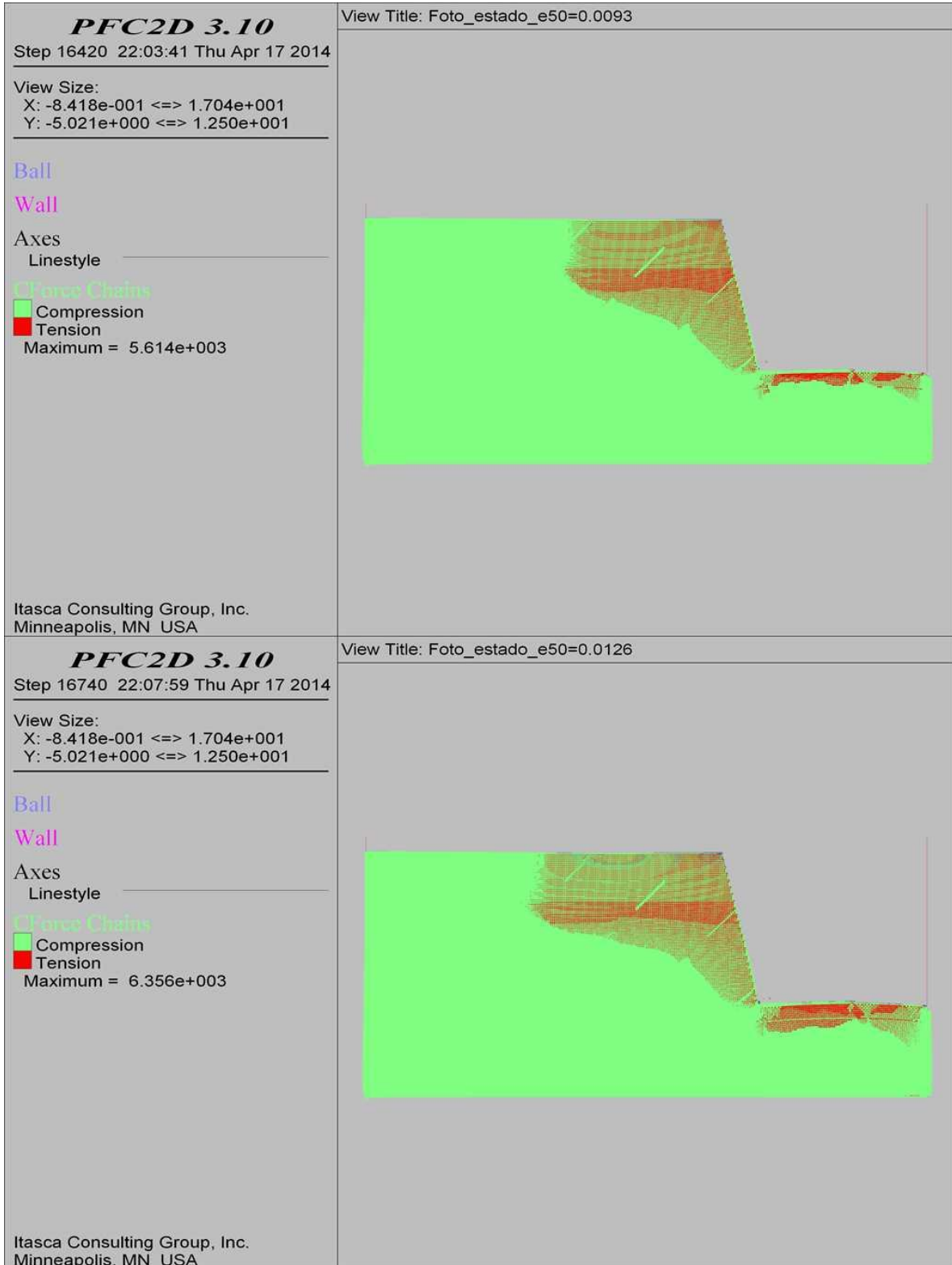
COMBINACIÓN 14: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



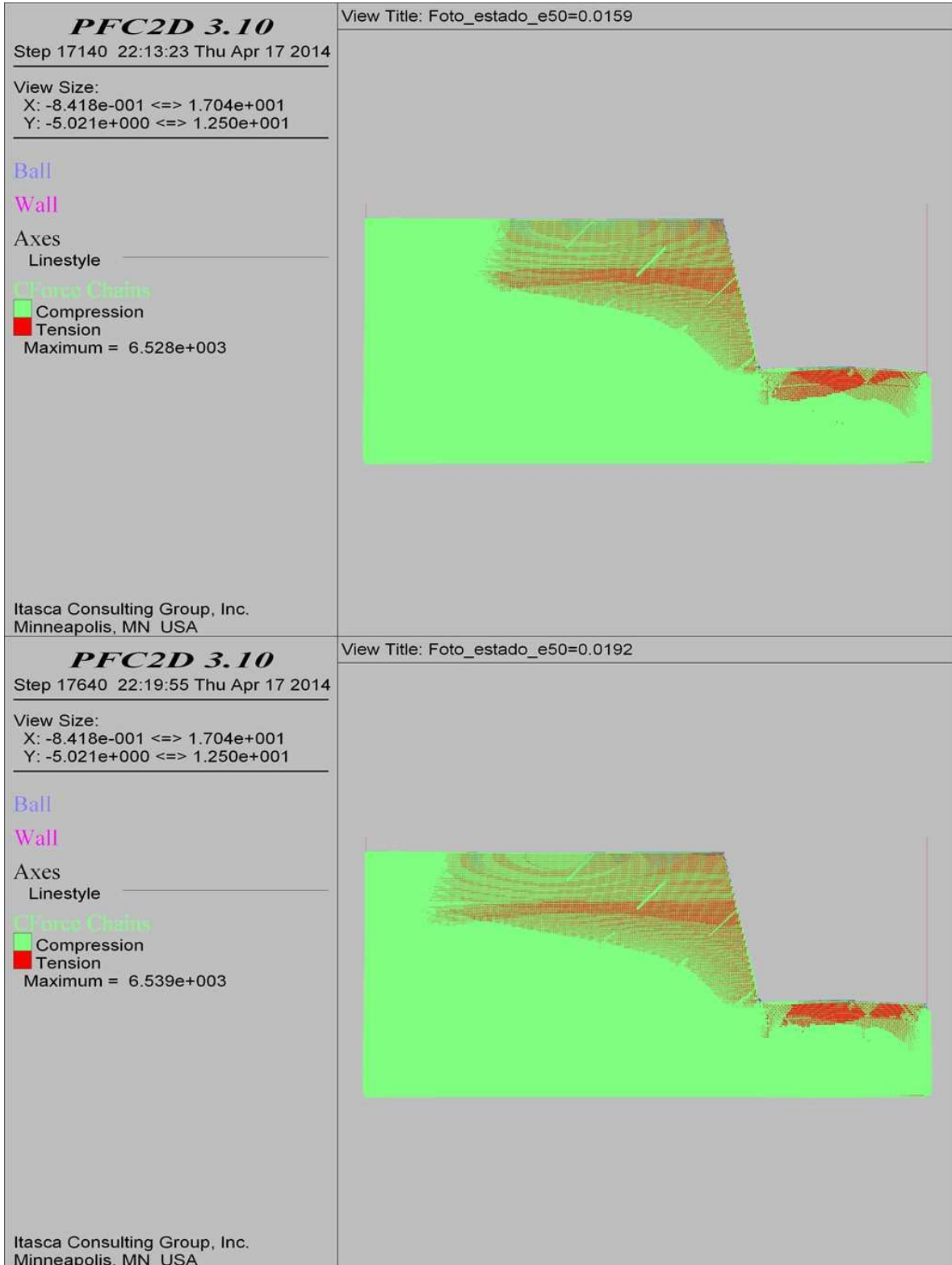
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



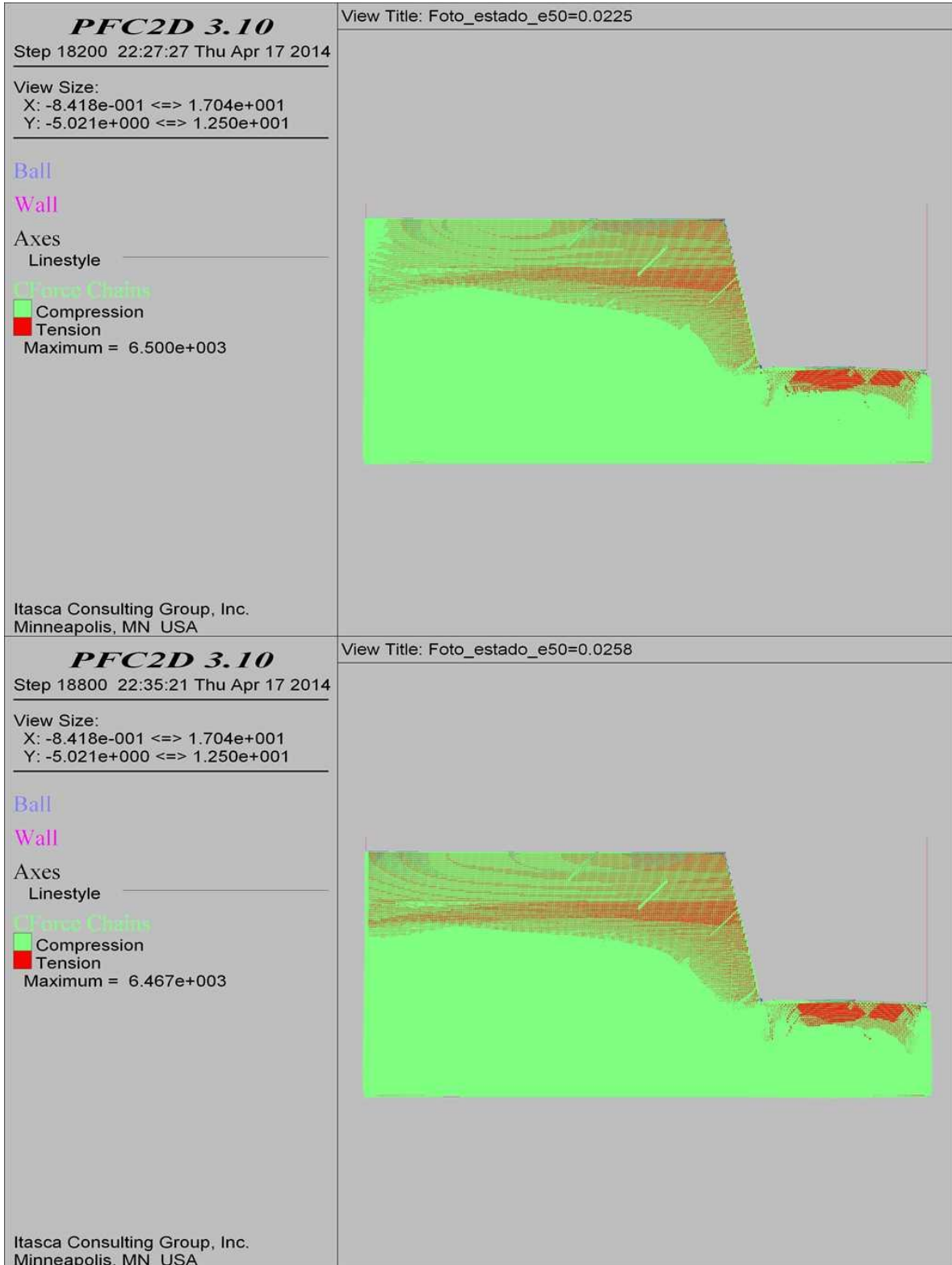
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



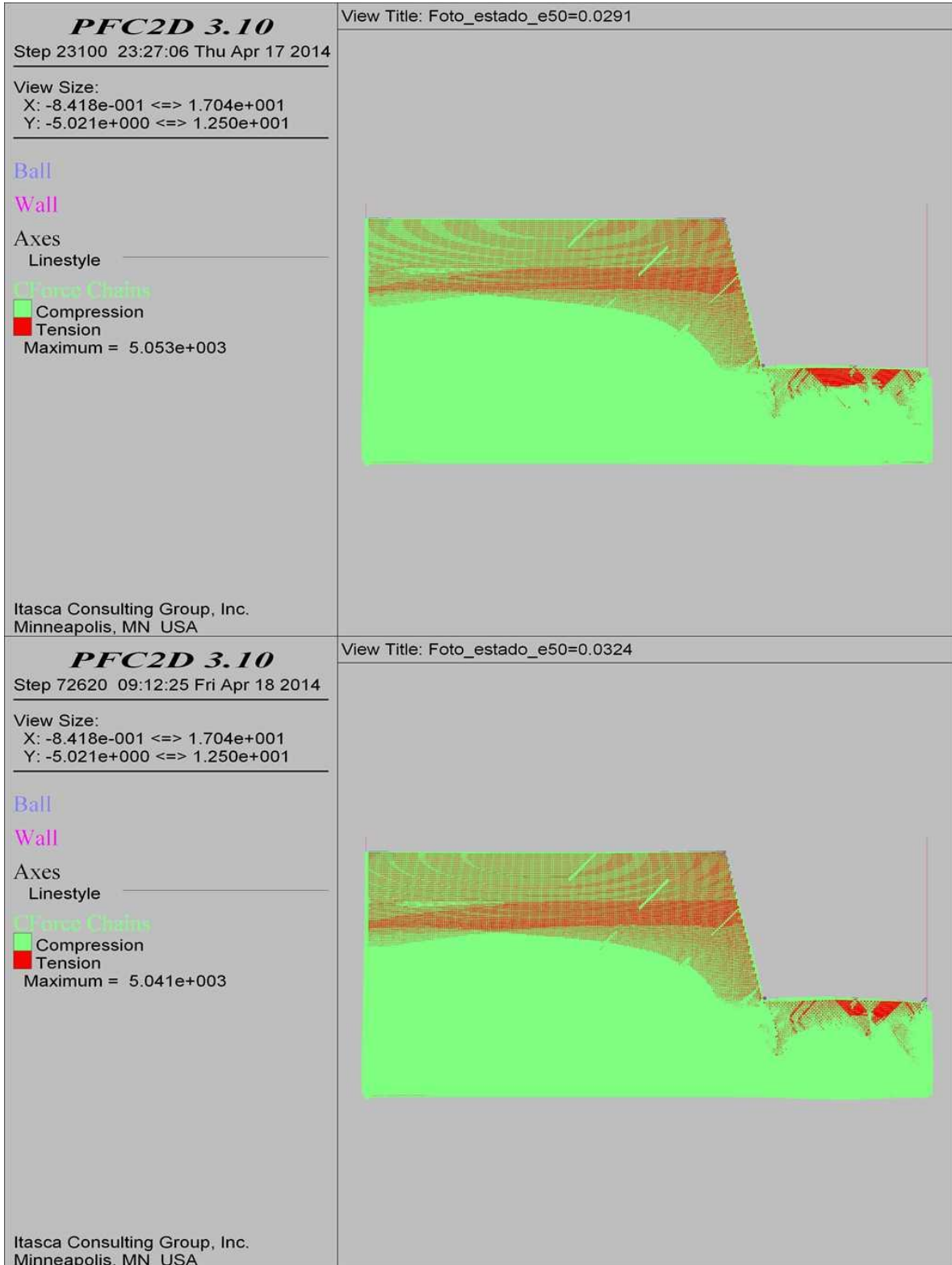
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



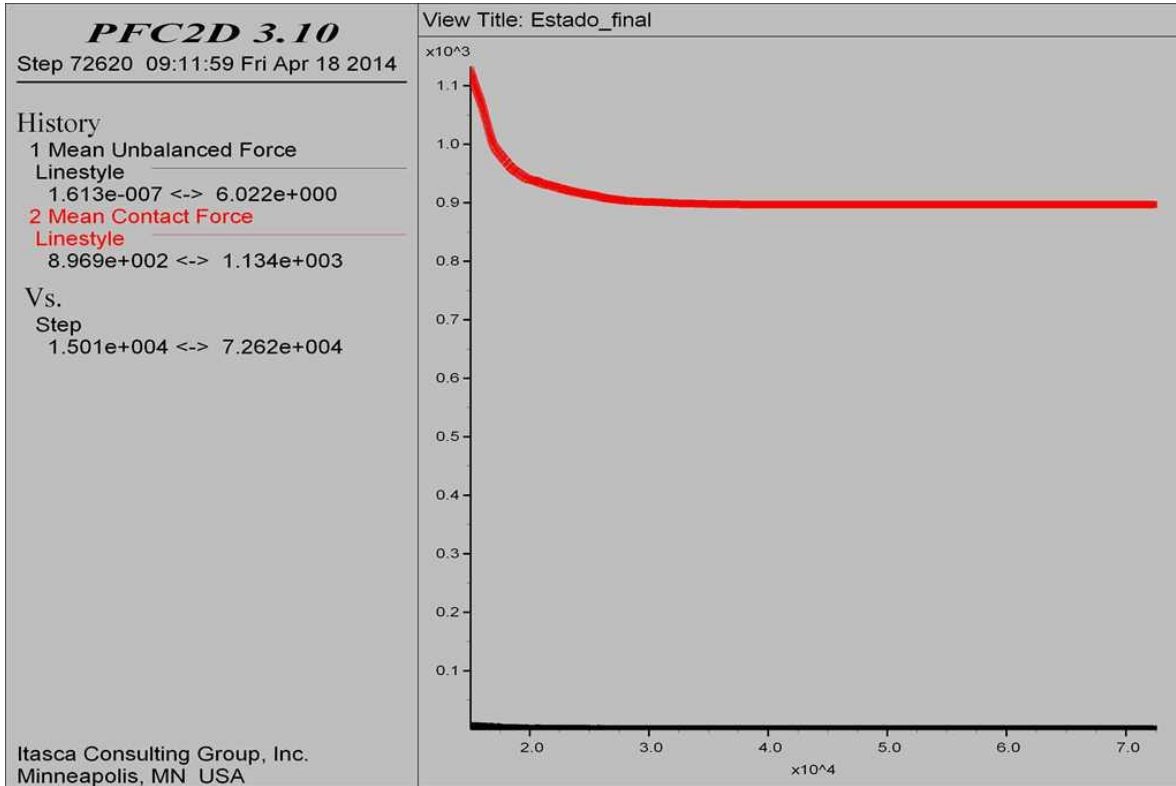
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



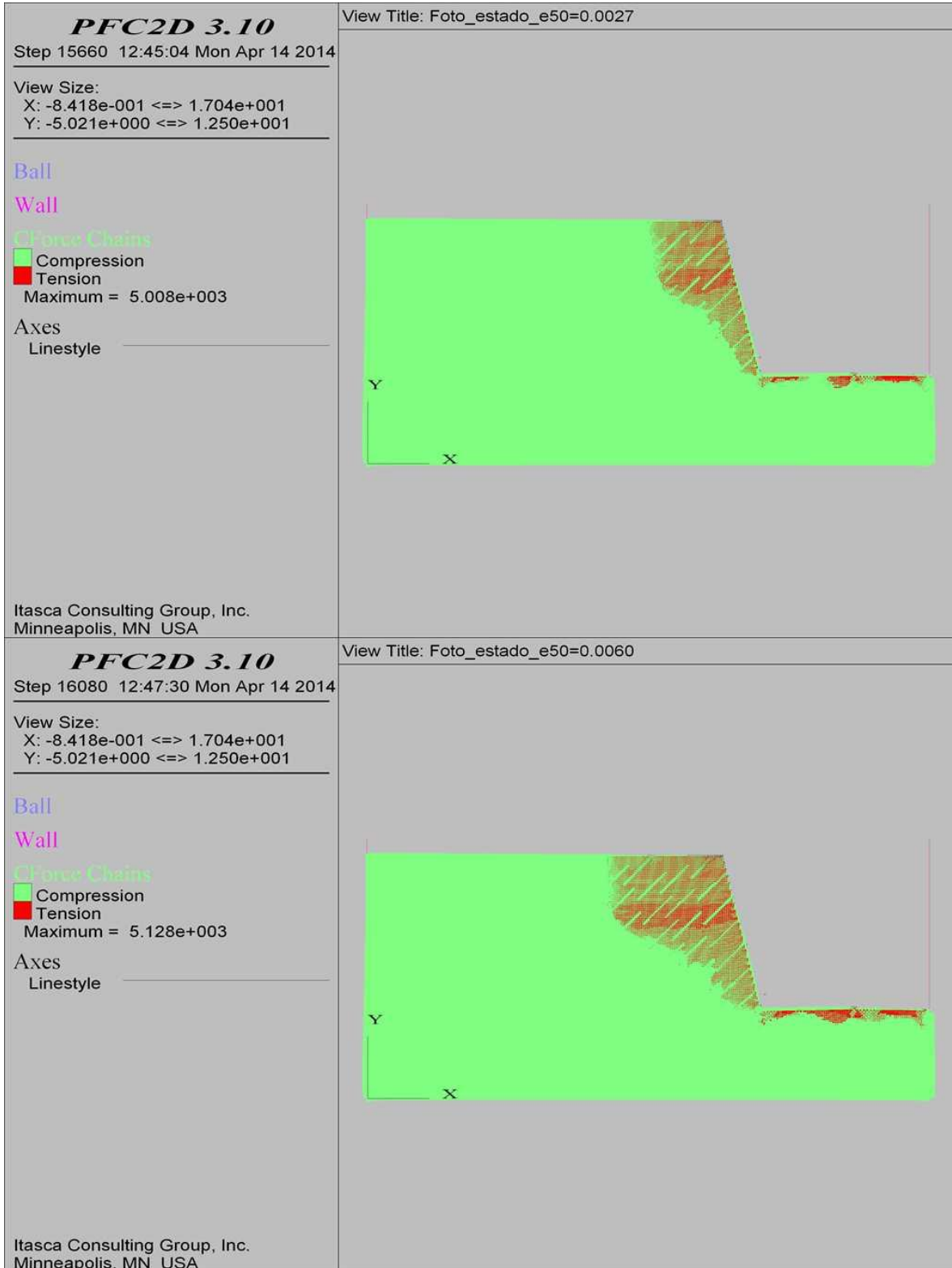
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



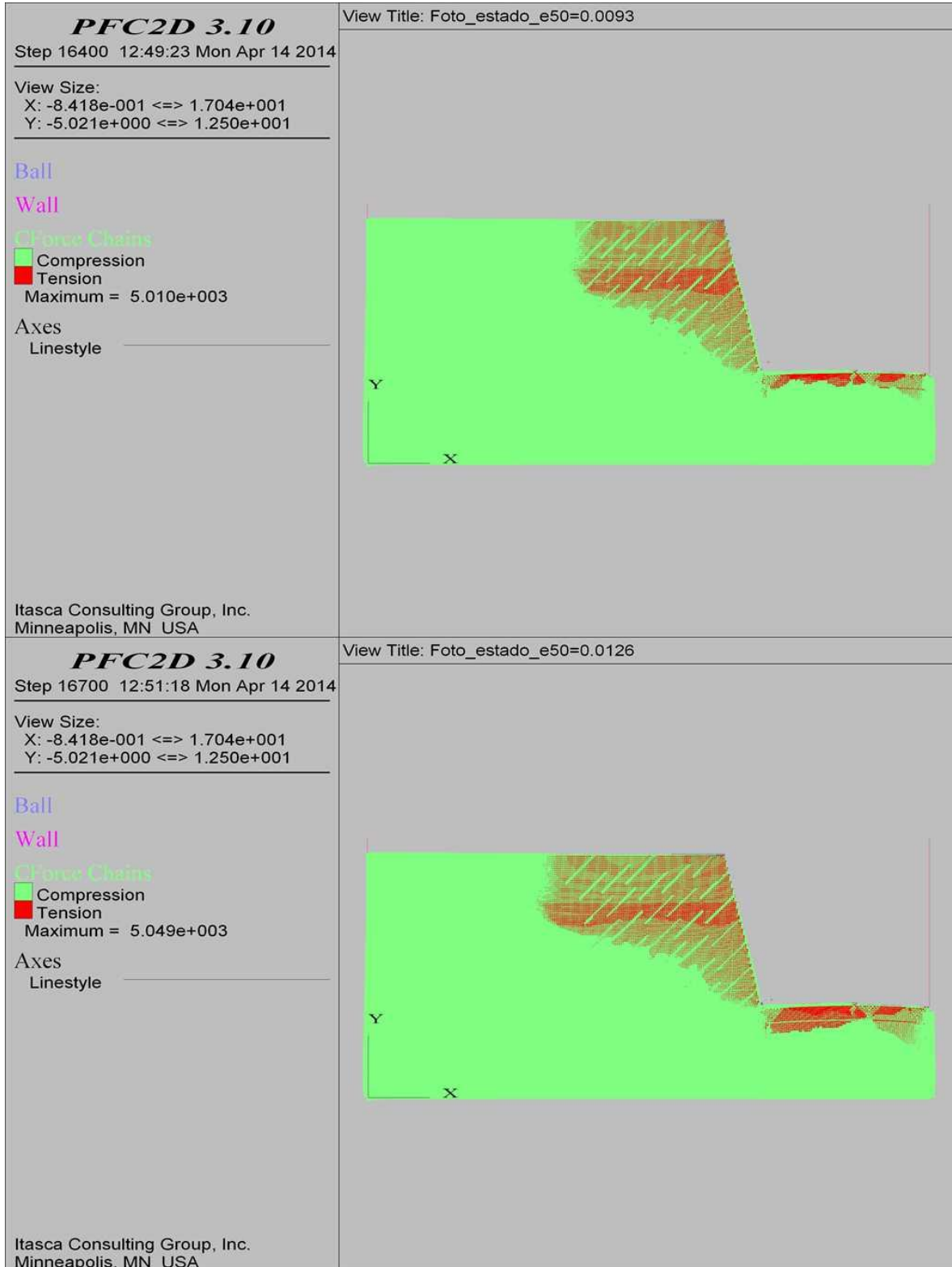
COMBINACIÓN 15: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



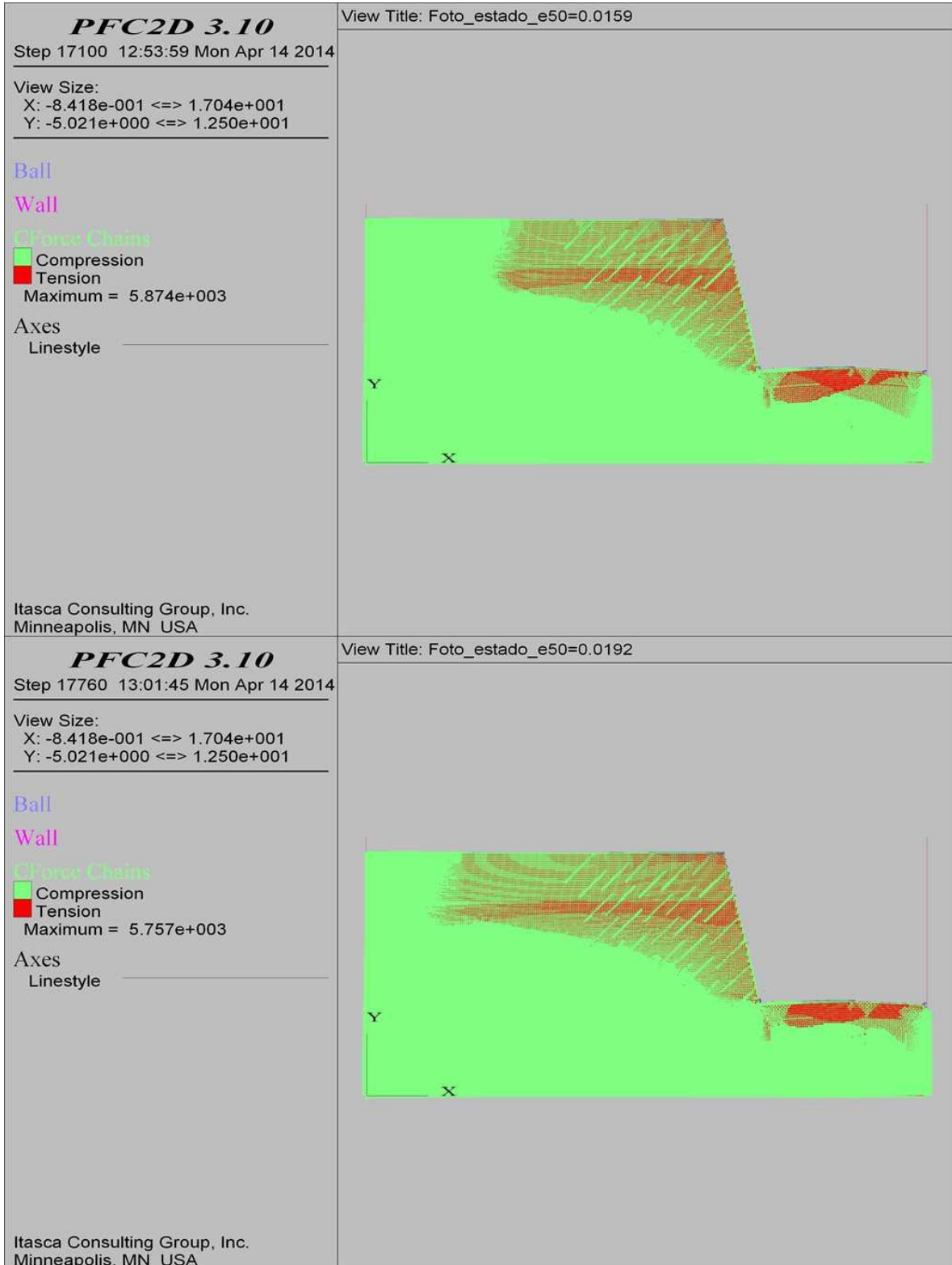
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



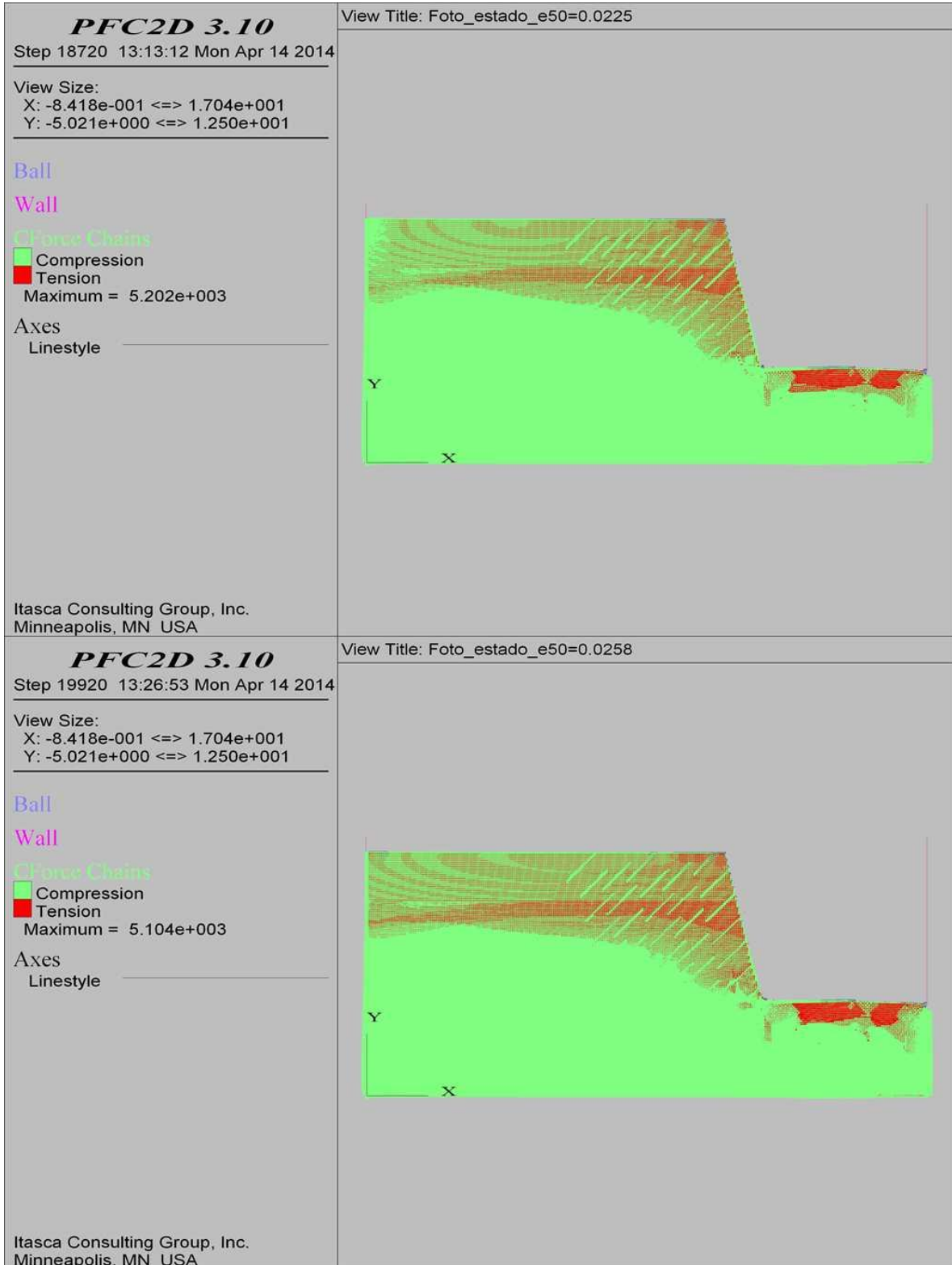
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



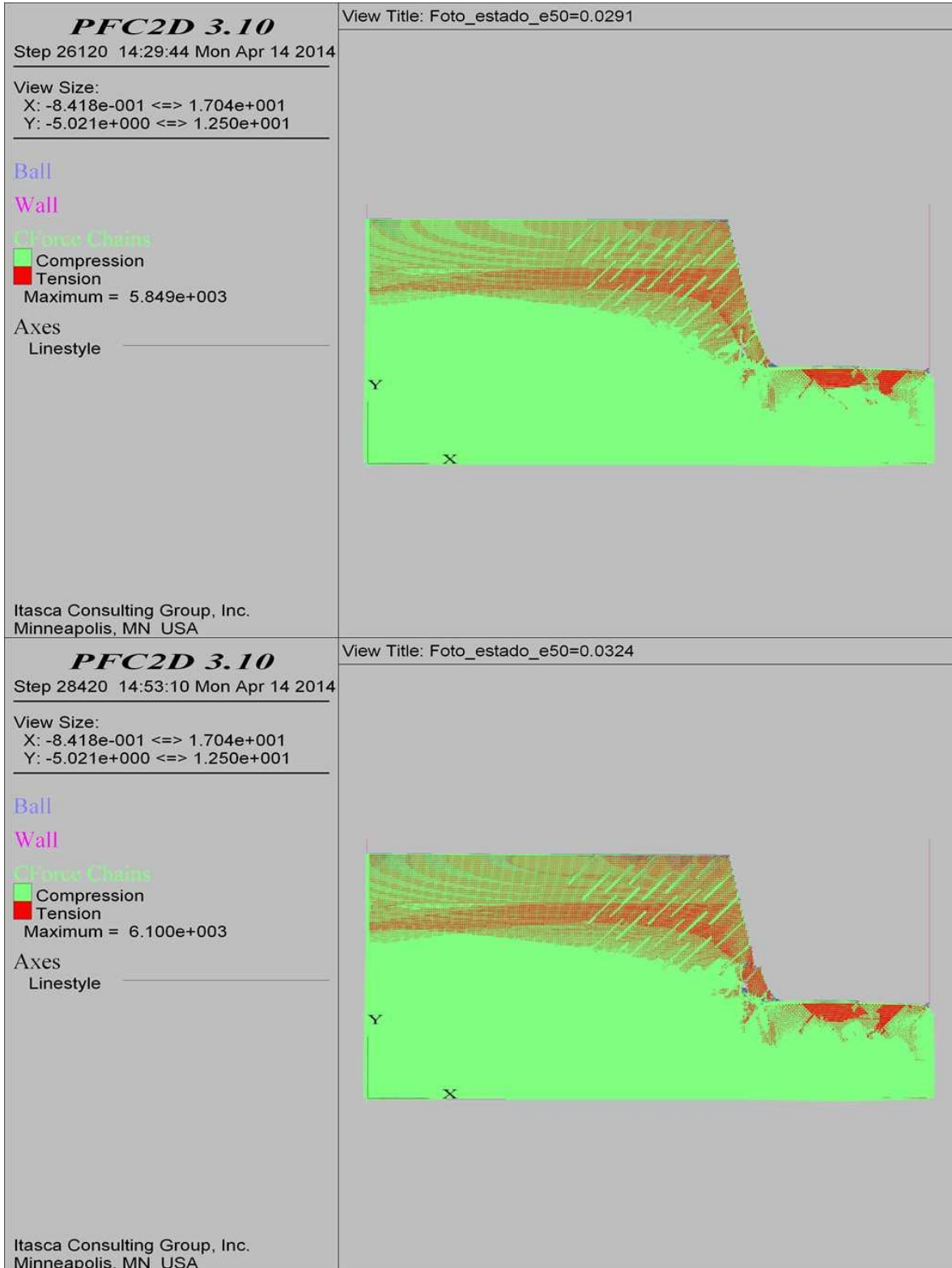
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



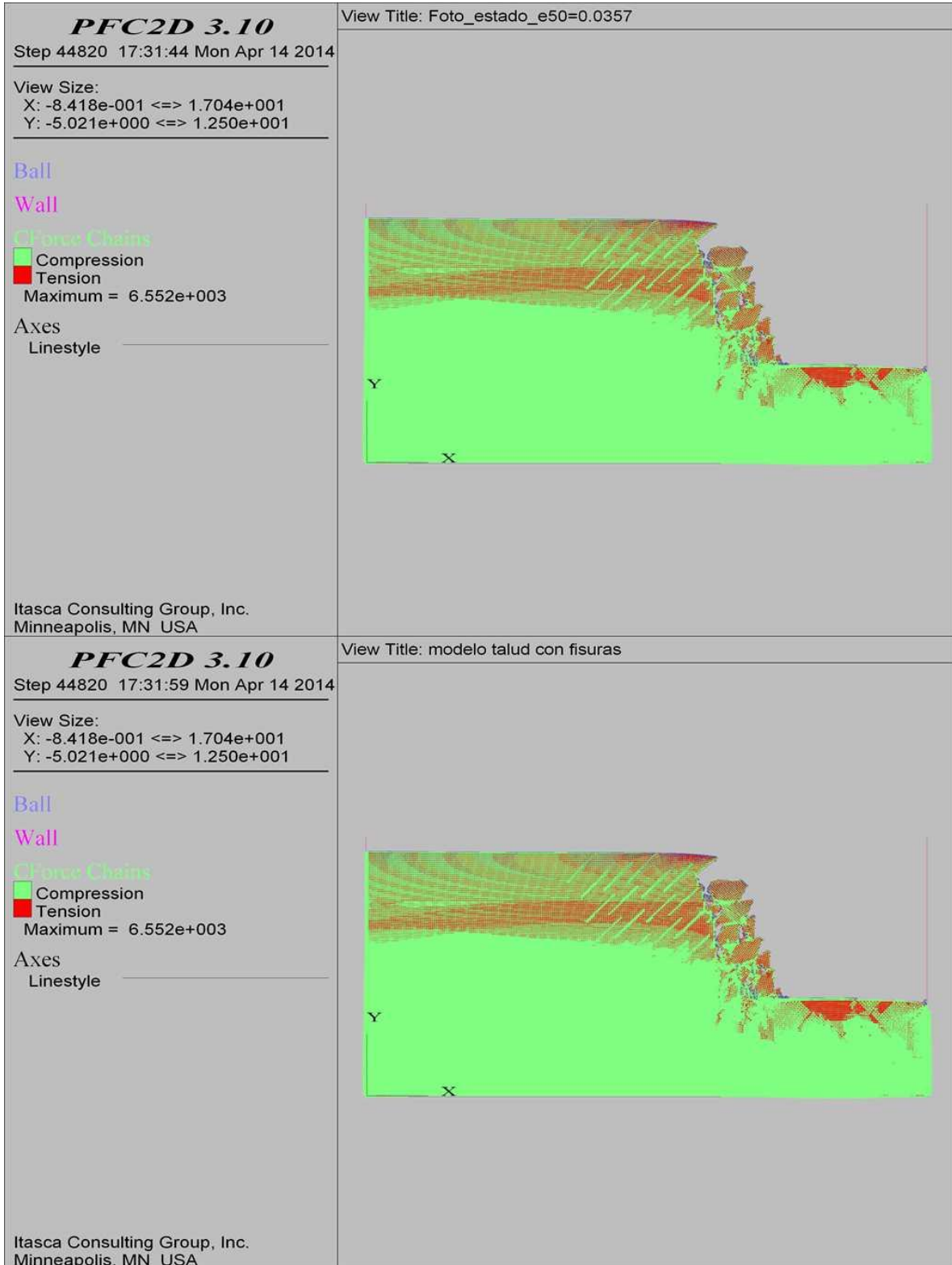
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



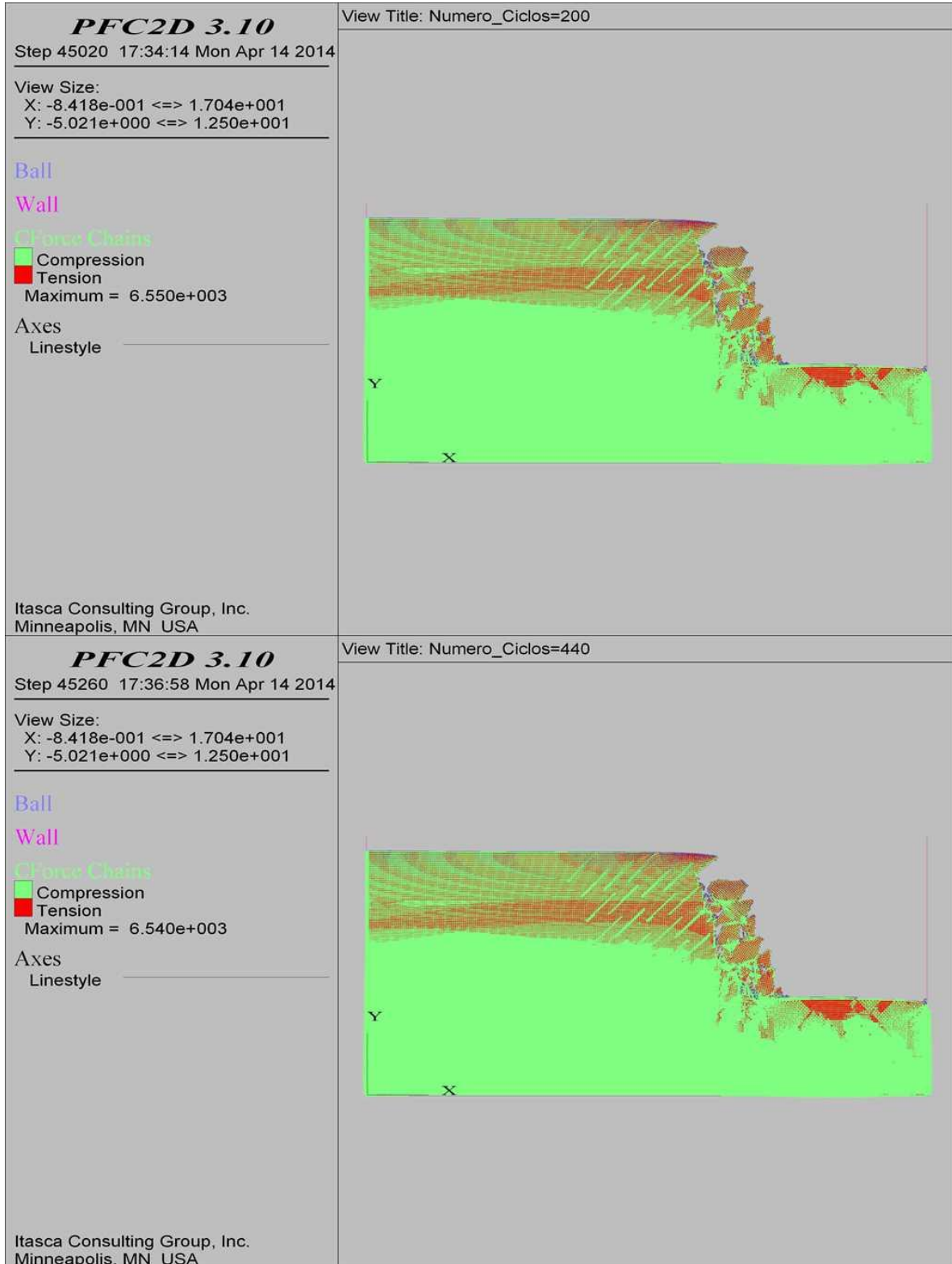
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



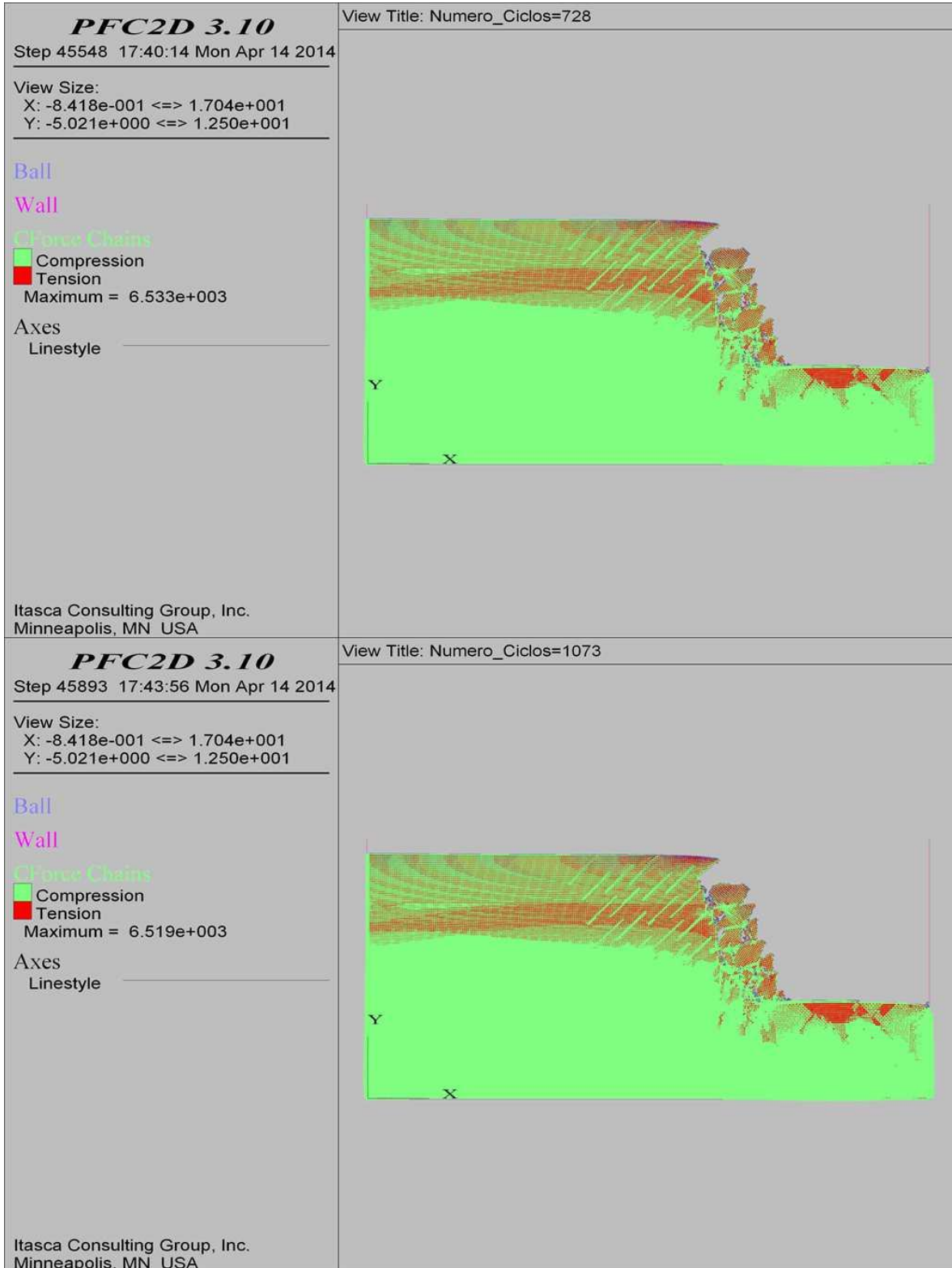
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



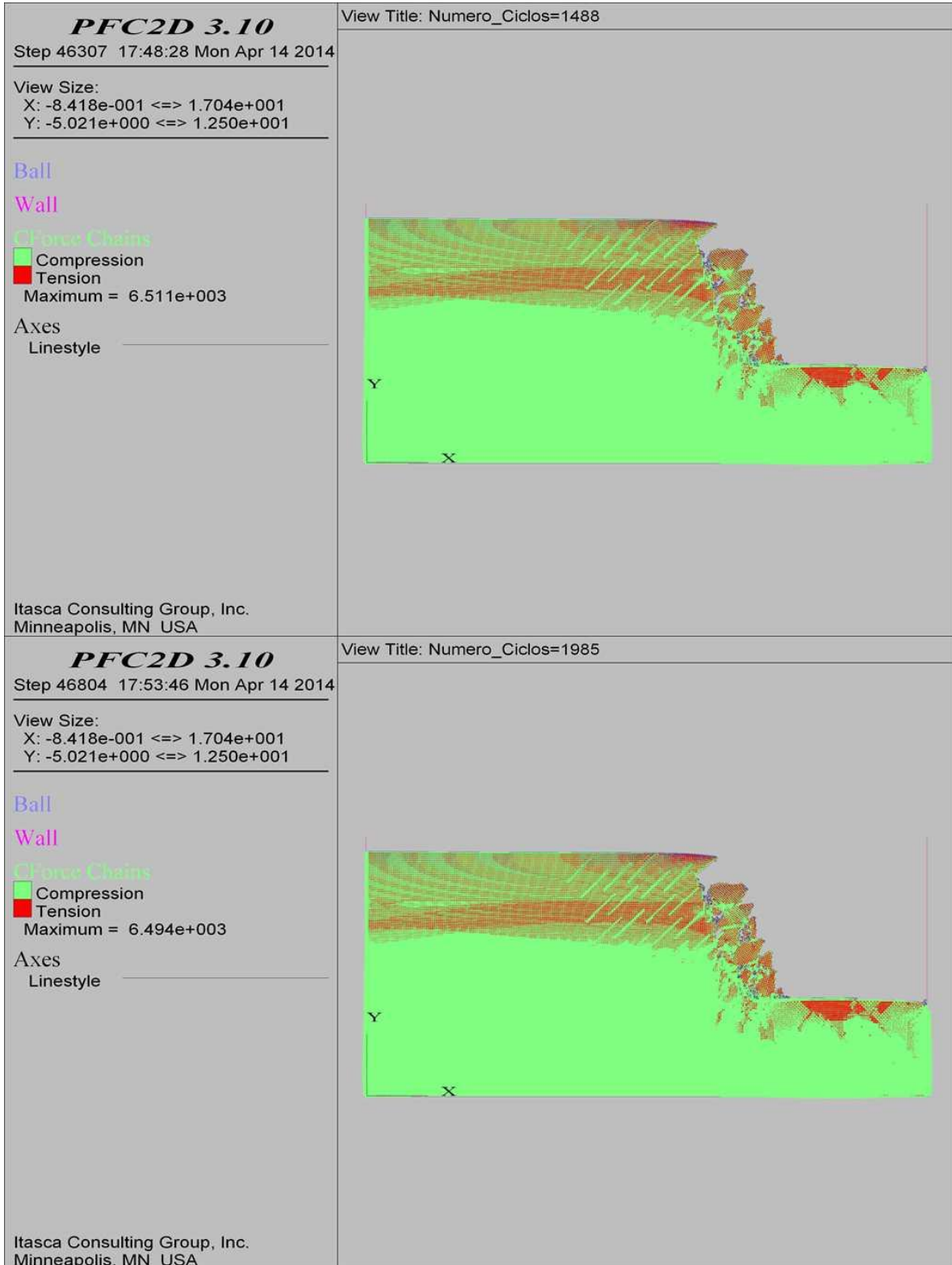
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



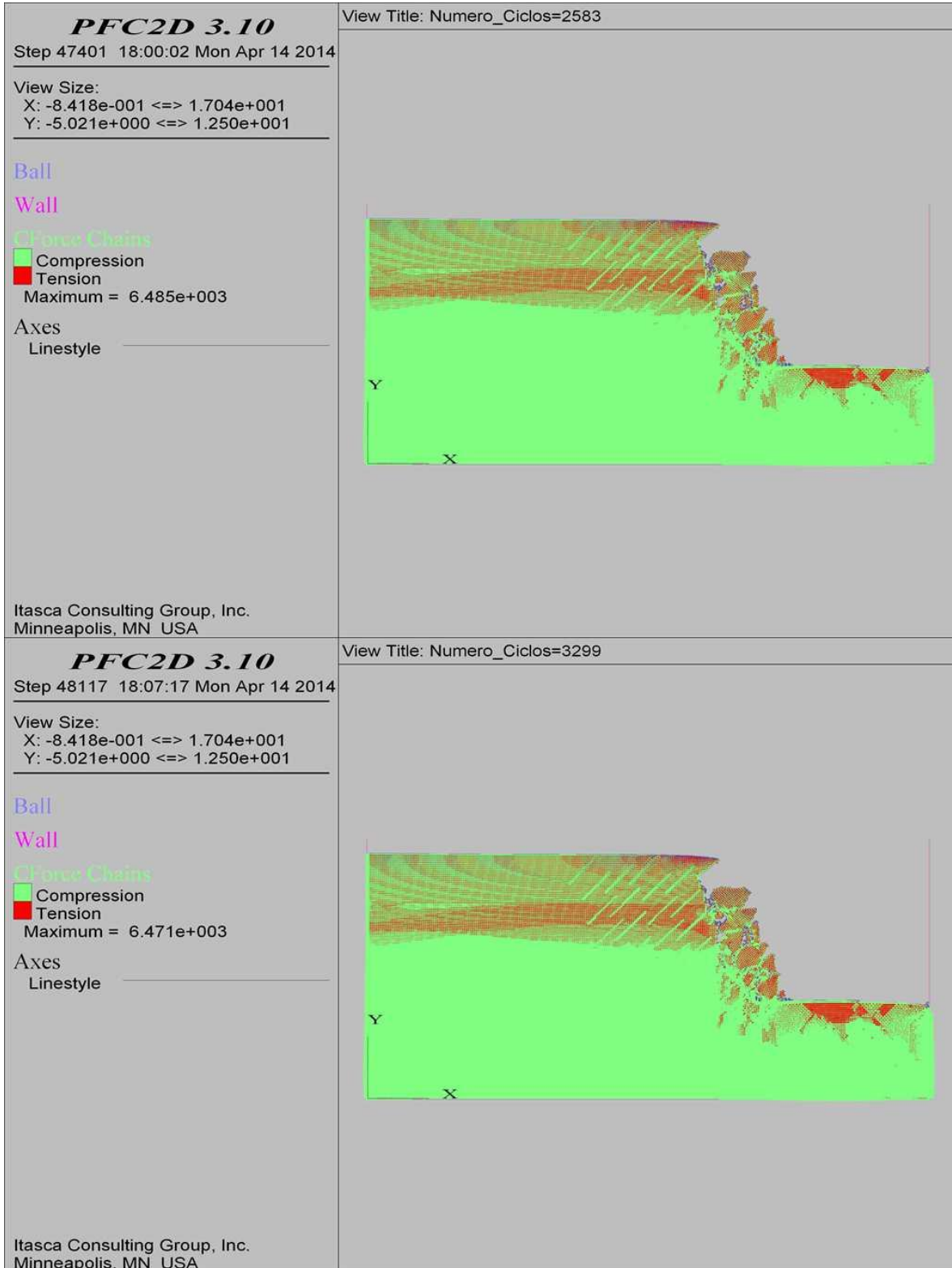
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



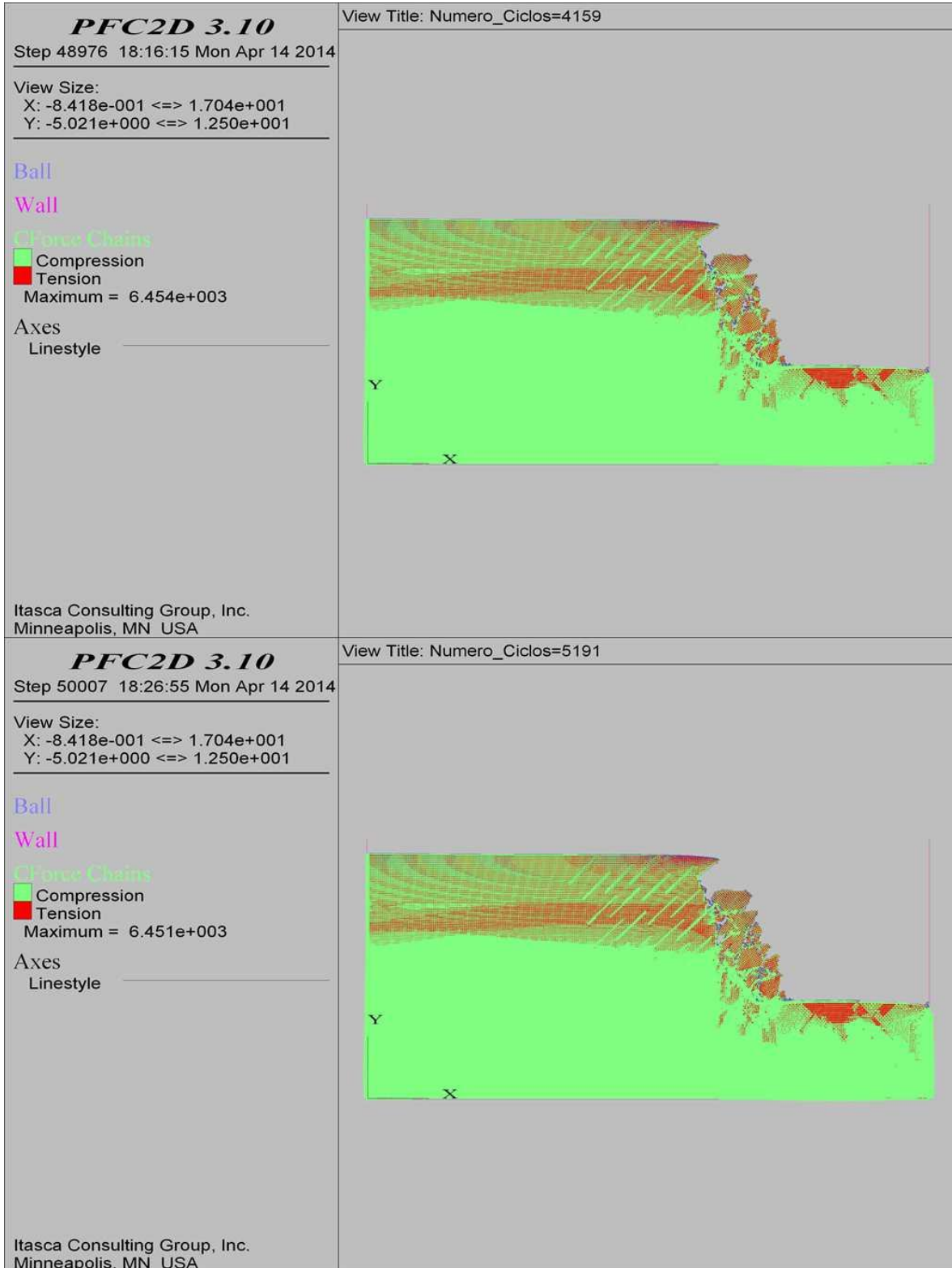
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



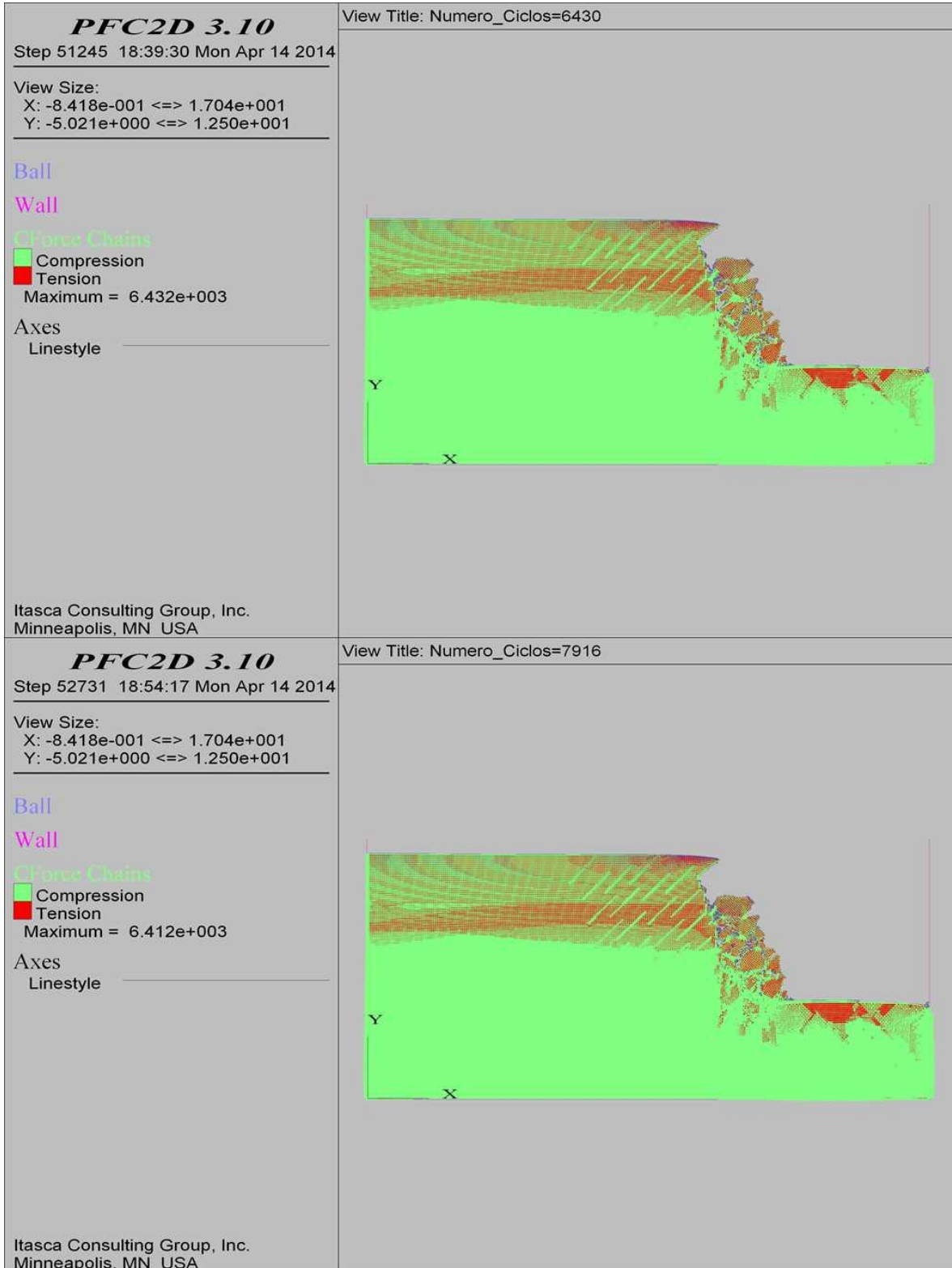
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



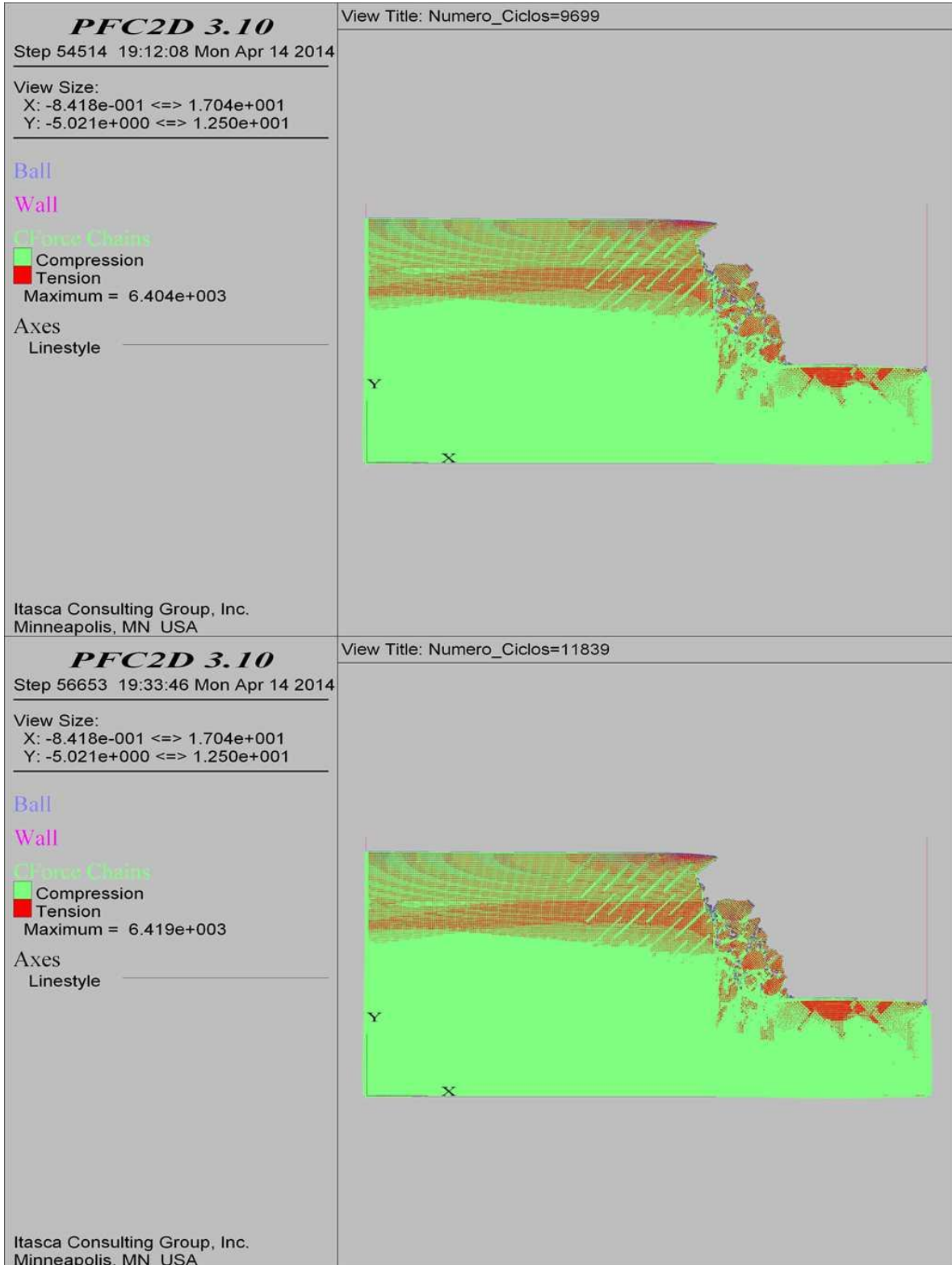
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



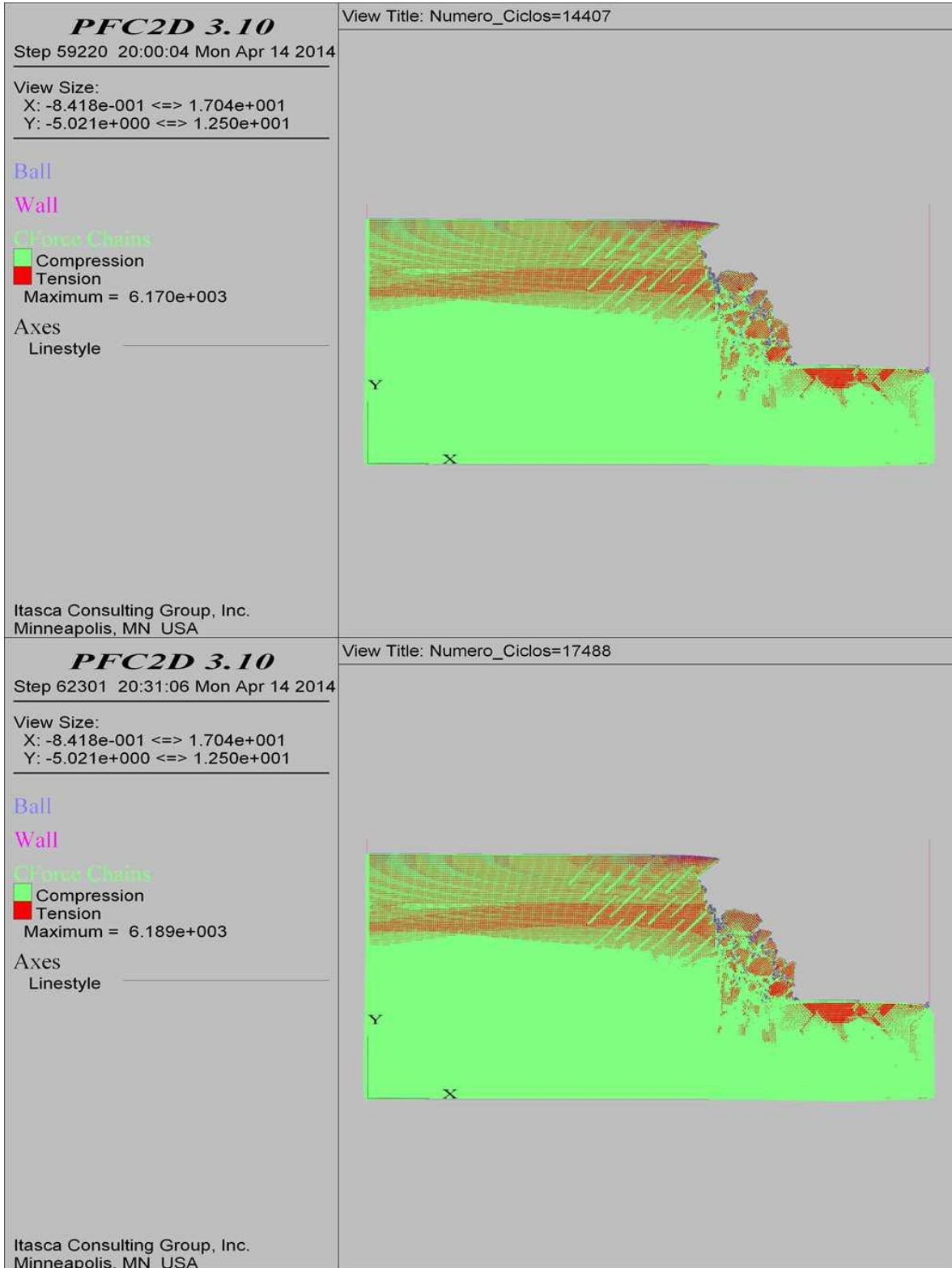
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



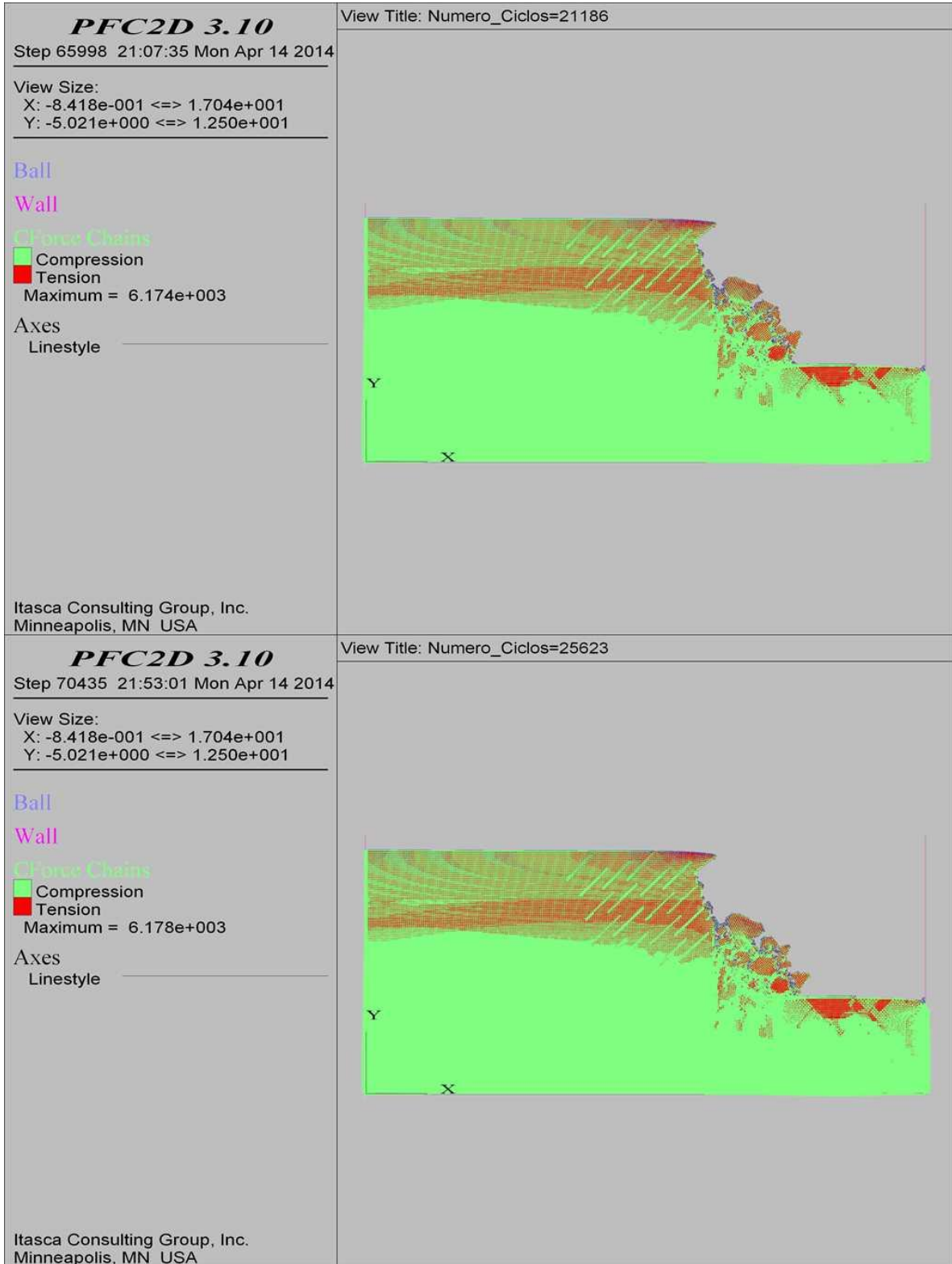
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



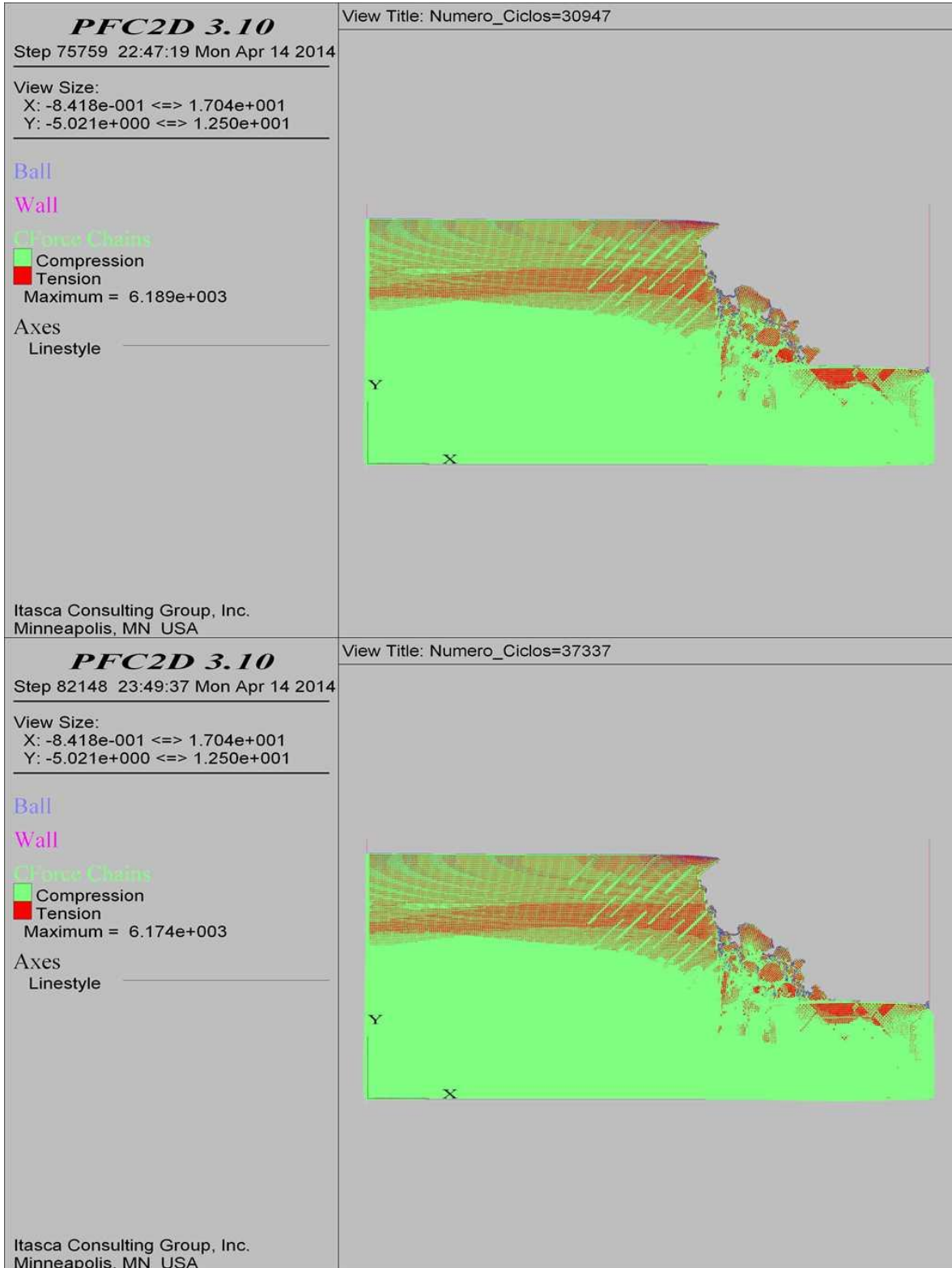
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



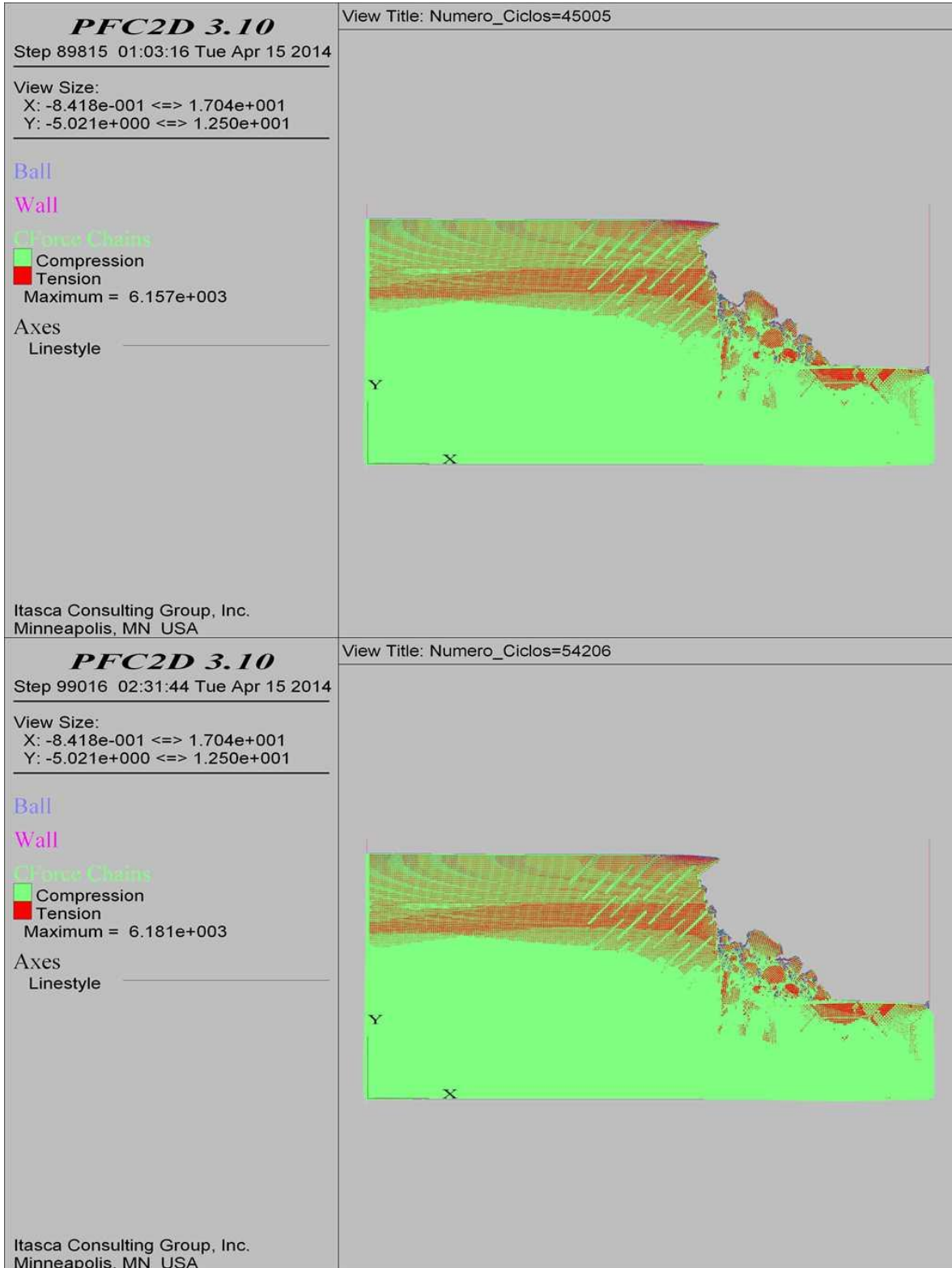
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



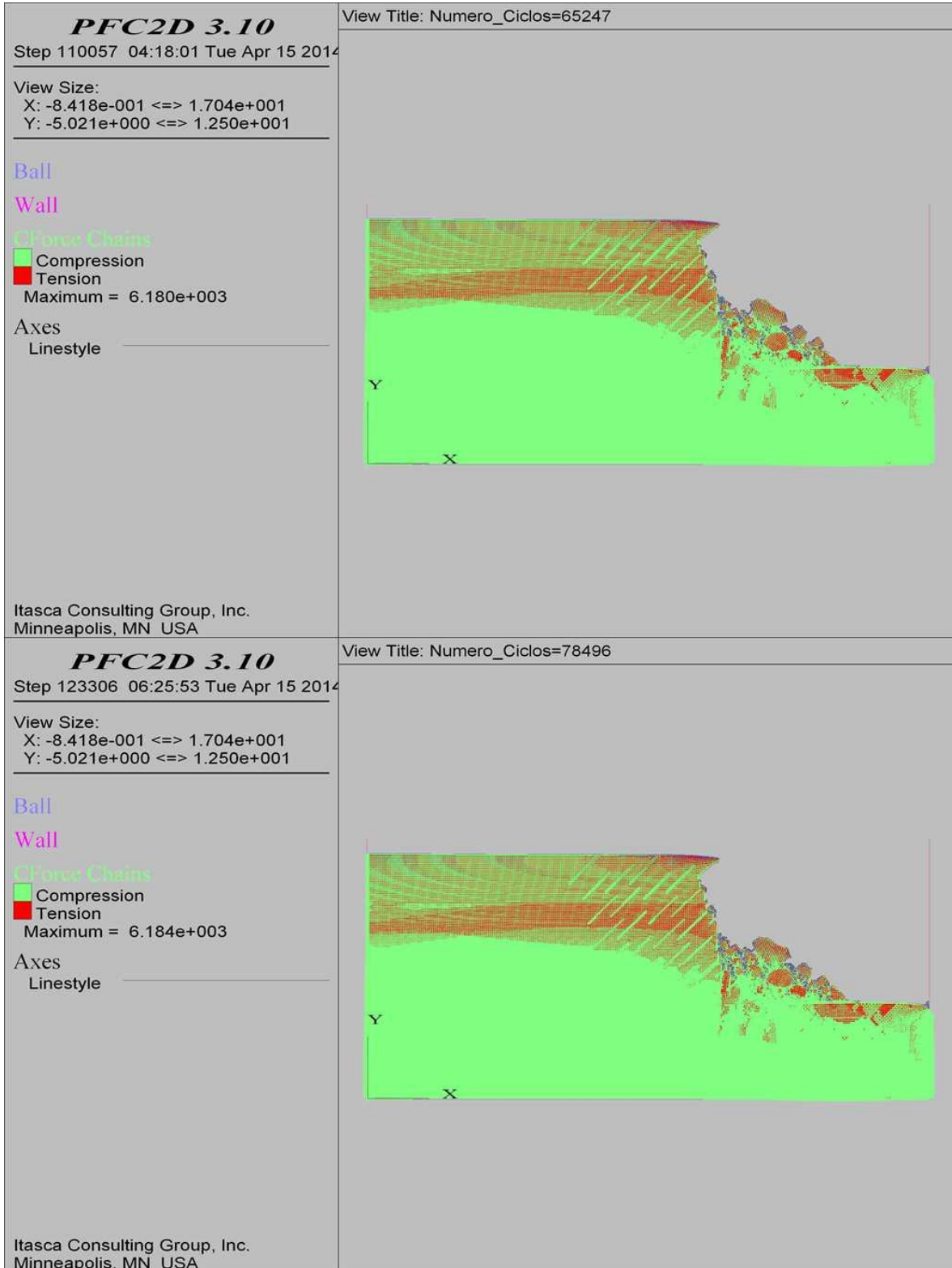
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



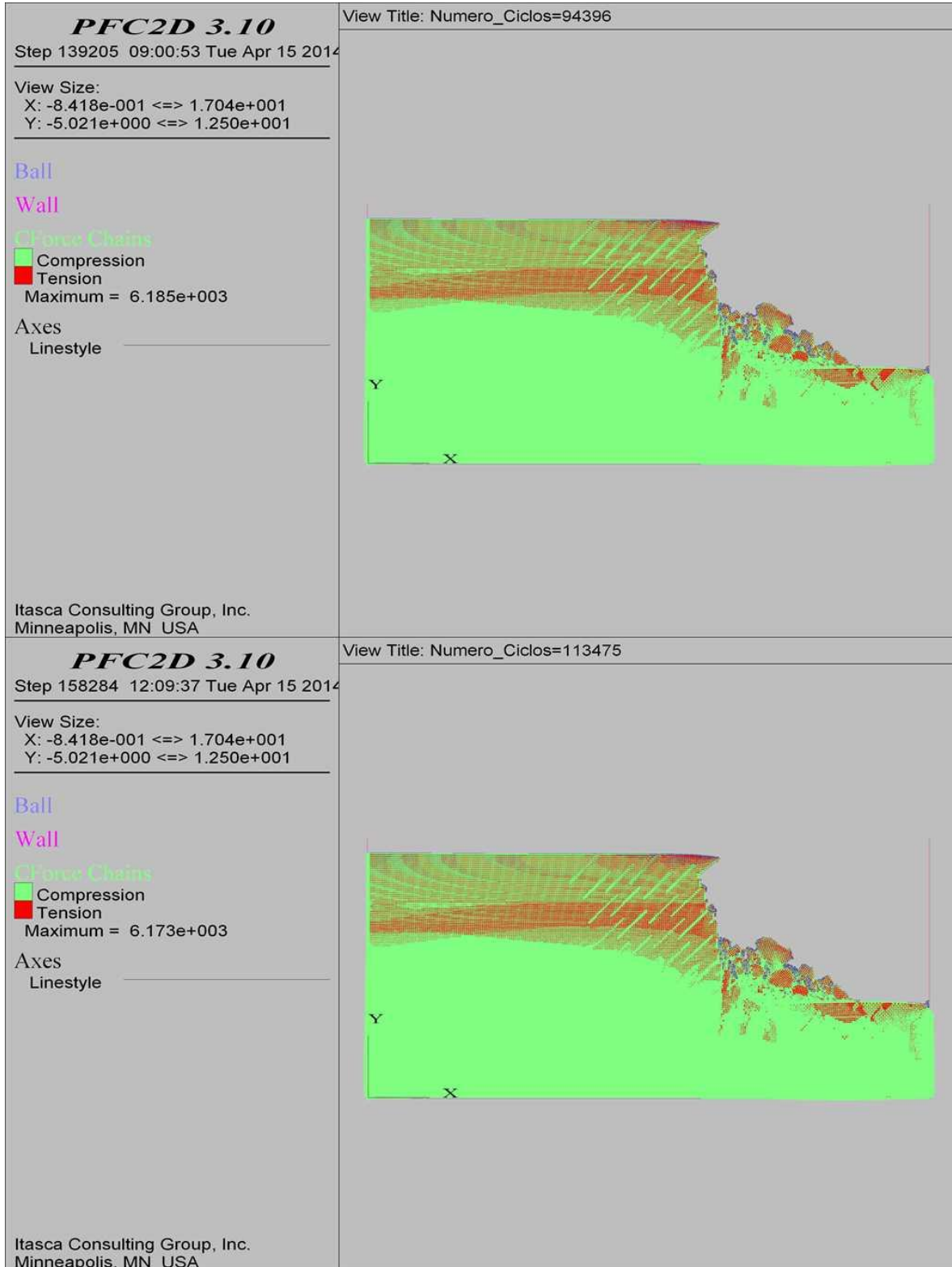
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



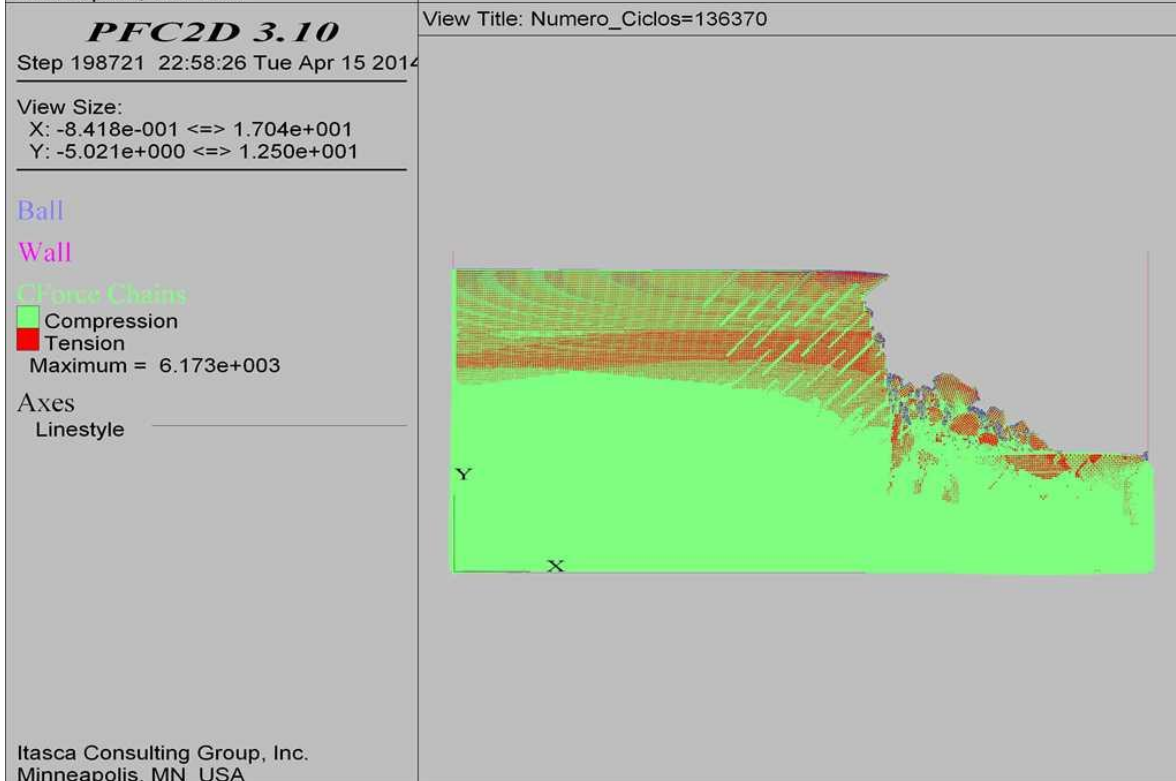
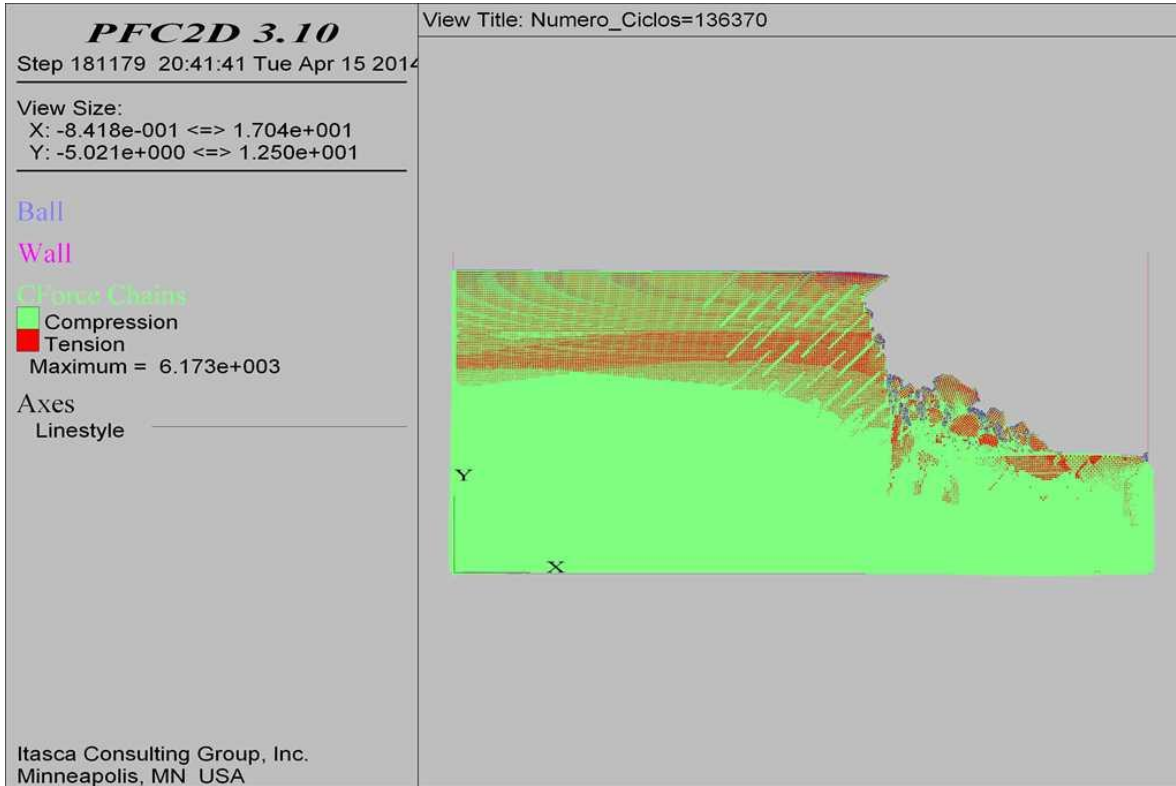
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



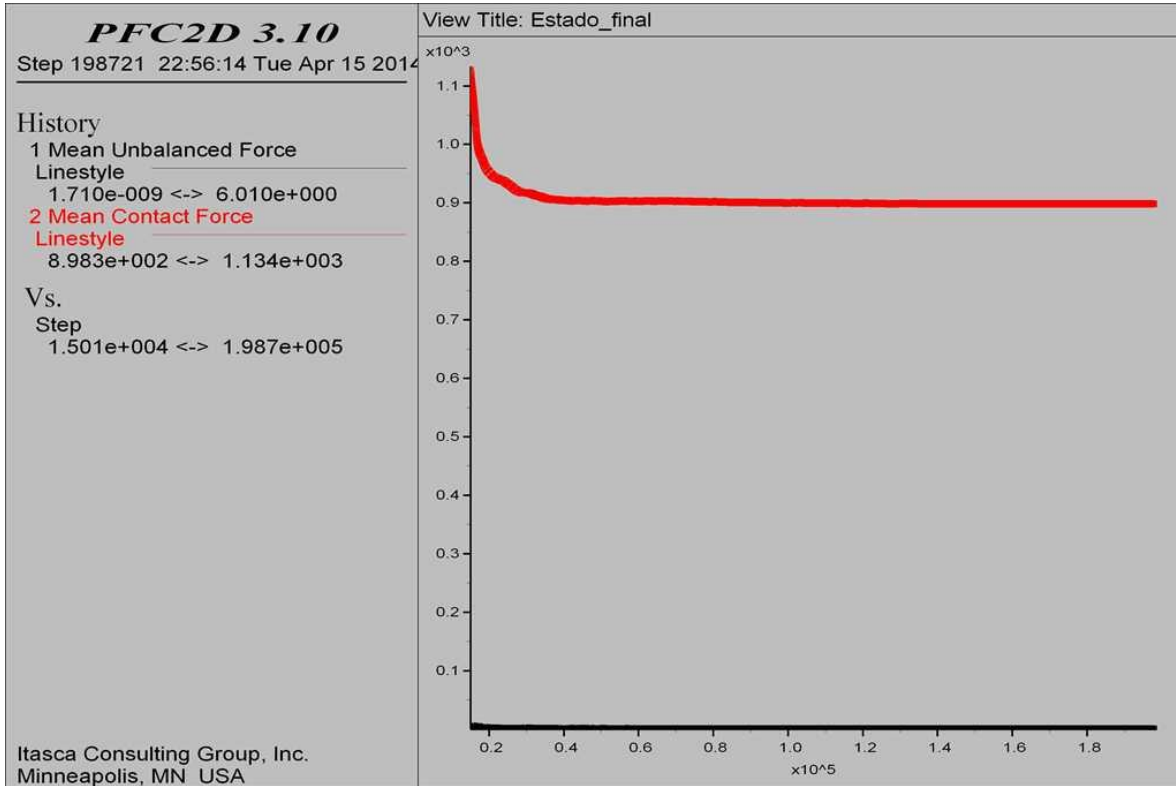
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



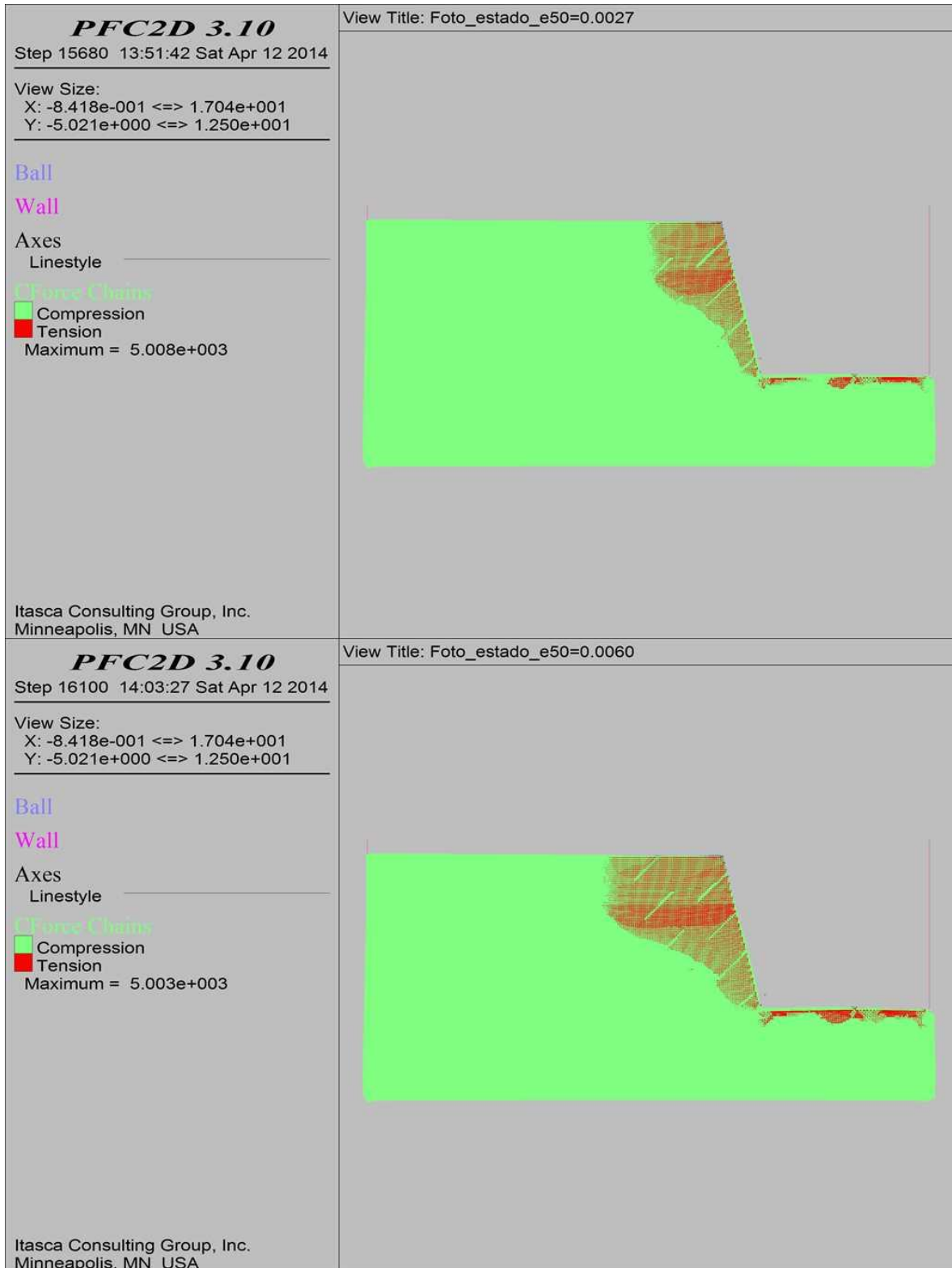
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



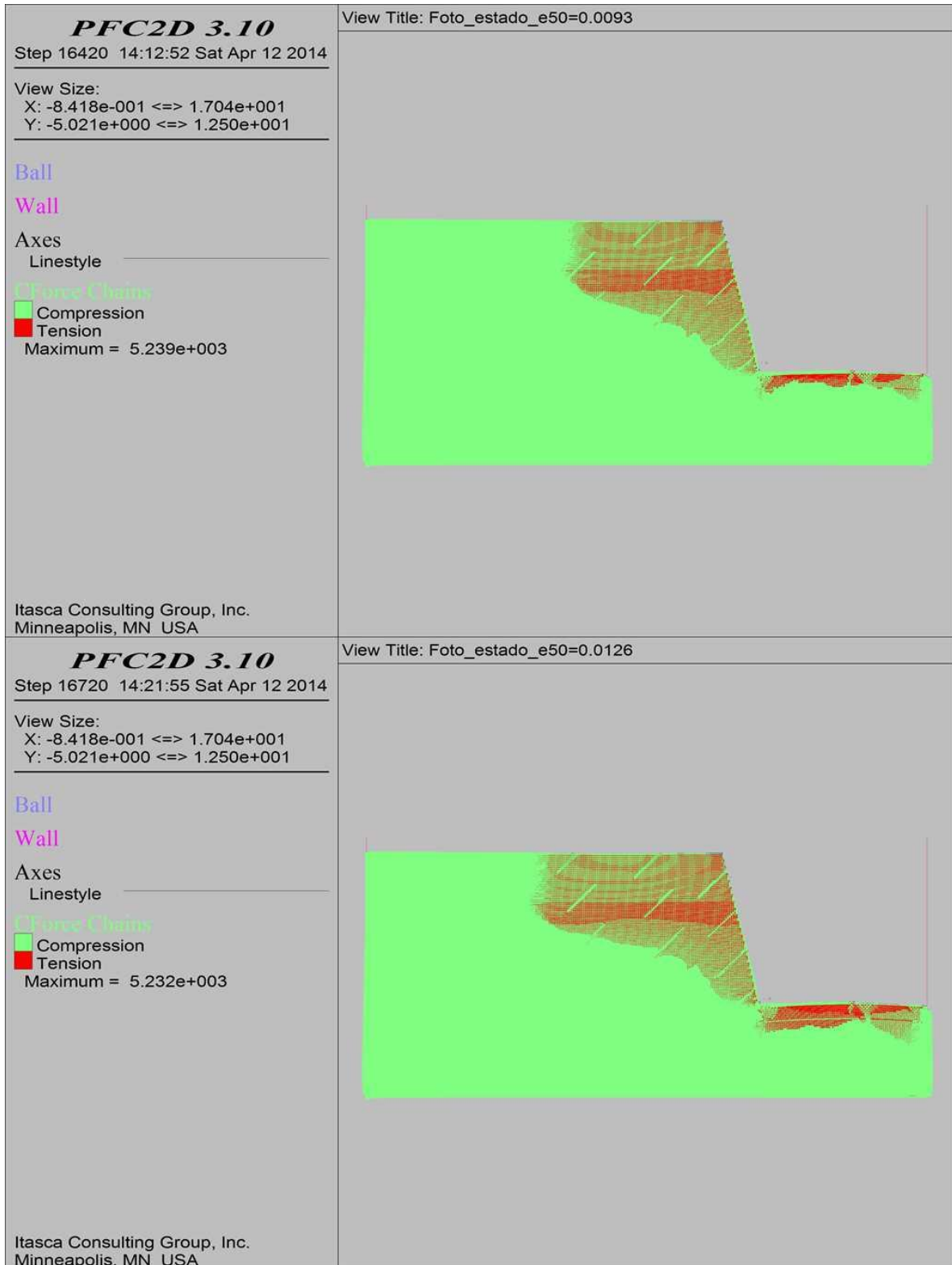
COMBINACIÓN 16: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



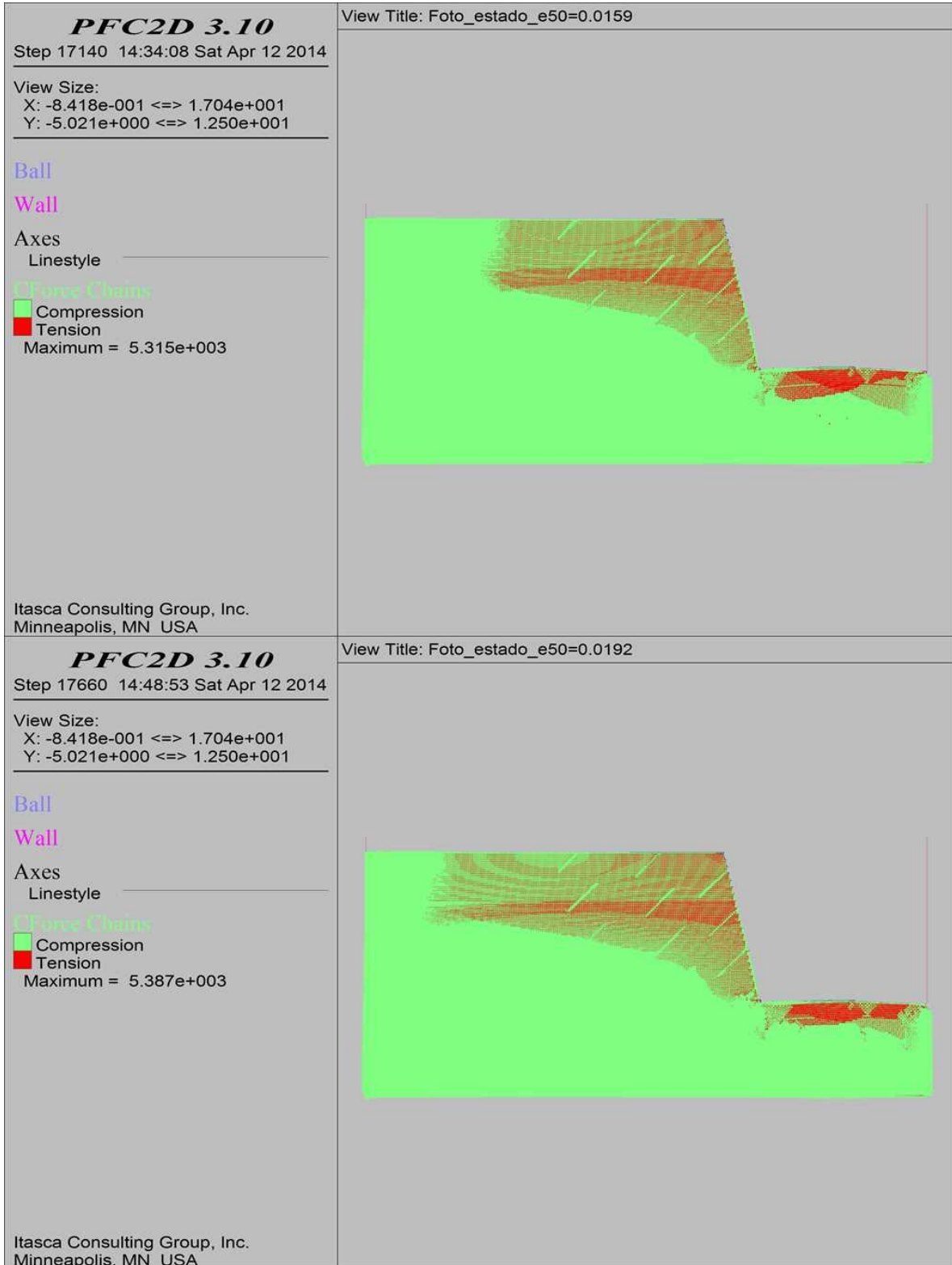
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



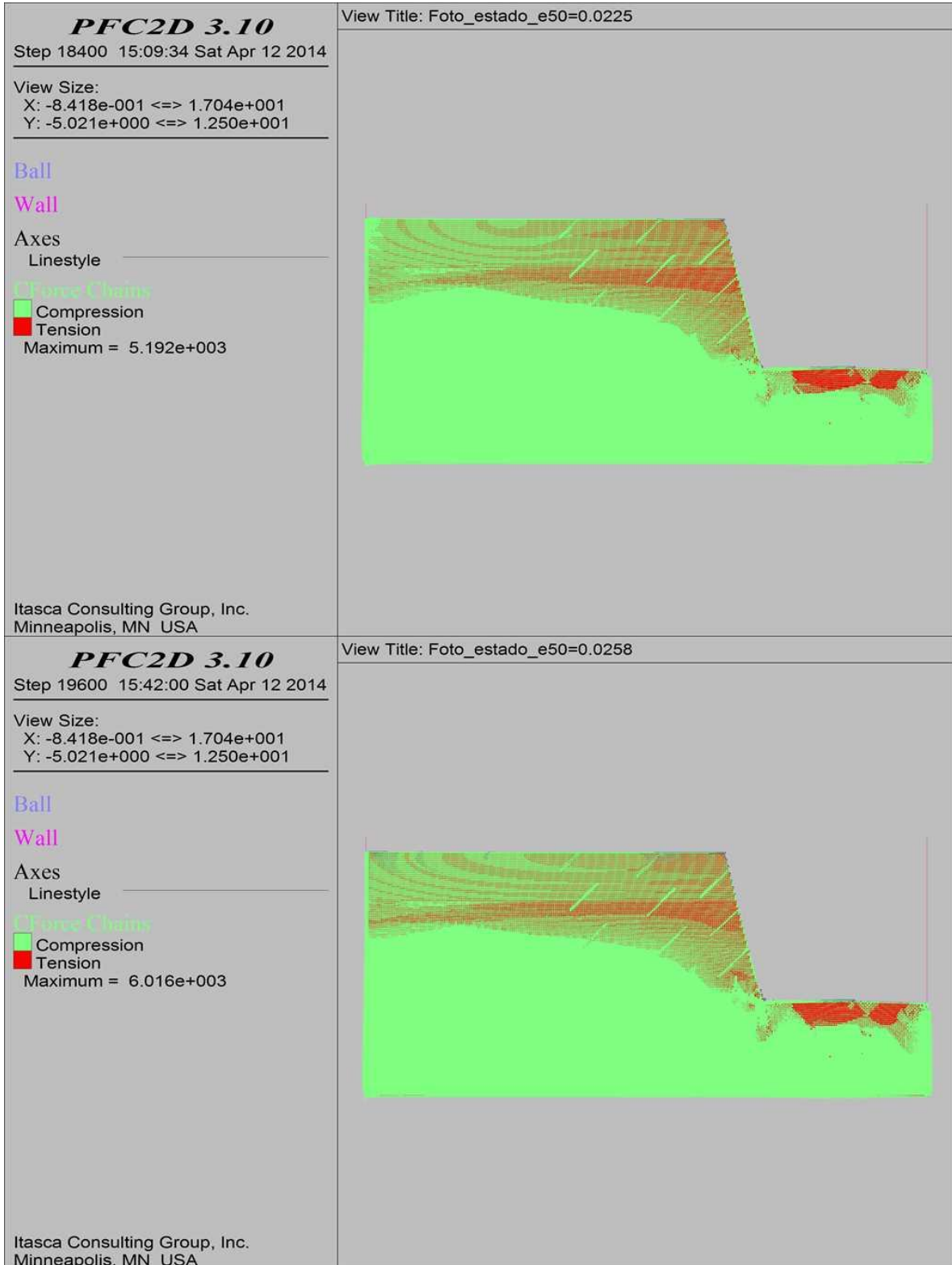
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



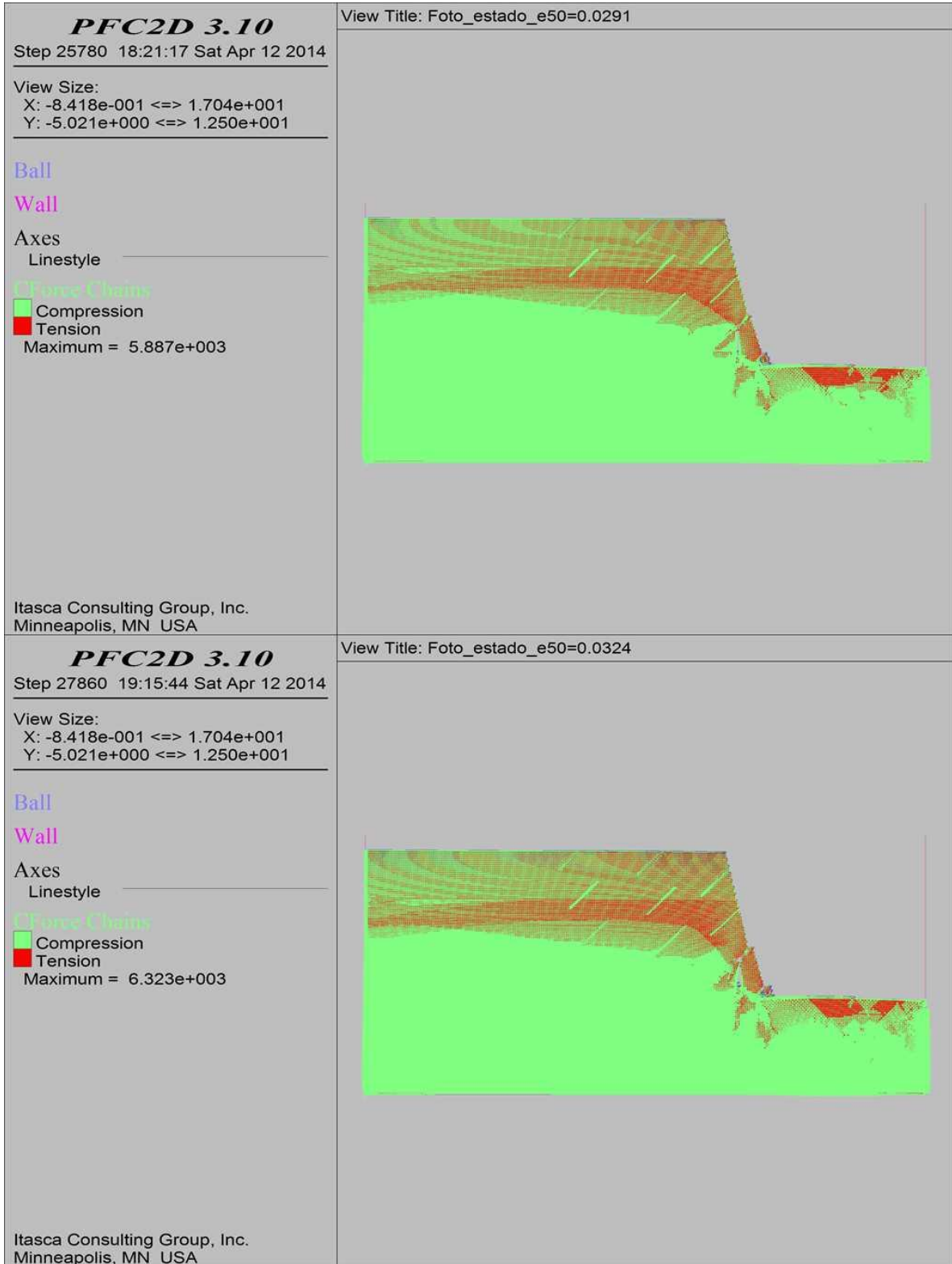
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



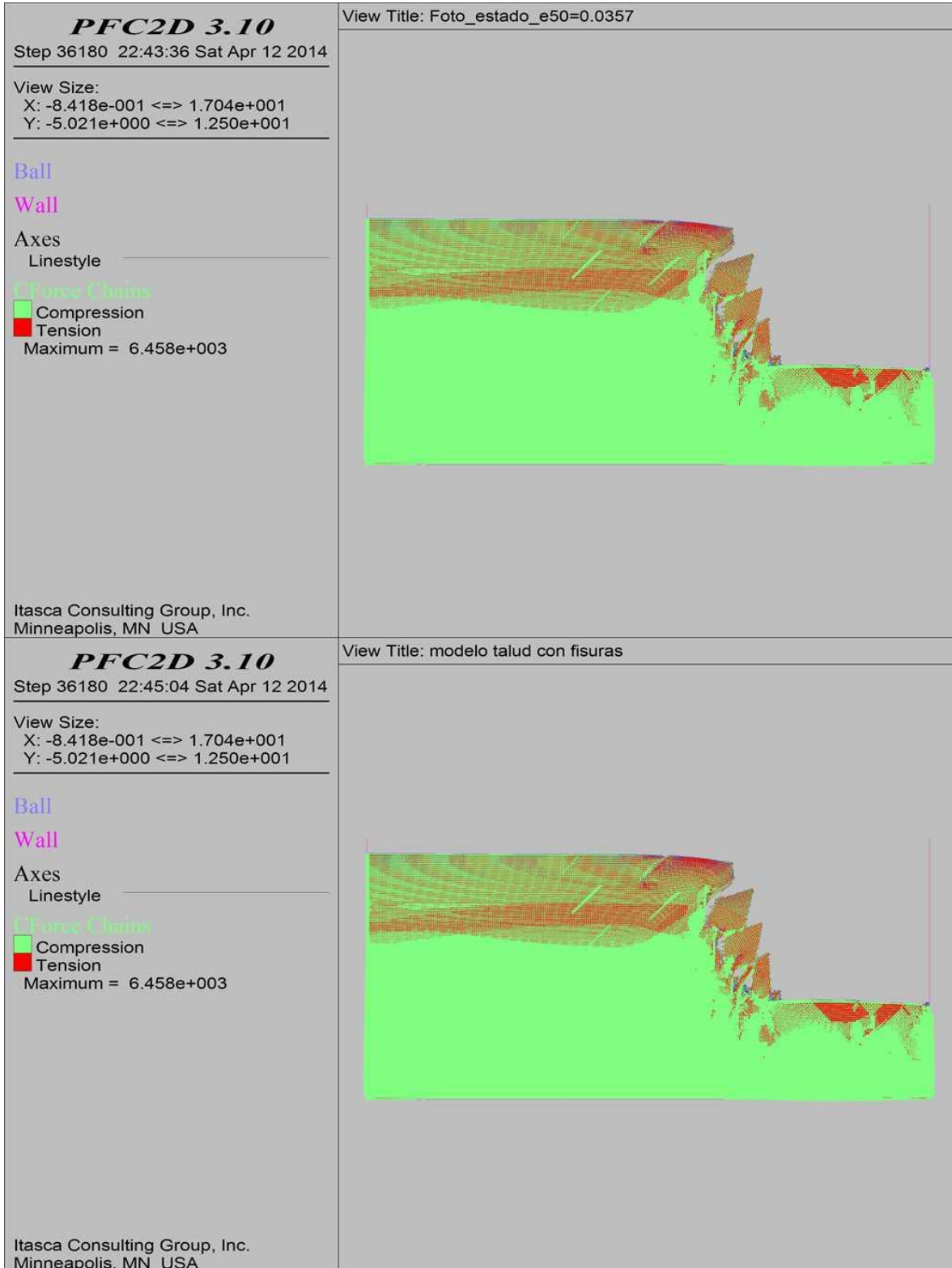
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



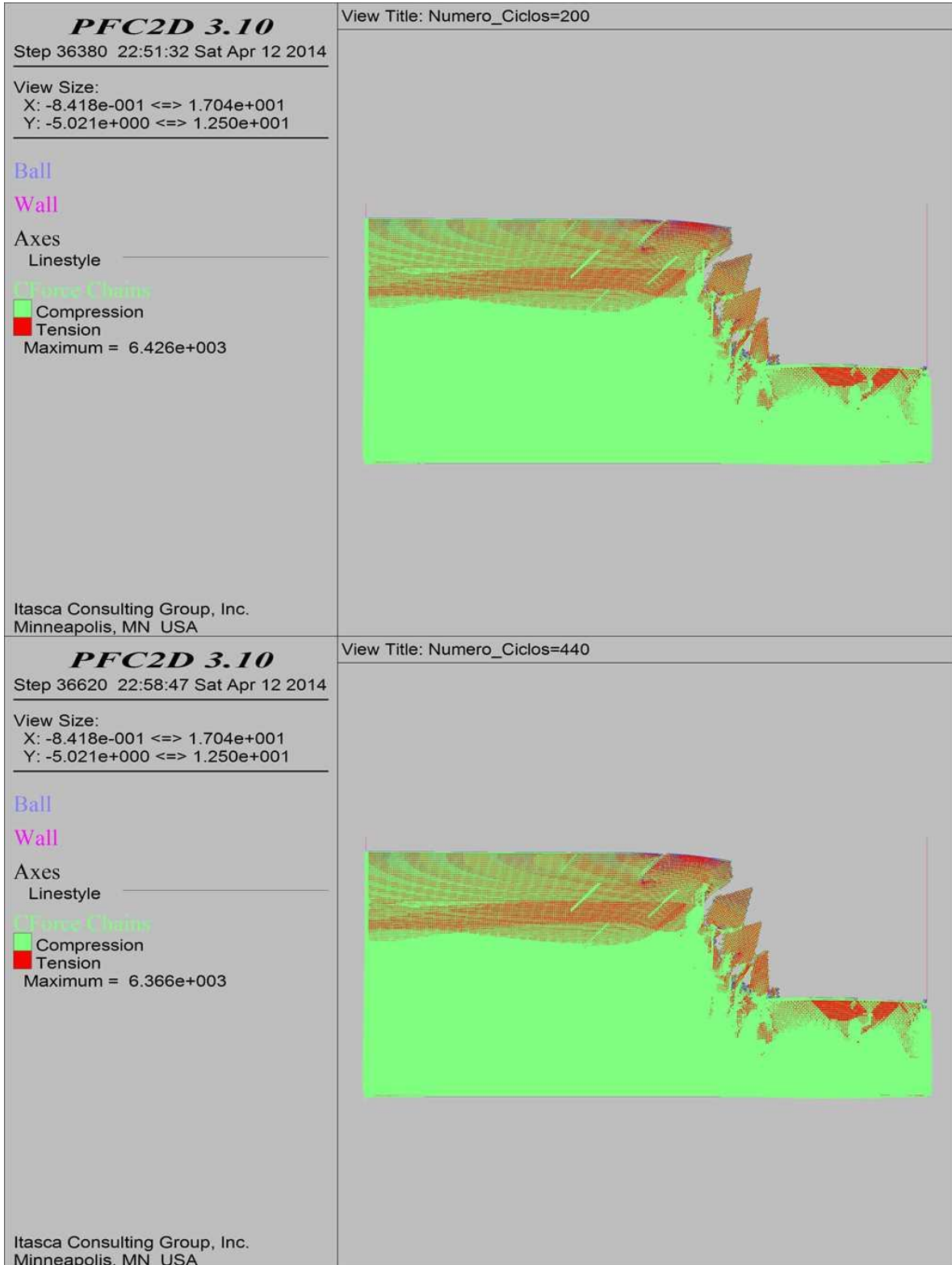
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



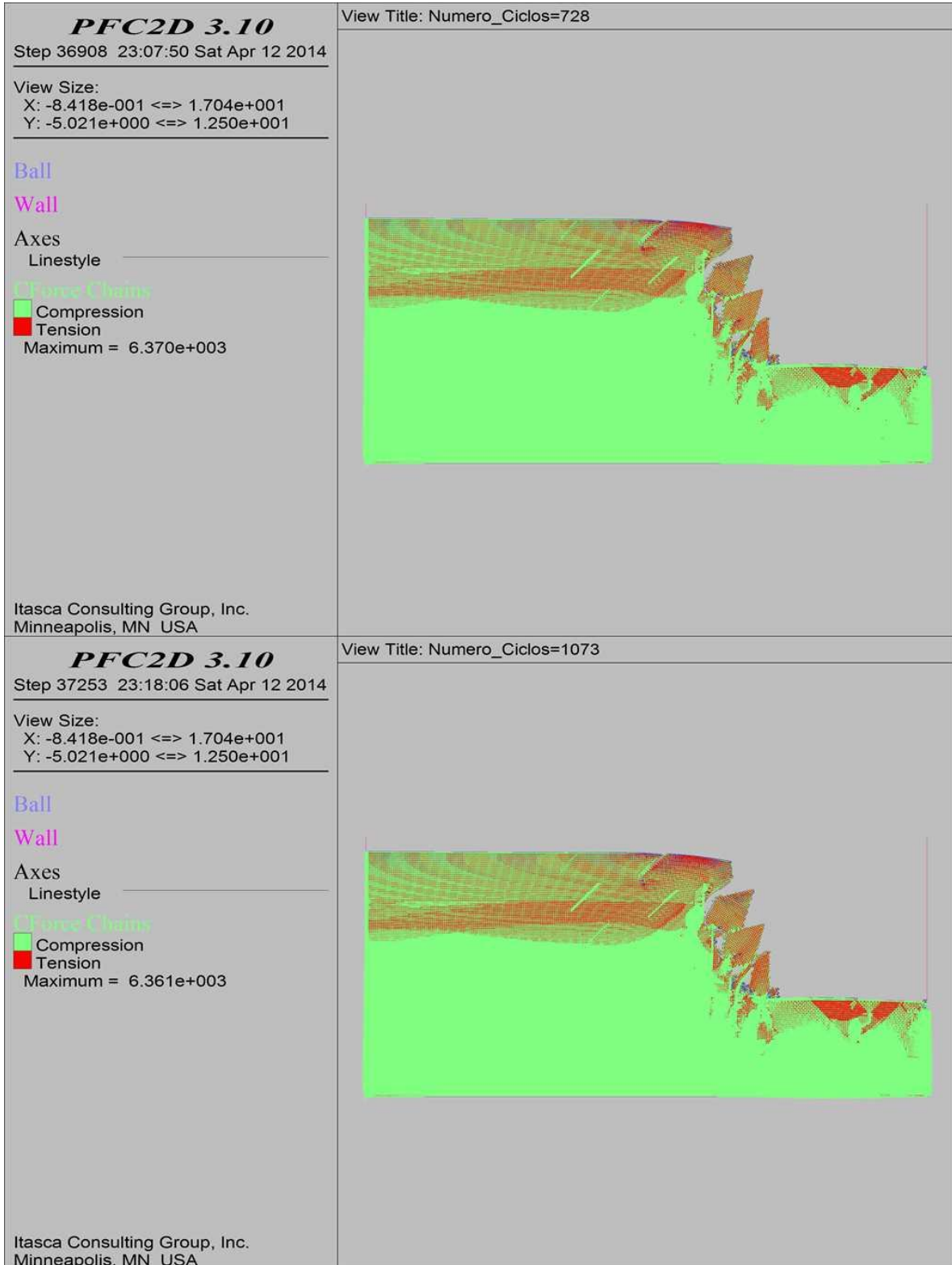
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



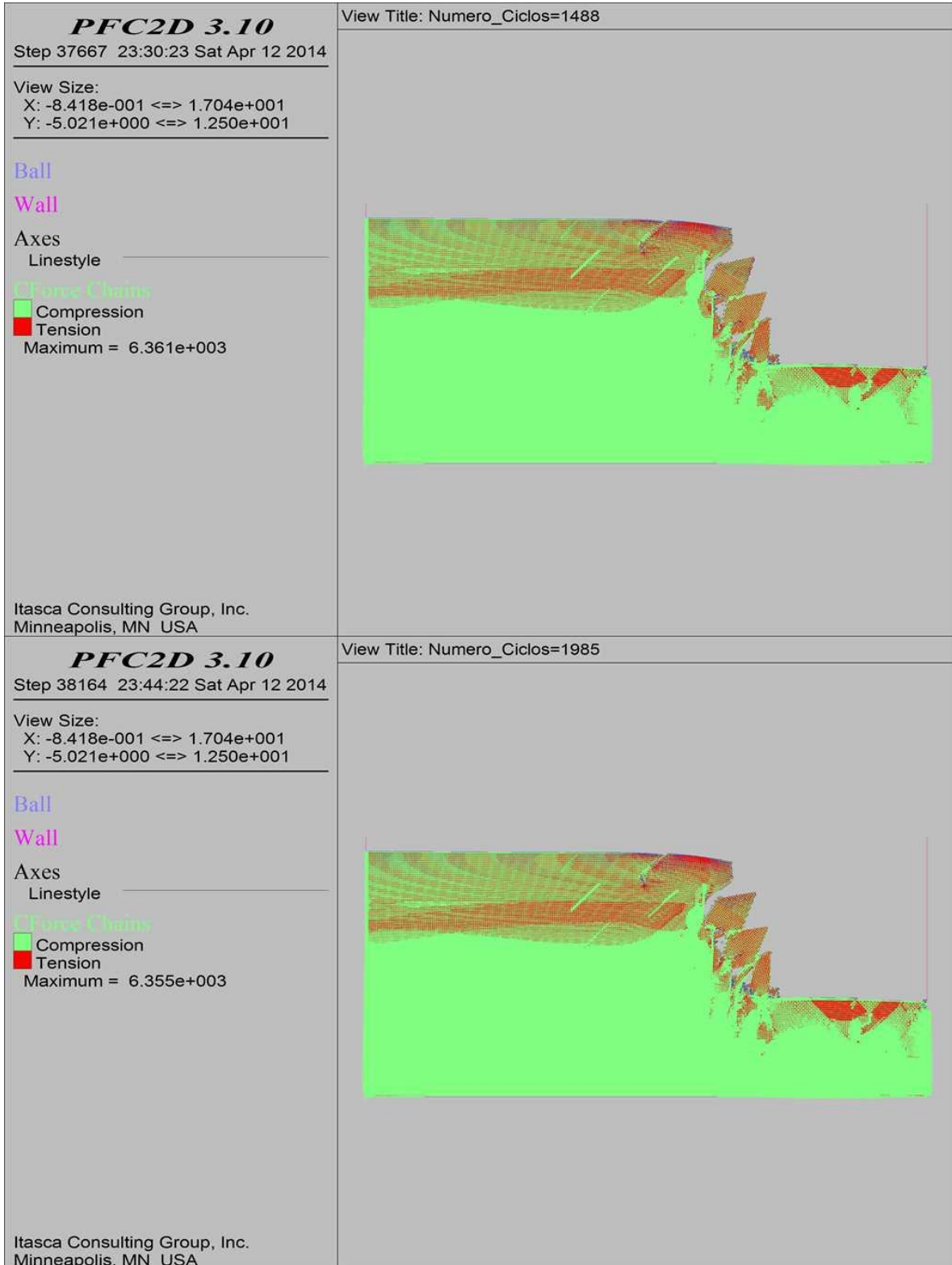
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



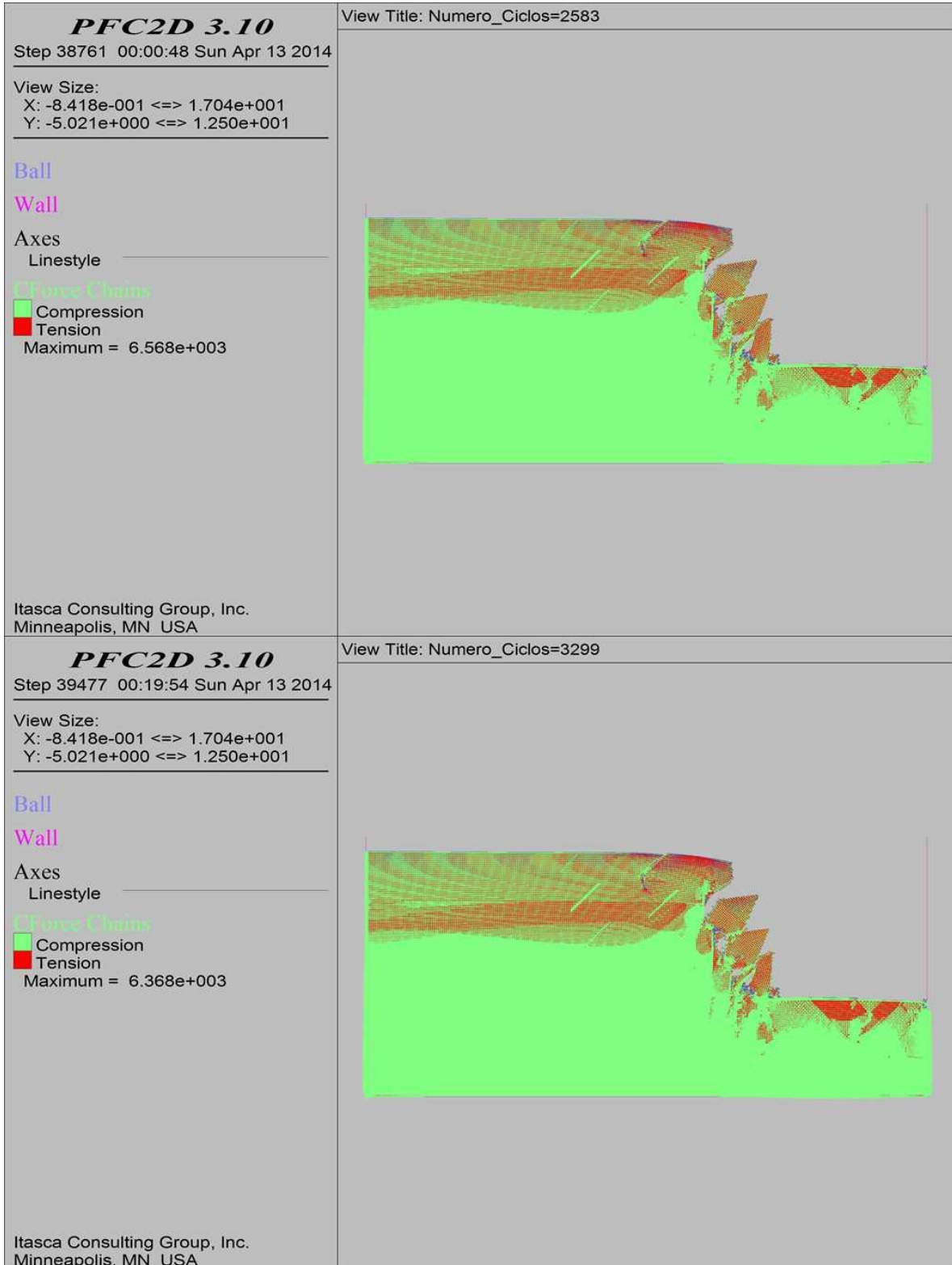
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



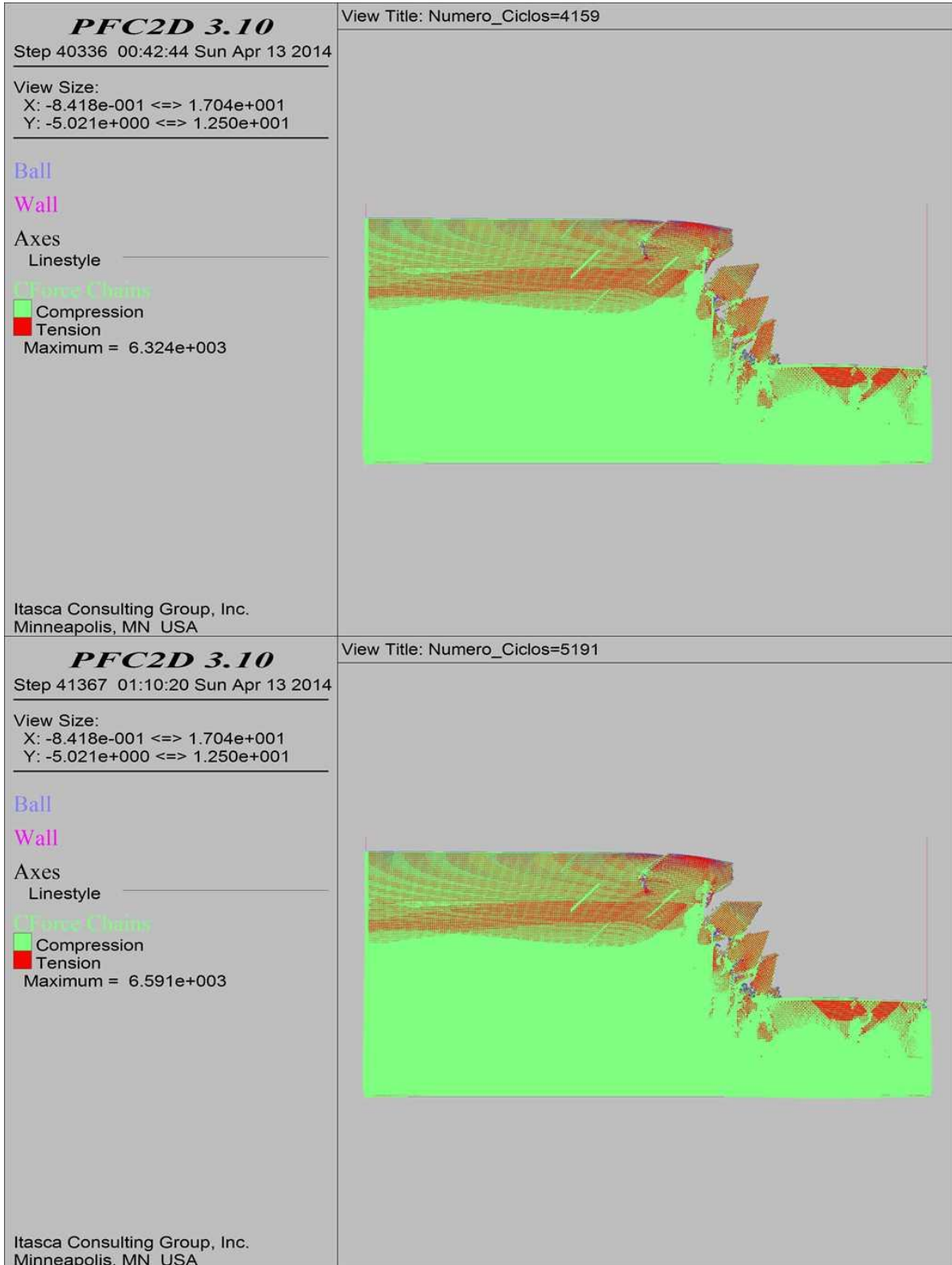
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



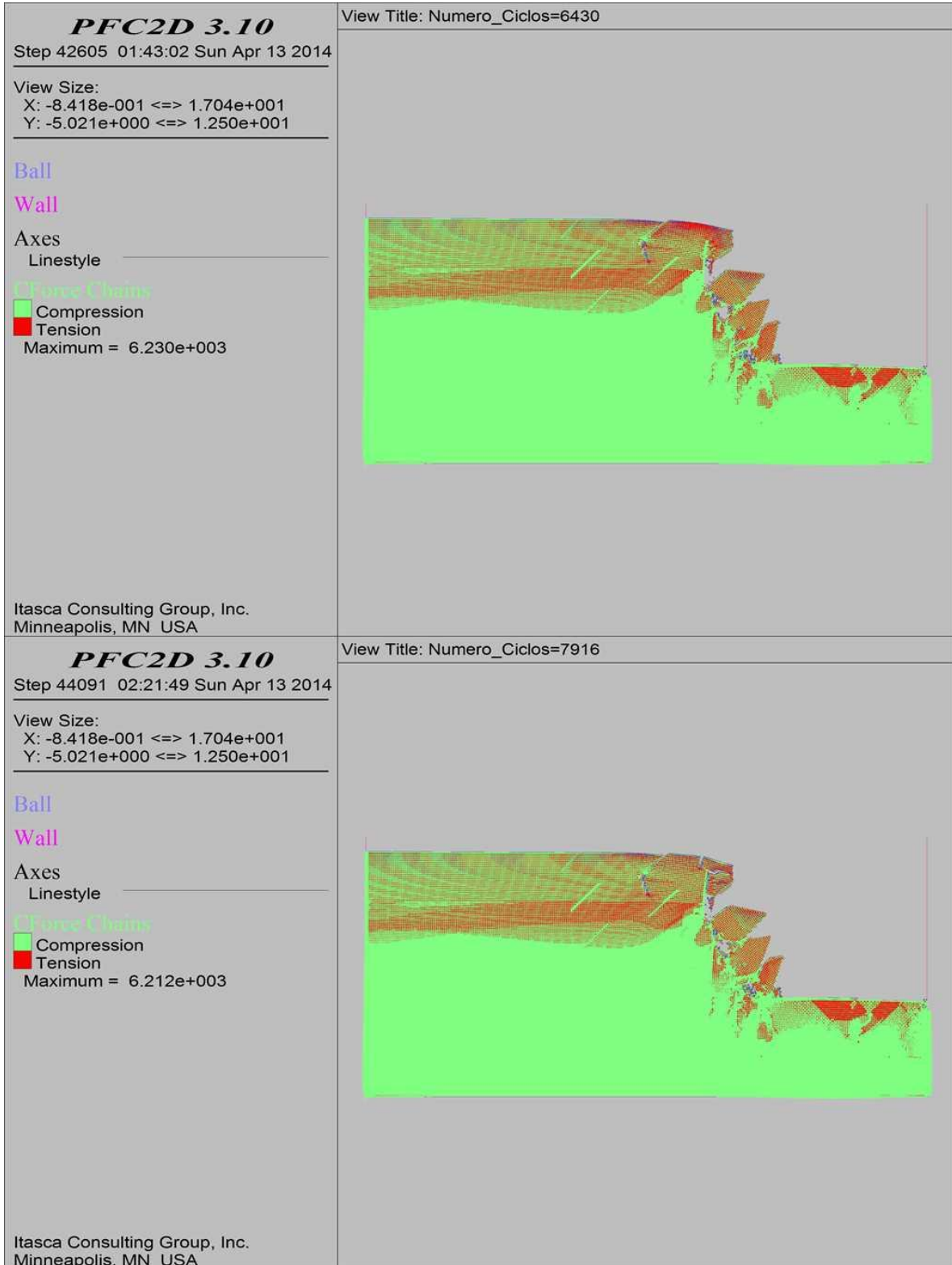
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



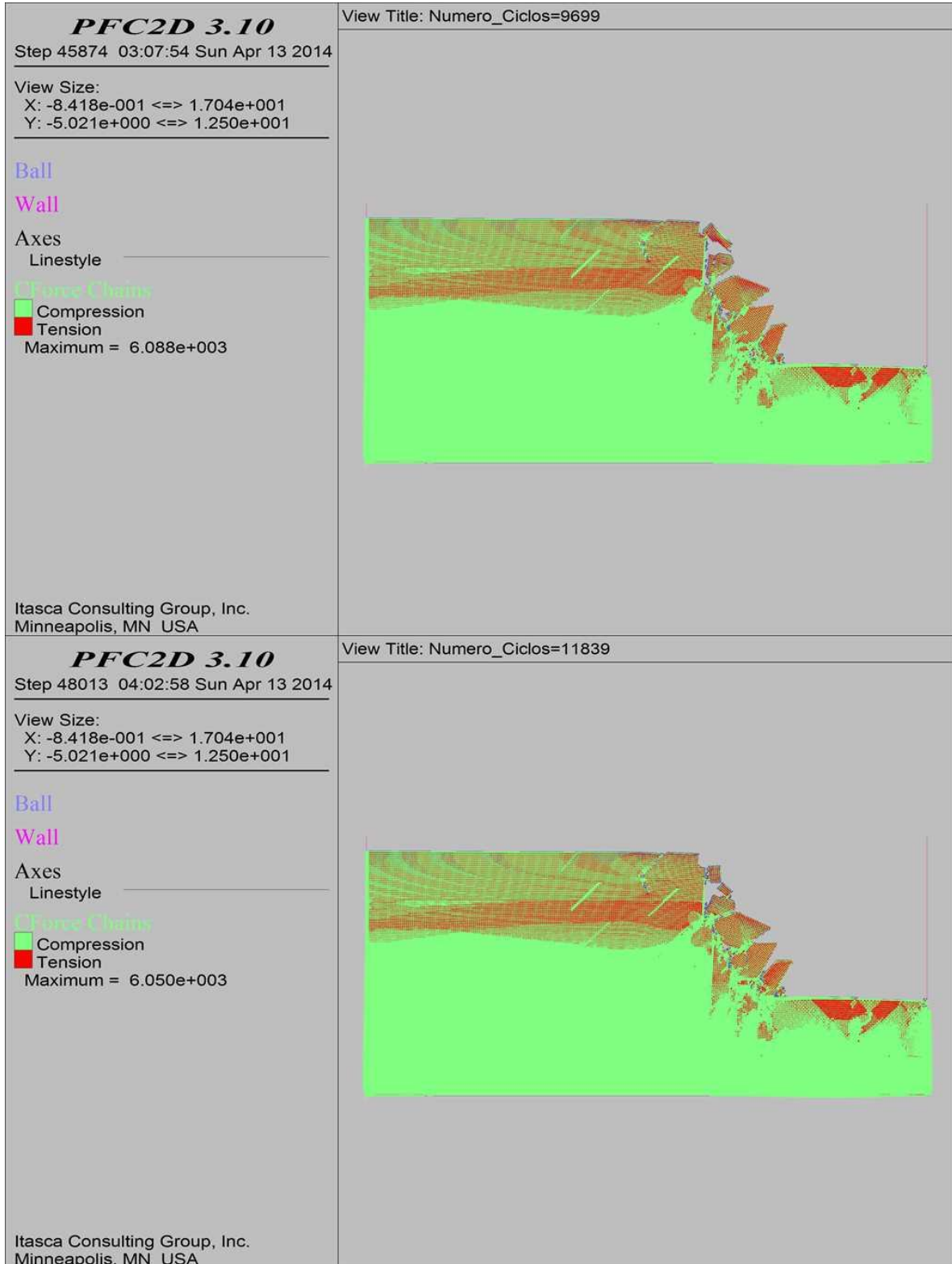
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



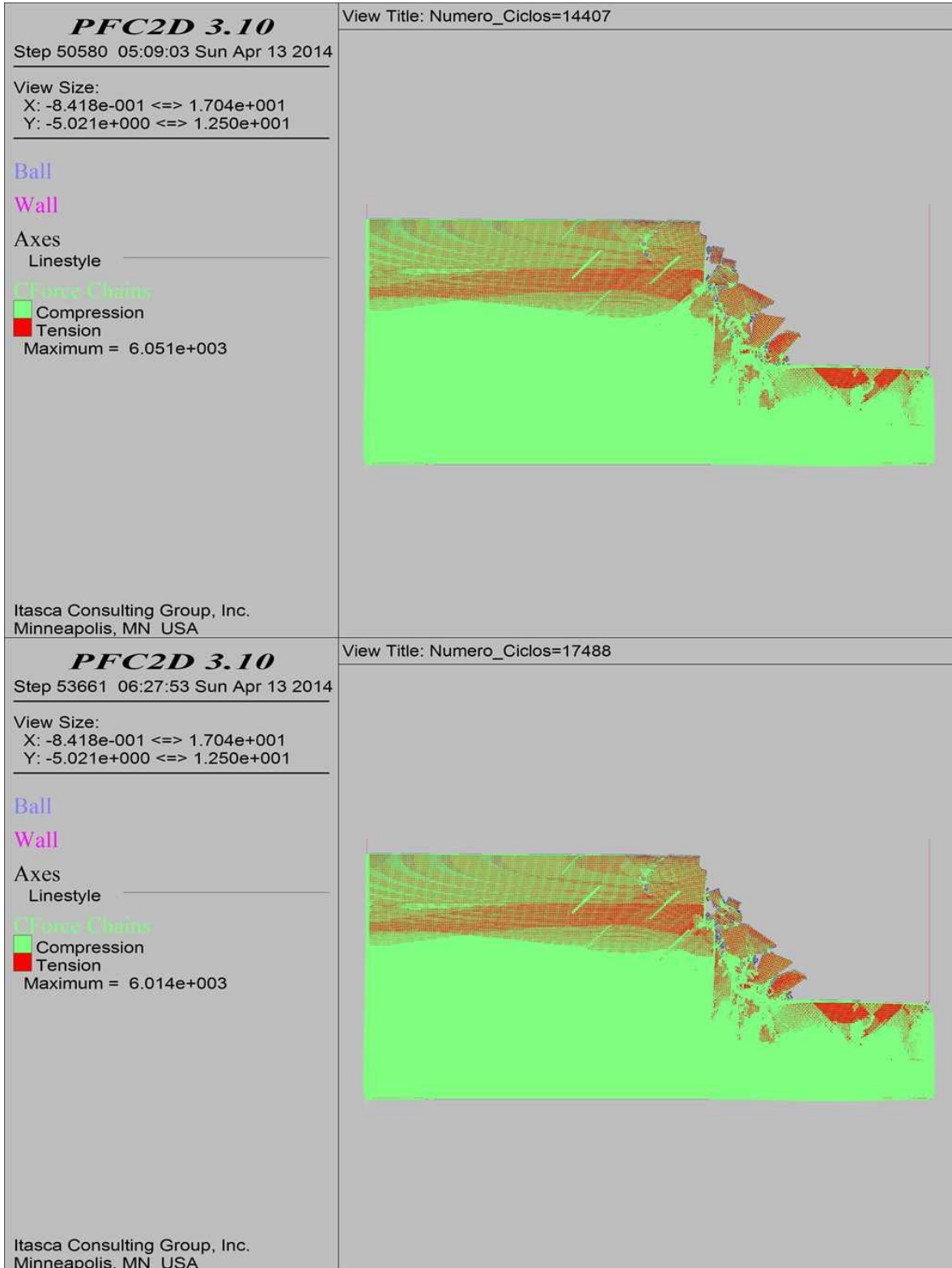
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



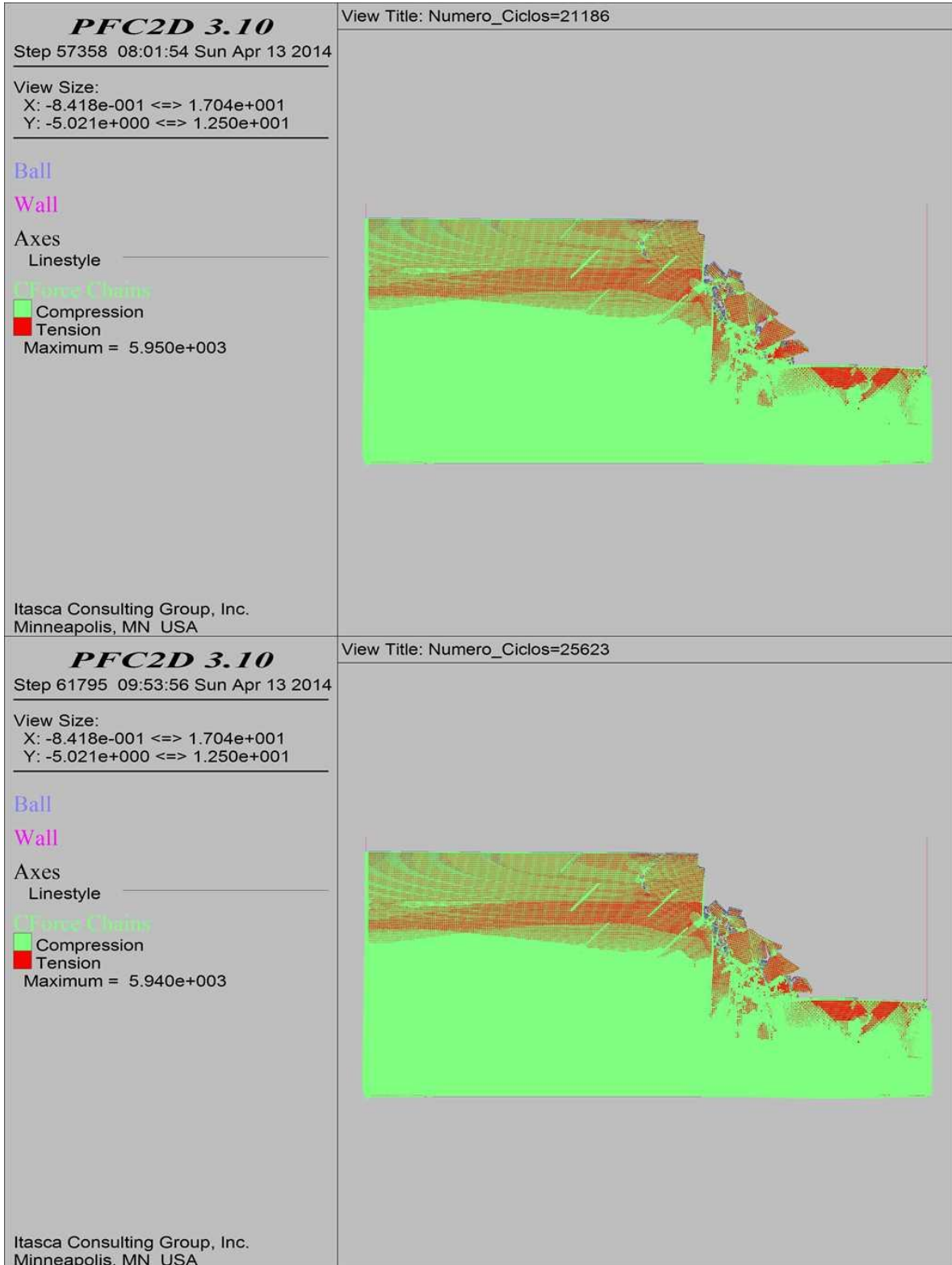
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



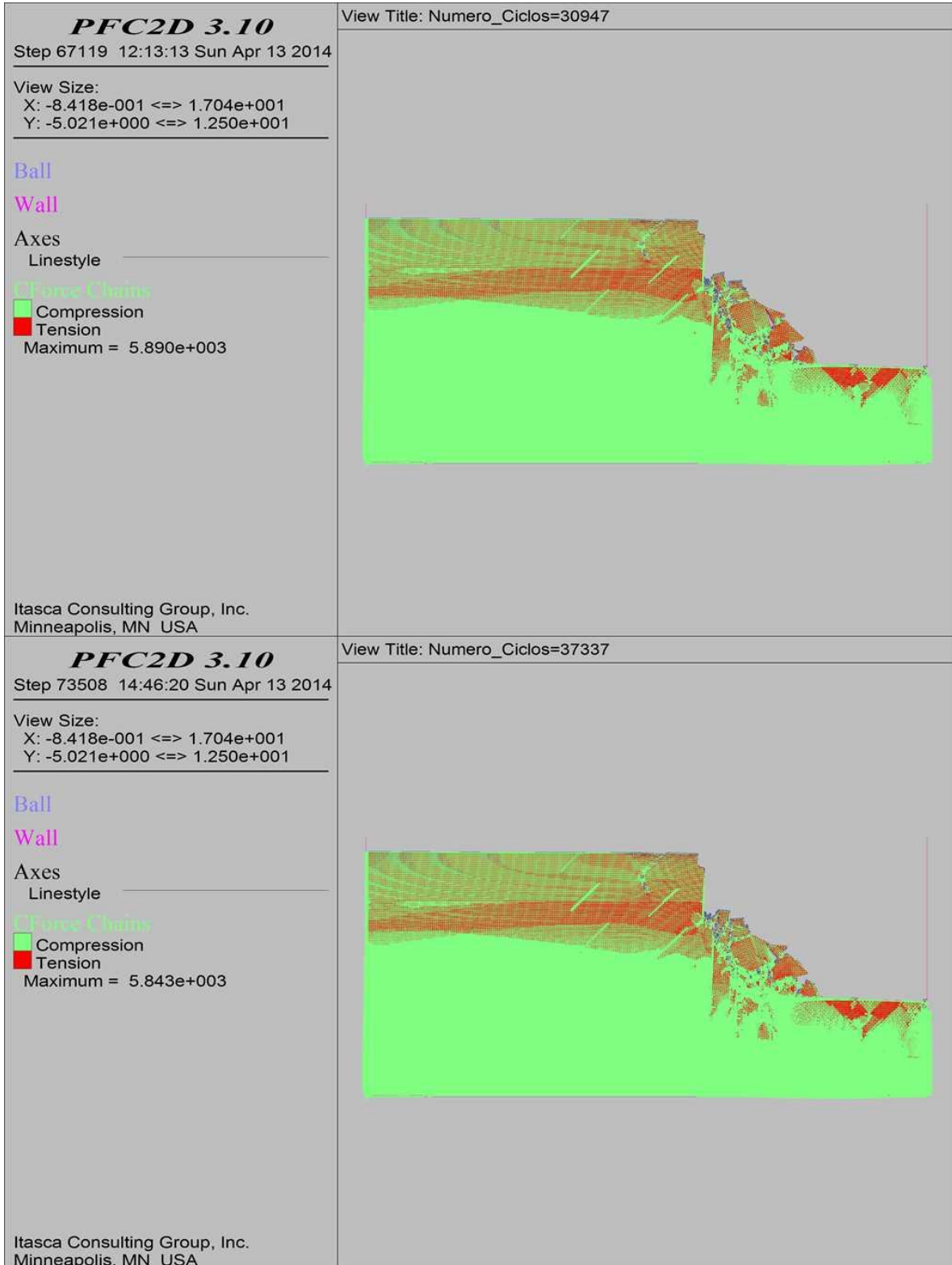
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



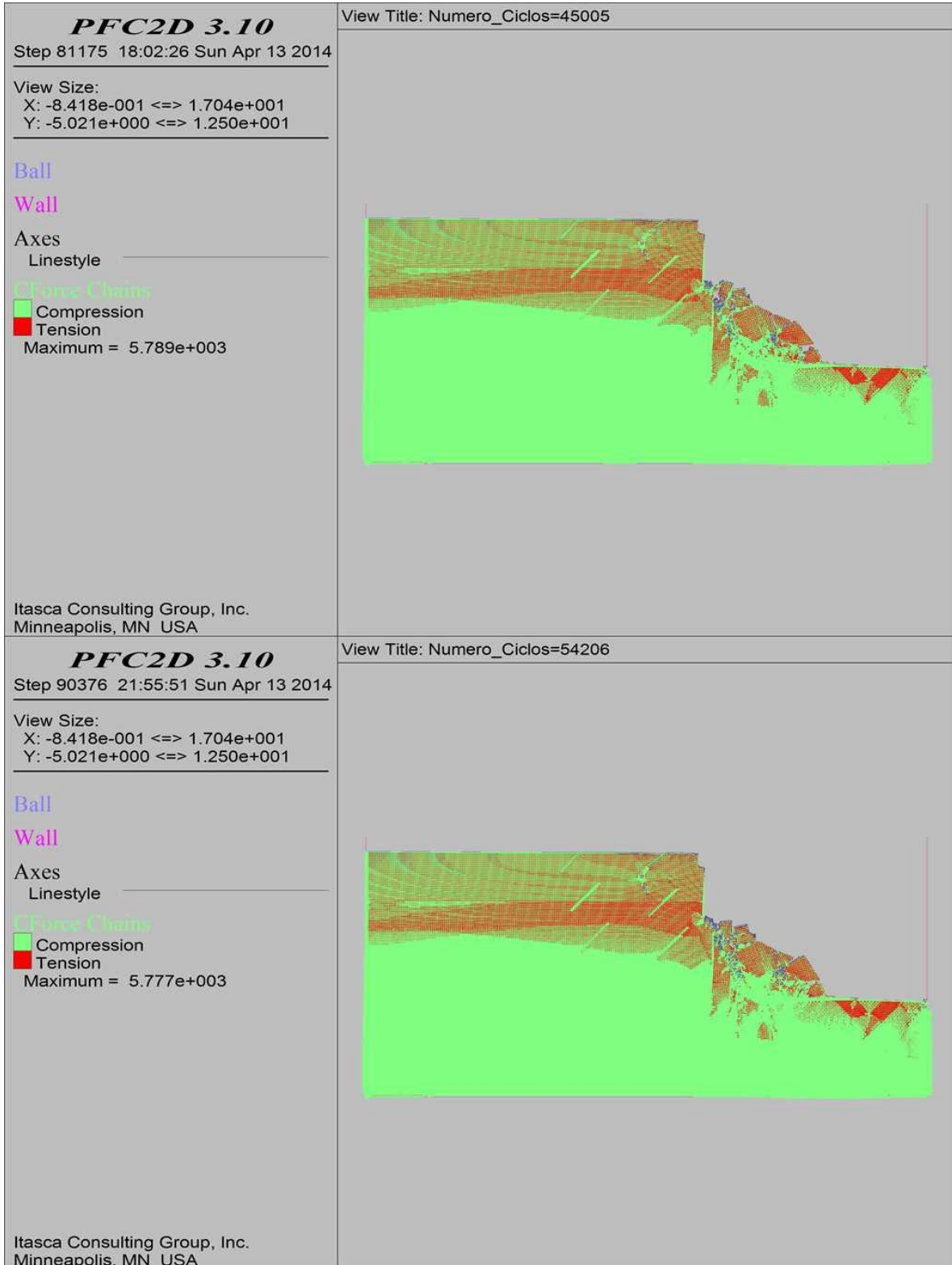
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



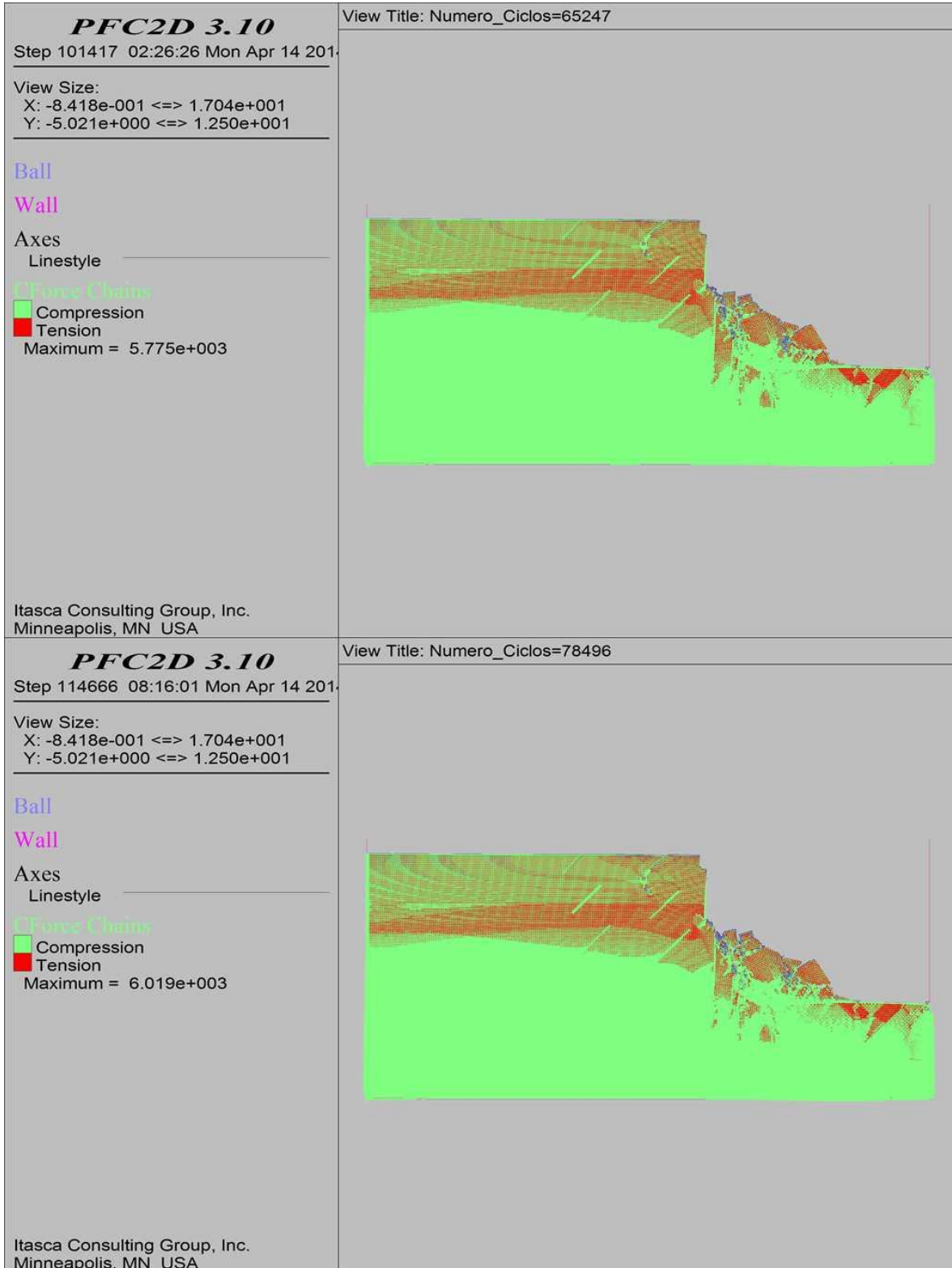
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



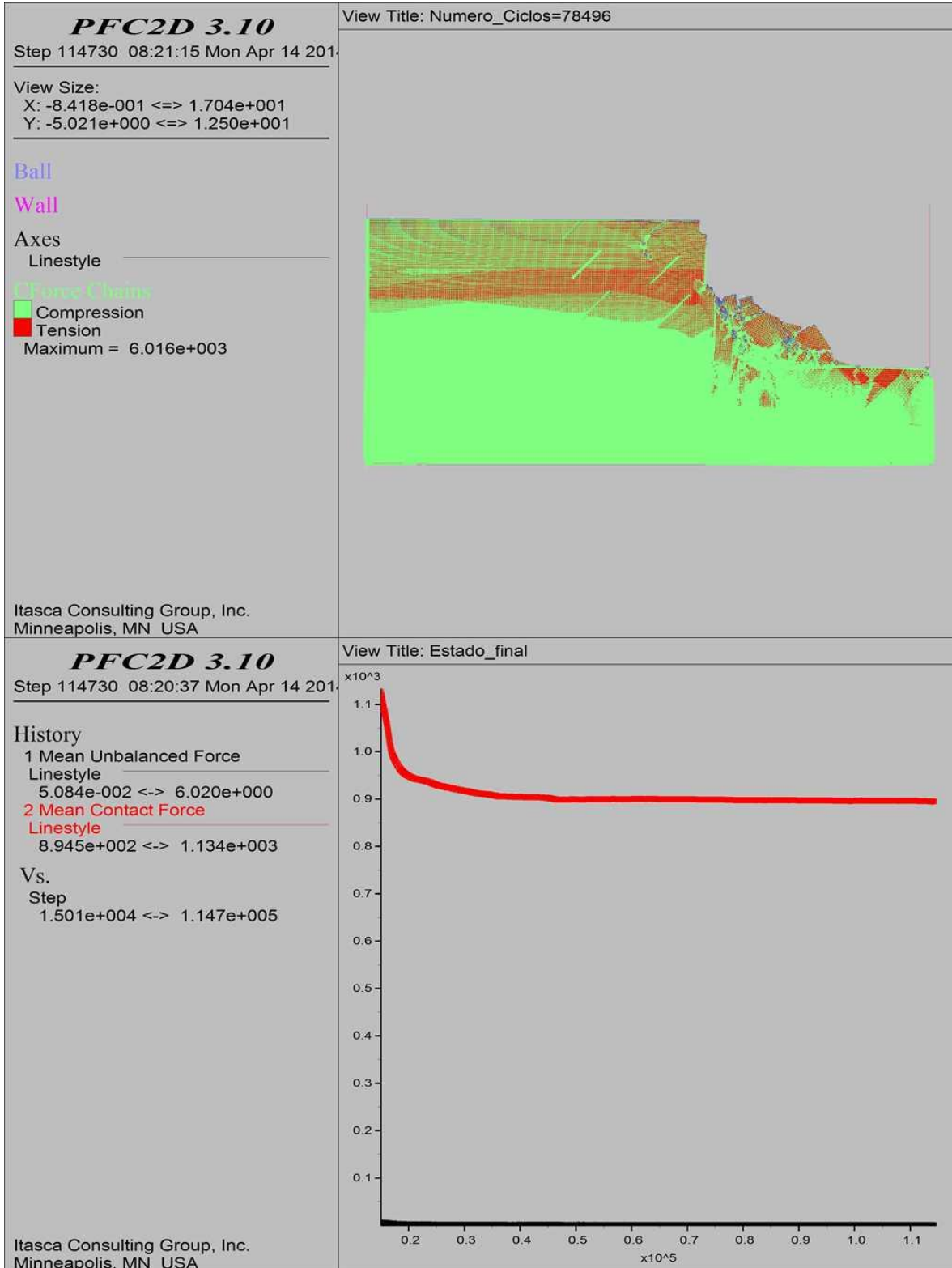
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



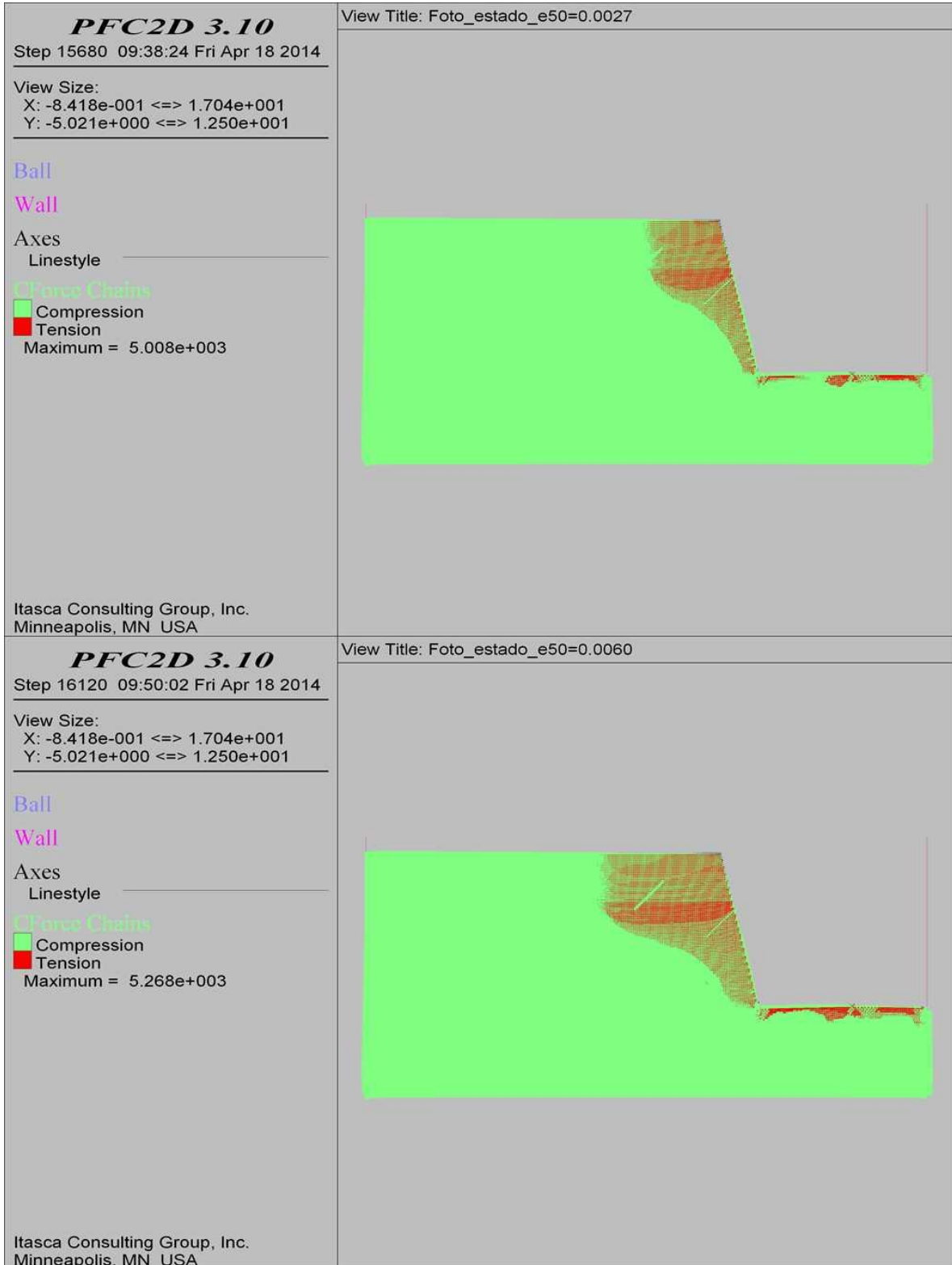
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



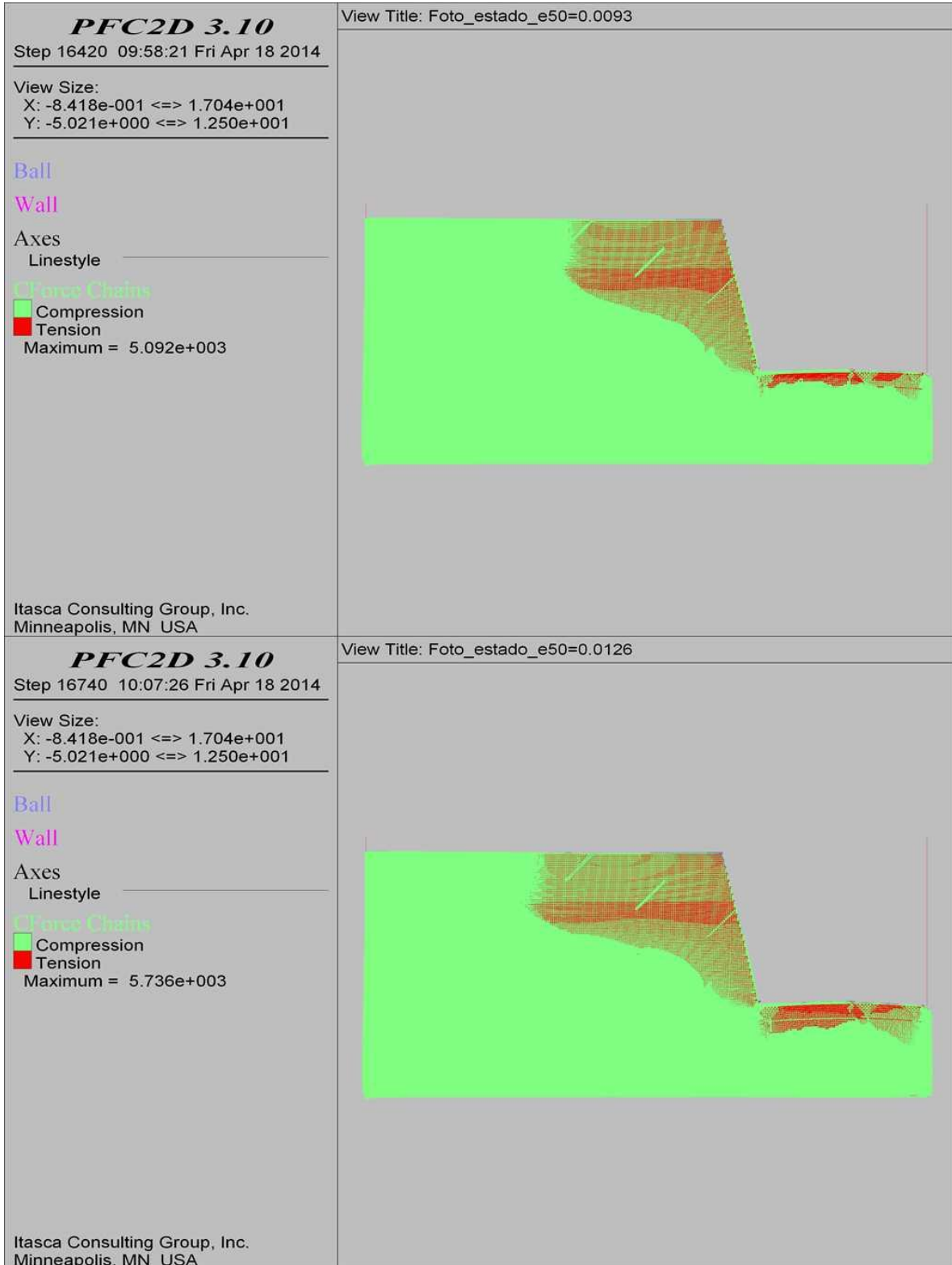
COMBINACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



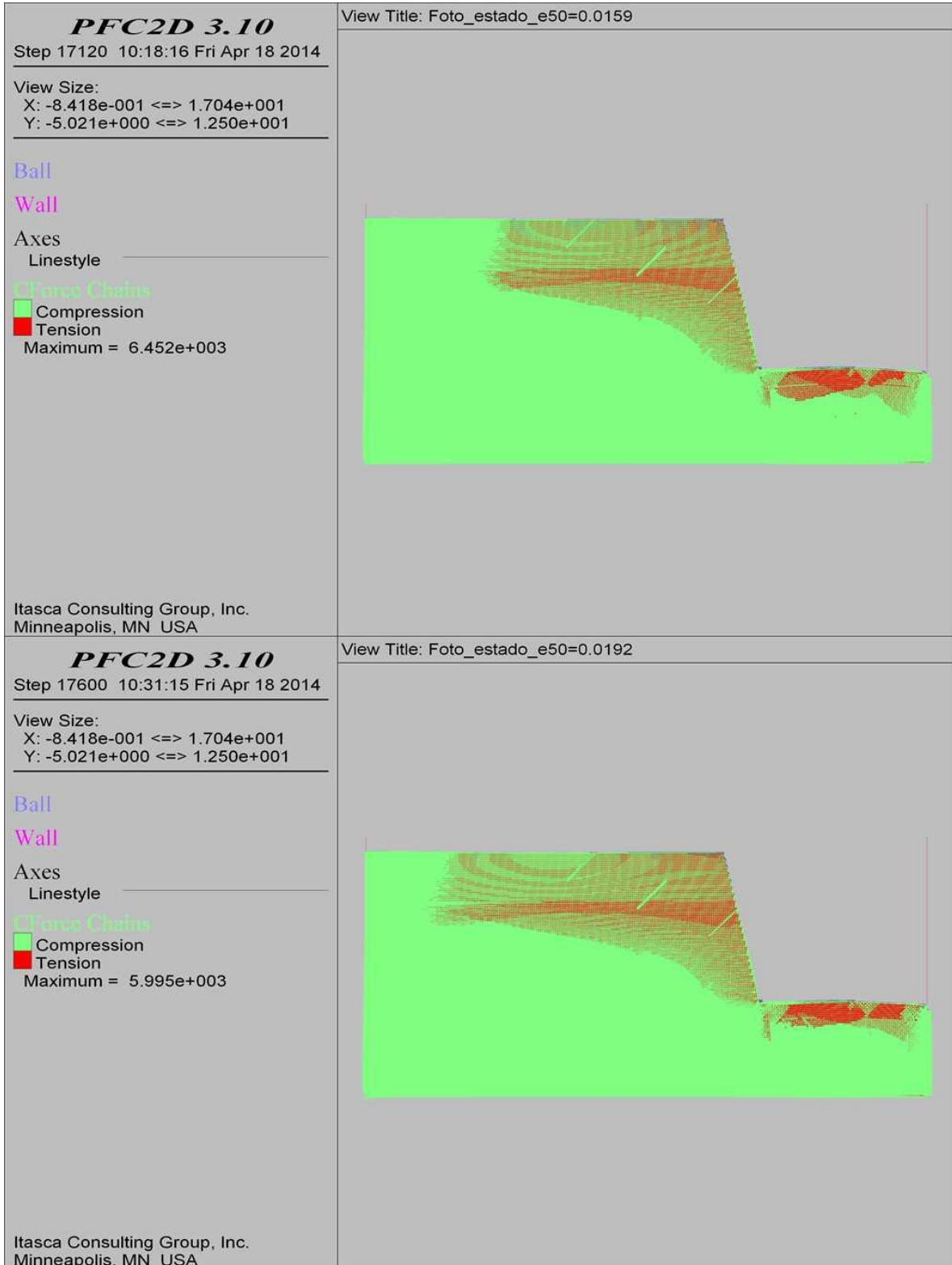
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



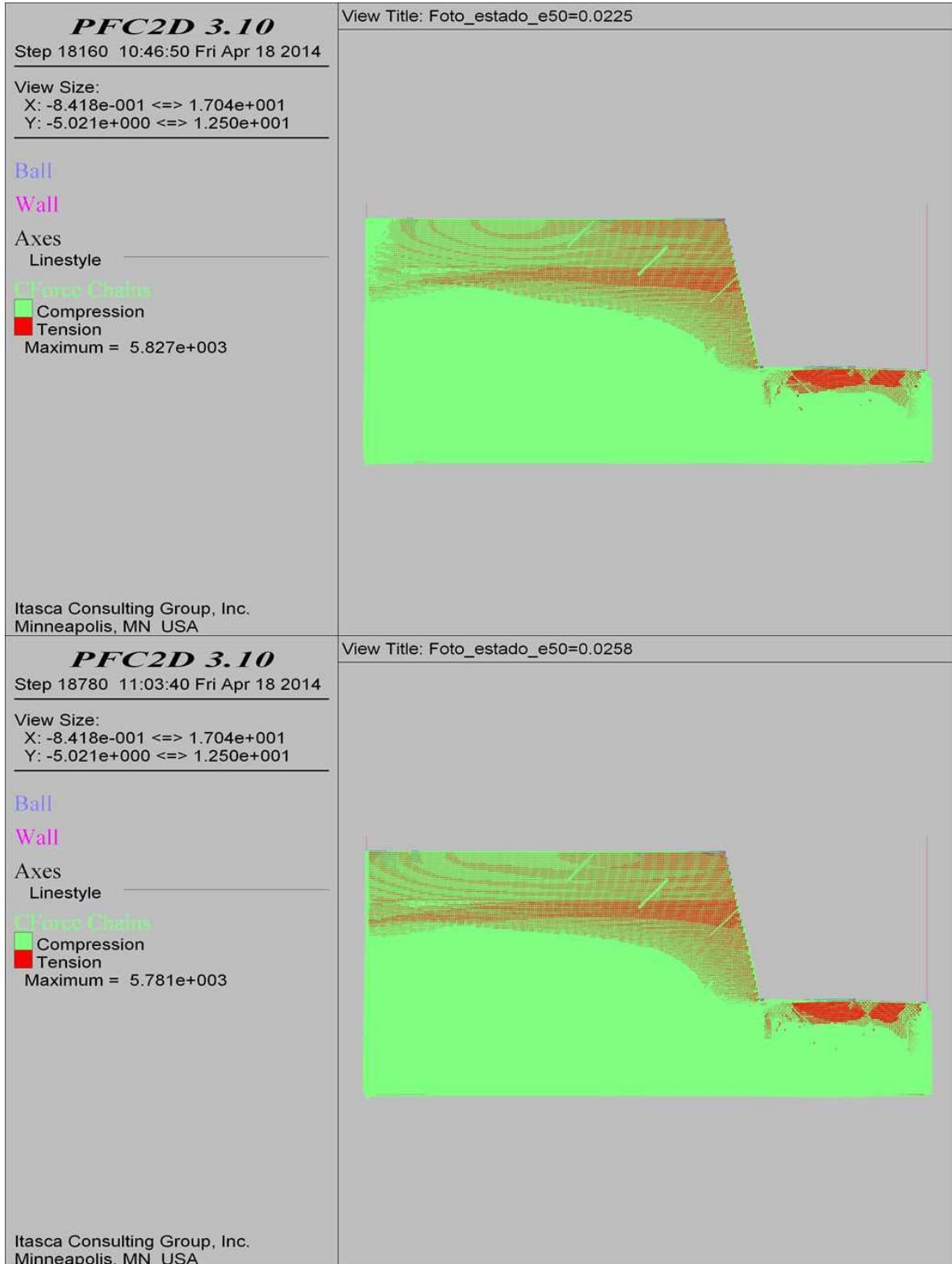
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



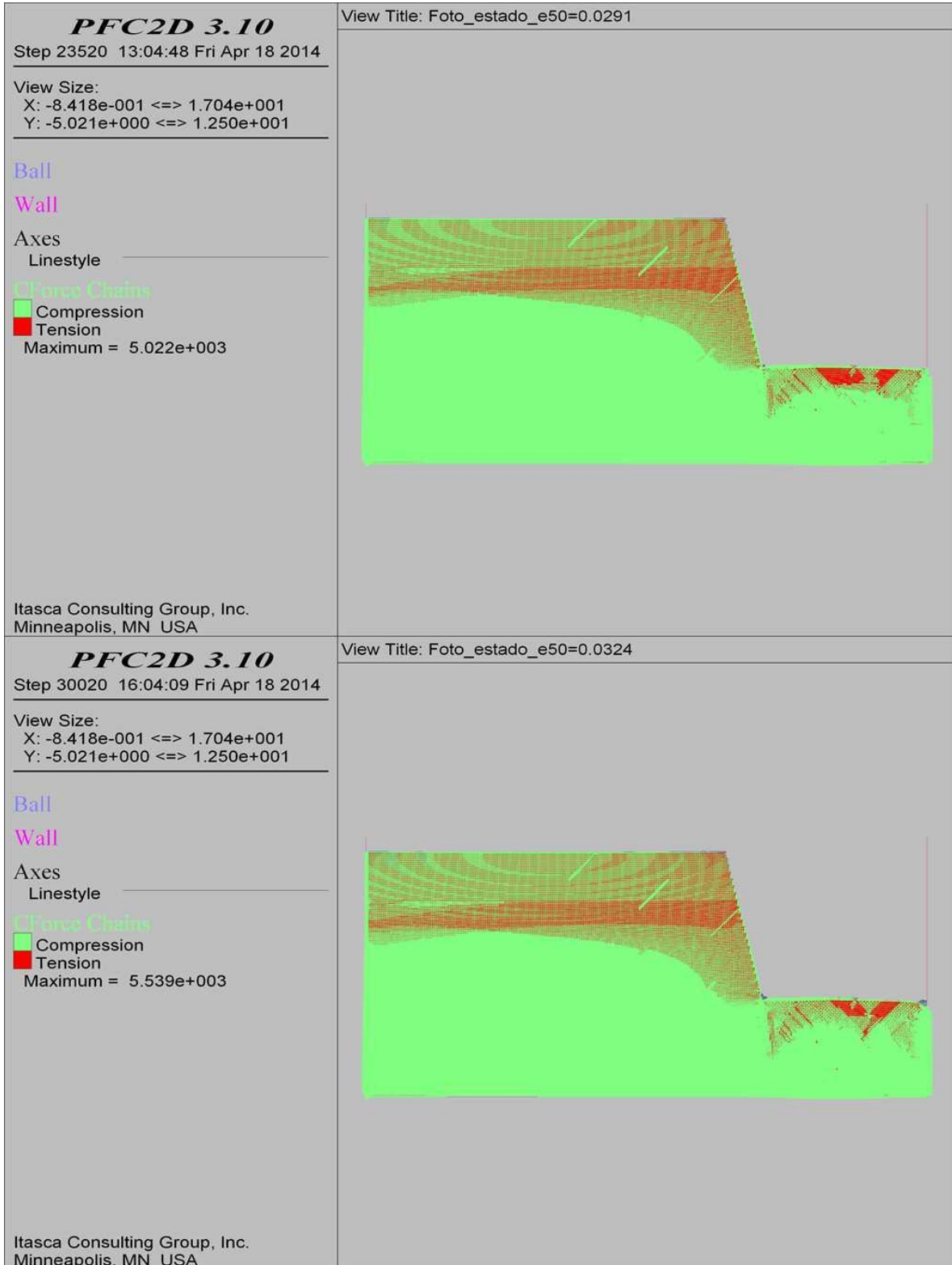
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



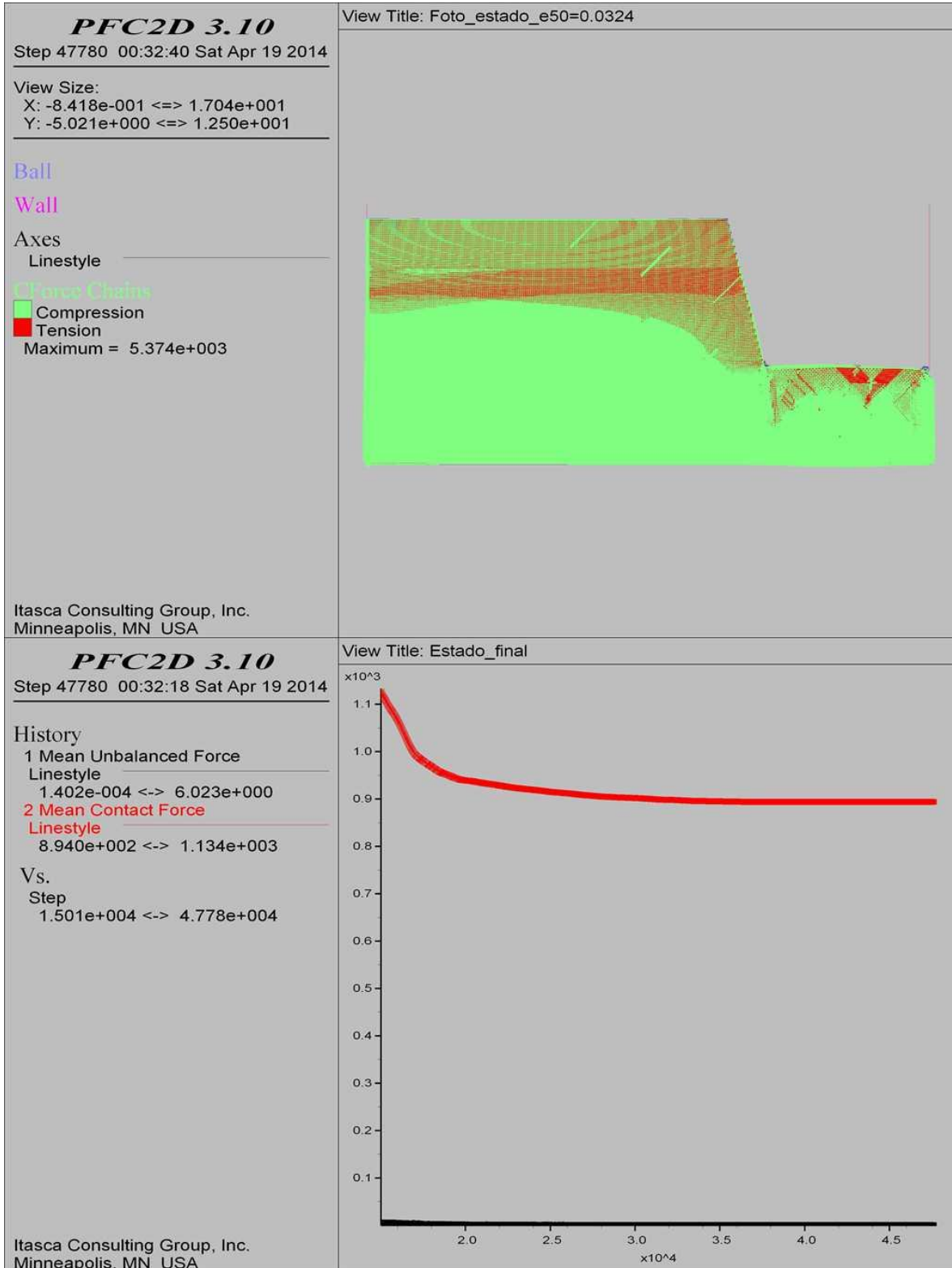
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



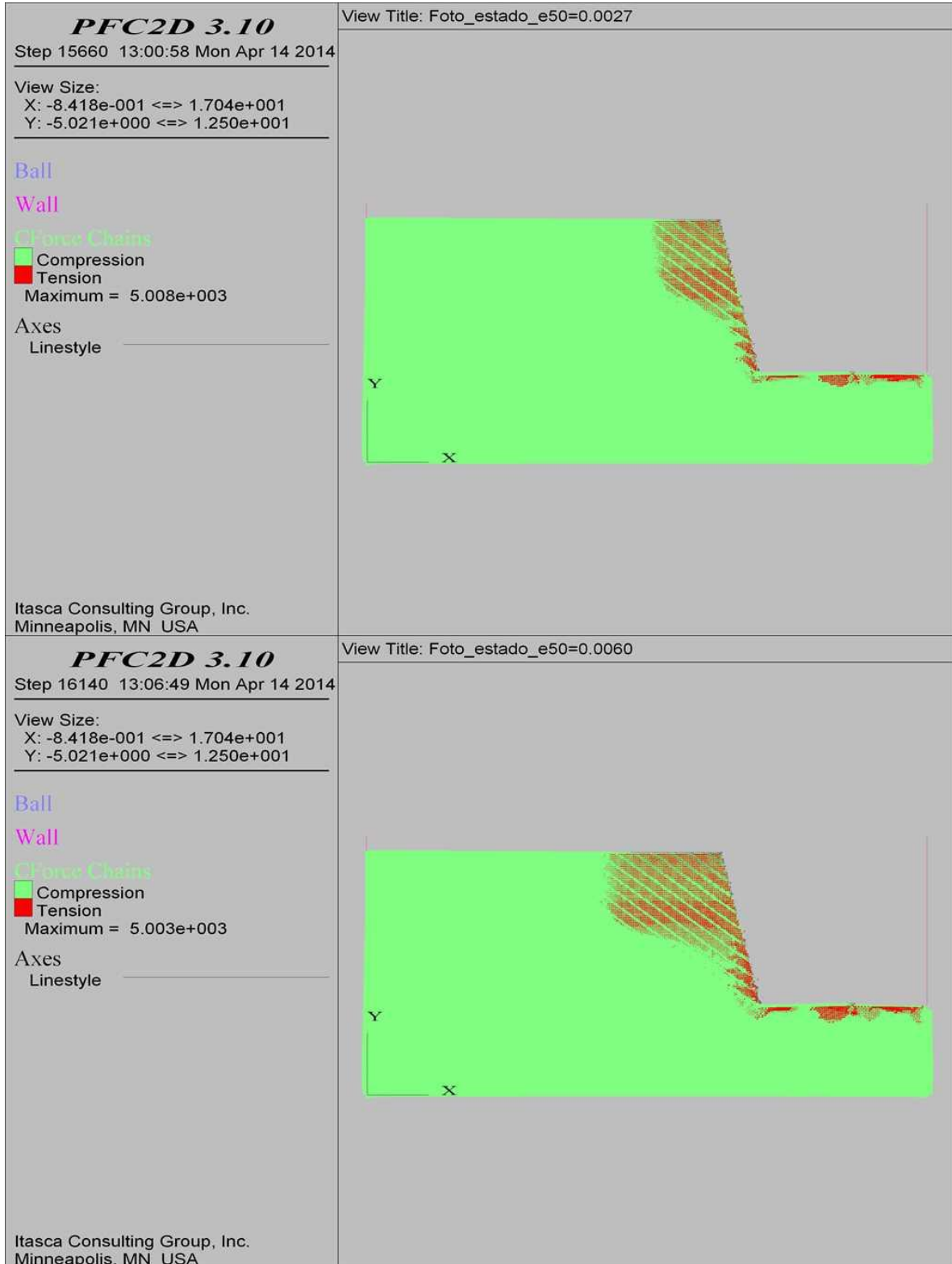
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



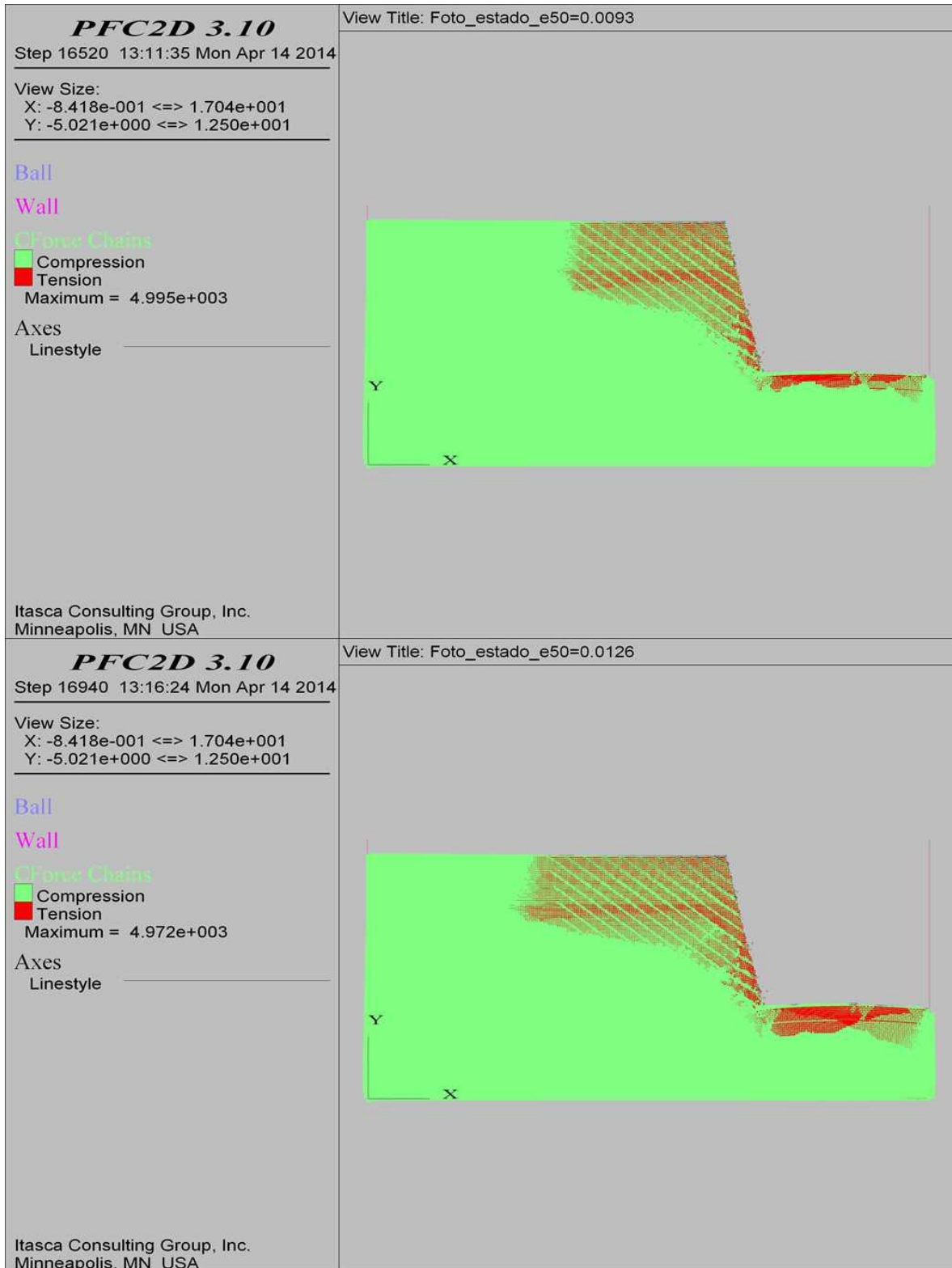
COMBINACIÓN 18: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



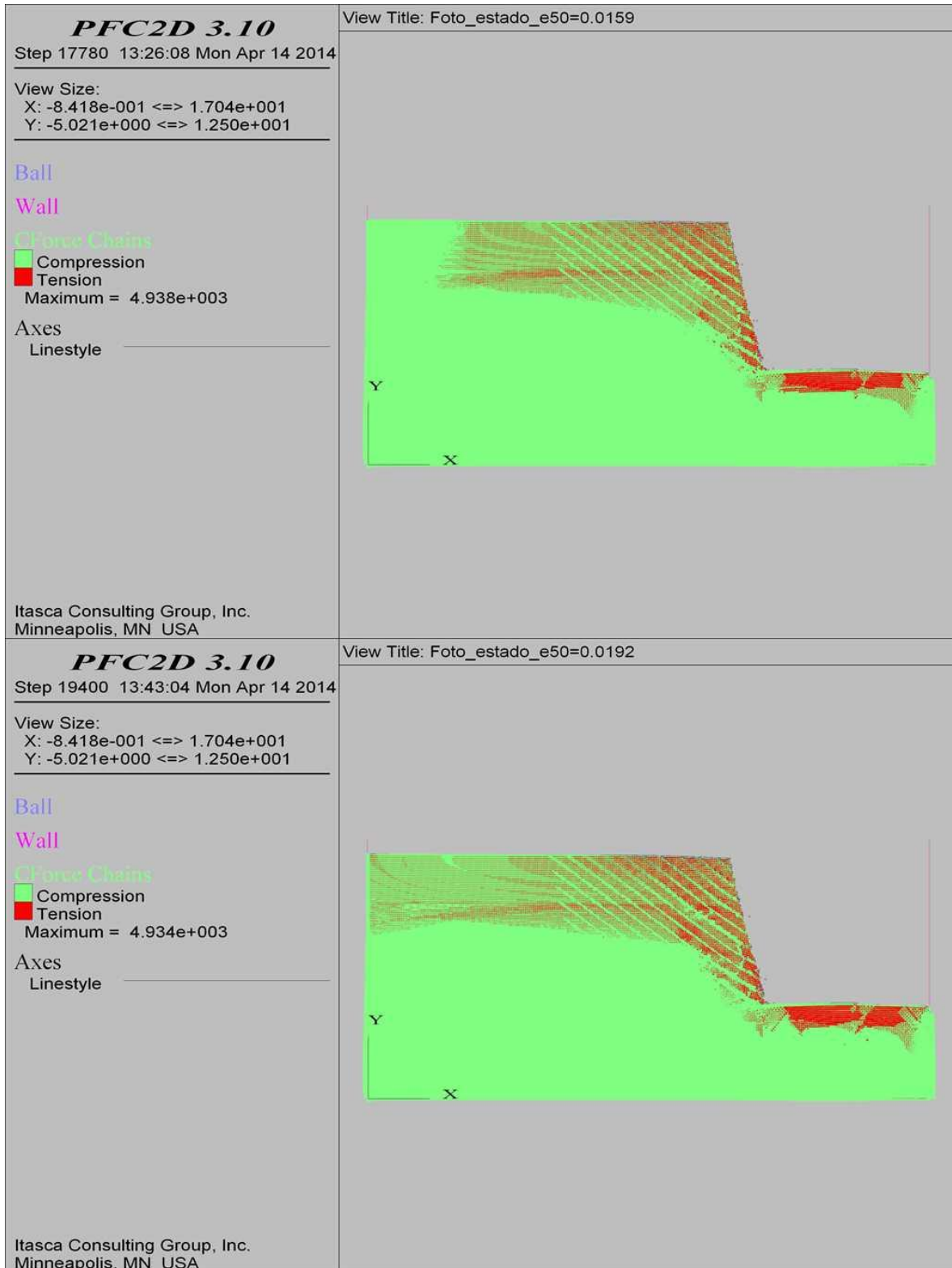
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



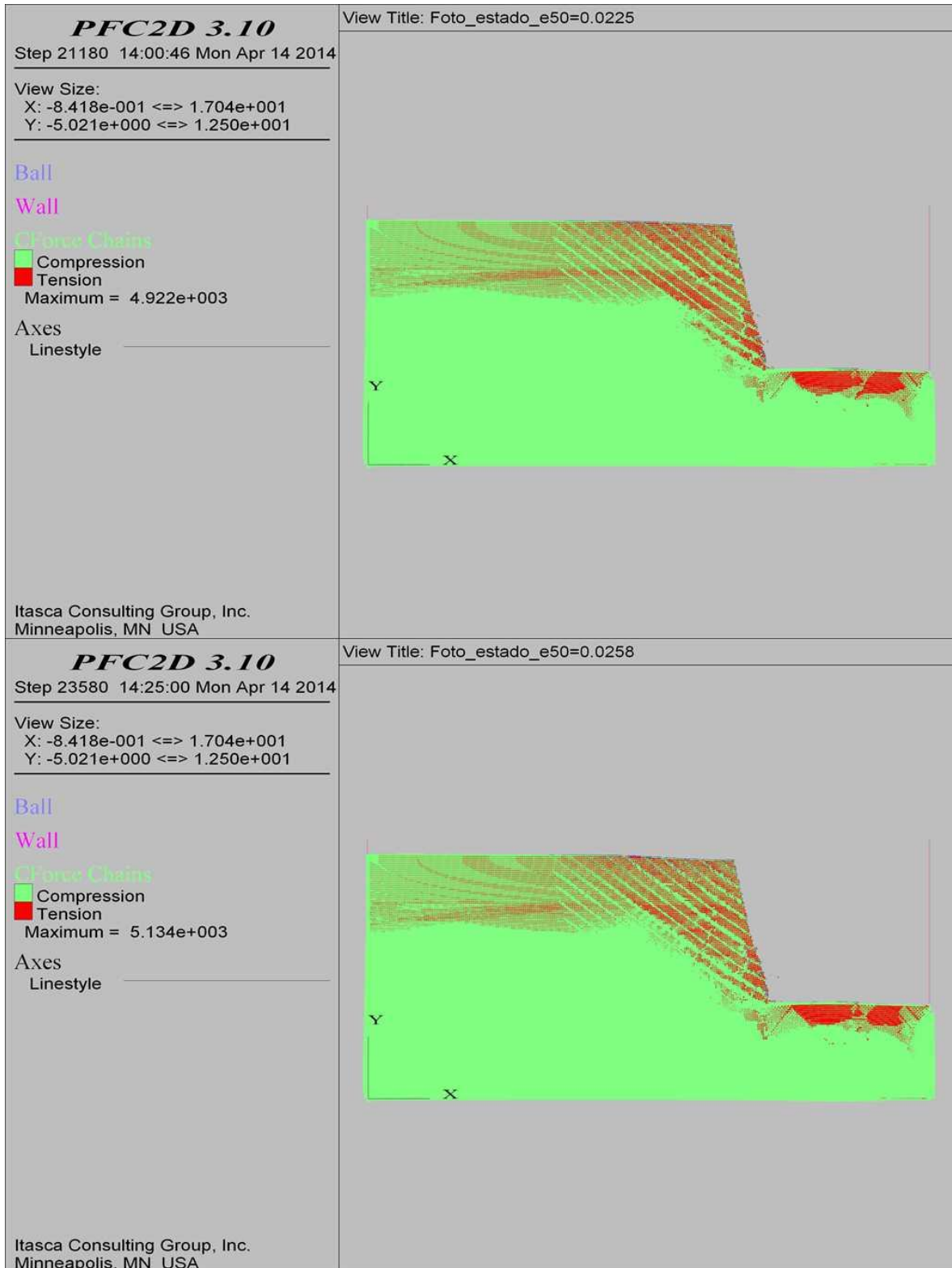
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



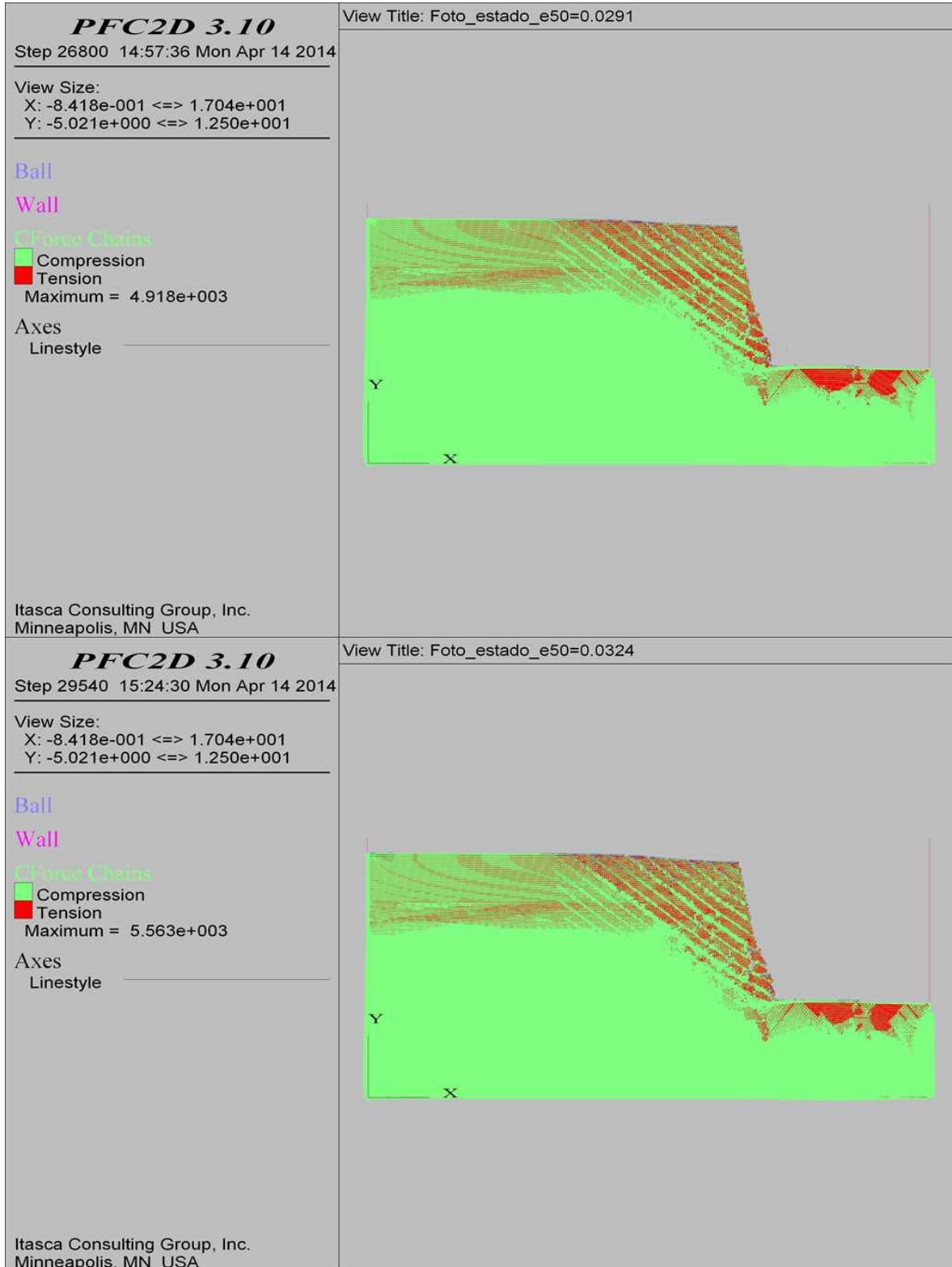
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



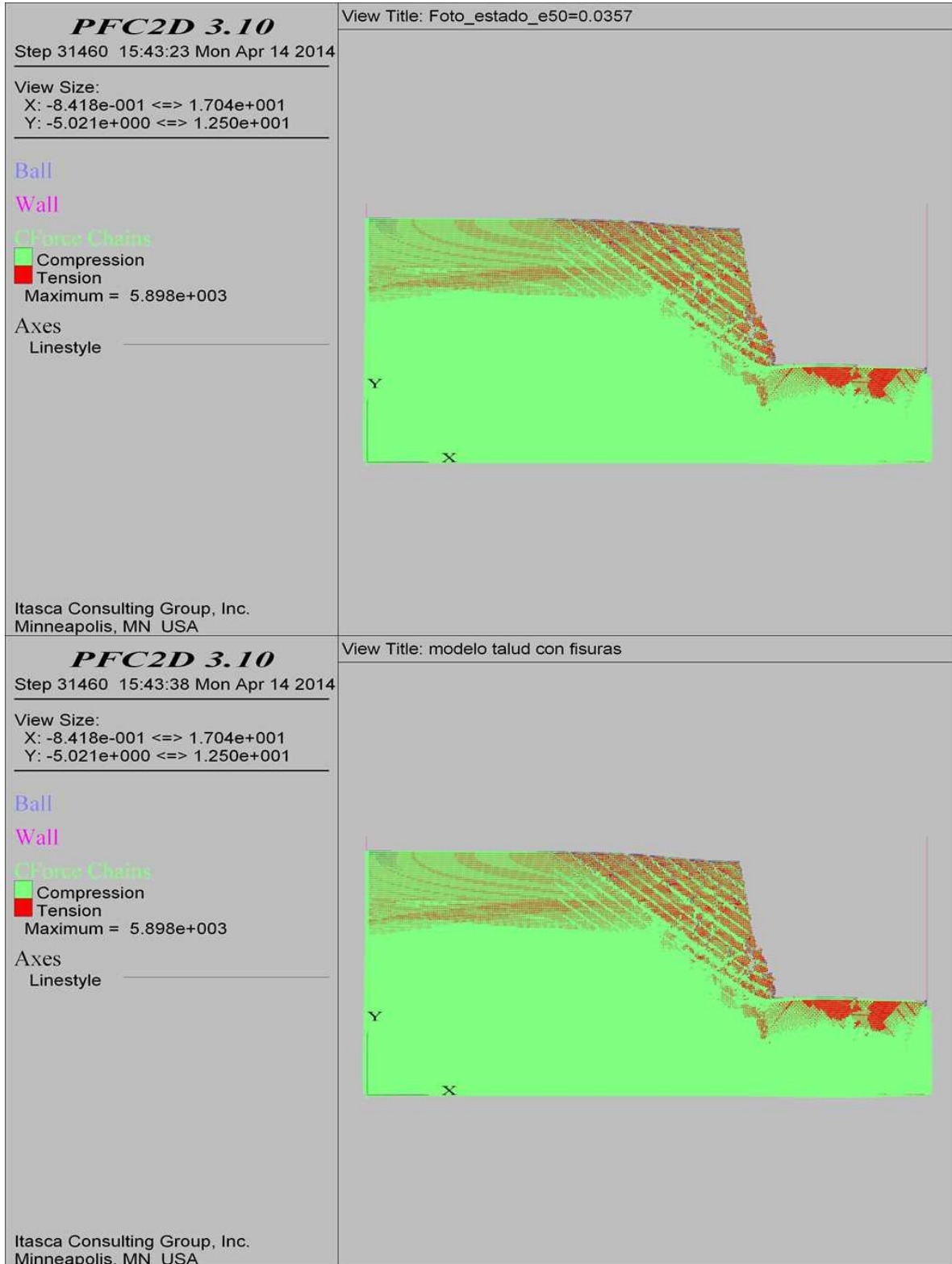
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



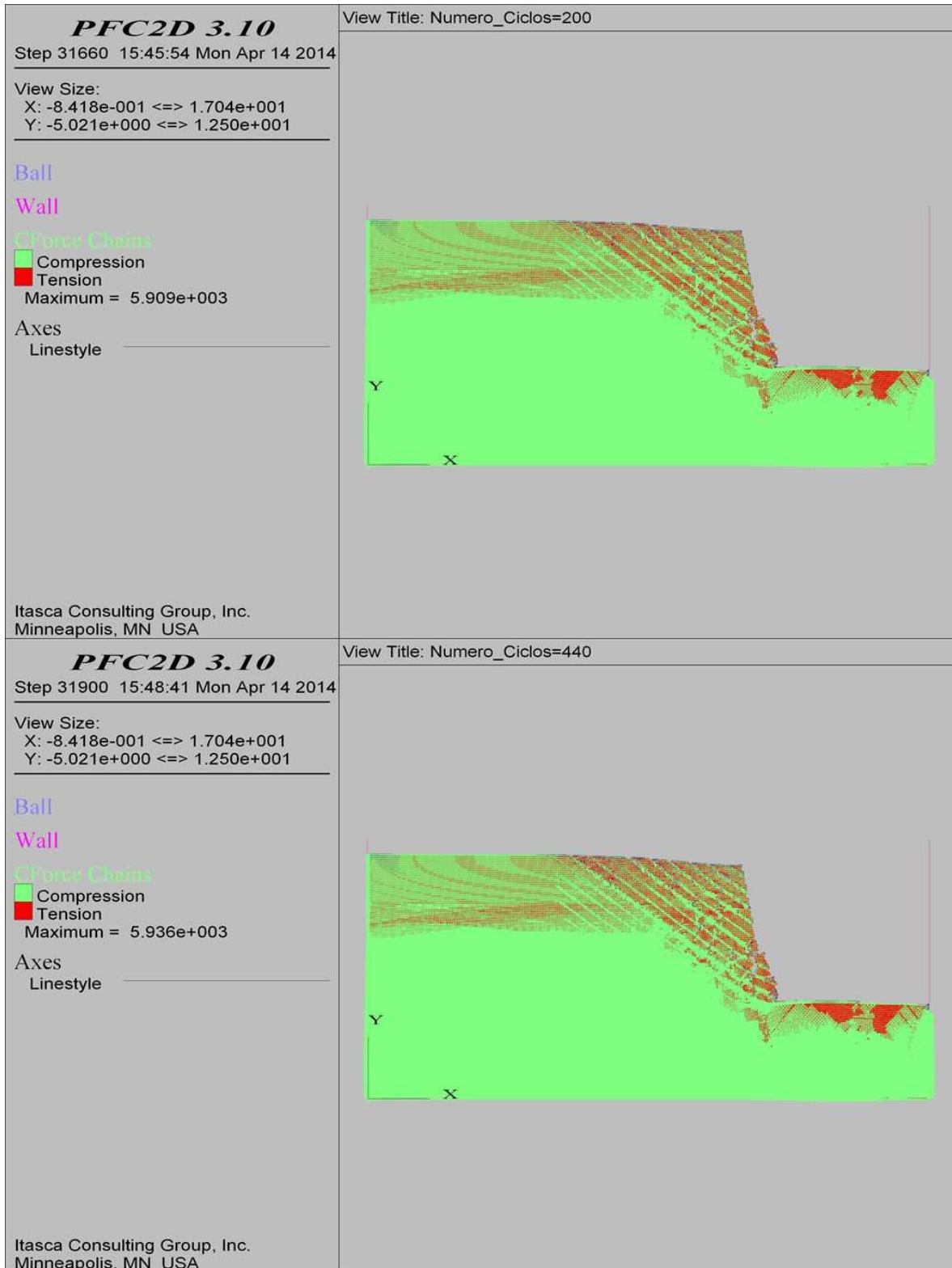
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



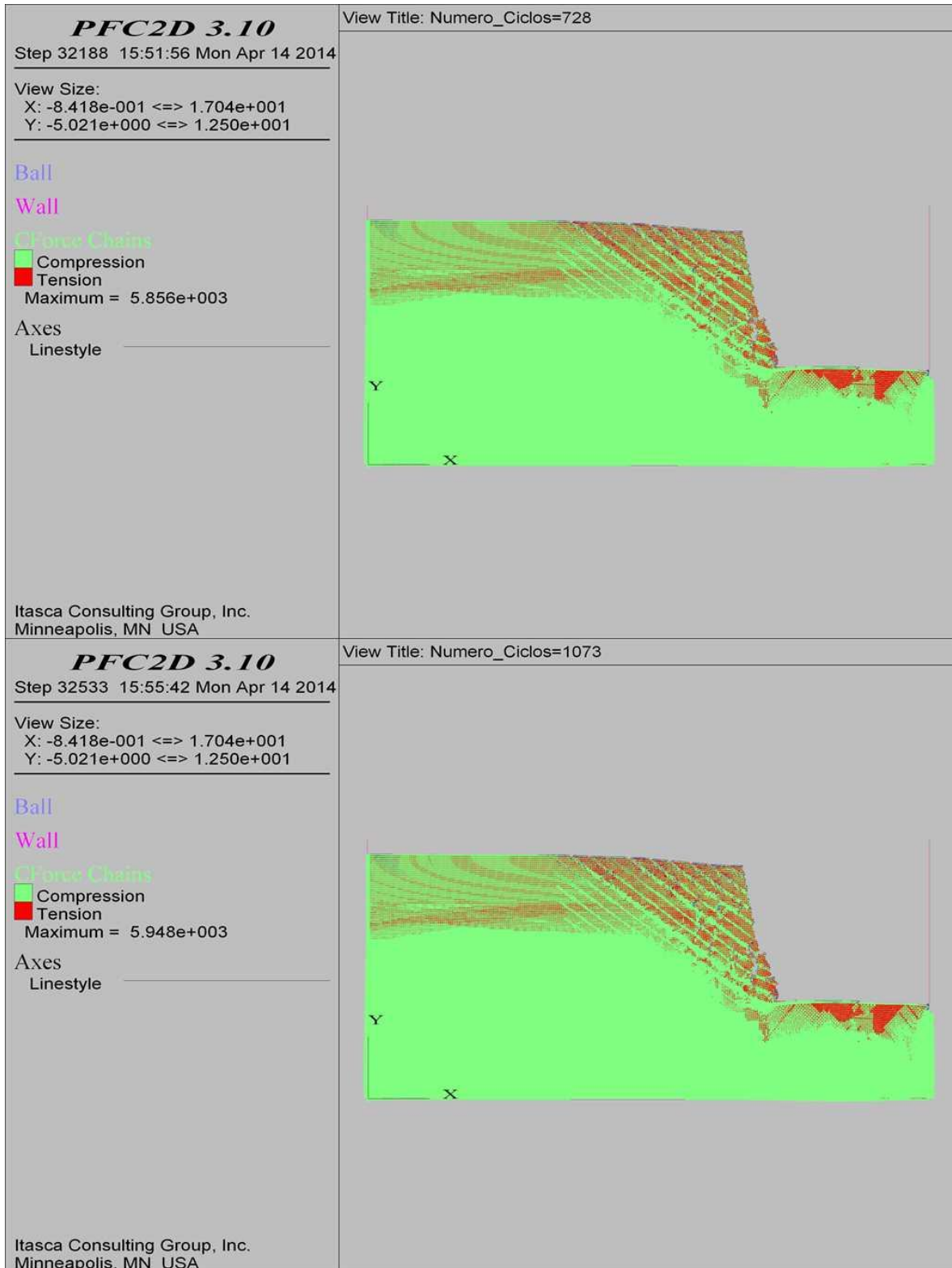
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



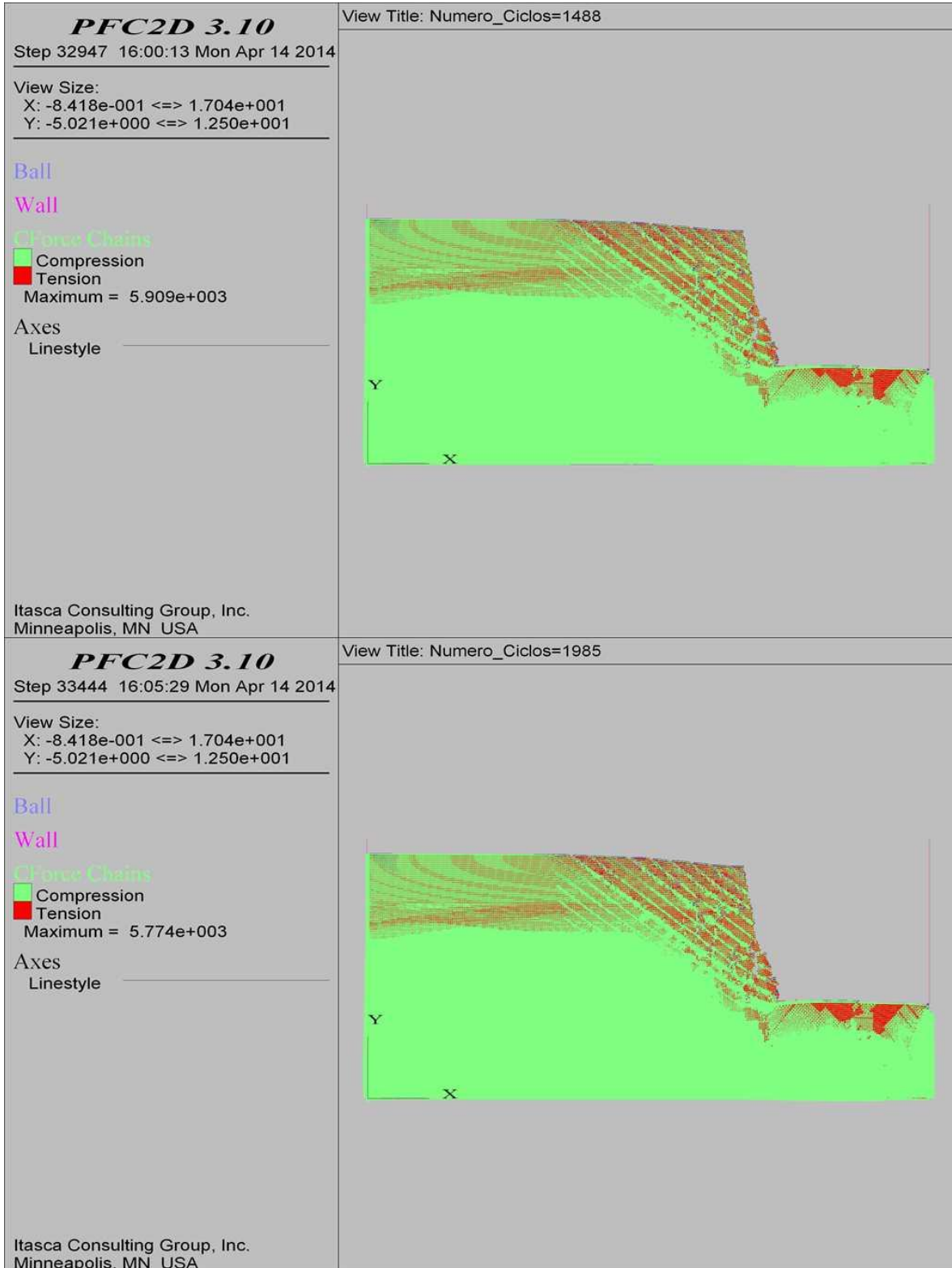
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



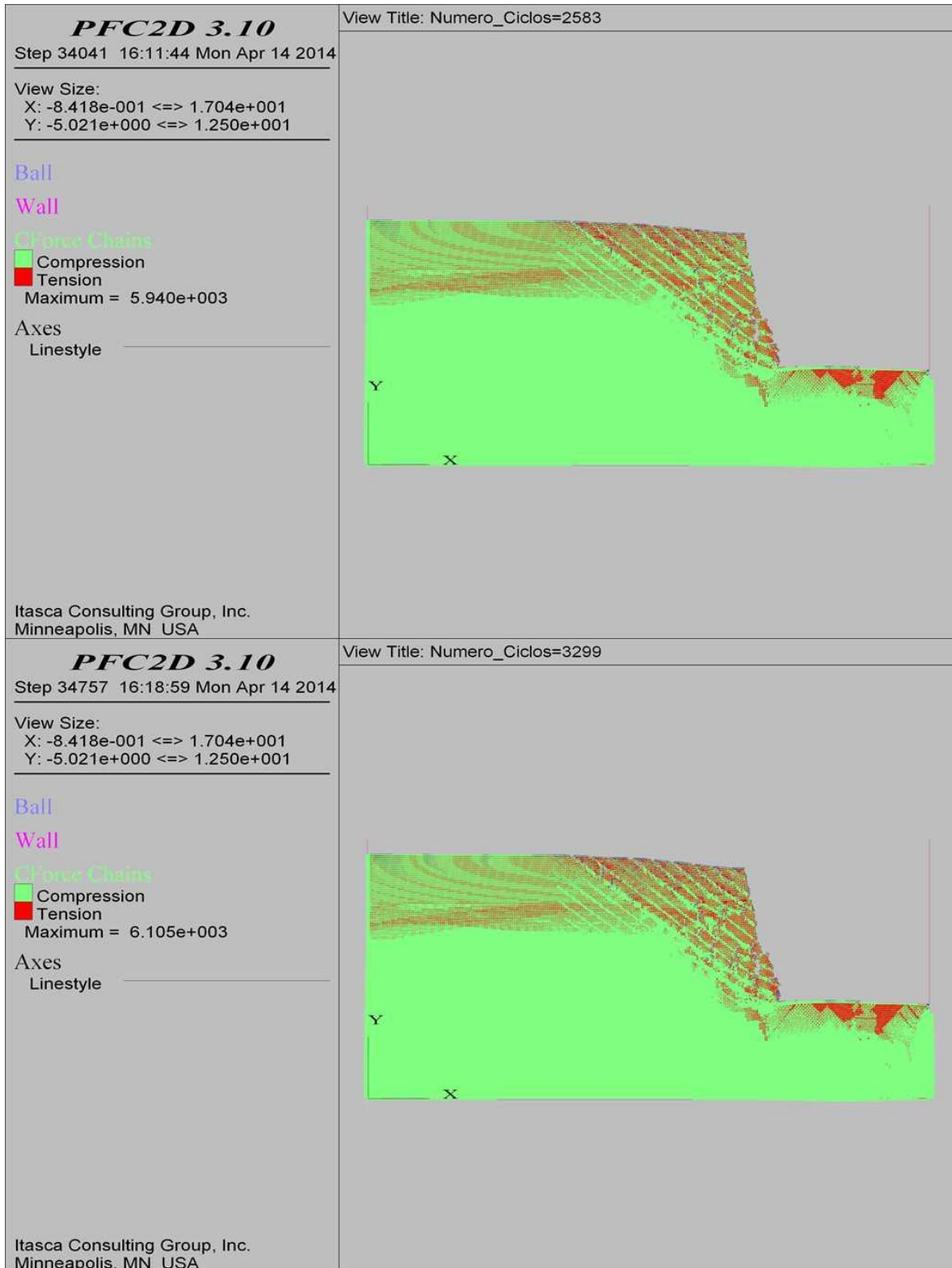
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



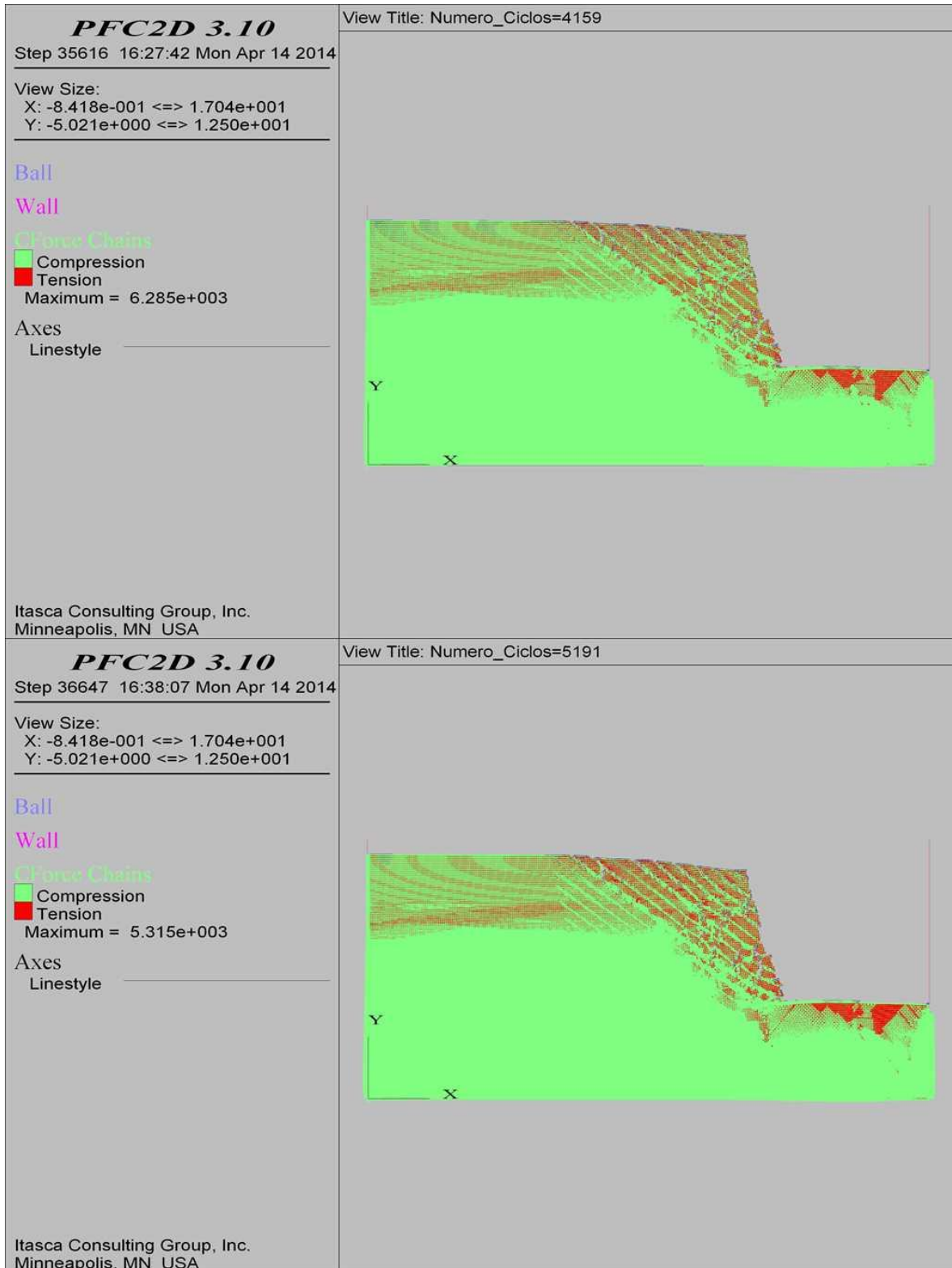
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



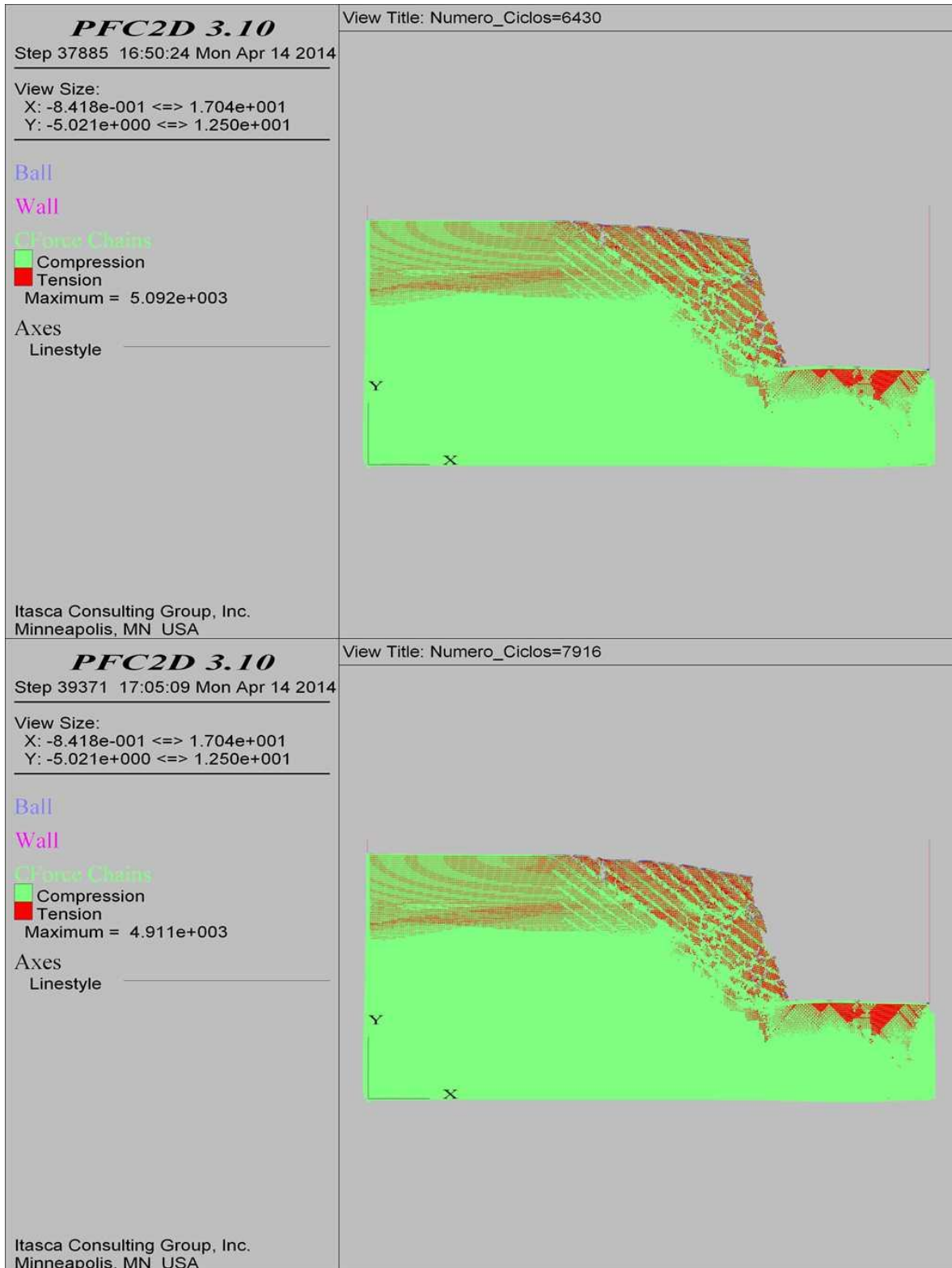
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



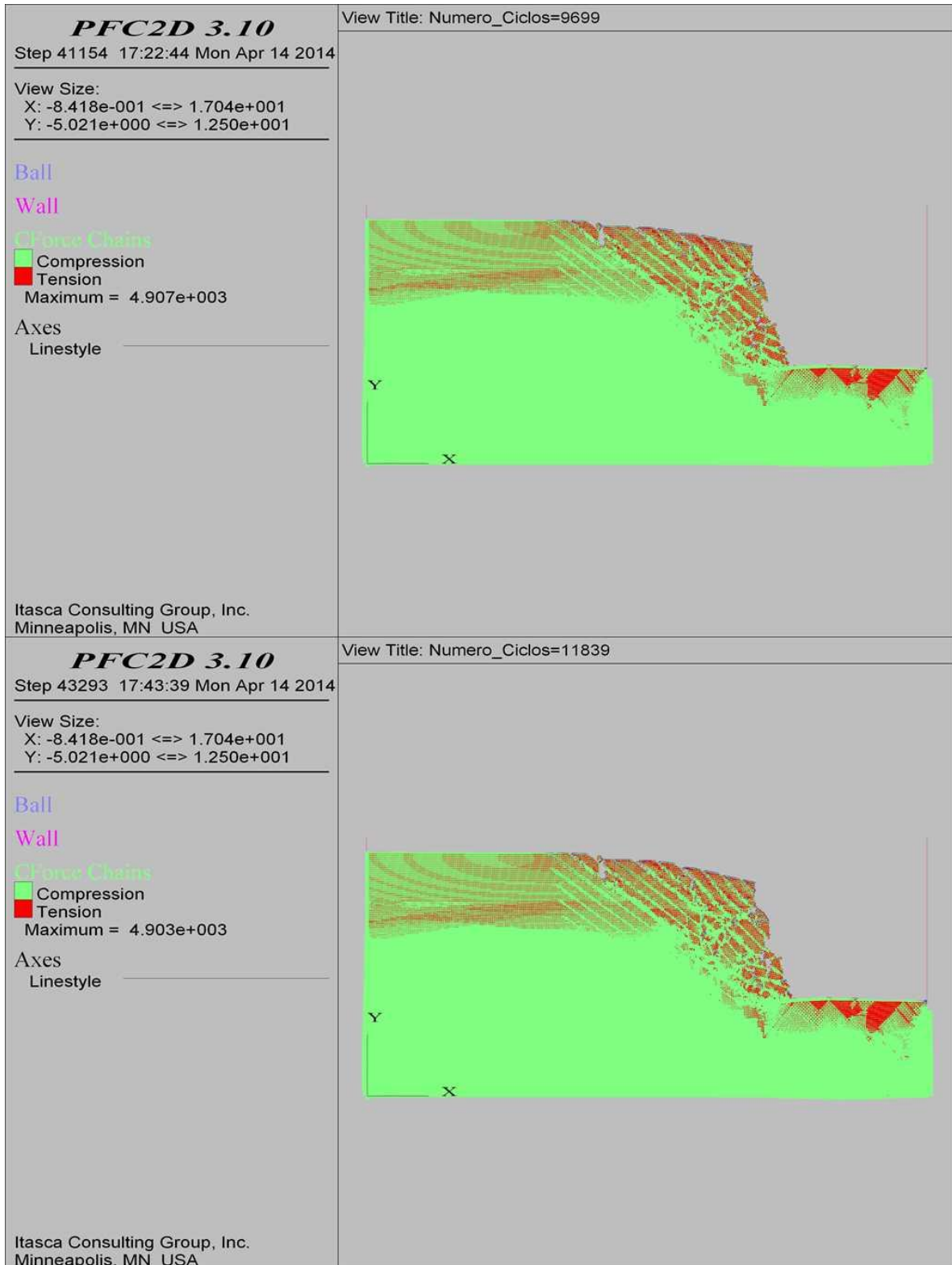
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



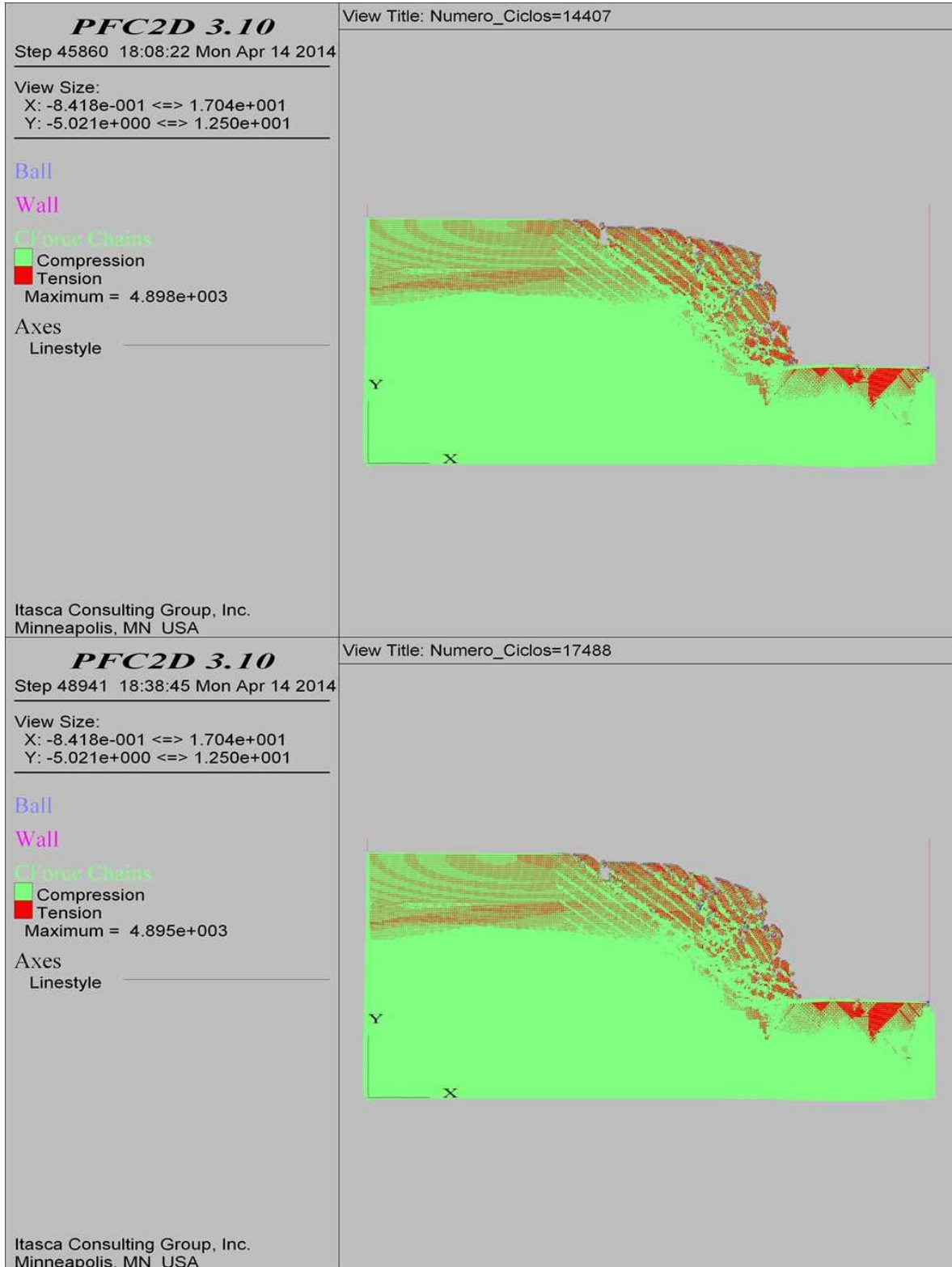
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



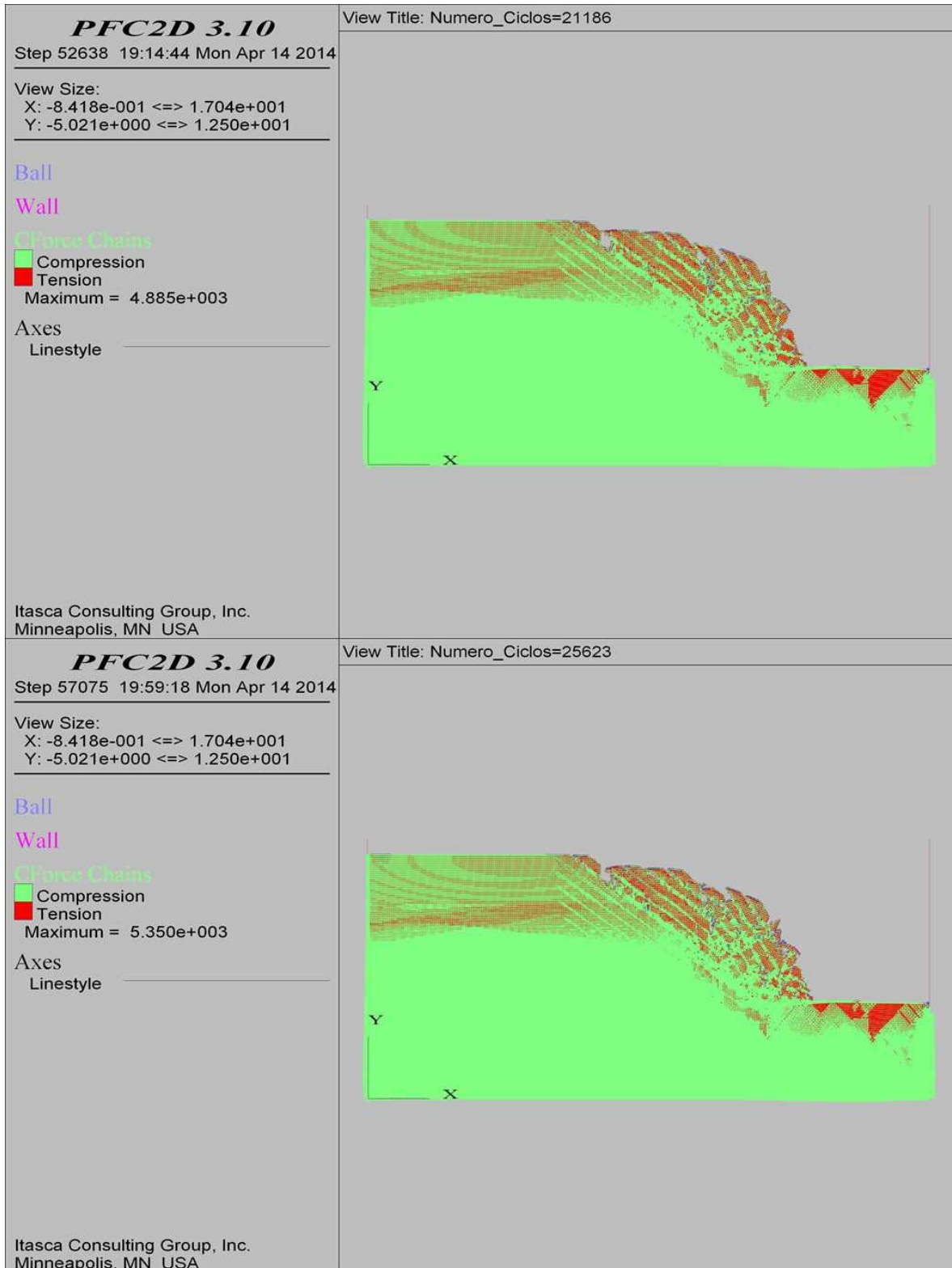
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



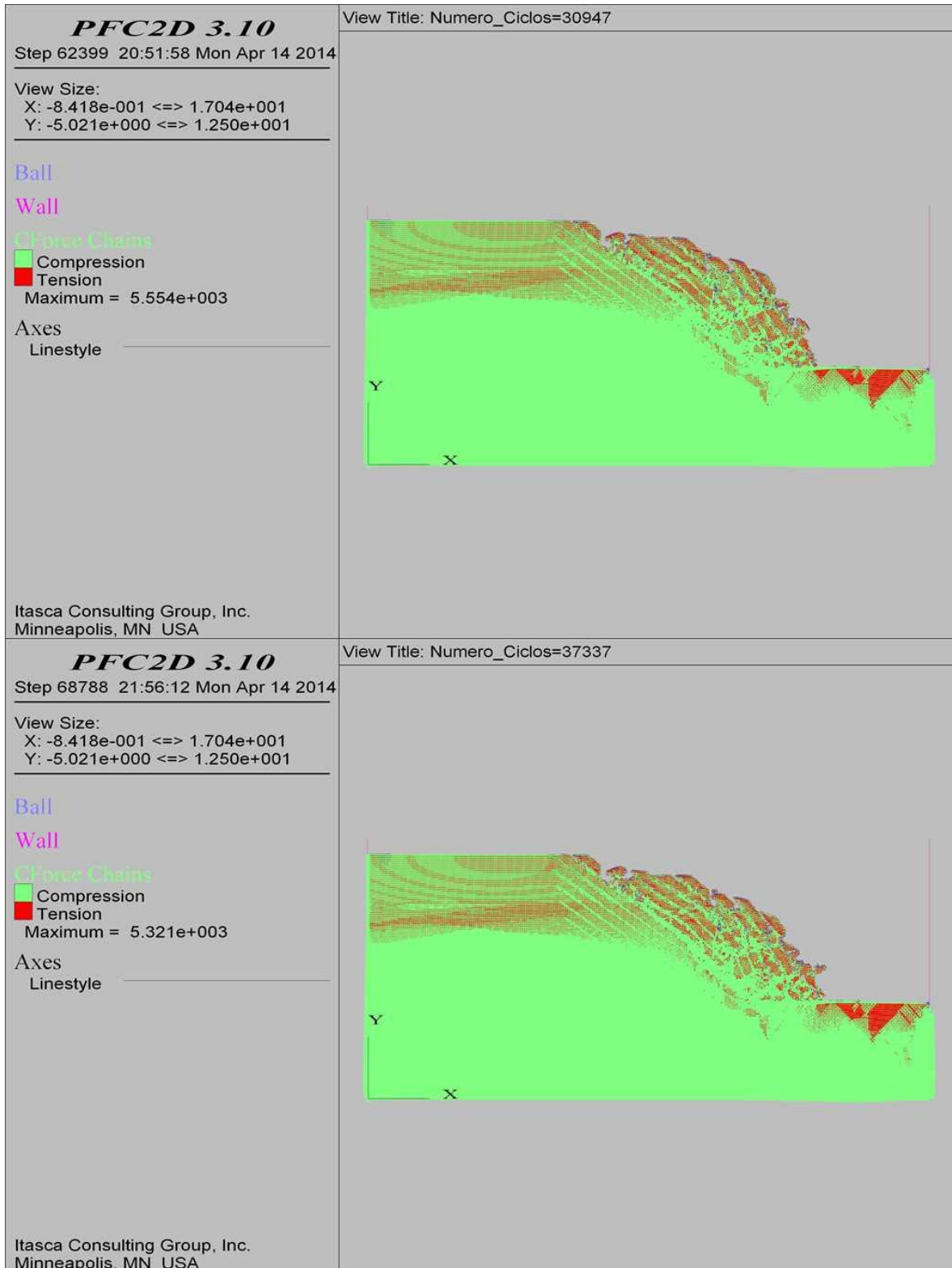
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



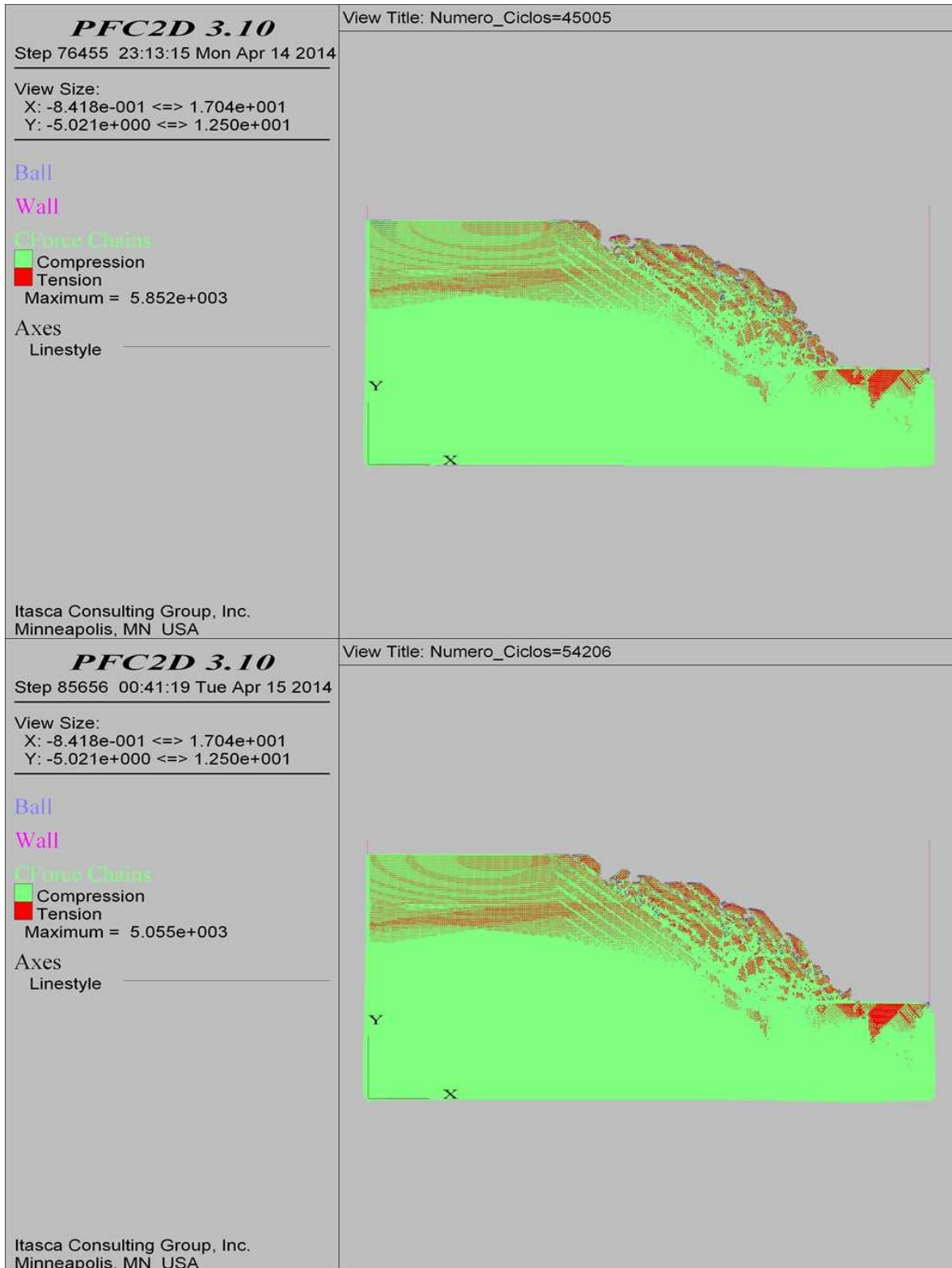
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



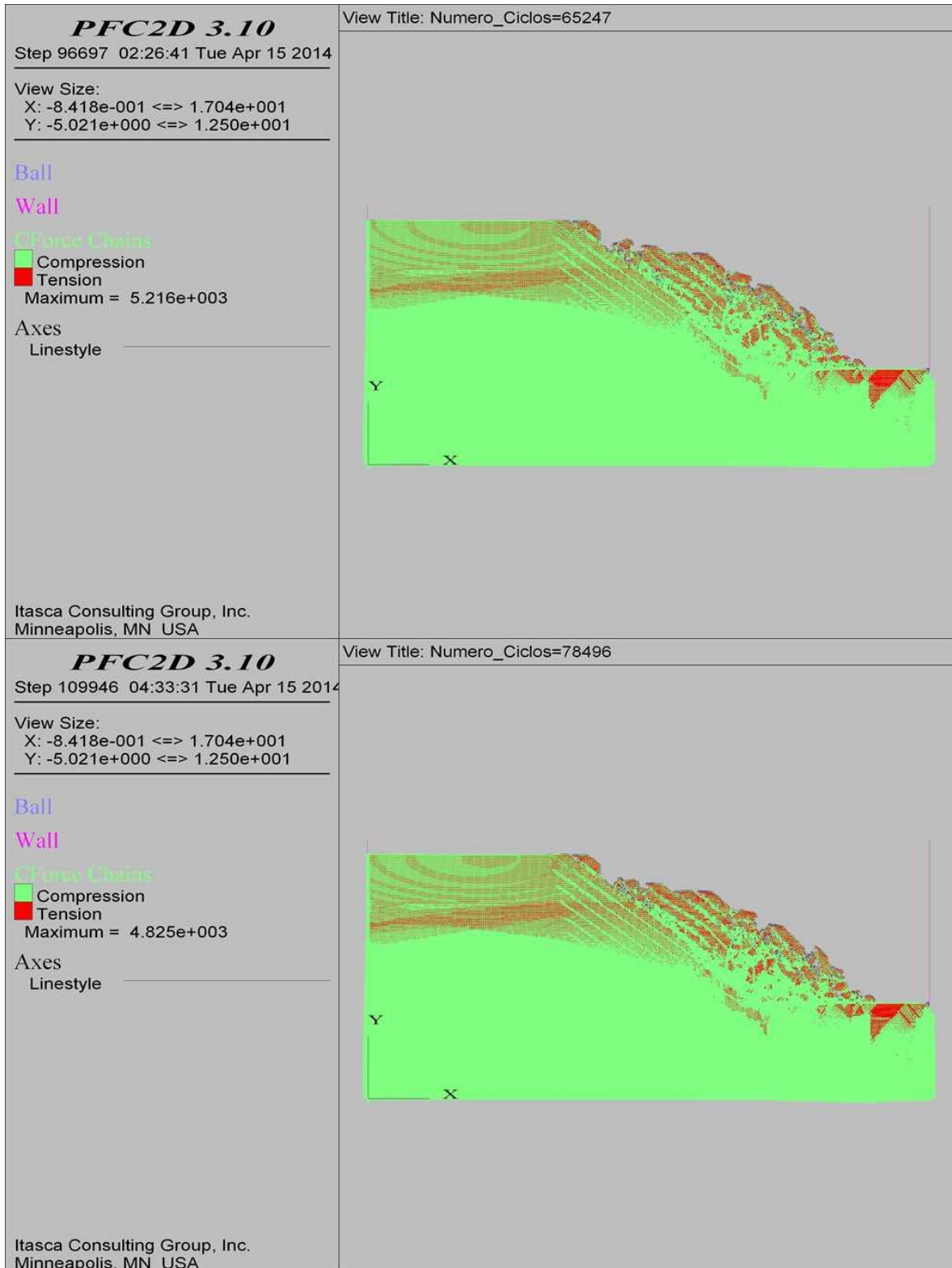
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



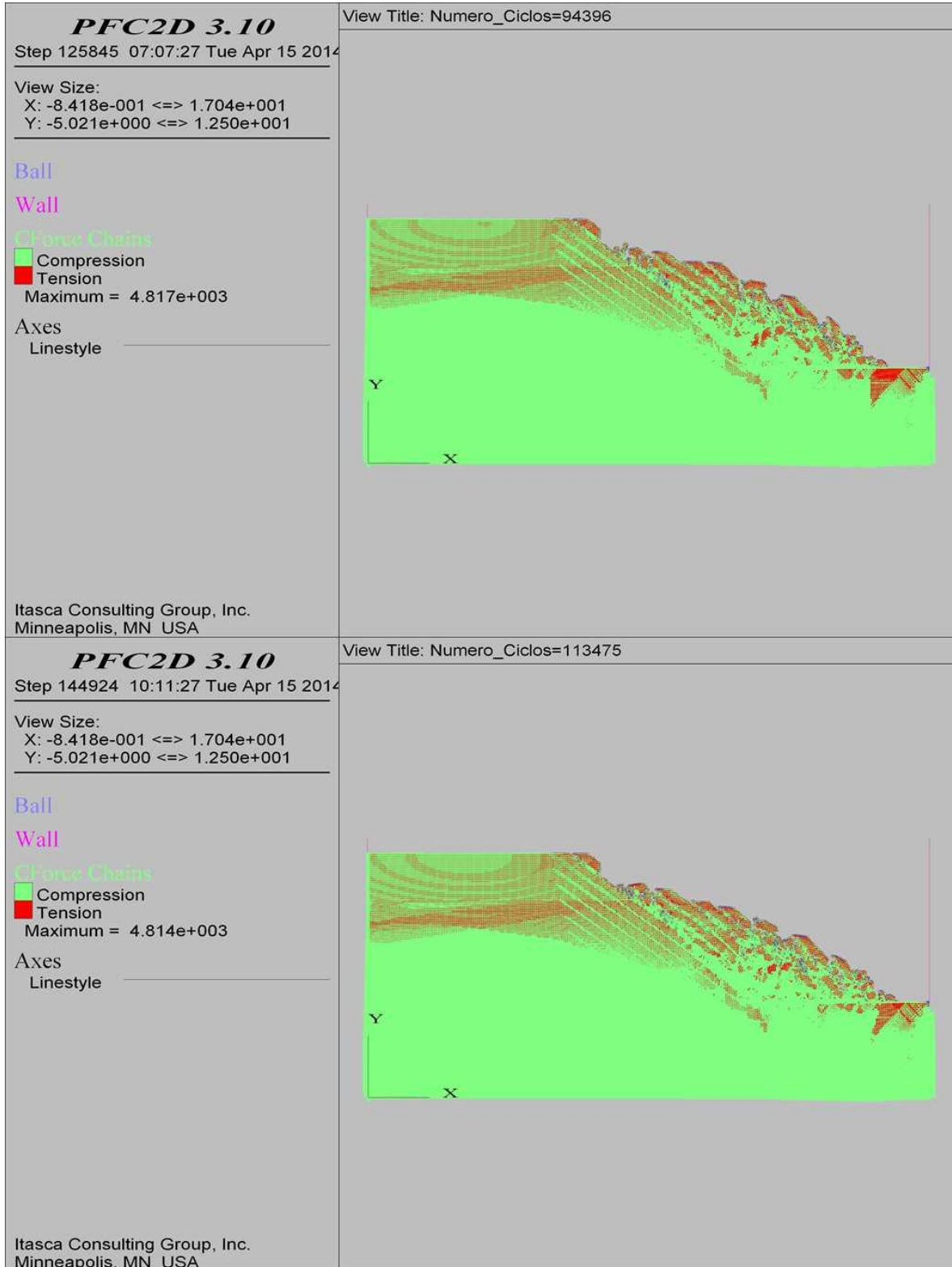
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



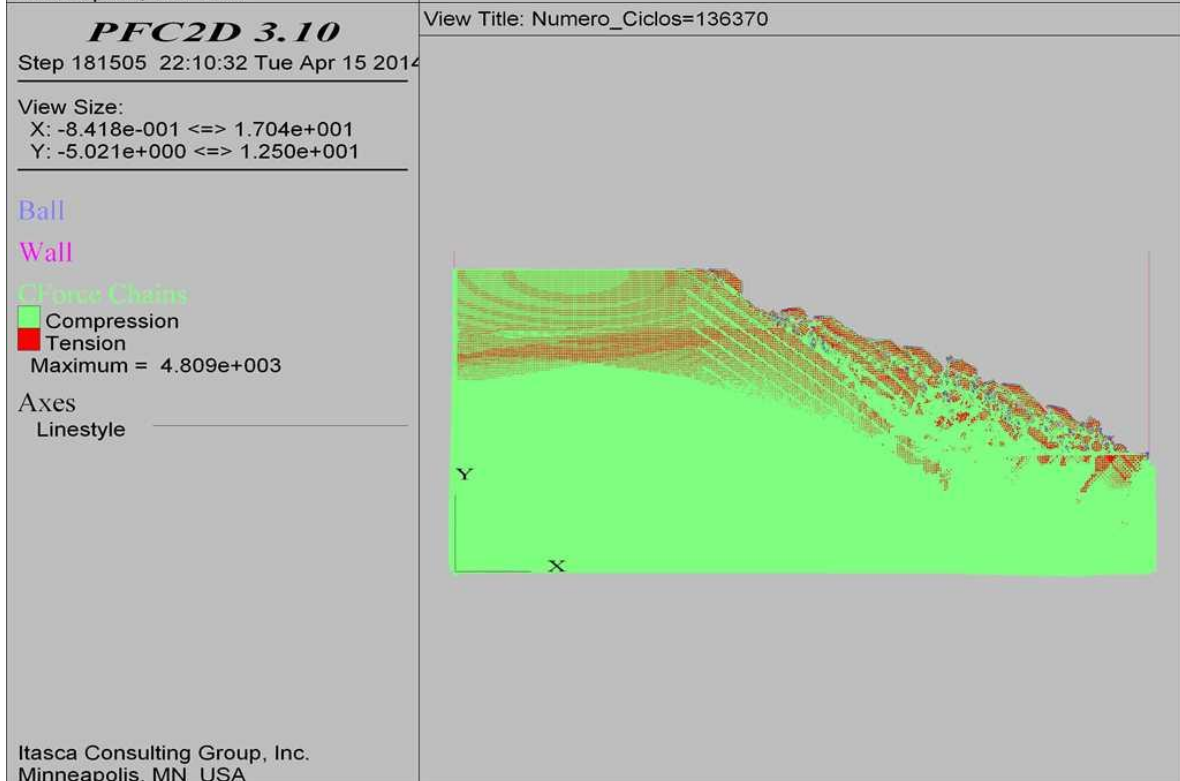
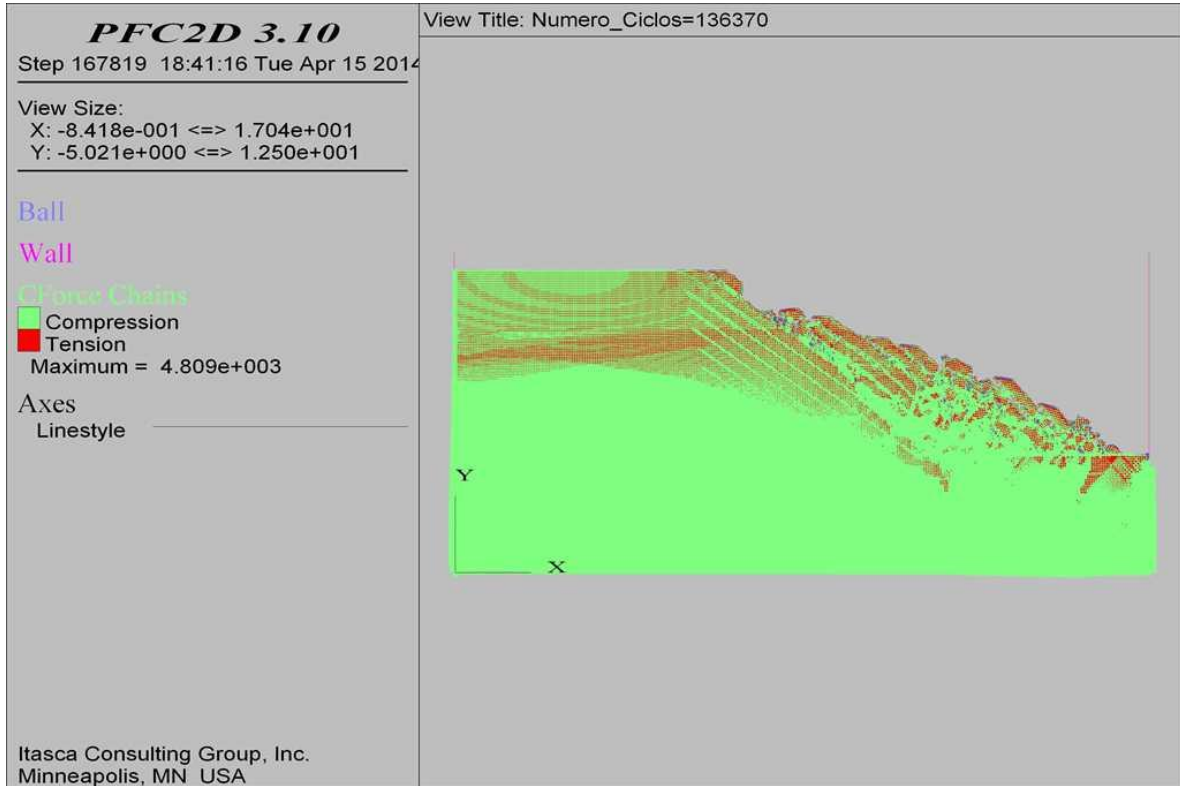
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



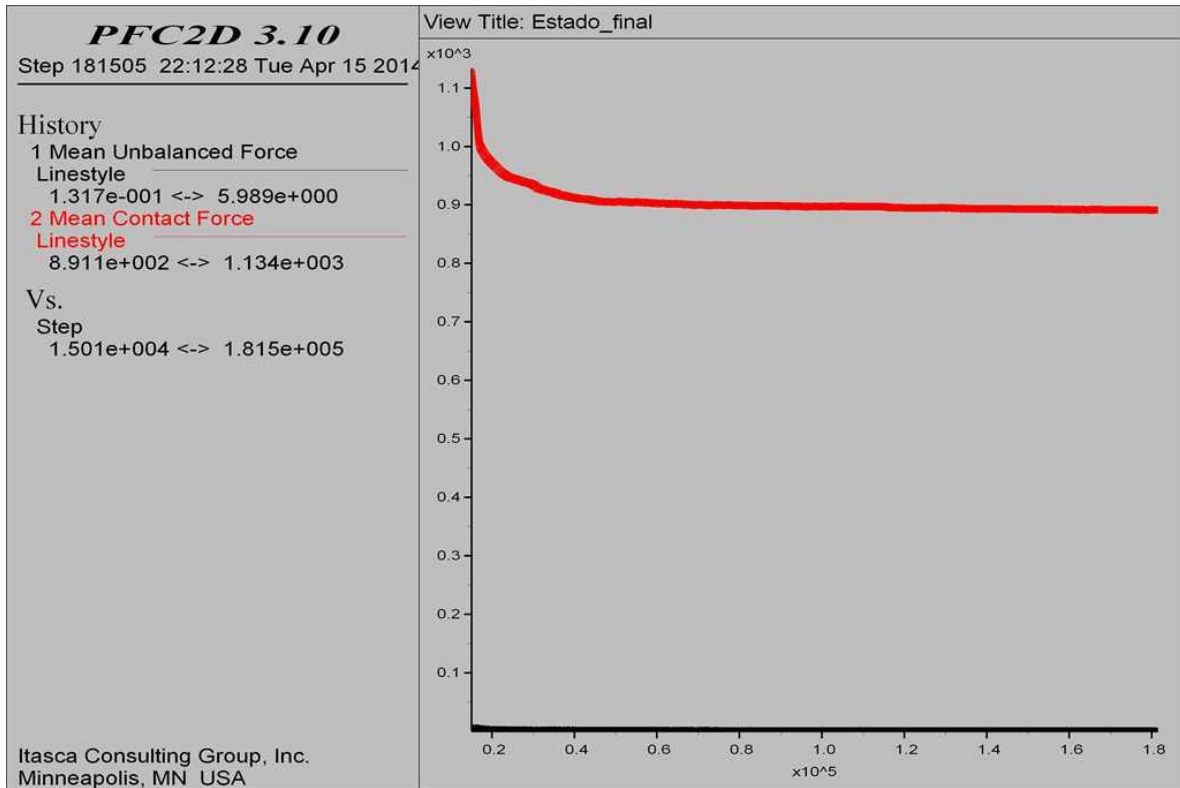
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



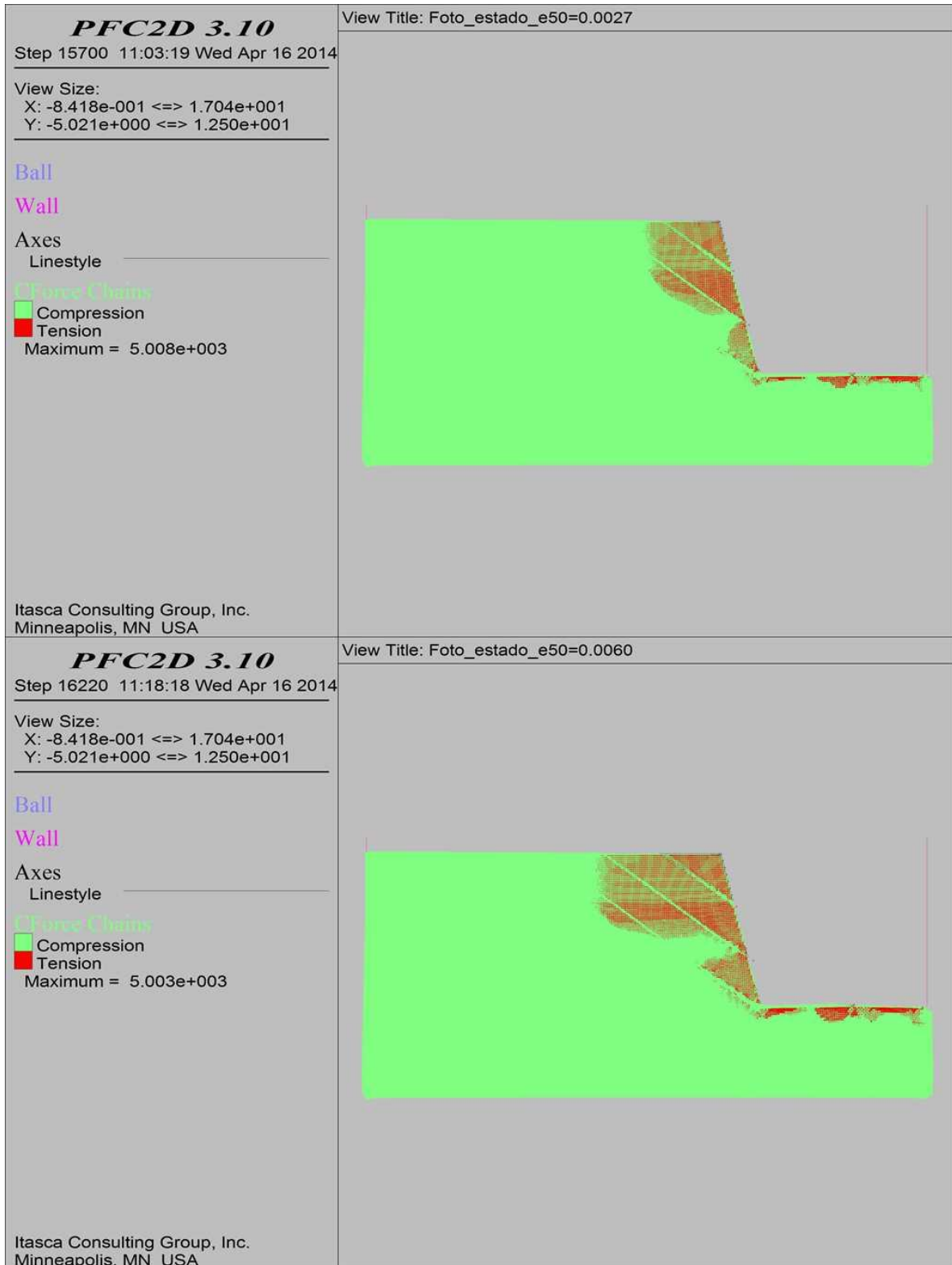
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



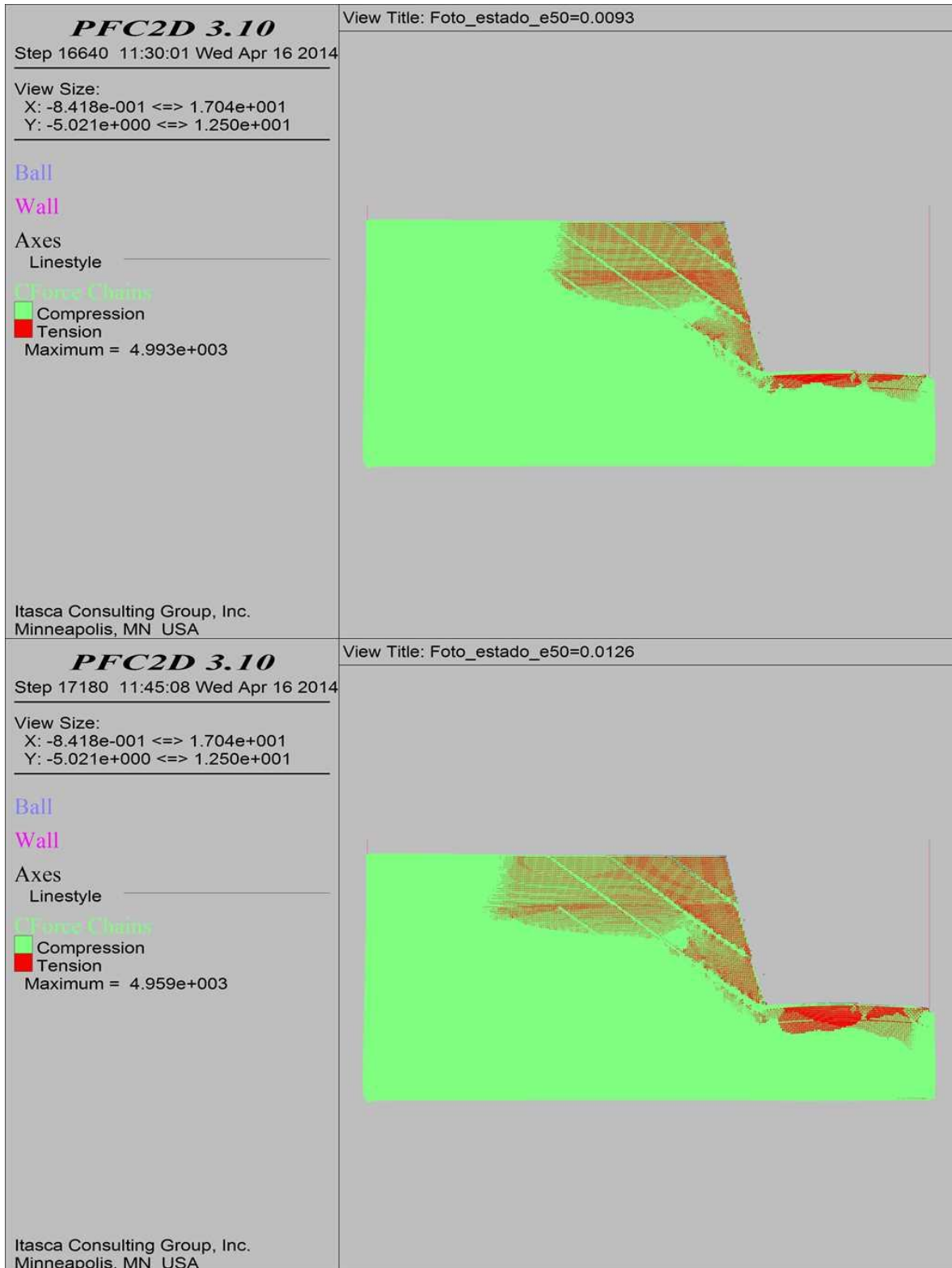
COMBINACIÓN 19: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



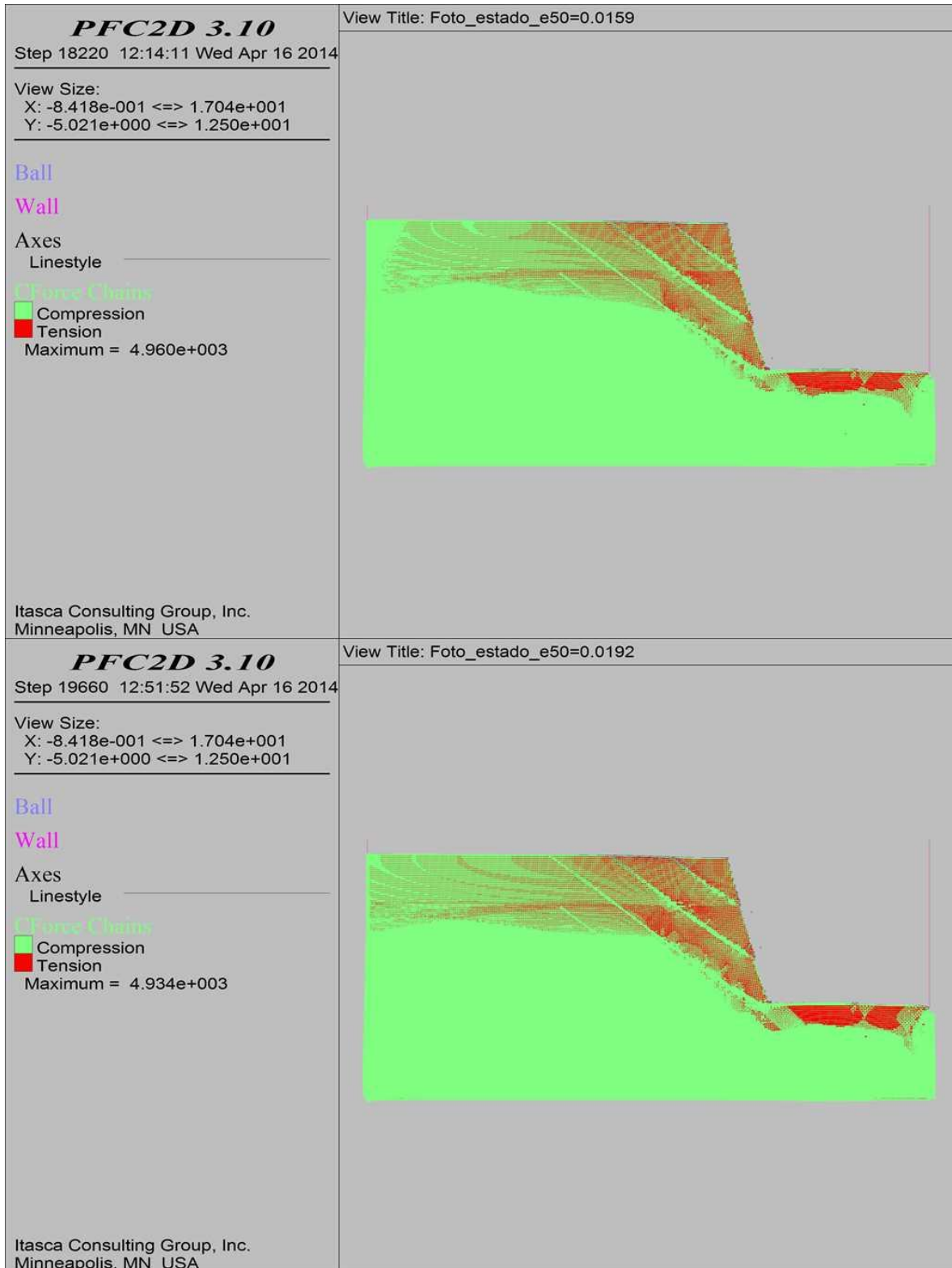
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



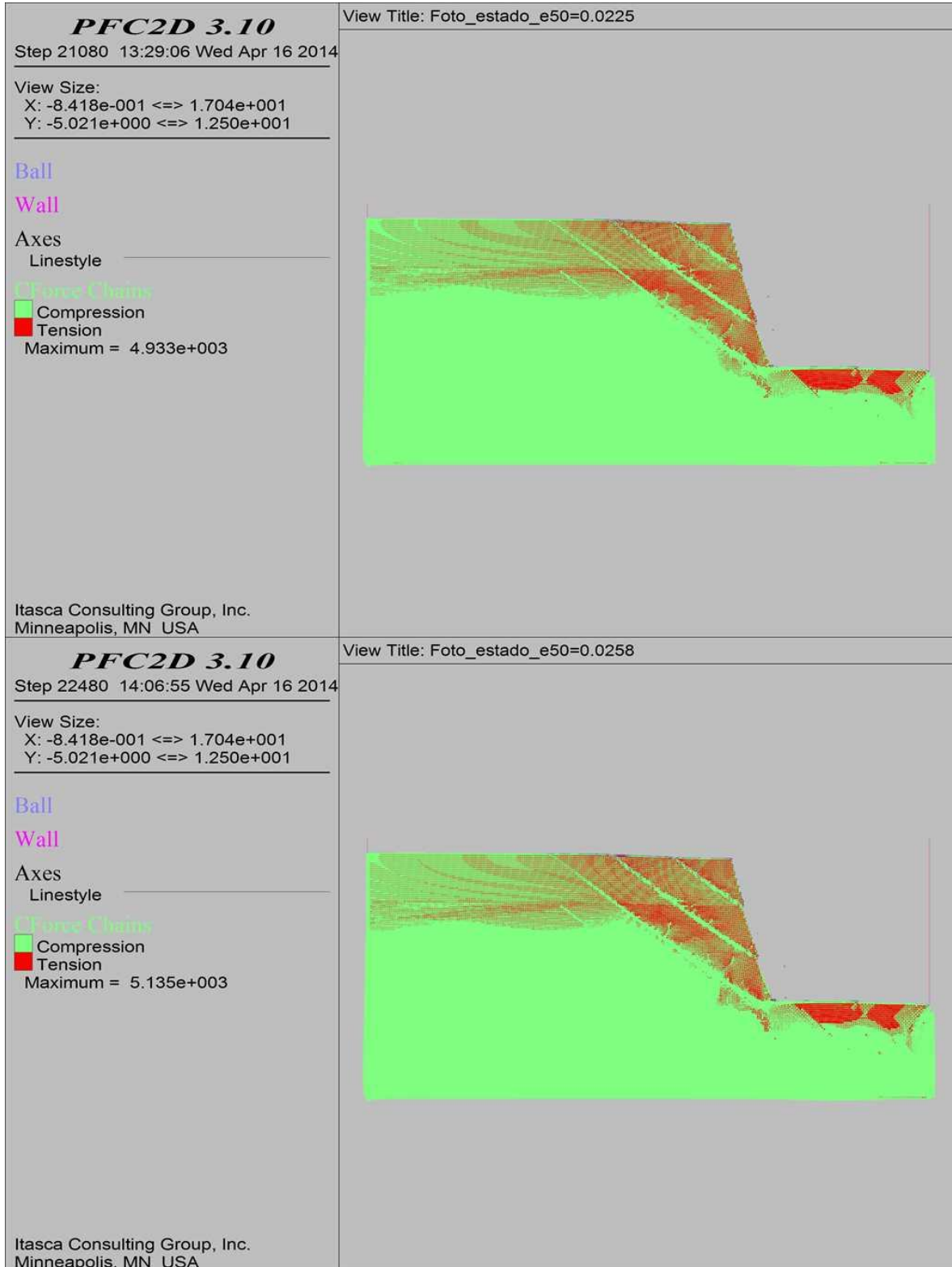
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



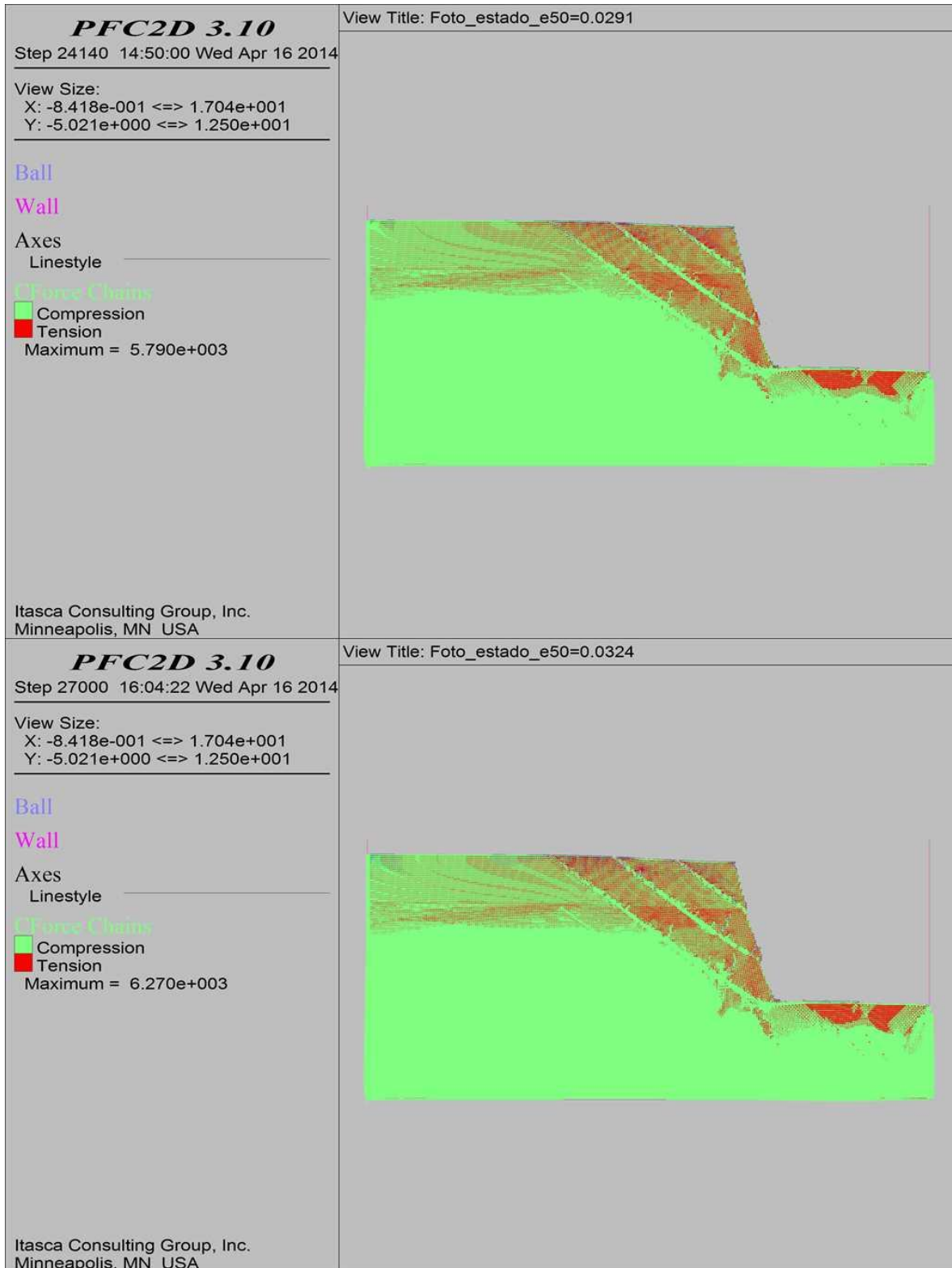
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



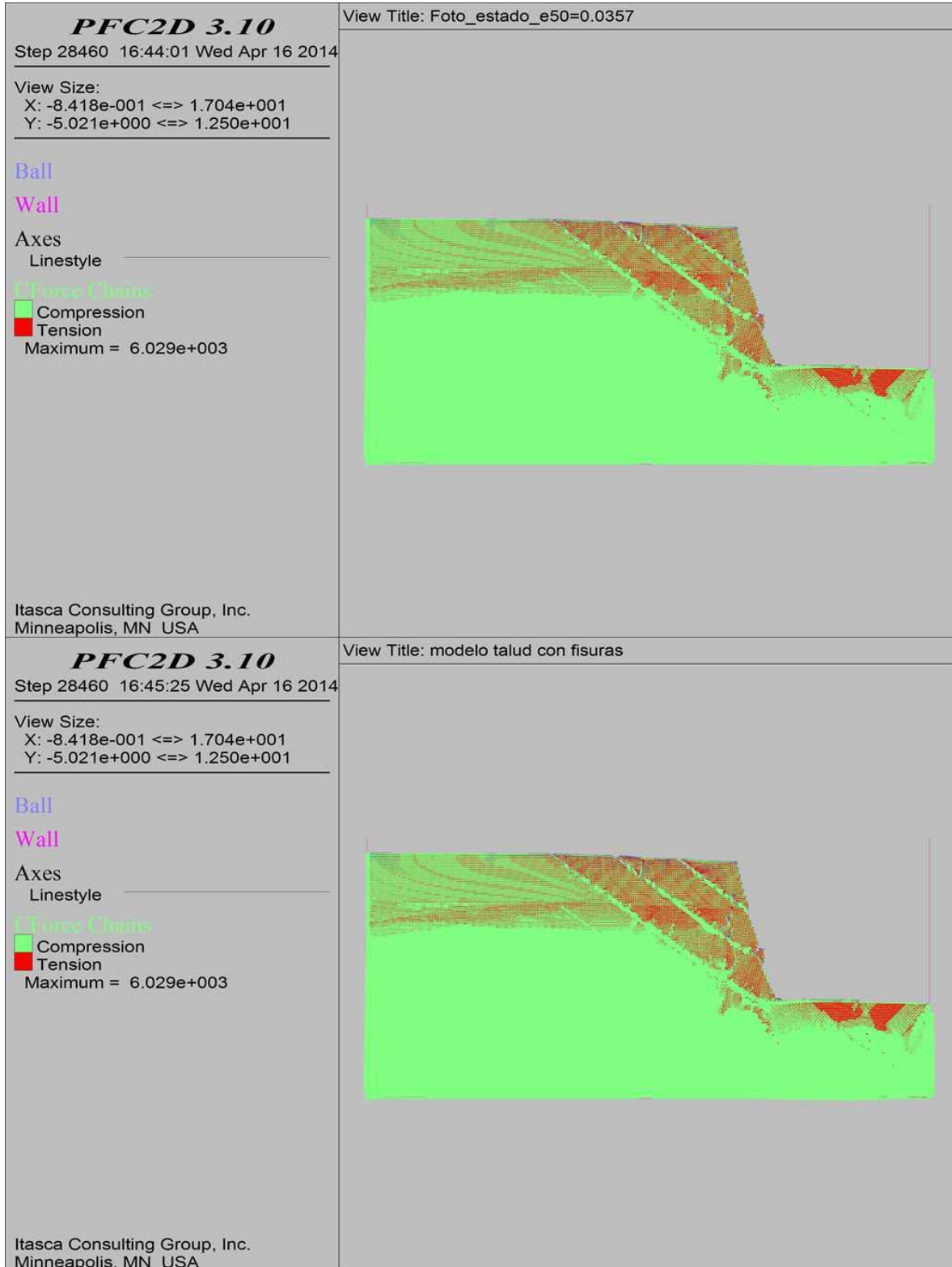
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



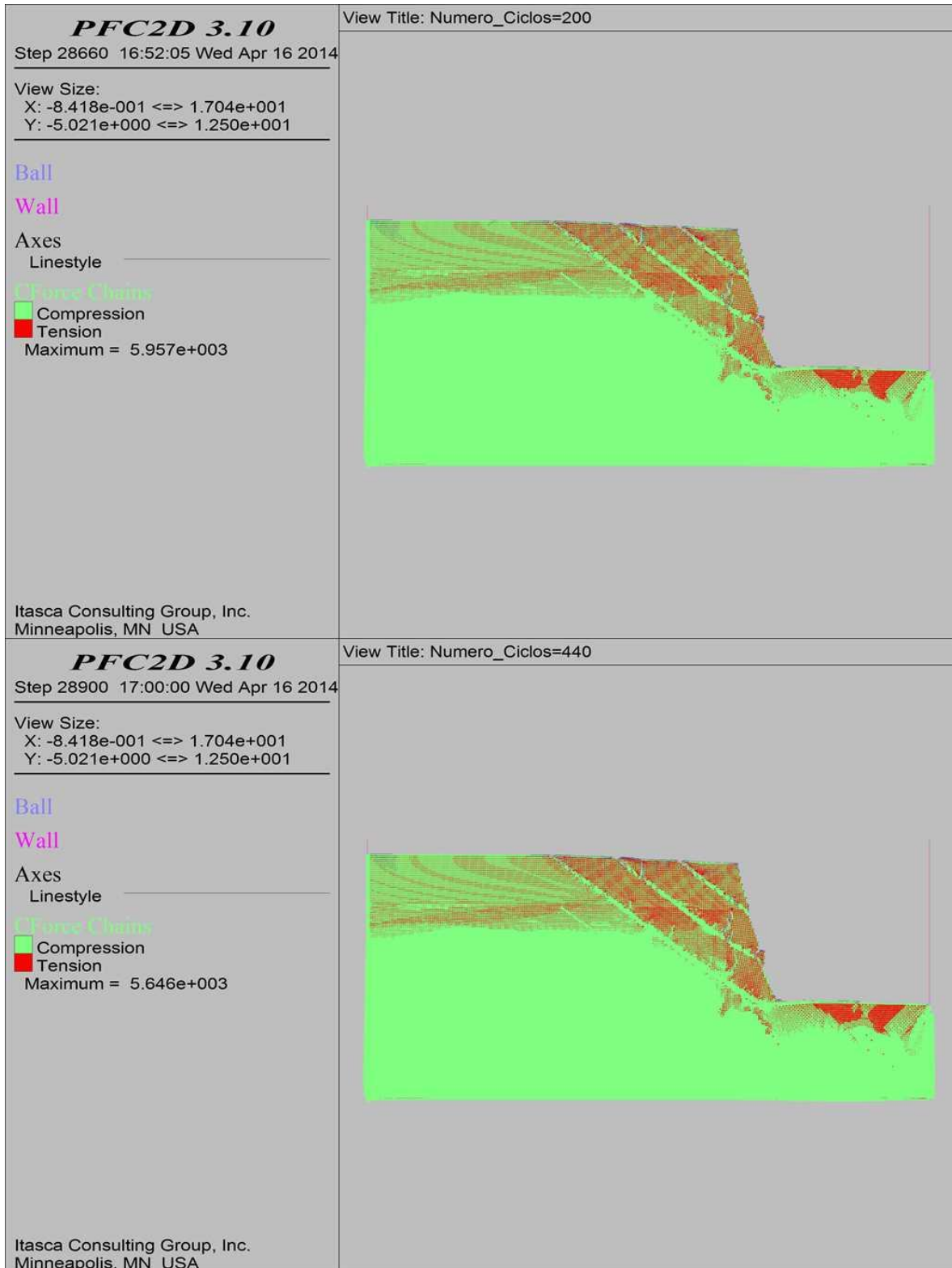
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



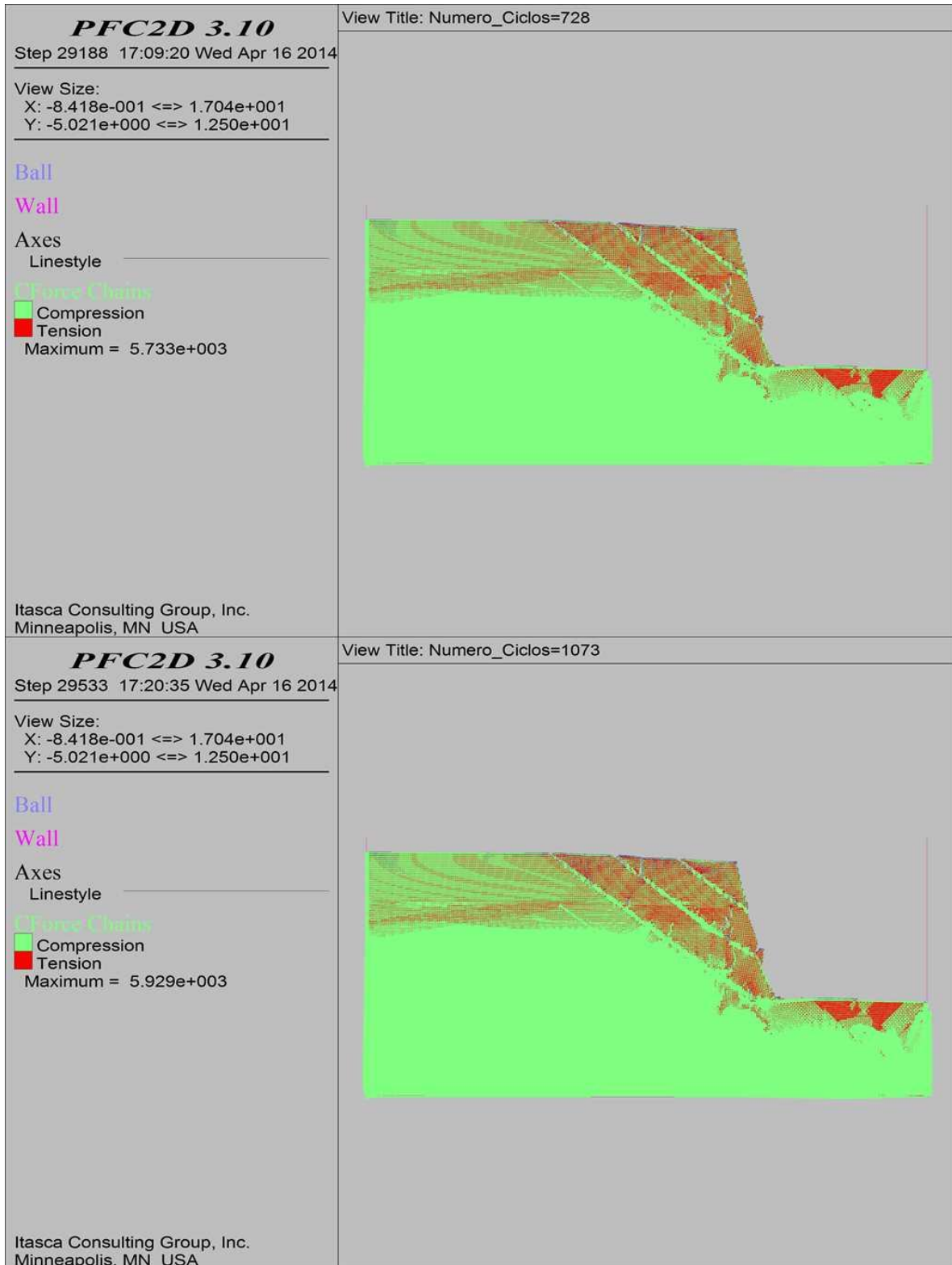
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



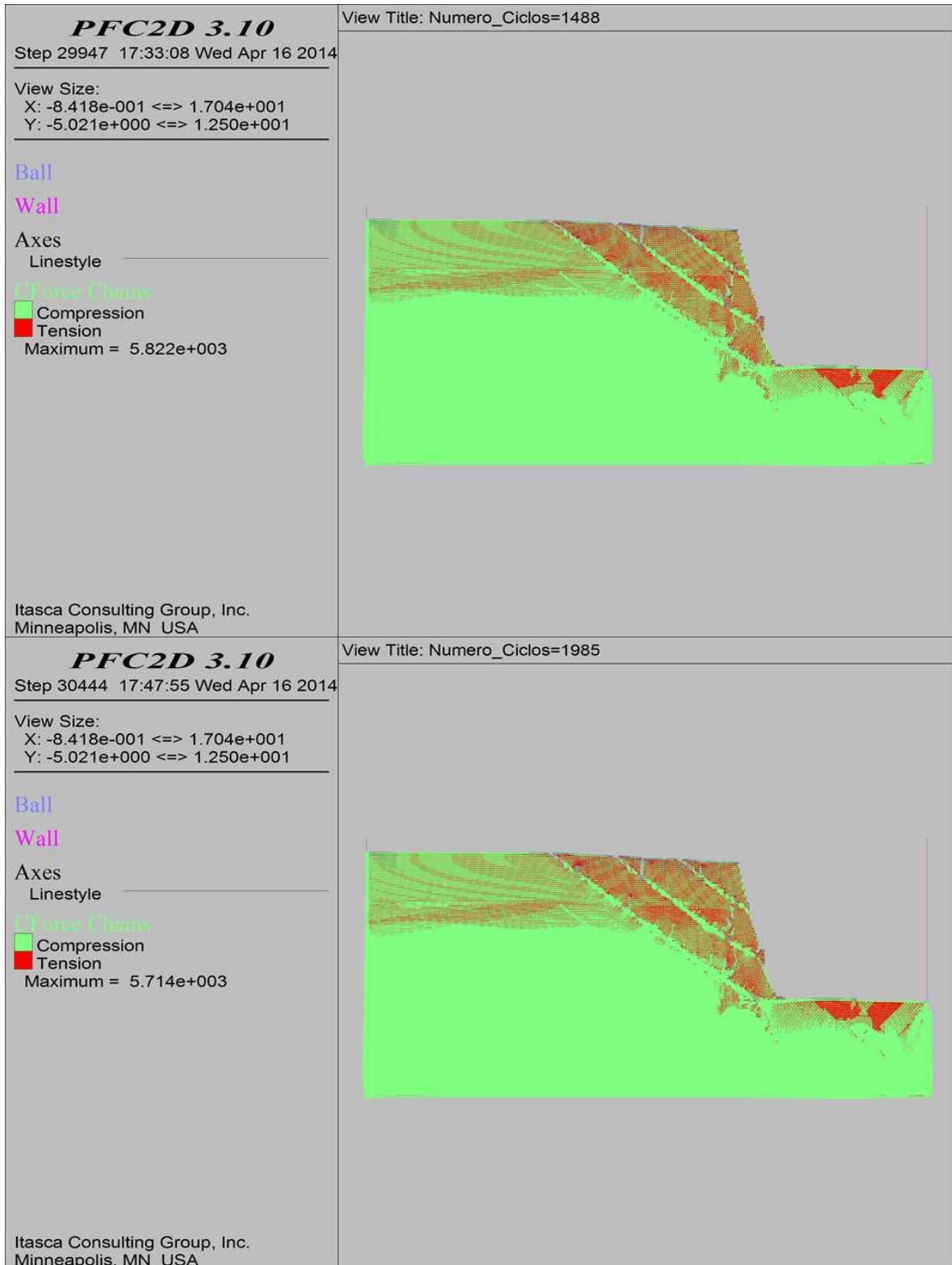
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



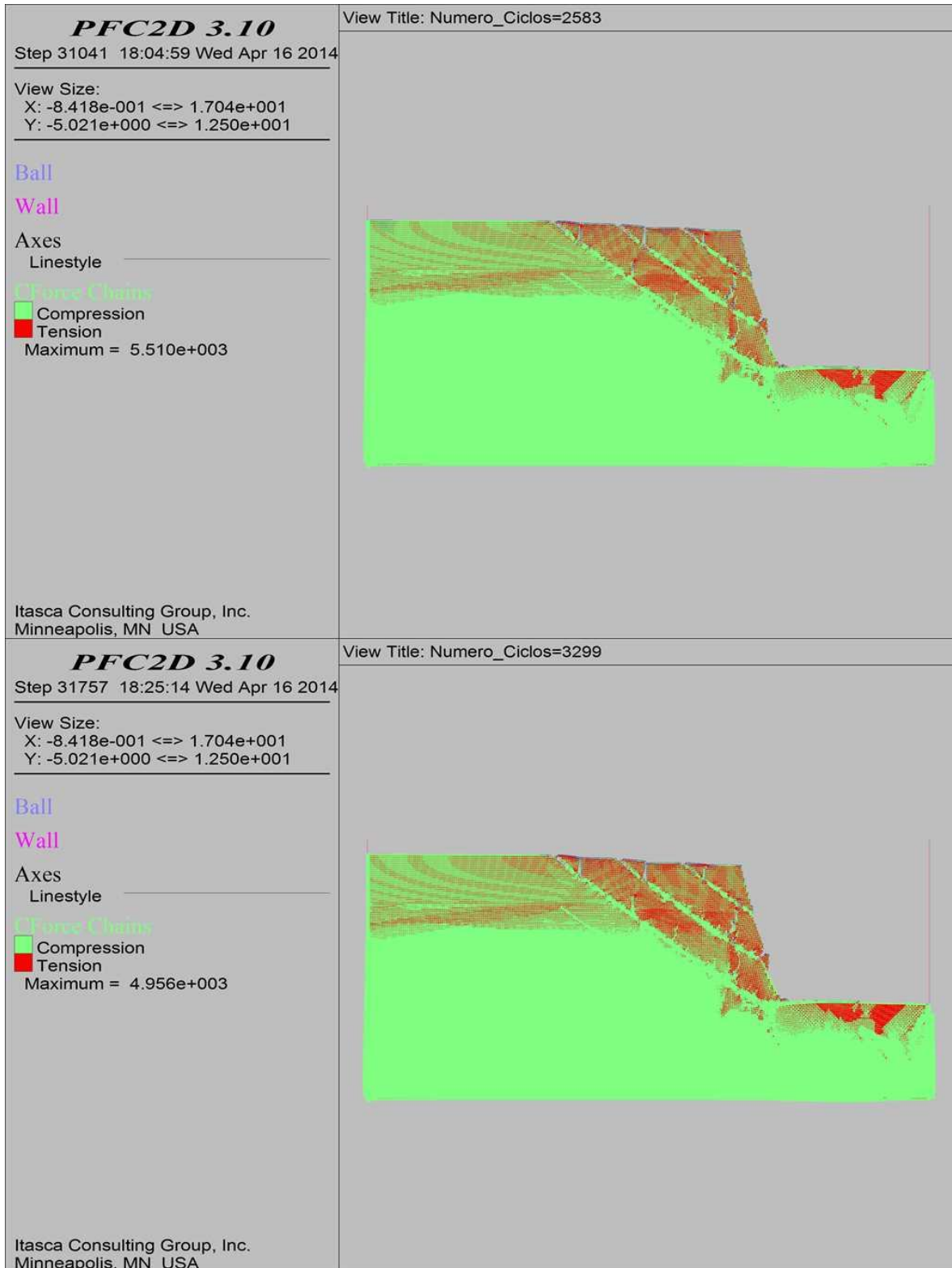
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



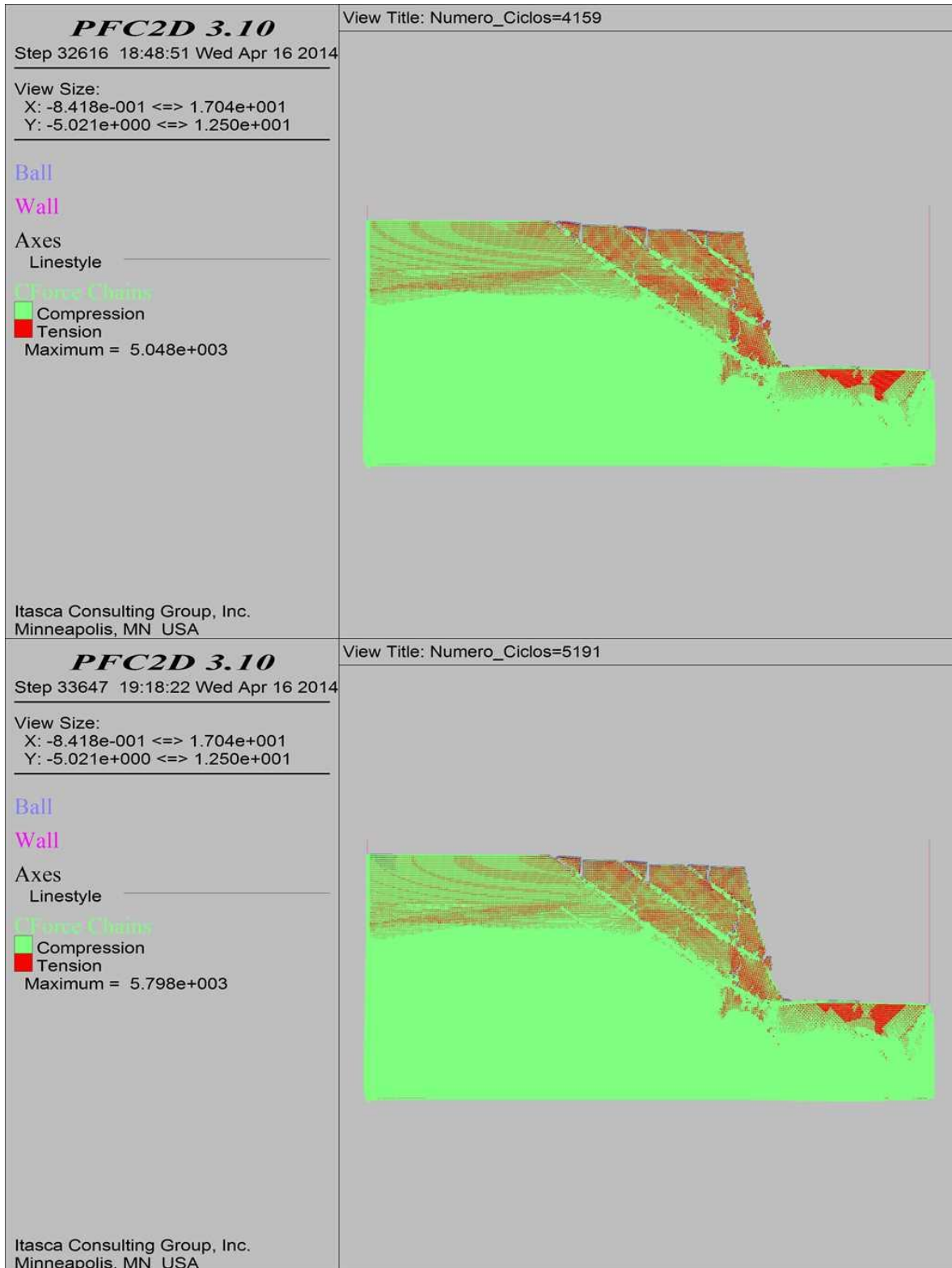
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



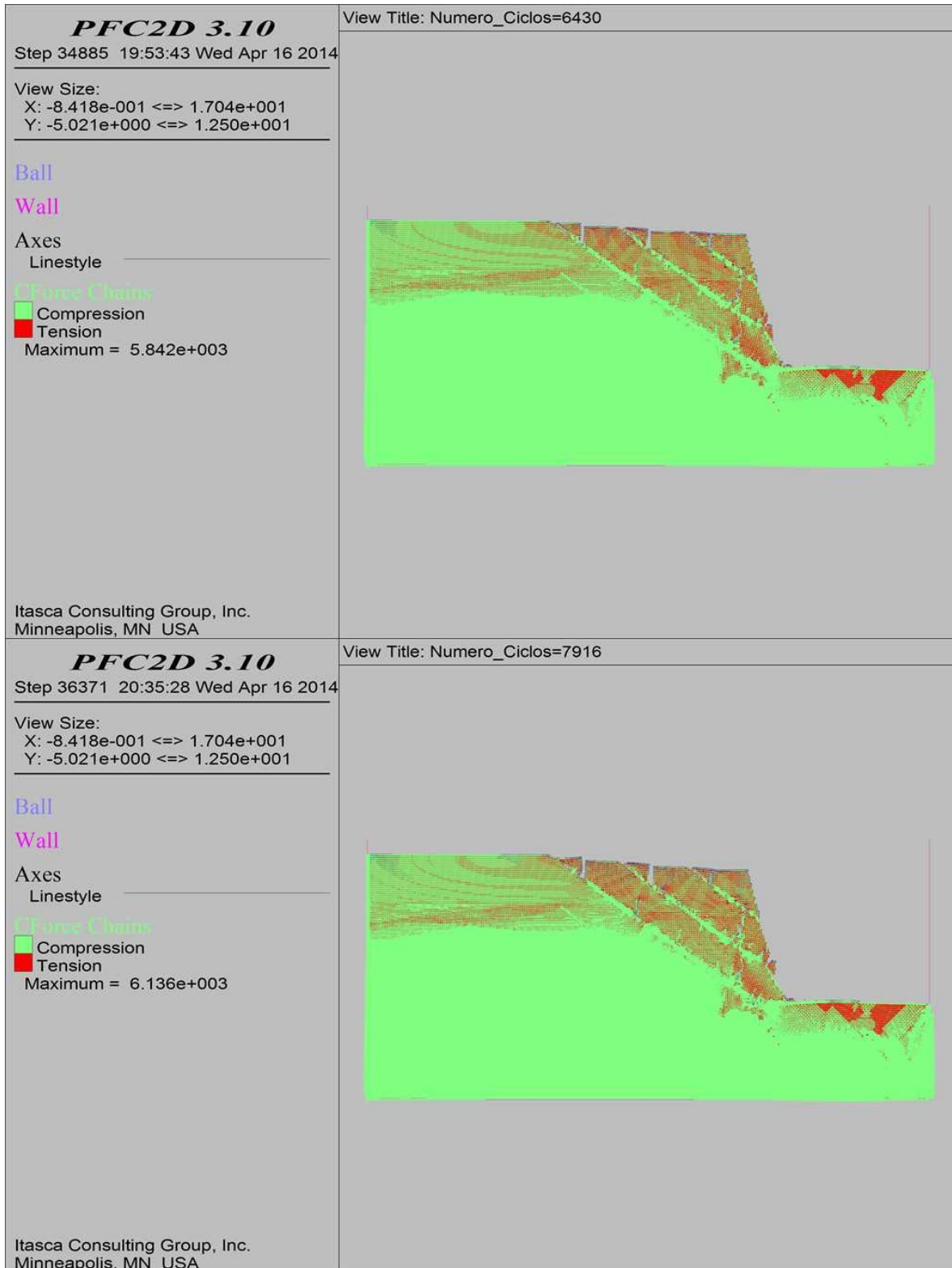
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



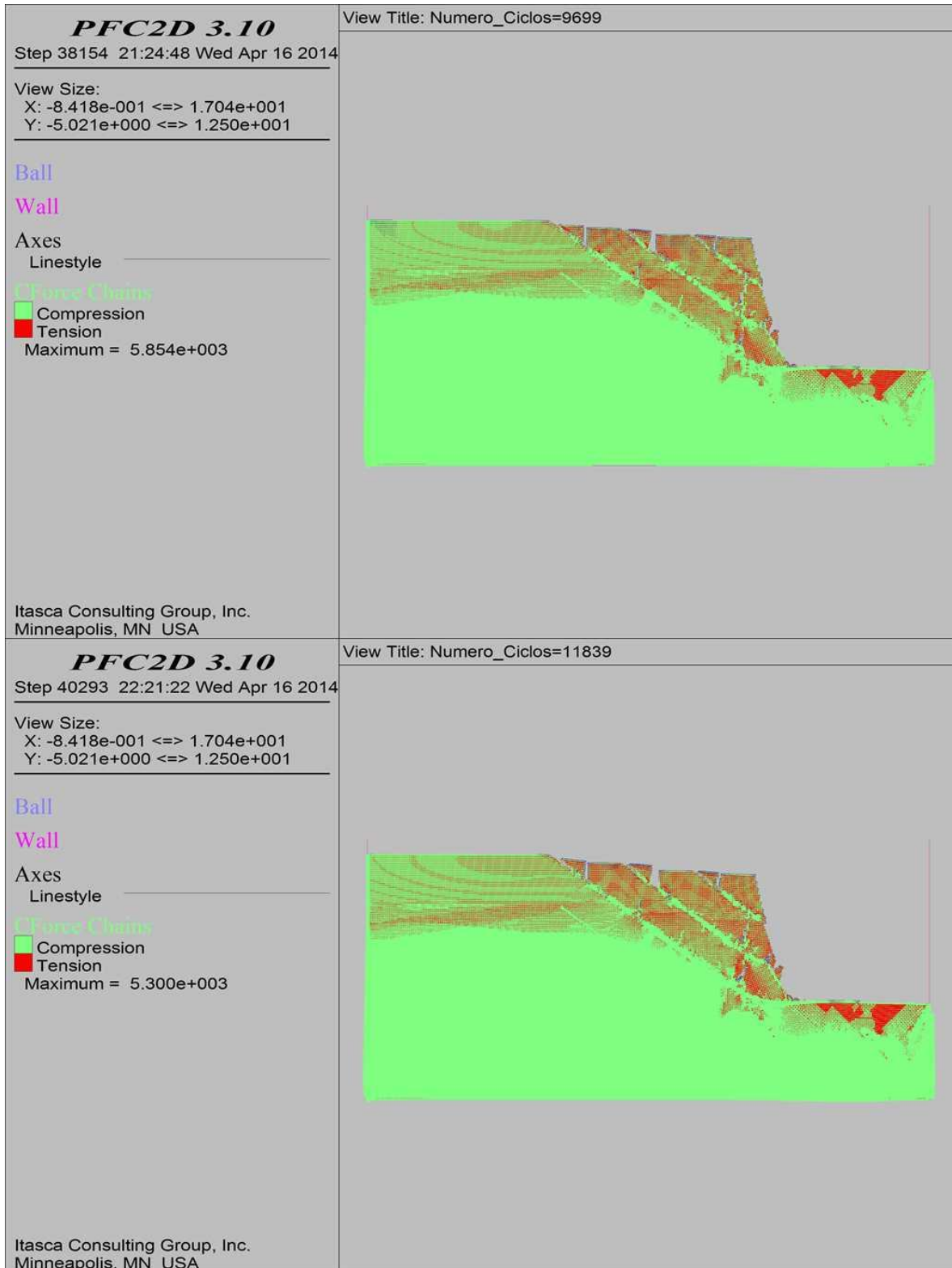
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



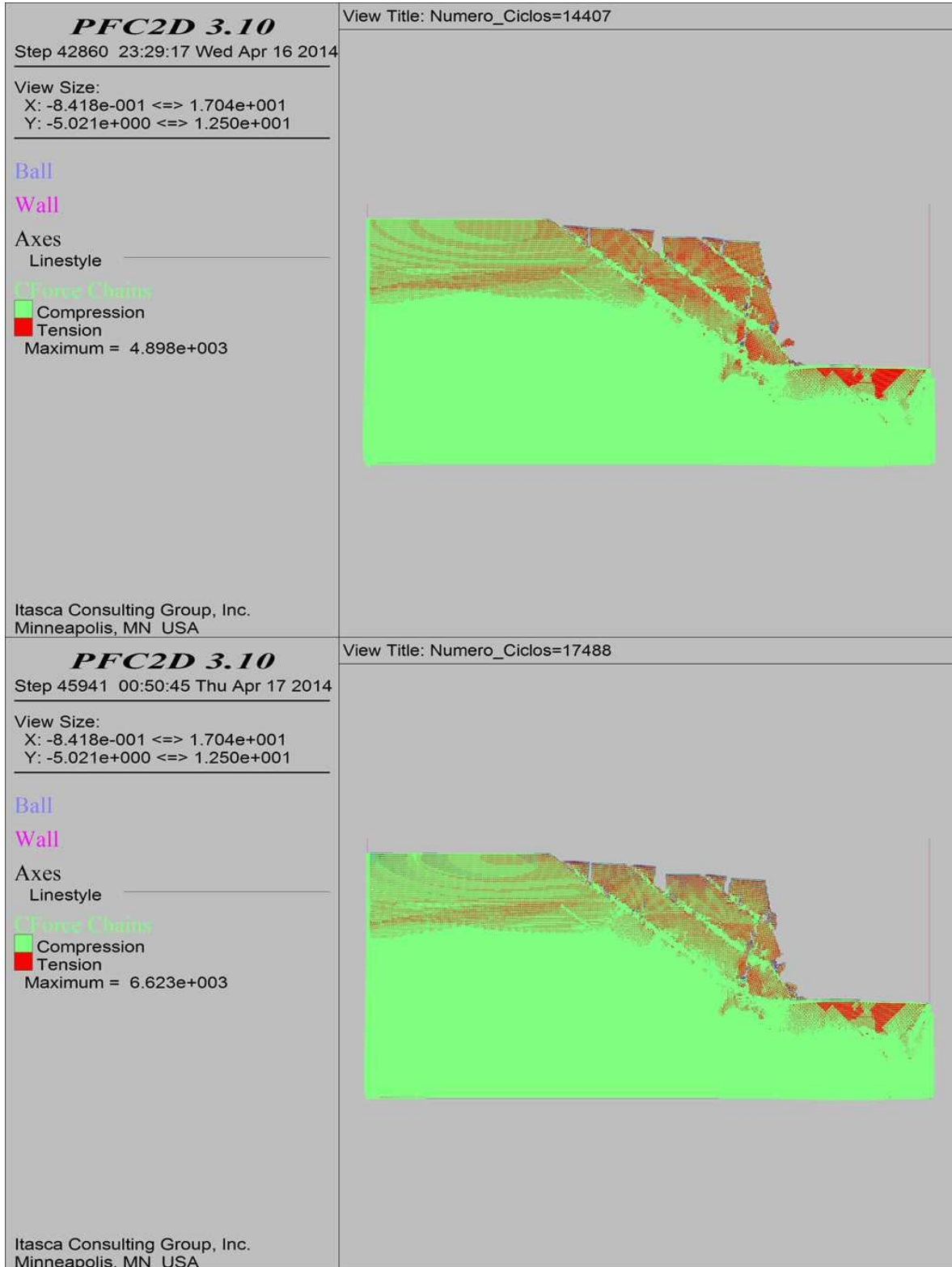
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



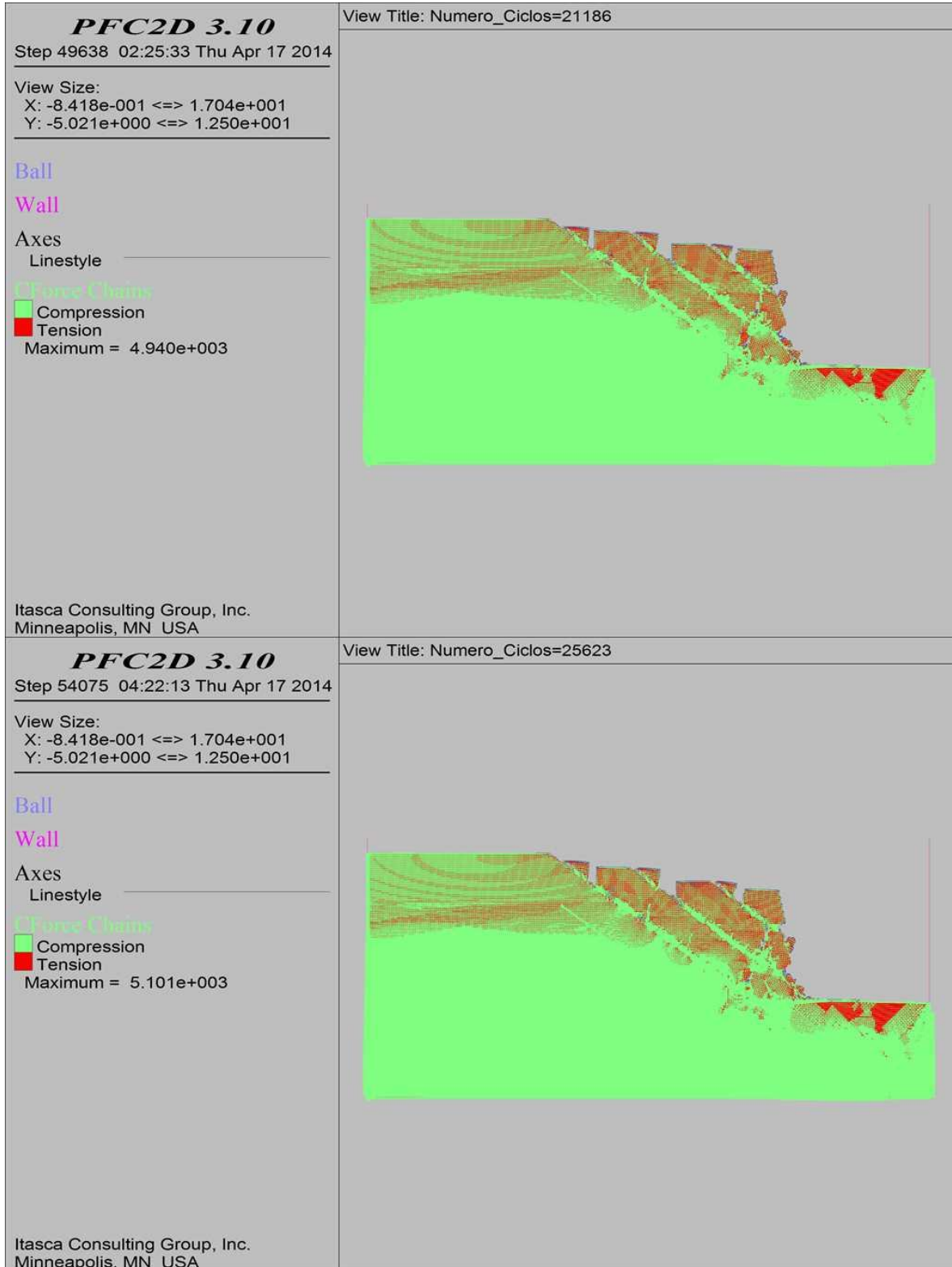
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



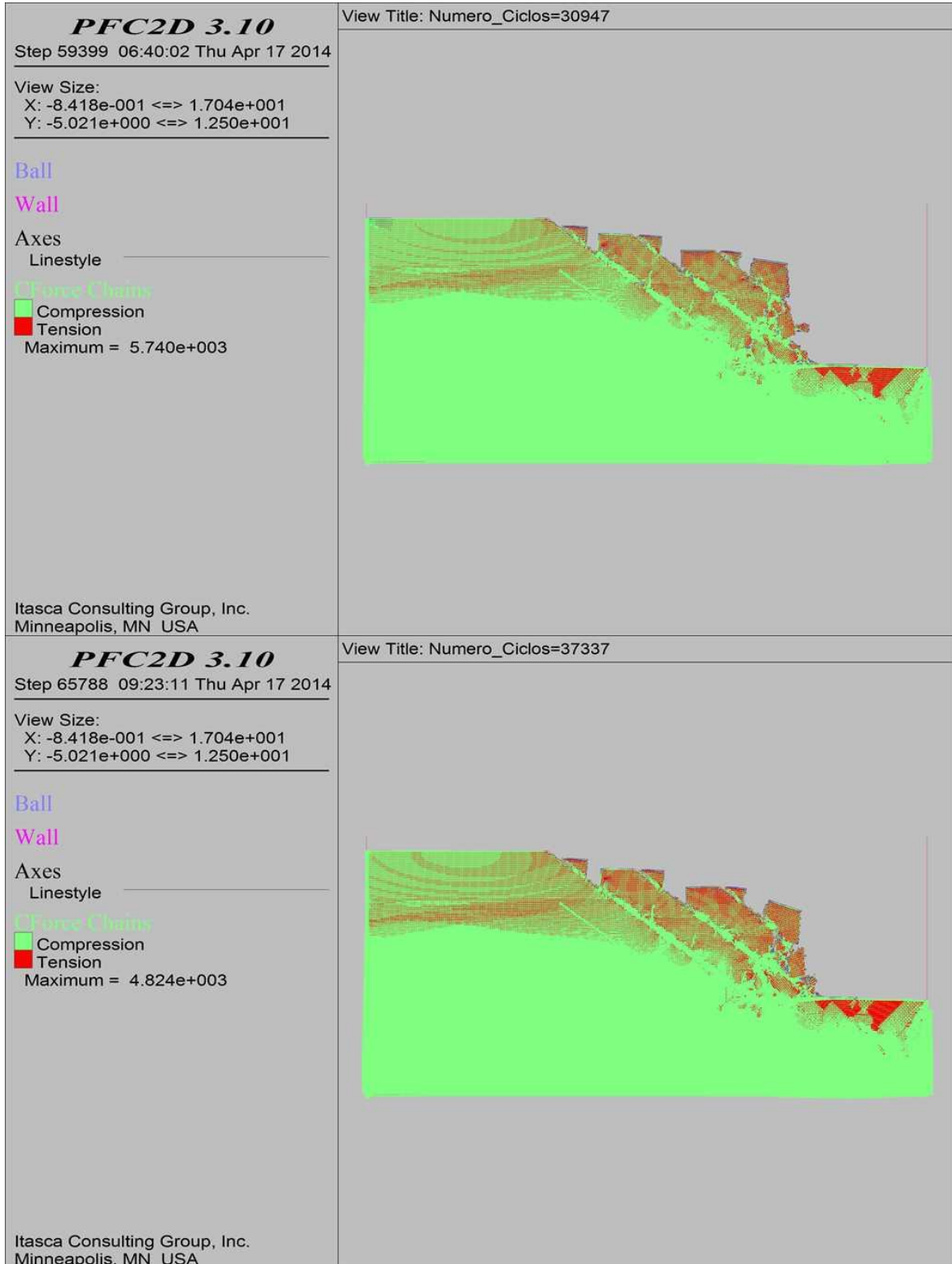
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



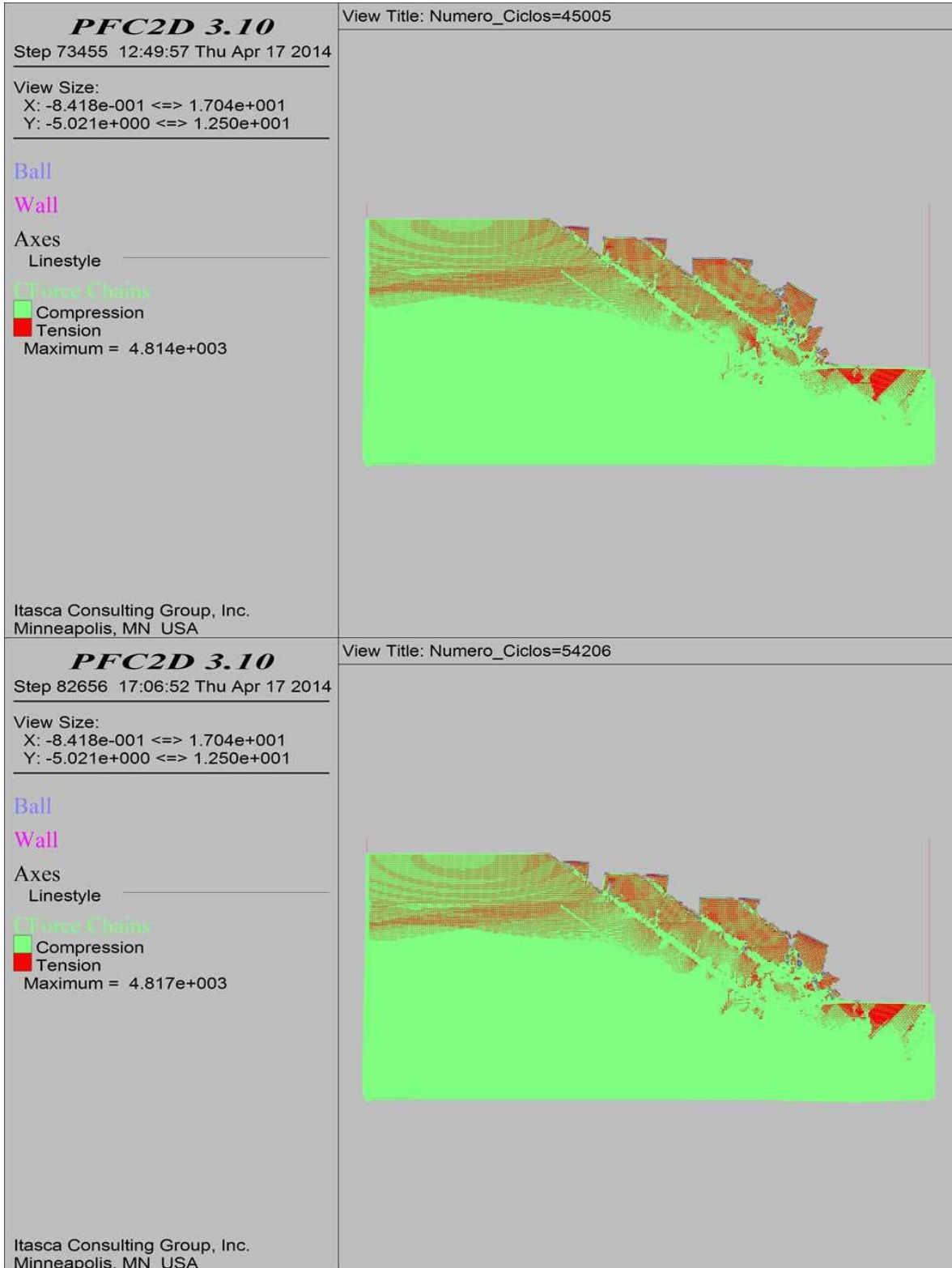
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



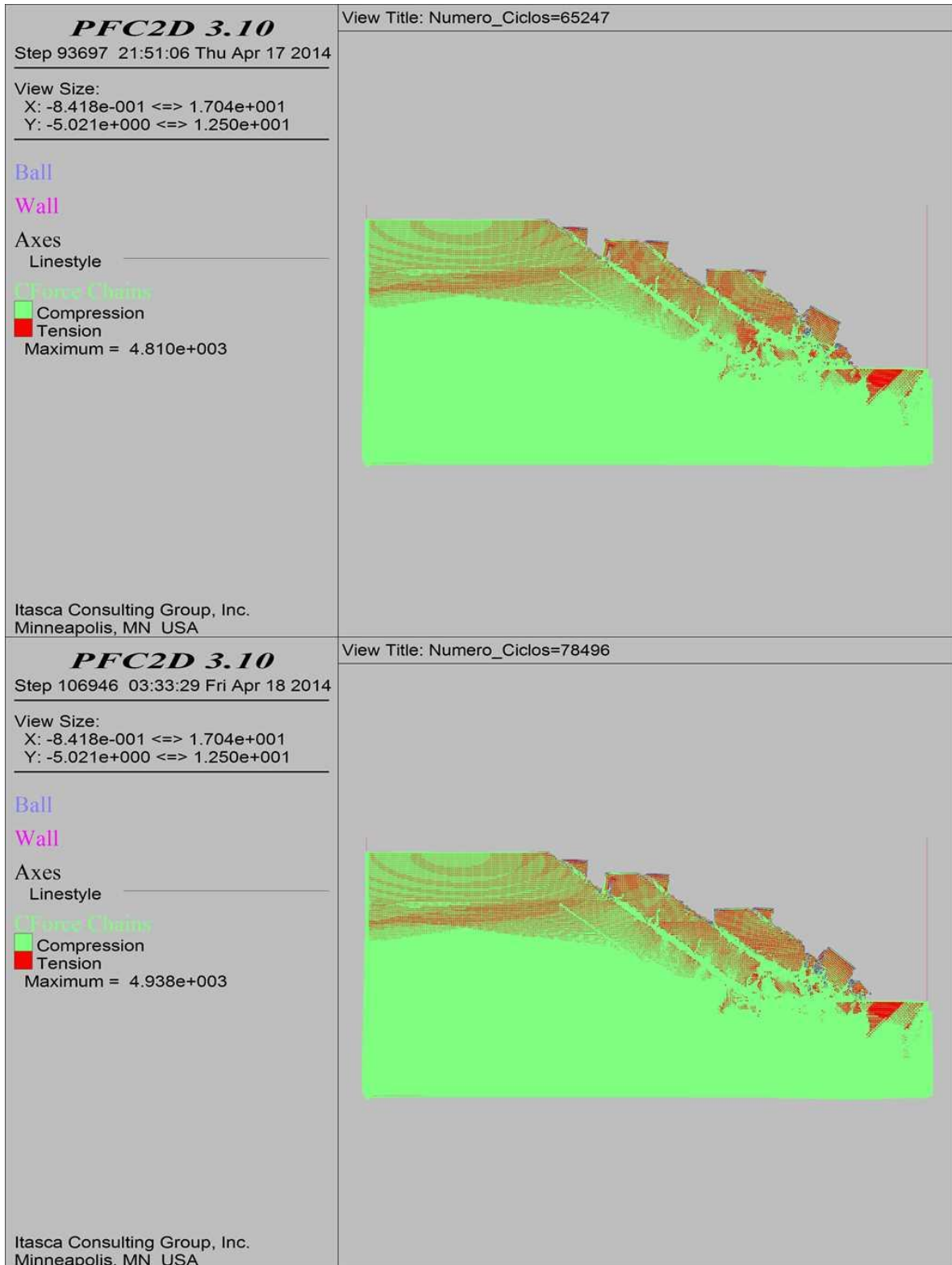
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



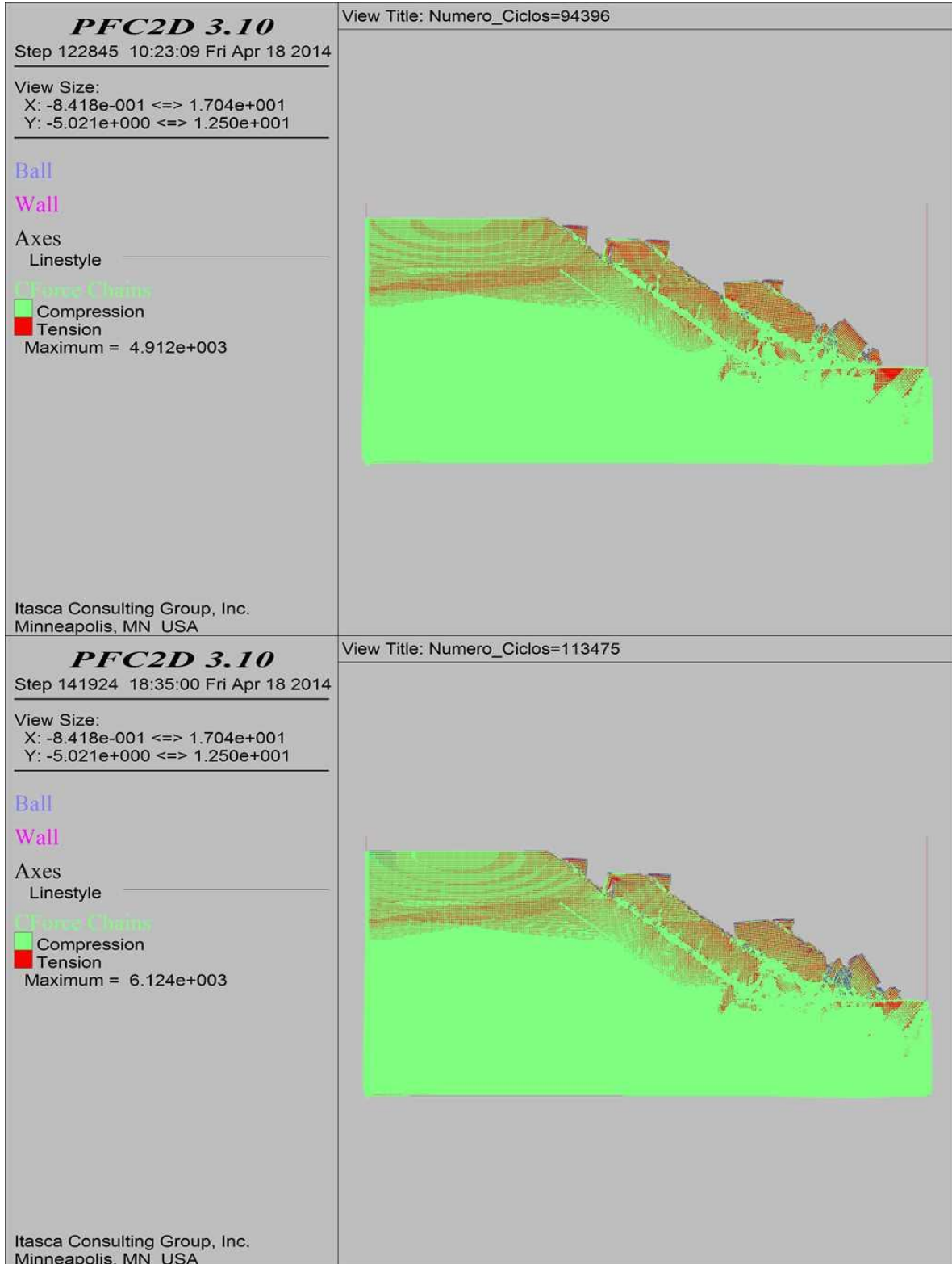
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



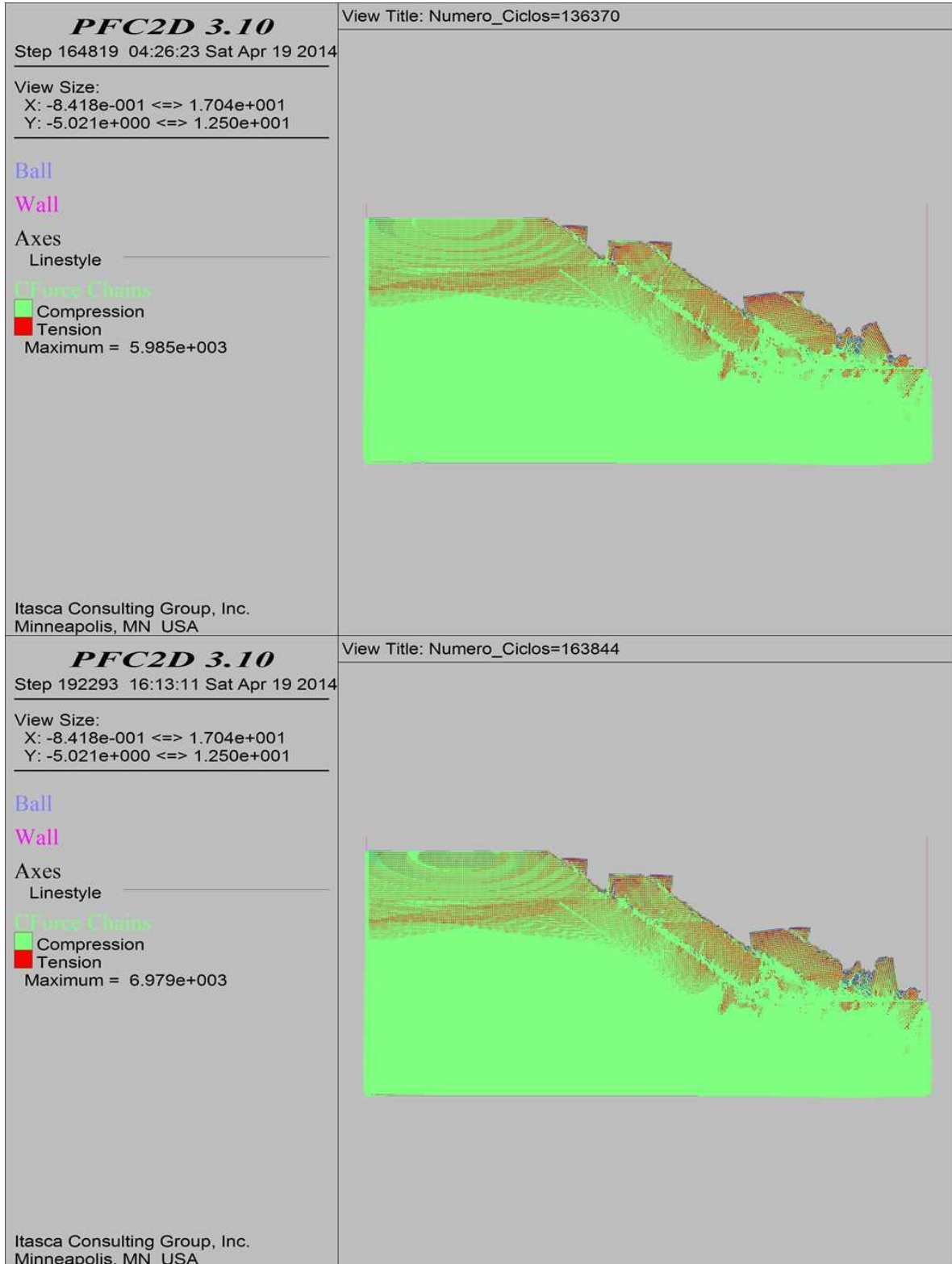
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



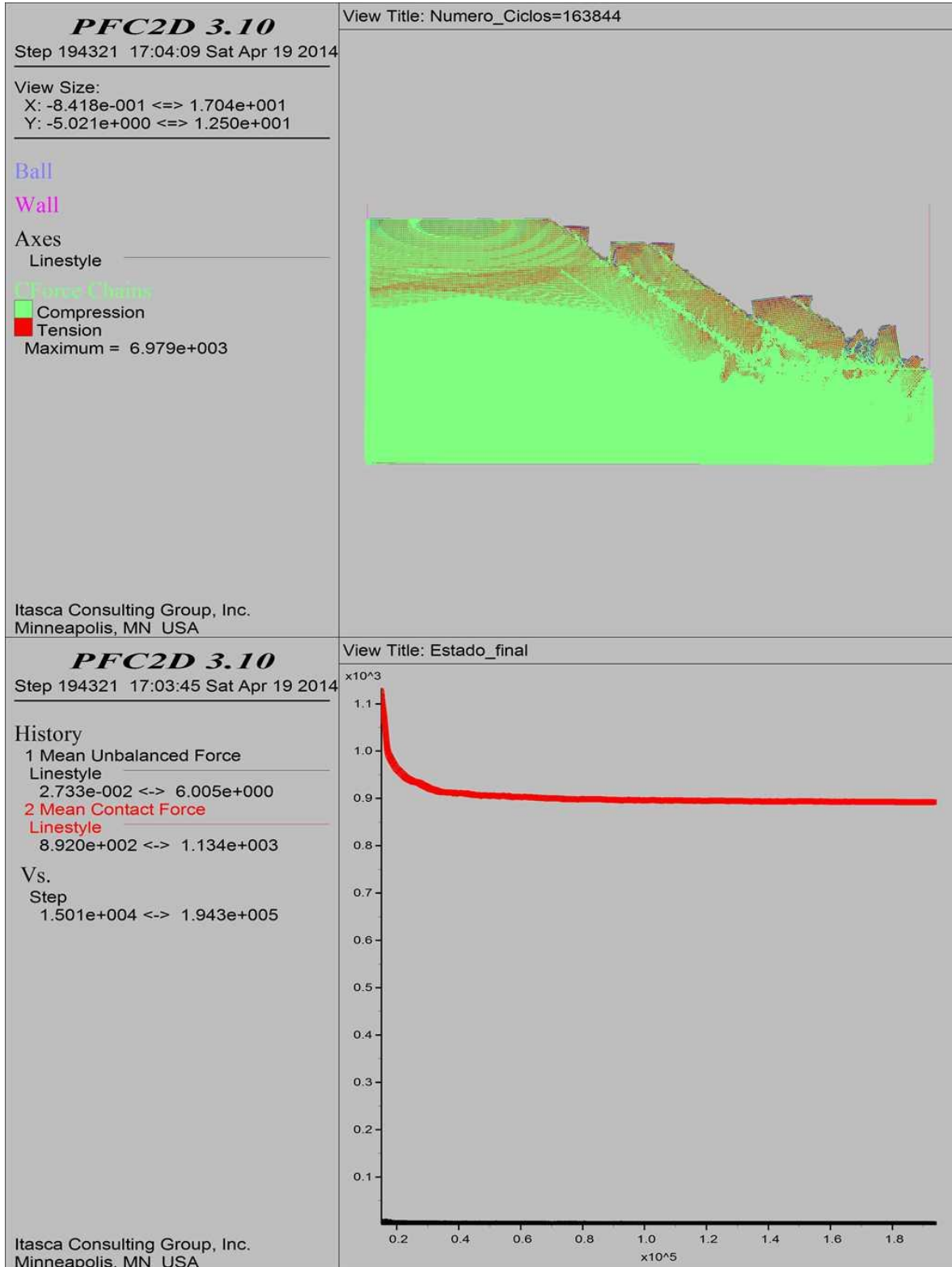
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



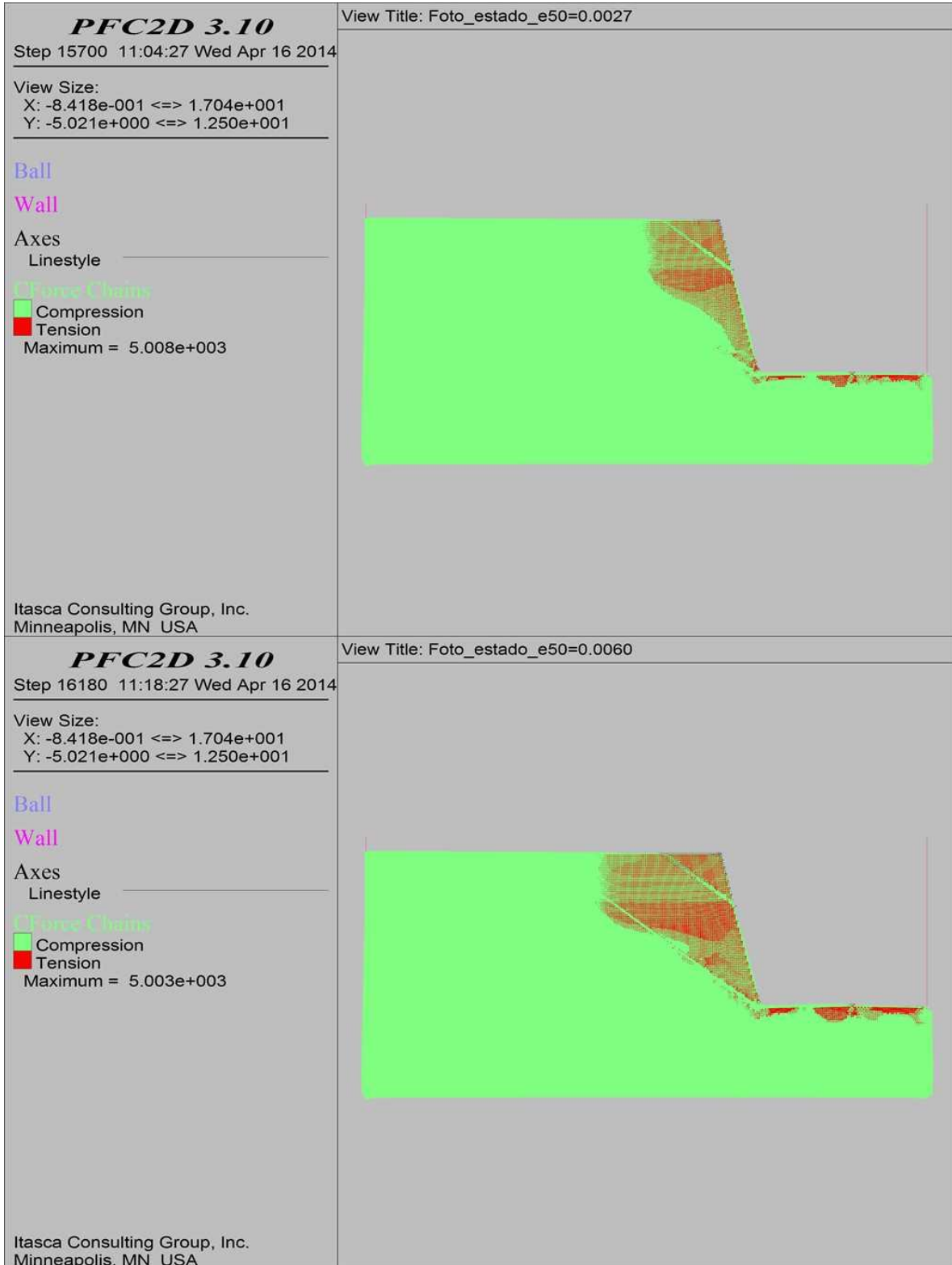
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



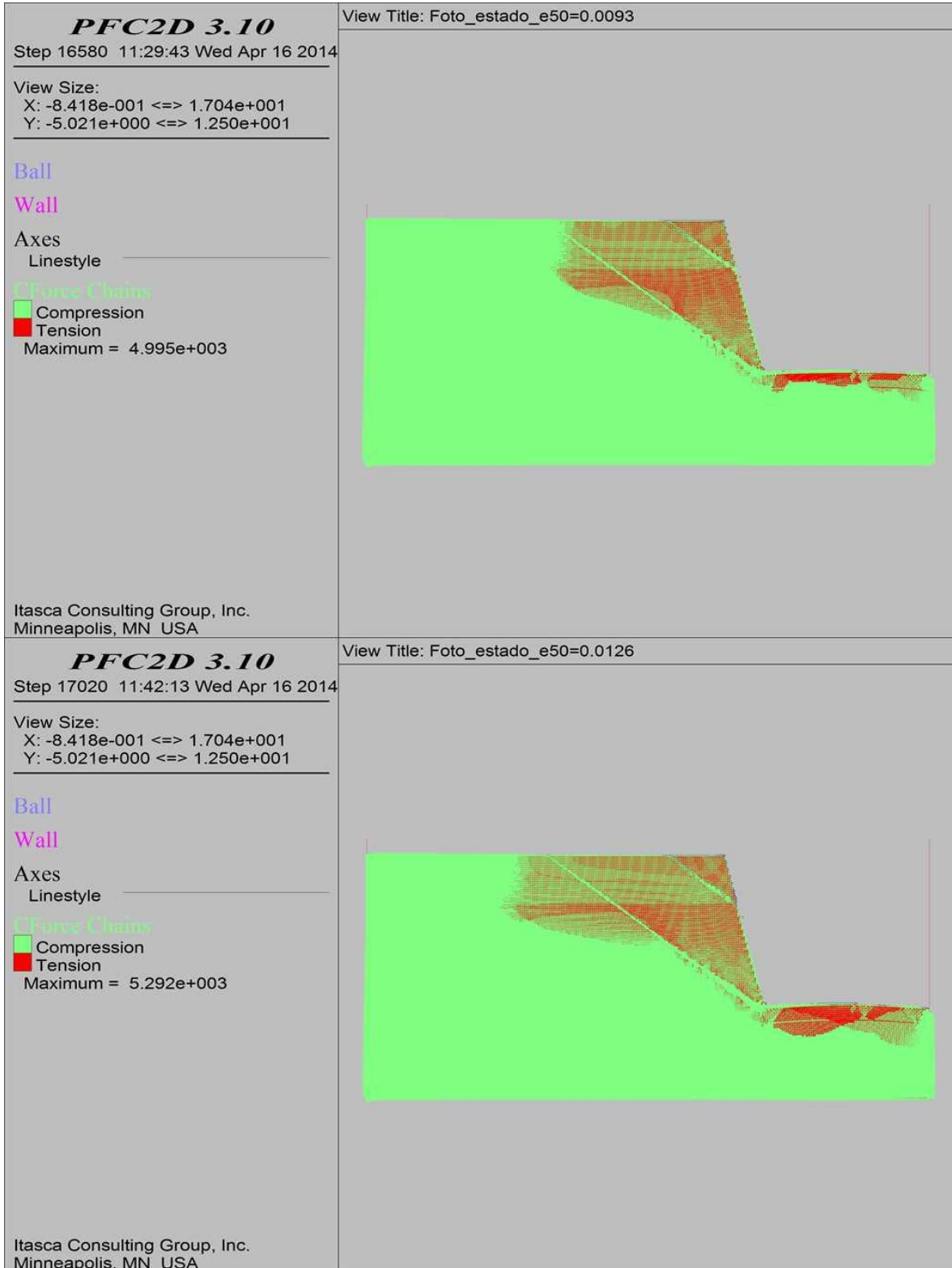
COMBINACIÓN 20: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS MEDIANAMENTE FAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



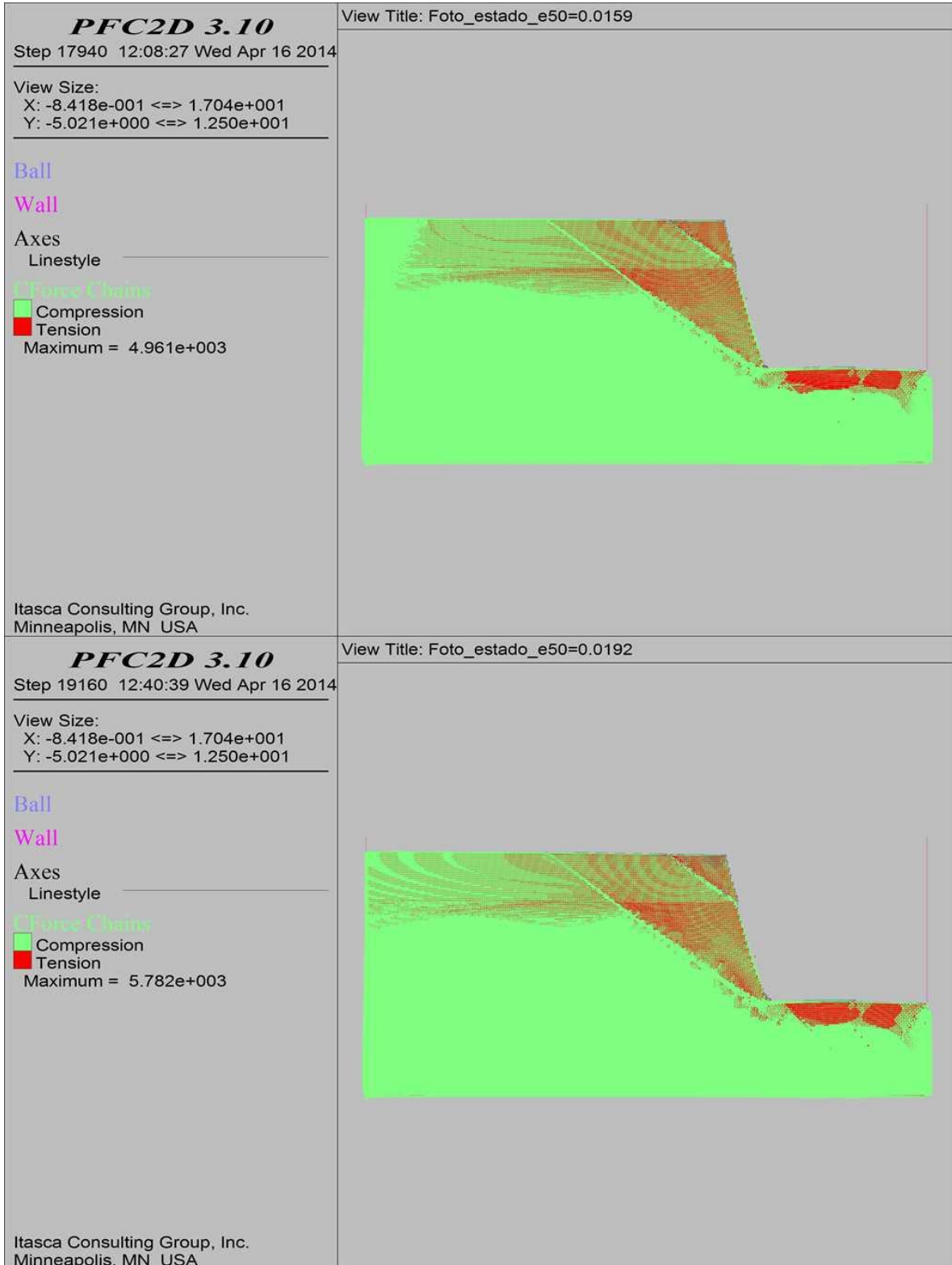
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



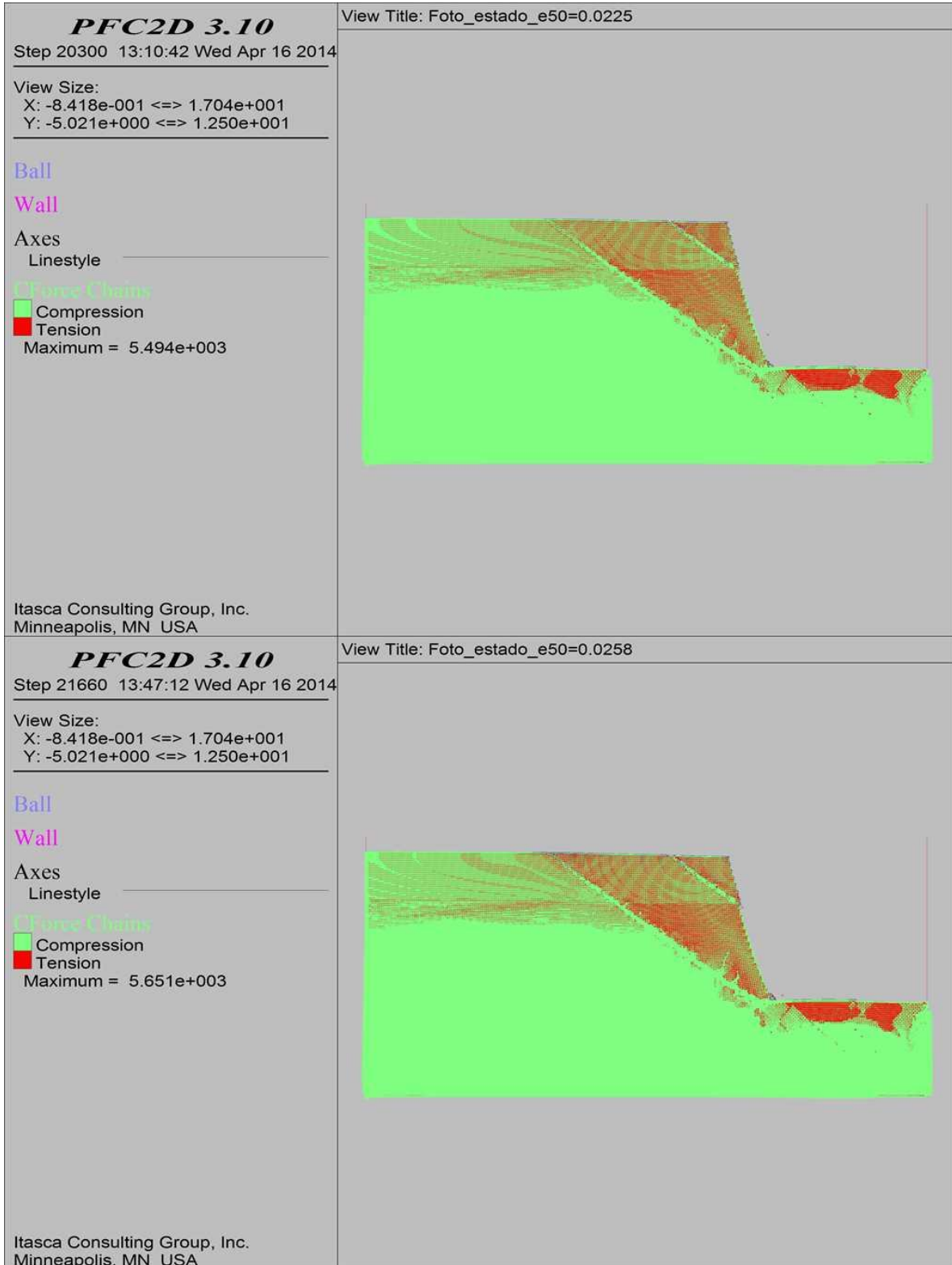
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



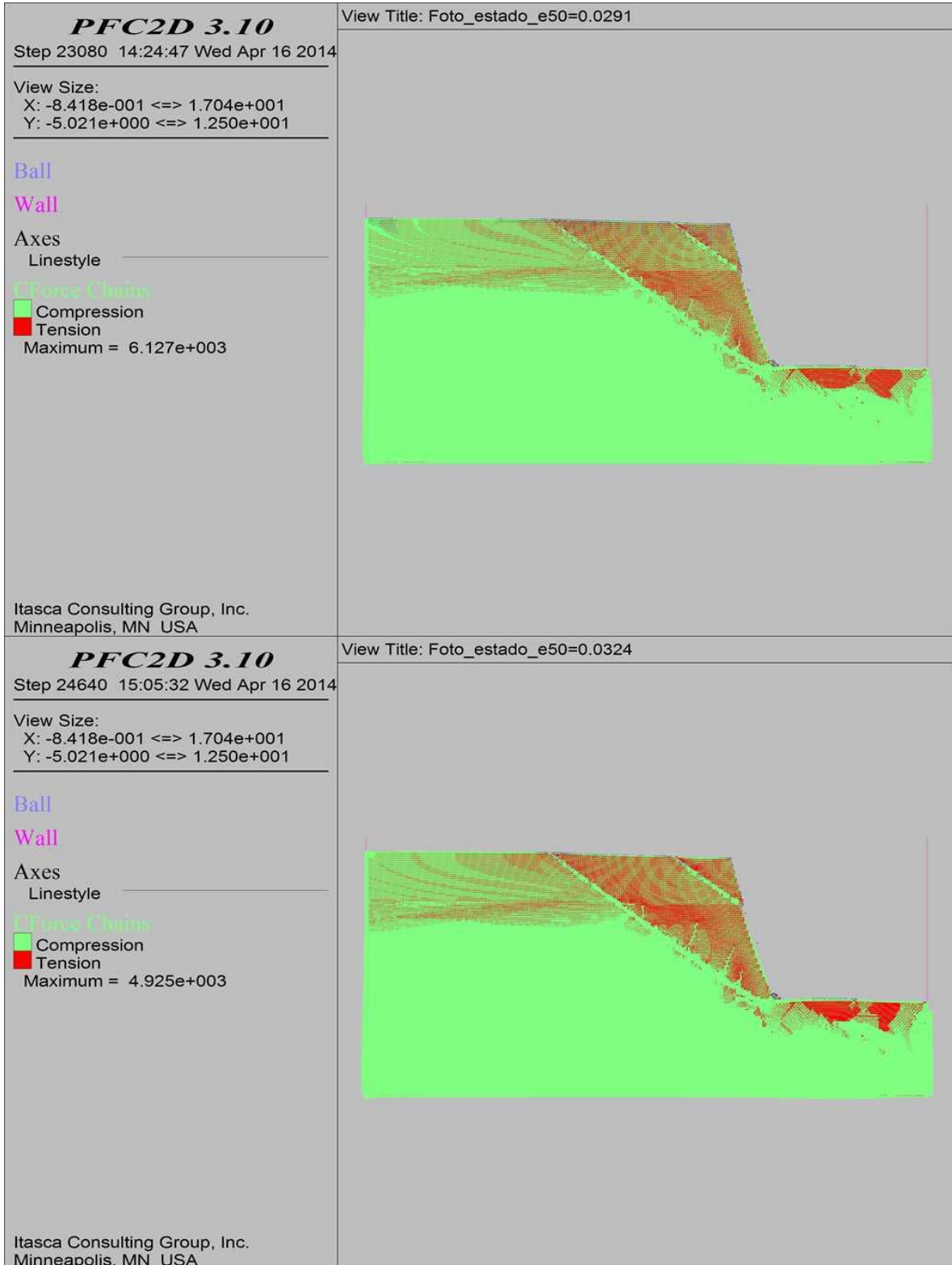
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



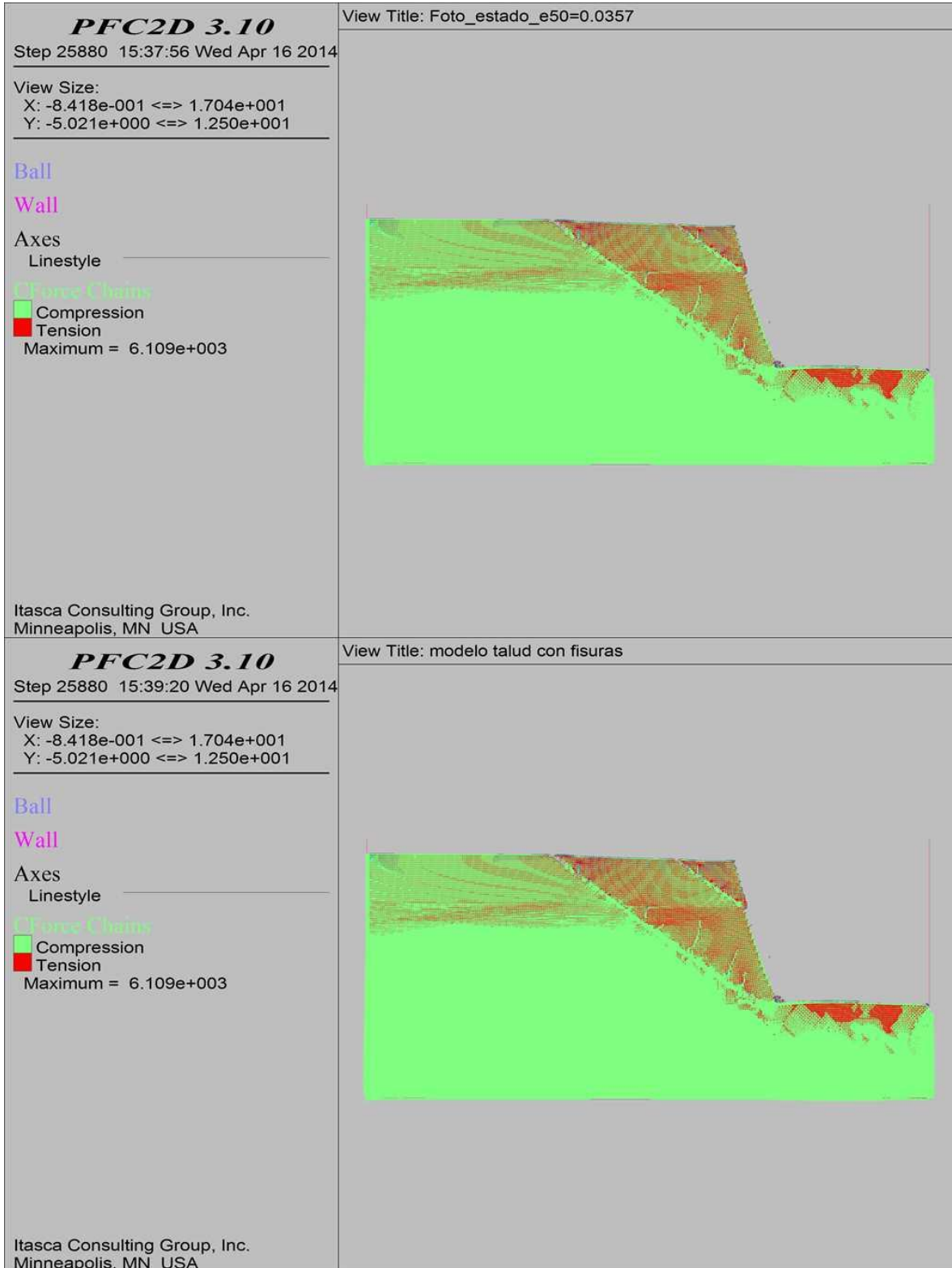
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



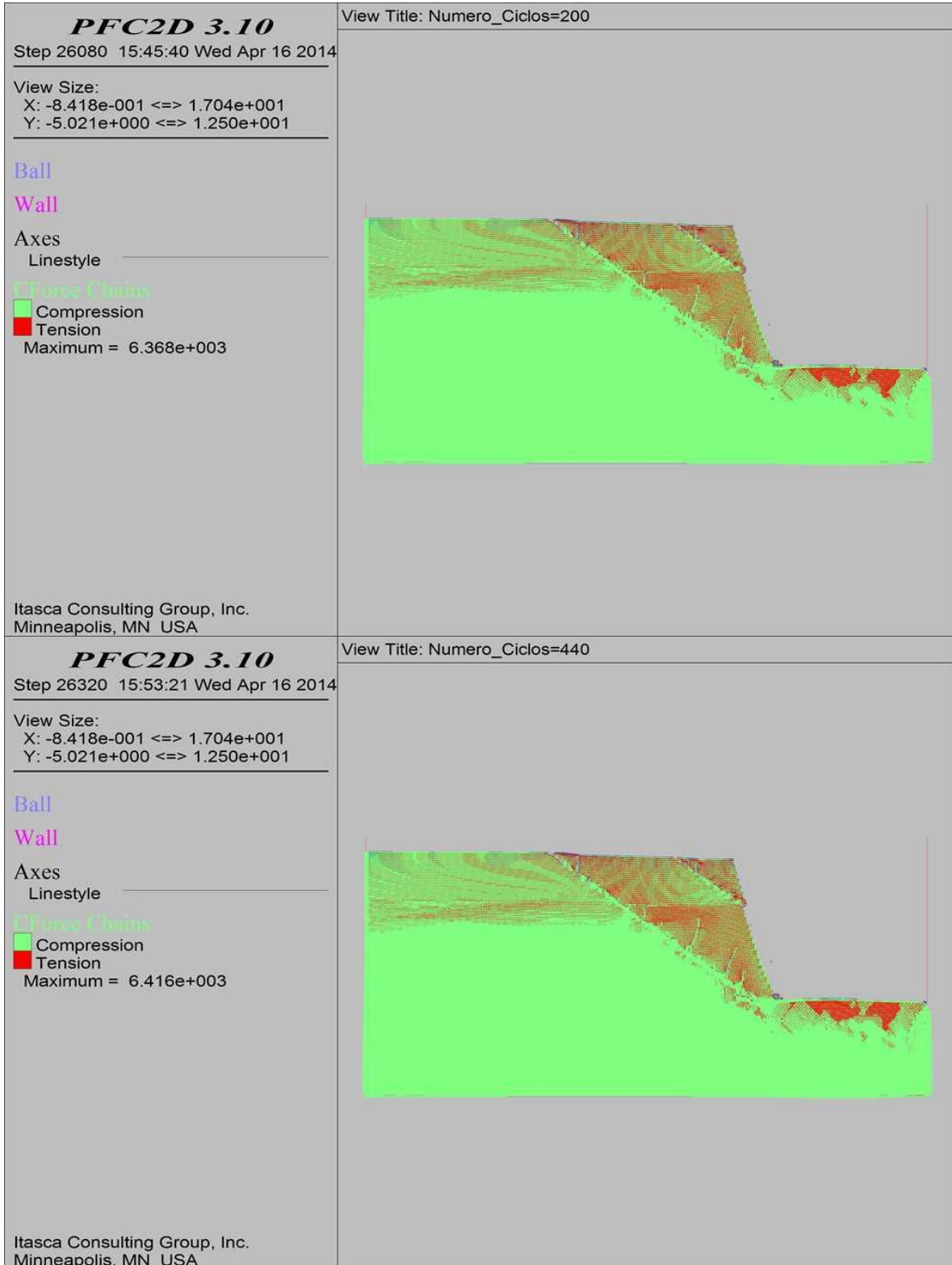
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



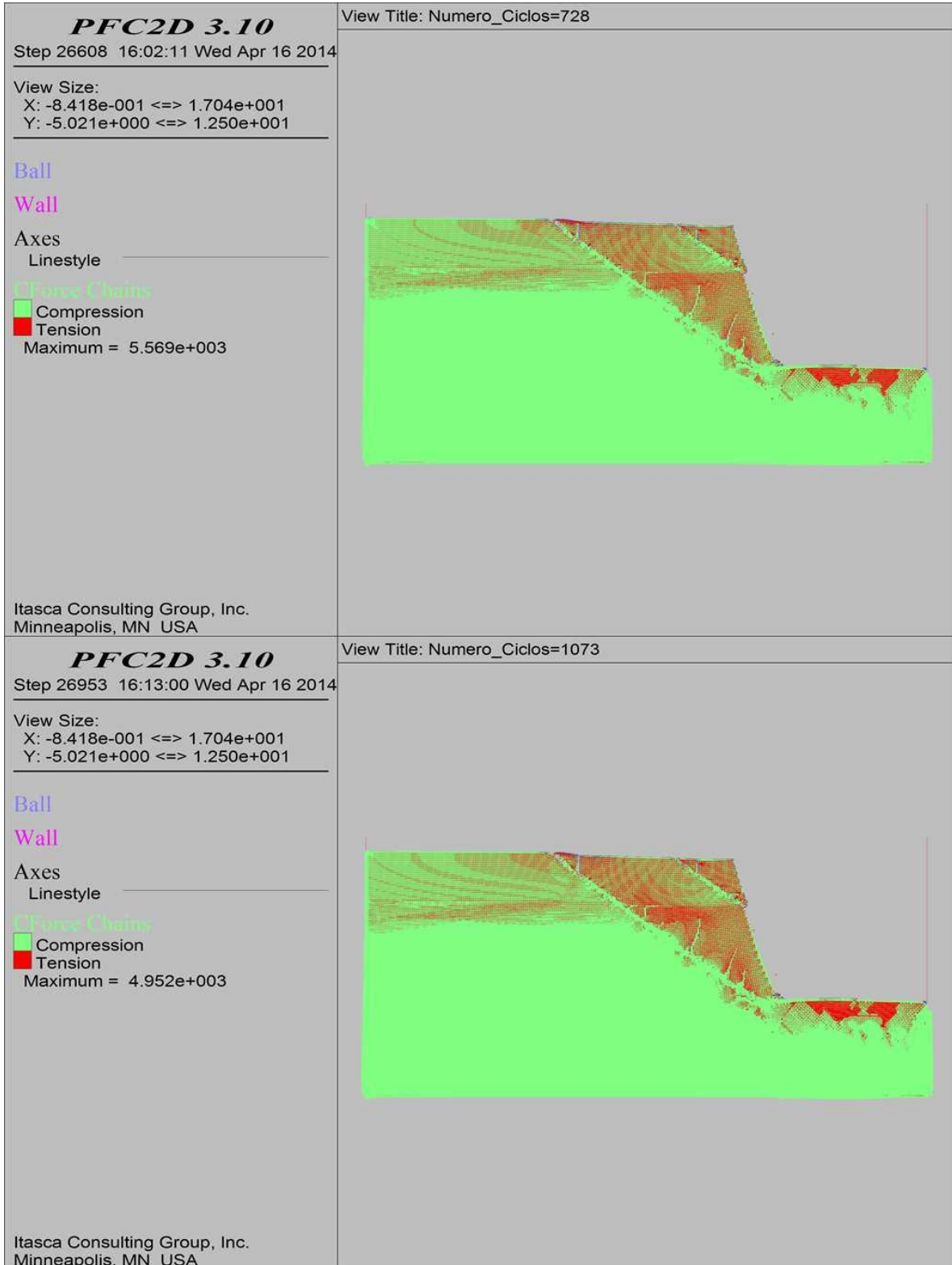
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



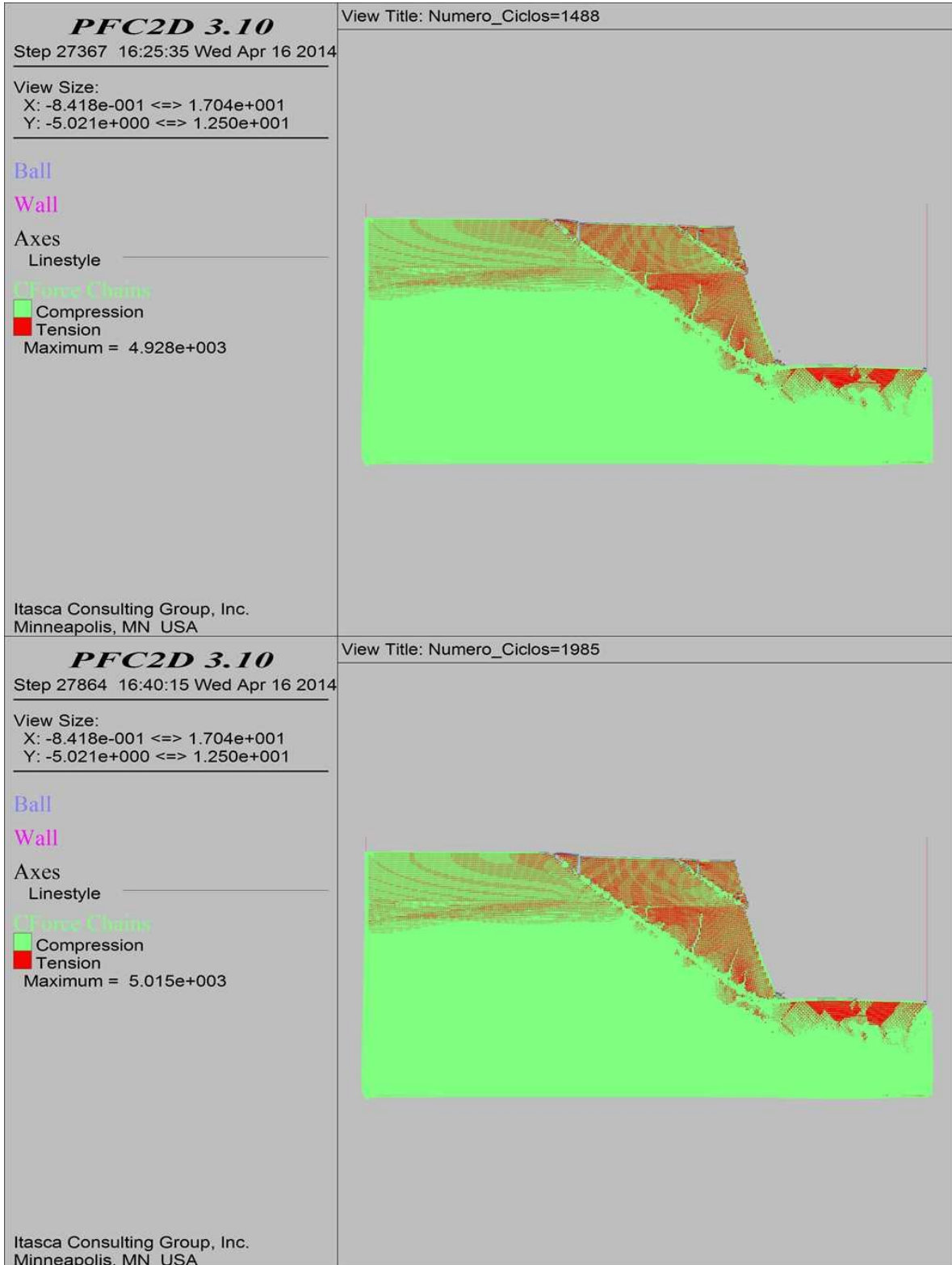
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



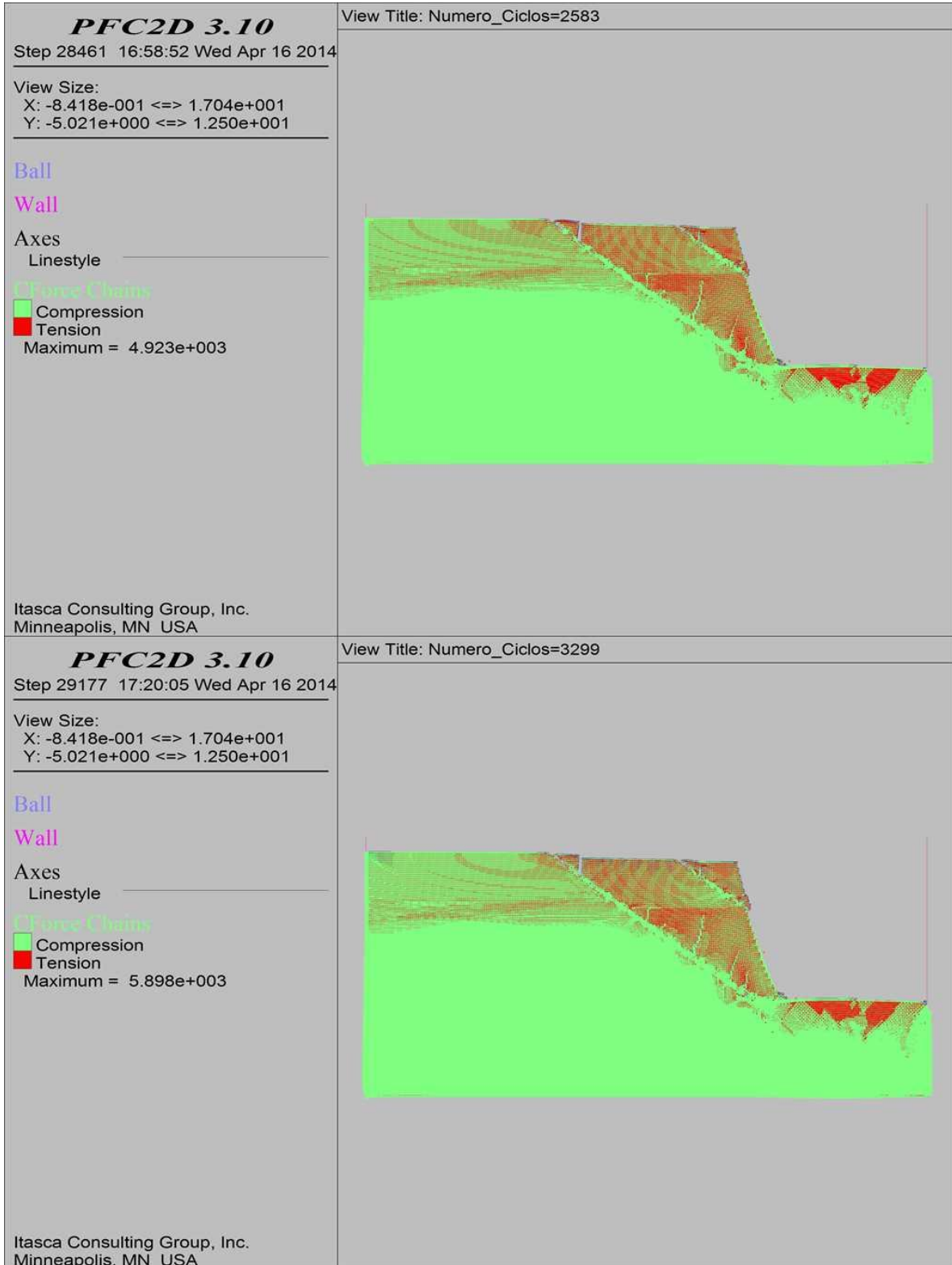
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



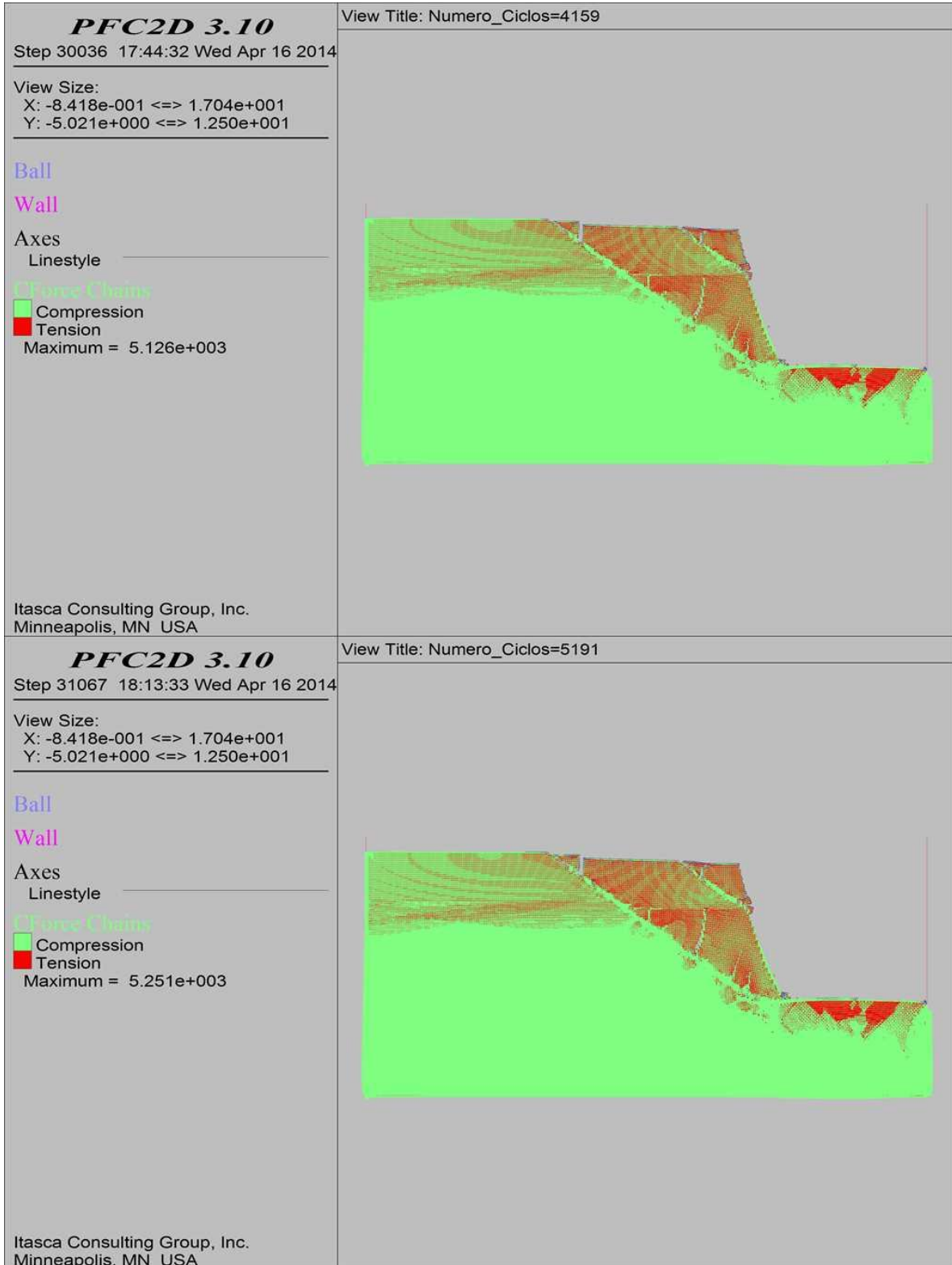
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



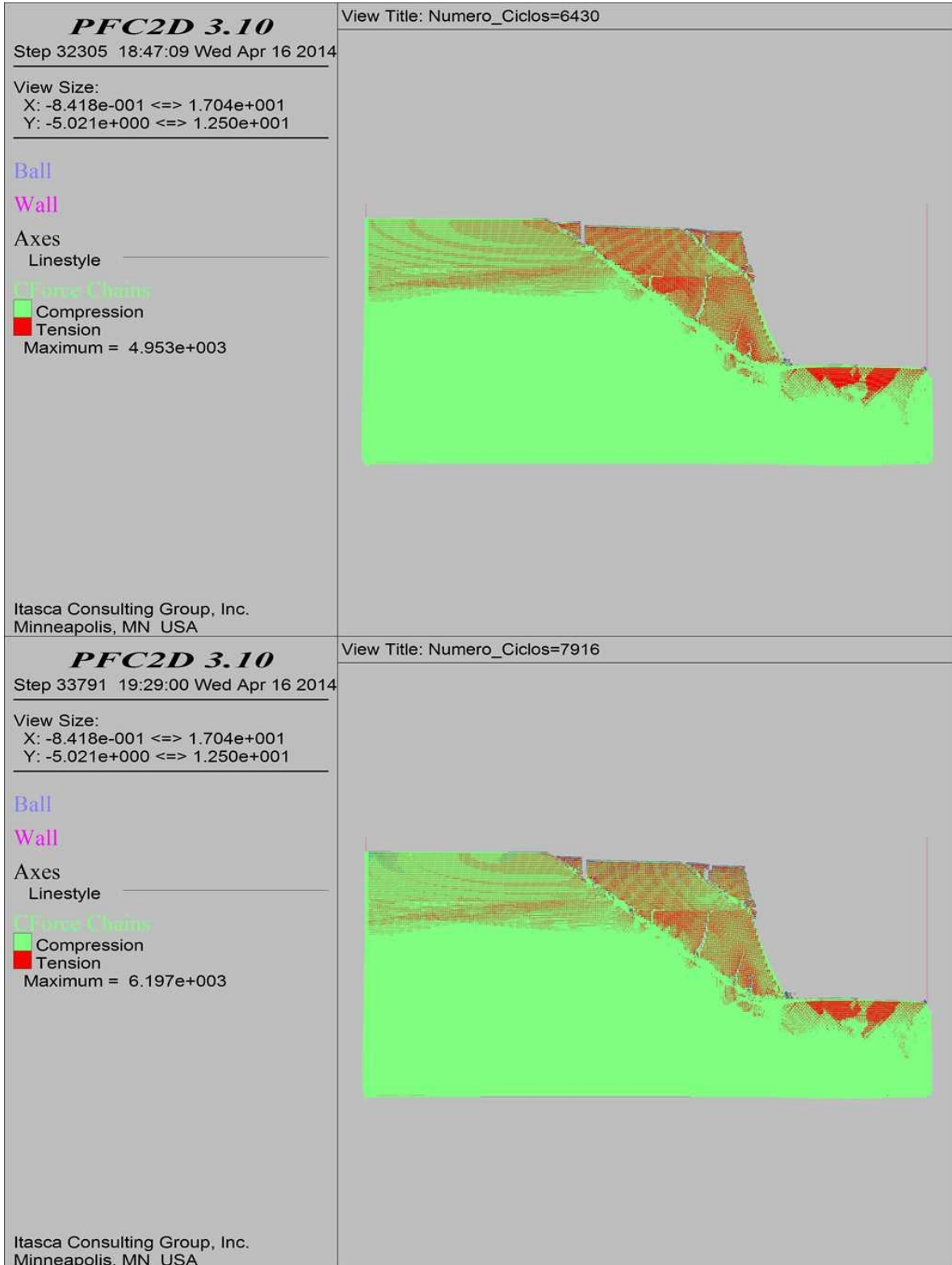
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



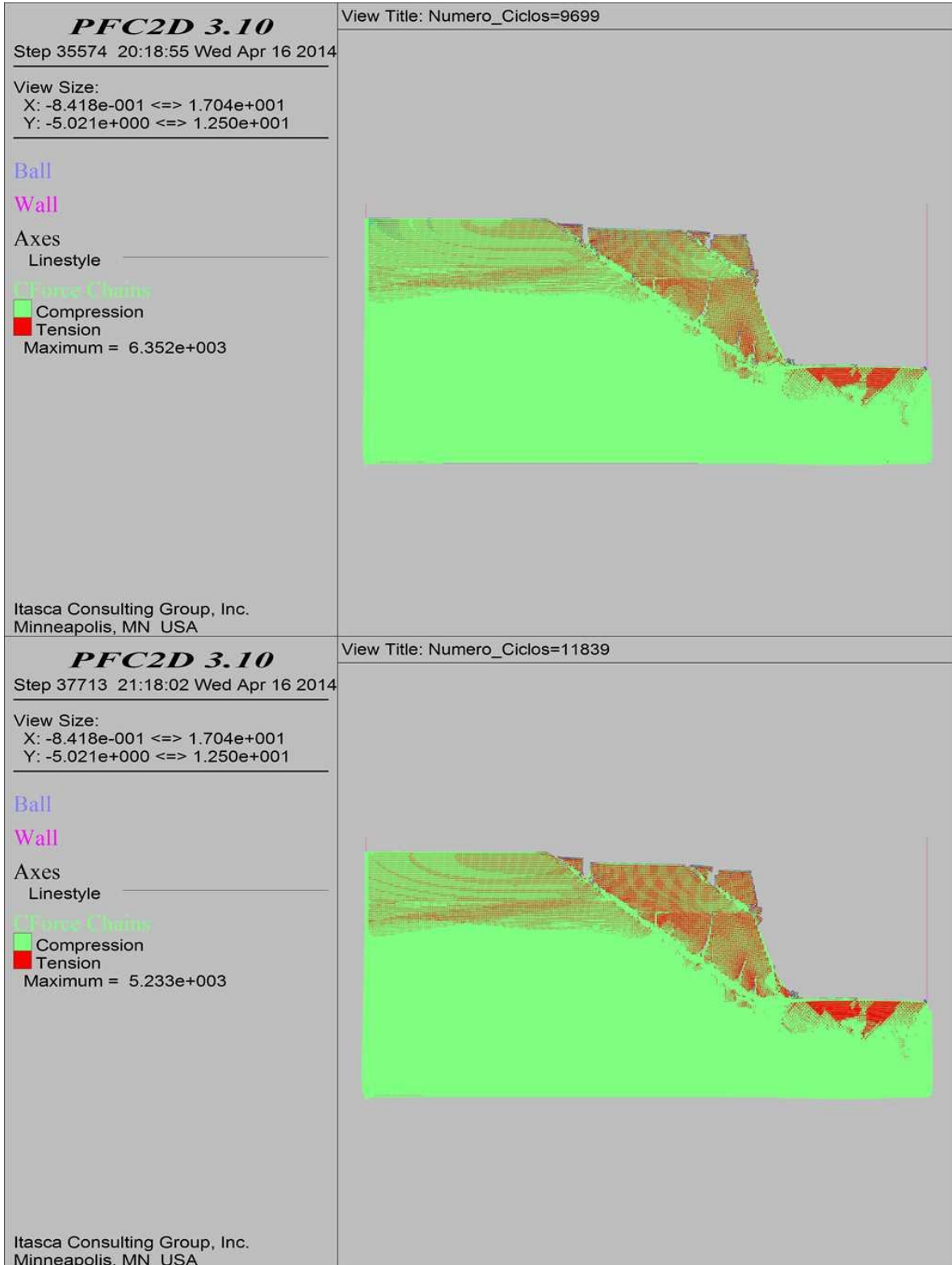
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



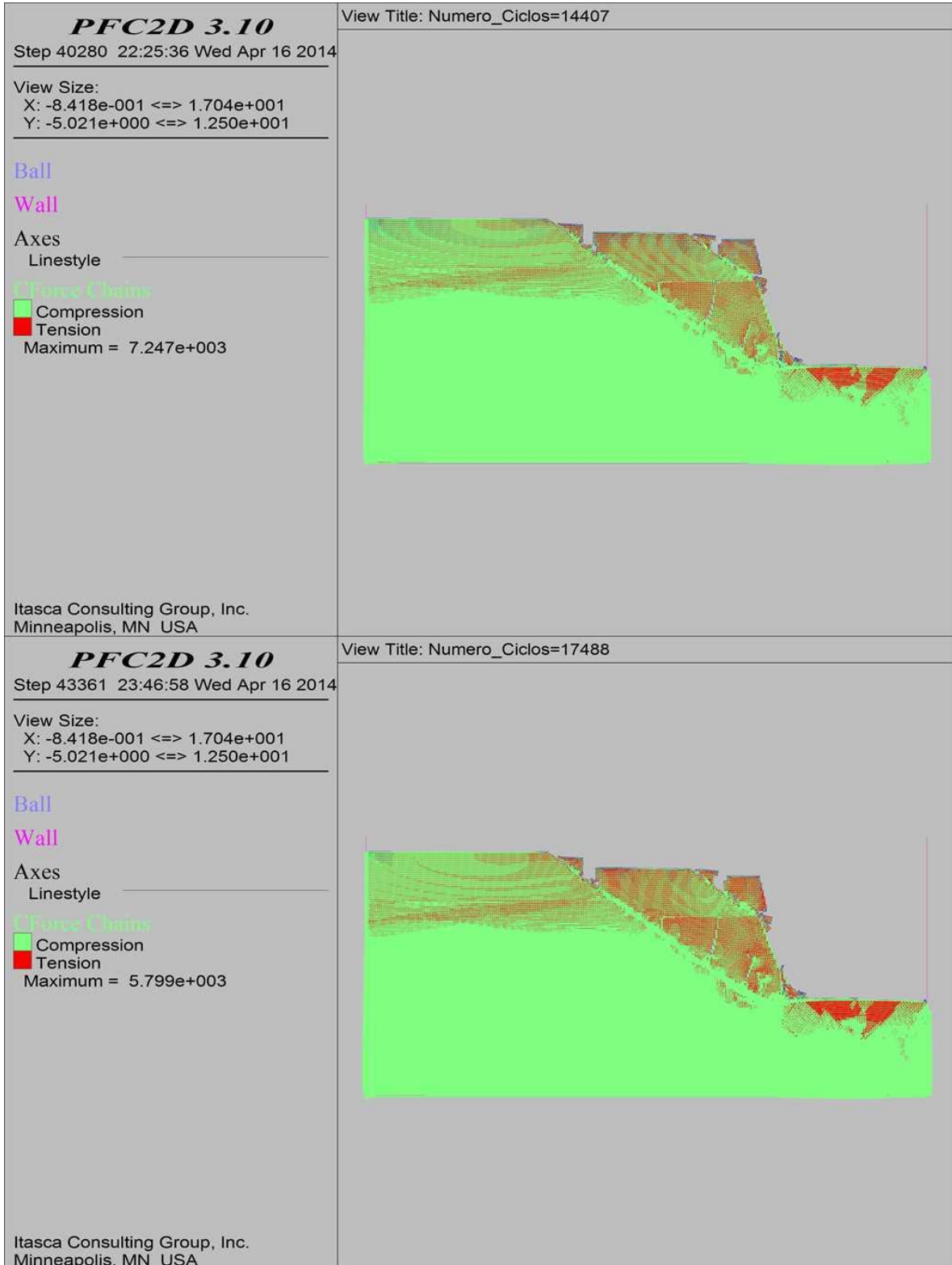
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



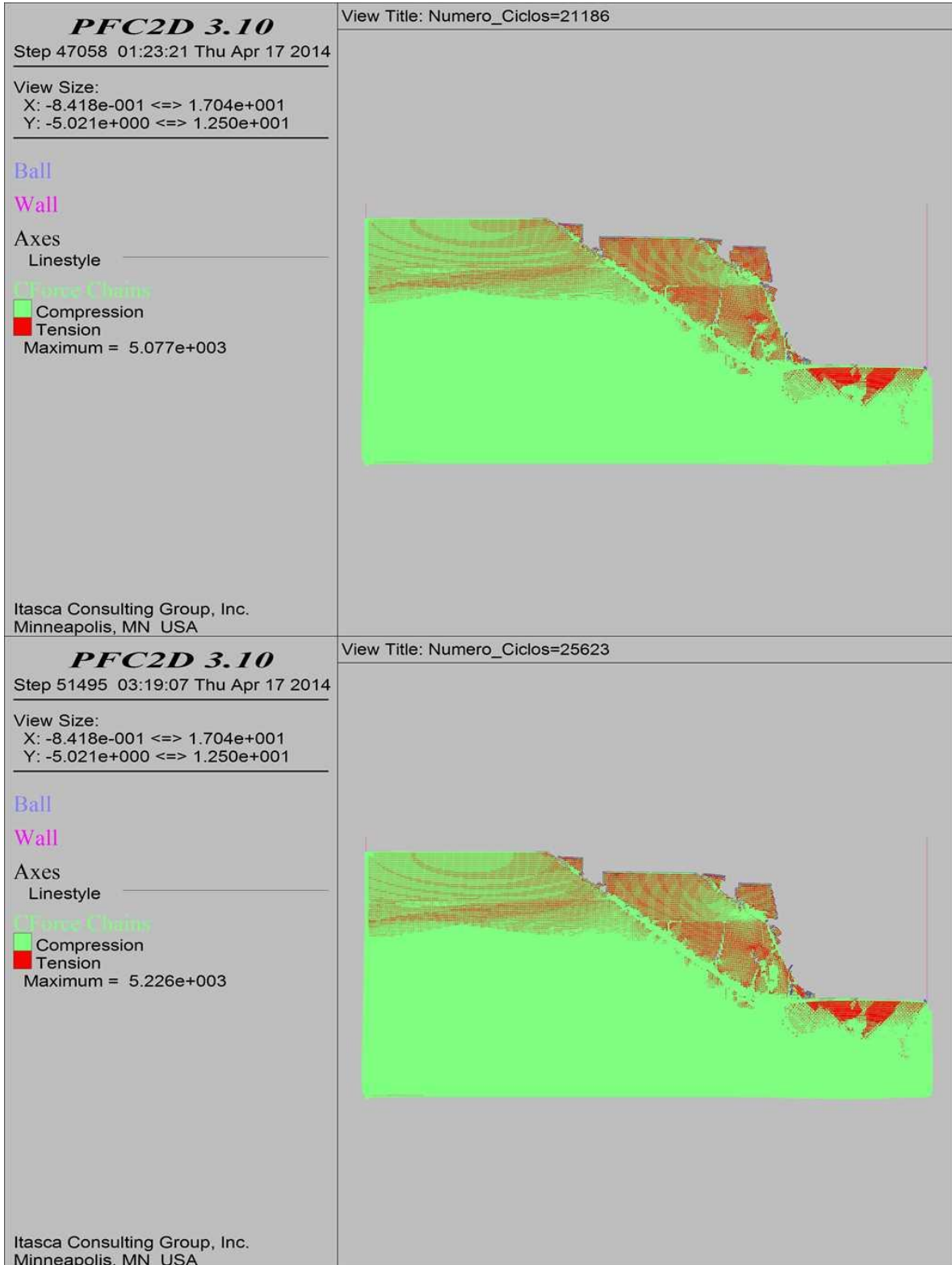
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



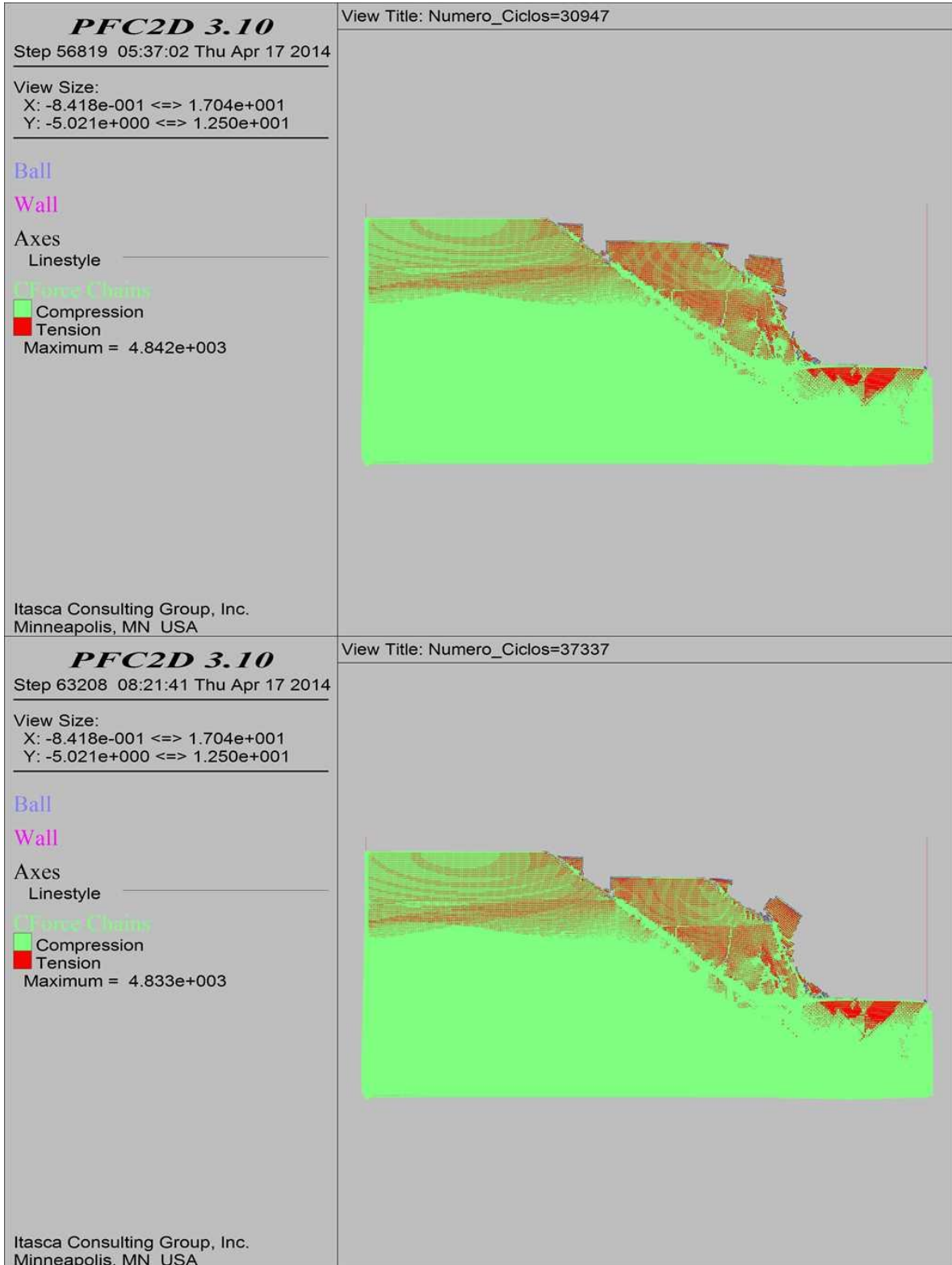
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



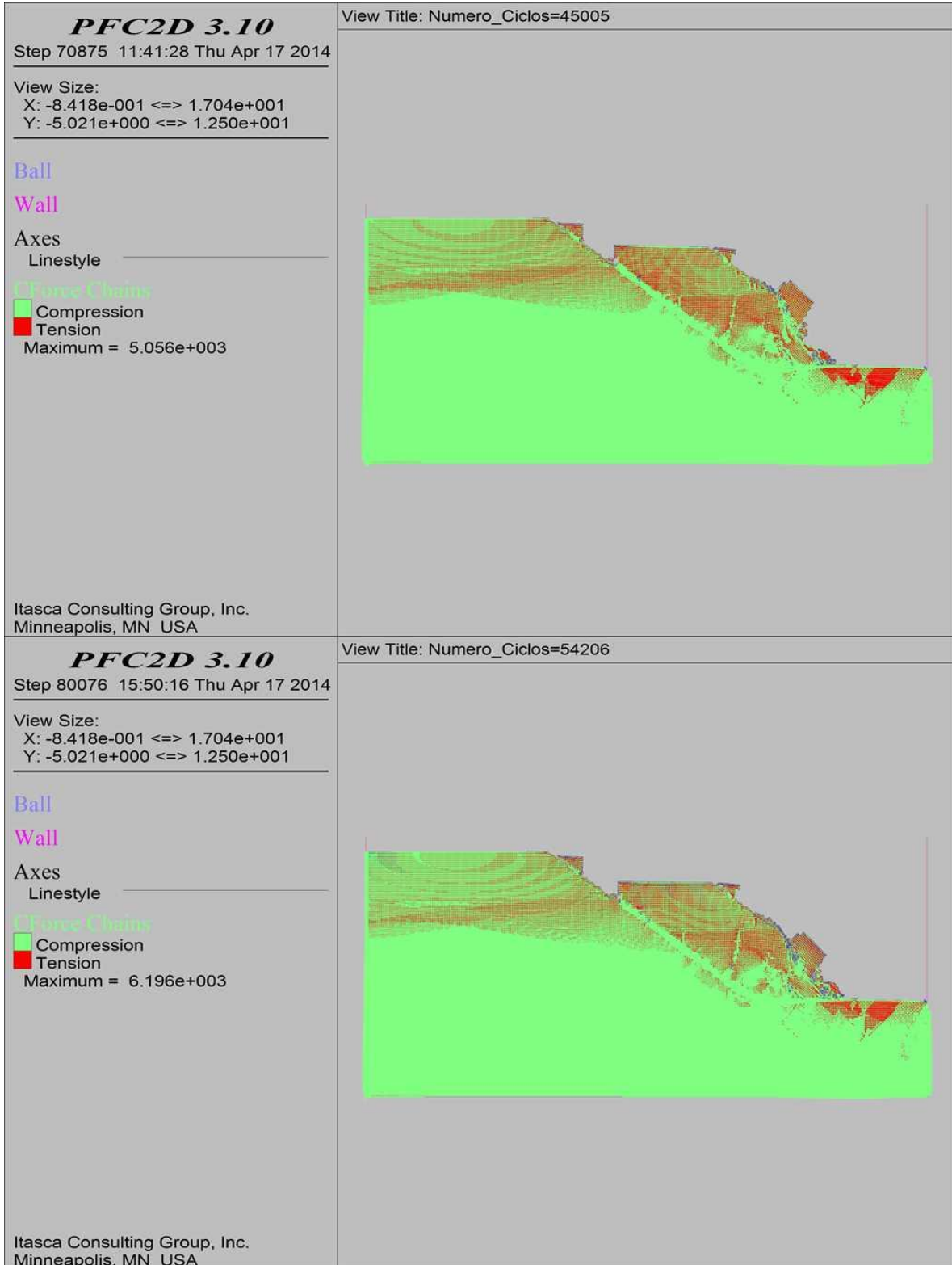
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



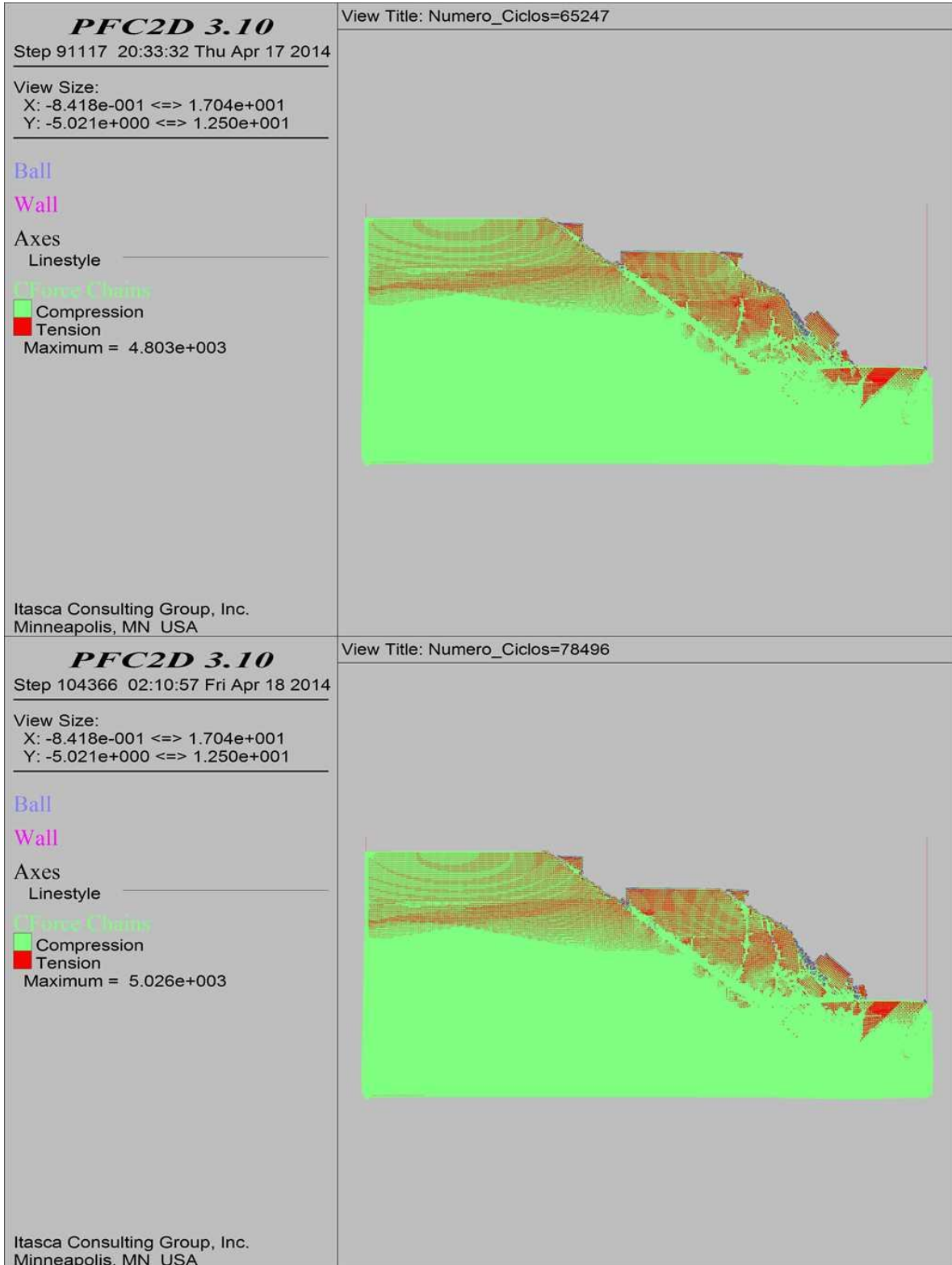
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



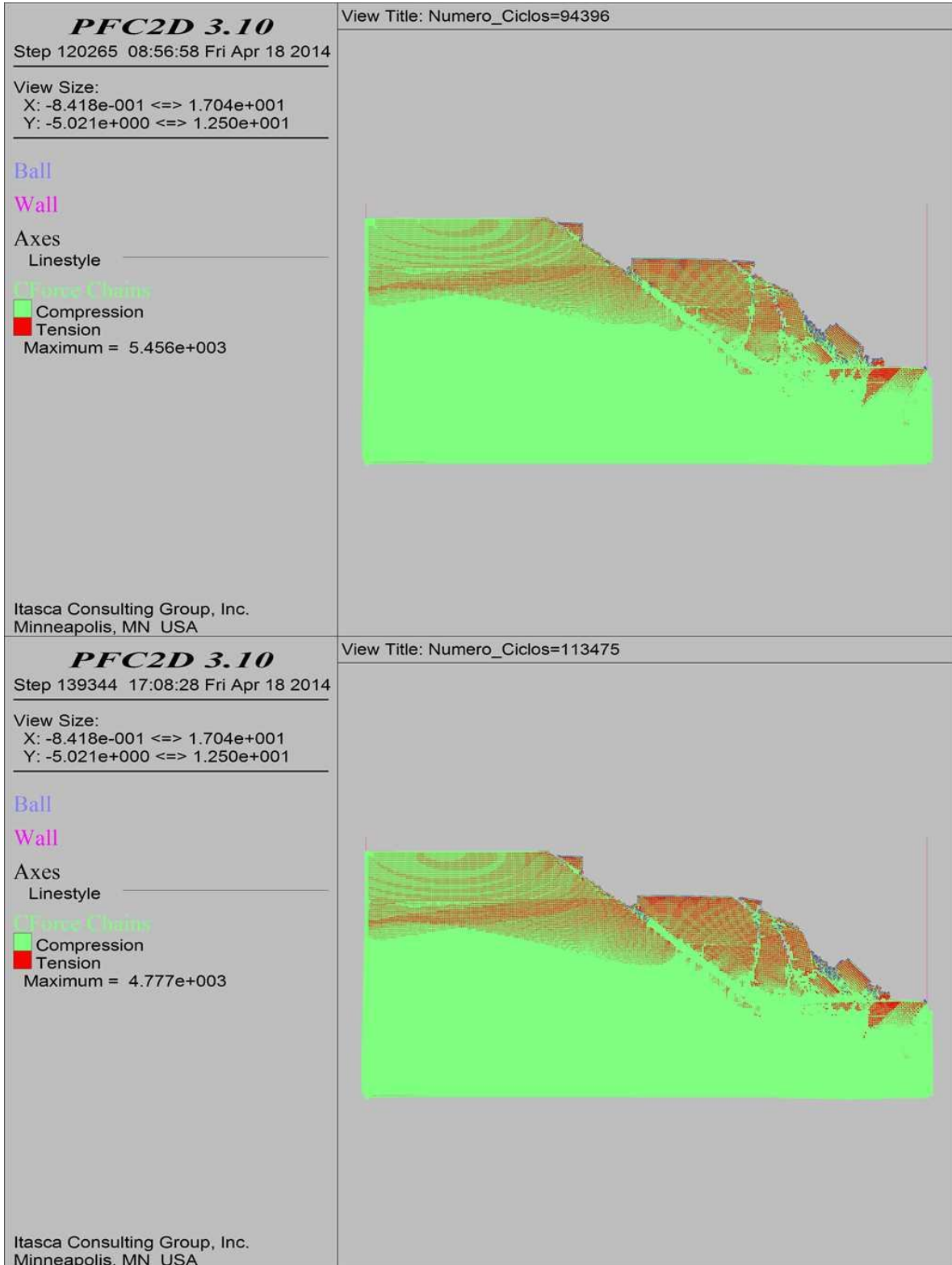
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



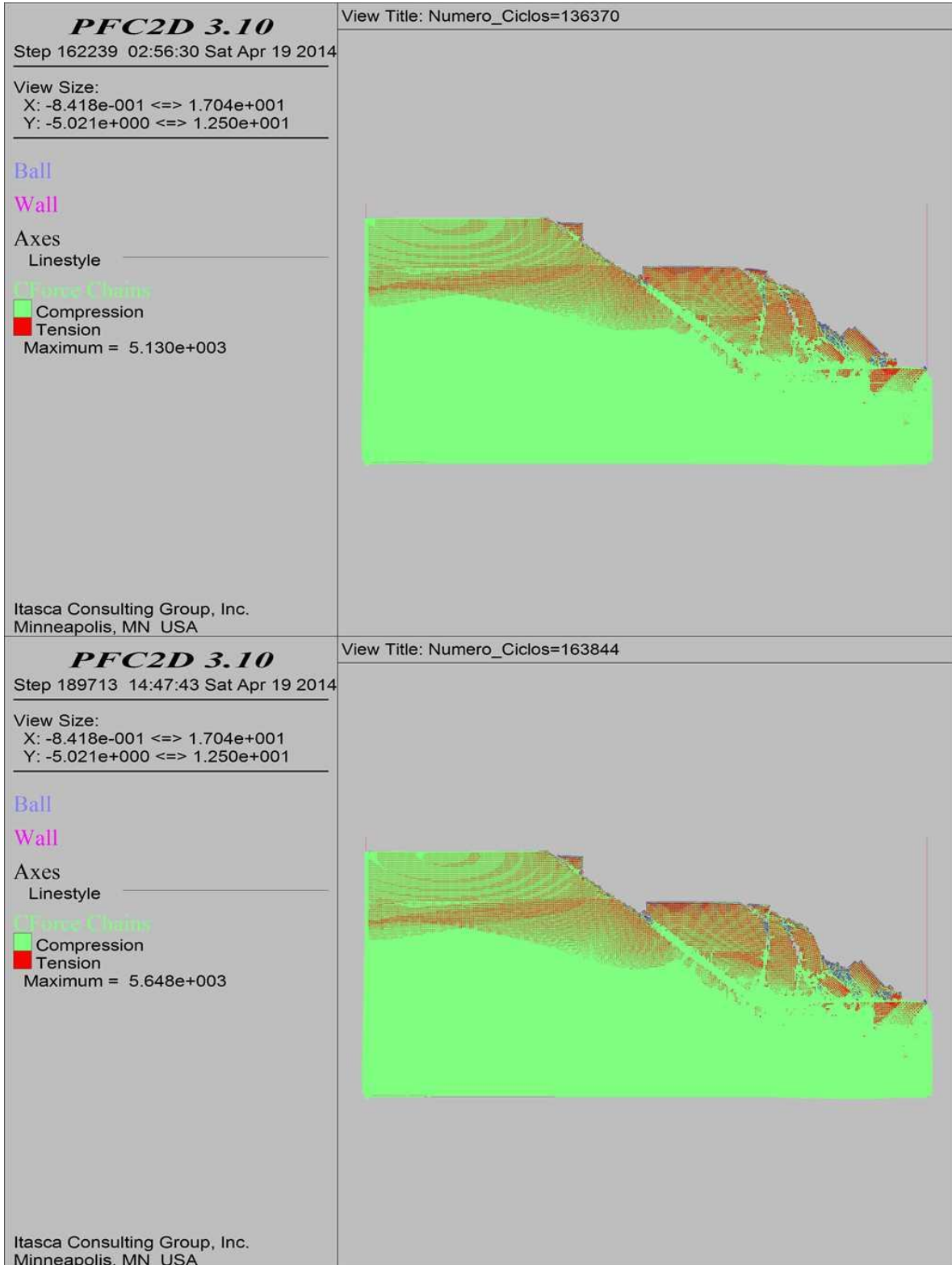
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



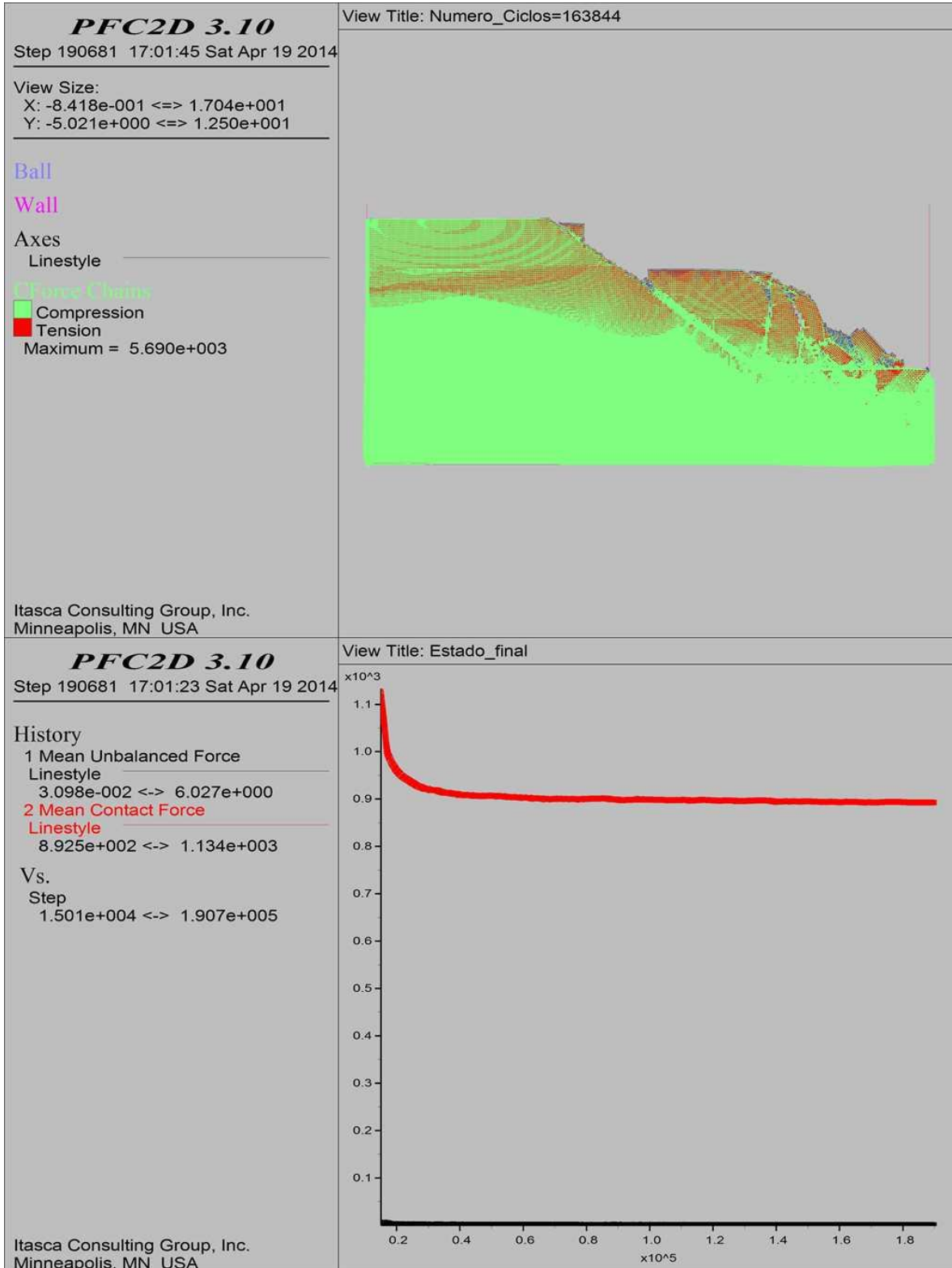
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



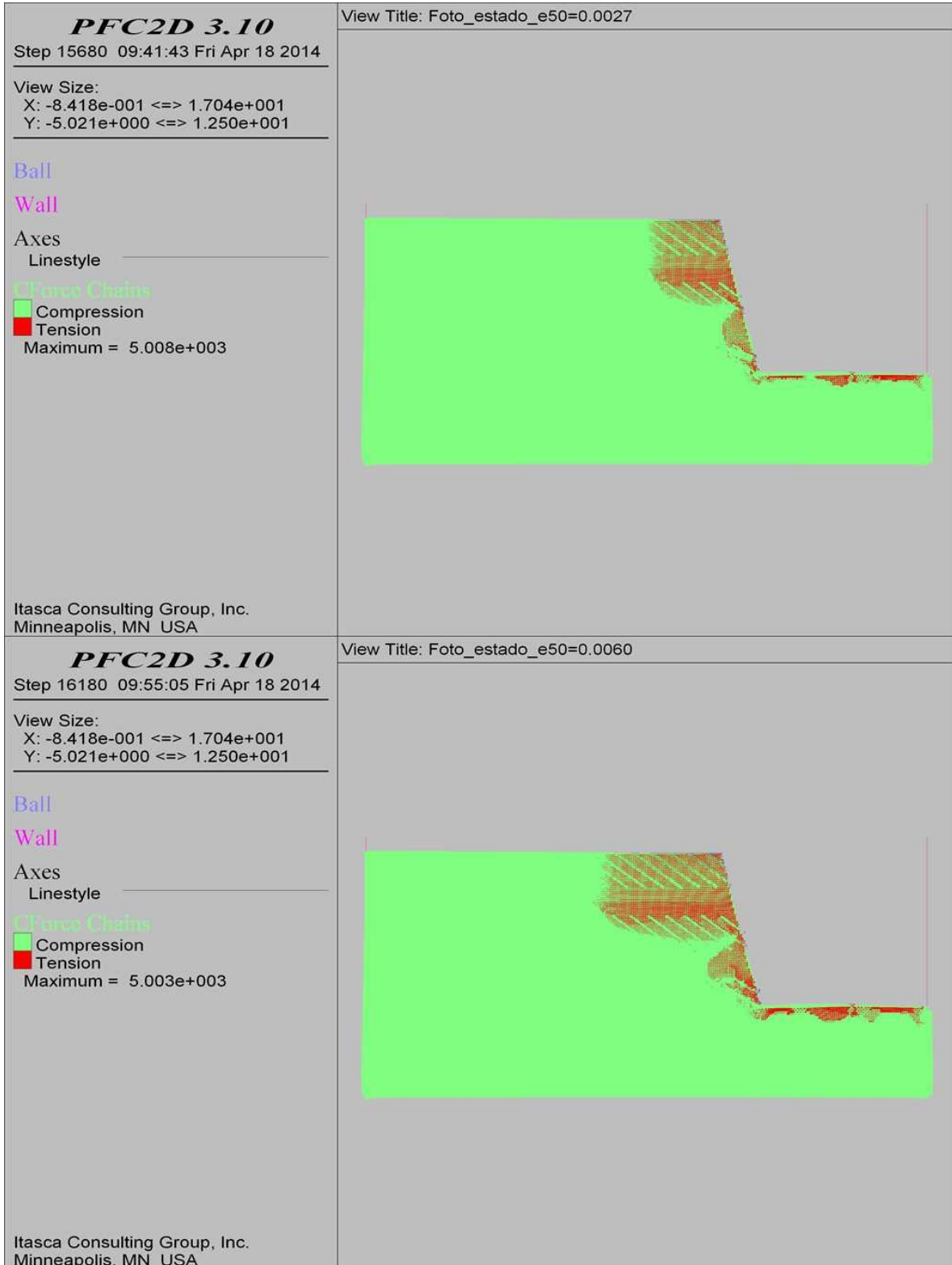
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



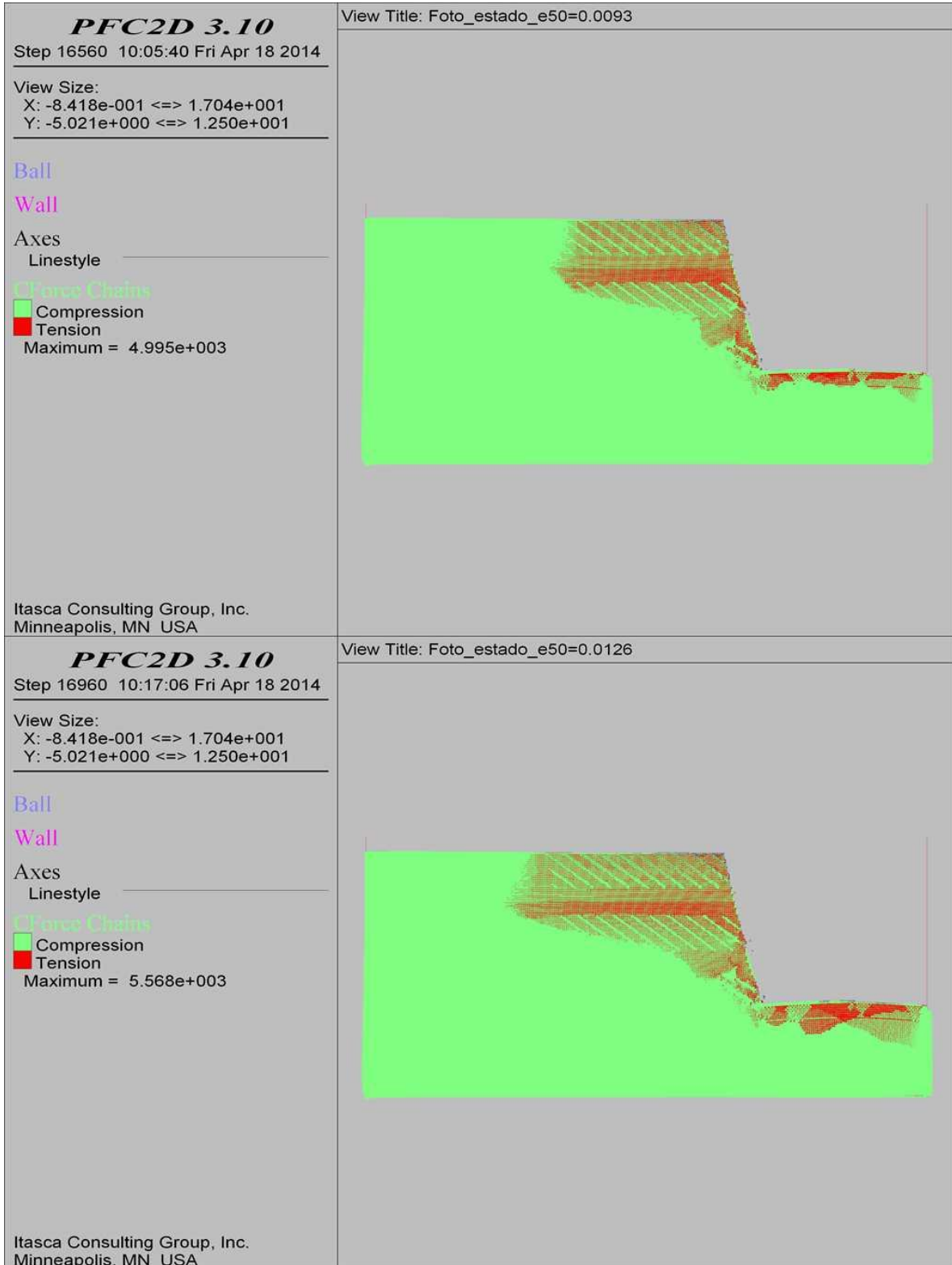
COMBINACIÓN 21: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



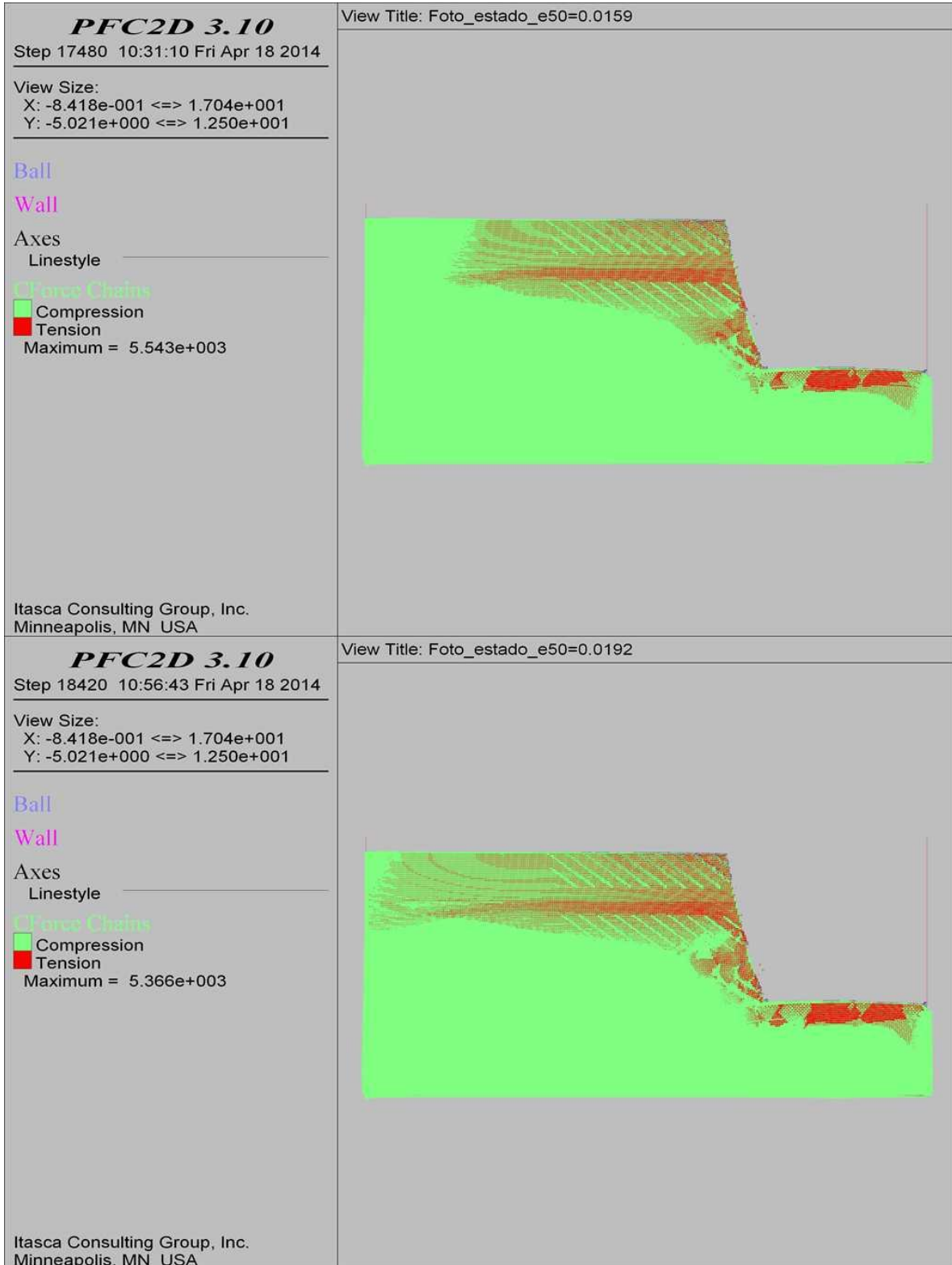
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



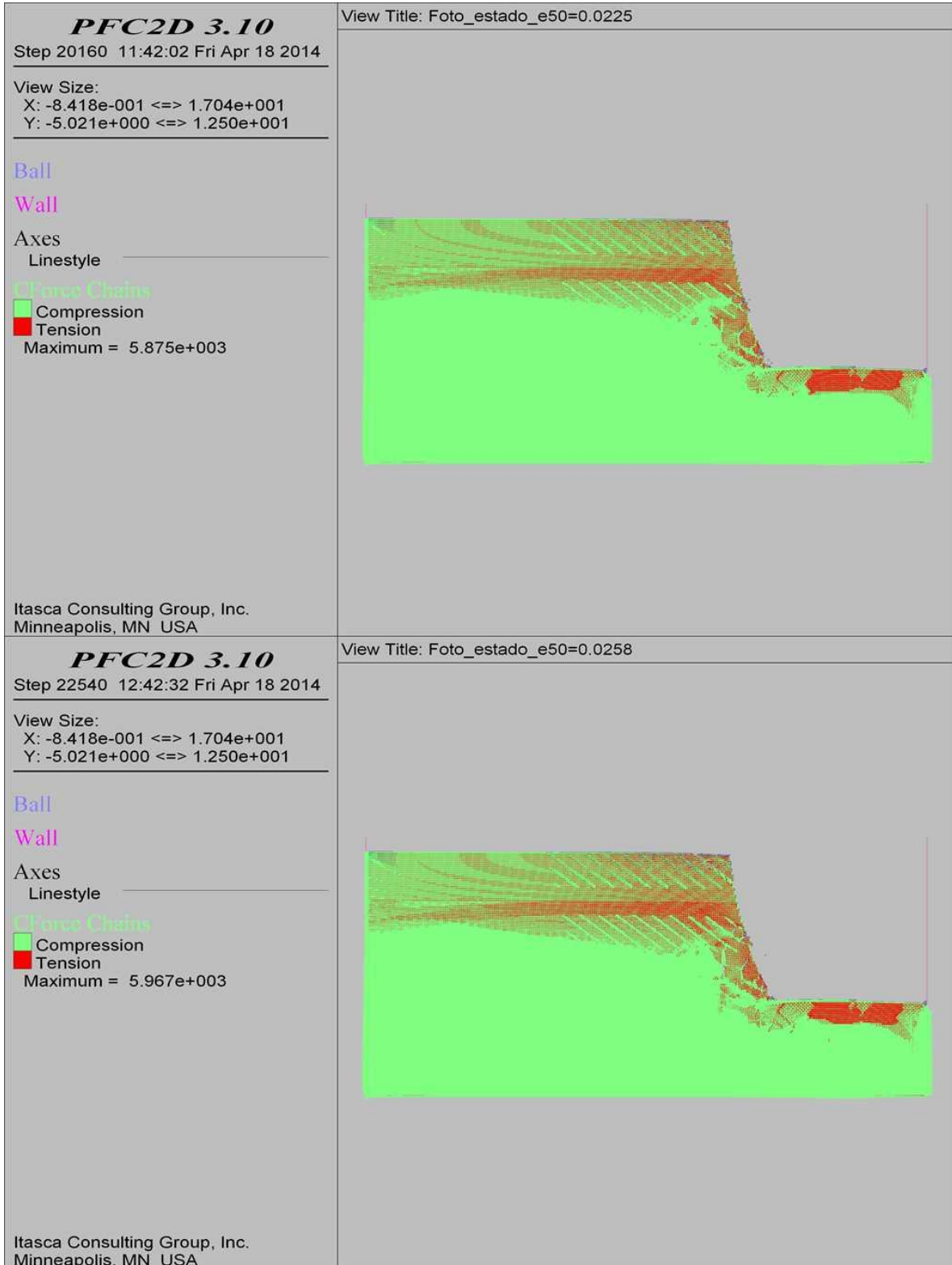
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



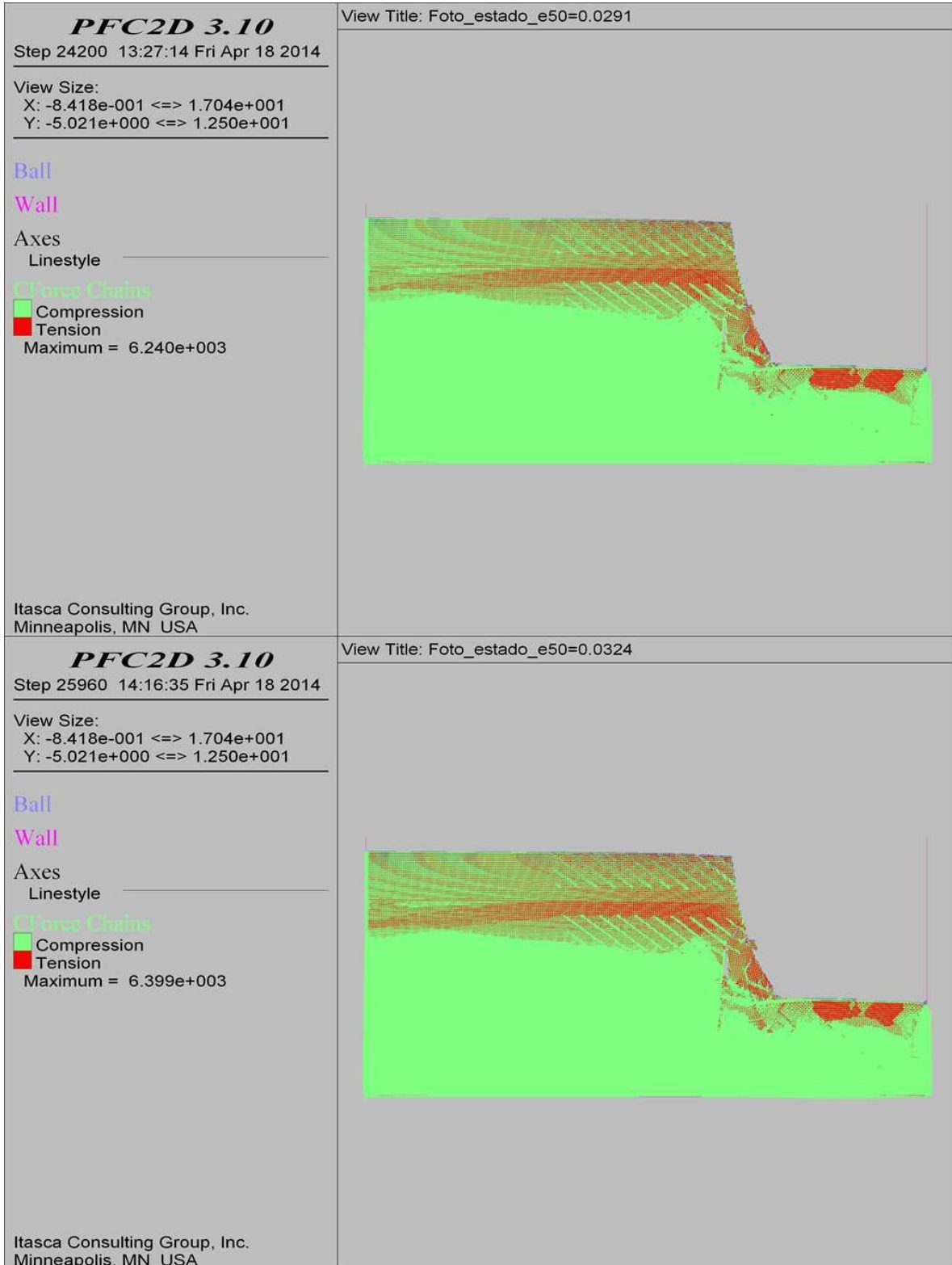
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



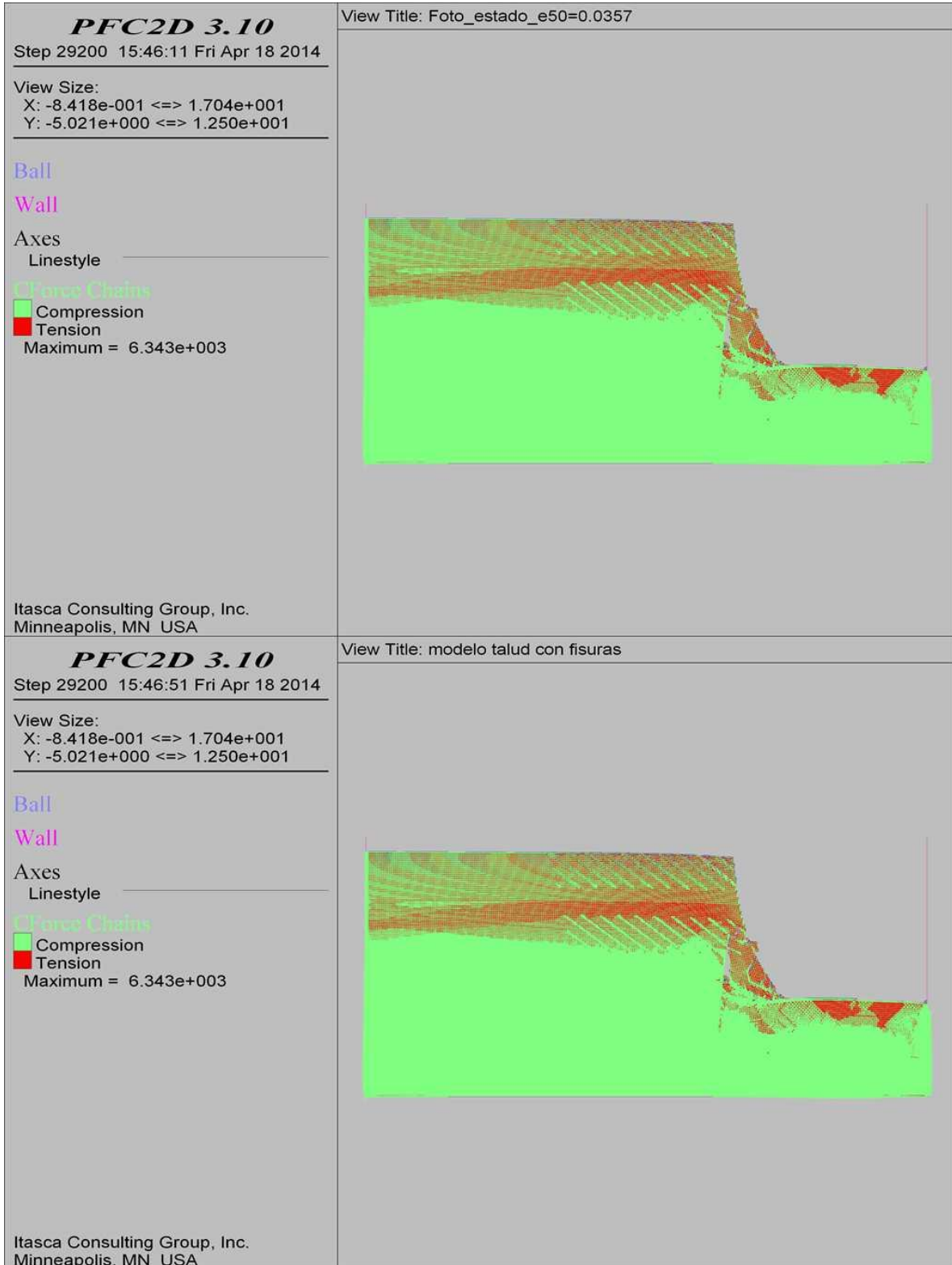
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



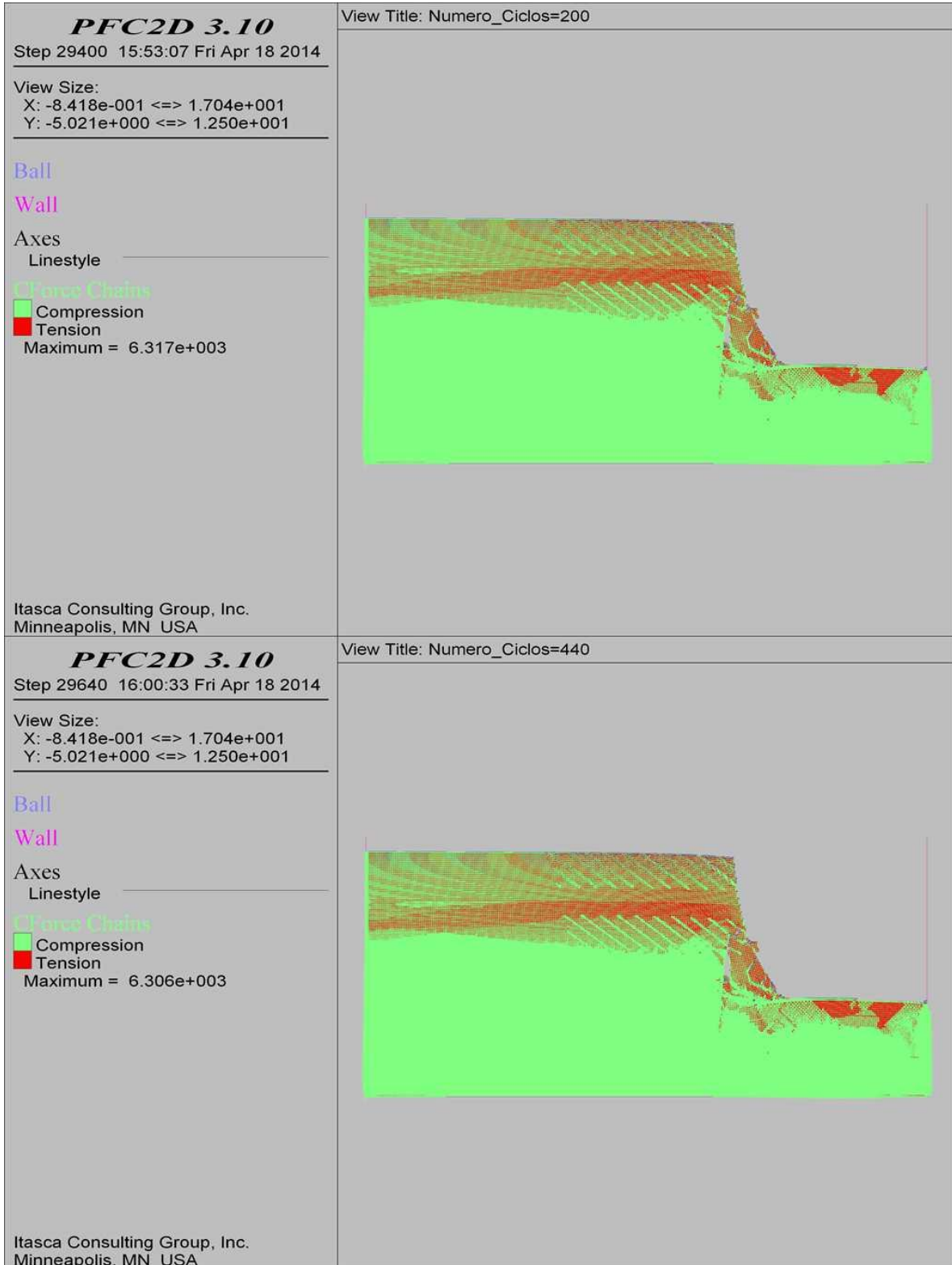
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



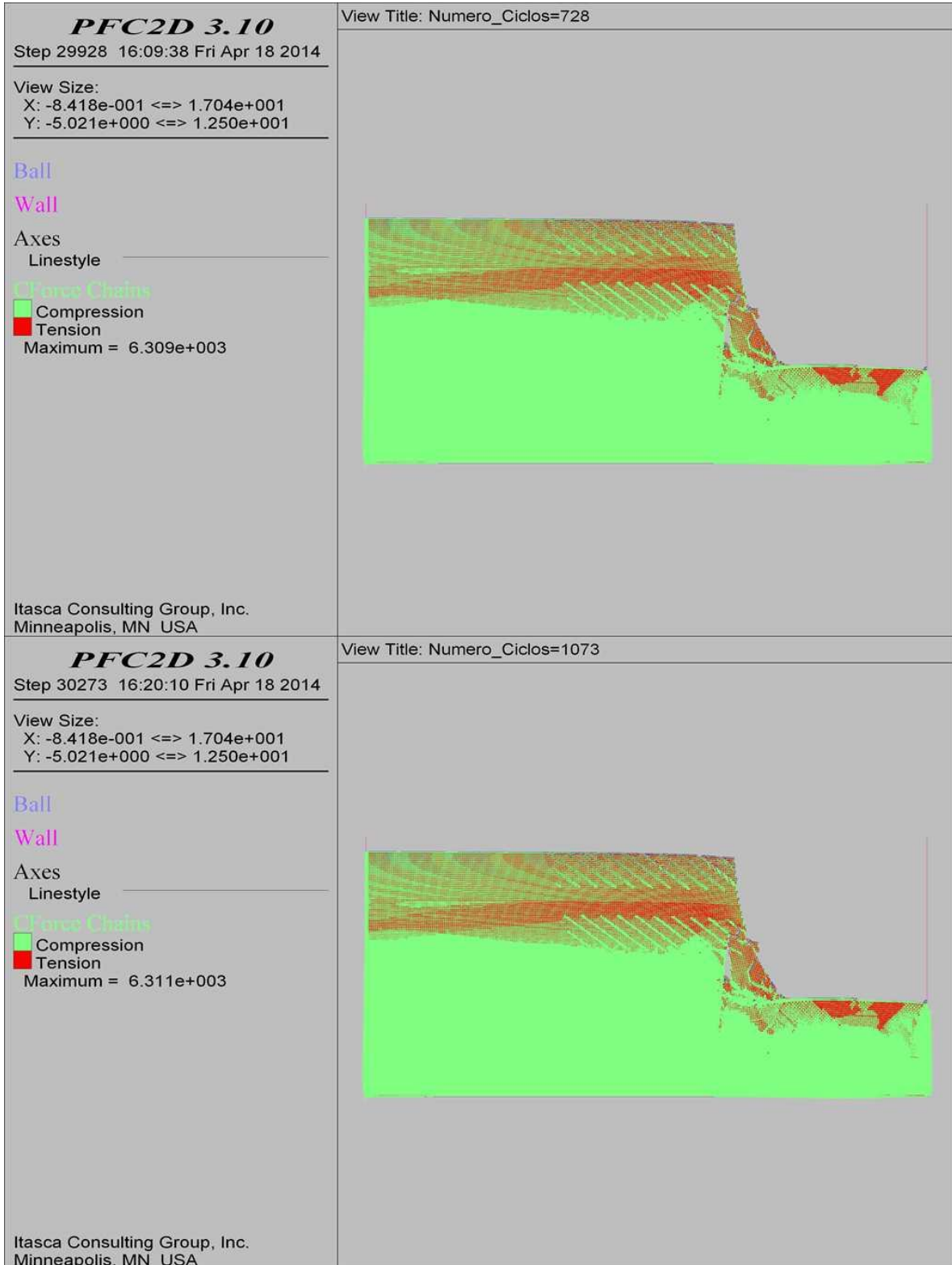
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



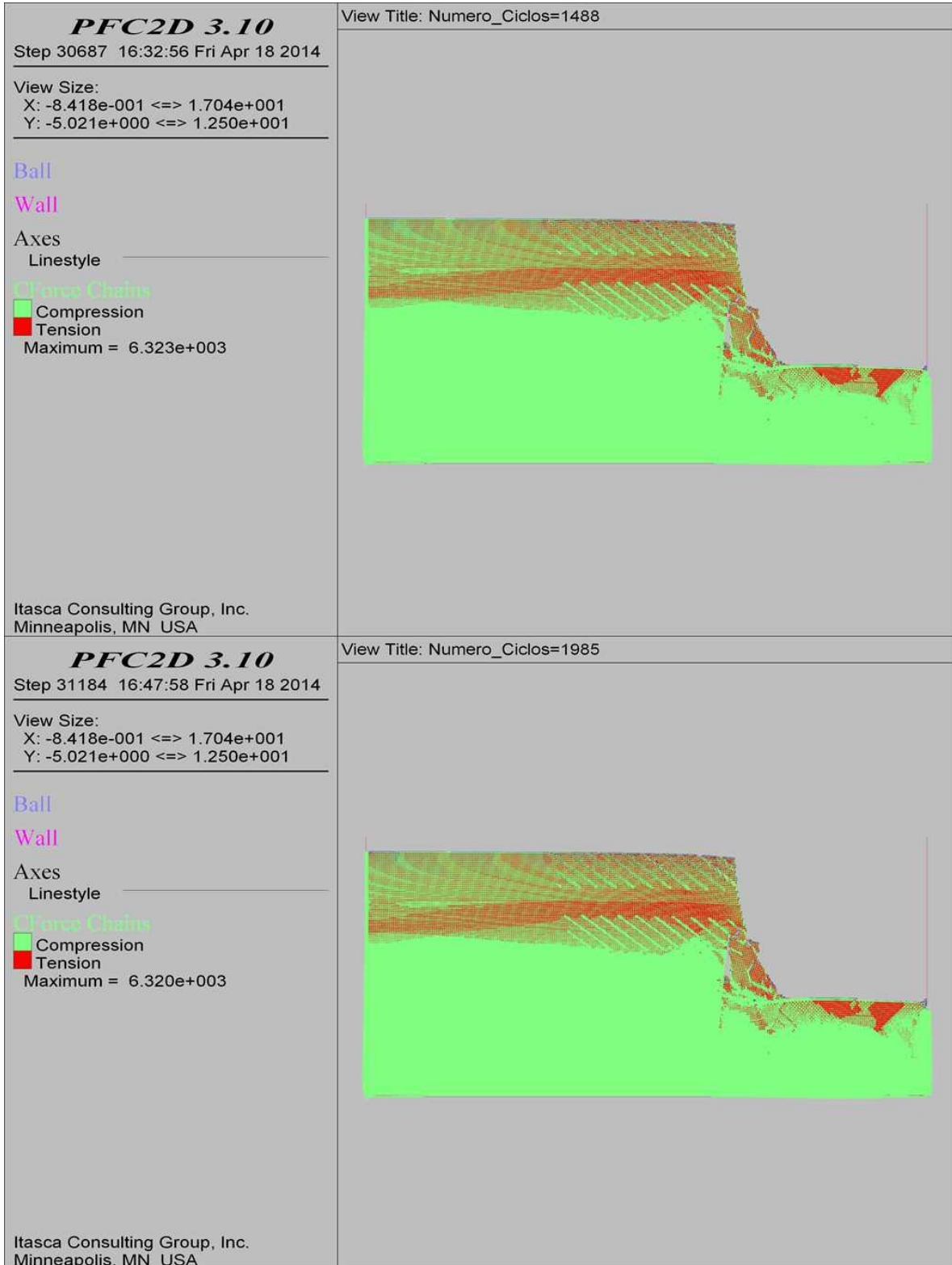
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



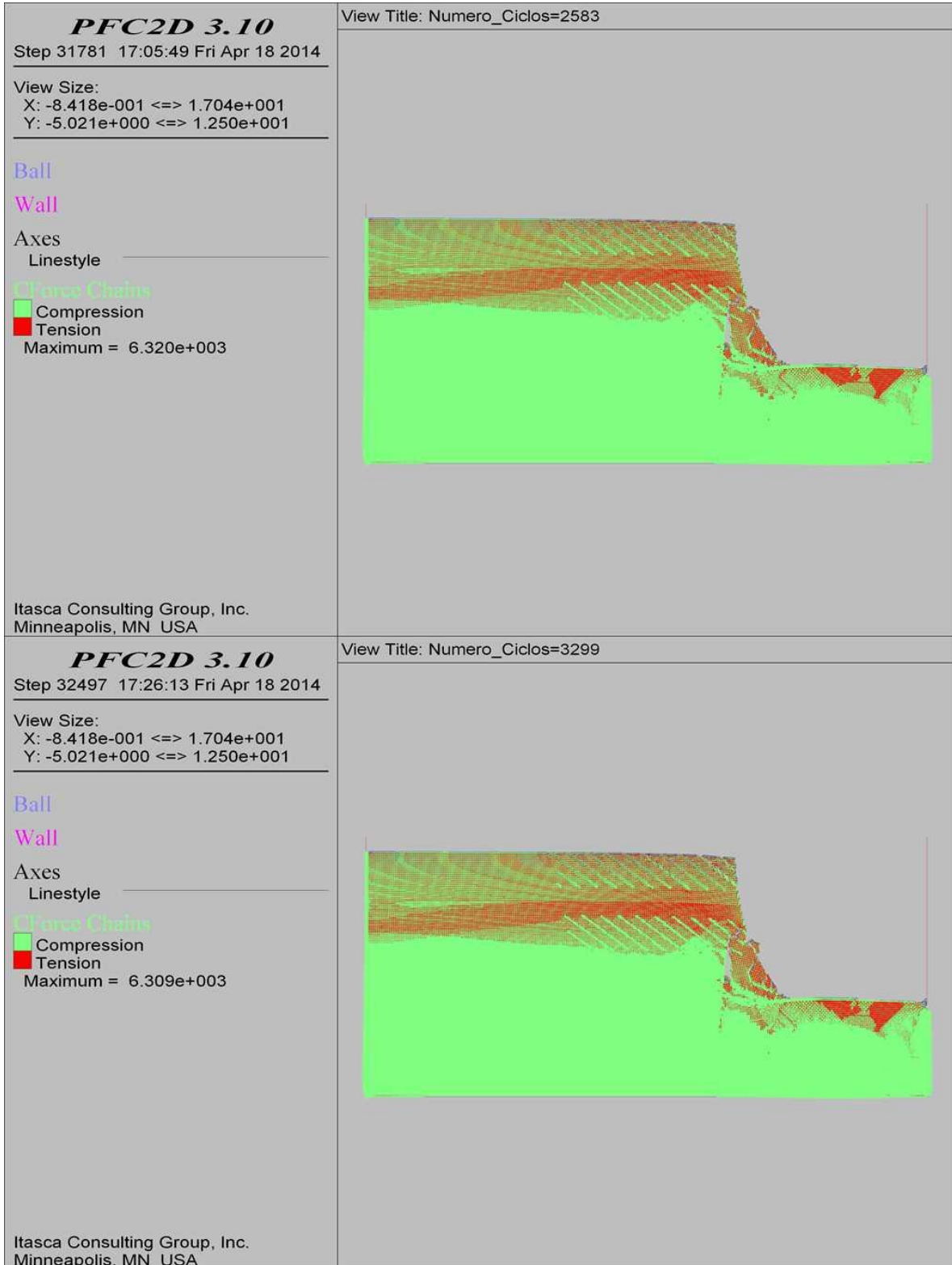
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



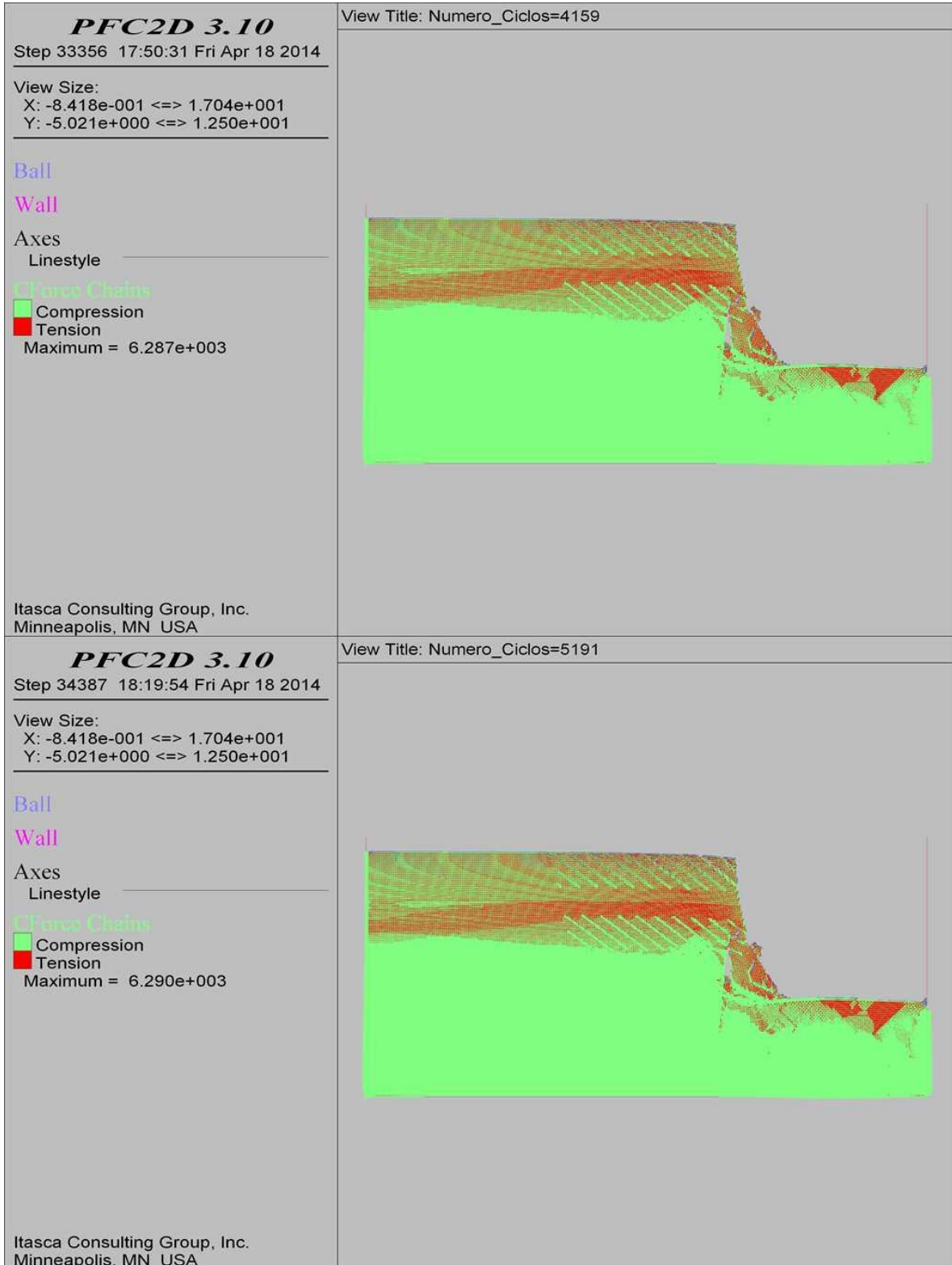
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



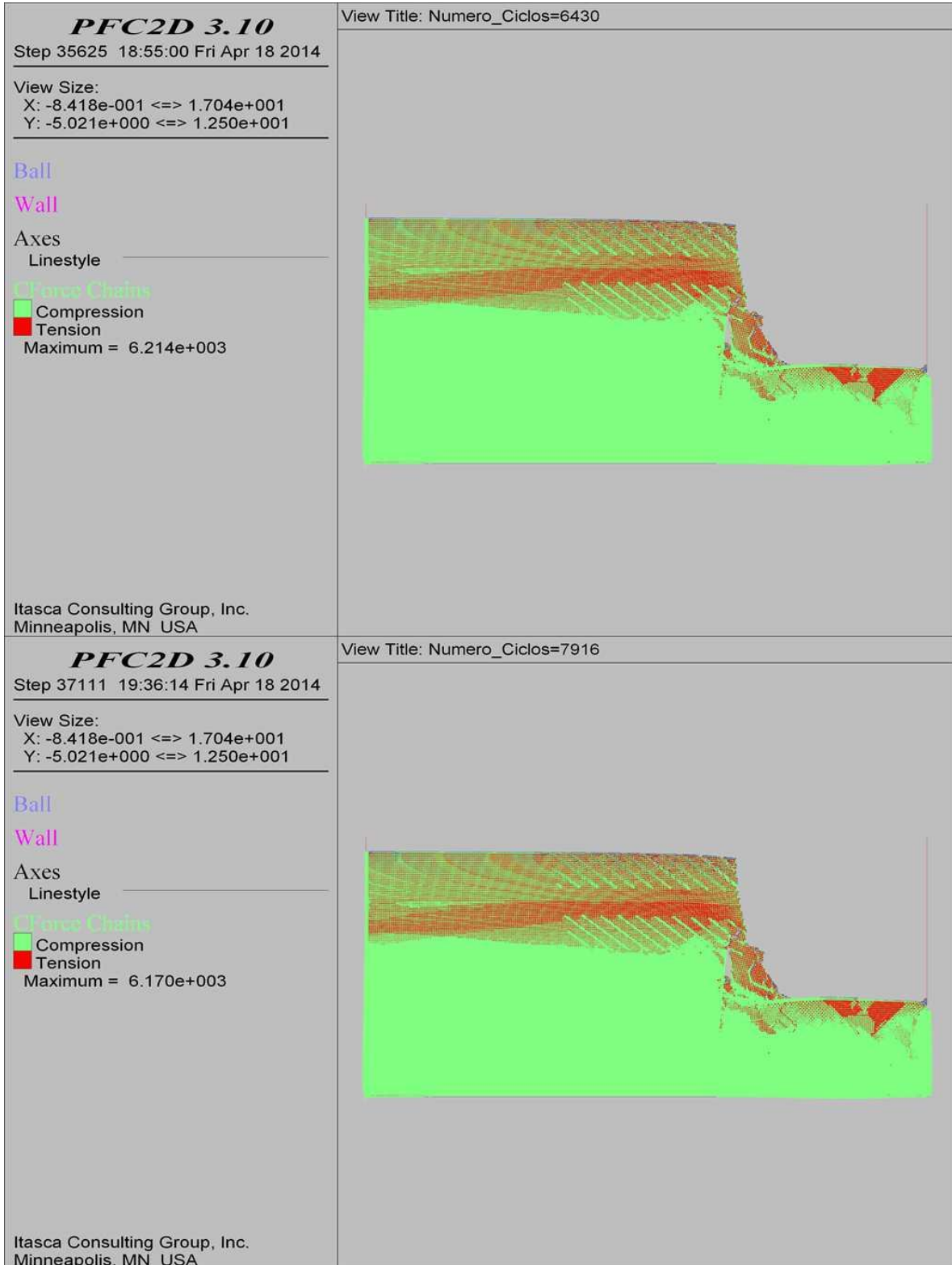
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



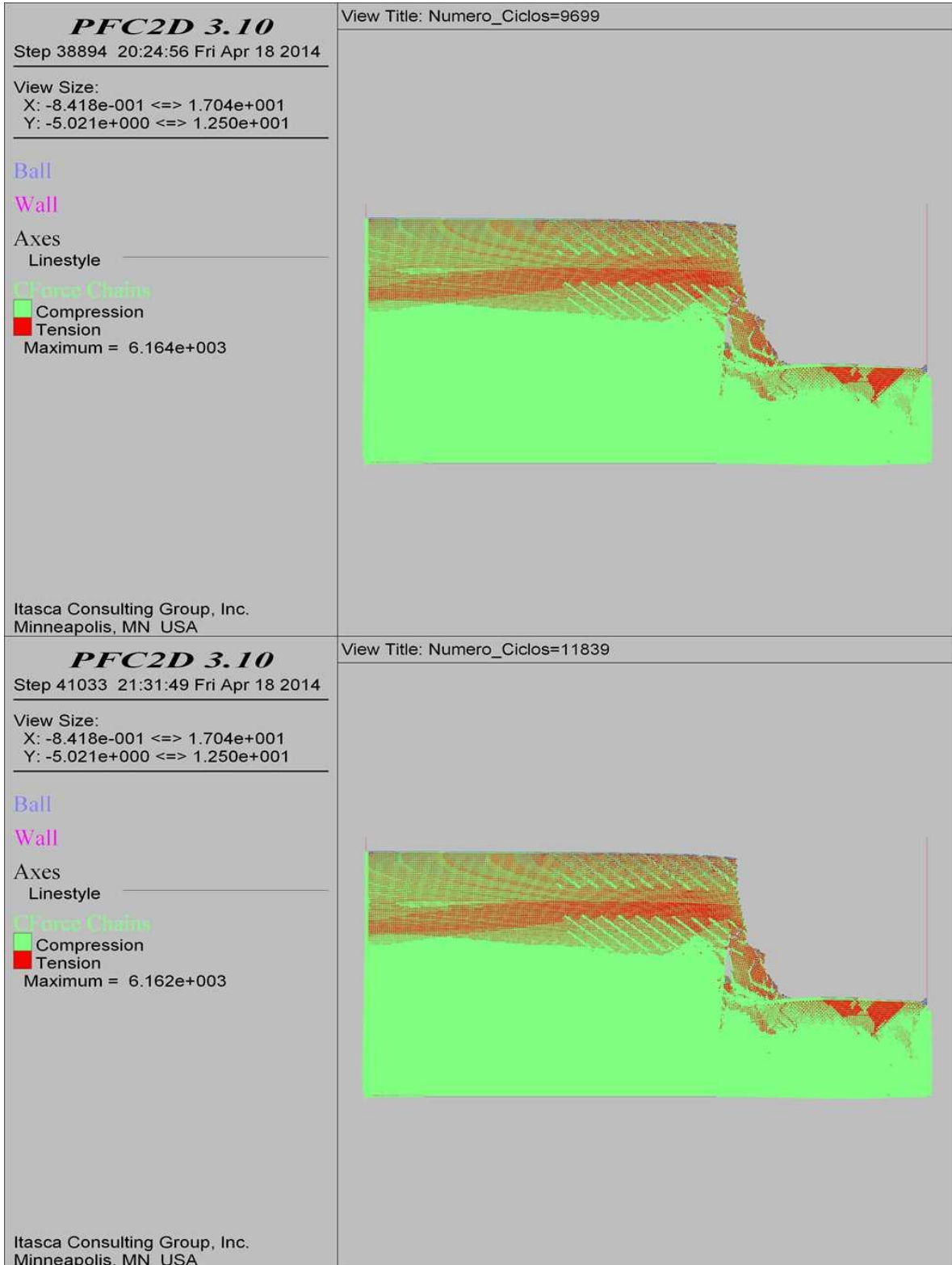
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



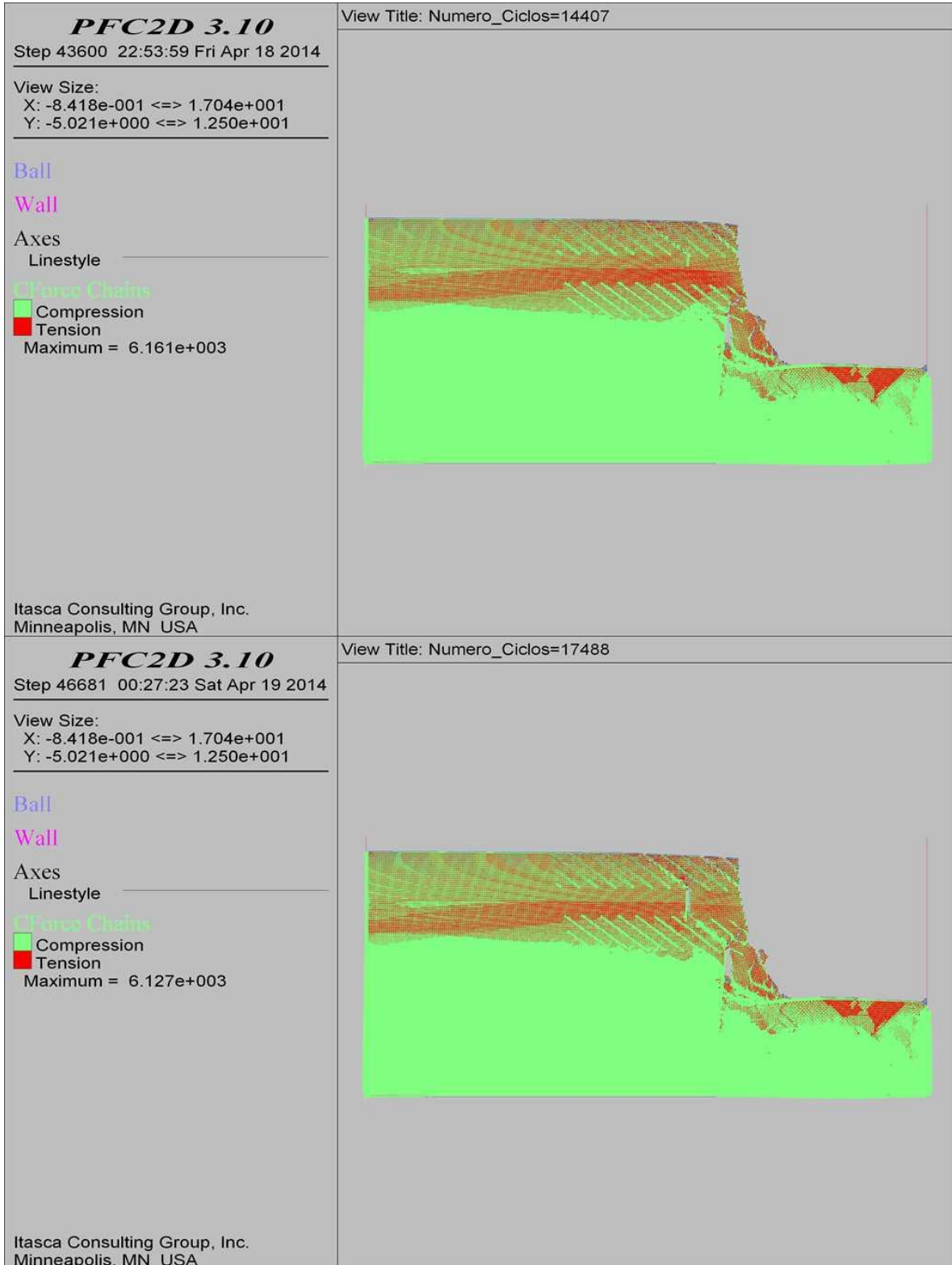
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



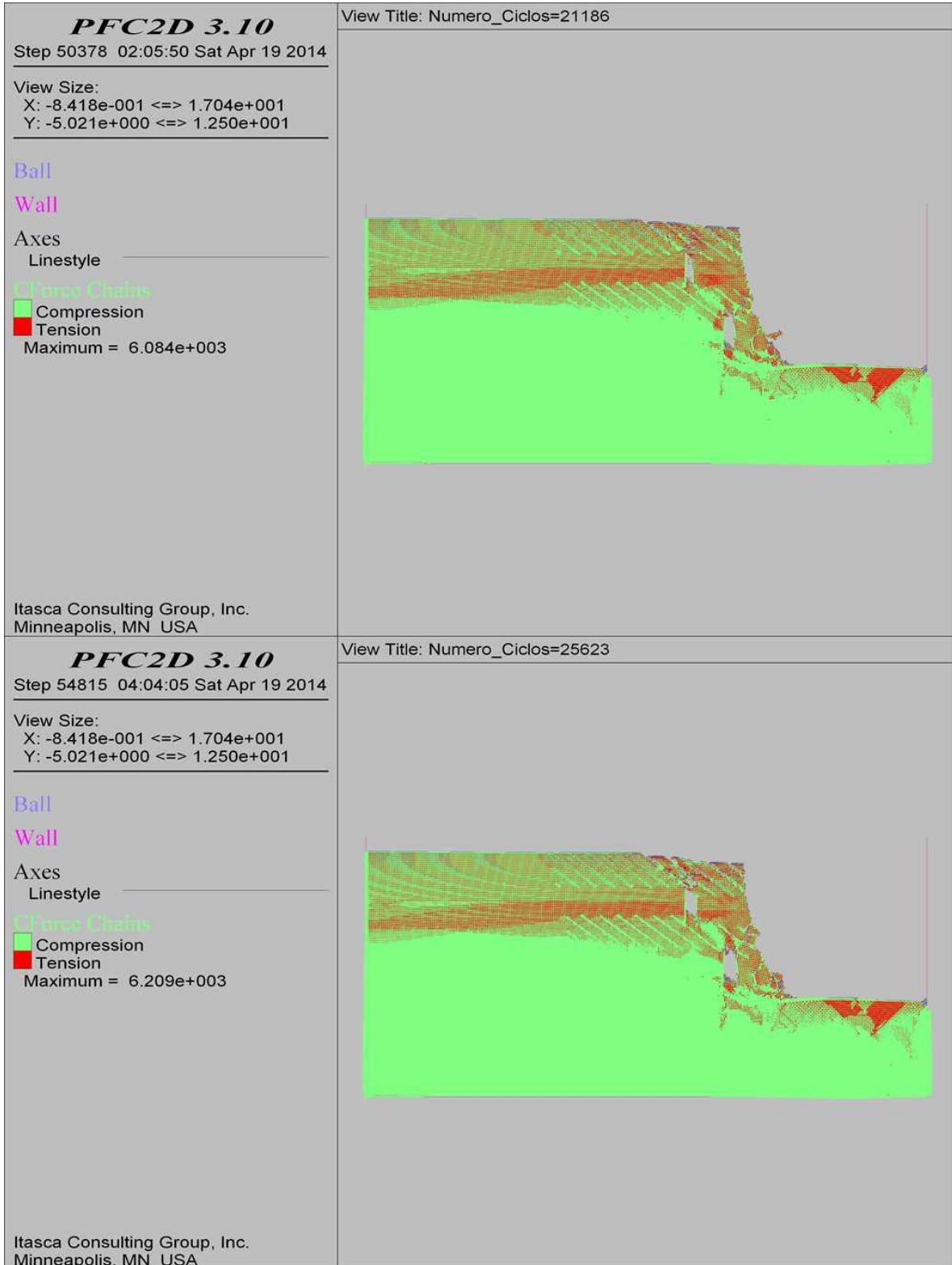
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



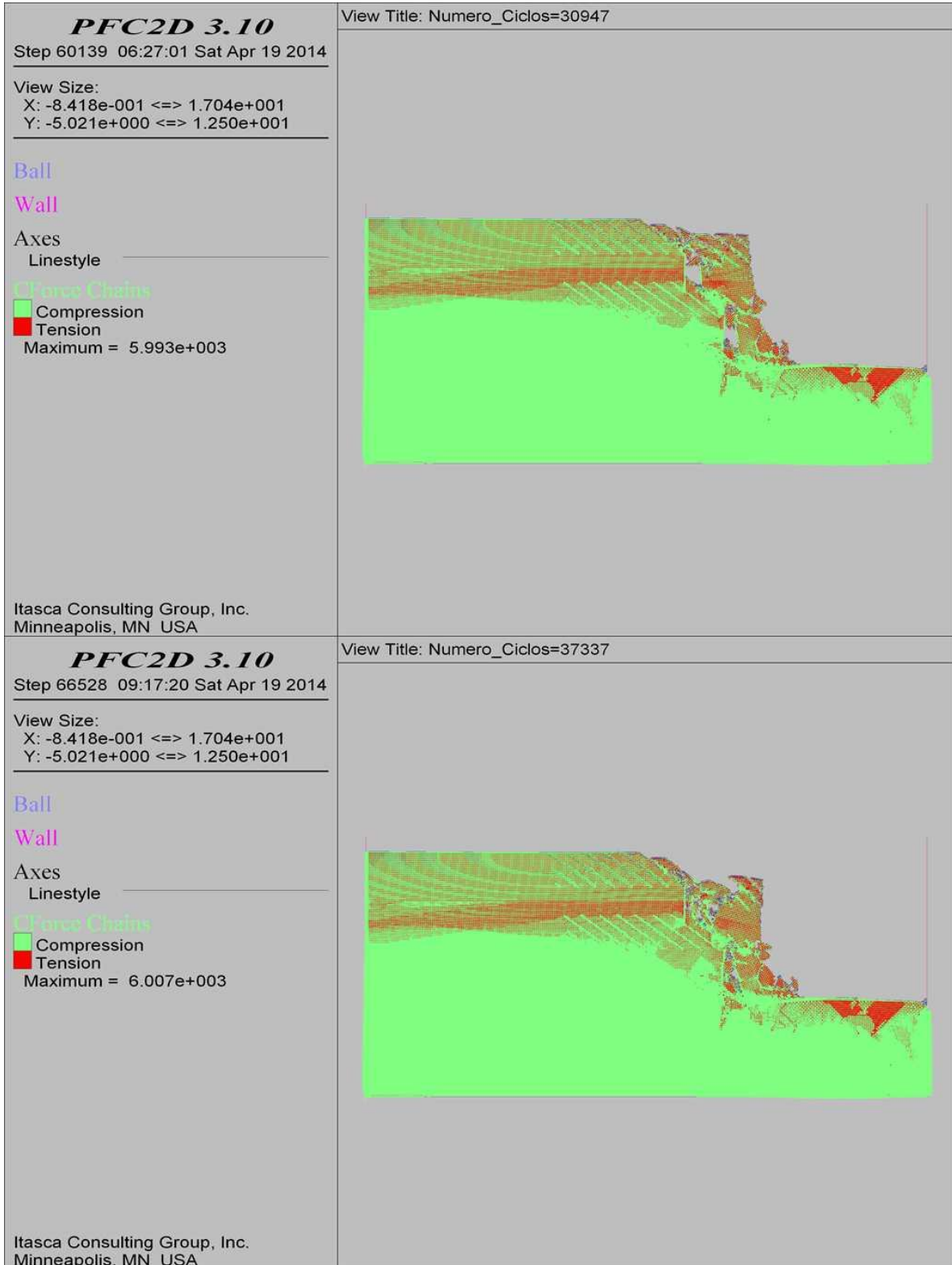
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



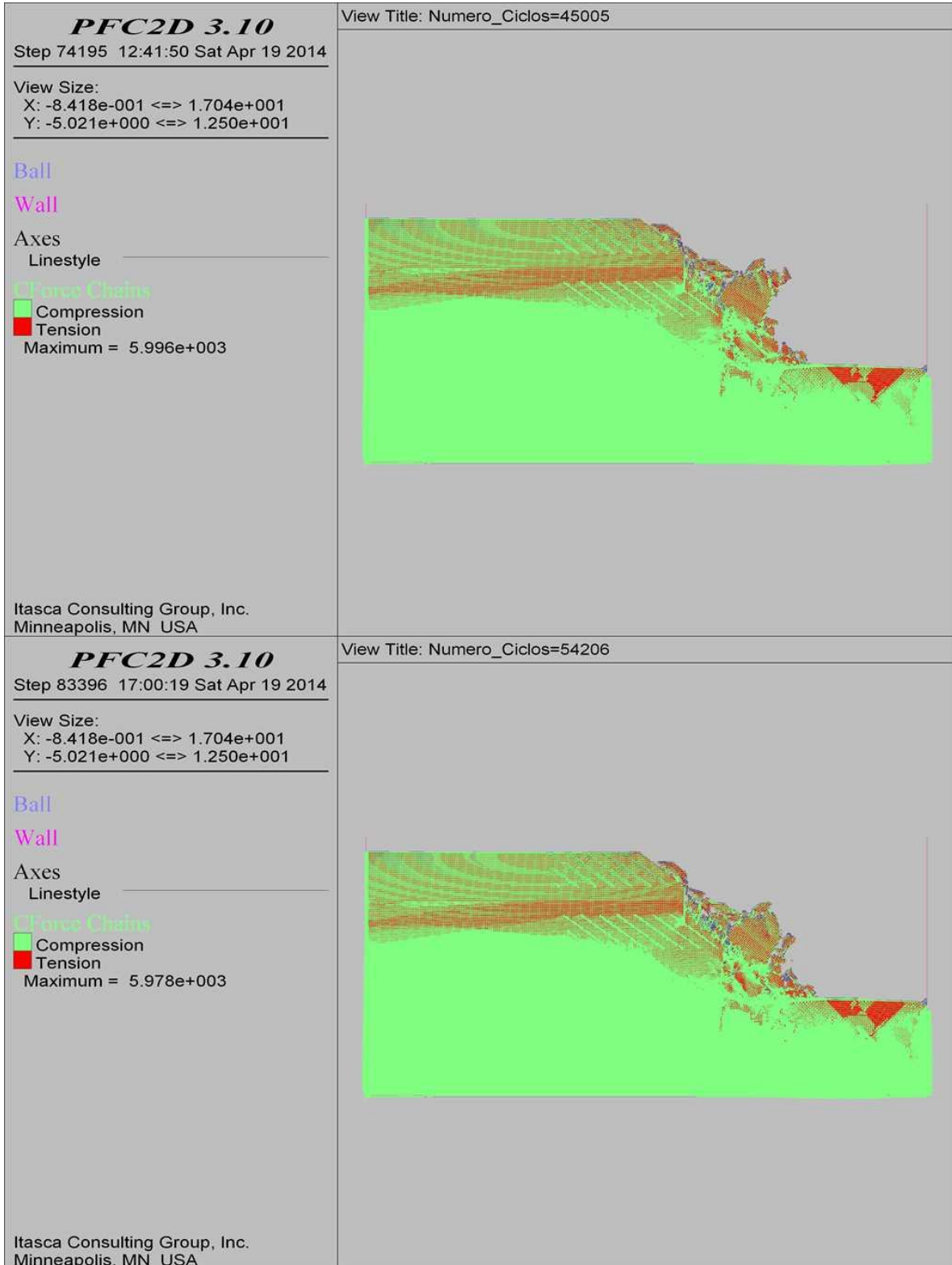
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



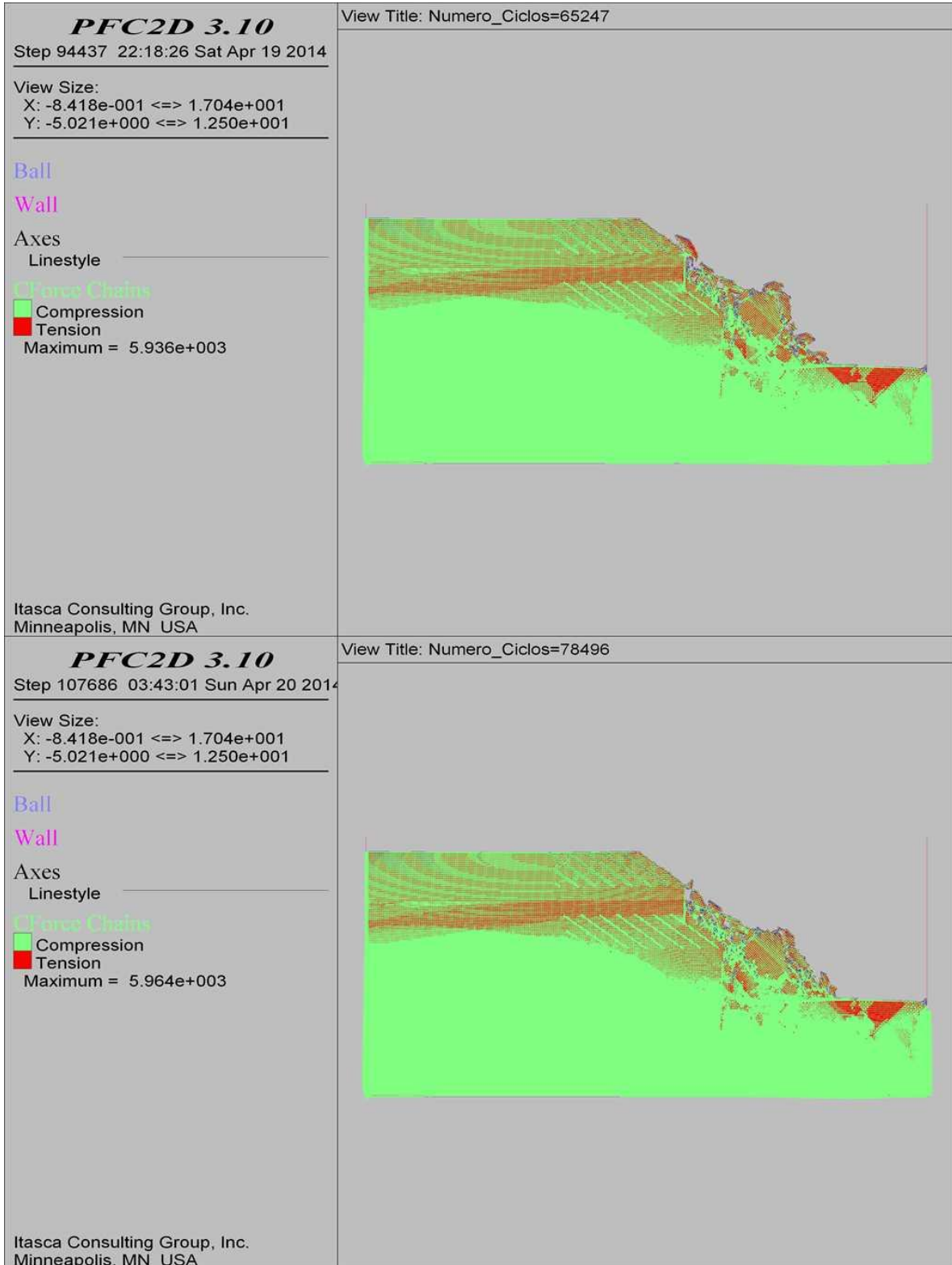
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



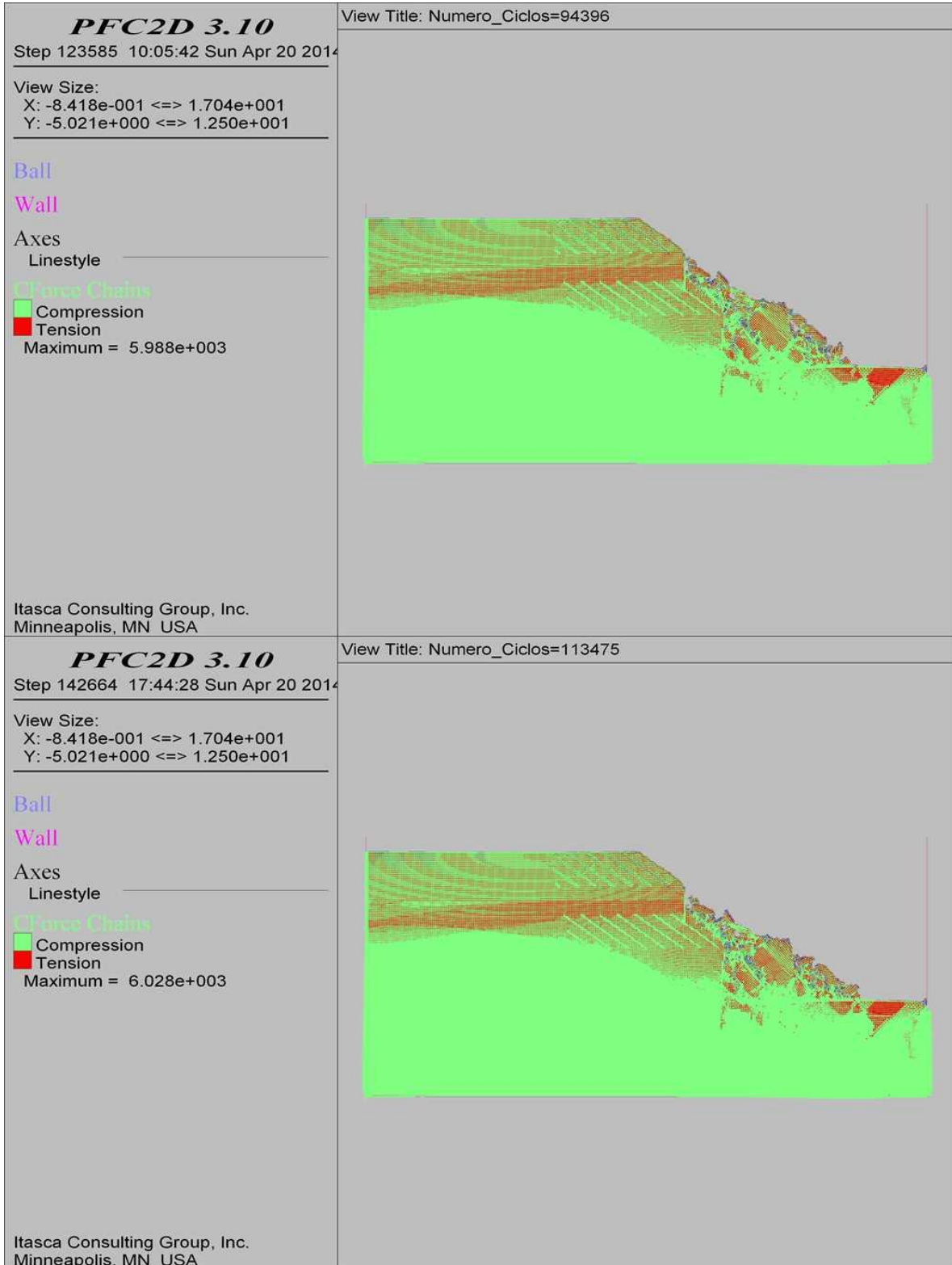
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



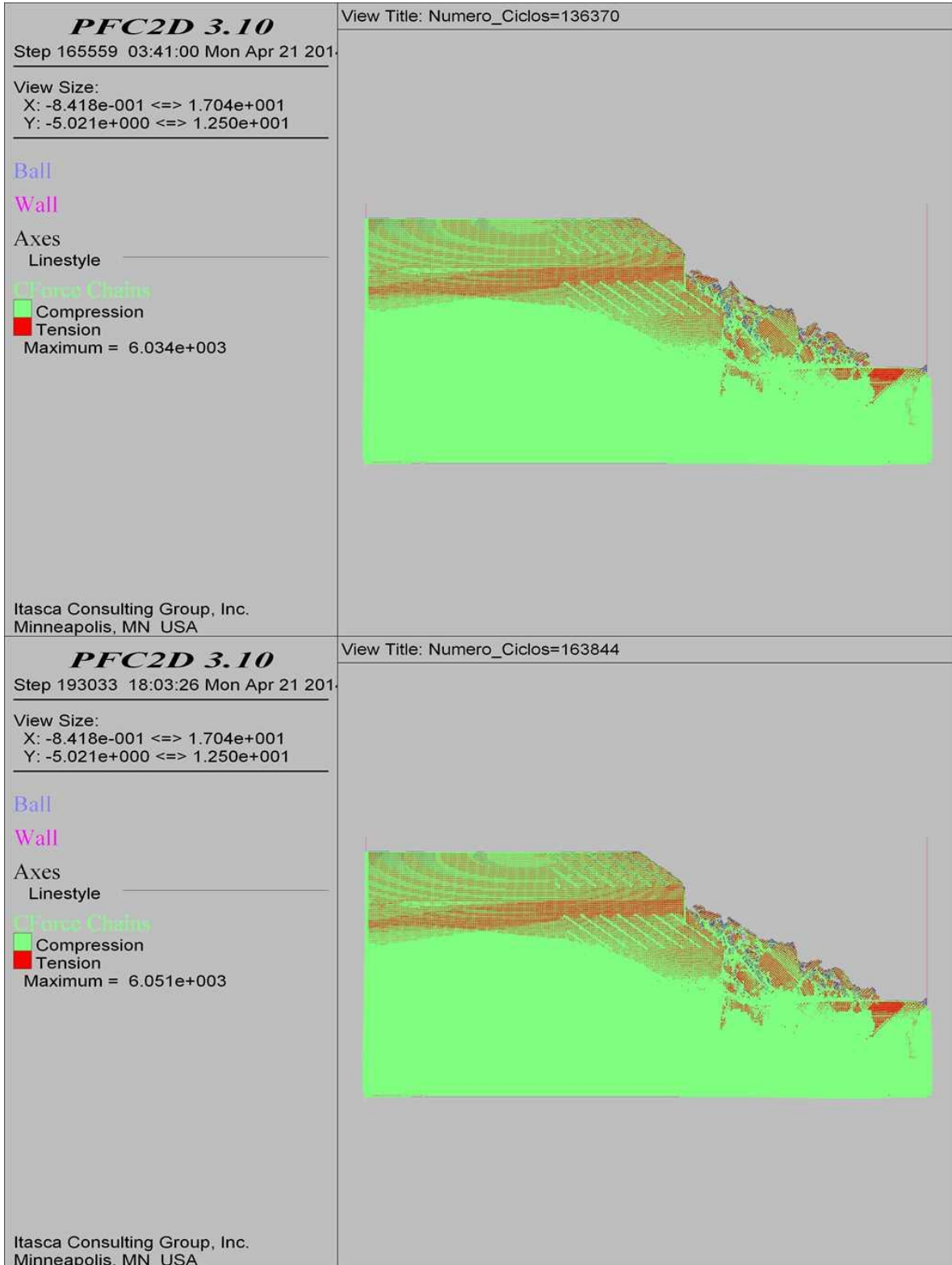
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



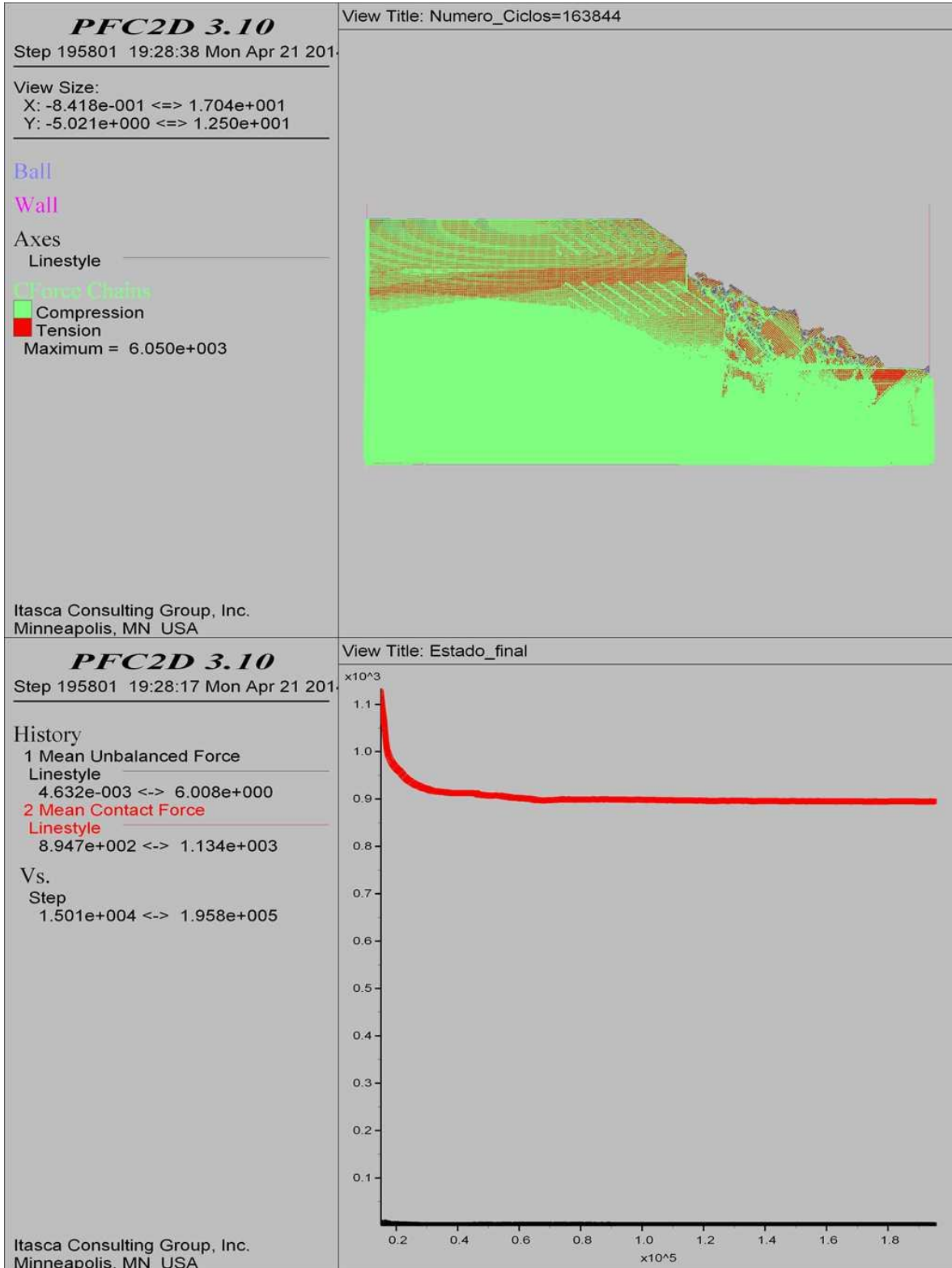
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



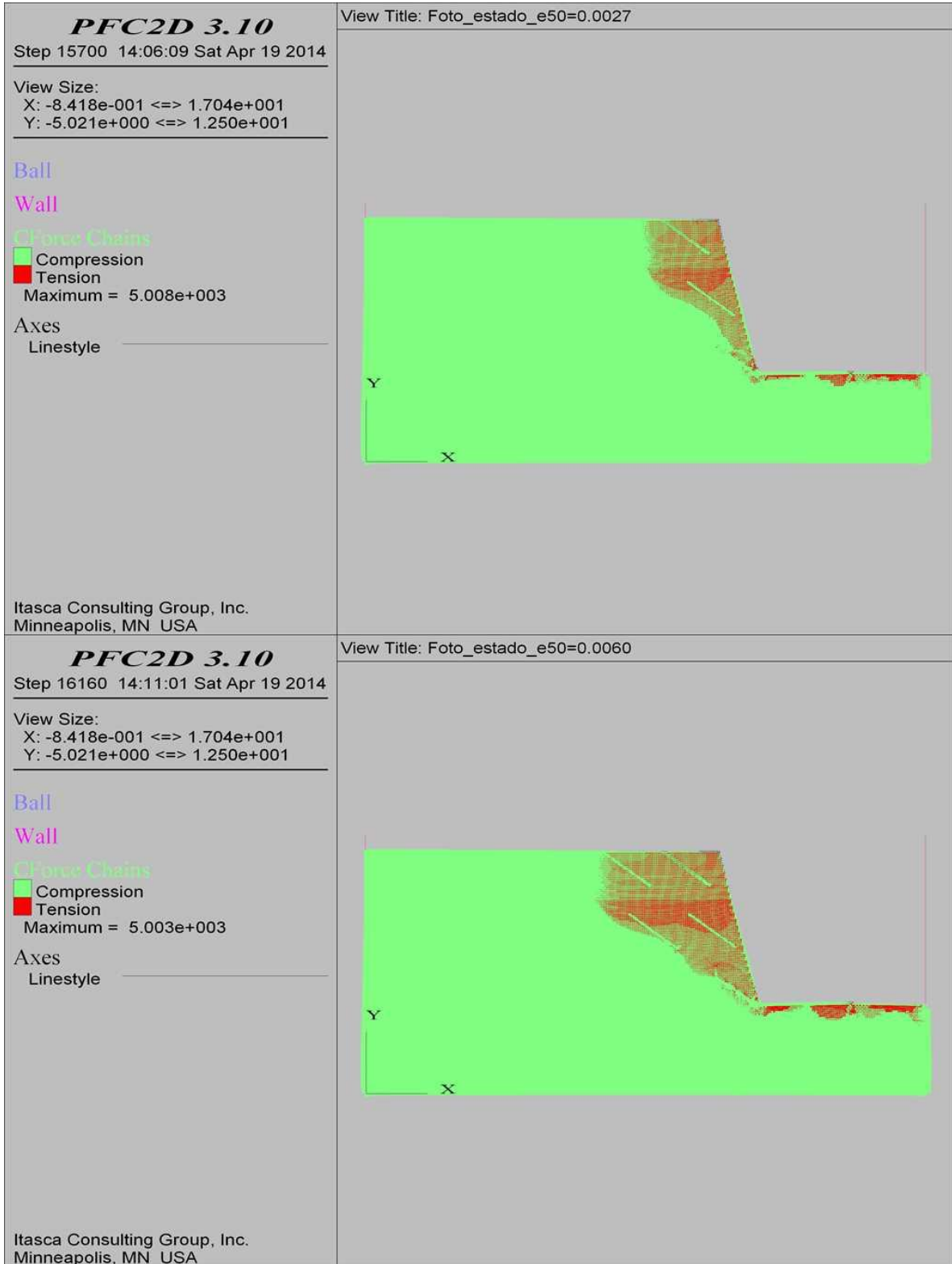
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



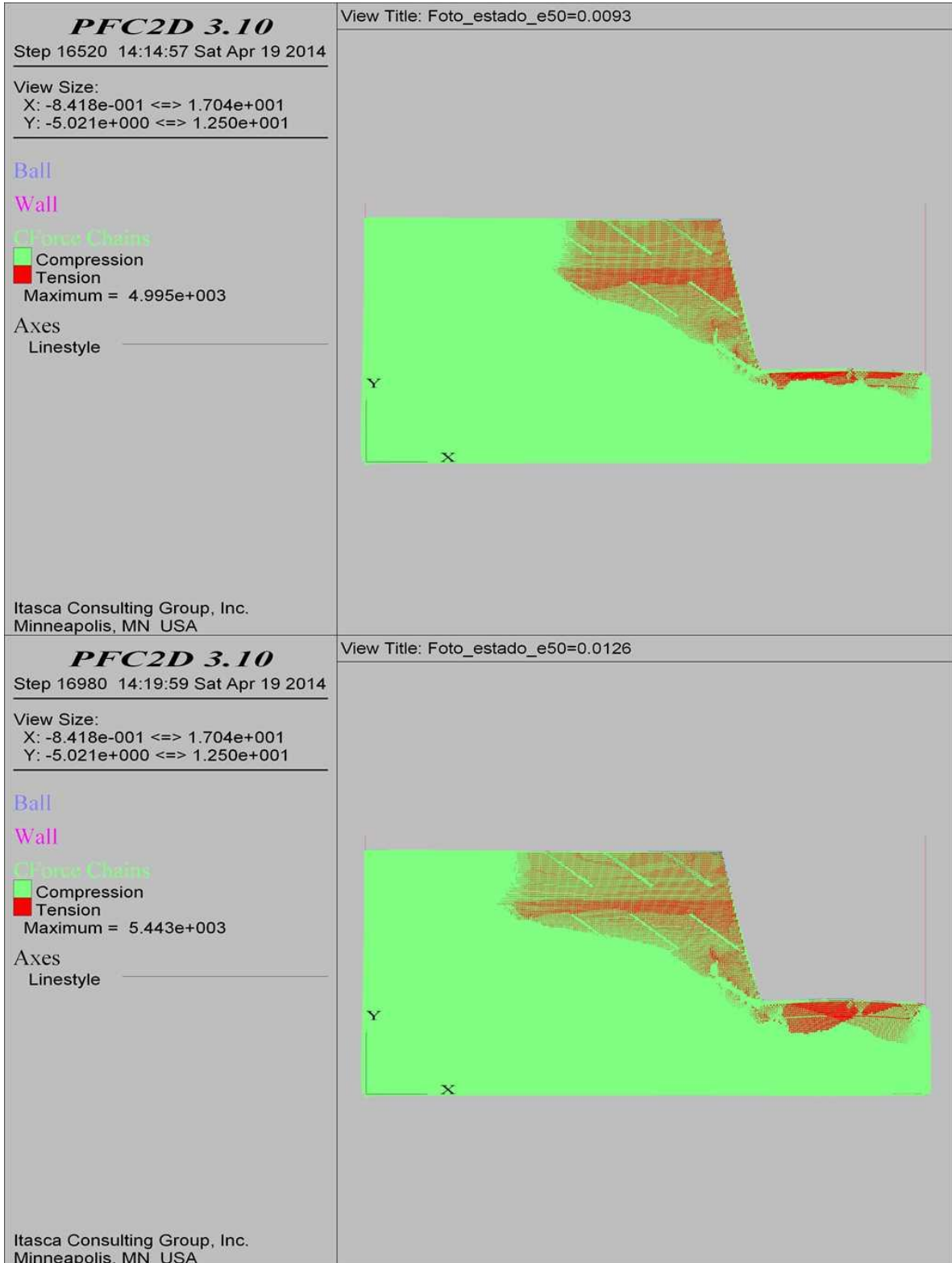
COMBINACIÓN 22: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



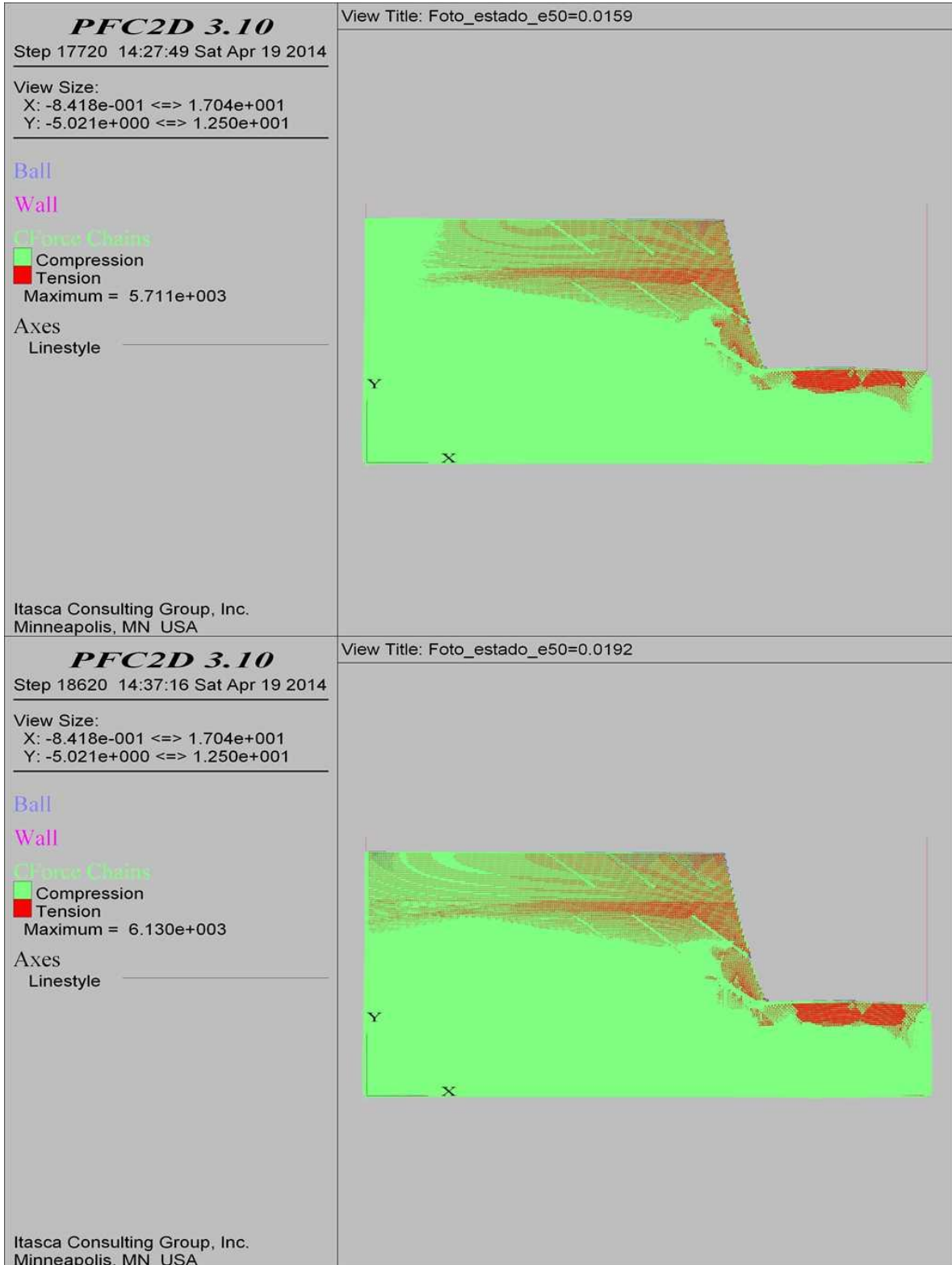
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



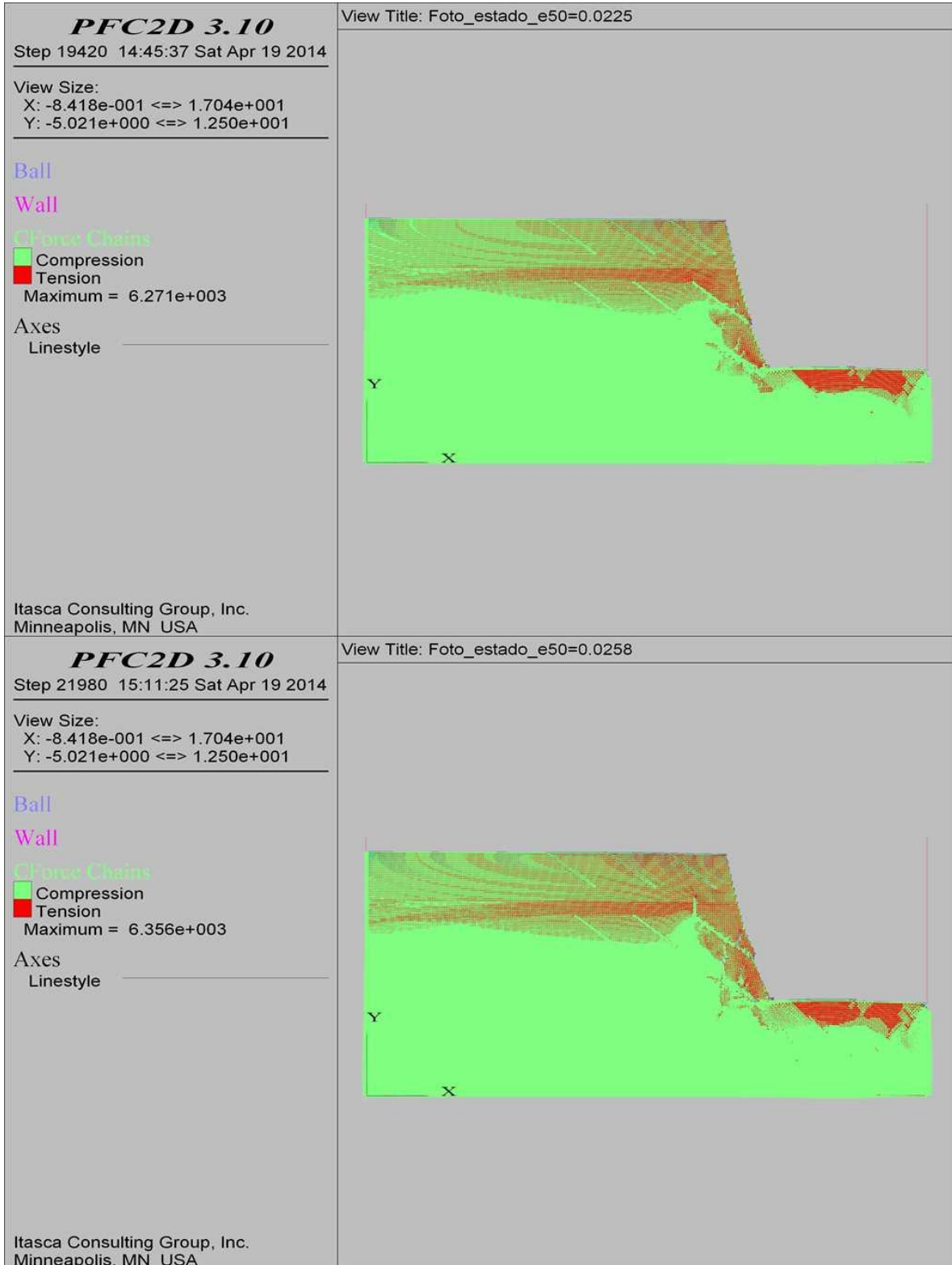
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



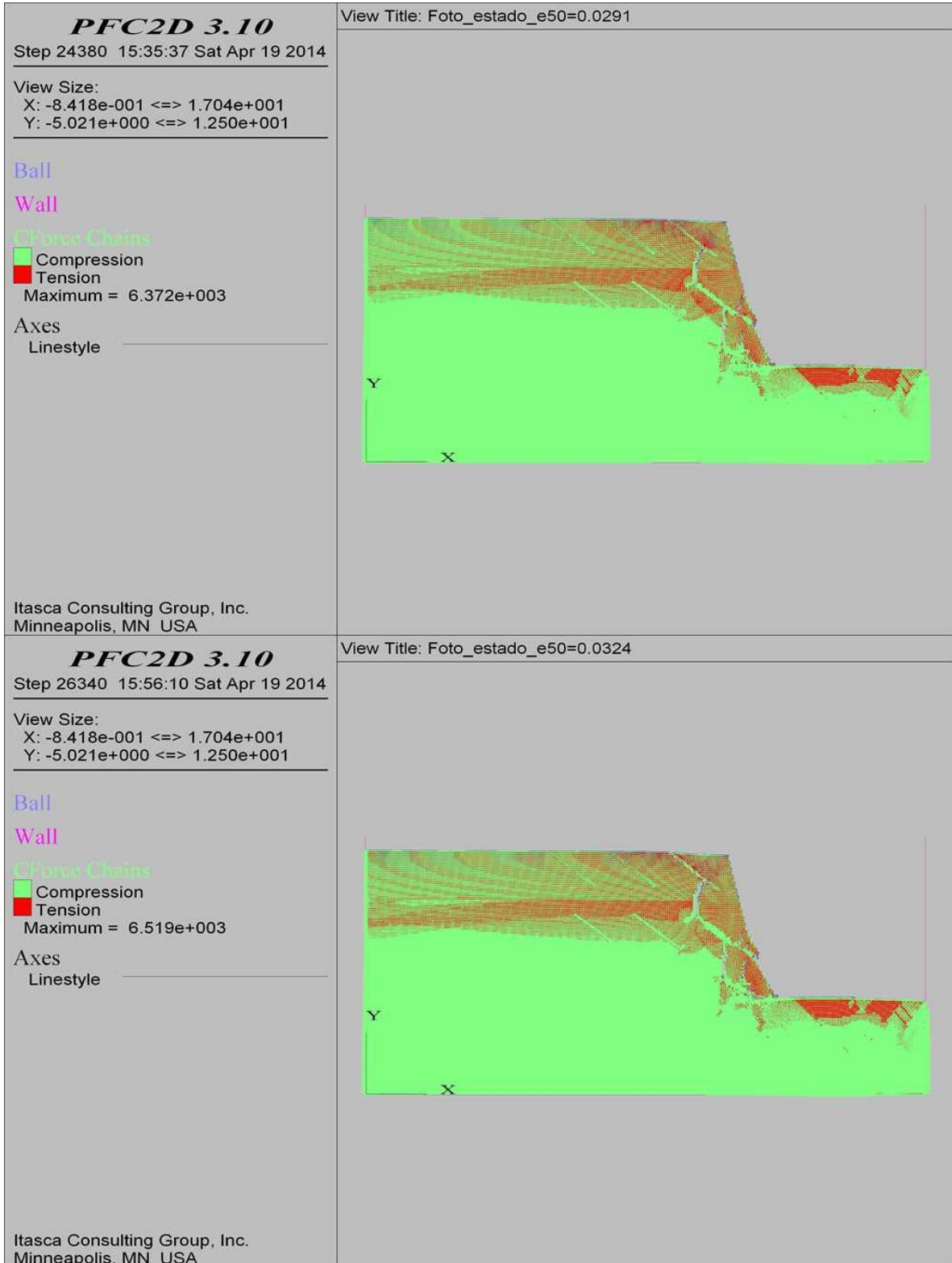
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



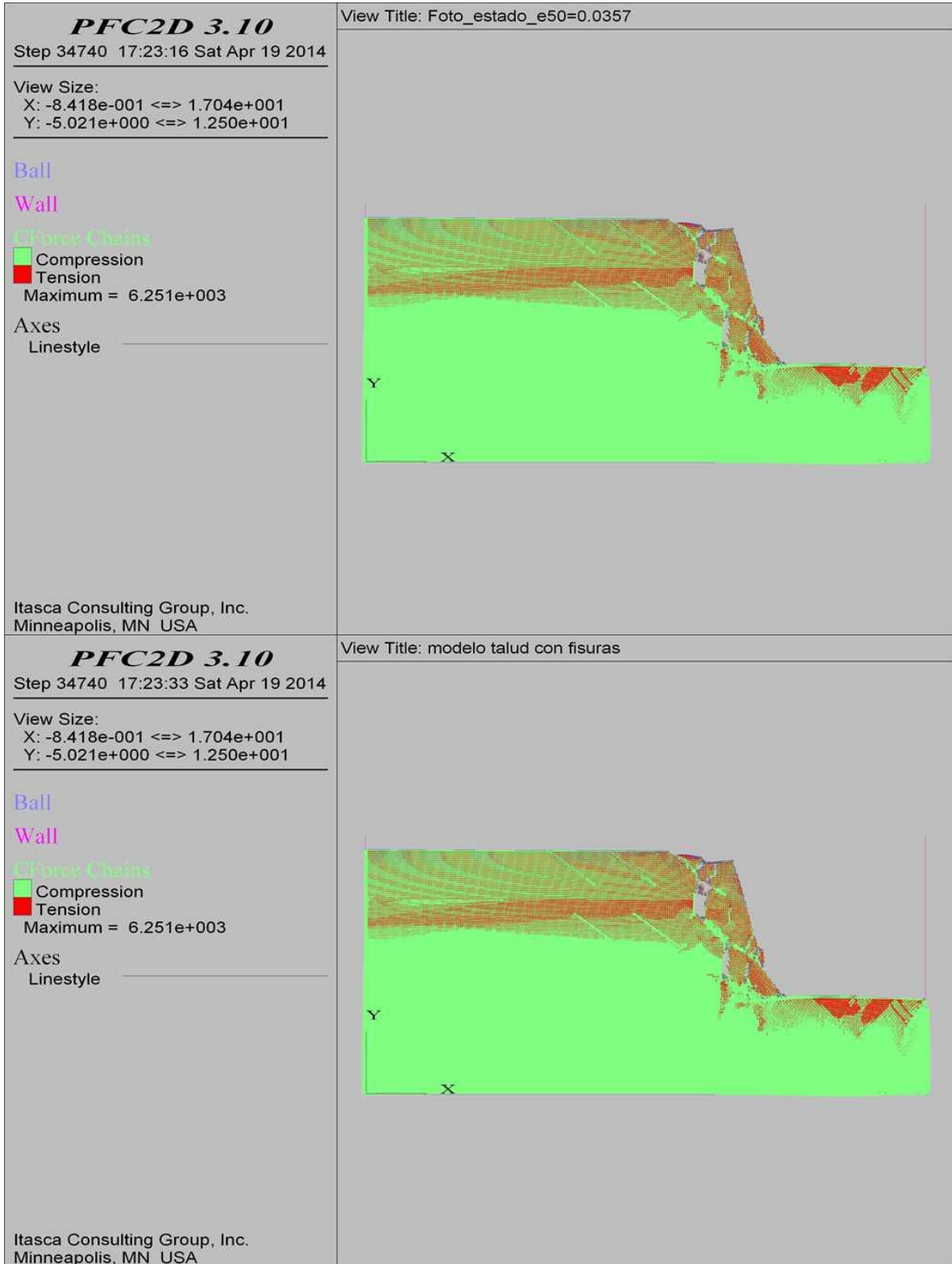
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



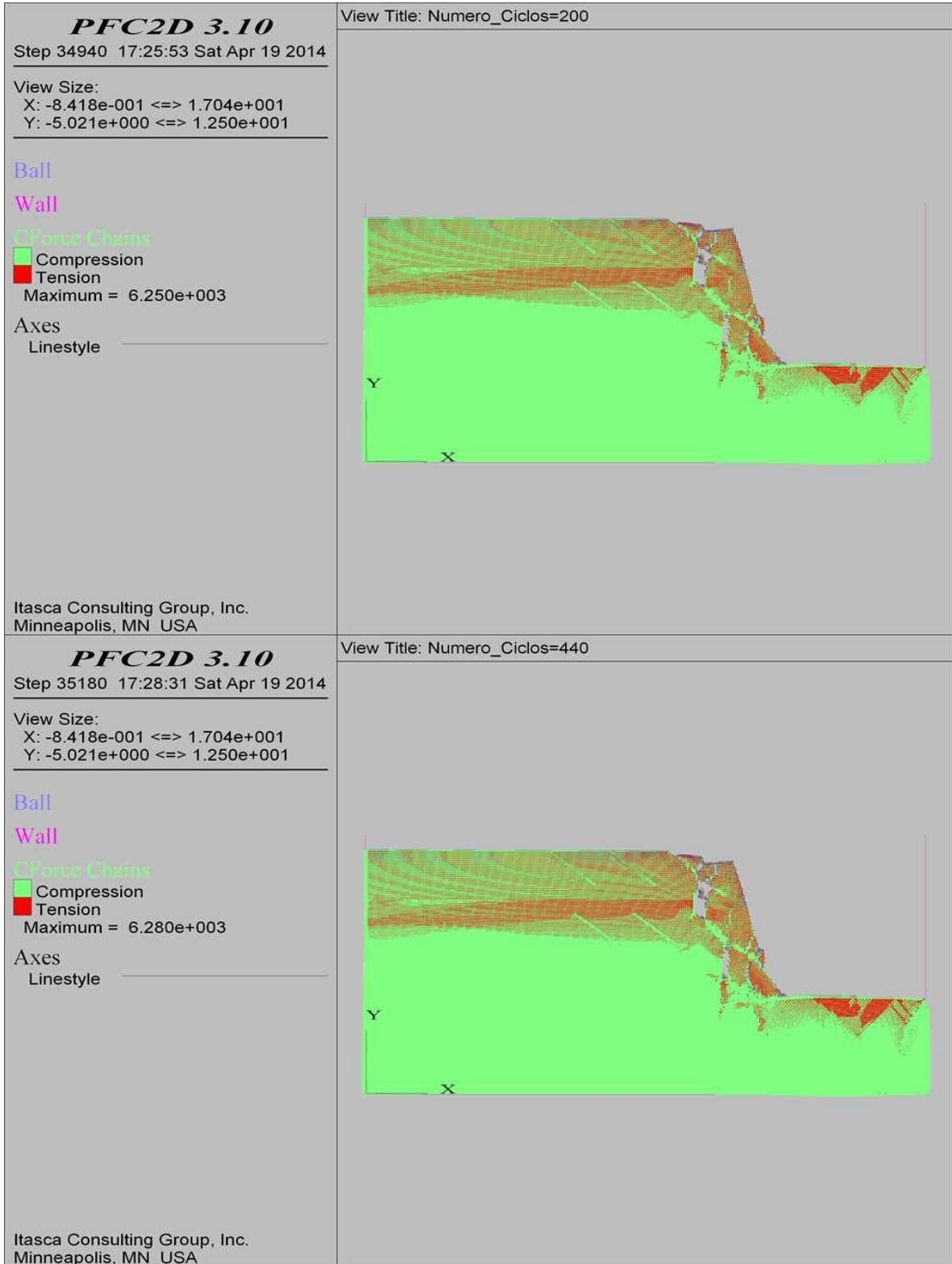
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



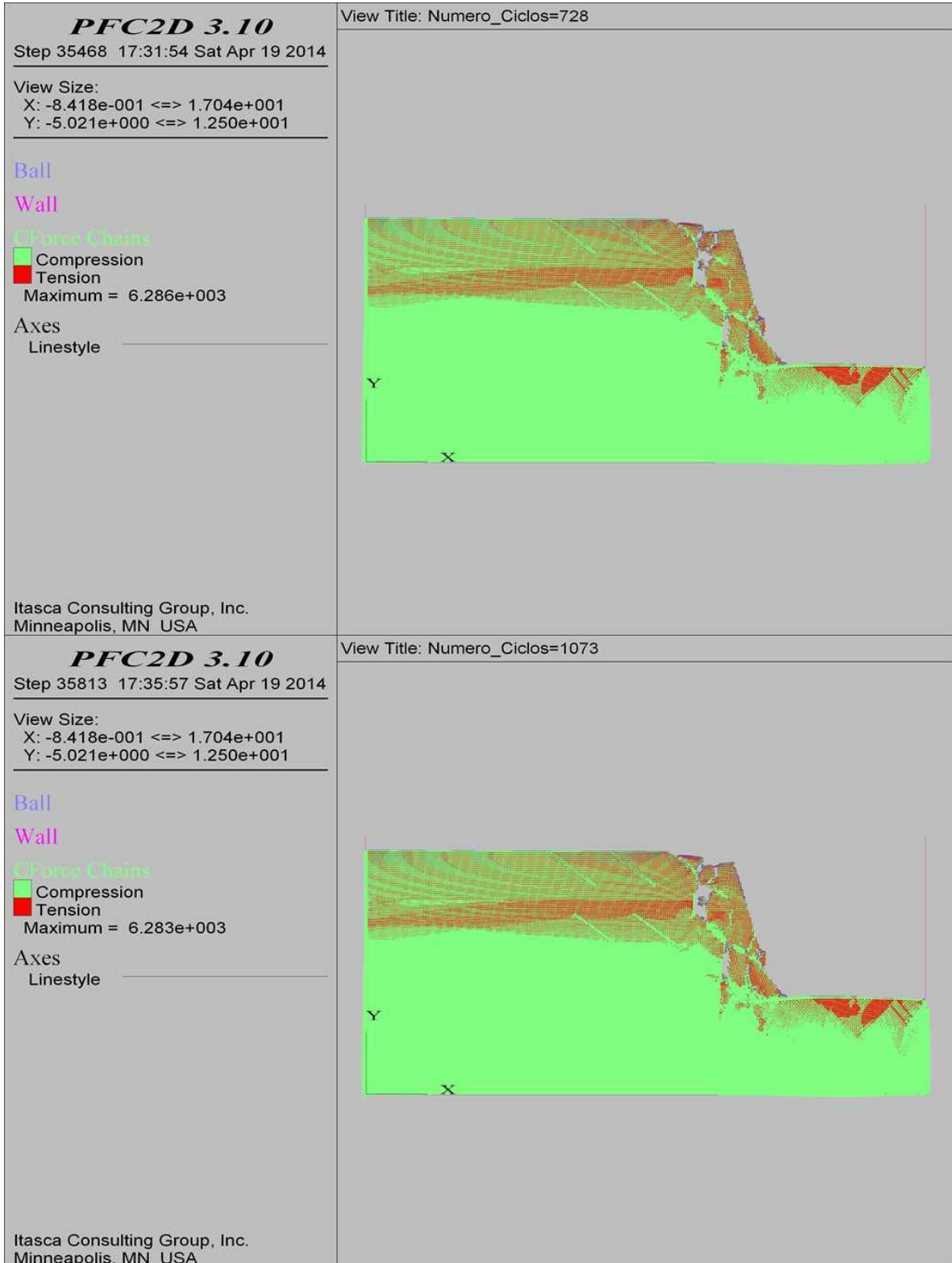
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



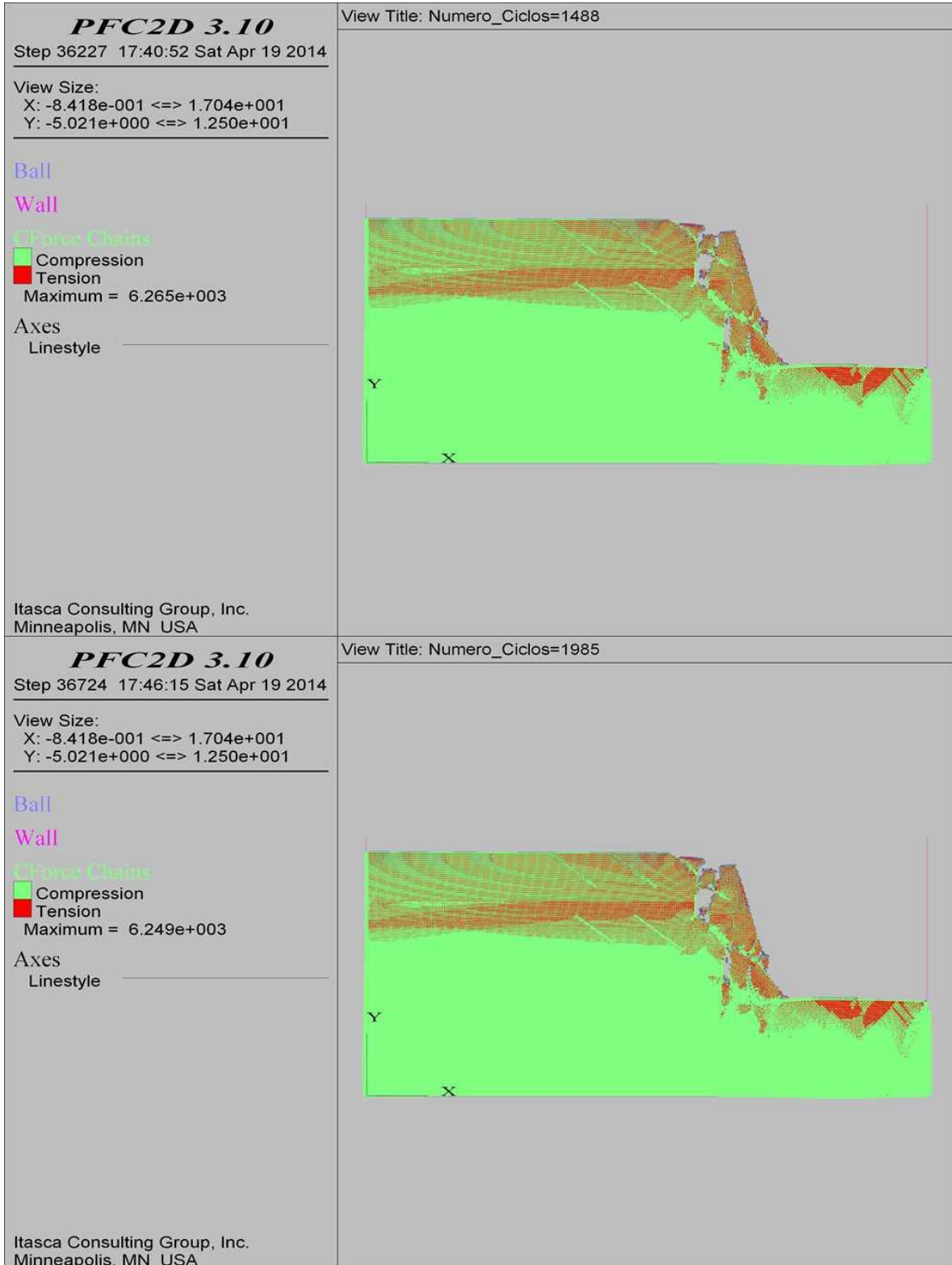
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



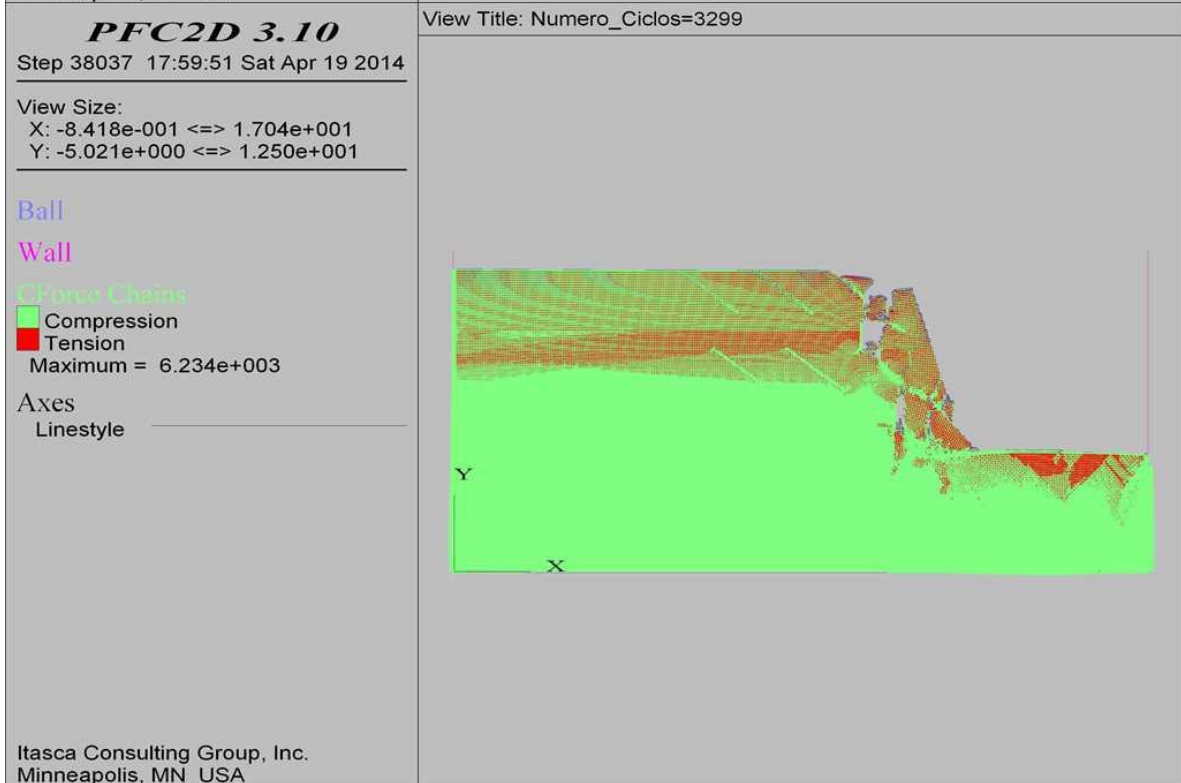
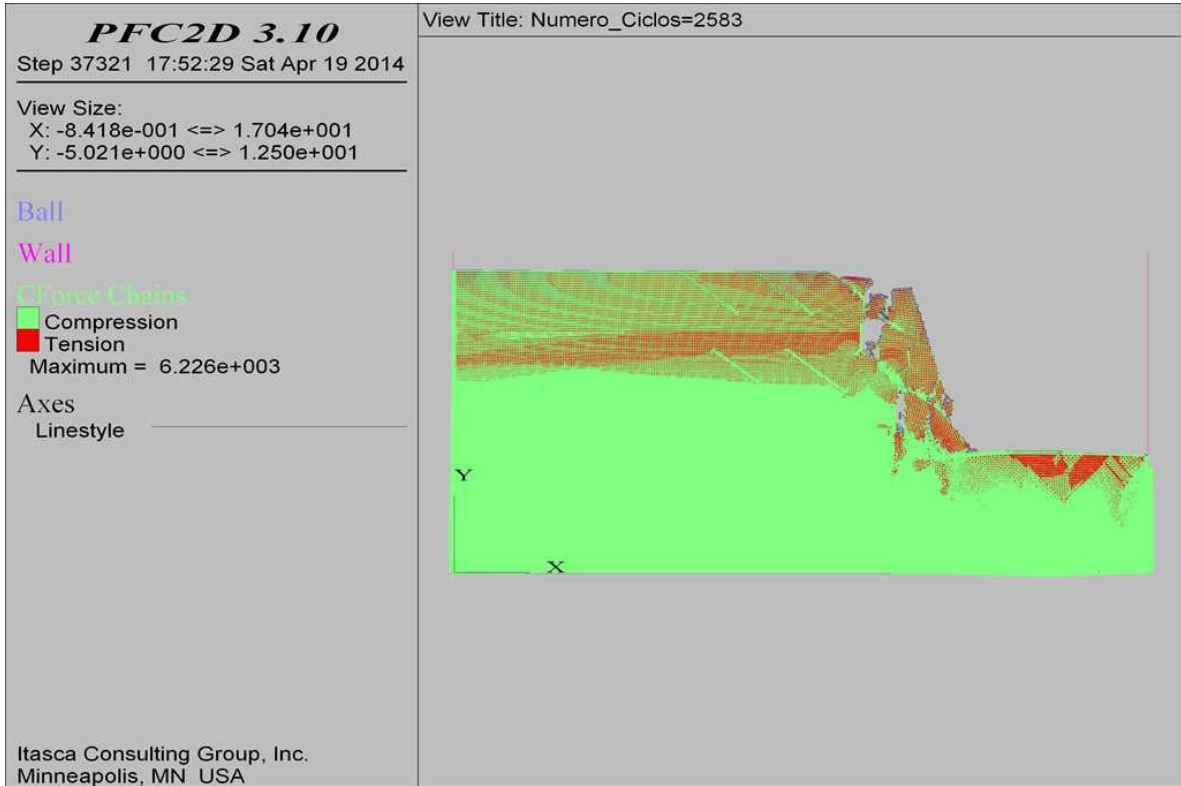
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



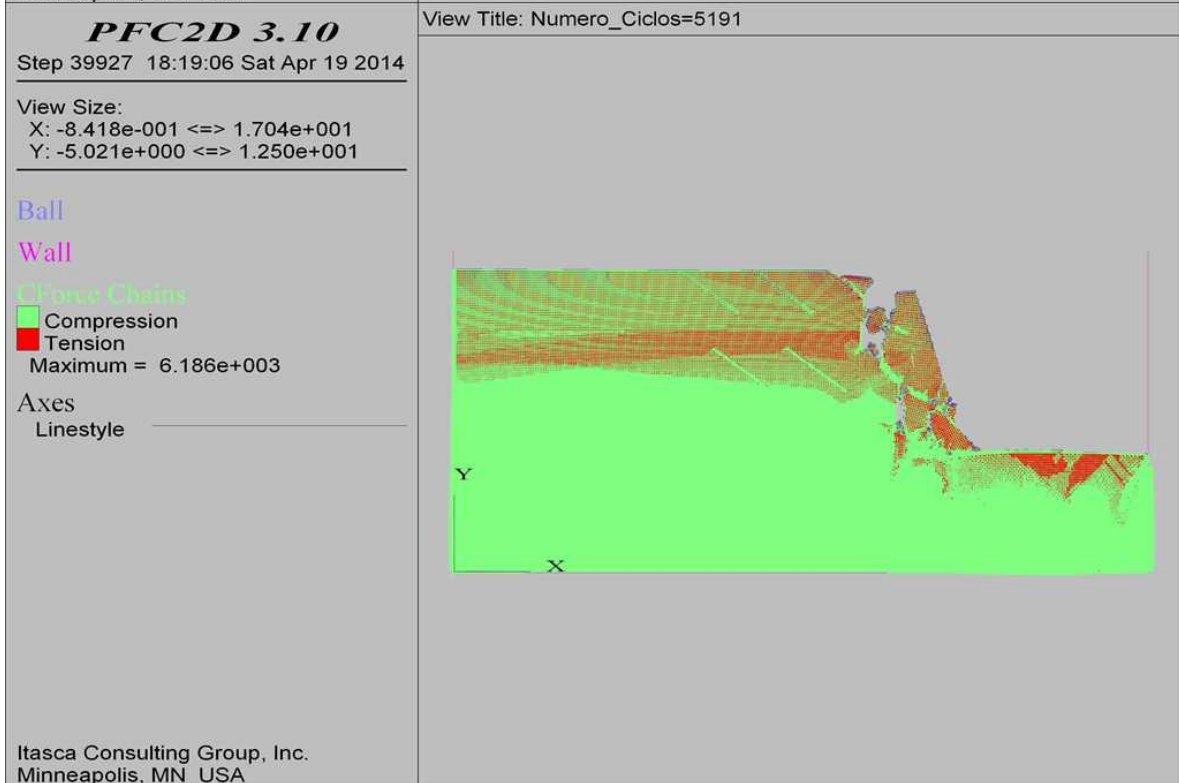
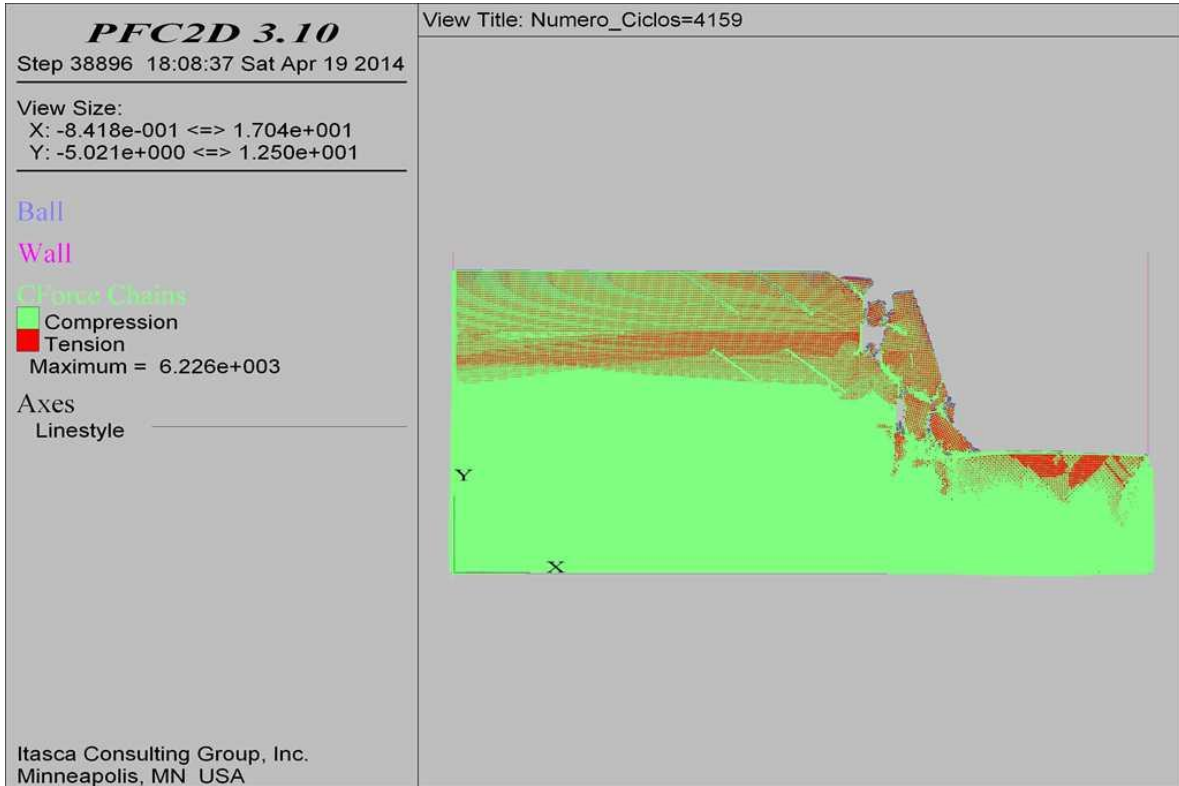
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



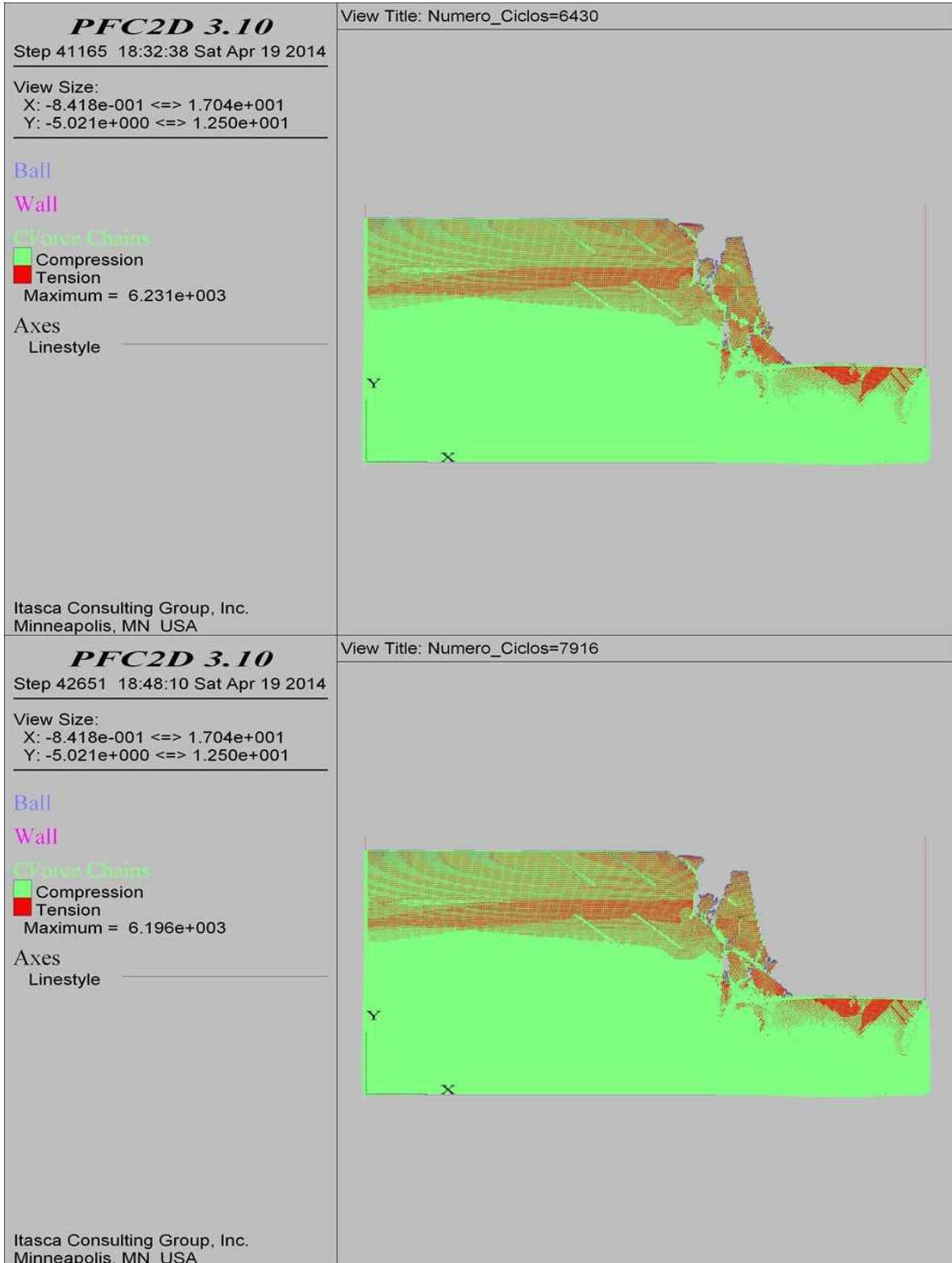
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



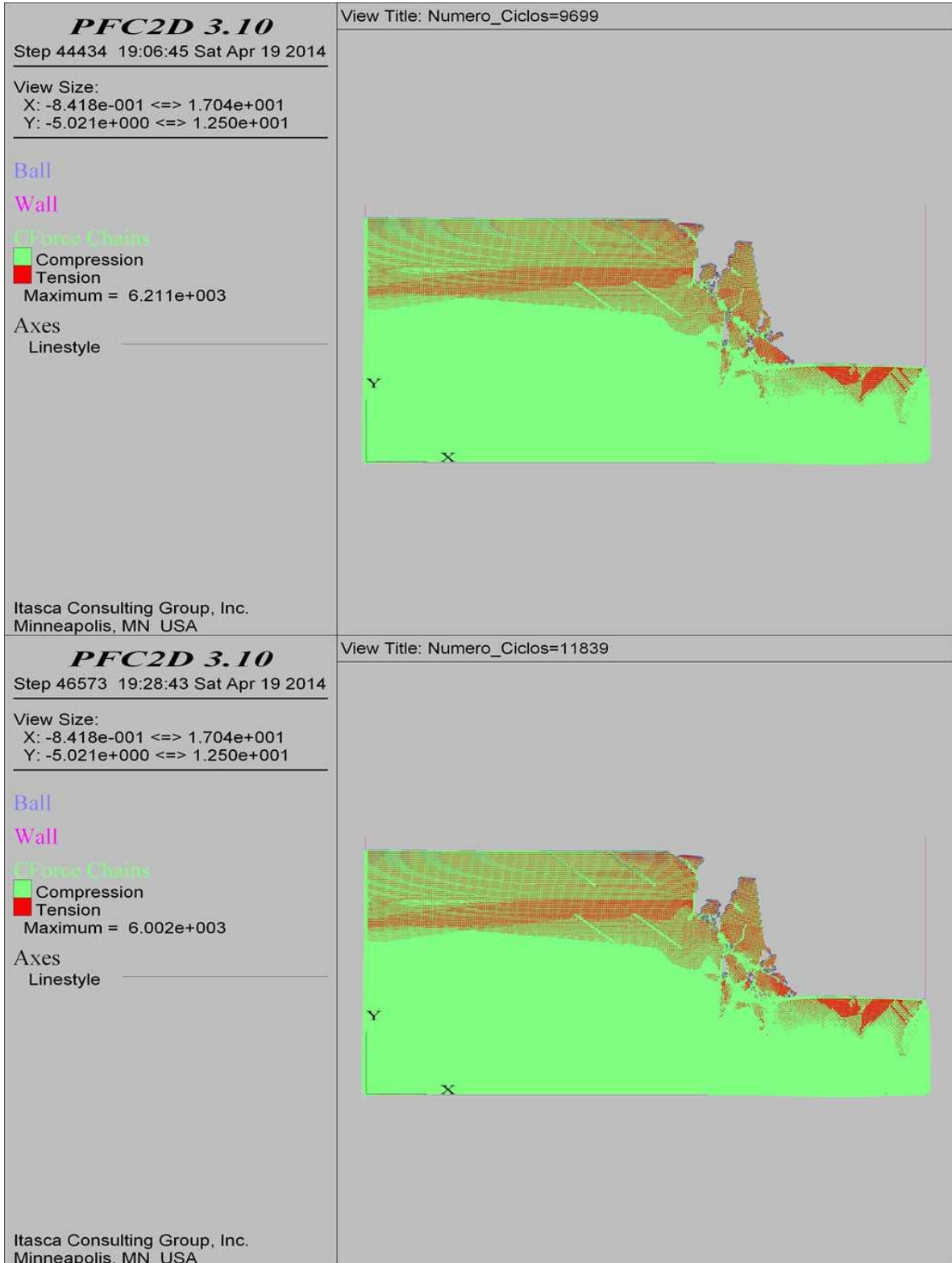
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



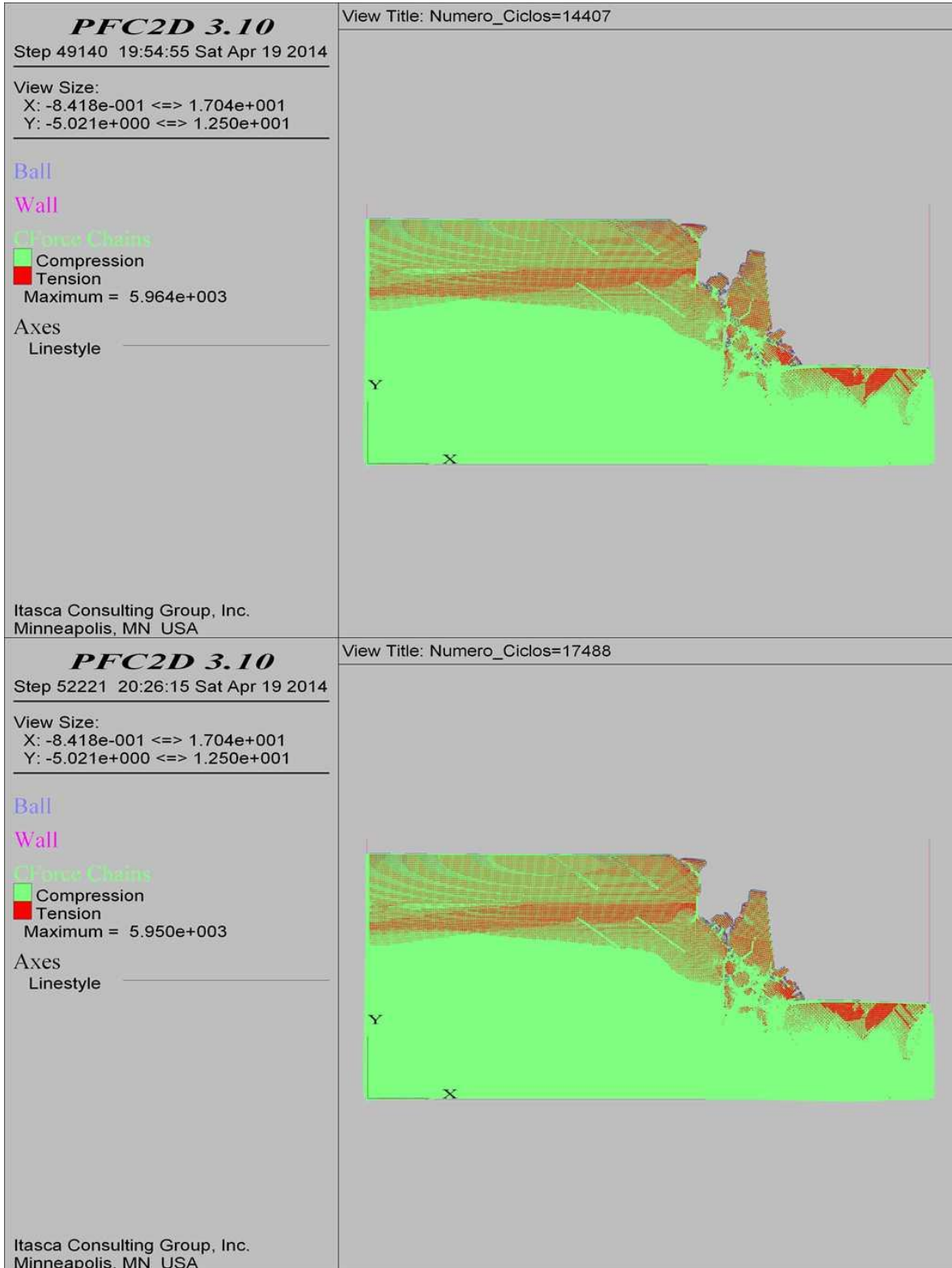
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



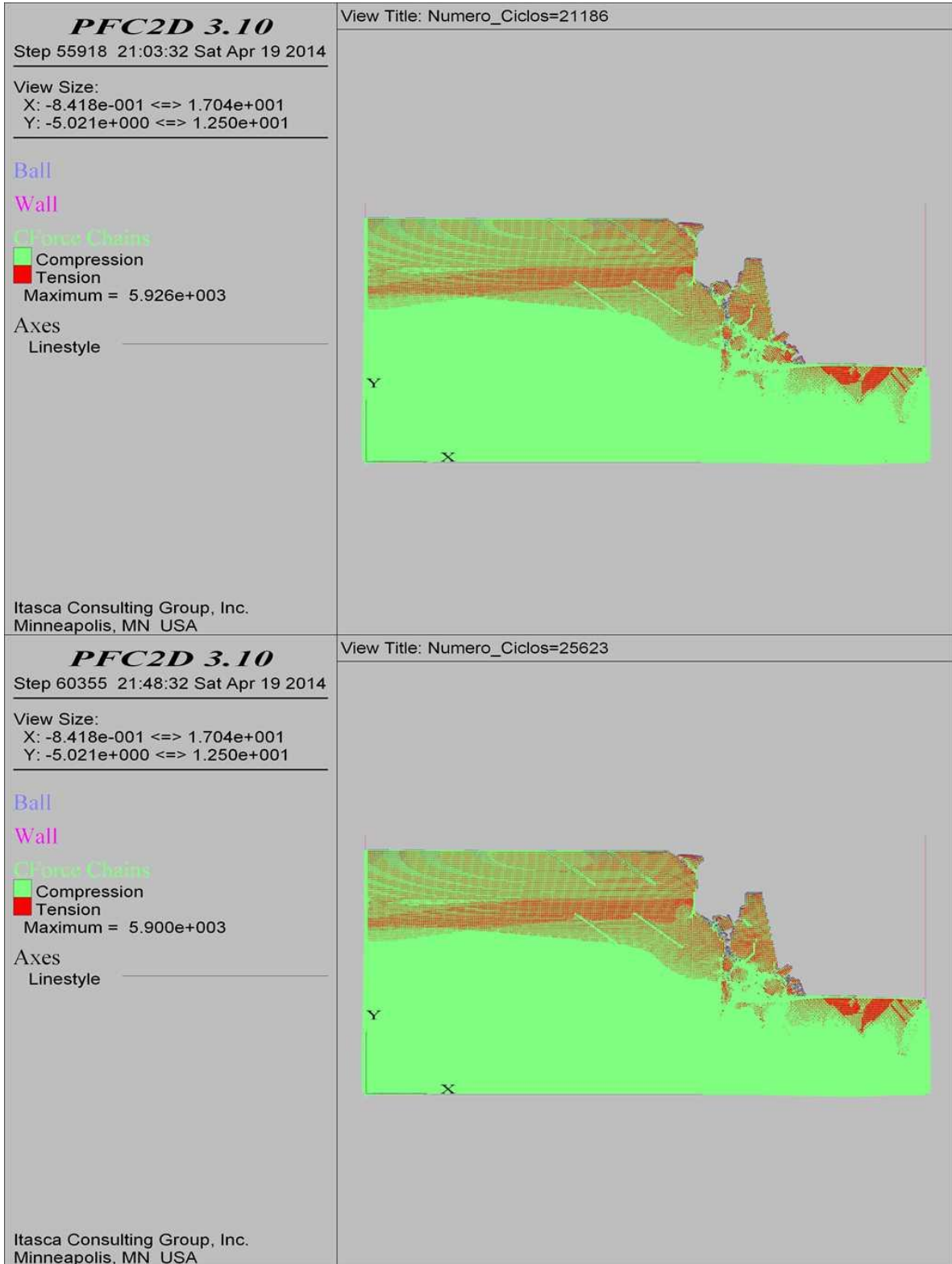
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



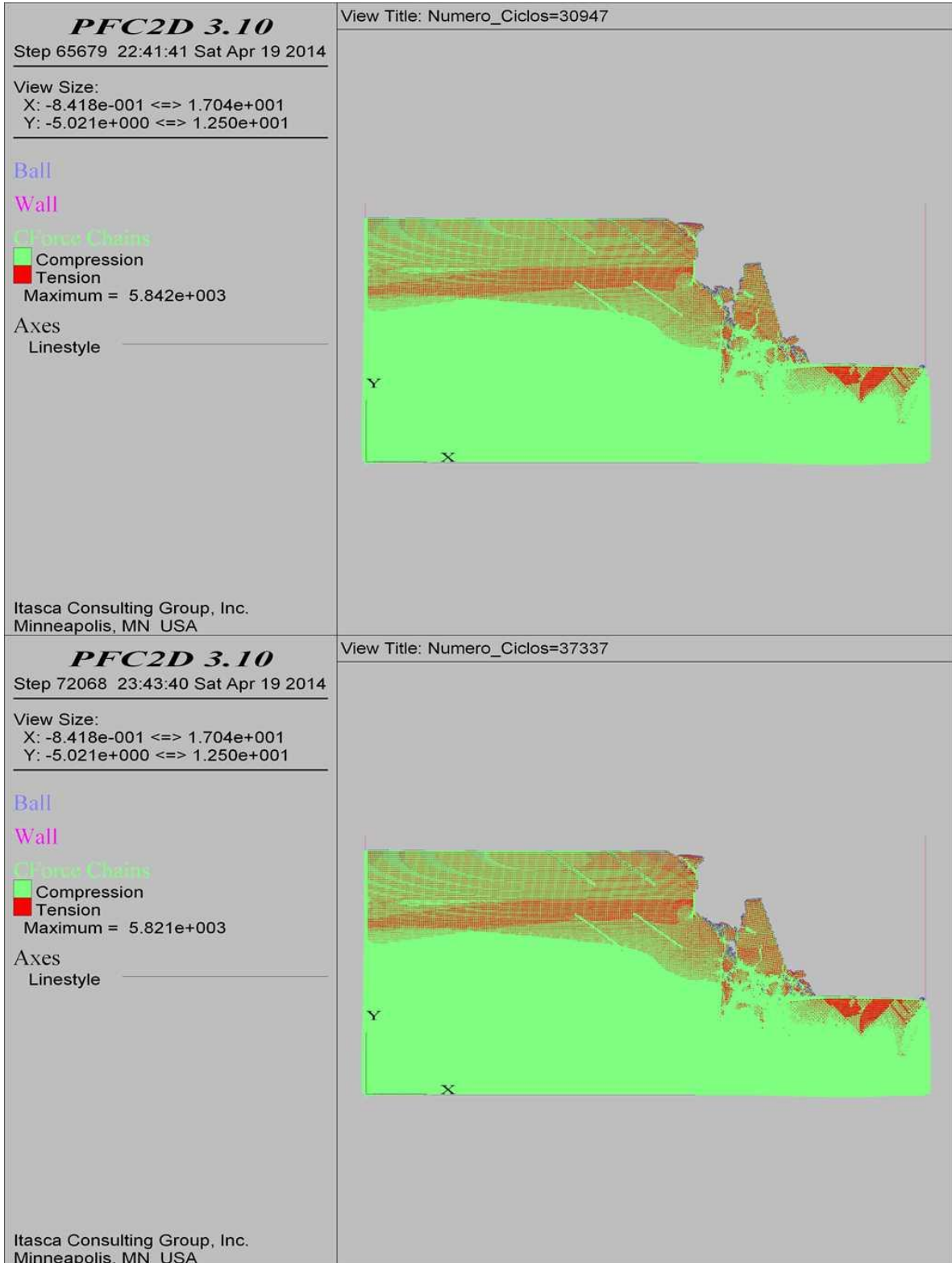
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



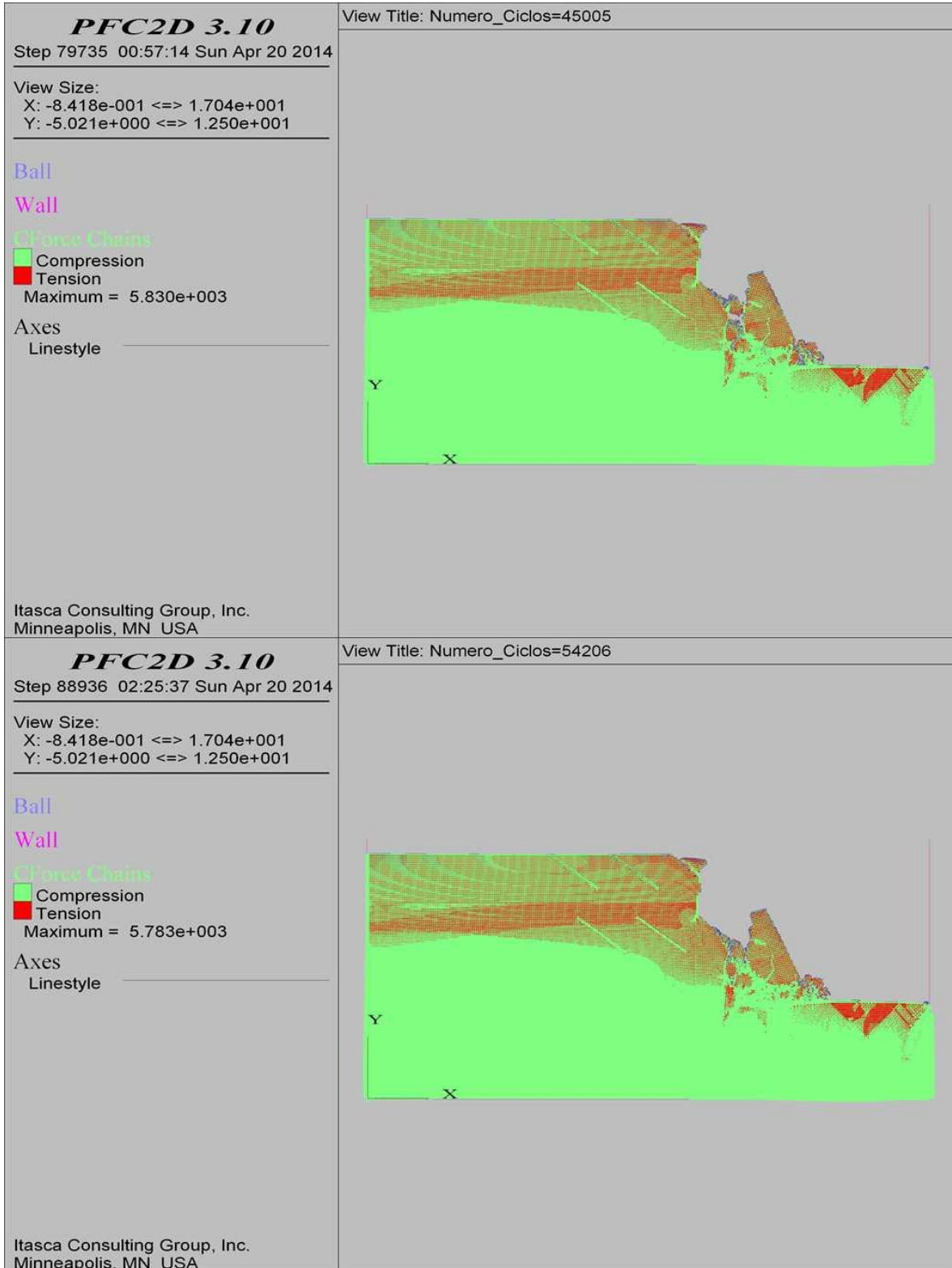
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



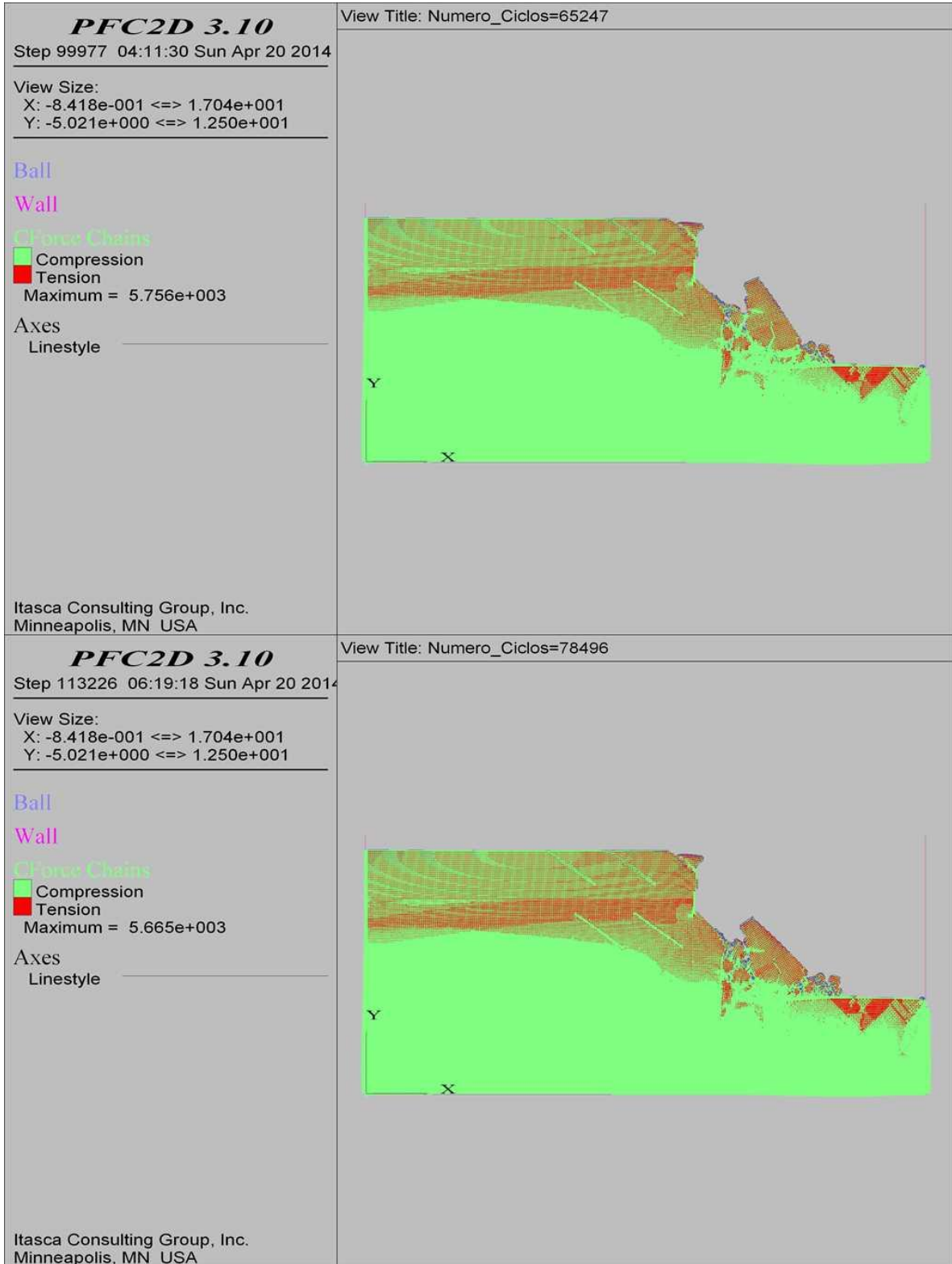
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



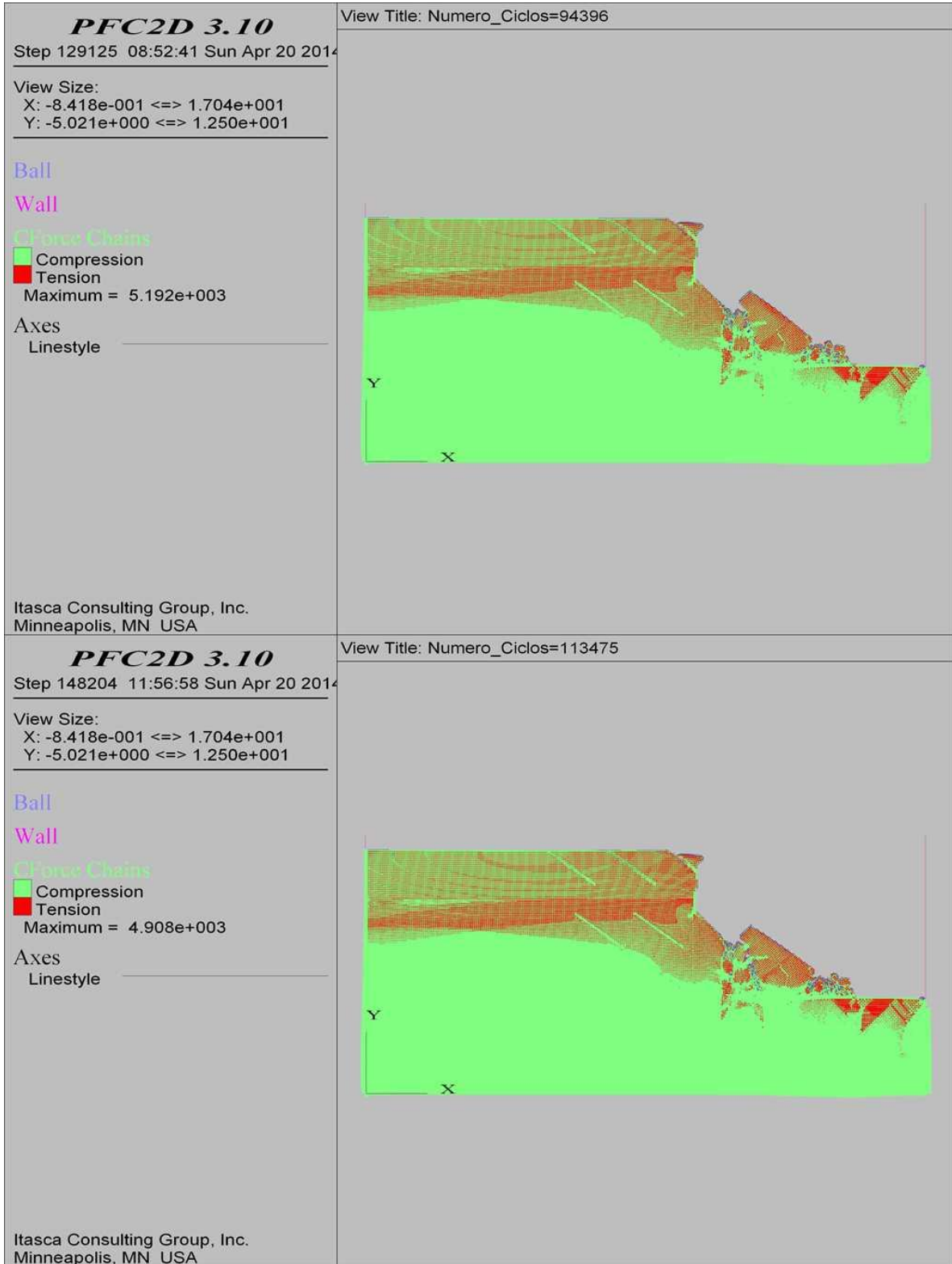
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



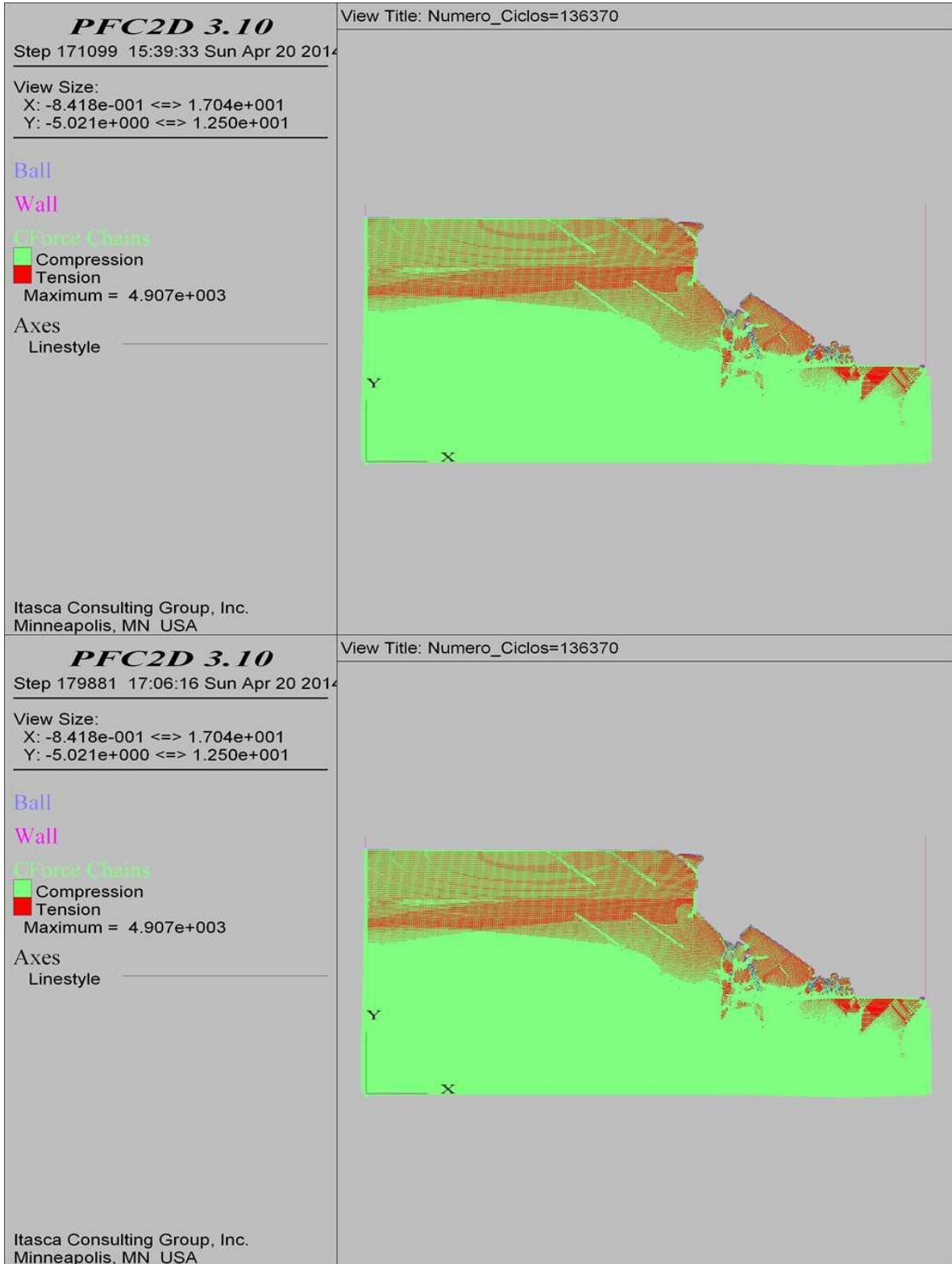
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



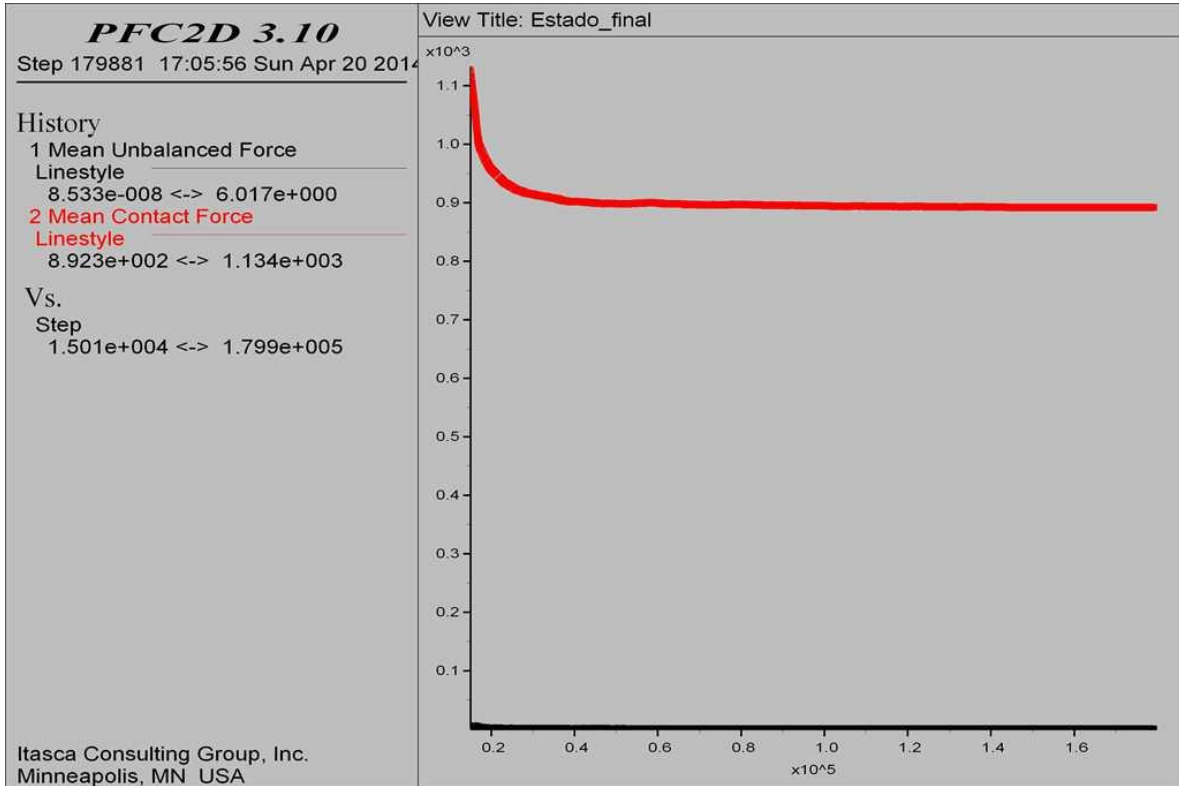
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



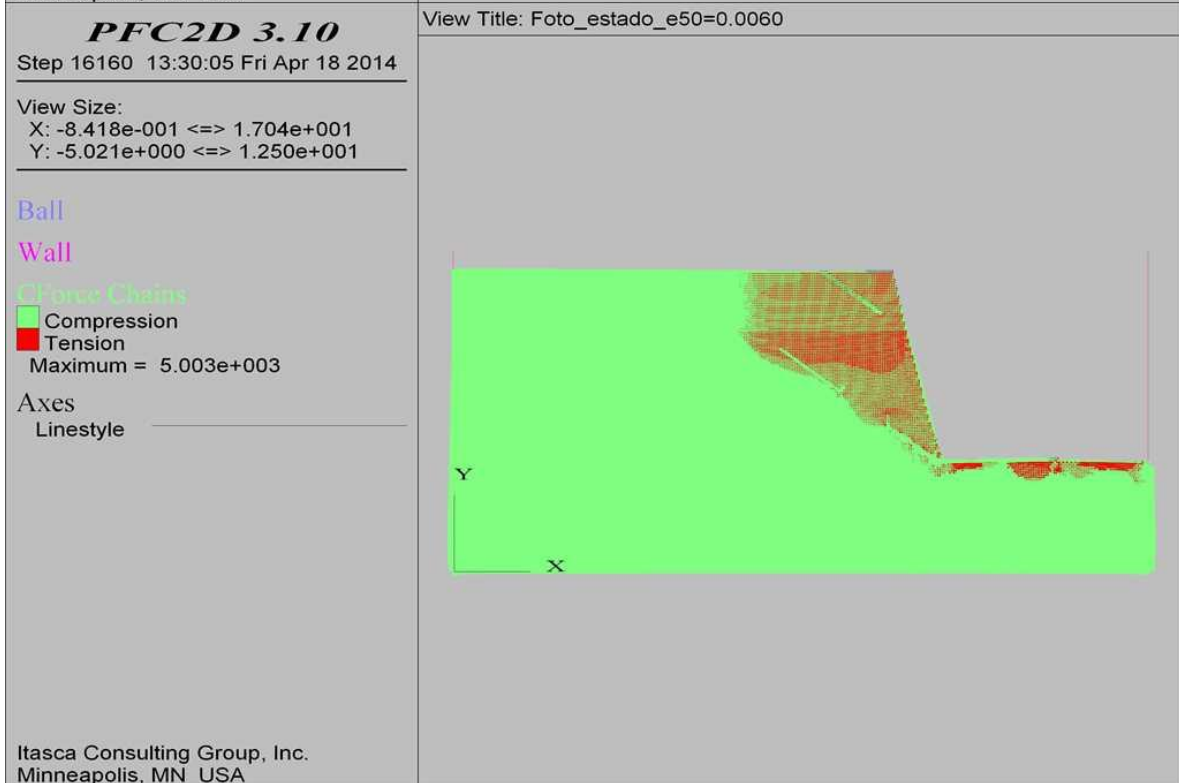
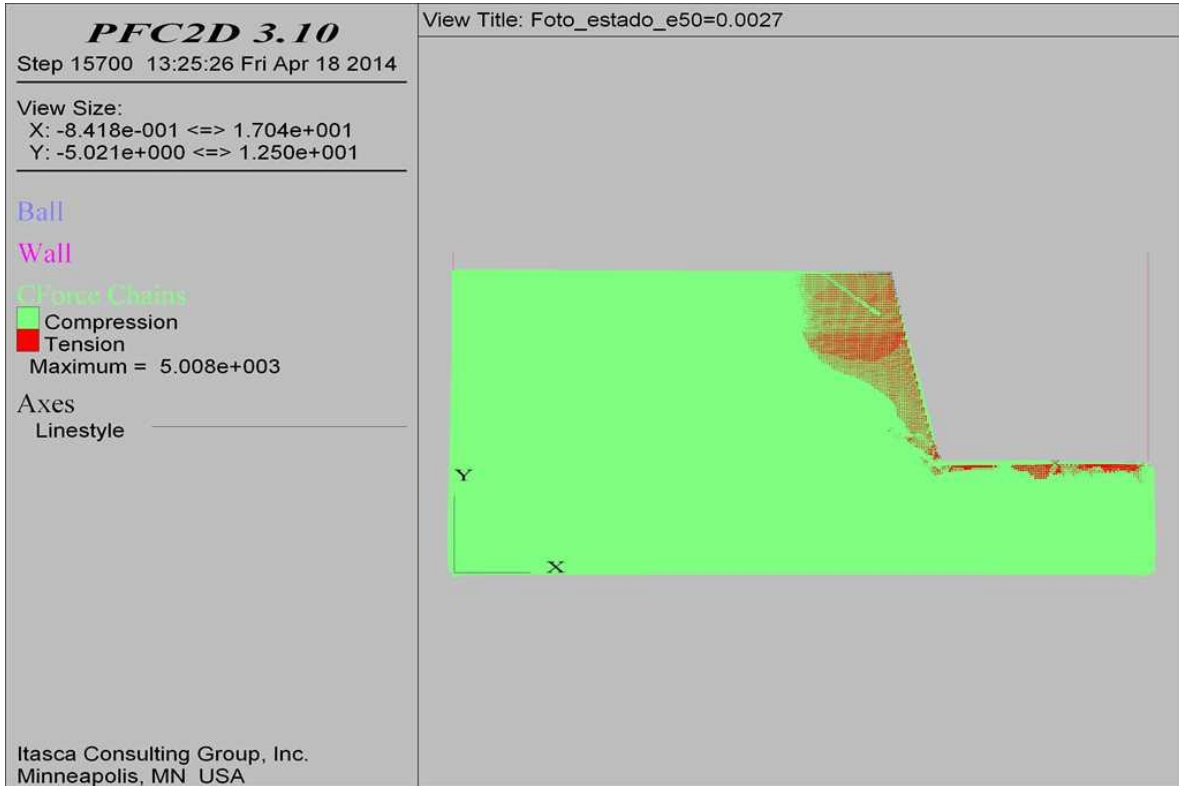
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



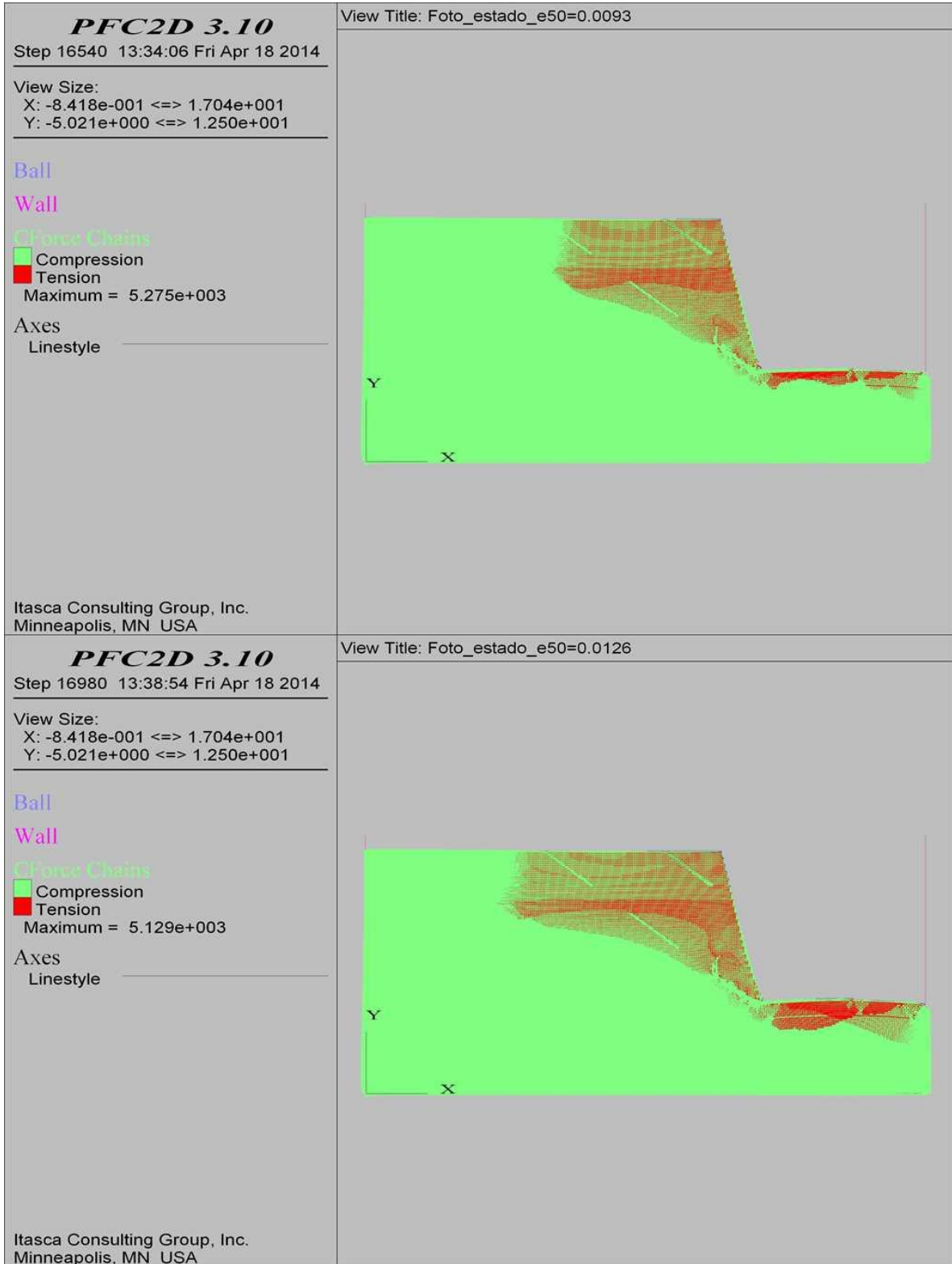
COMBINACIÓN 23: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



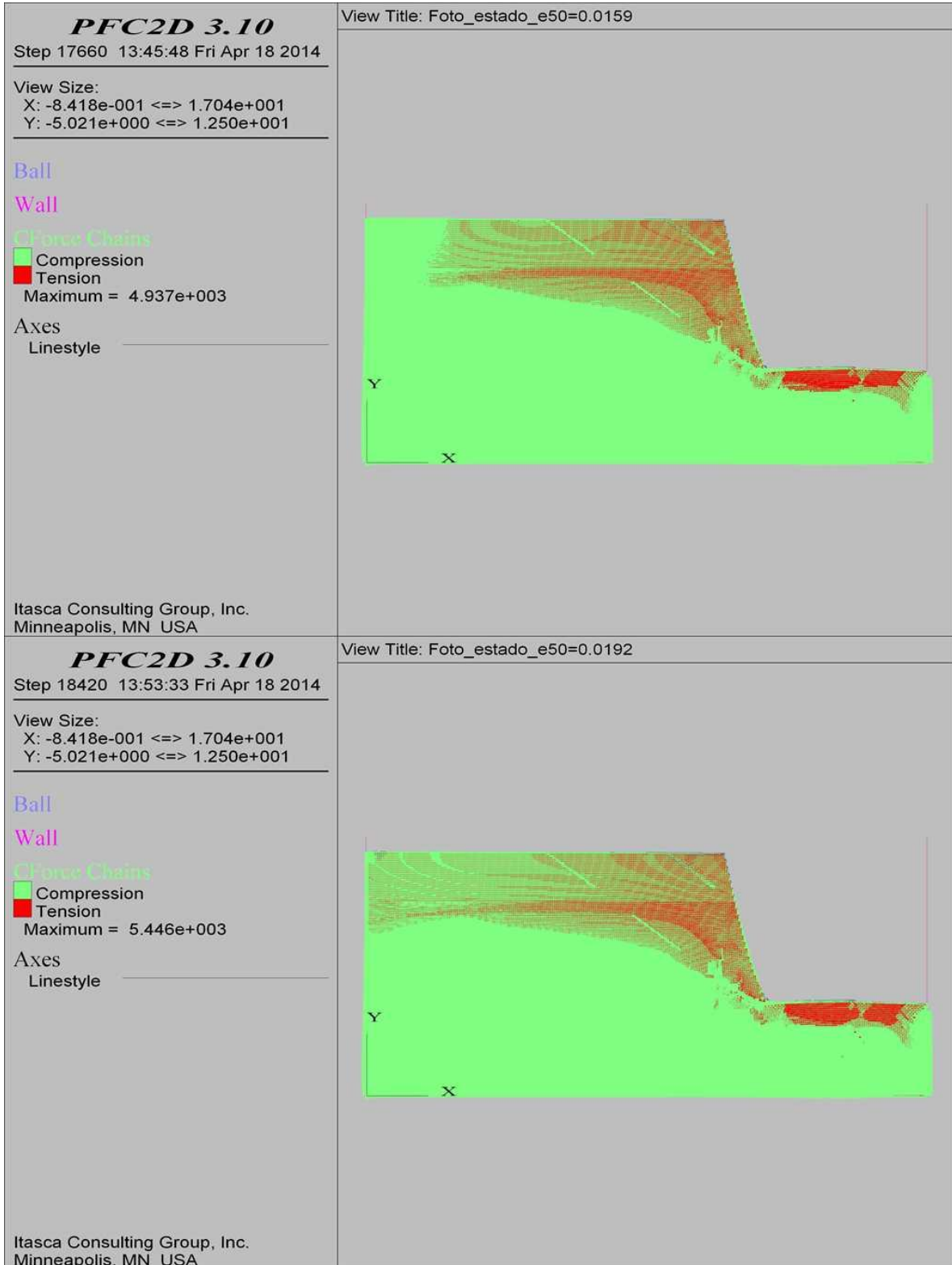
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



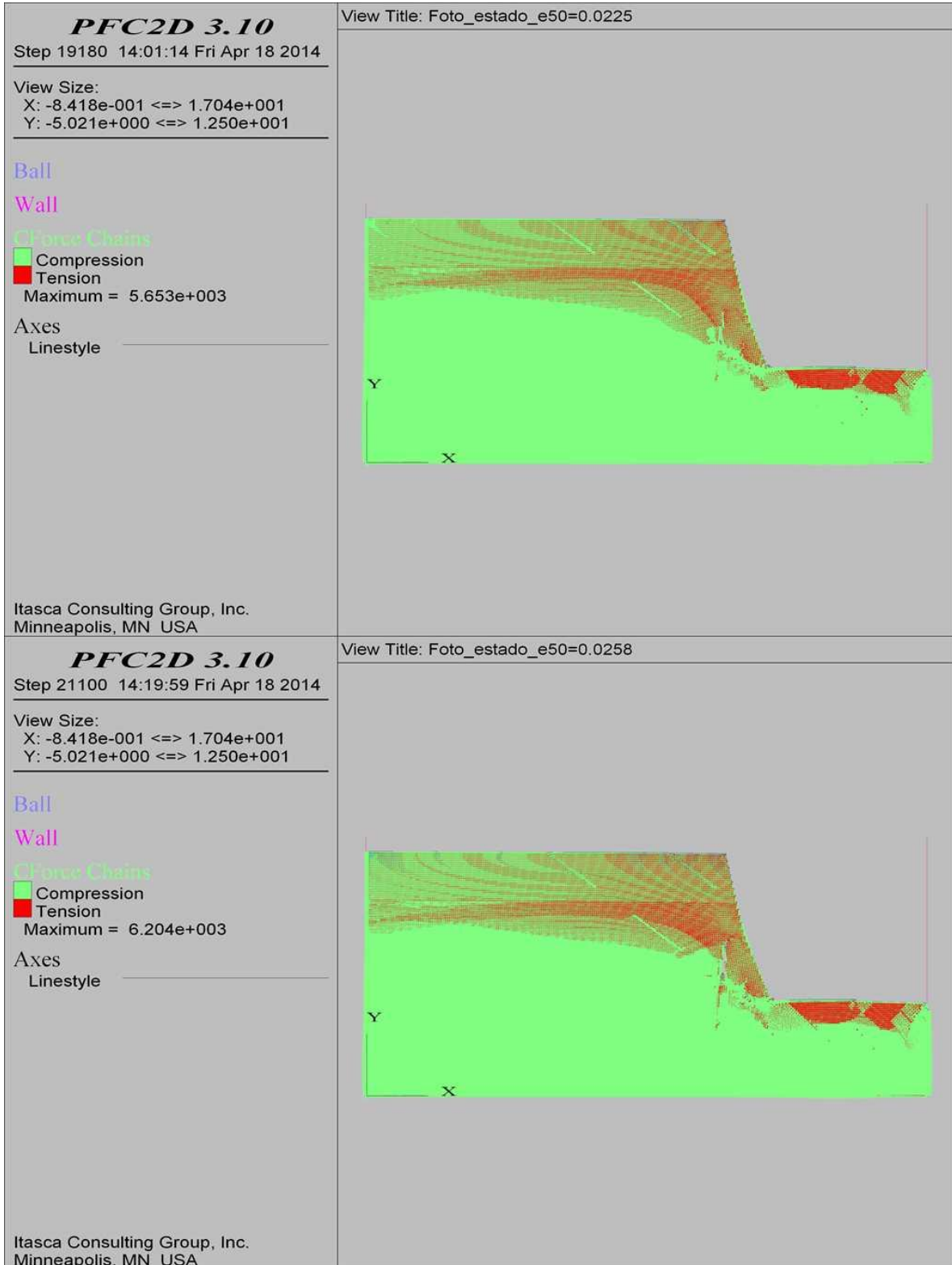
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



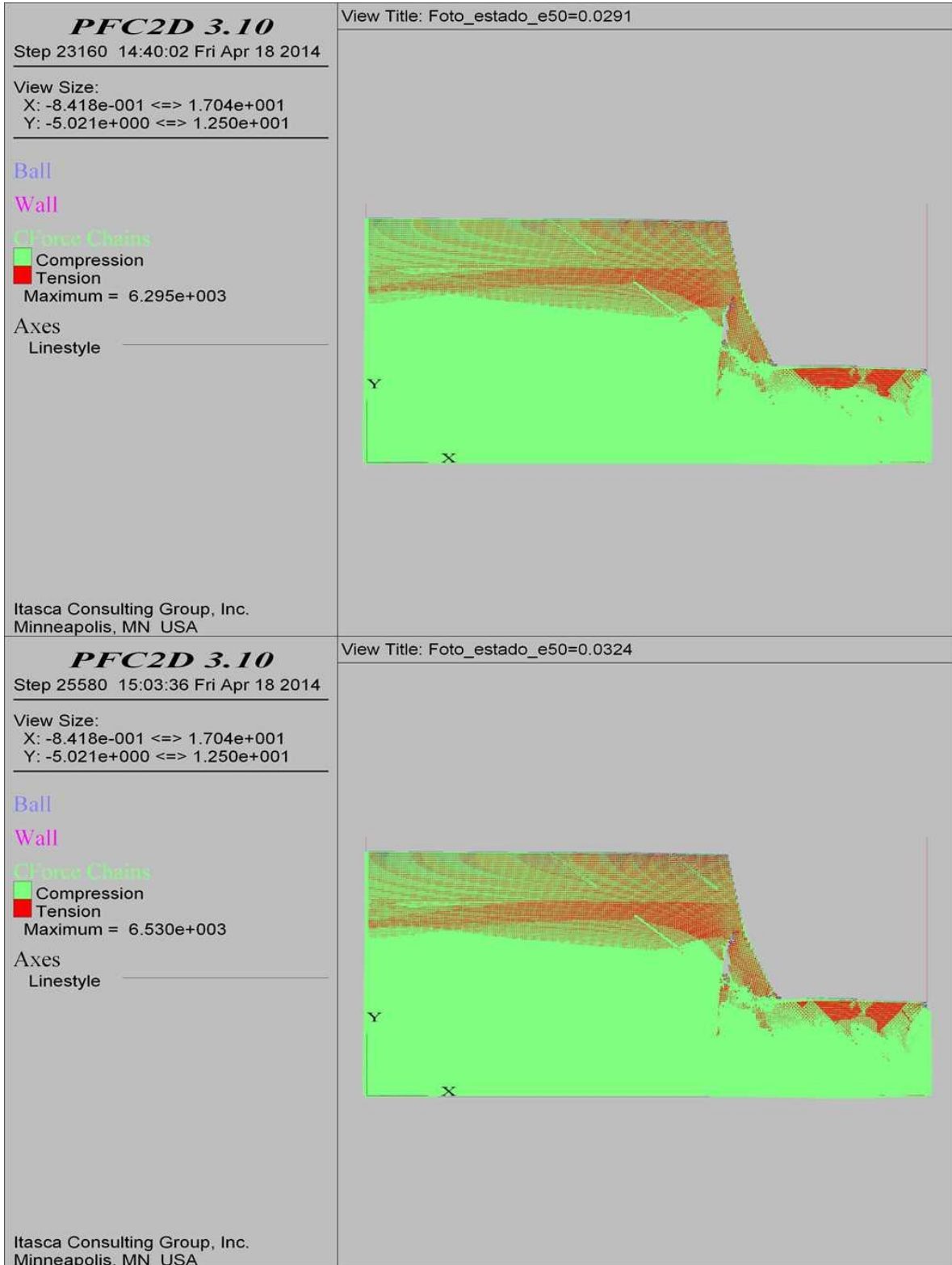
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



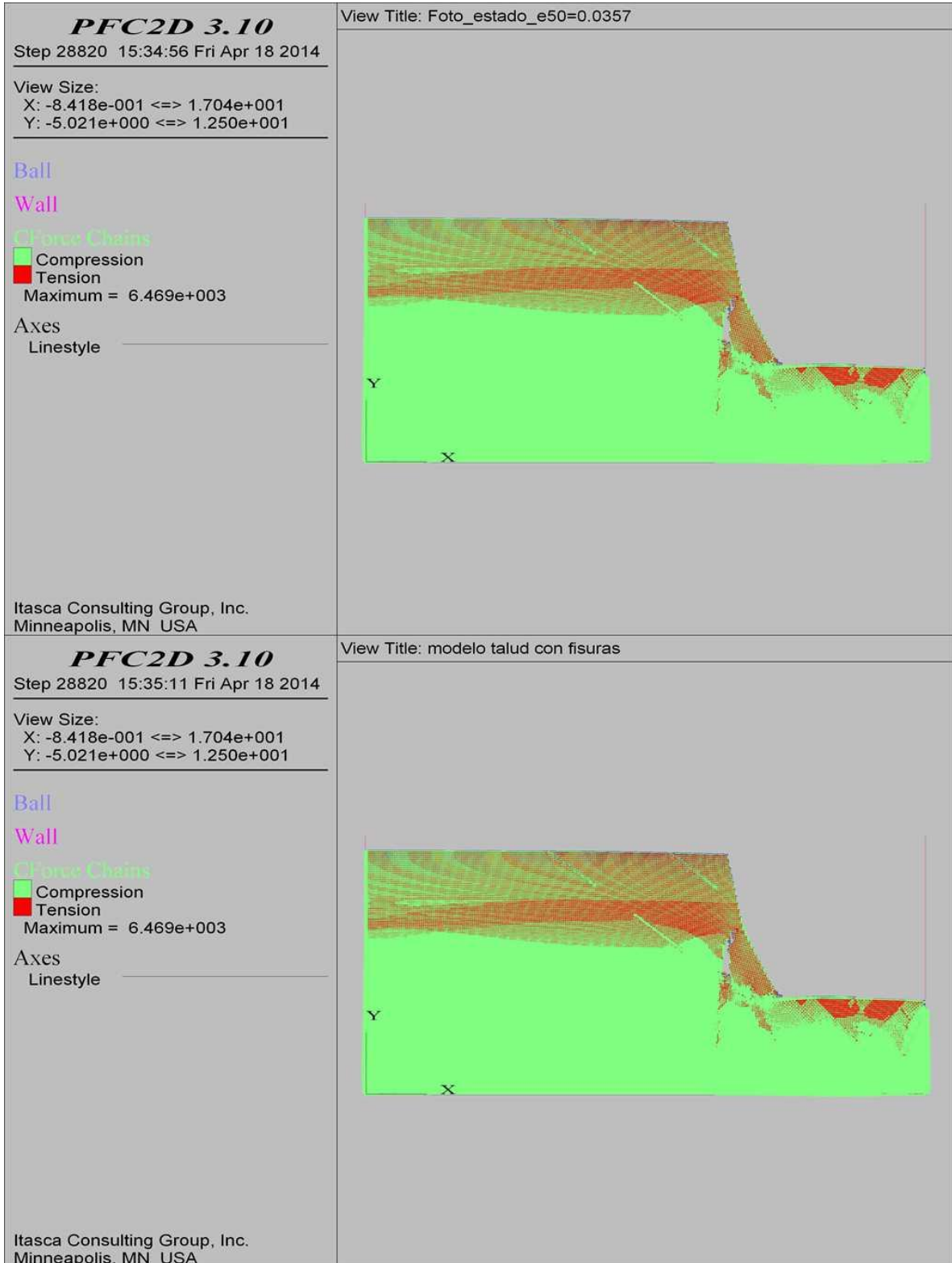
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



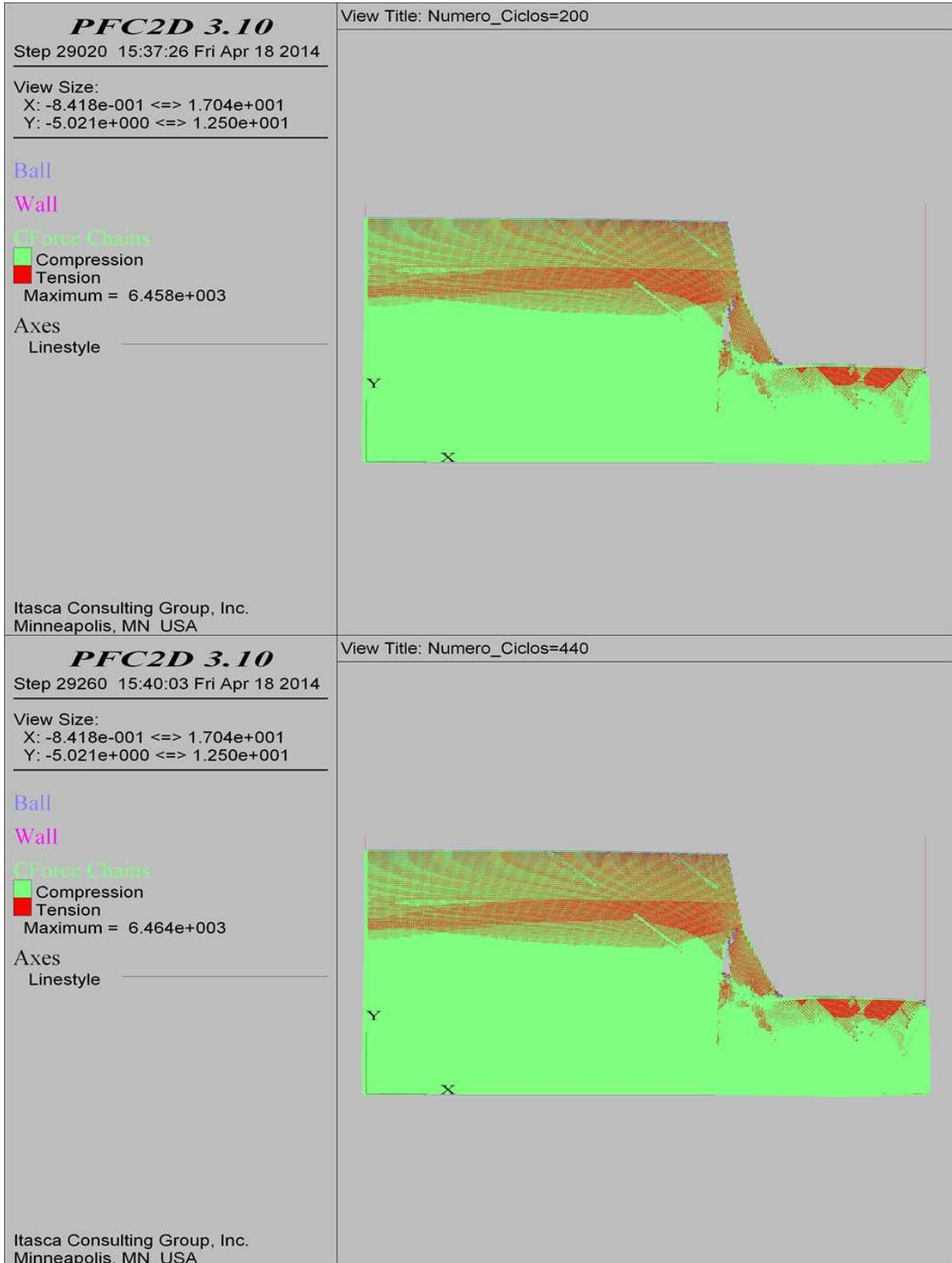
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



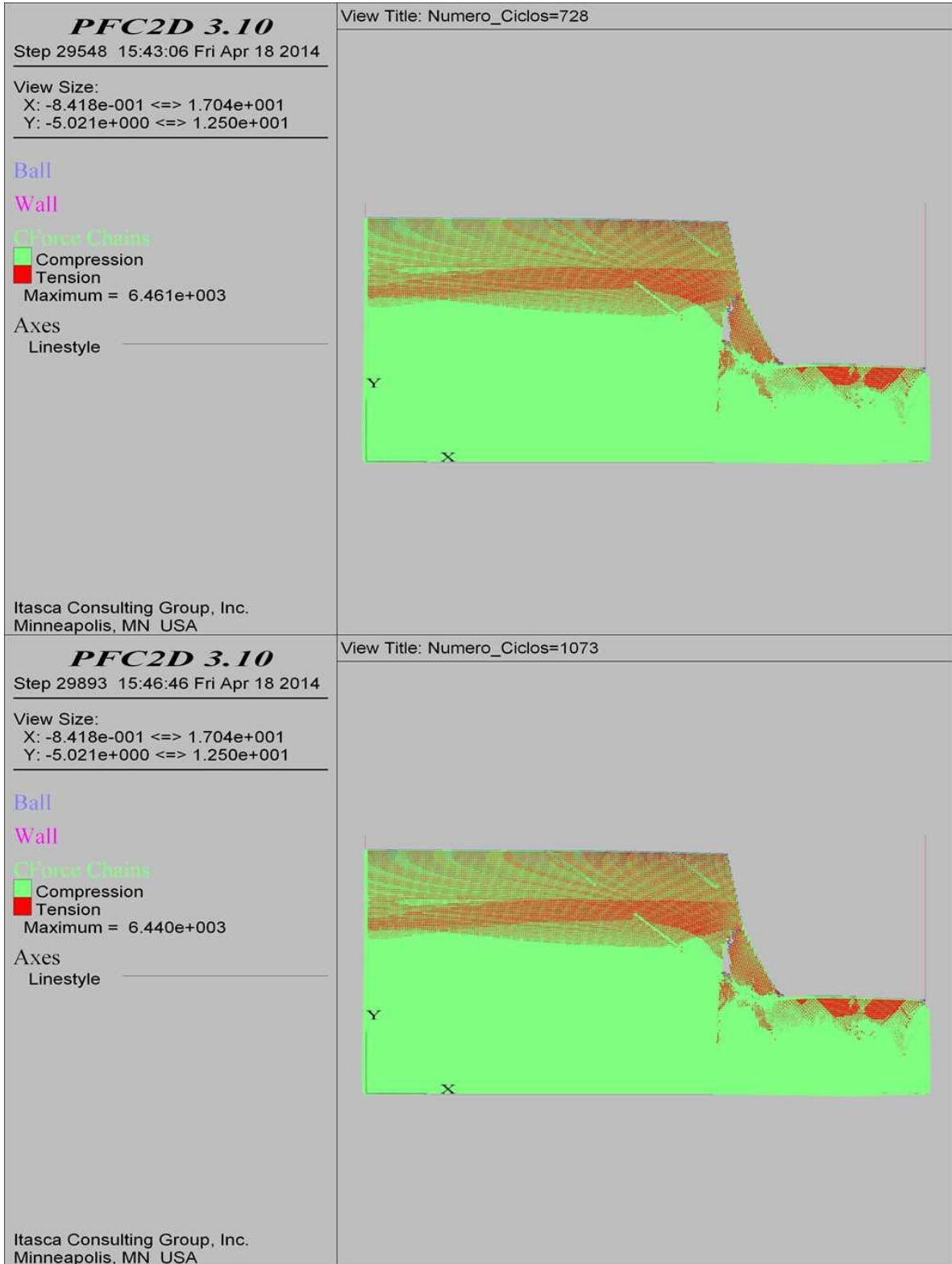
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



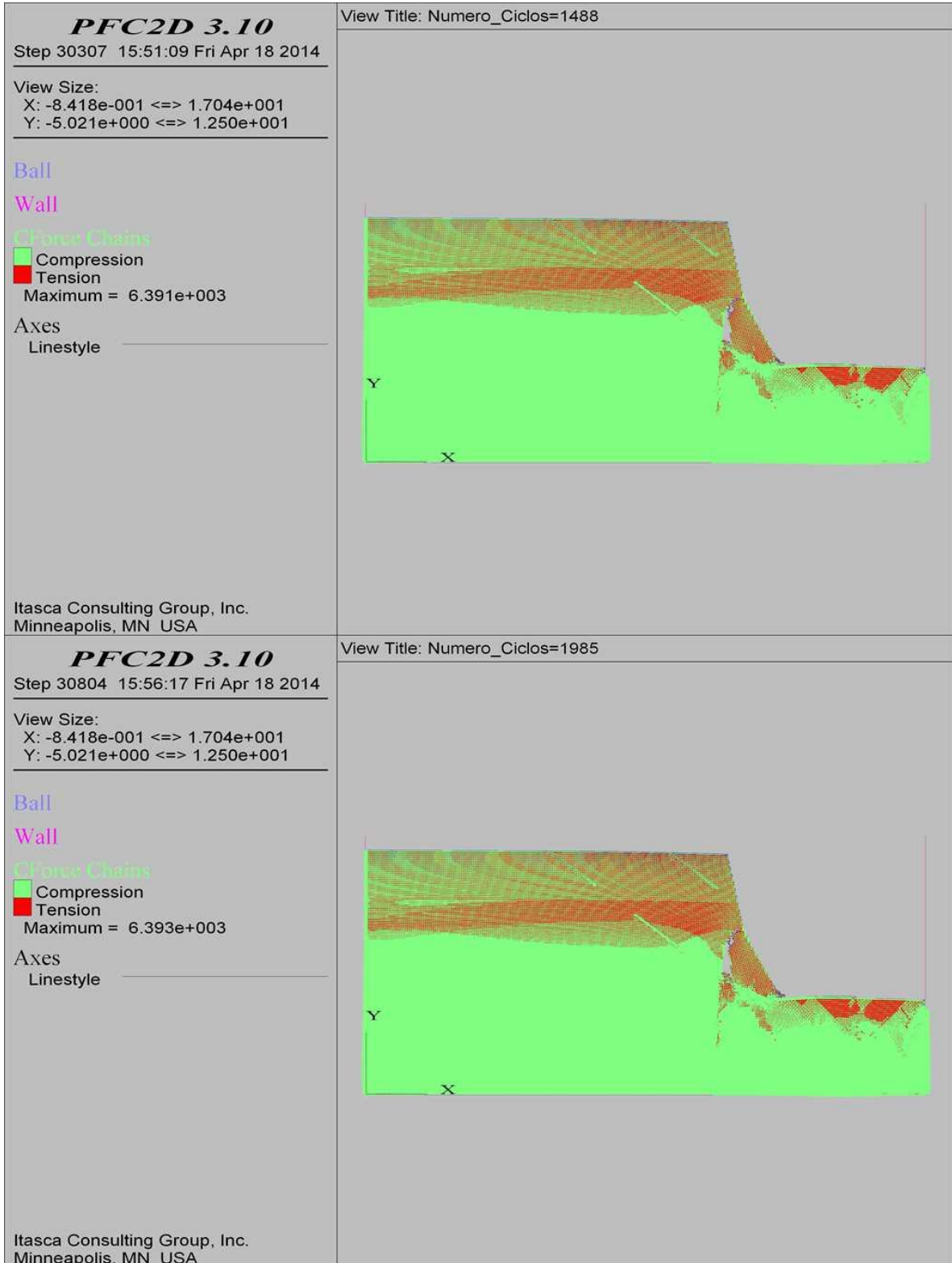
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



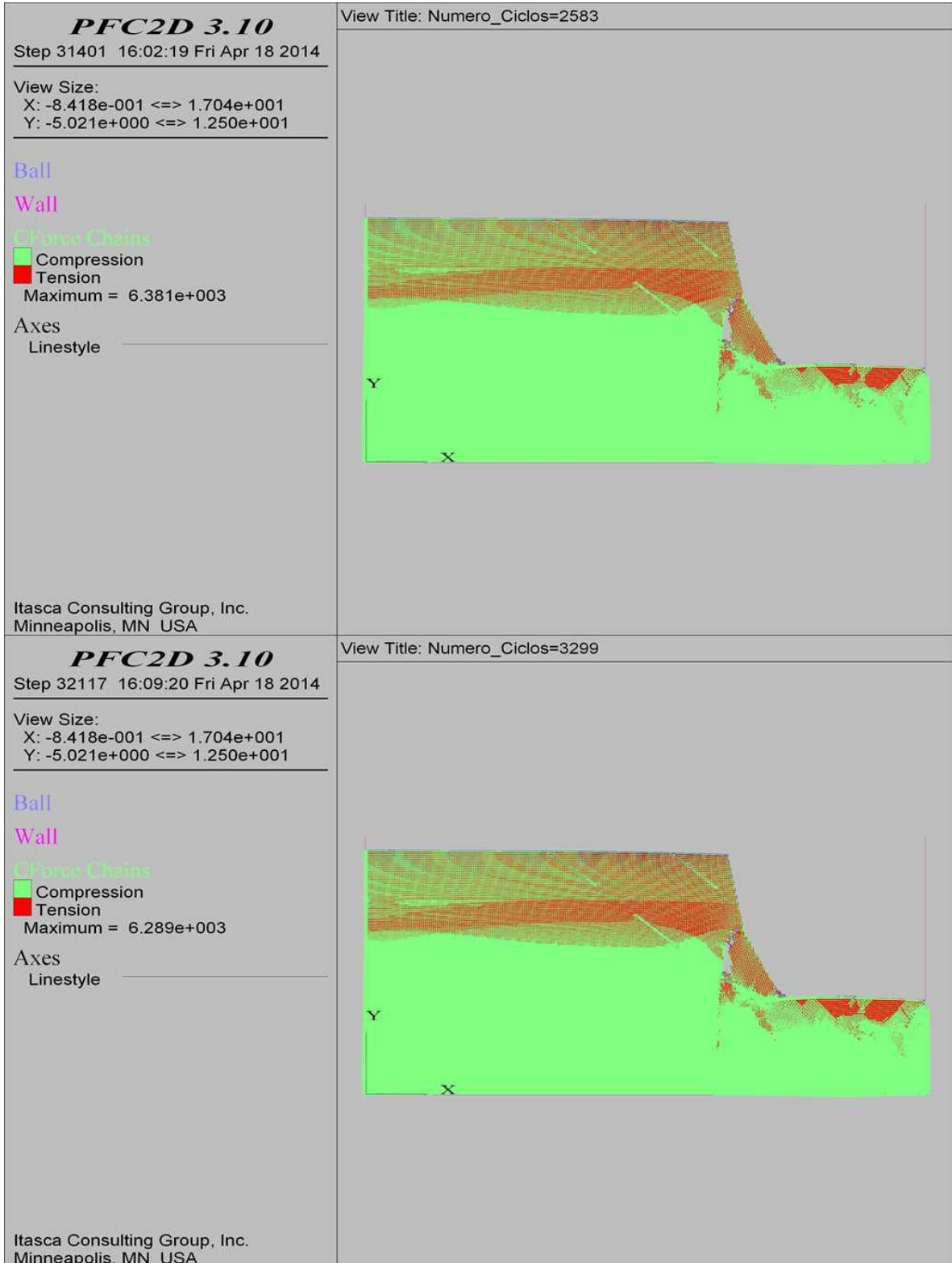
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



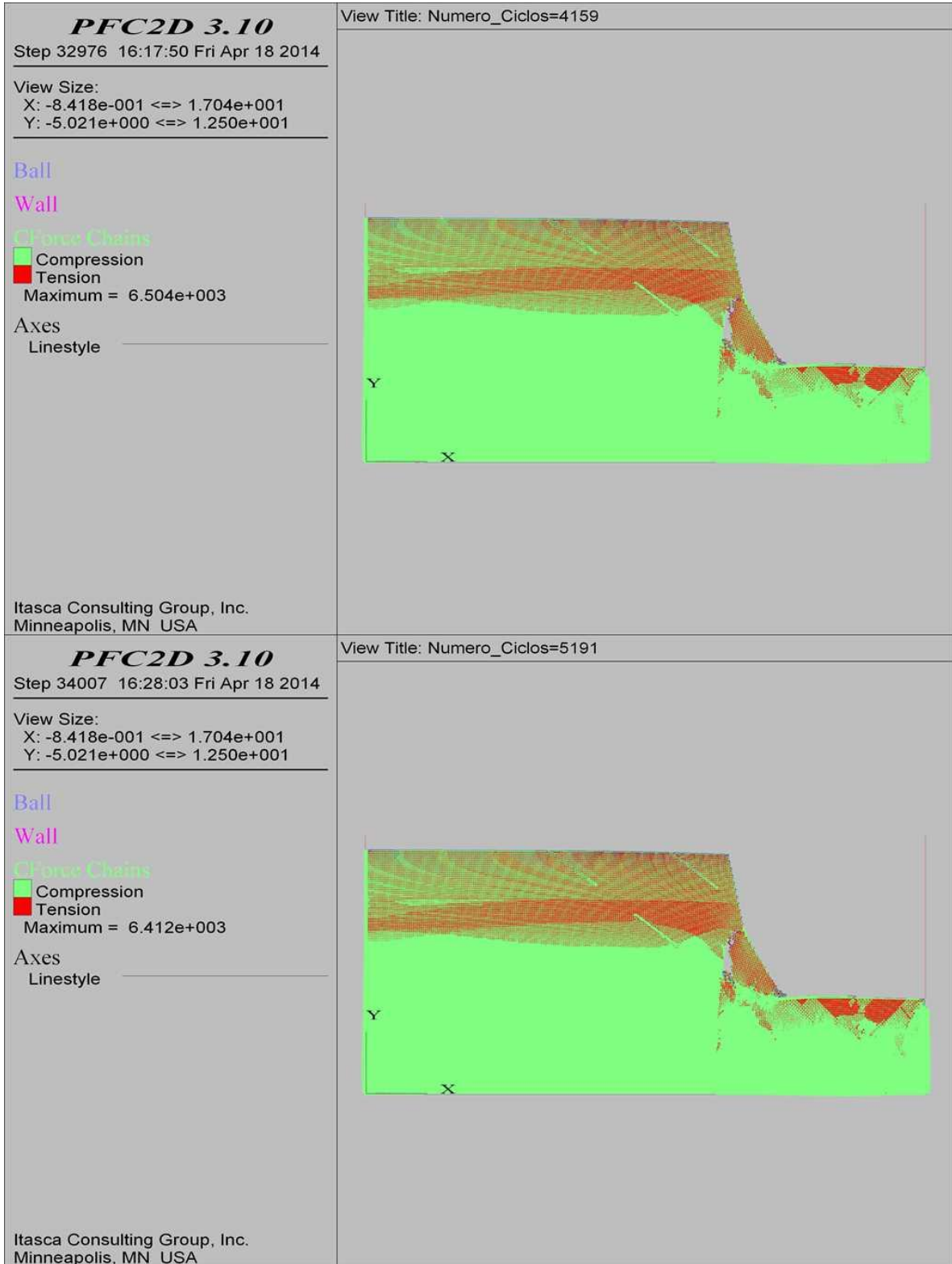
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



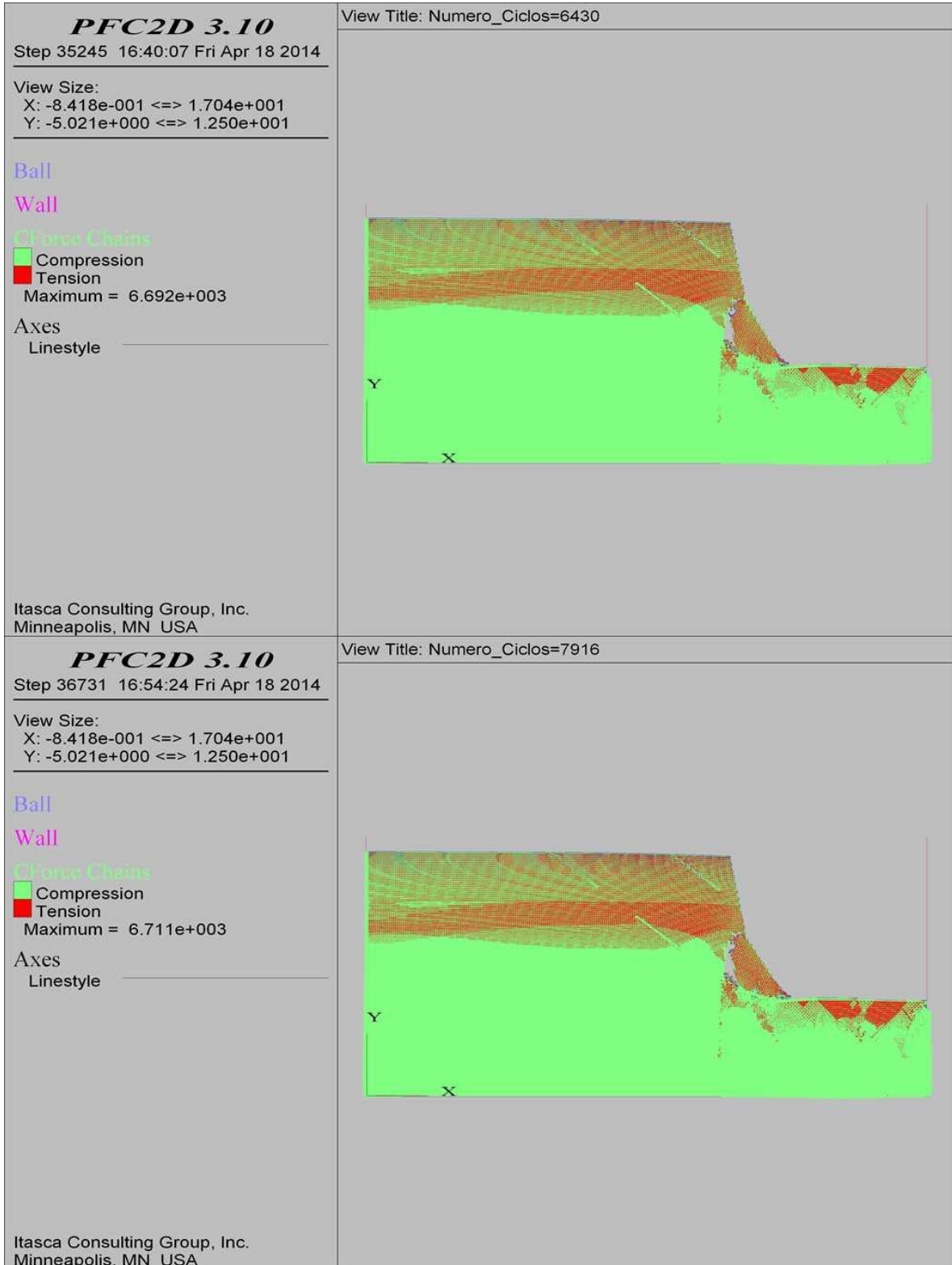
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



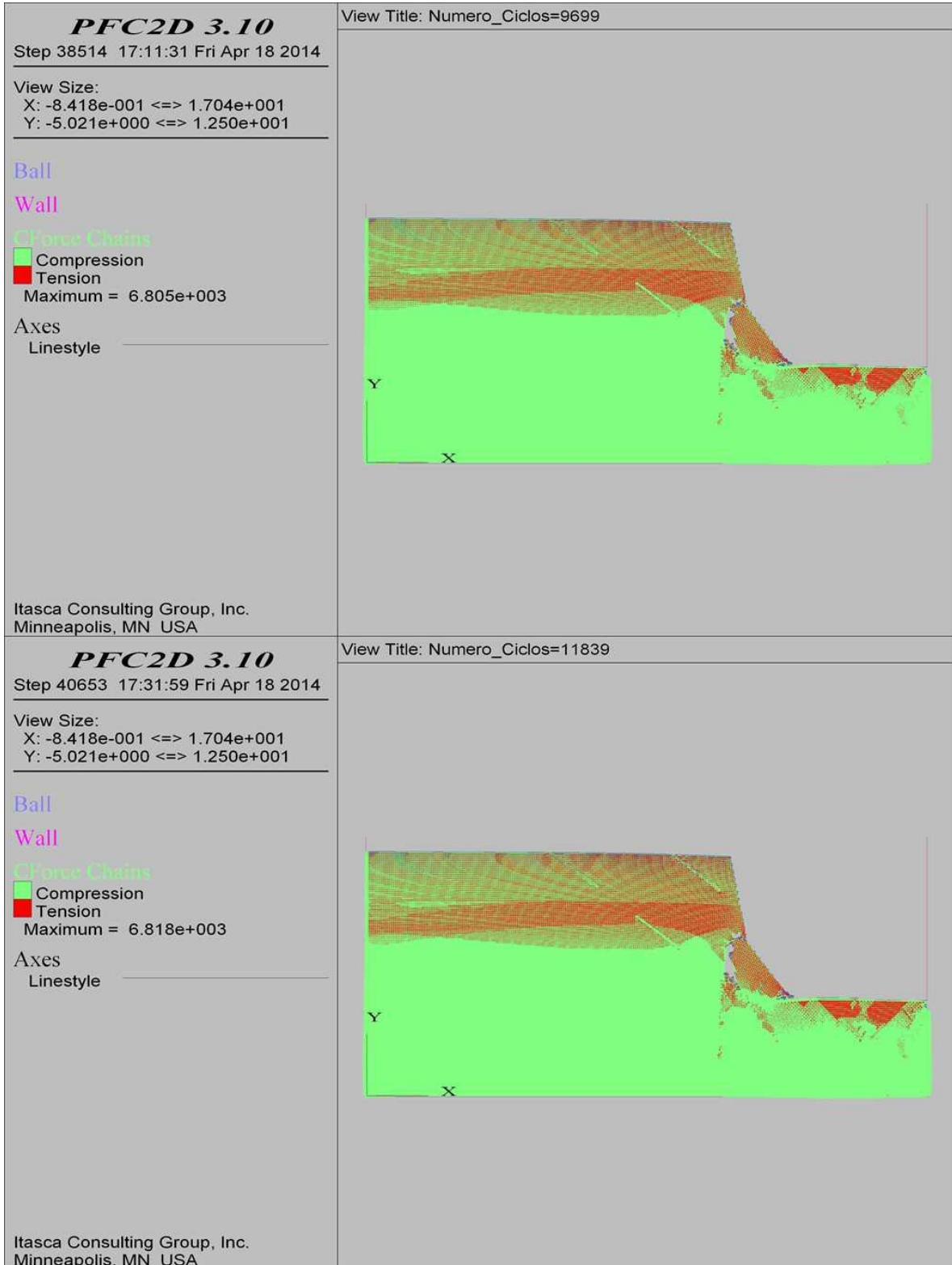
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



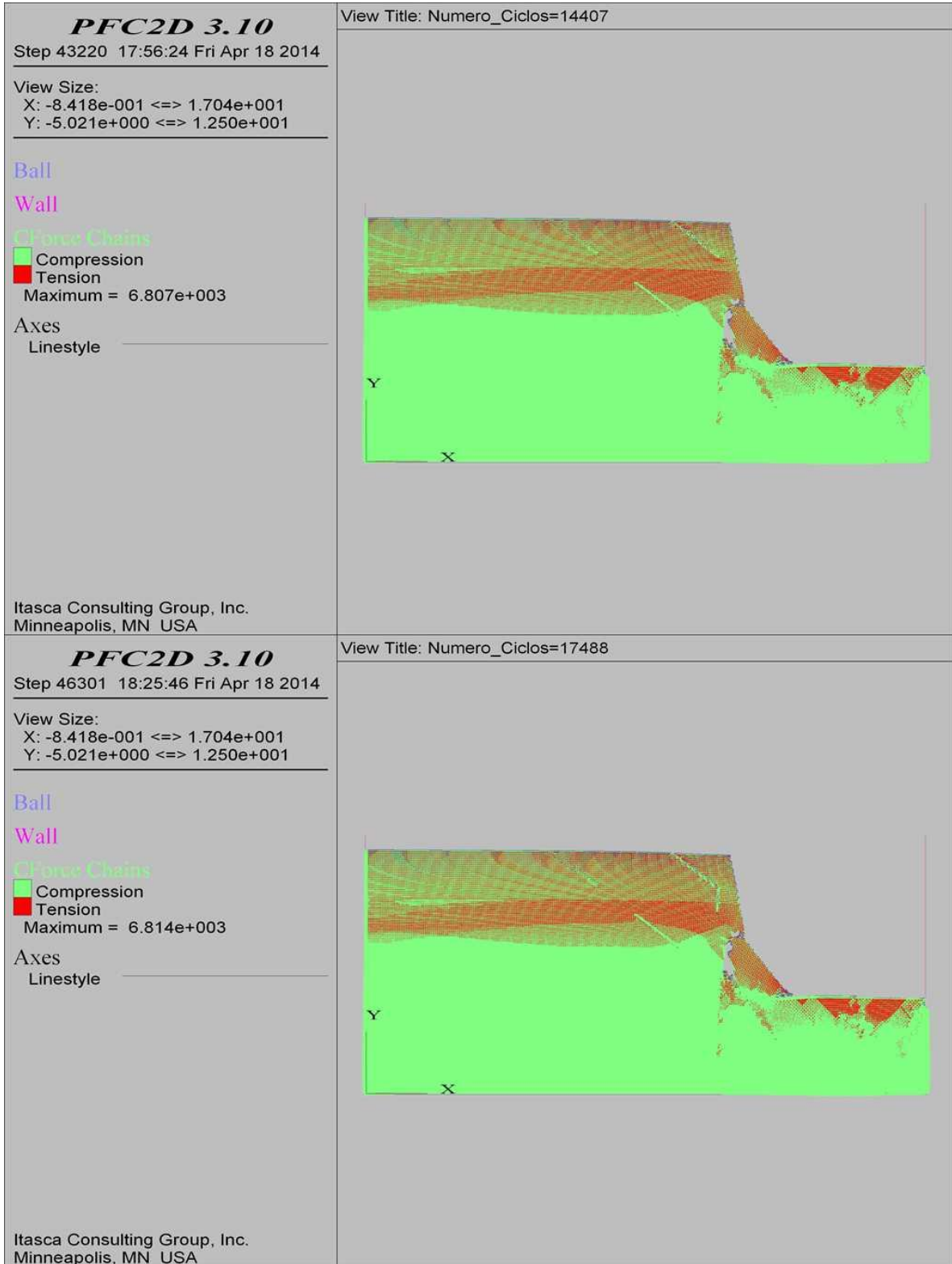
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



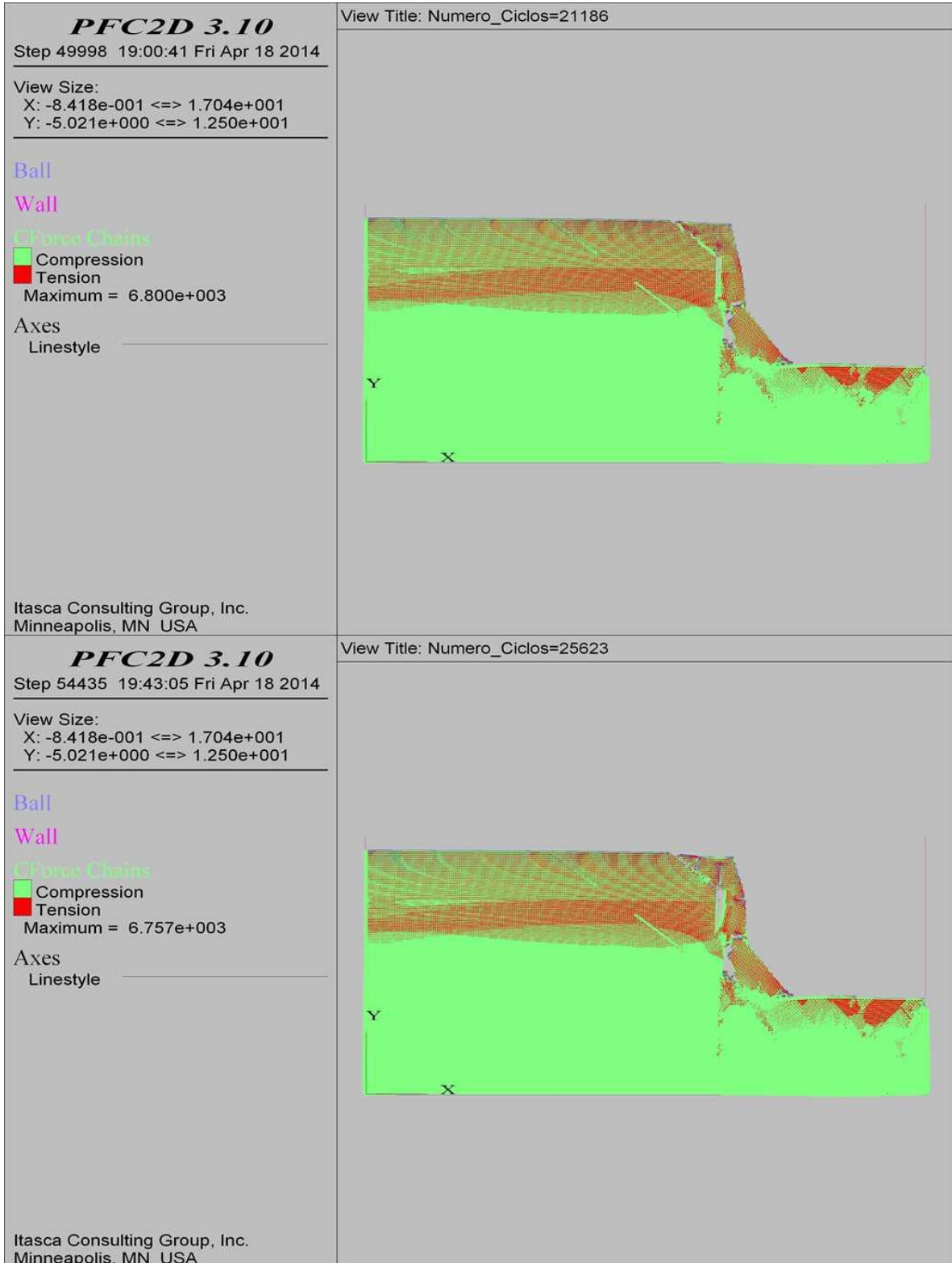
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



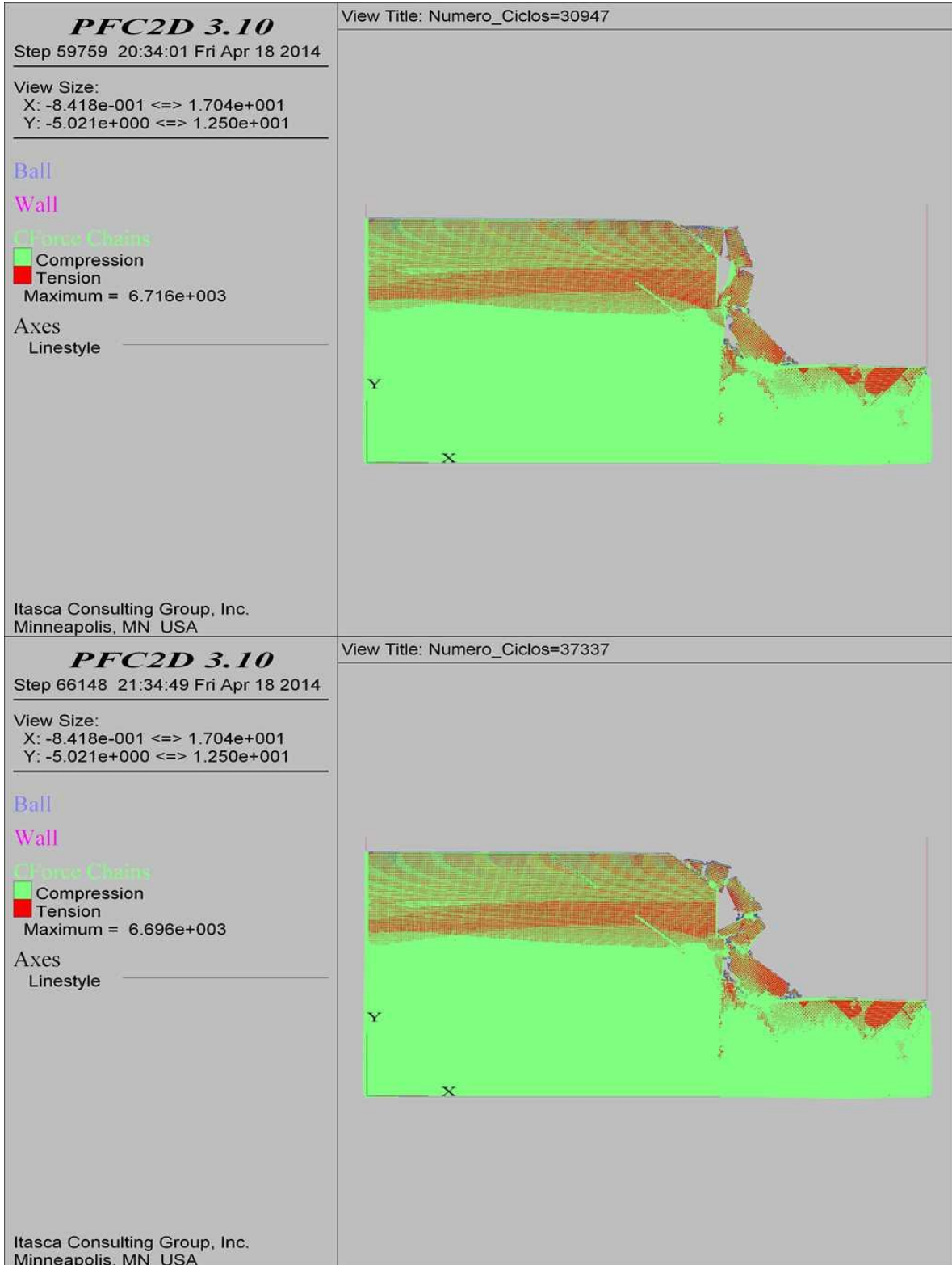
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



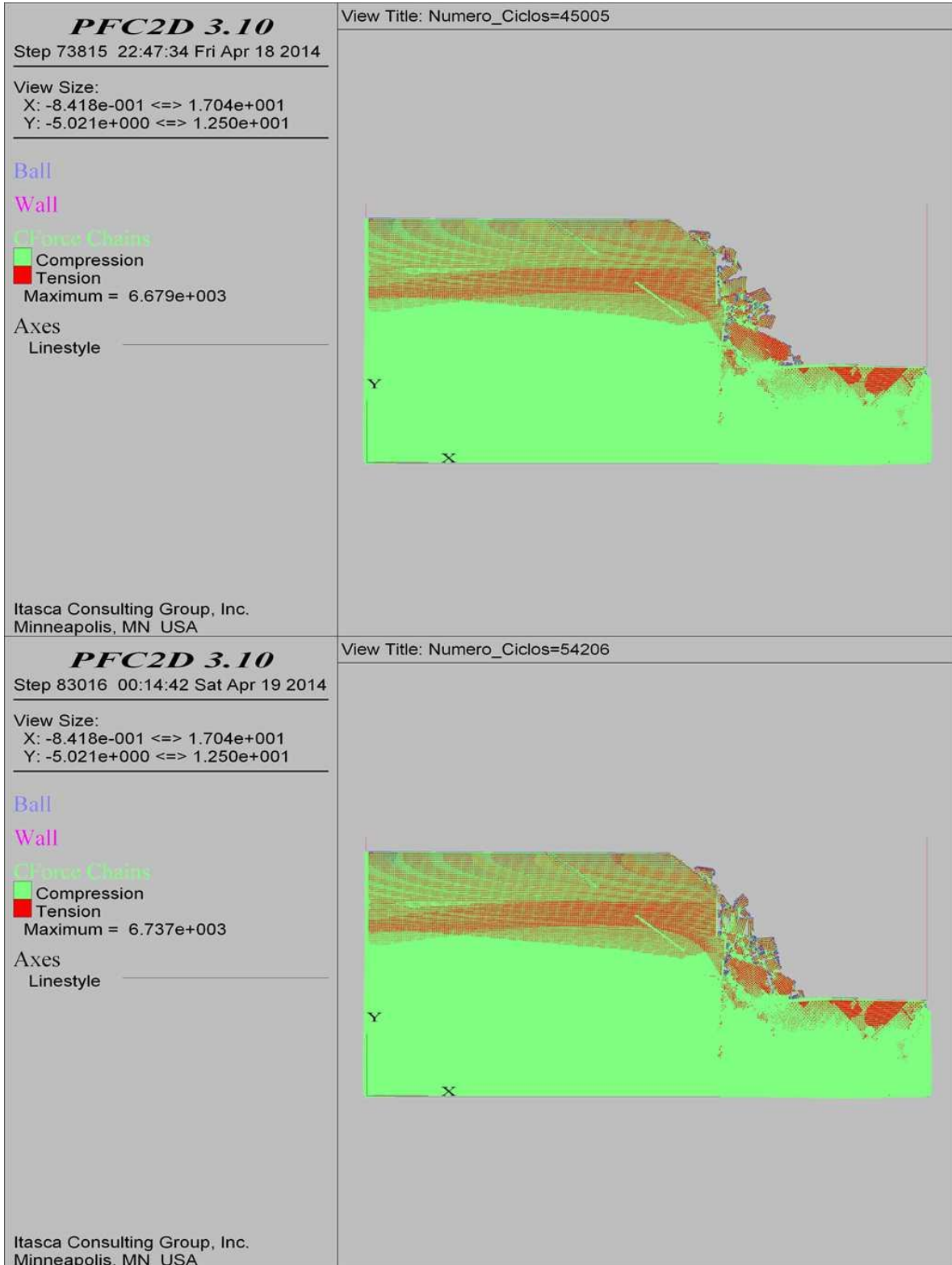
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



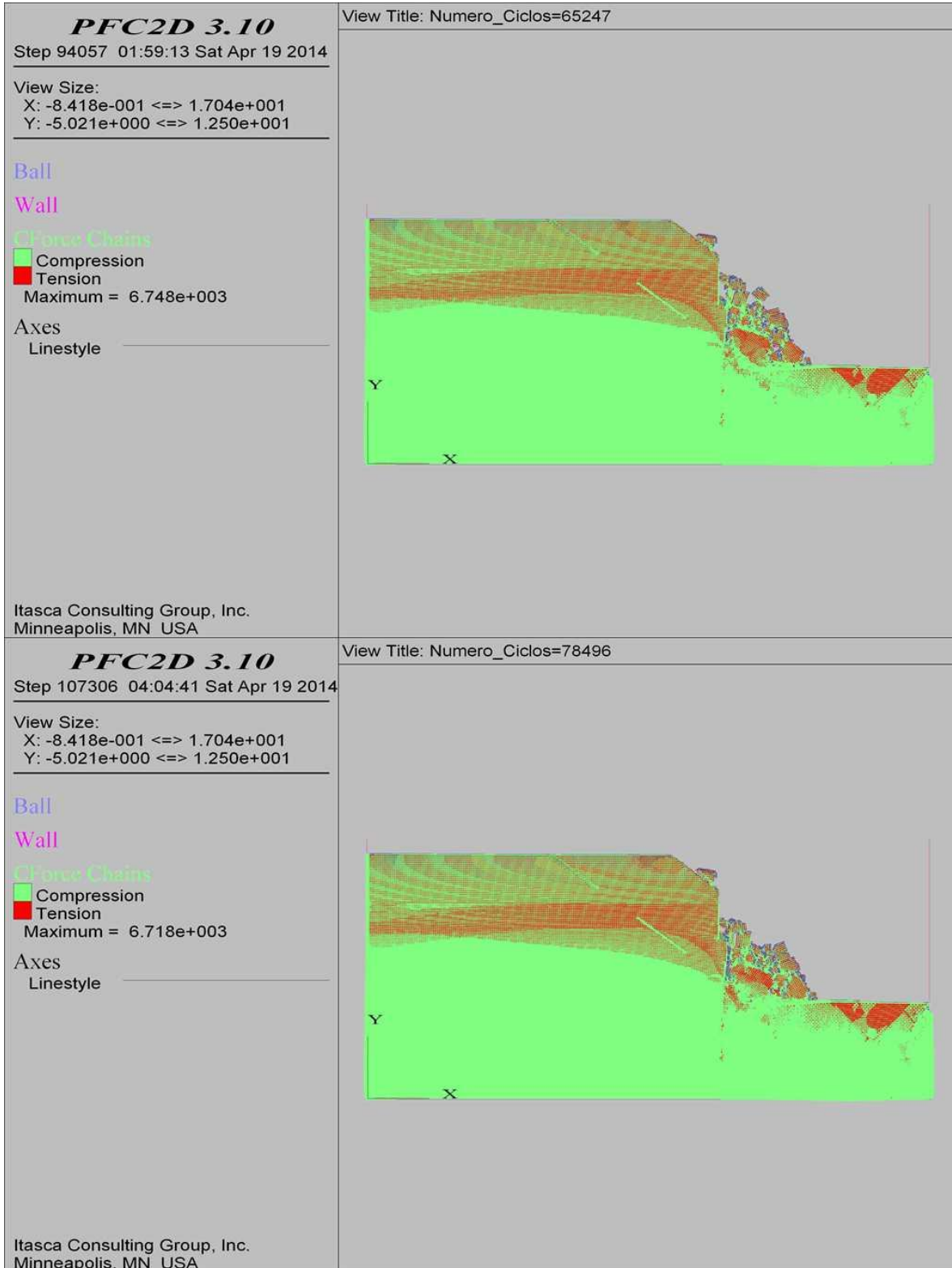
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



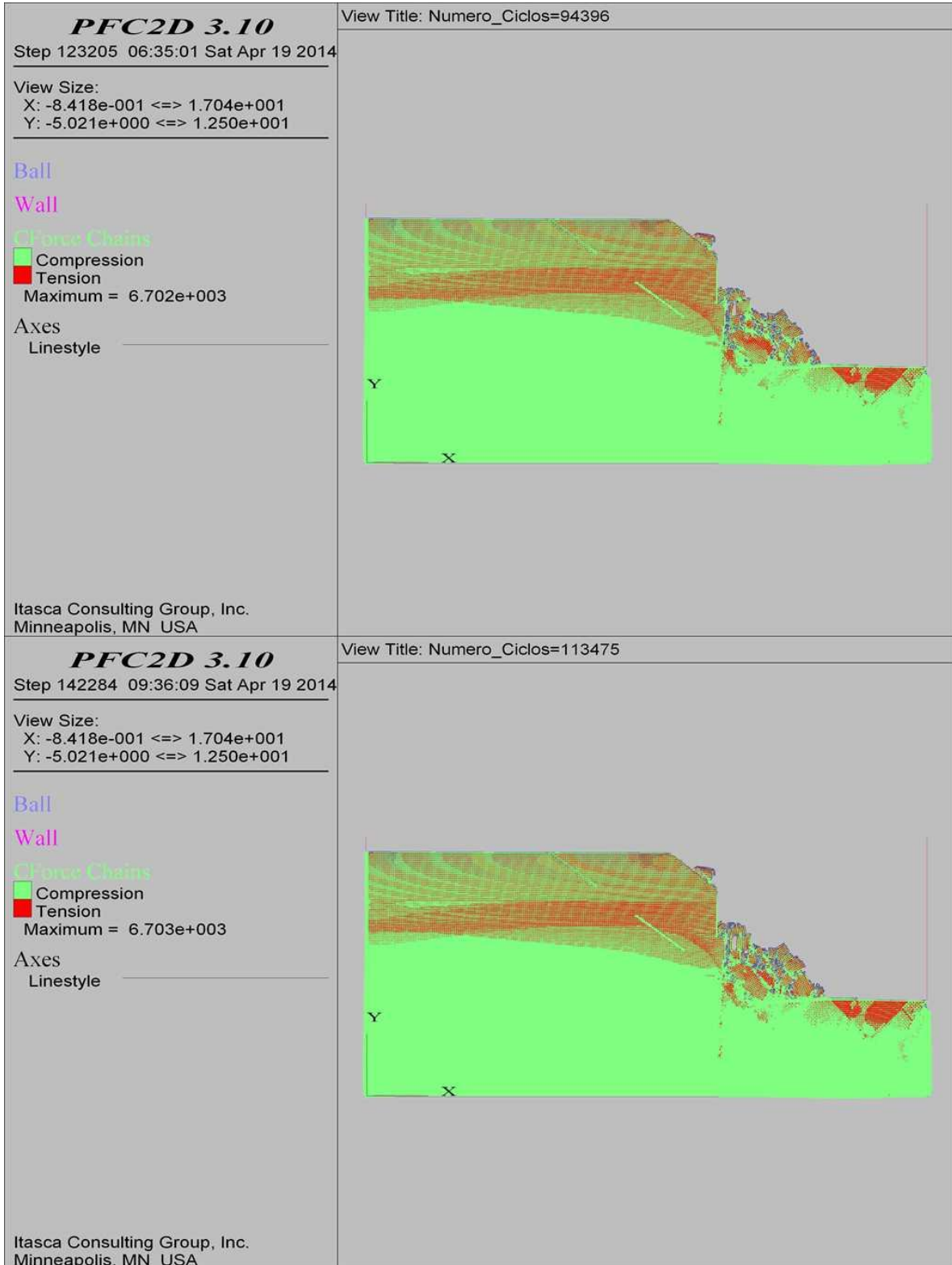
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



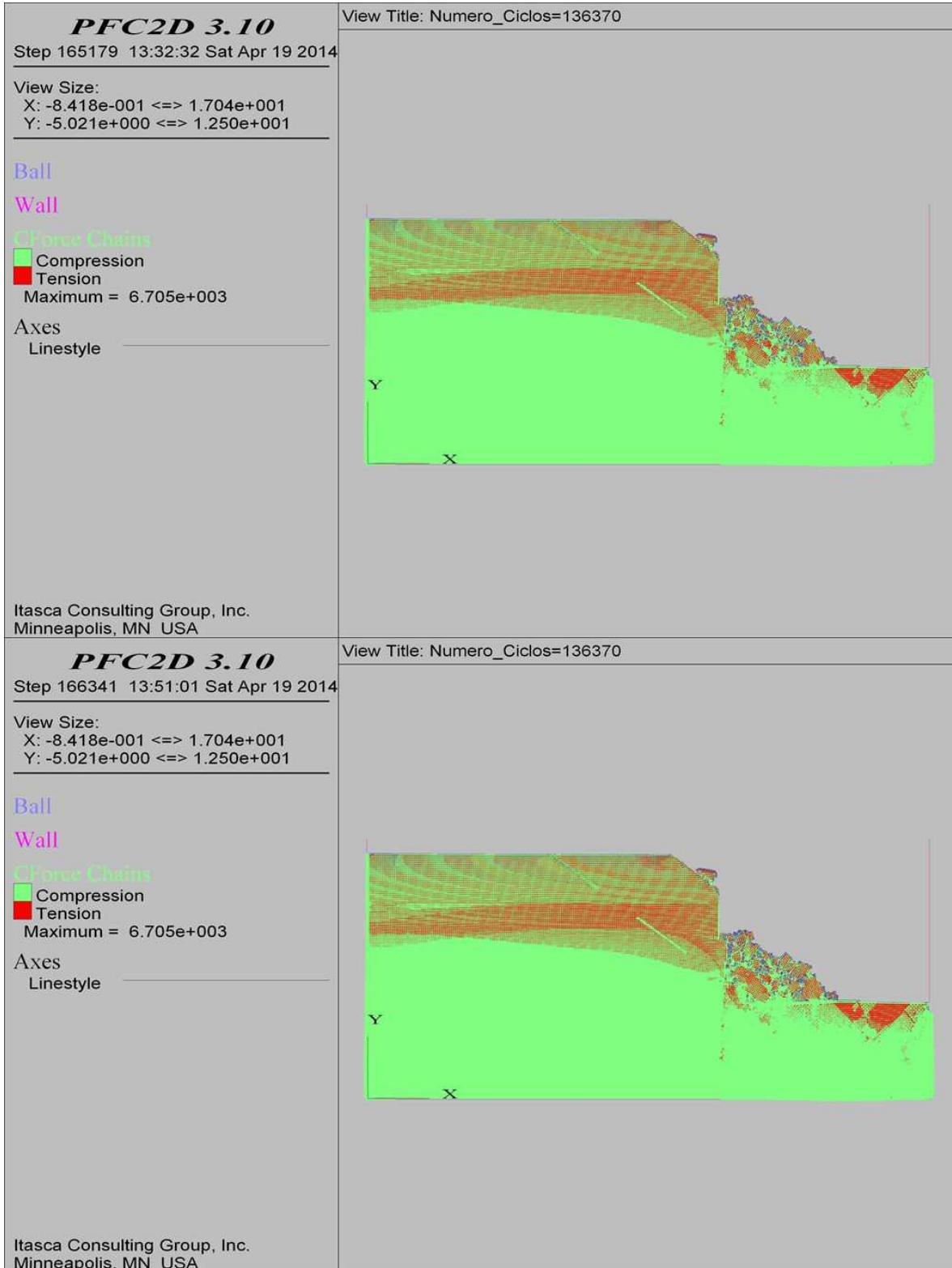
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



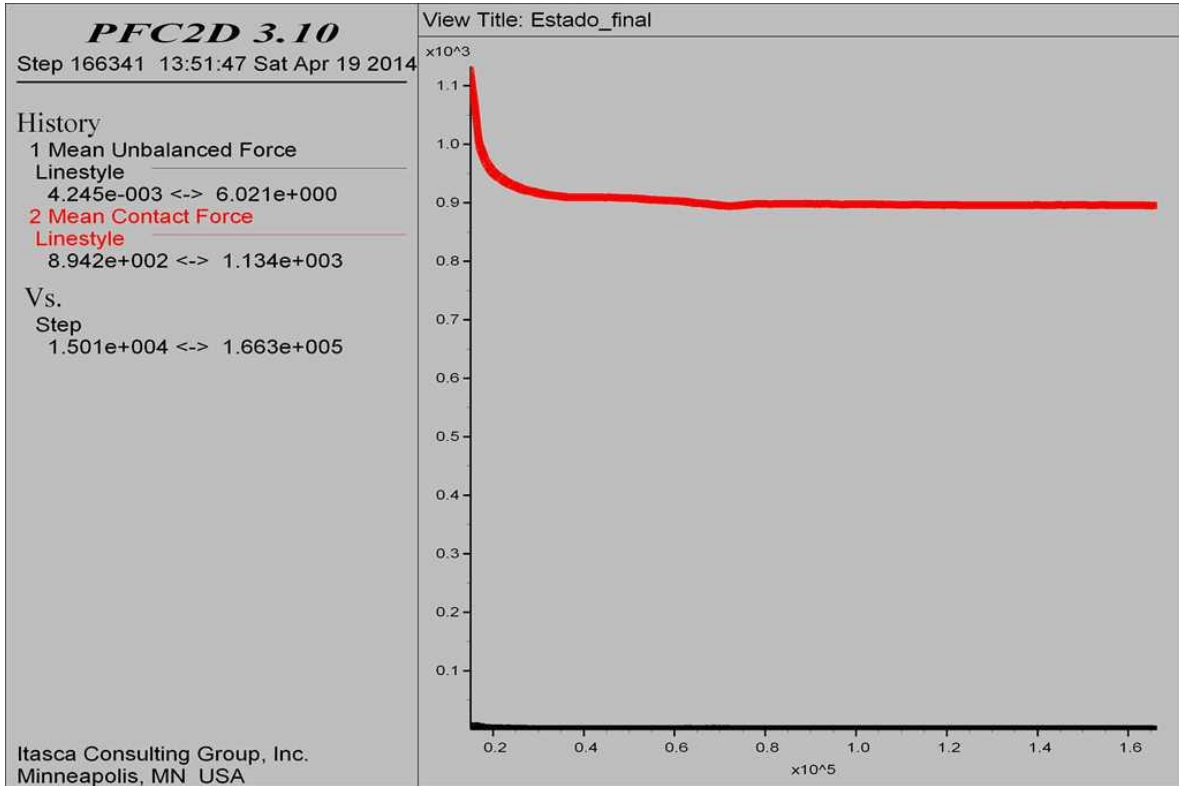
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



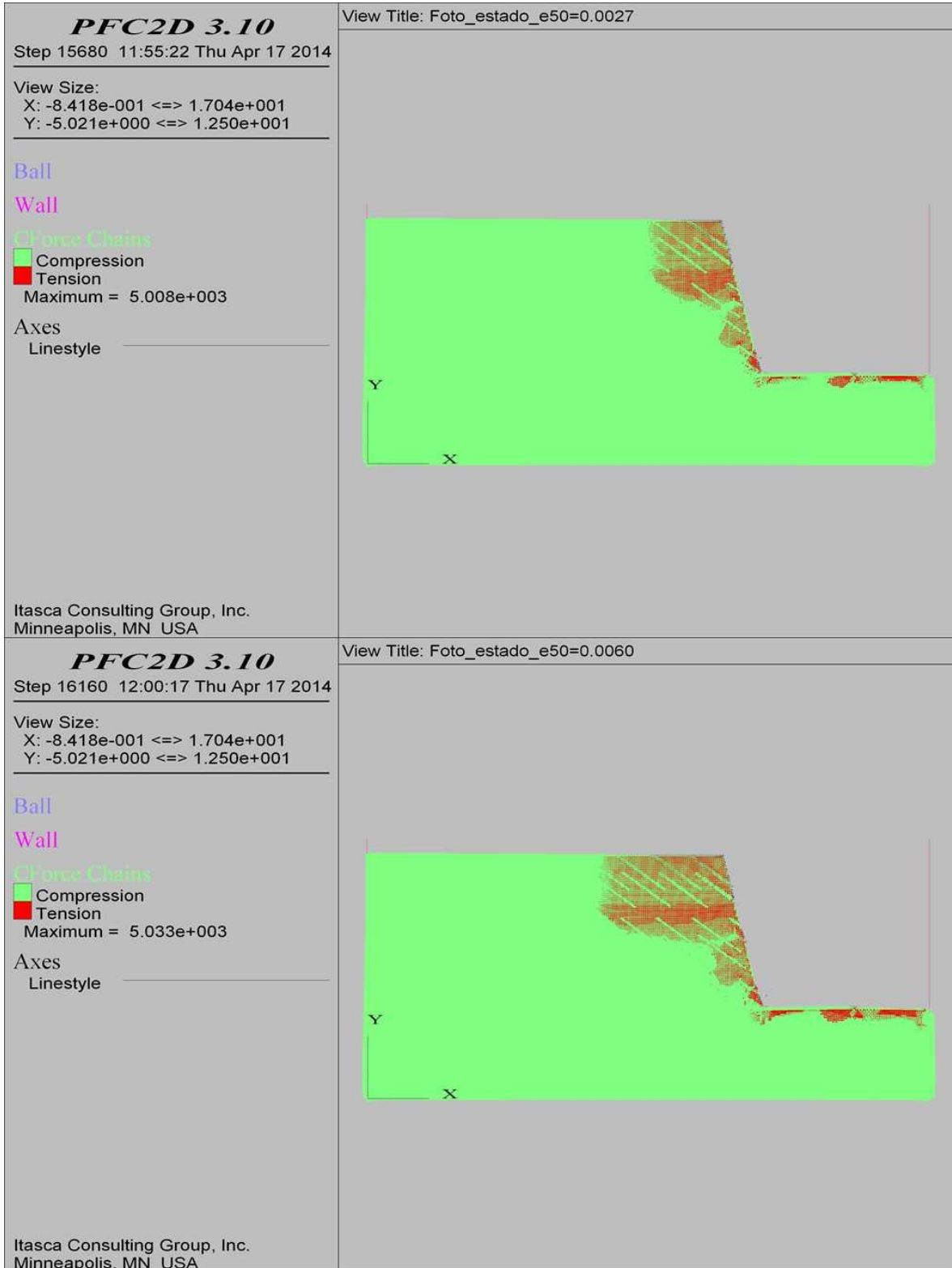
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



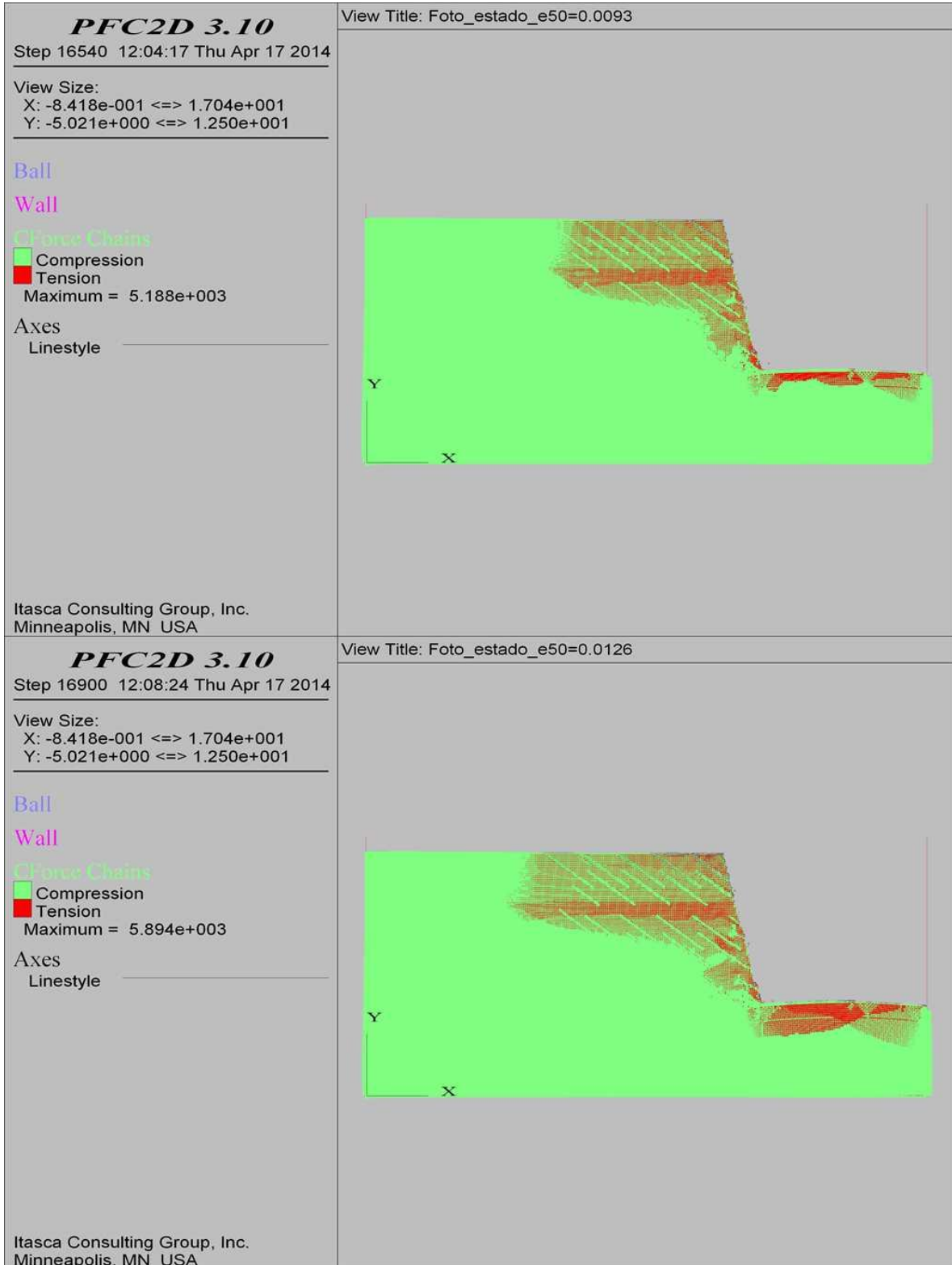
COMBINACIÓN 24: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



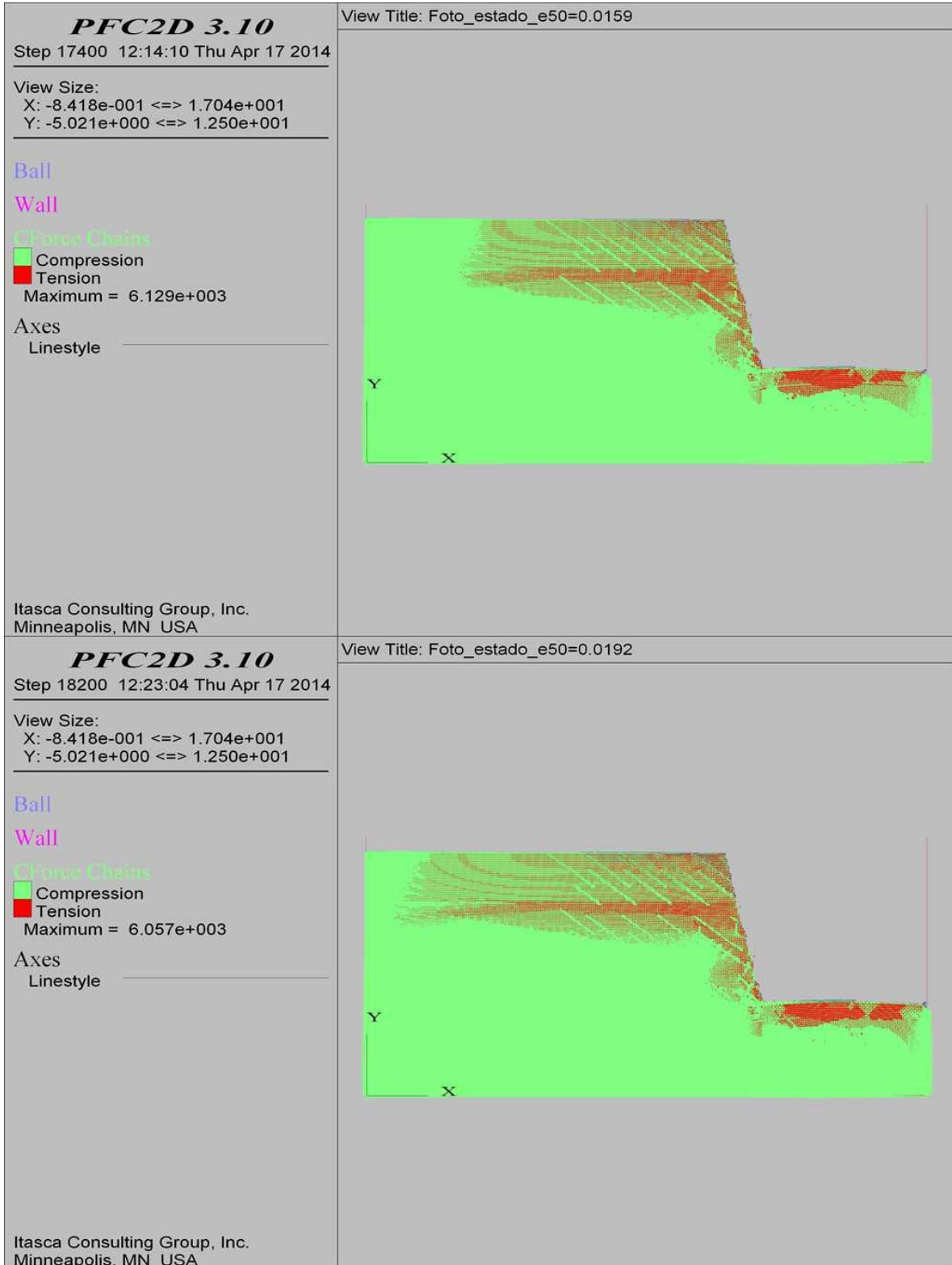
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



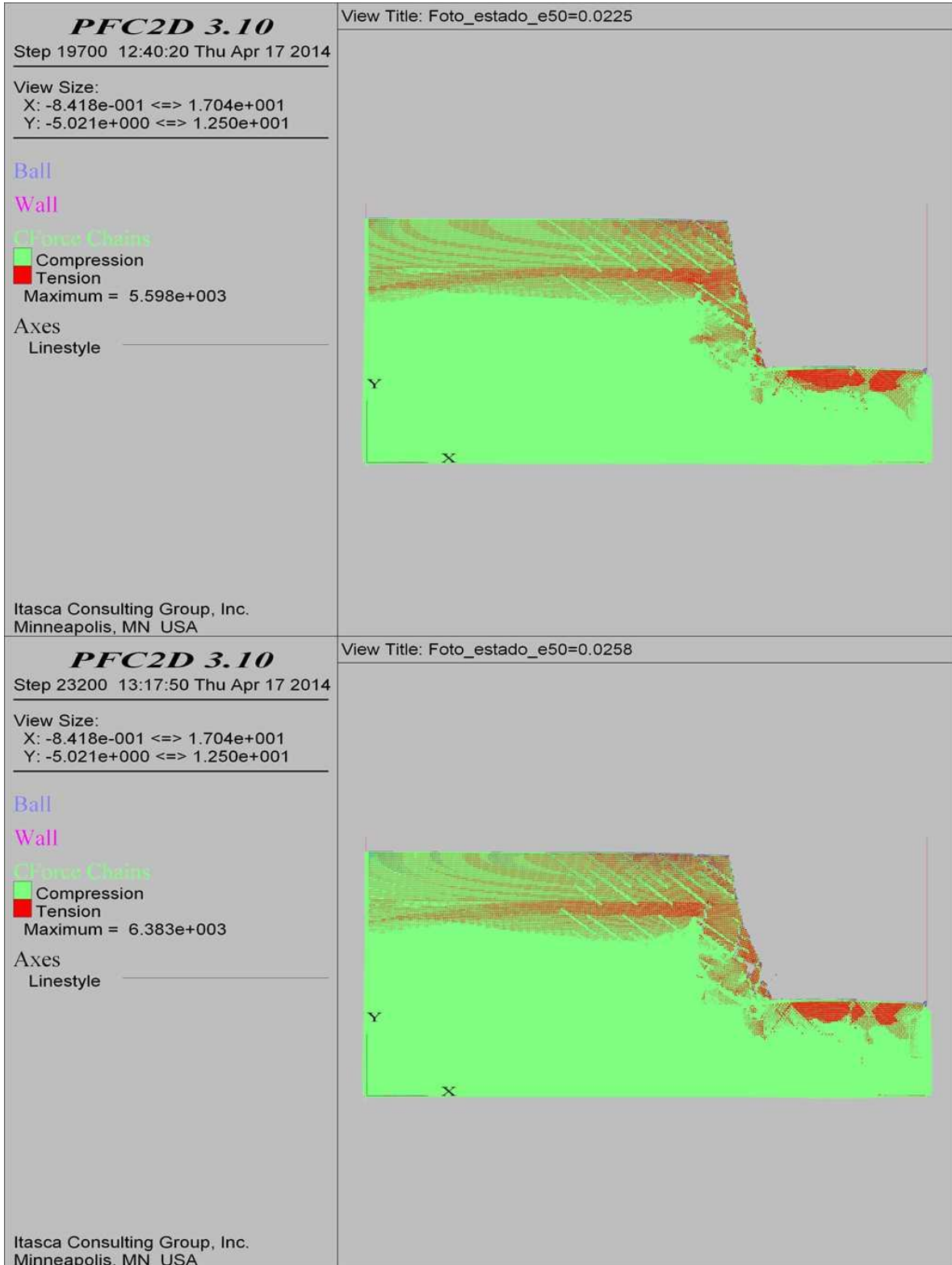
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



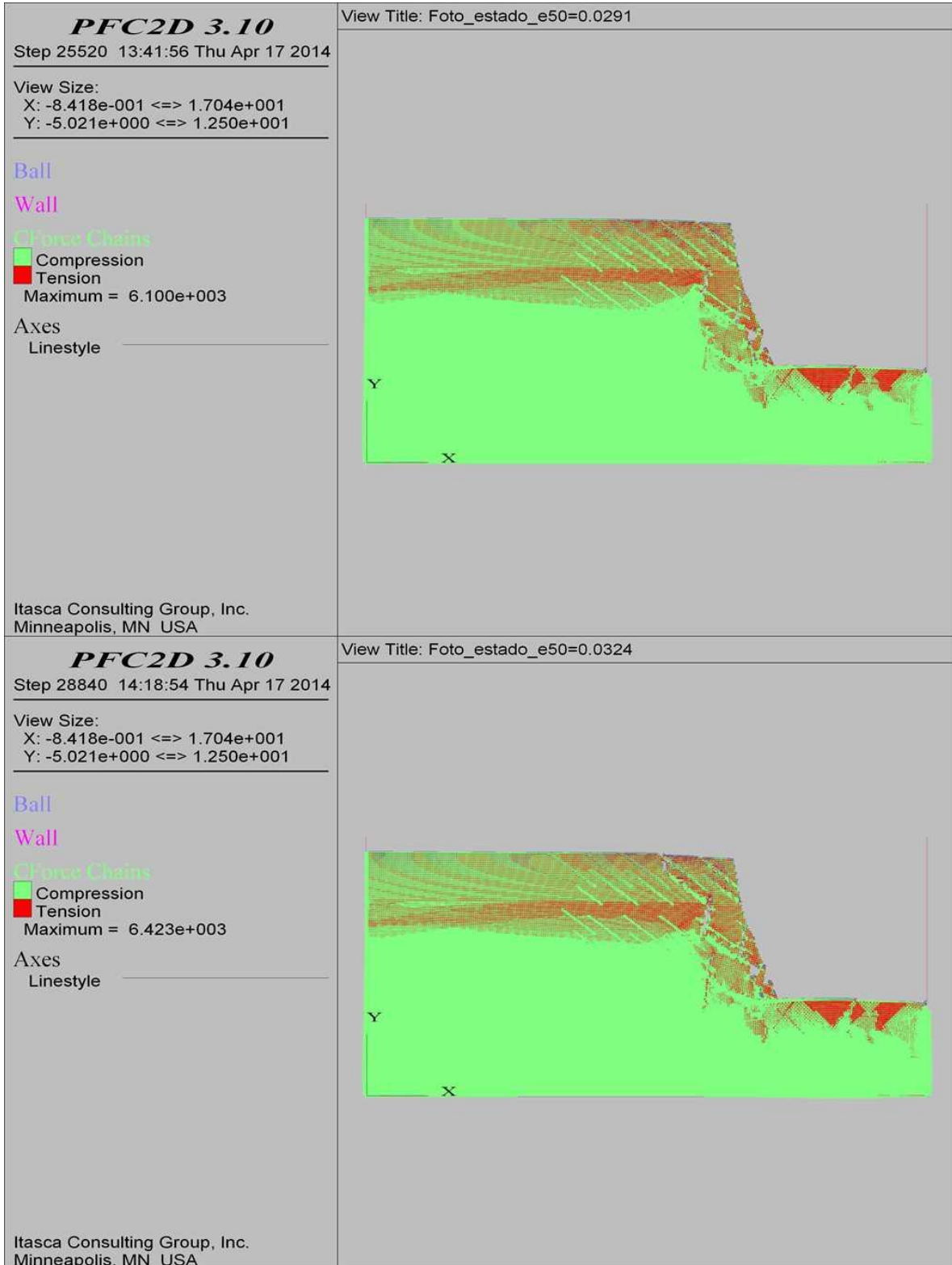
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



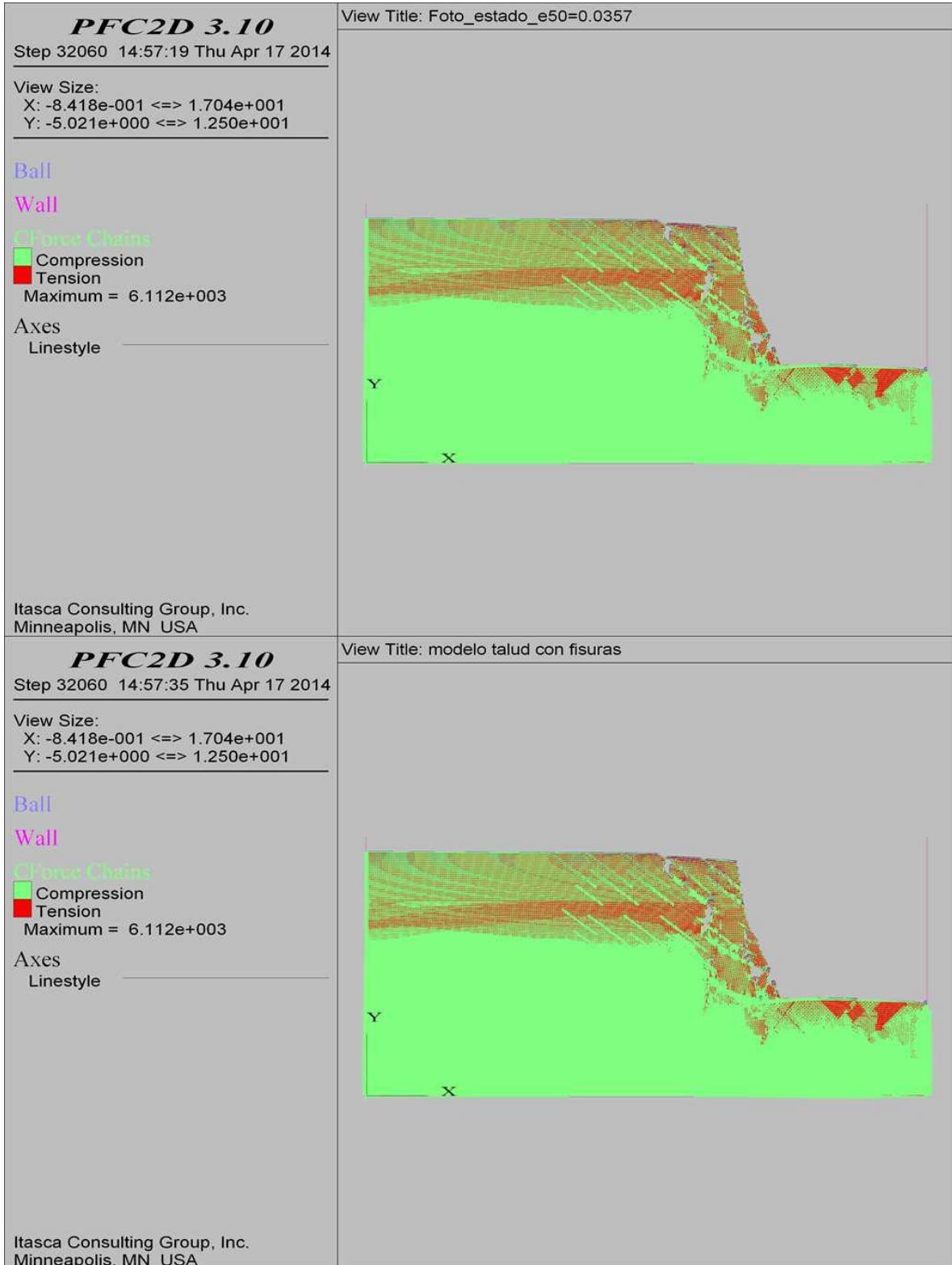
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



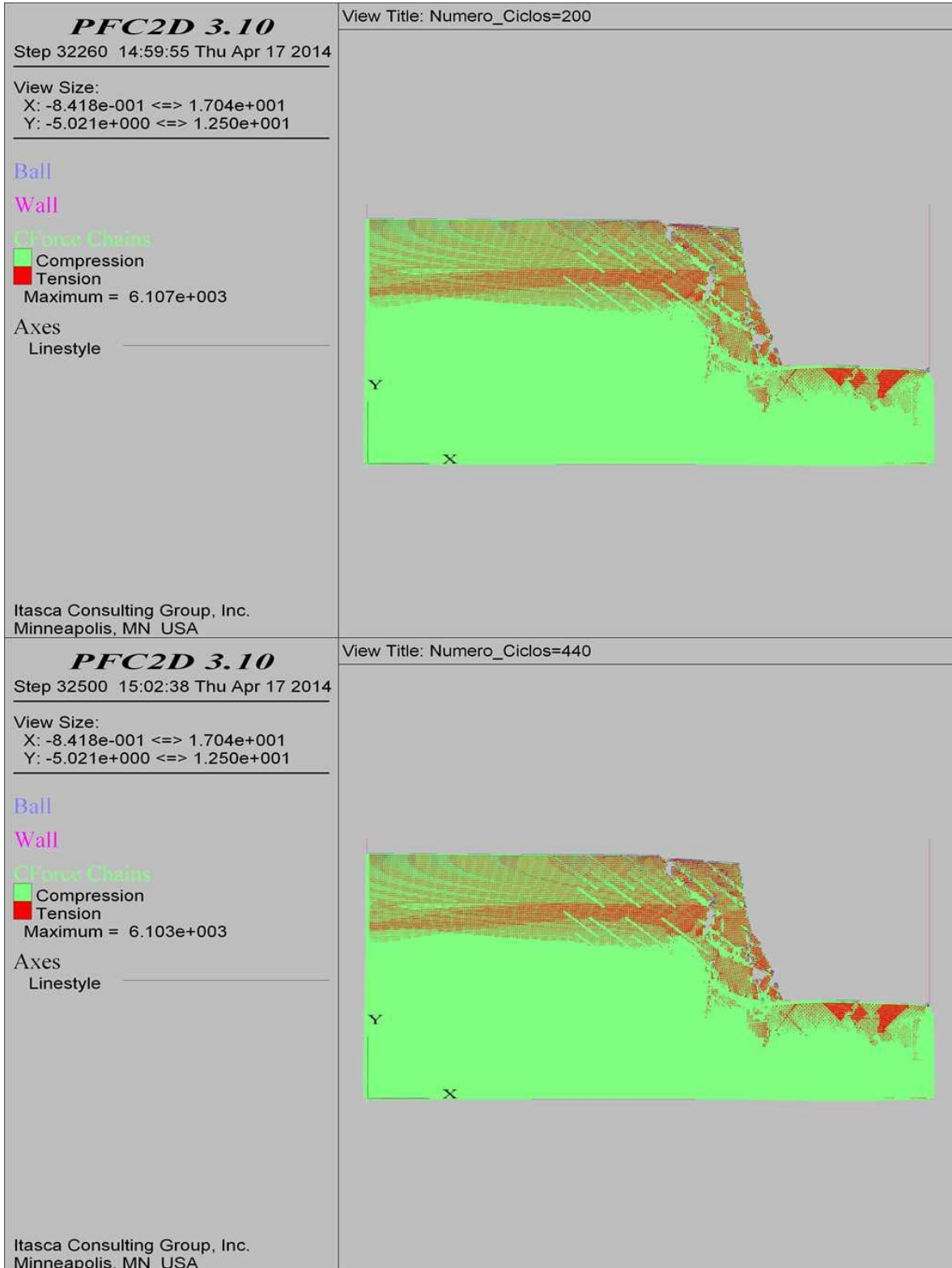
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



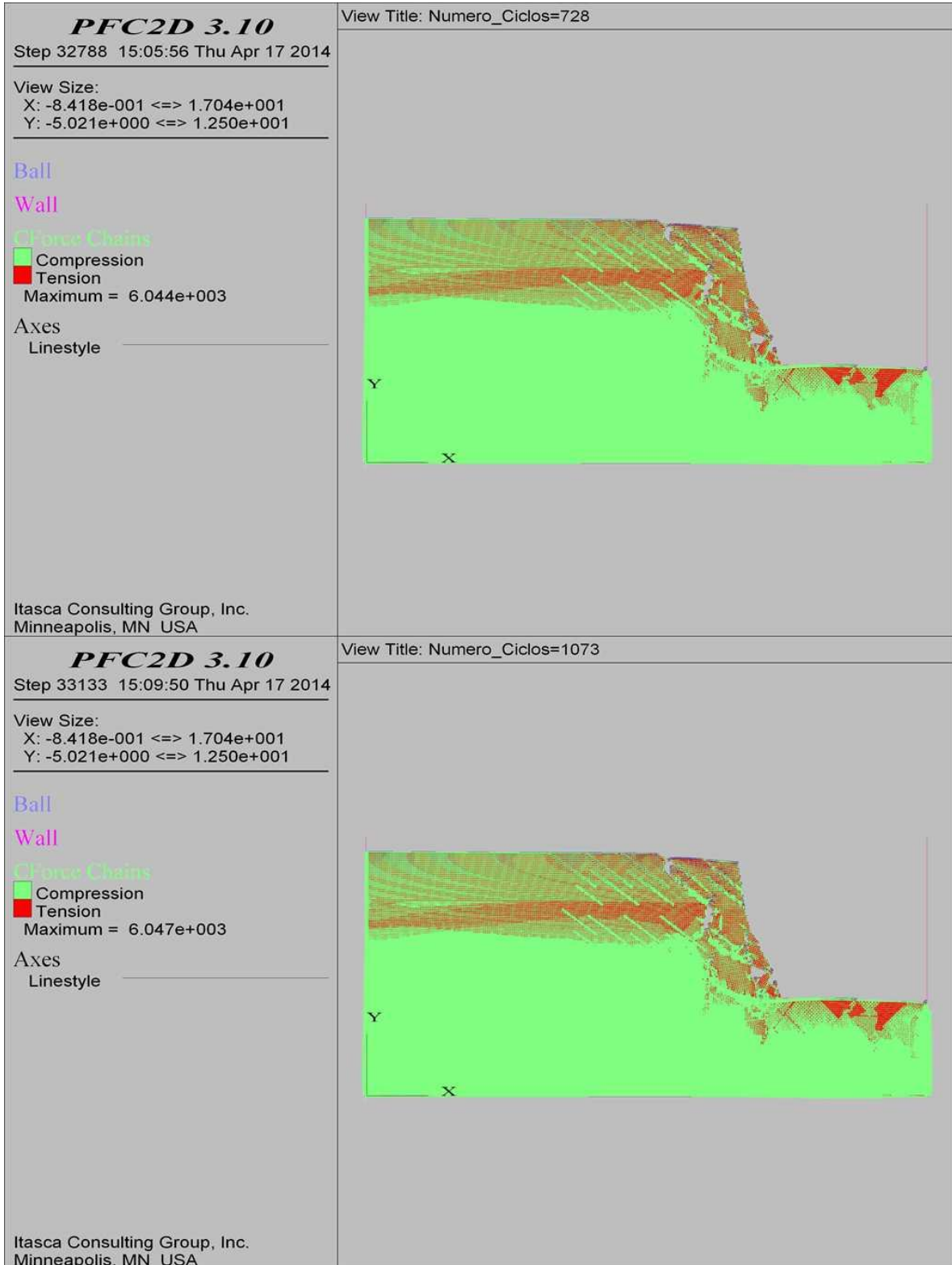
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



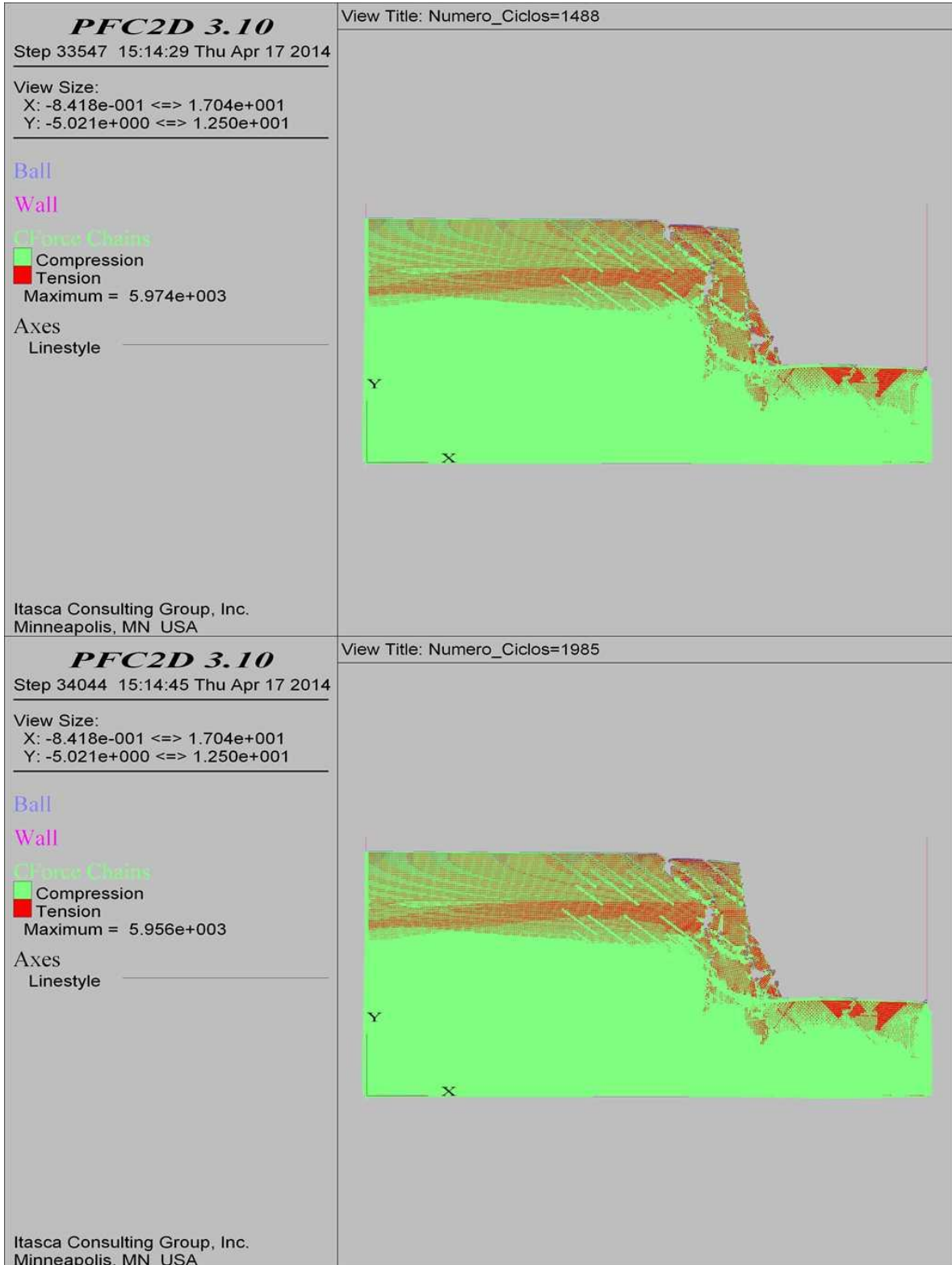
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



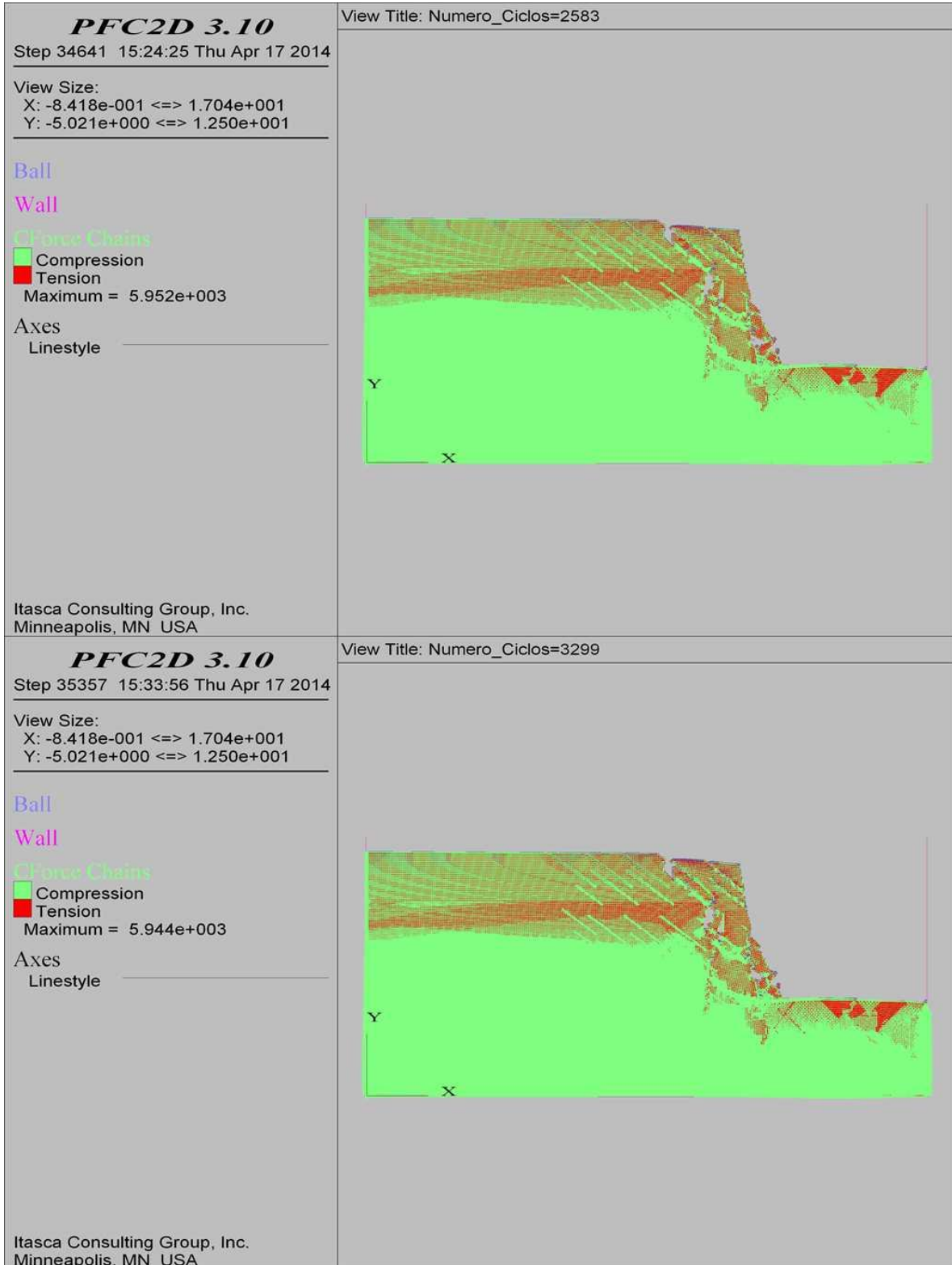
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



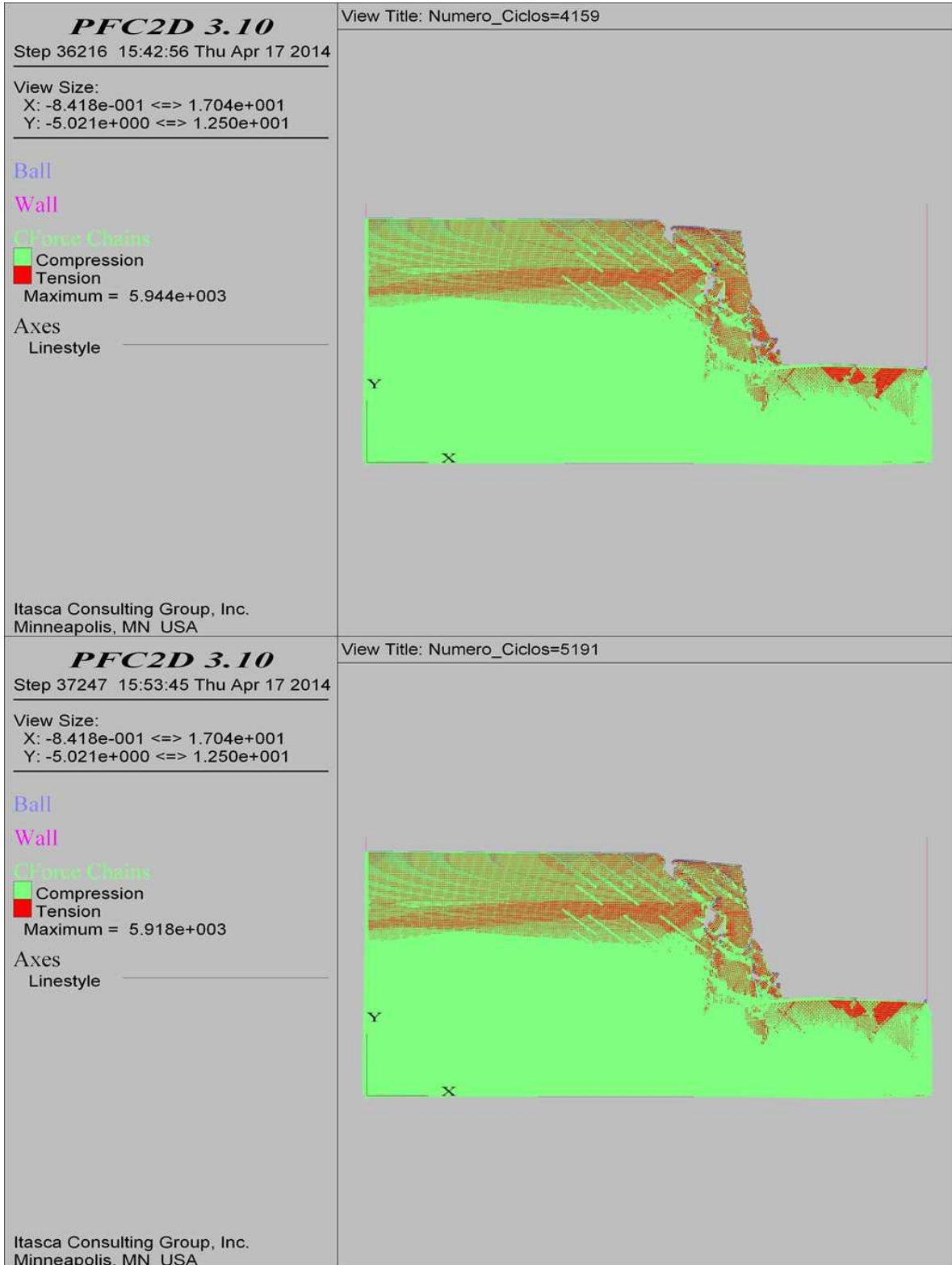
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



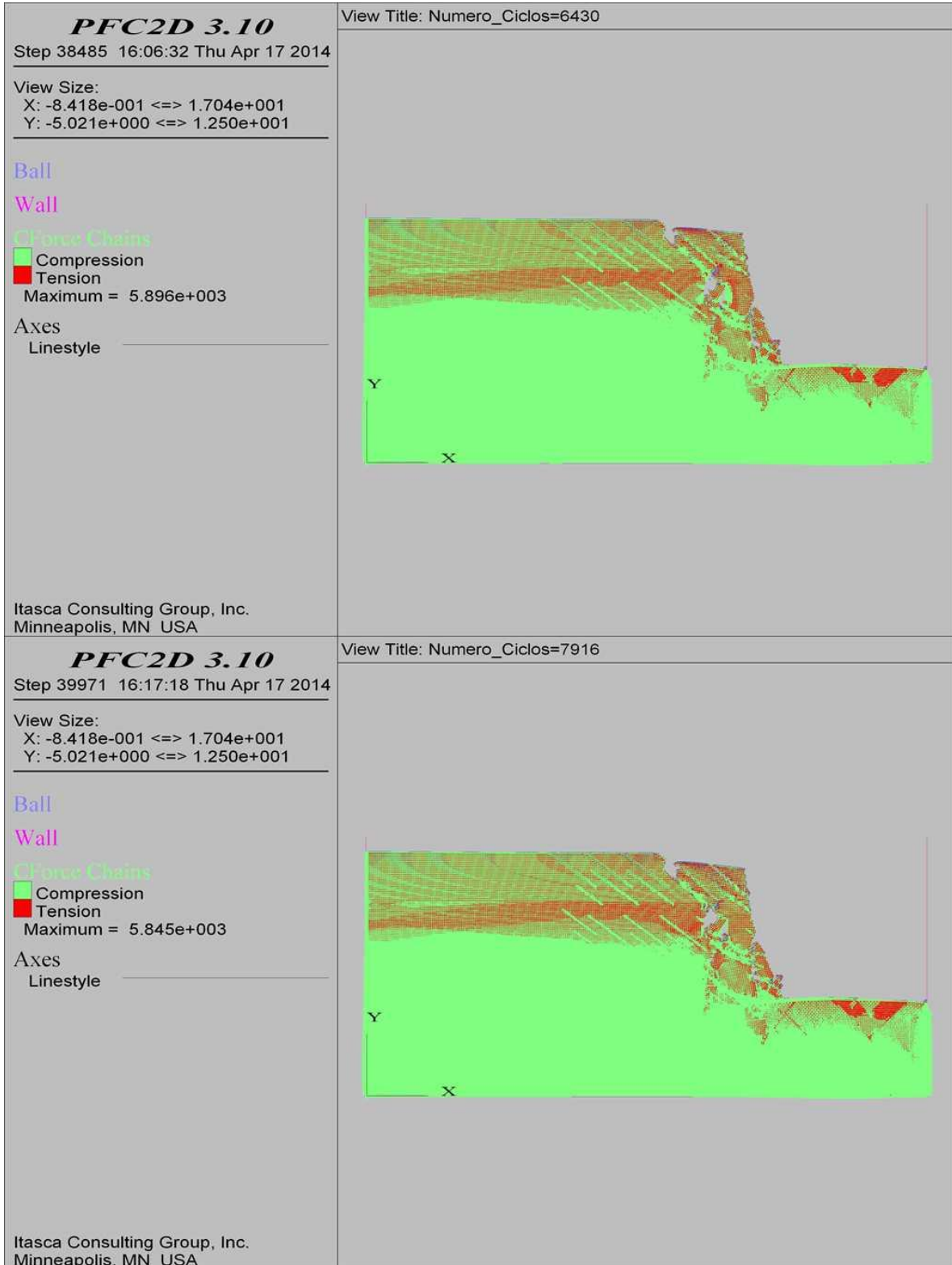
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



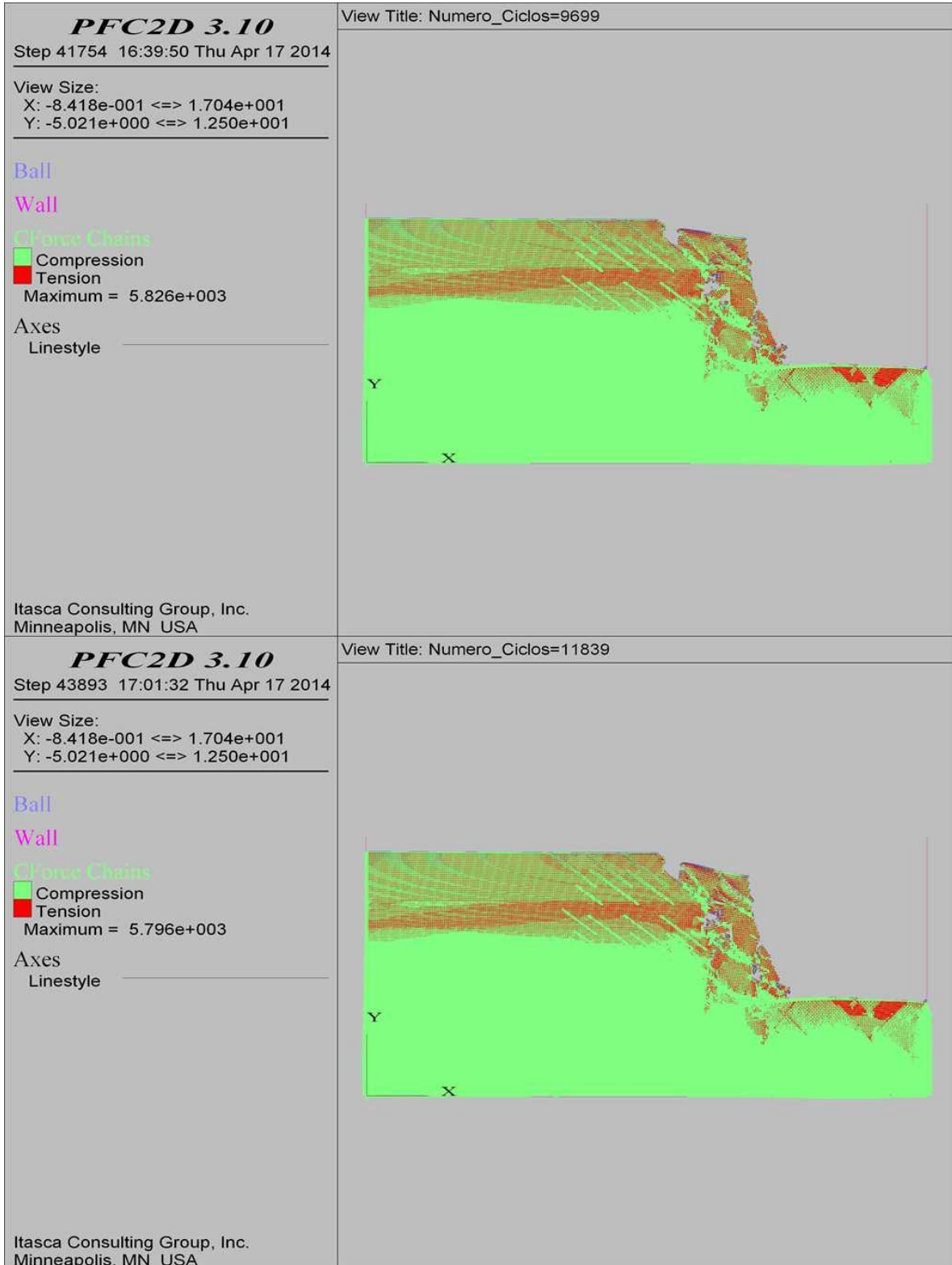
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



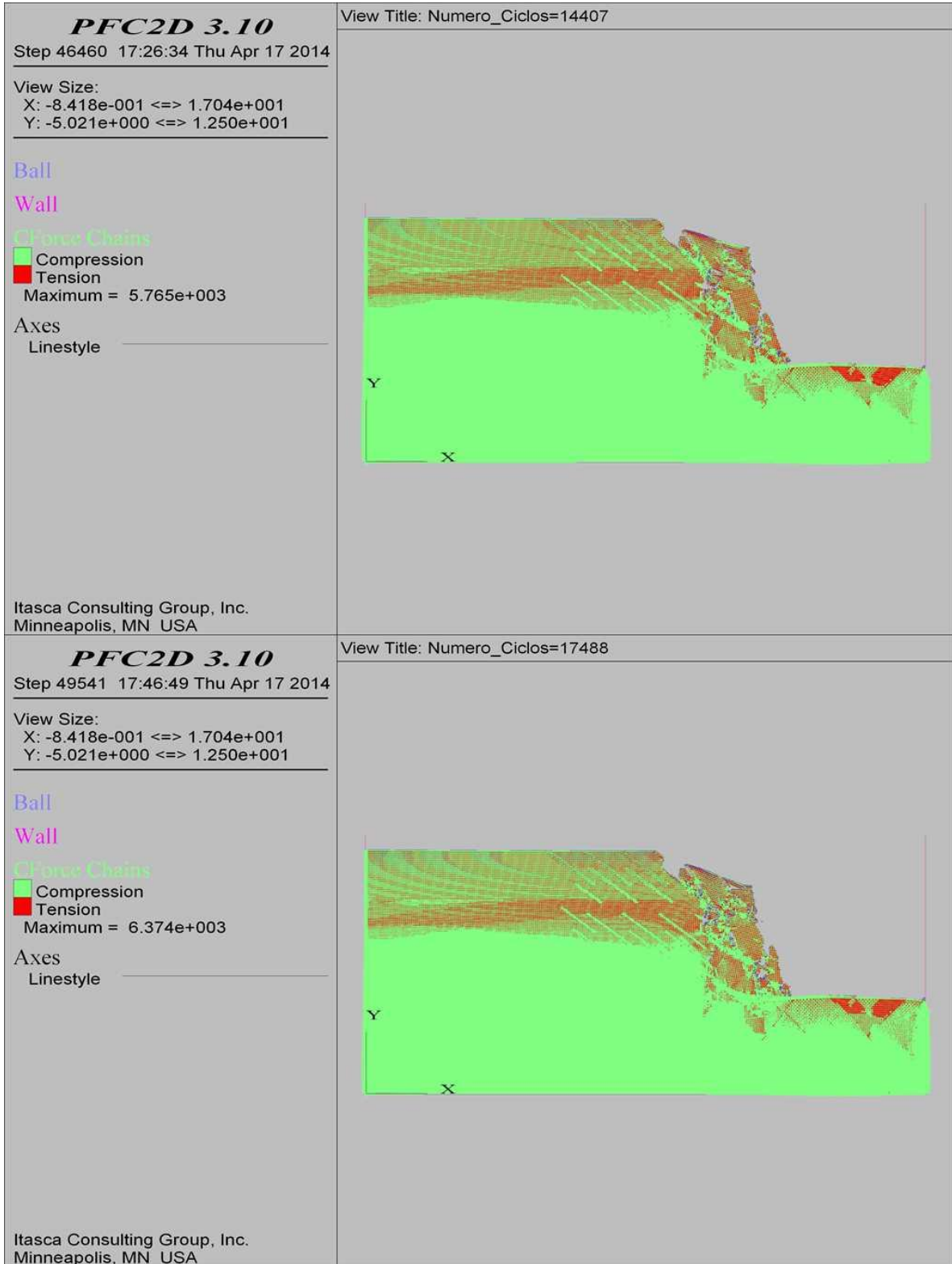
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



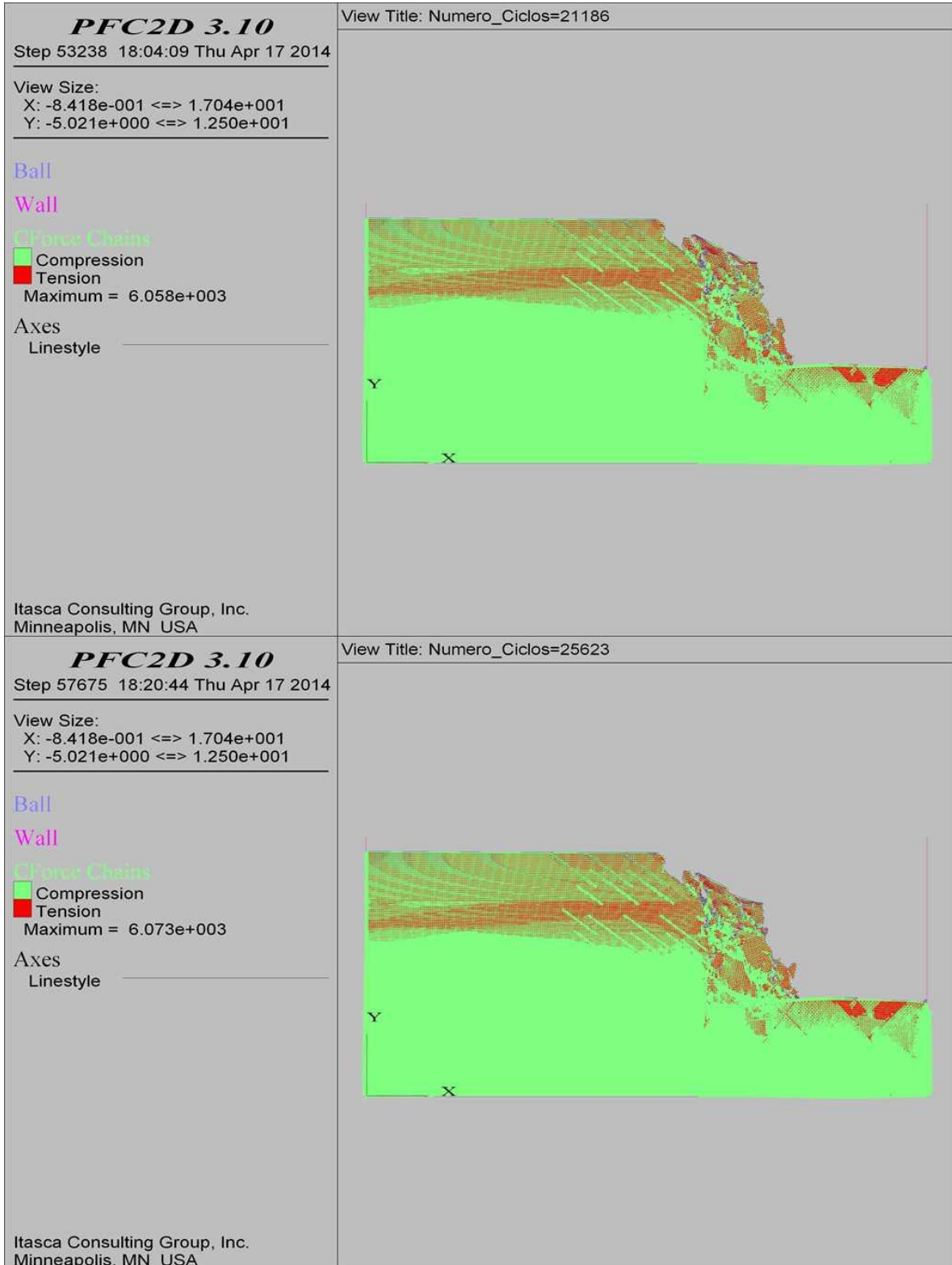
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



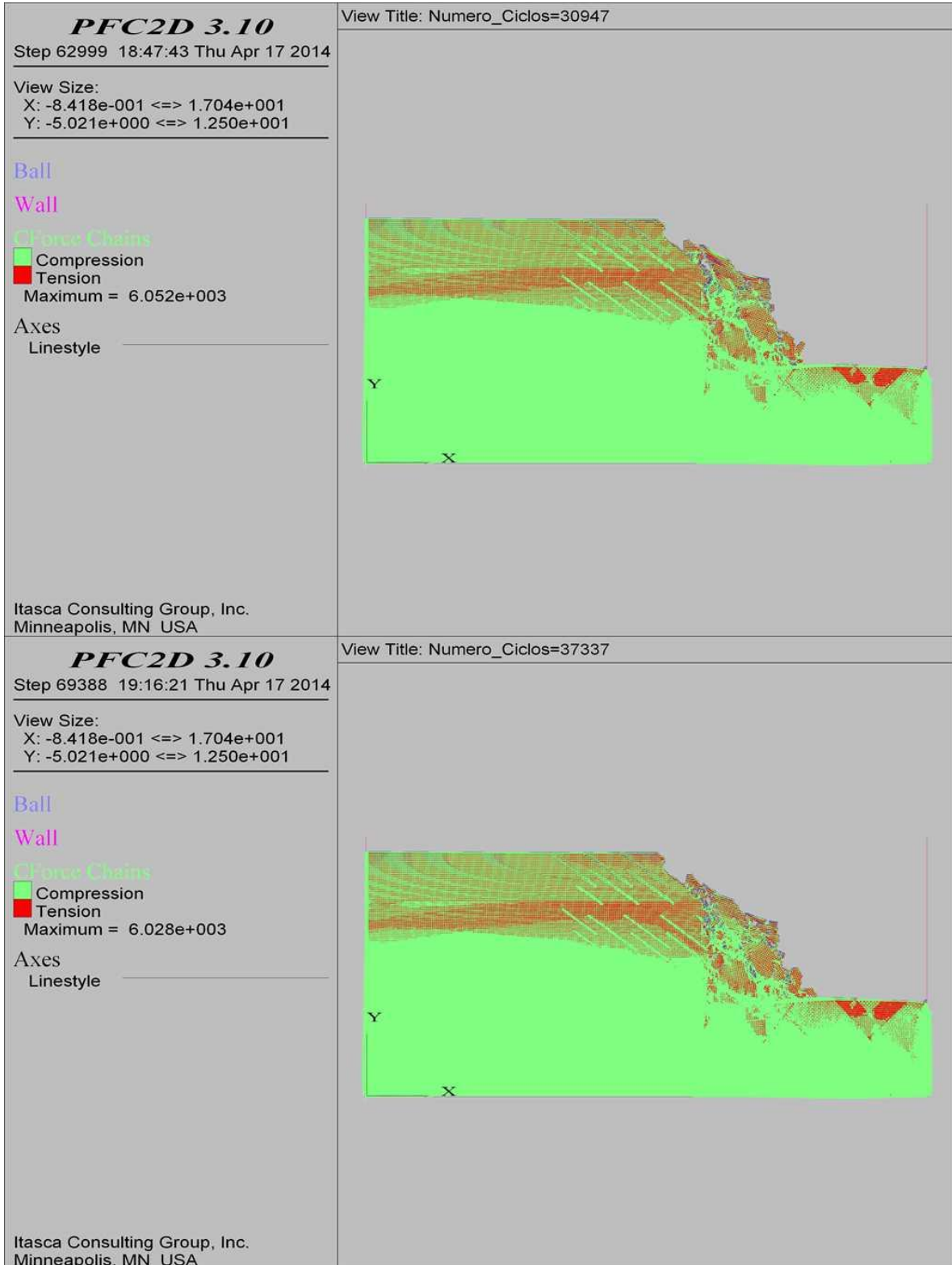
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



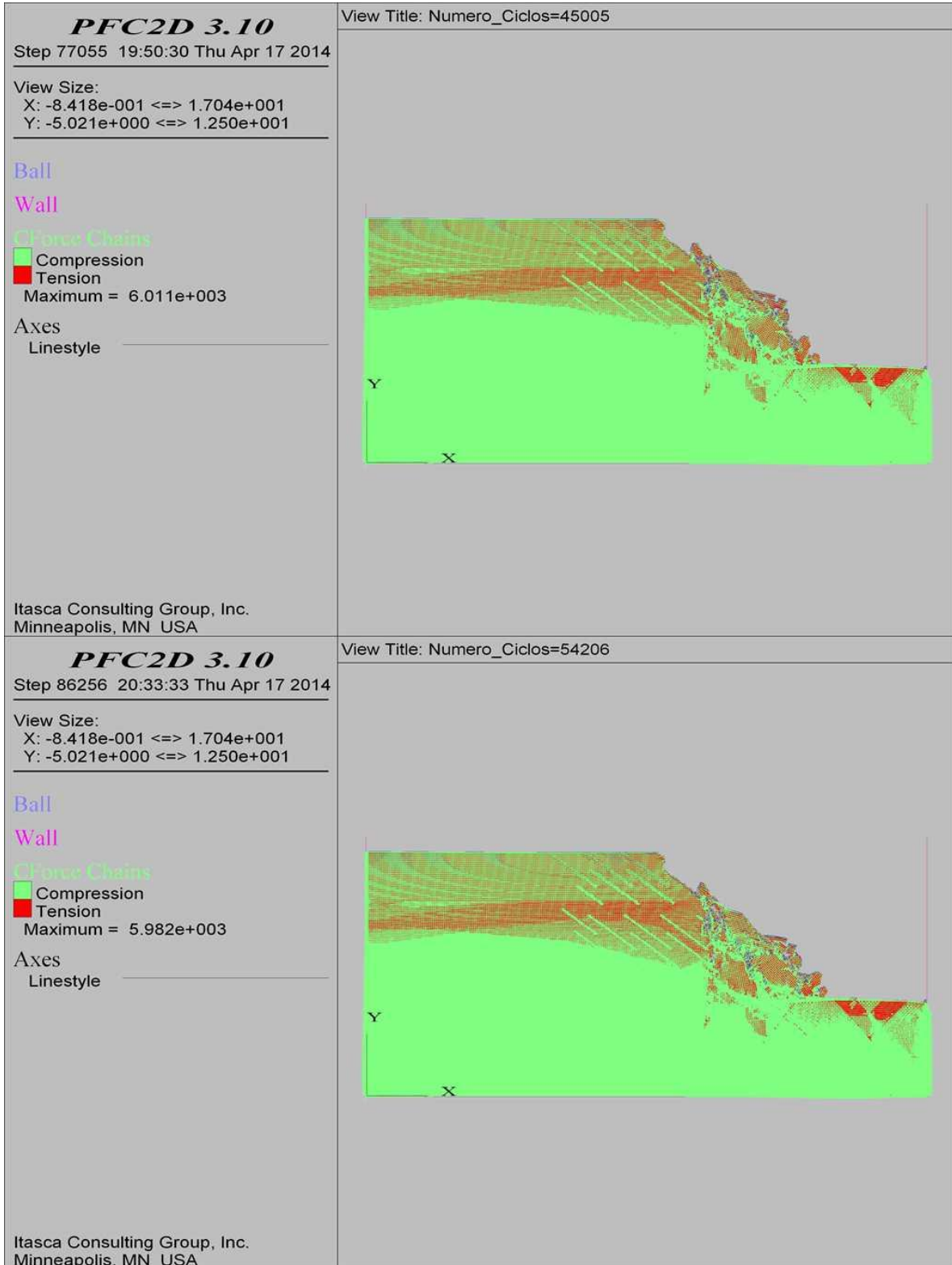
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



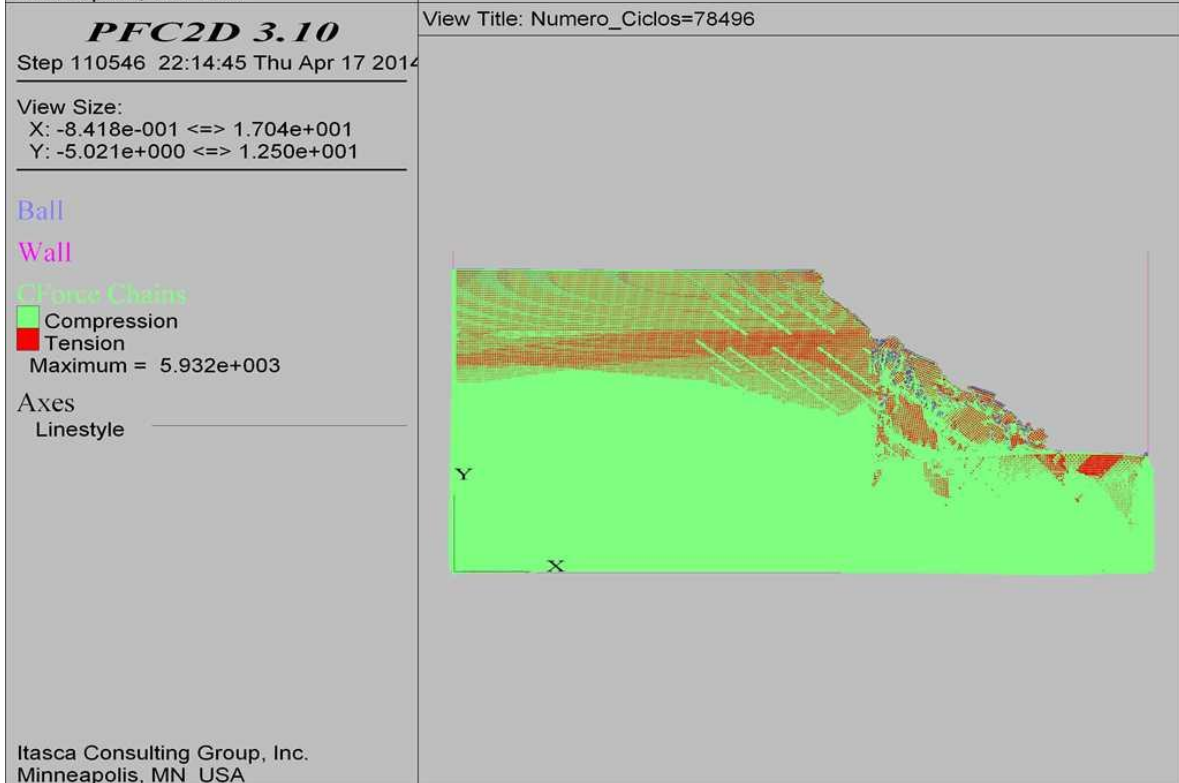
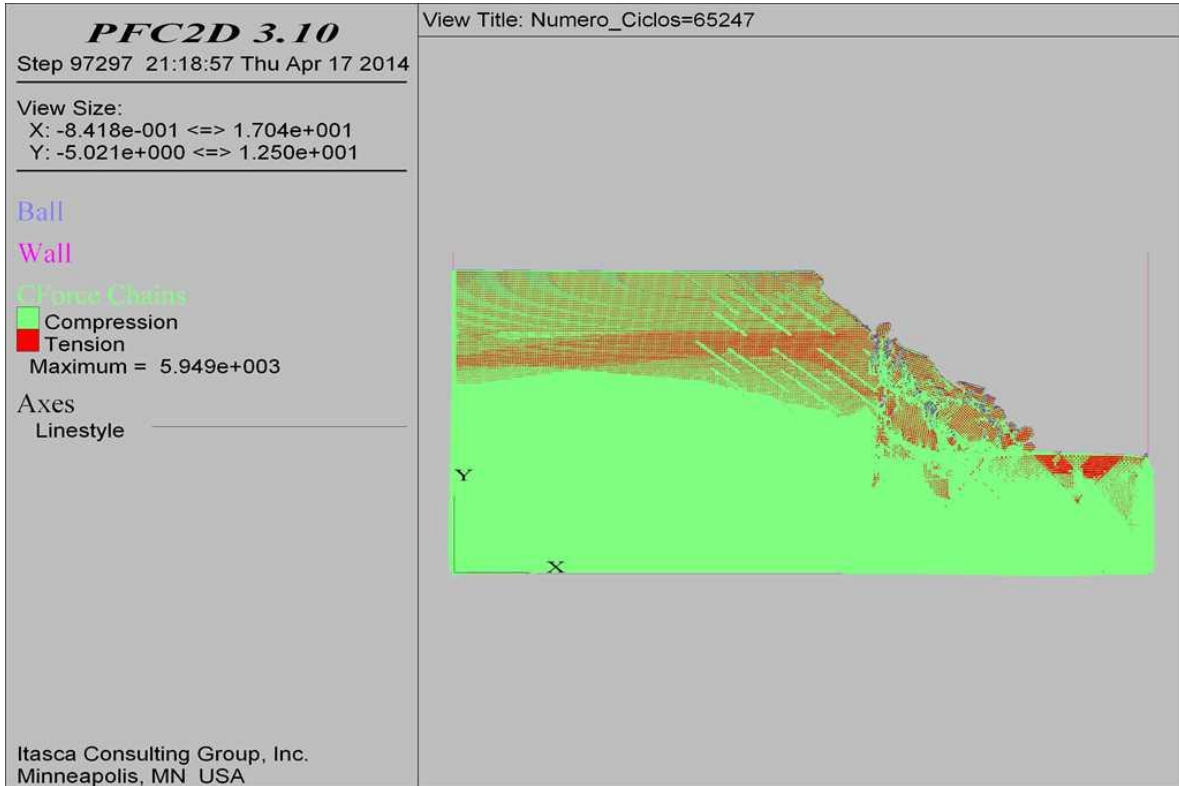
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



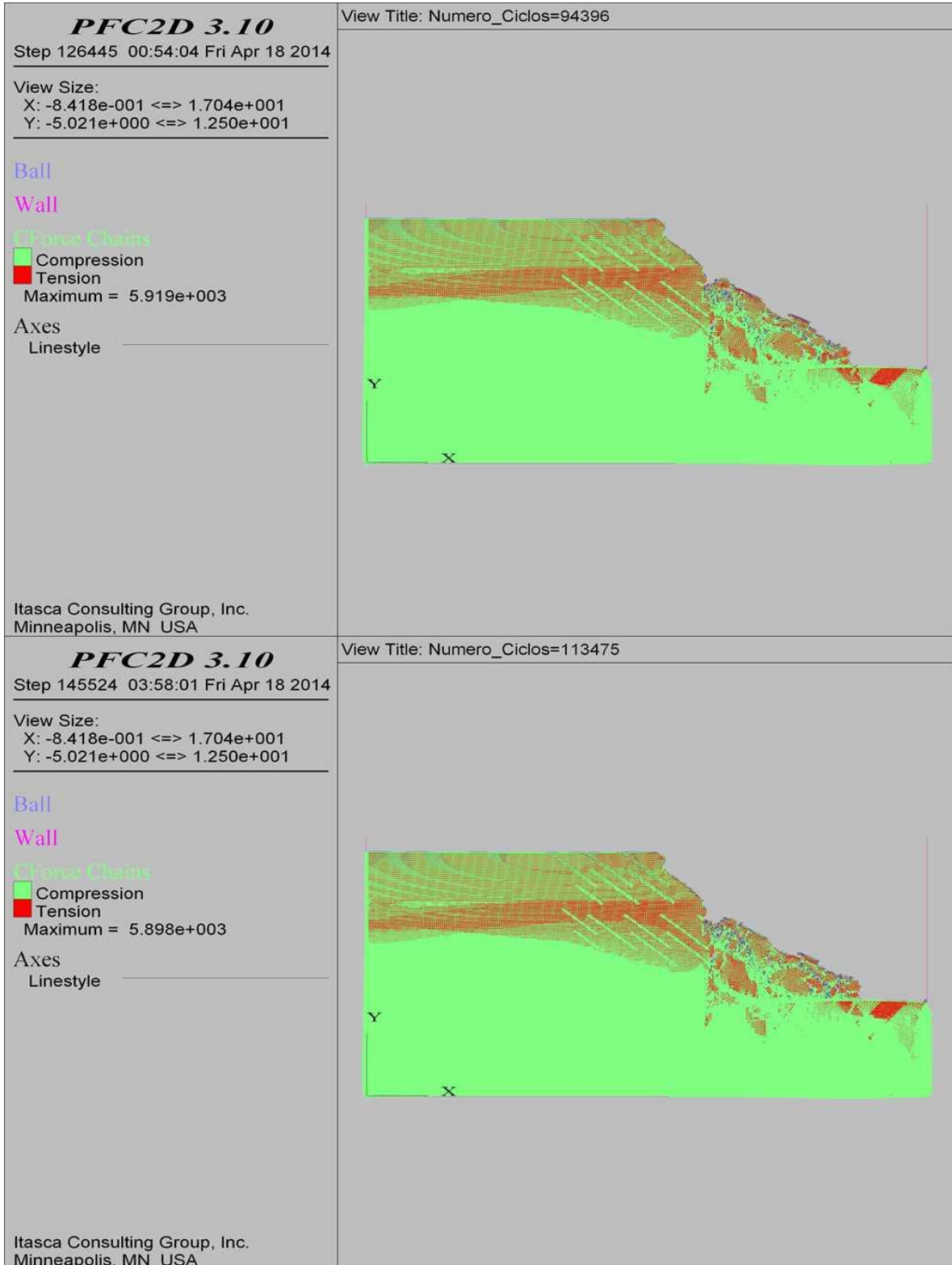
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



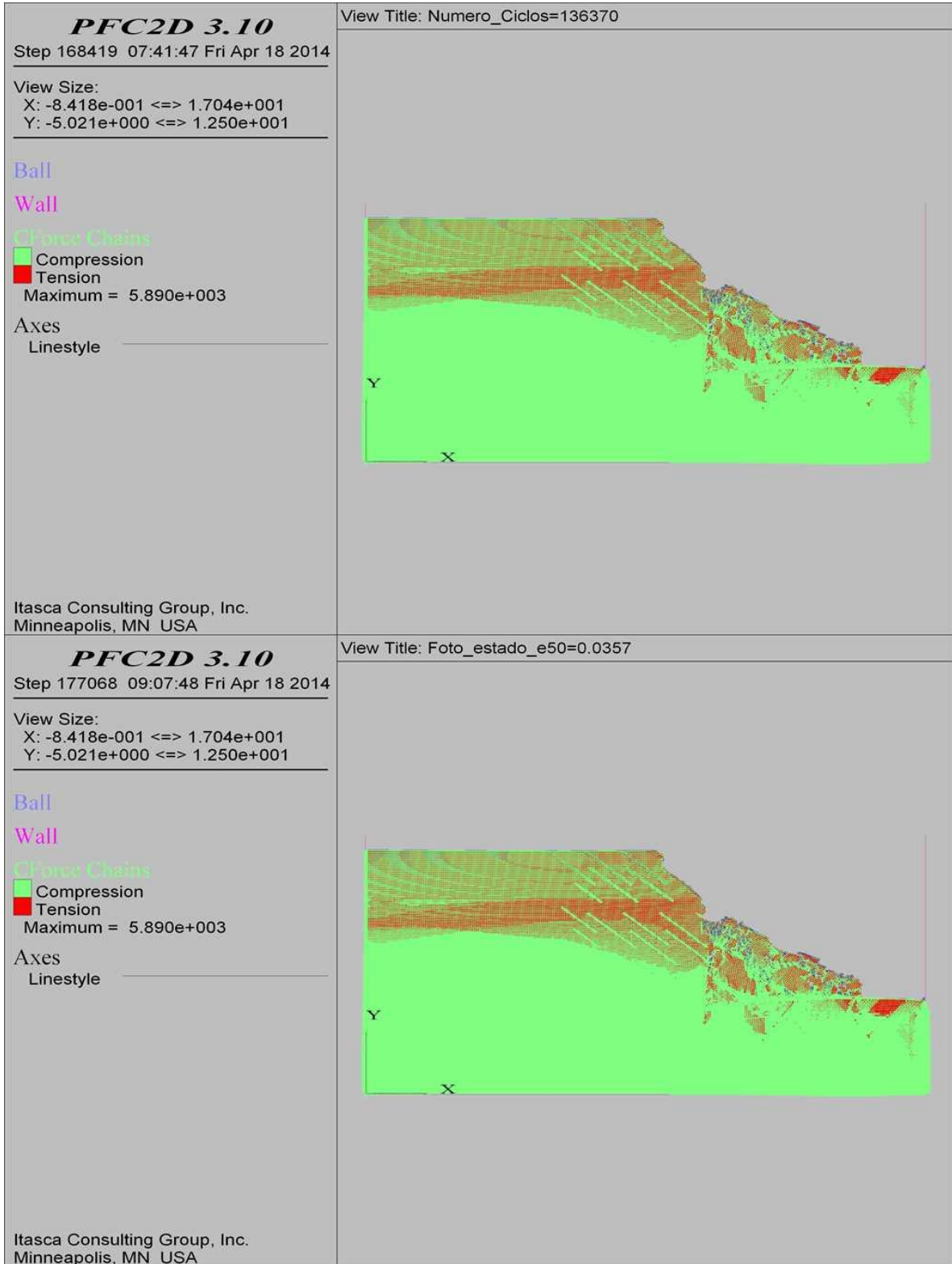
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



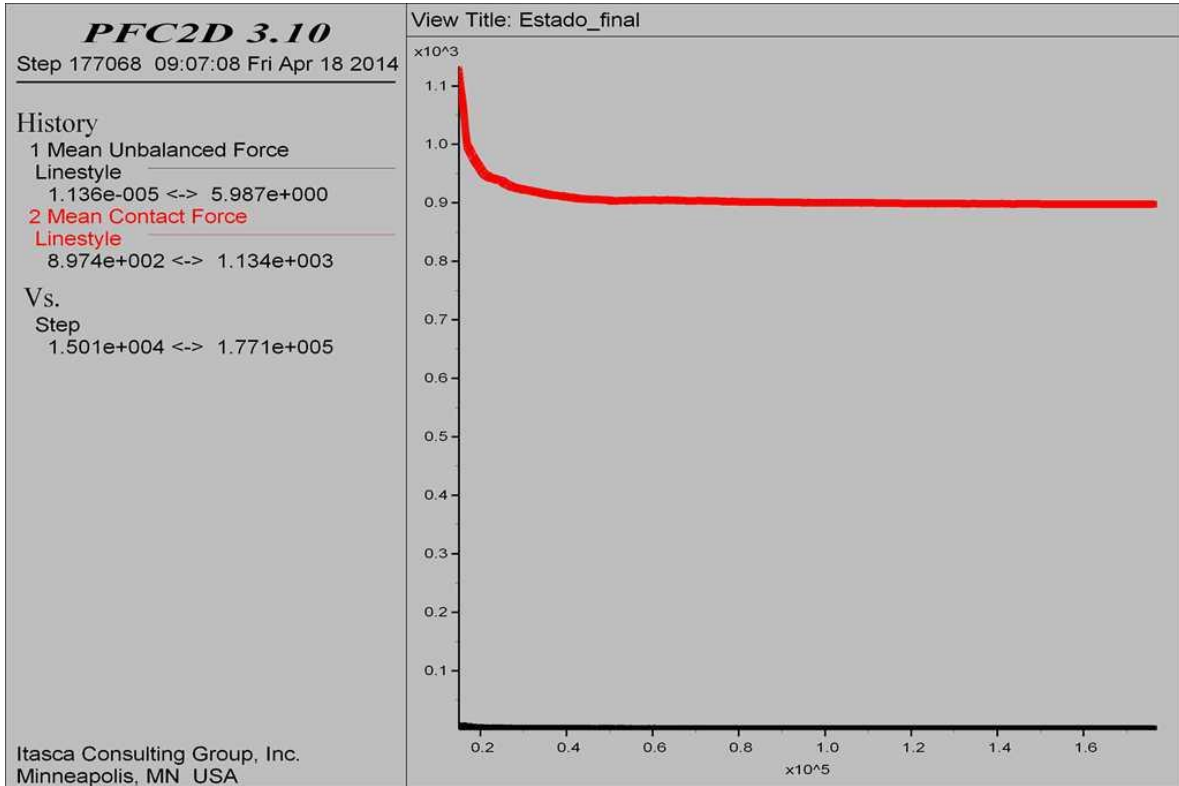
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



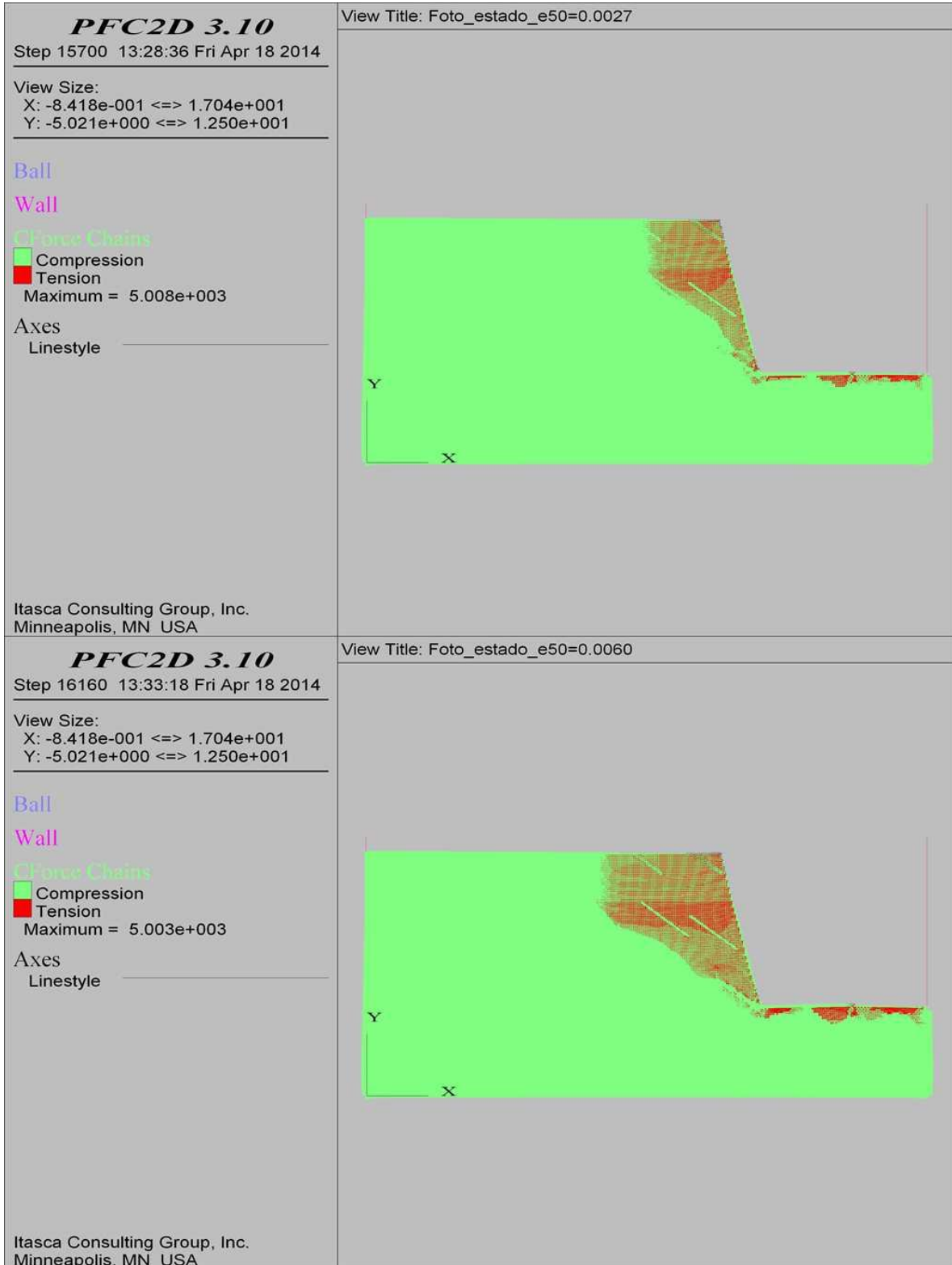
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



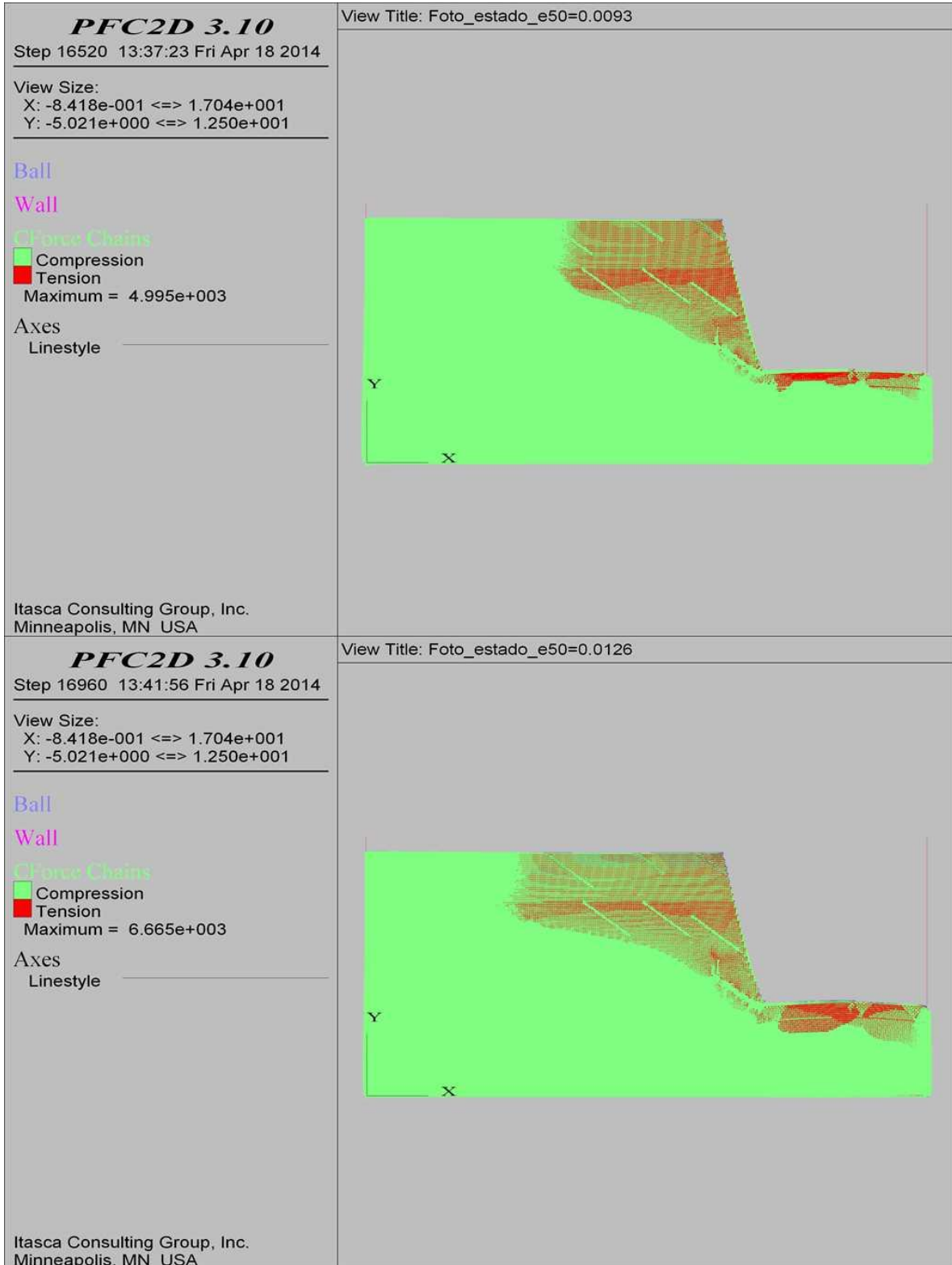
COMBINACIÓN 25: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



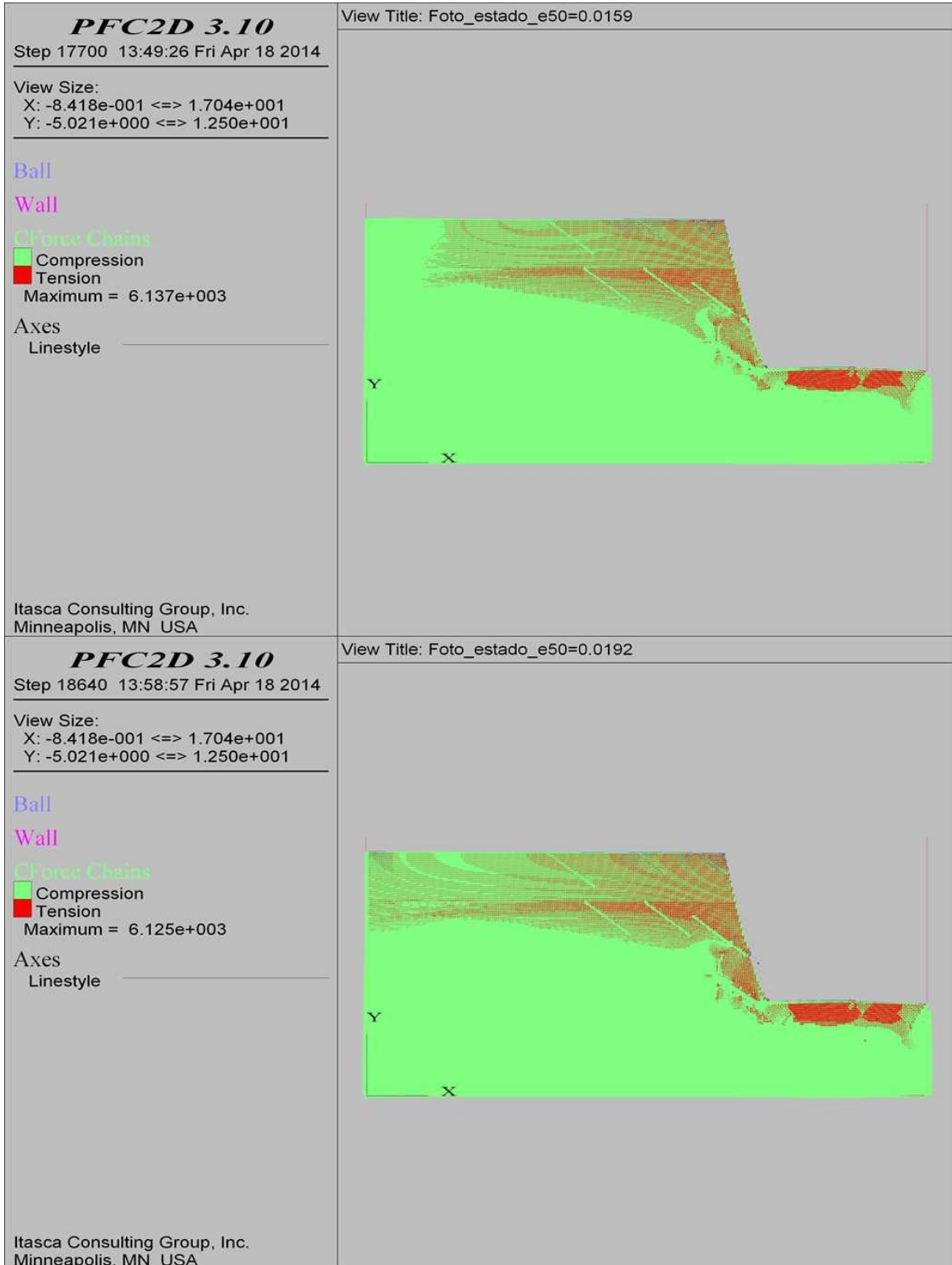
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



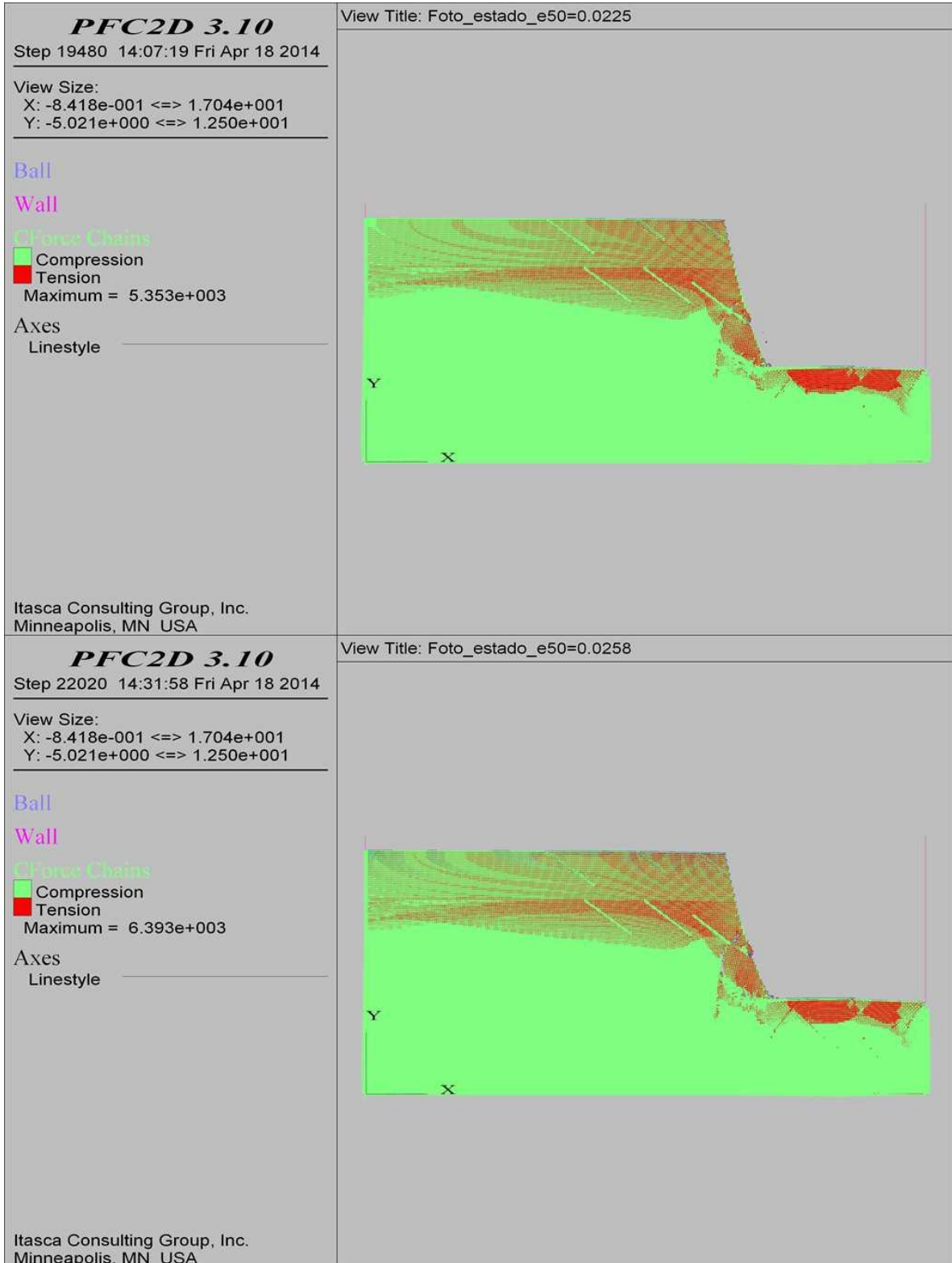
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



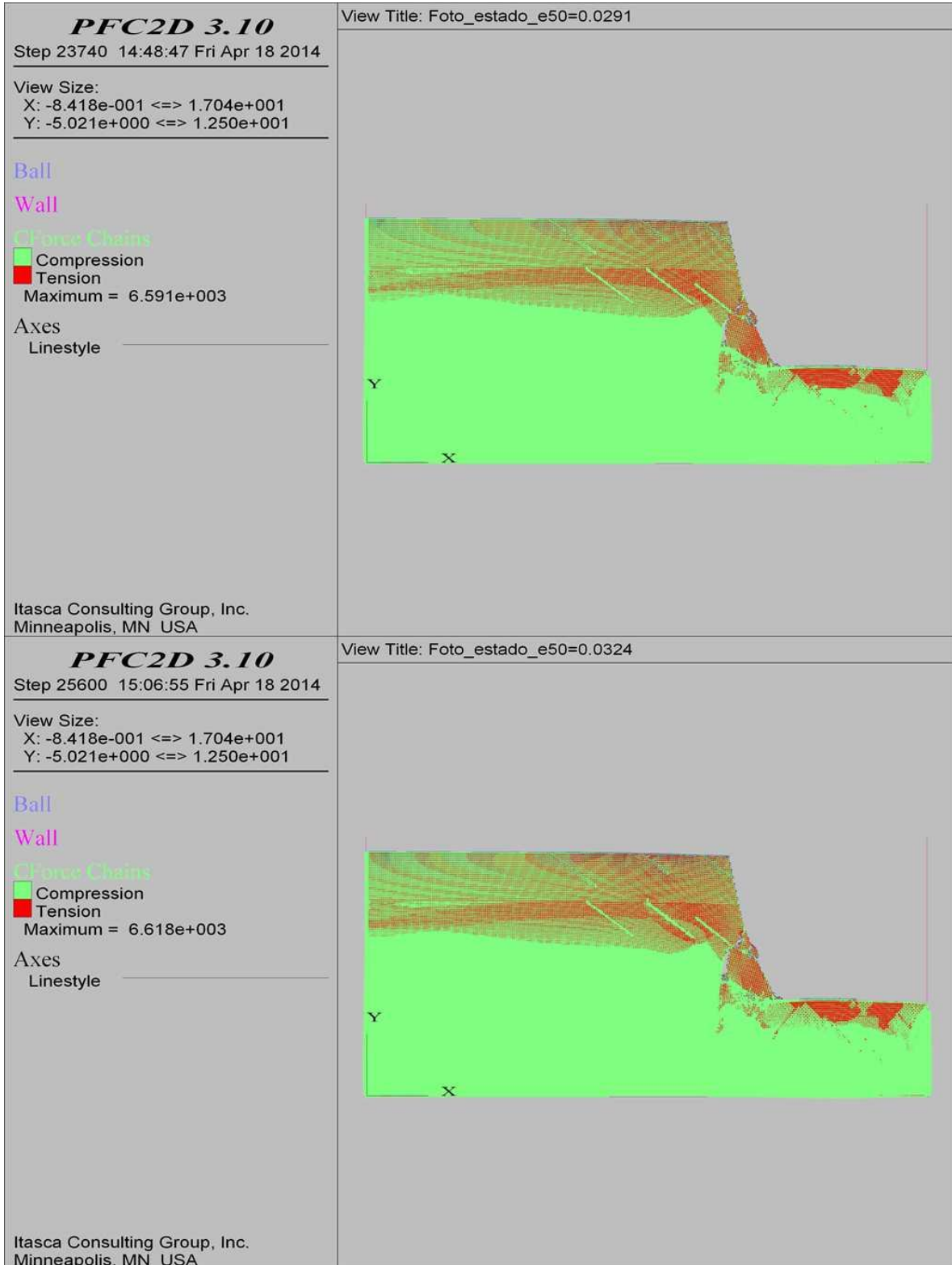
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



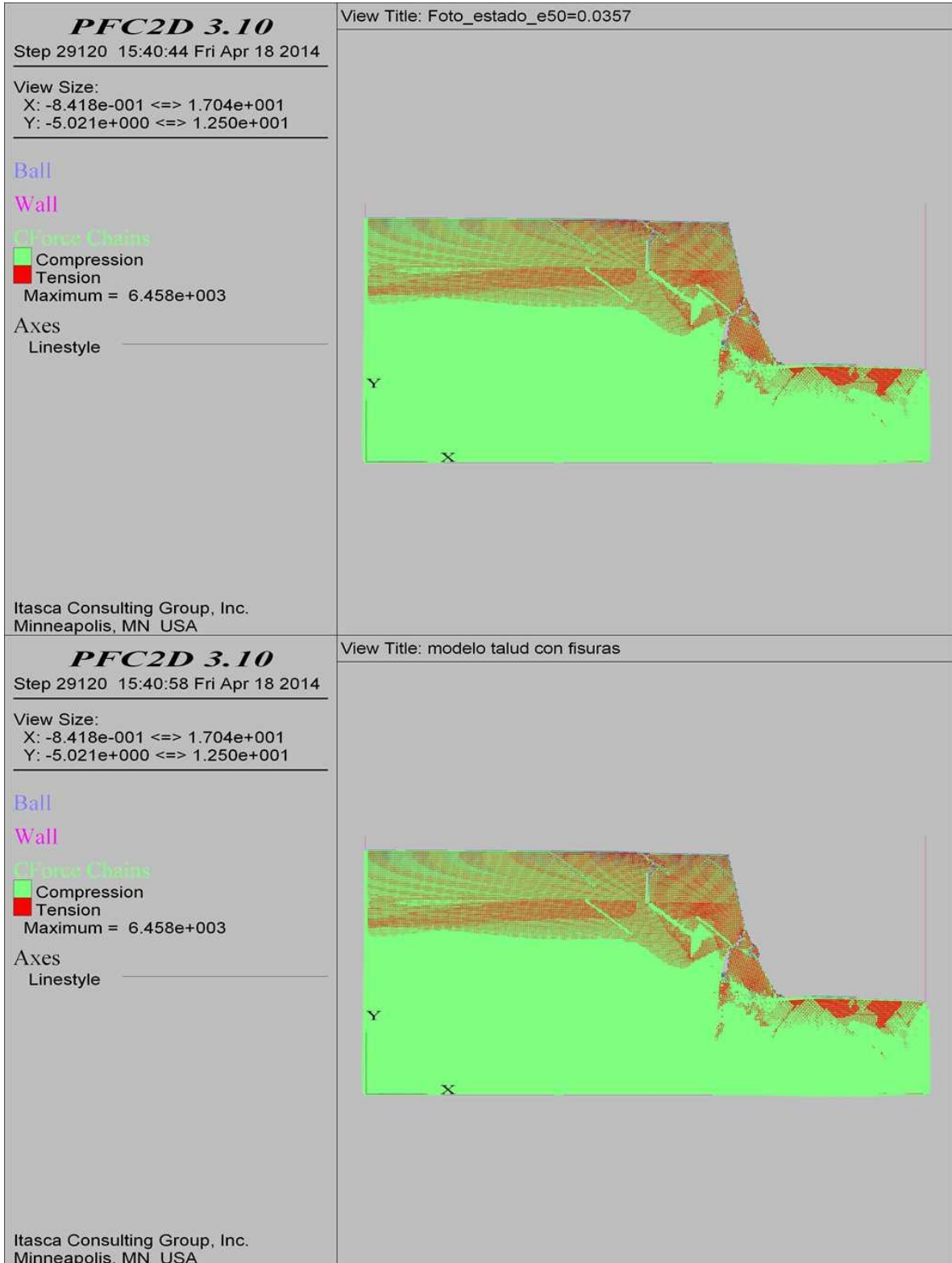
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



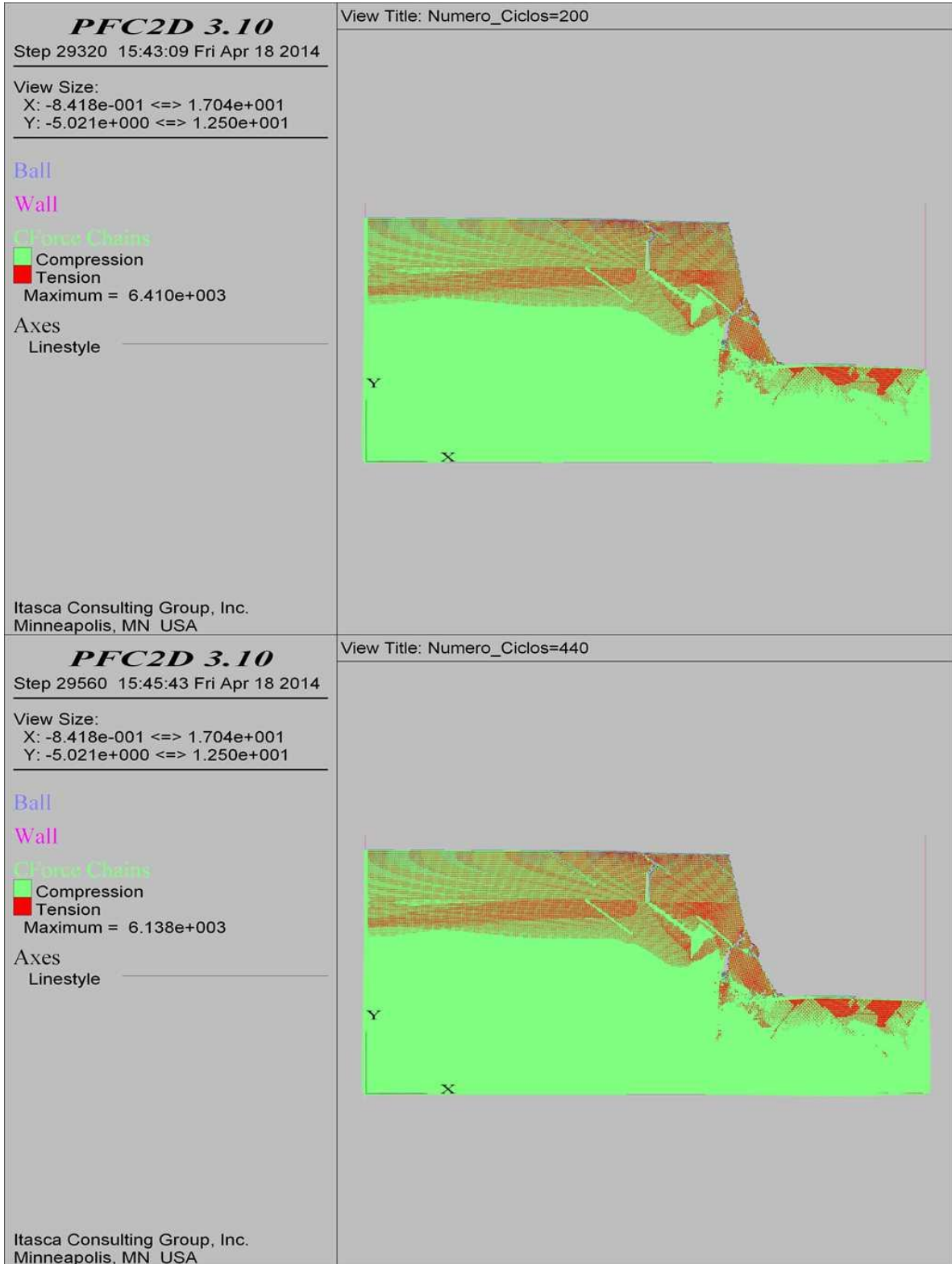
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



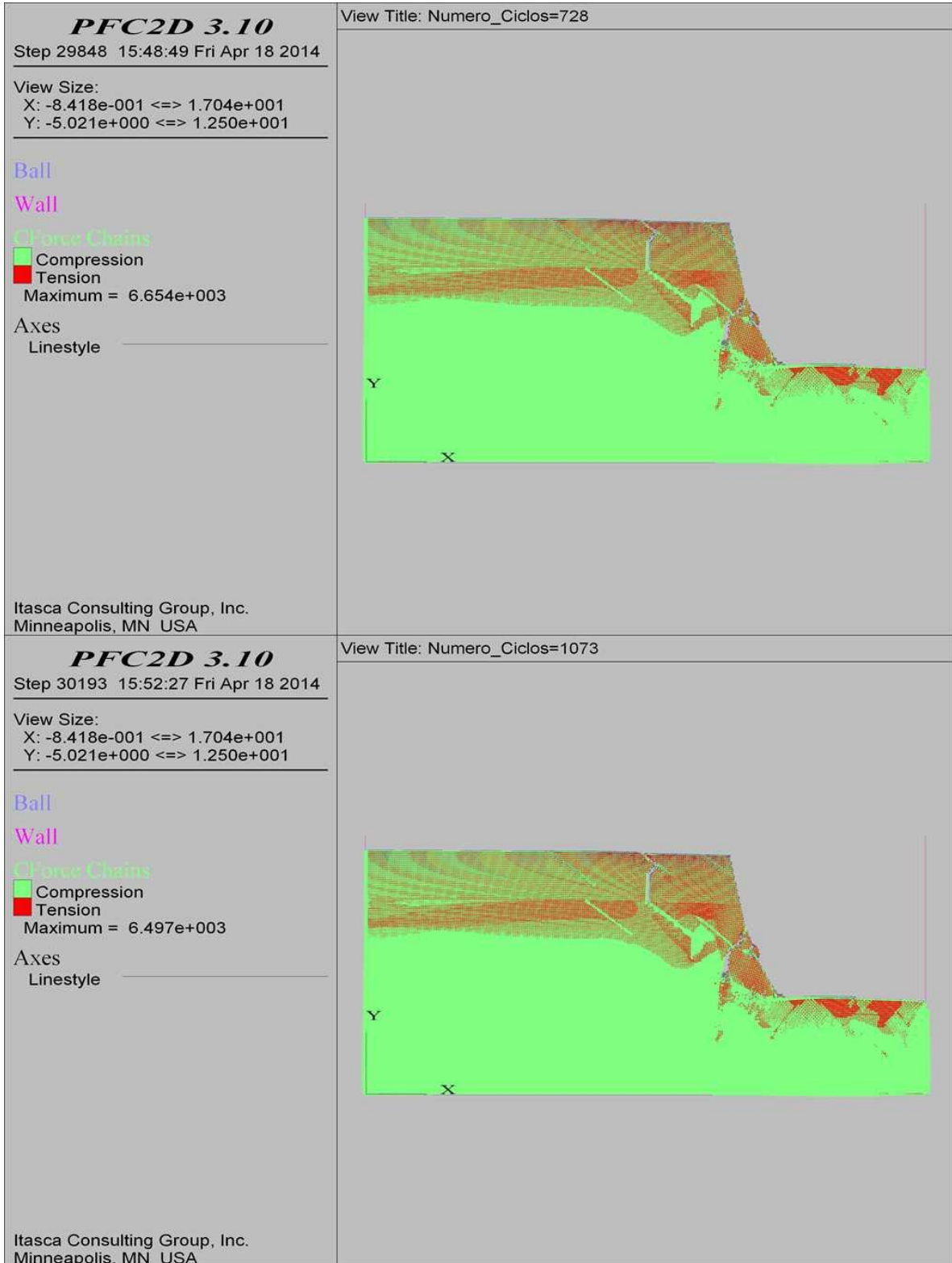
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



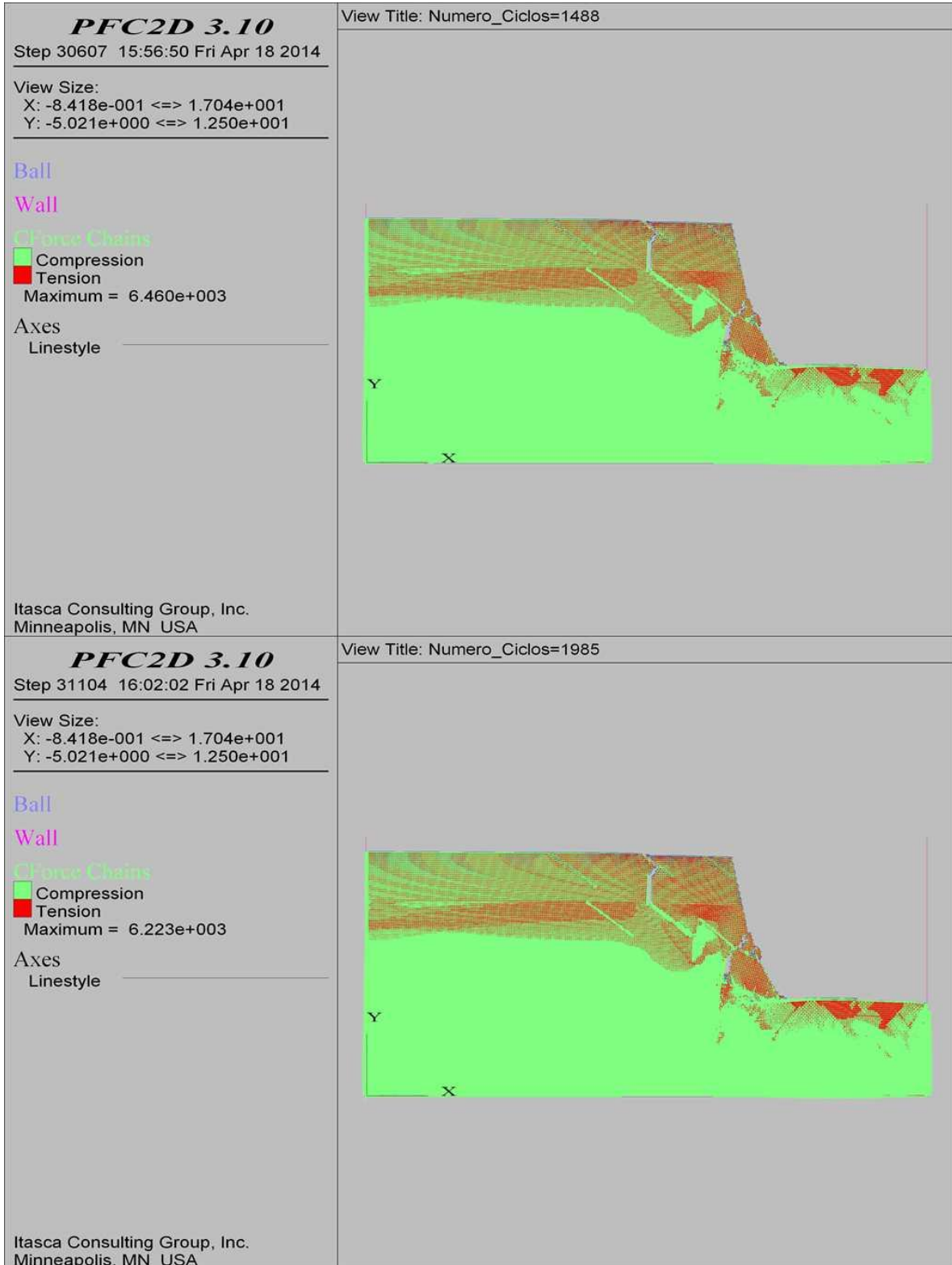
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



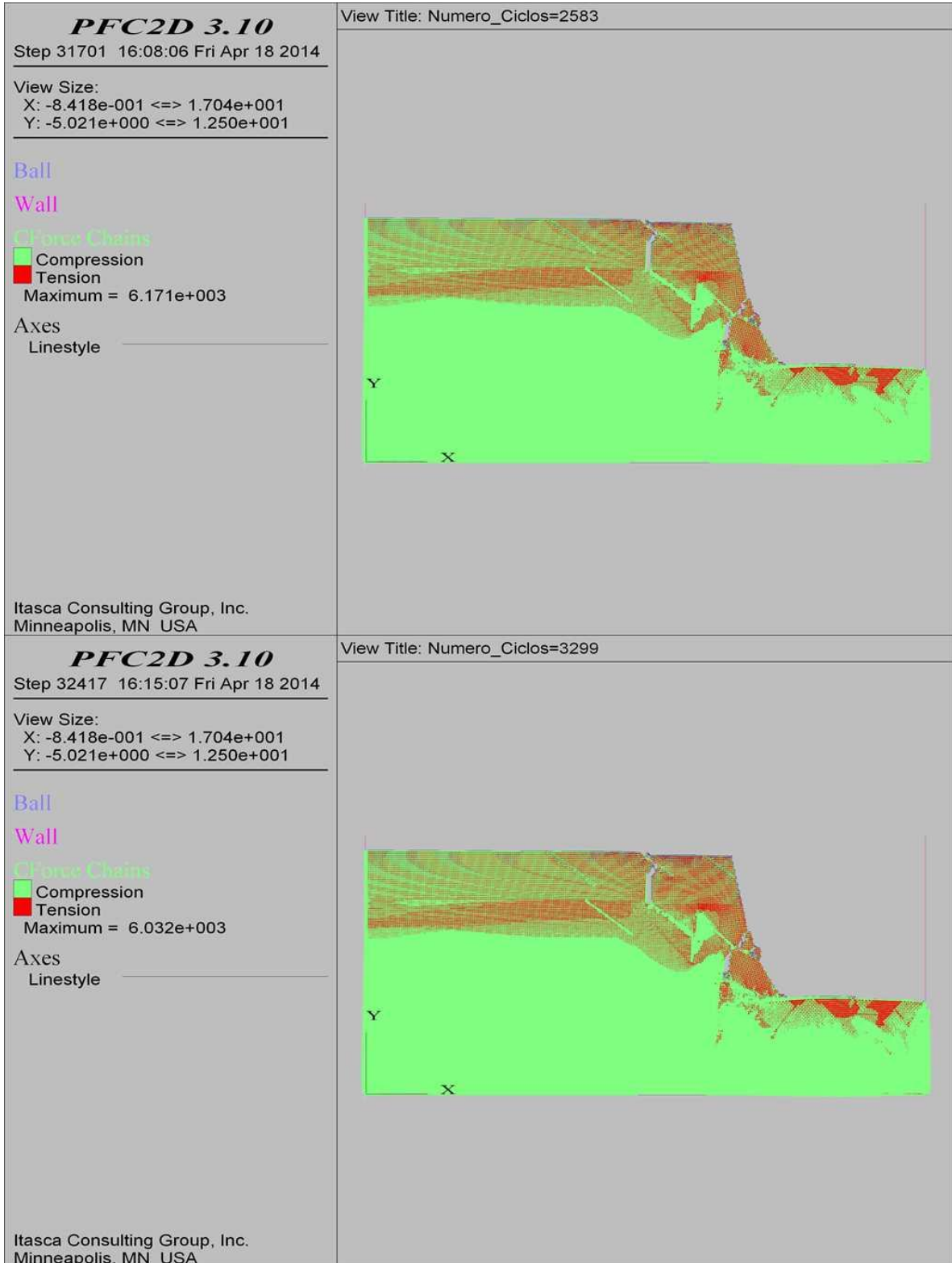
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



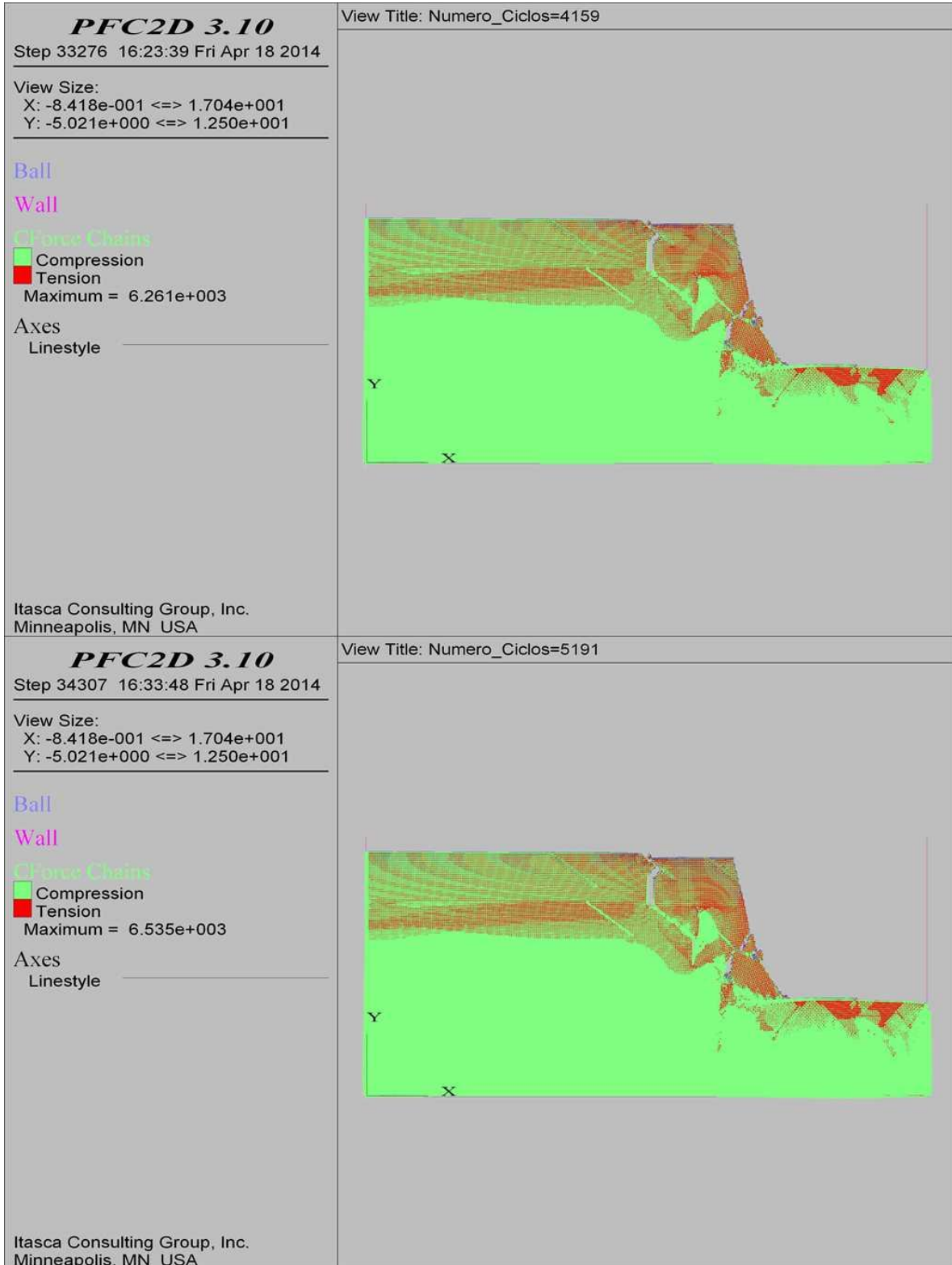
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



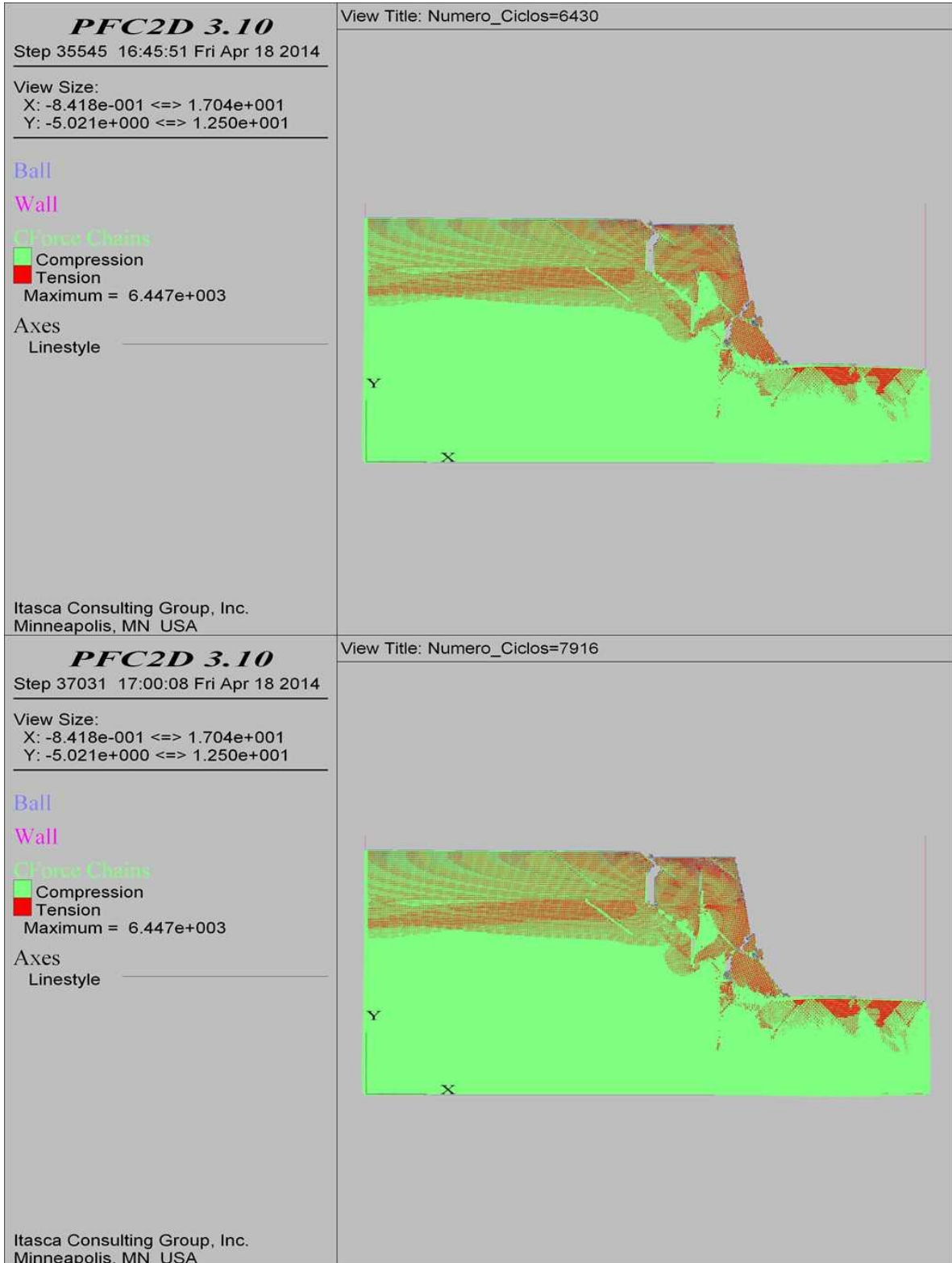
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



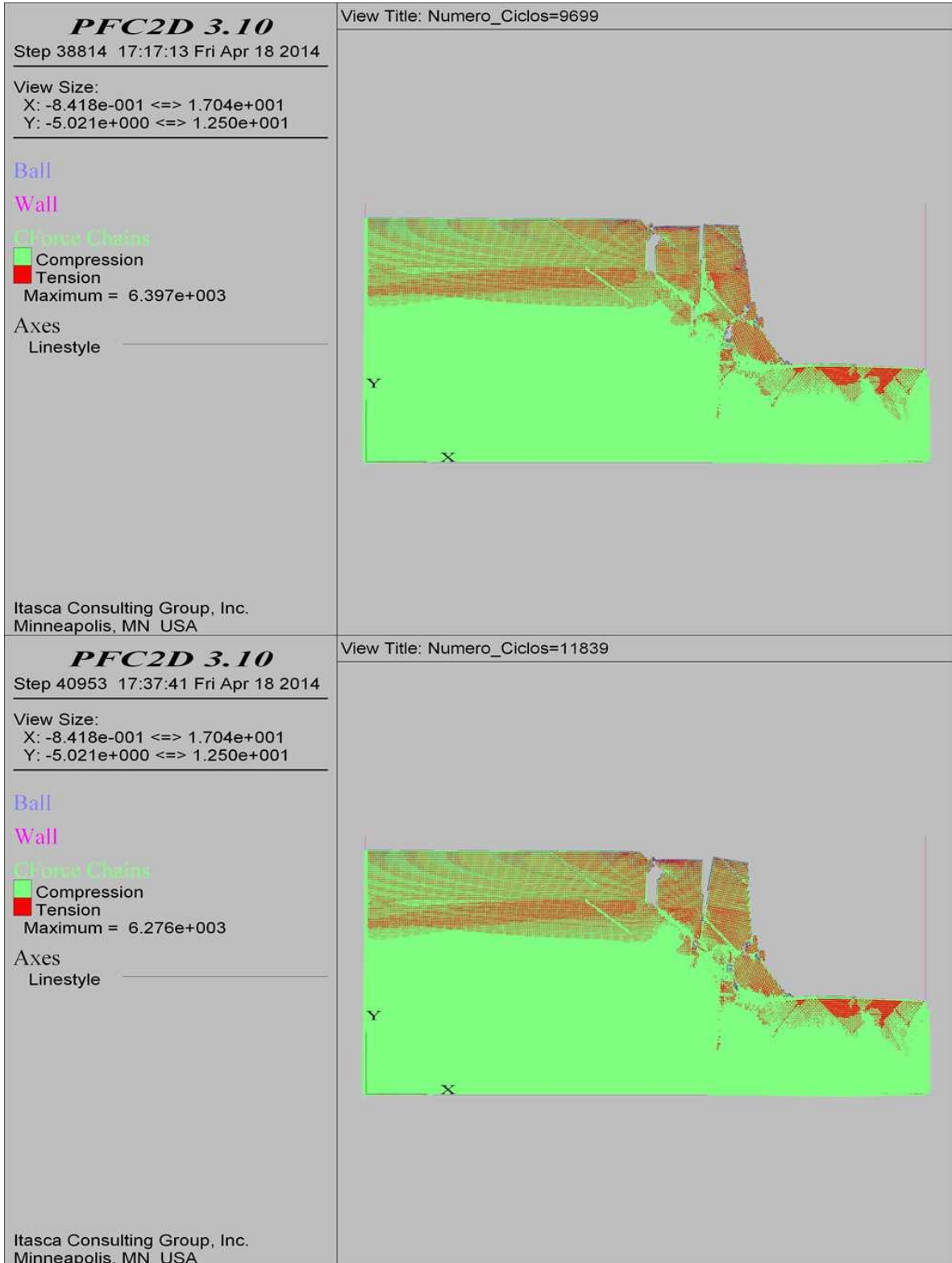
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



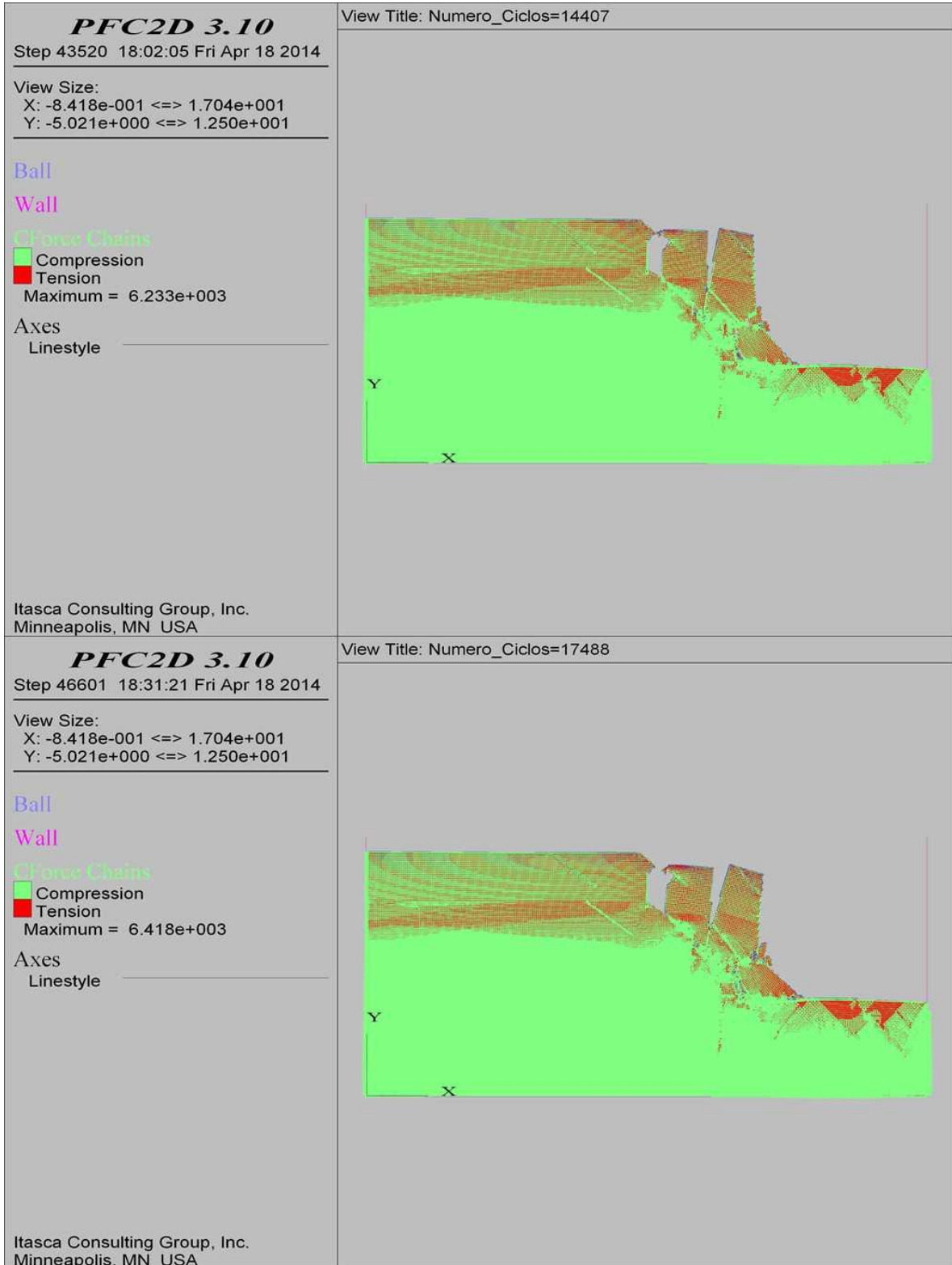
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



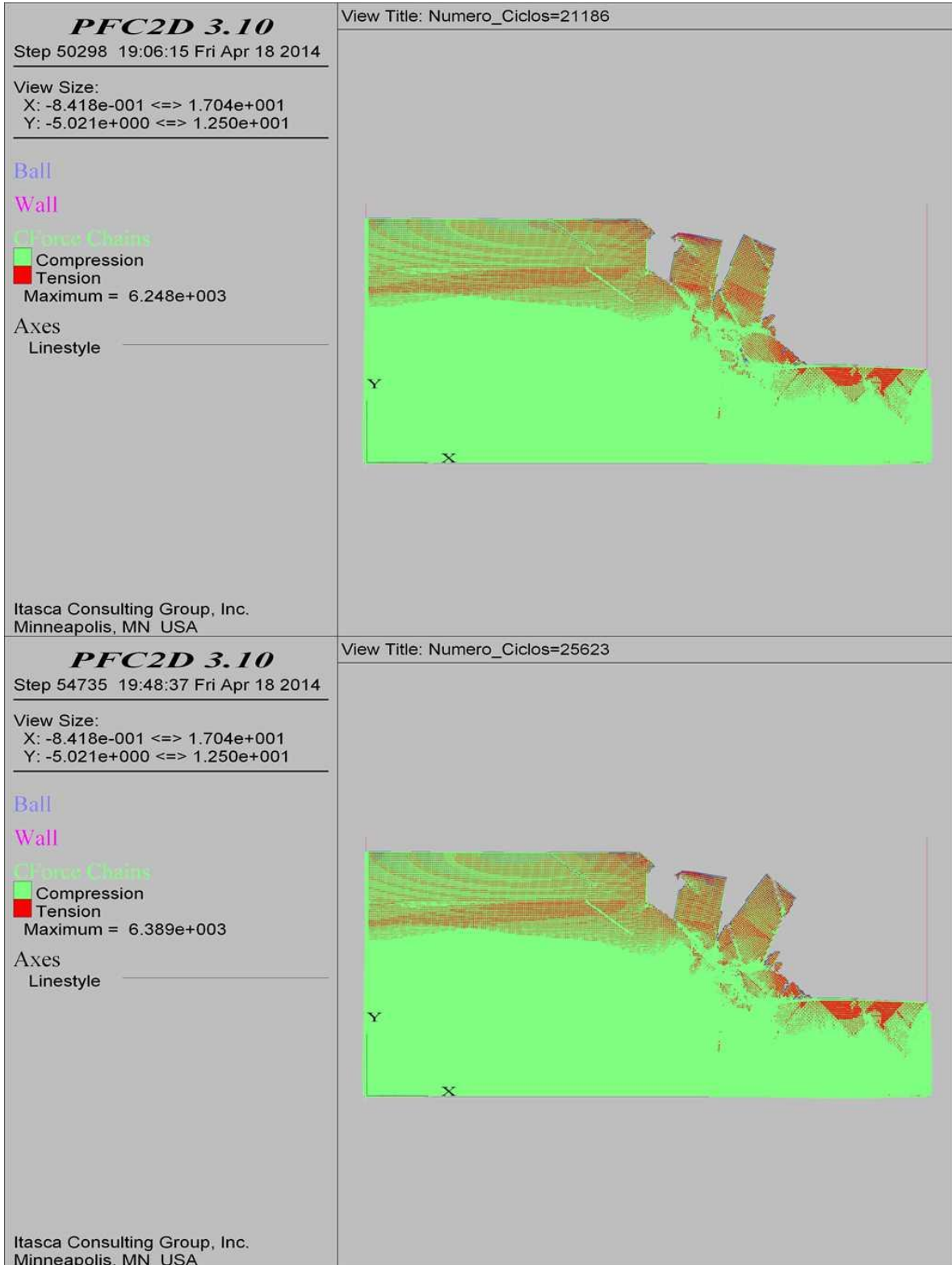
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



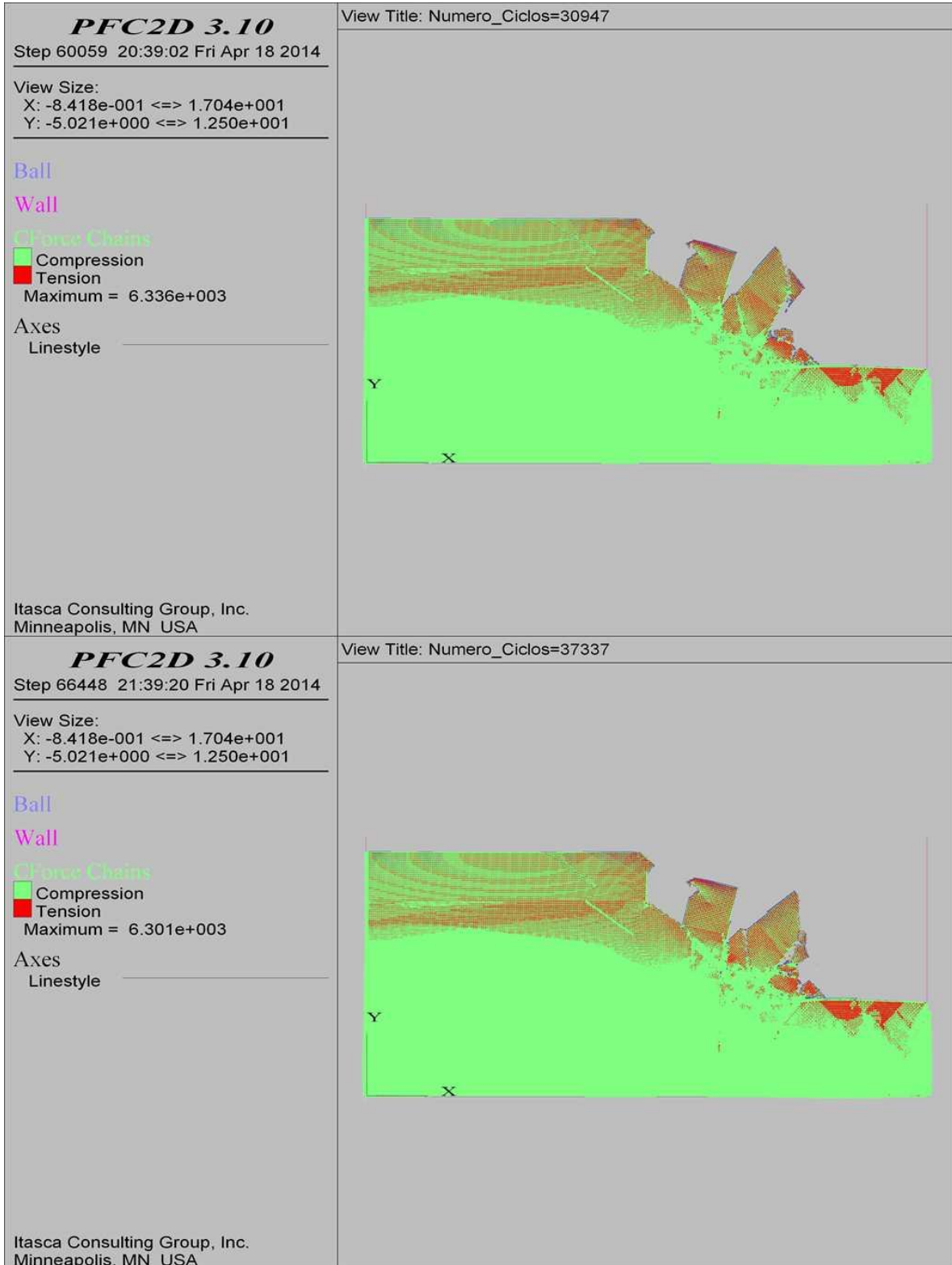
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



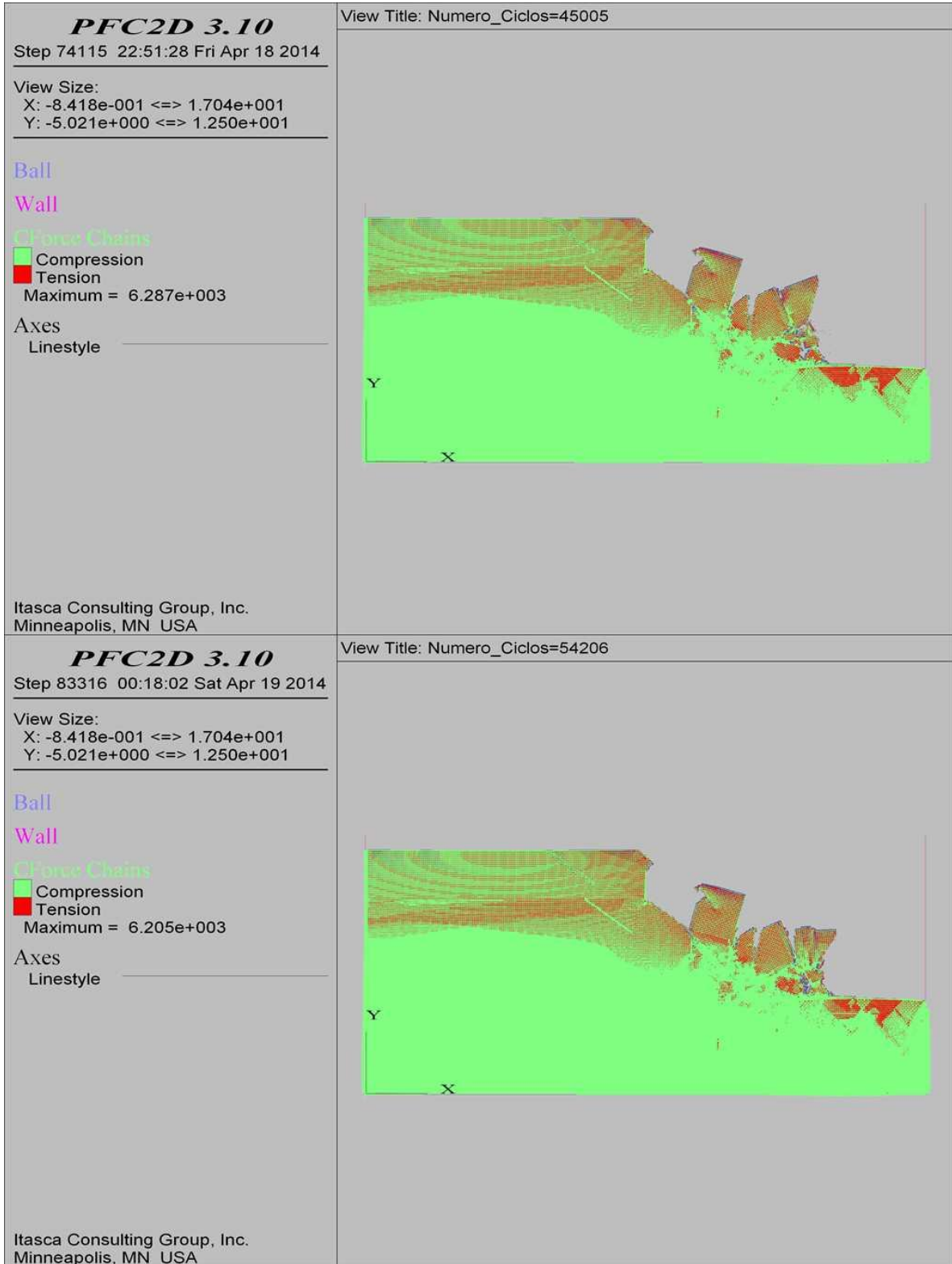
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



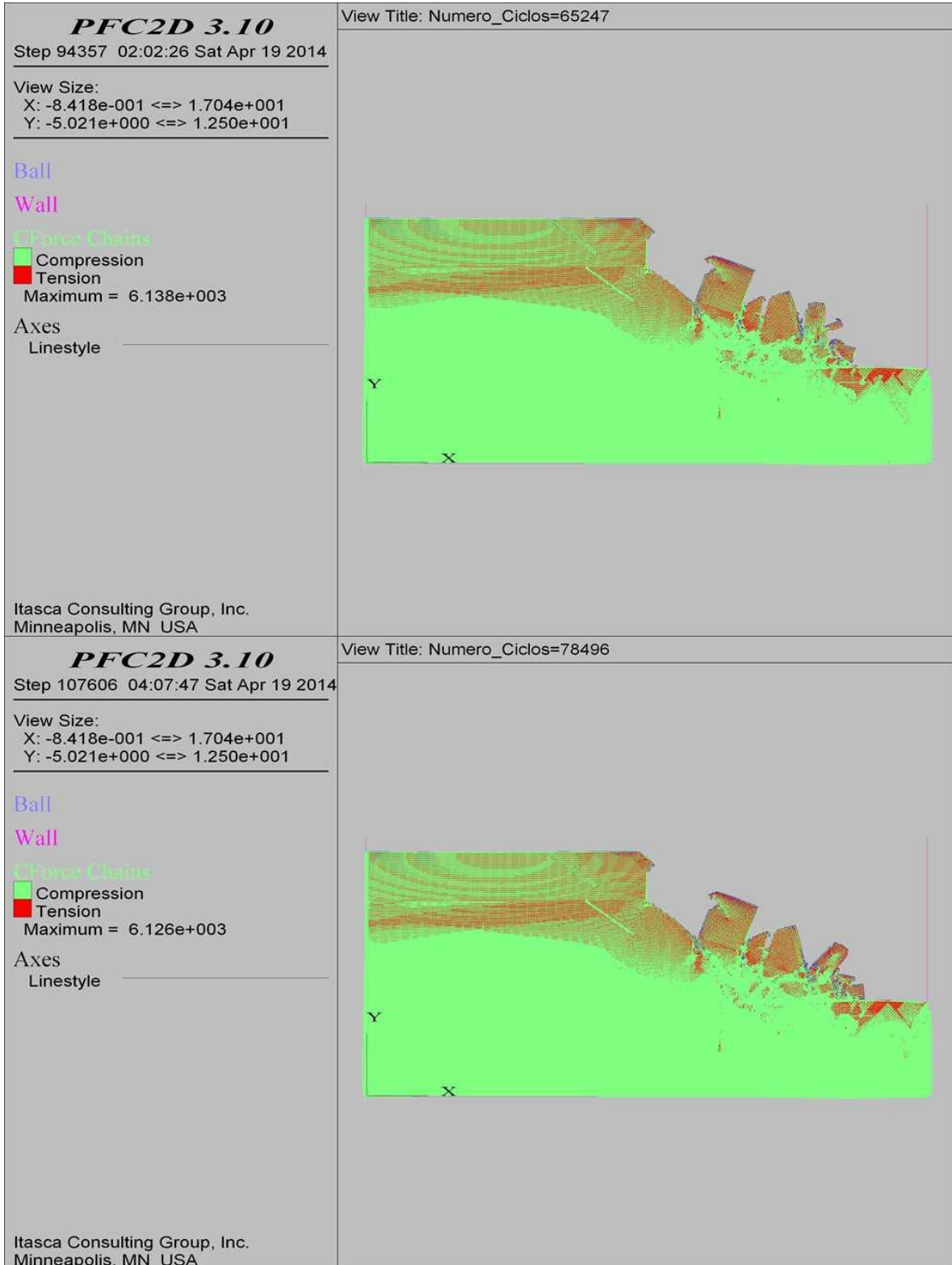
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



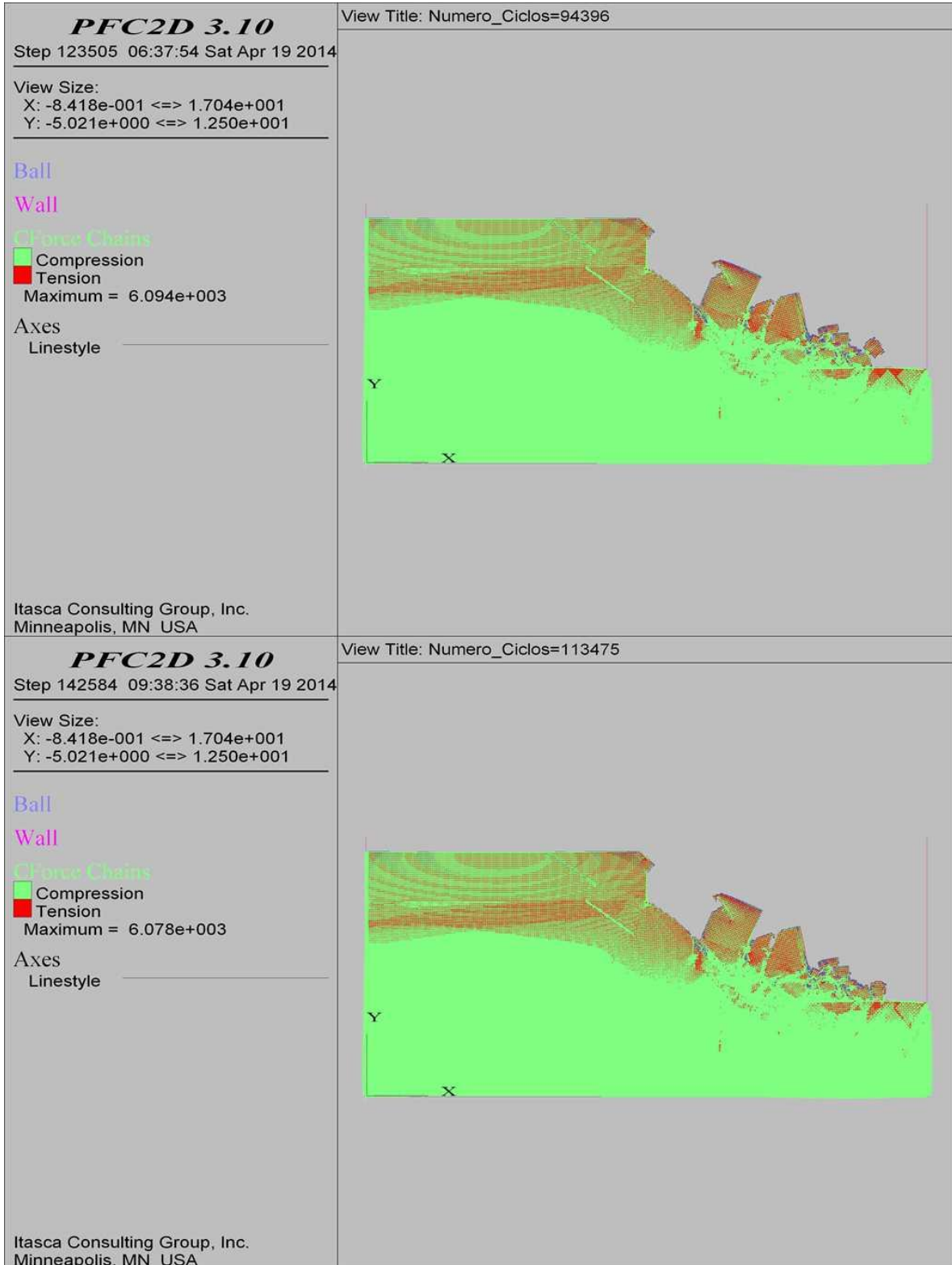
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



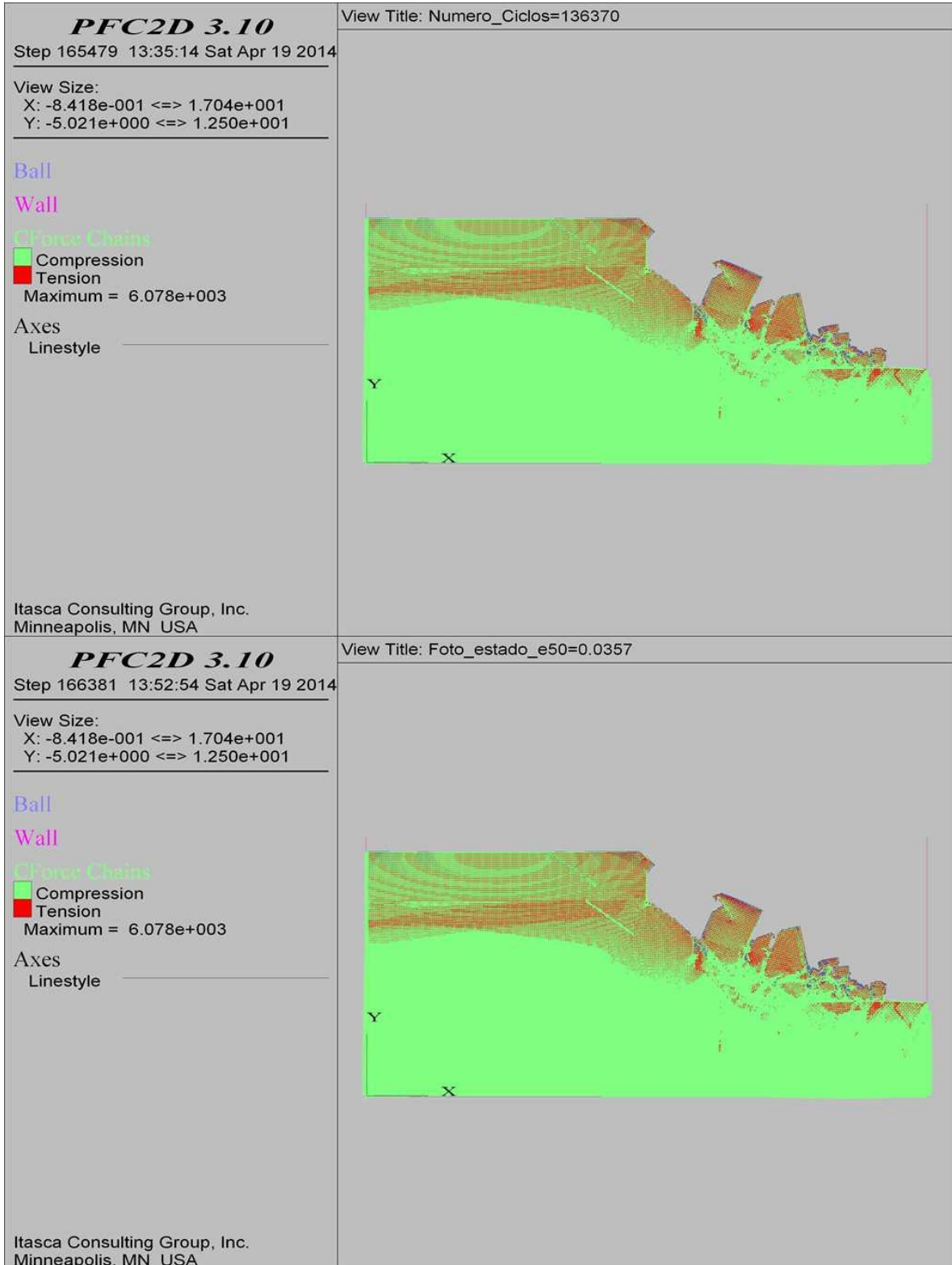
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



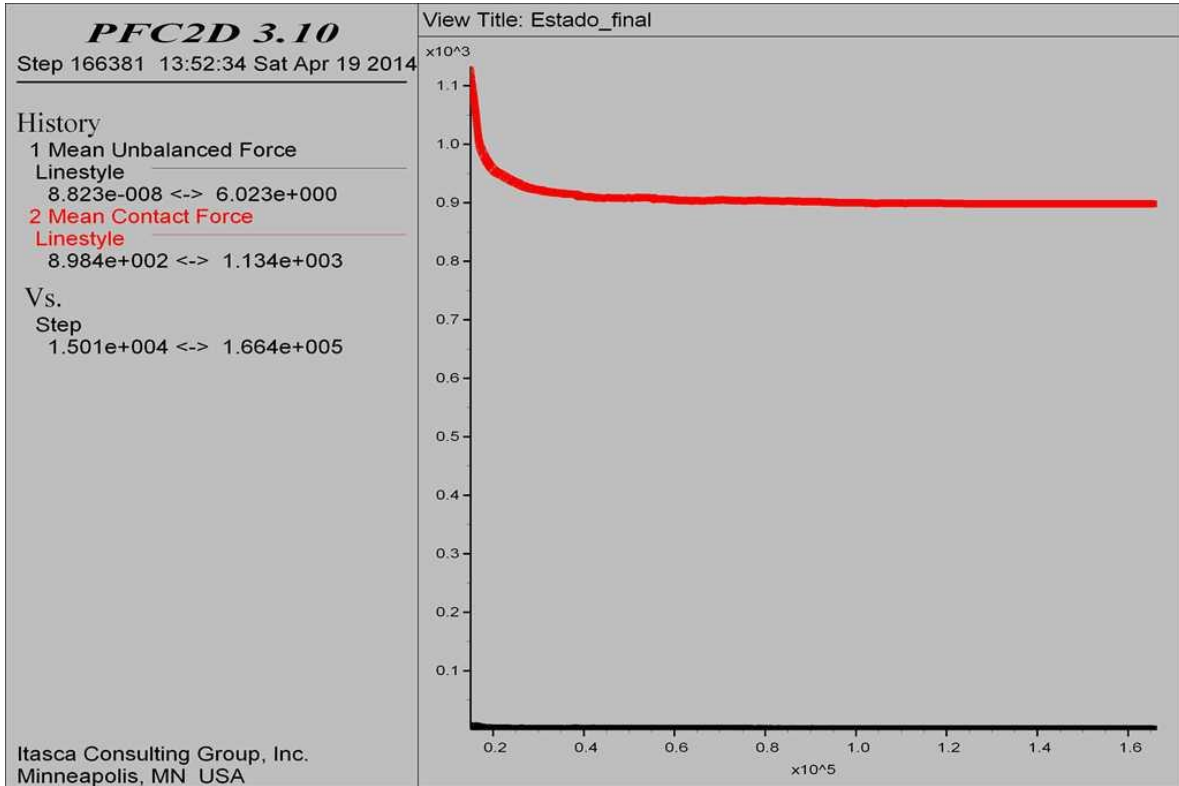
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



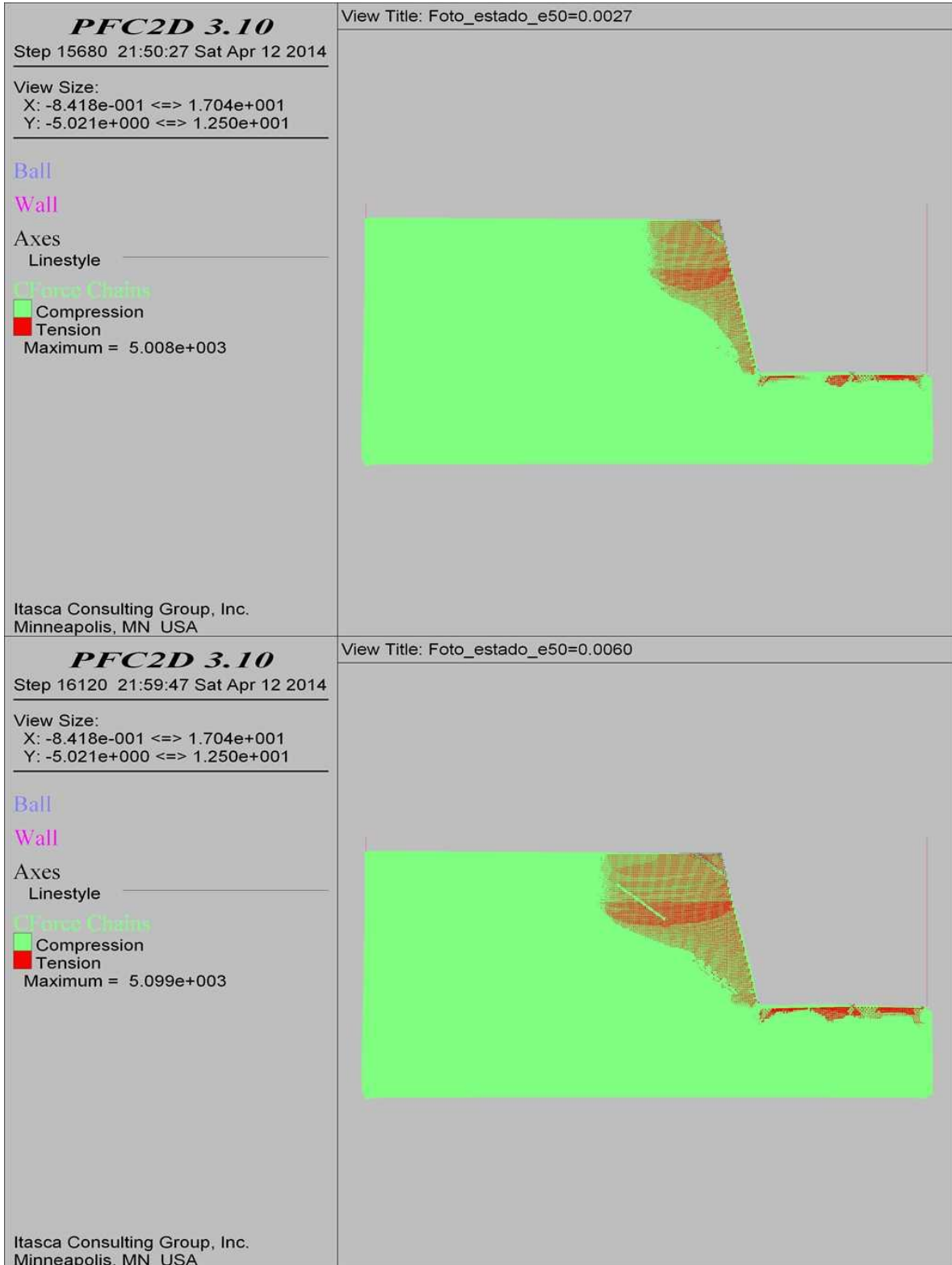
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



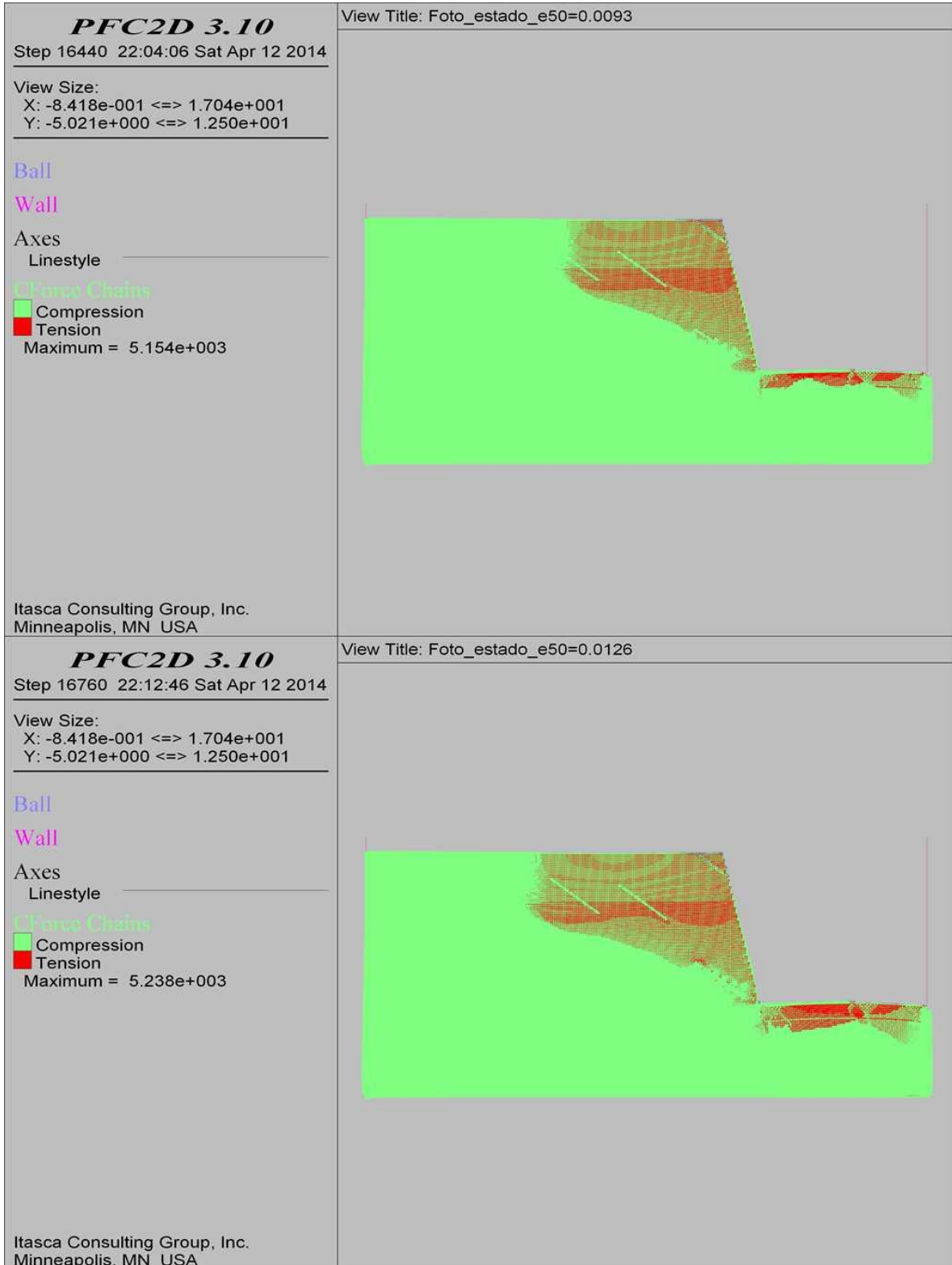
COMBINACIÓN 26: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



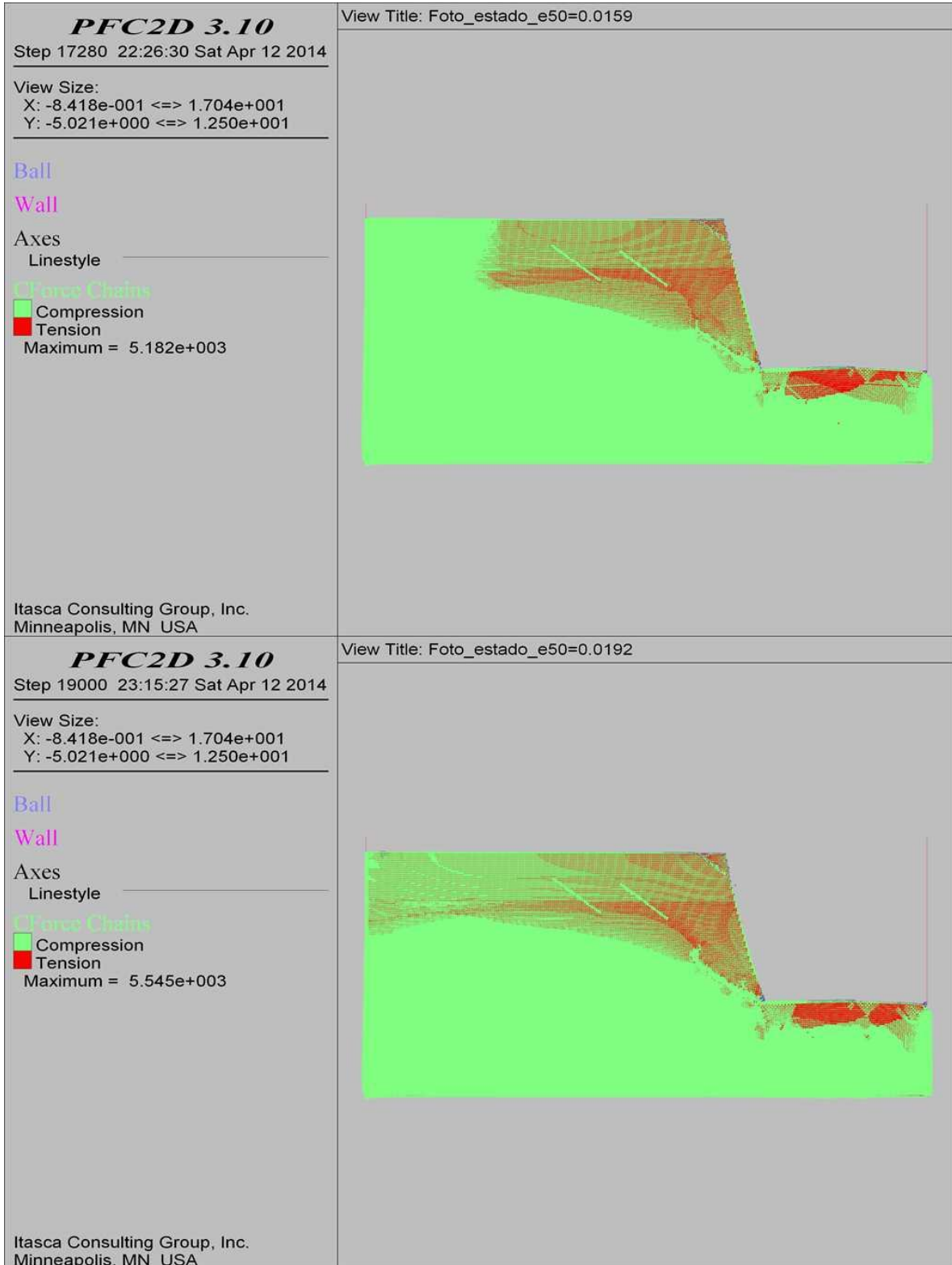
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



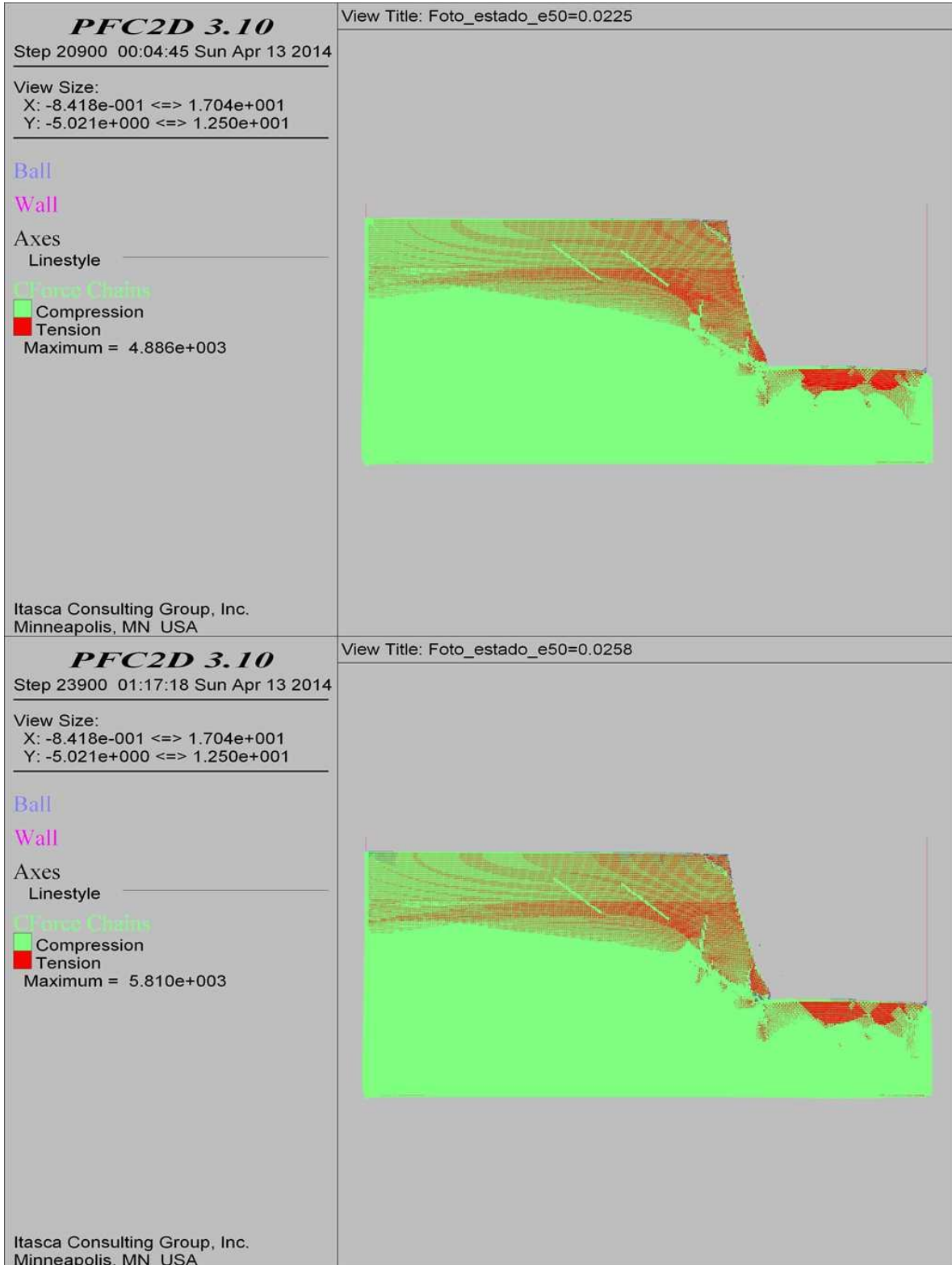
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



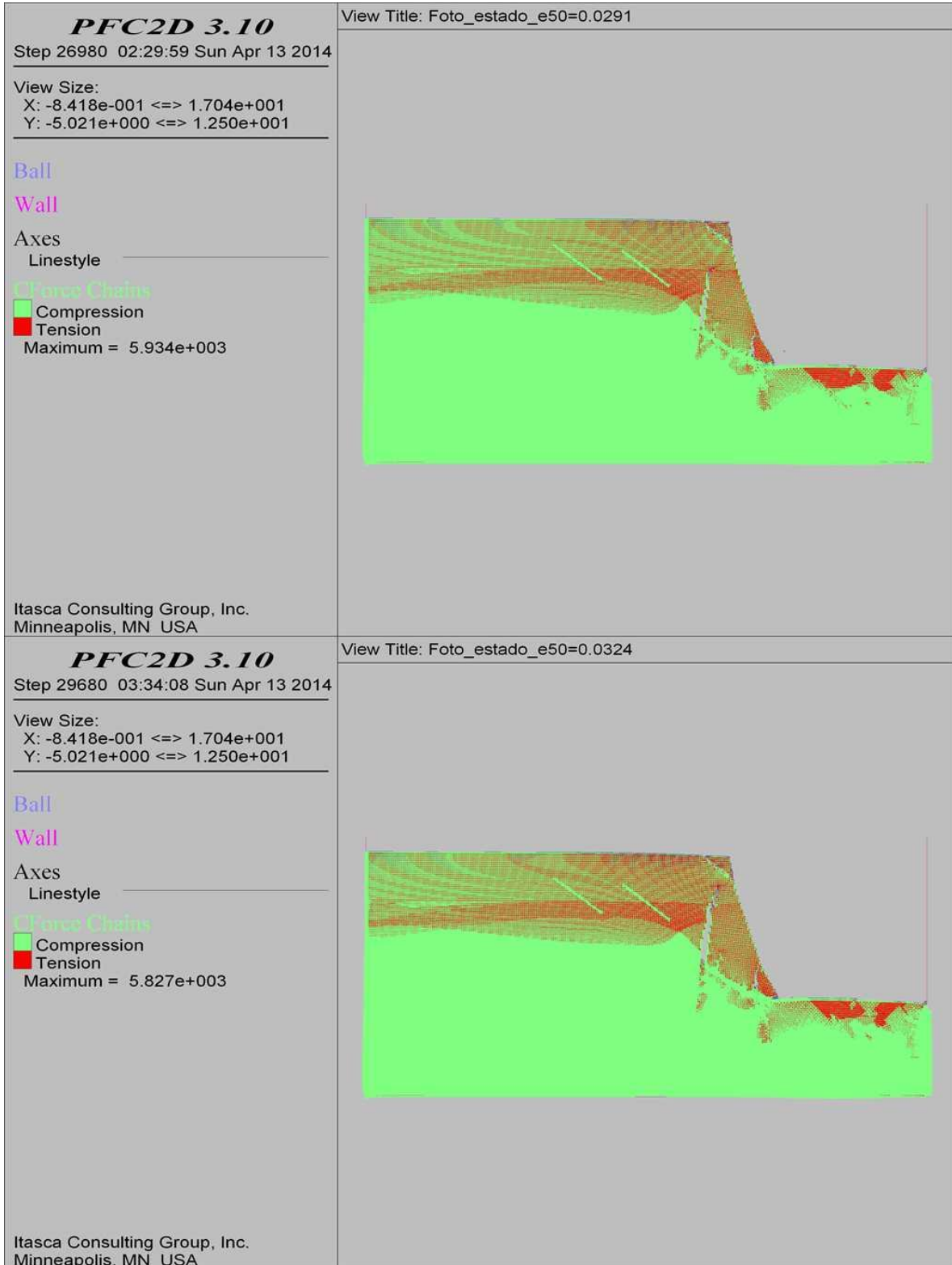
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



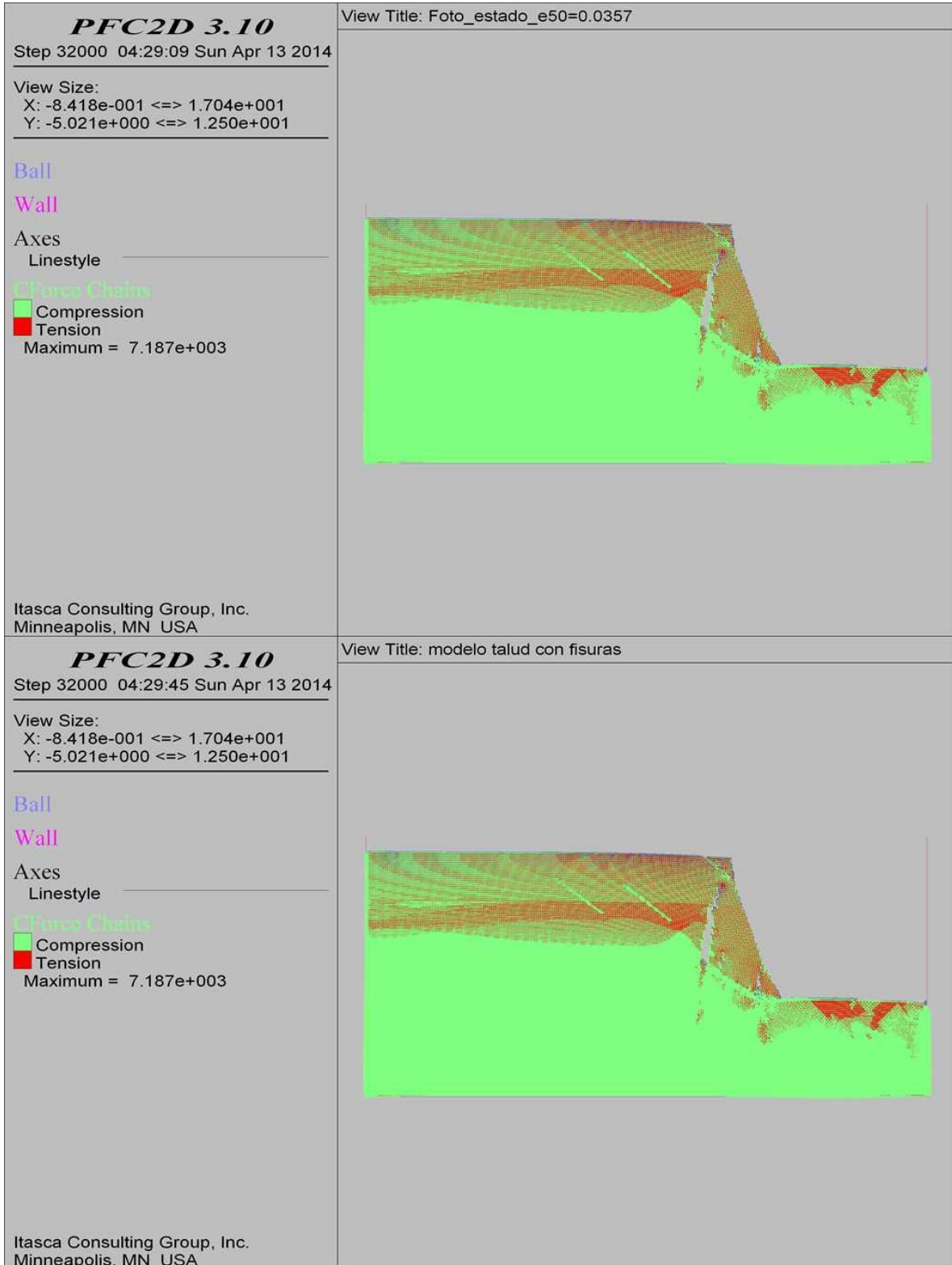
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



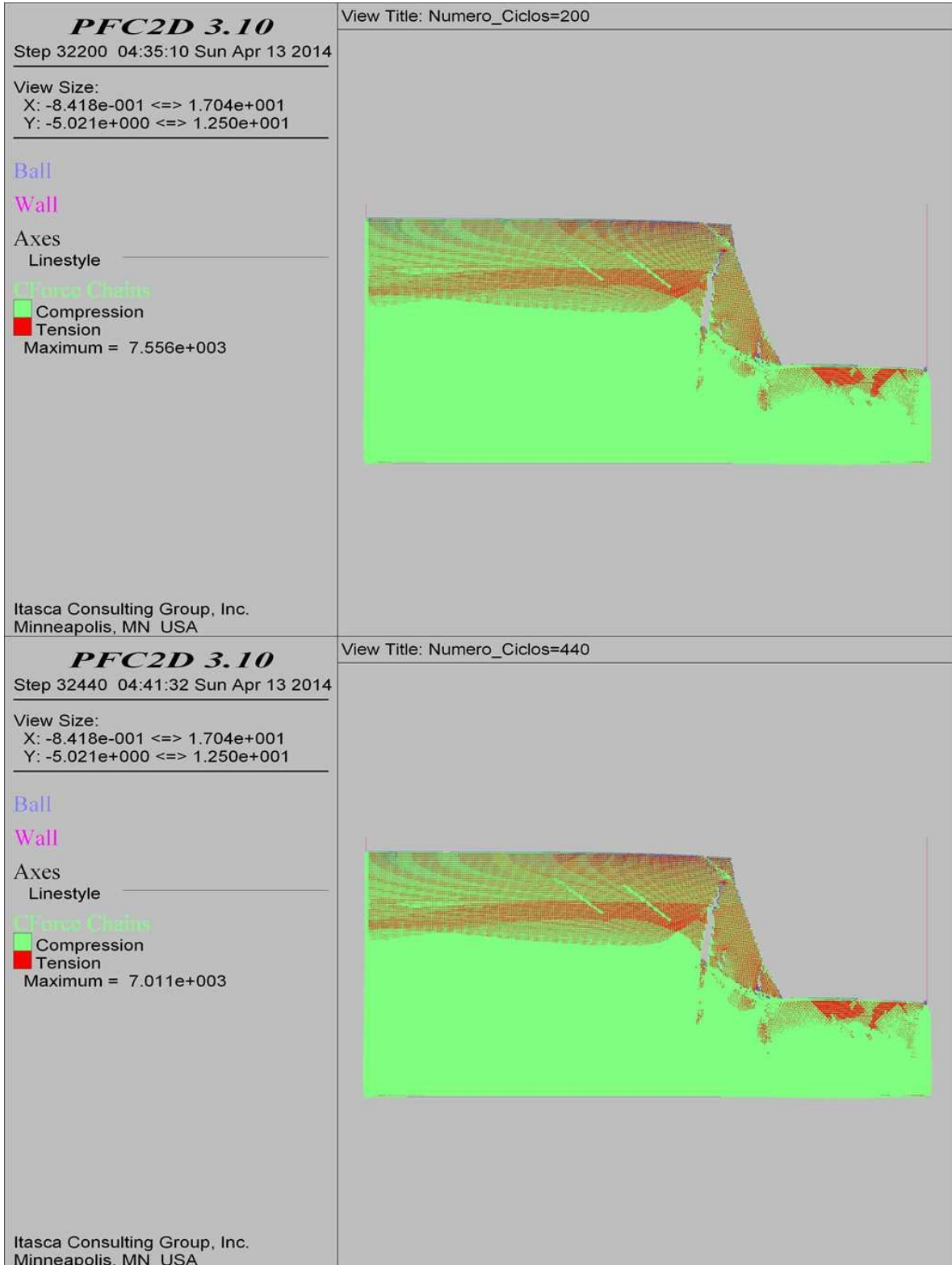
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



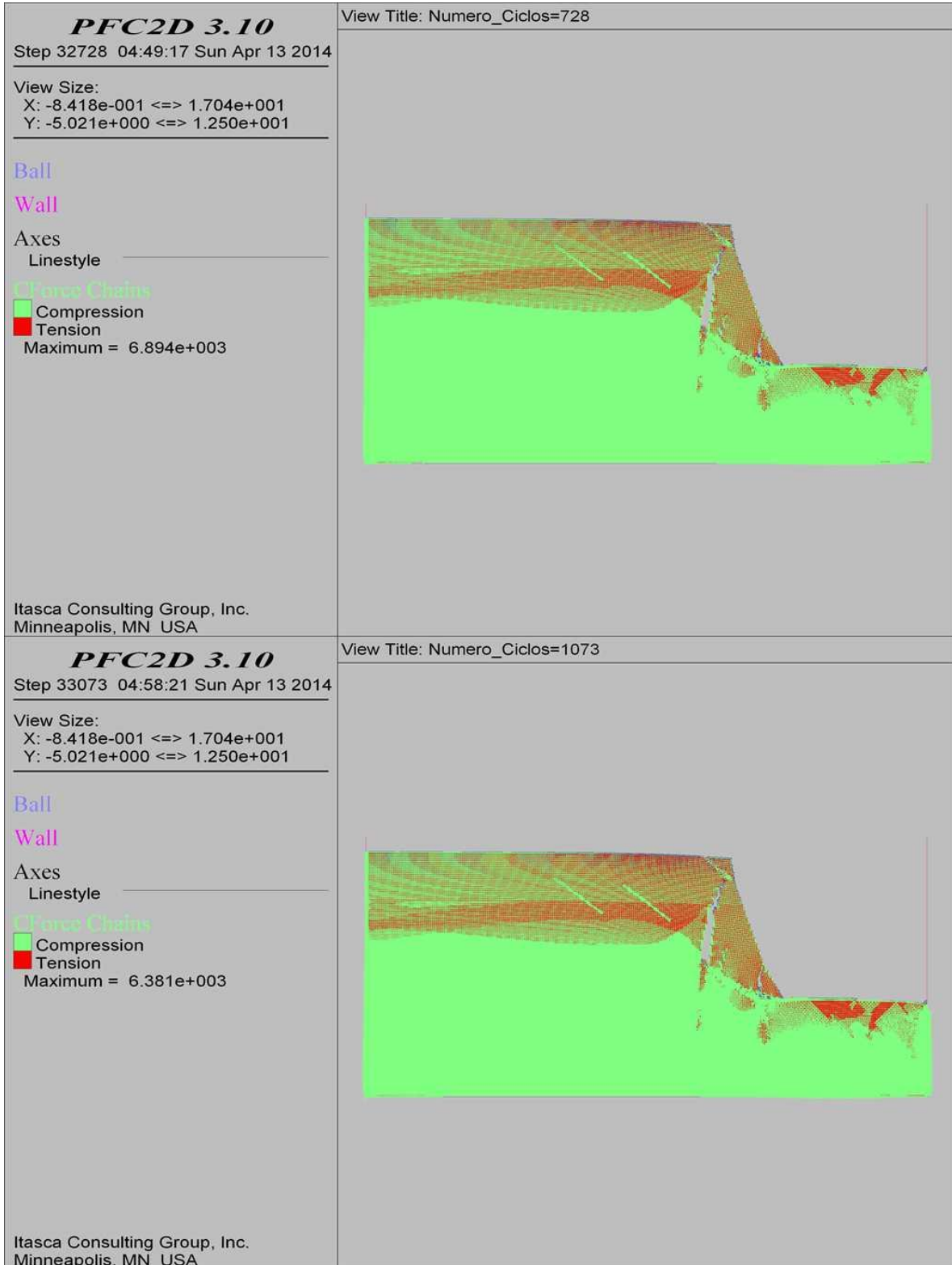
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



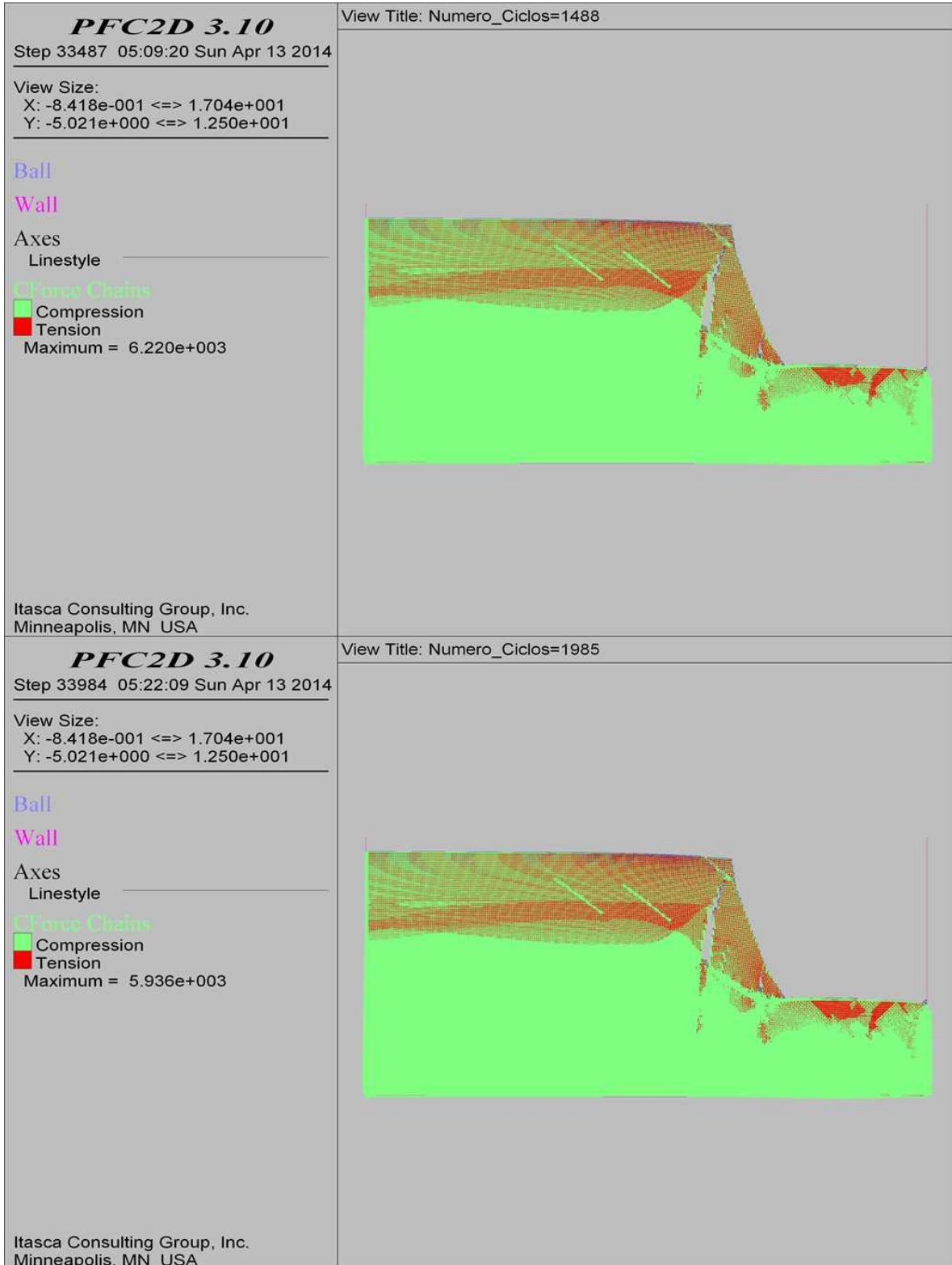
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



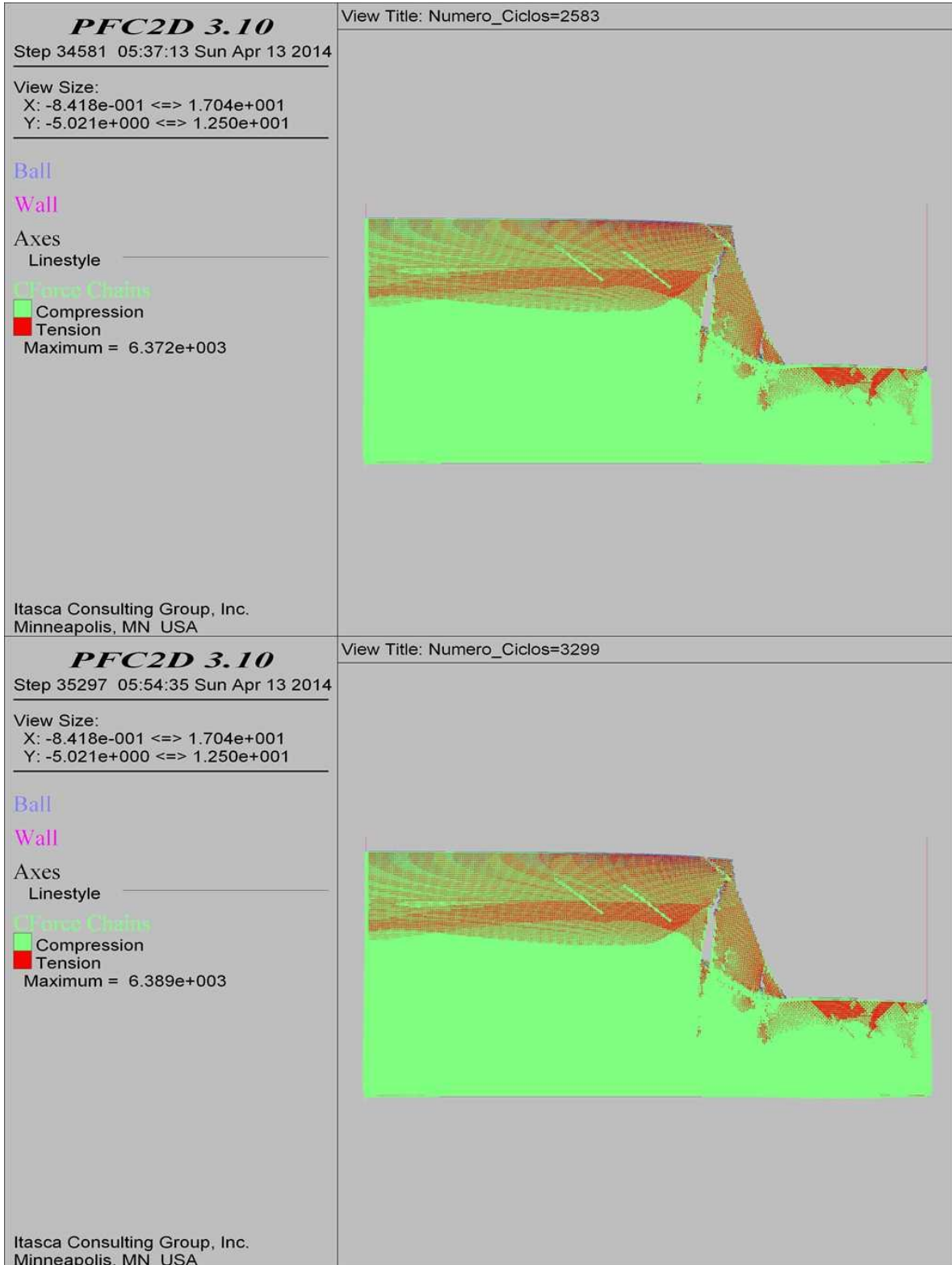
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



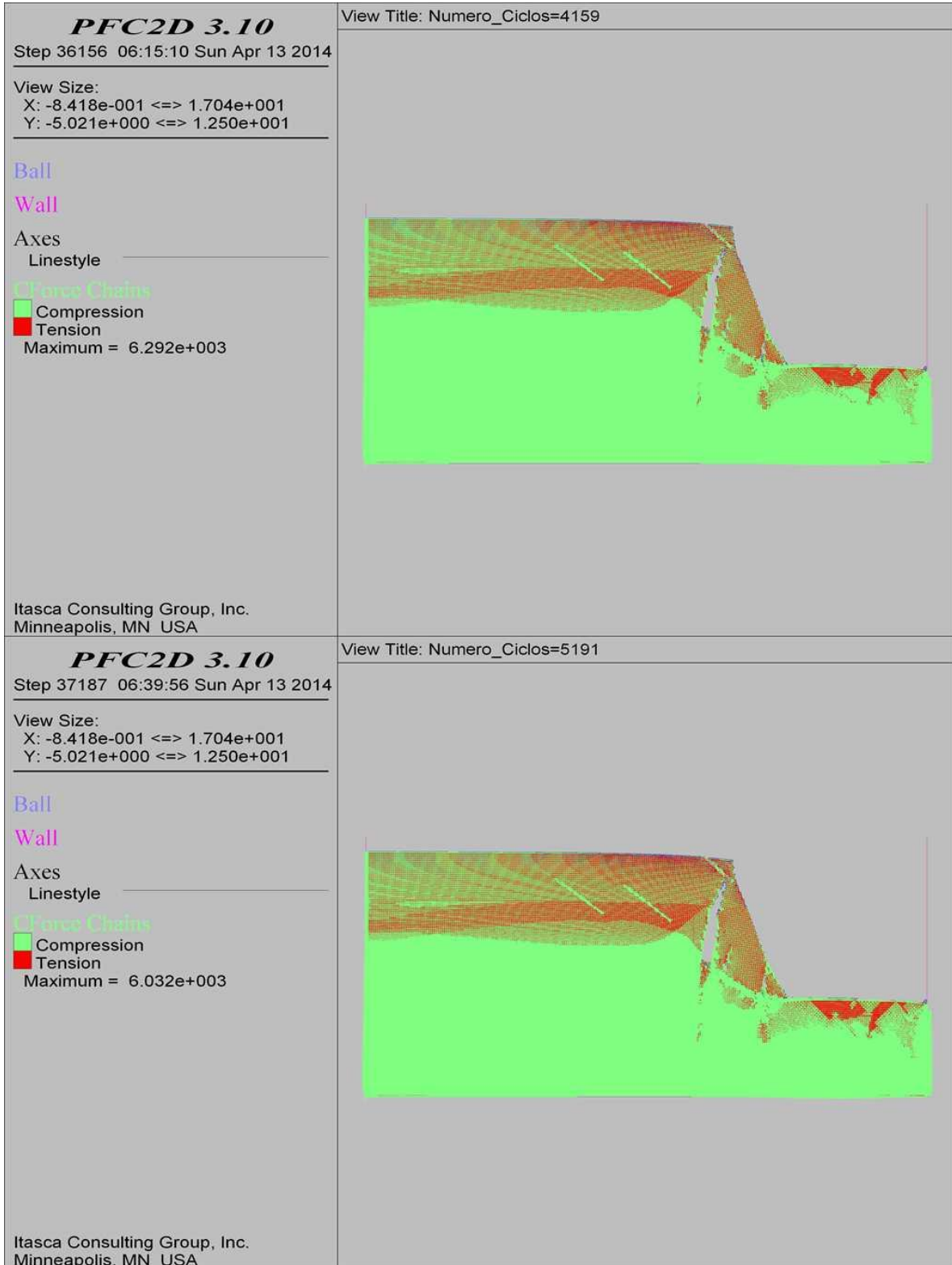
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



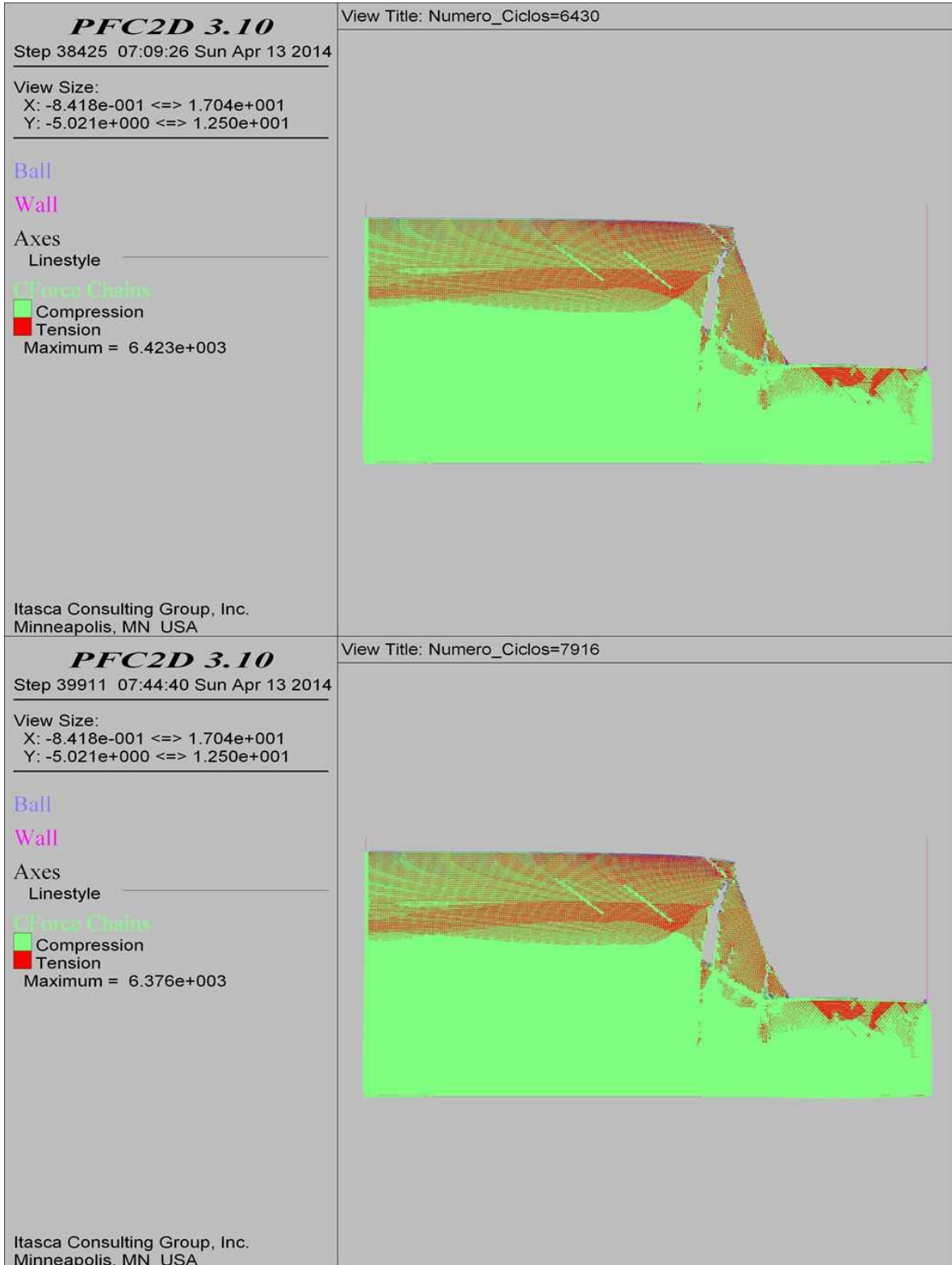
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



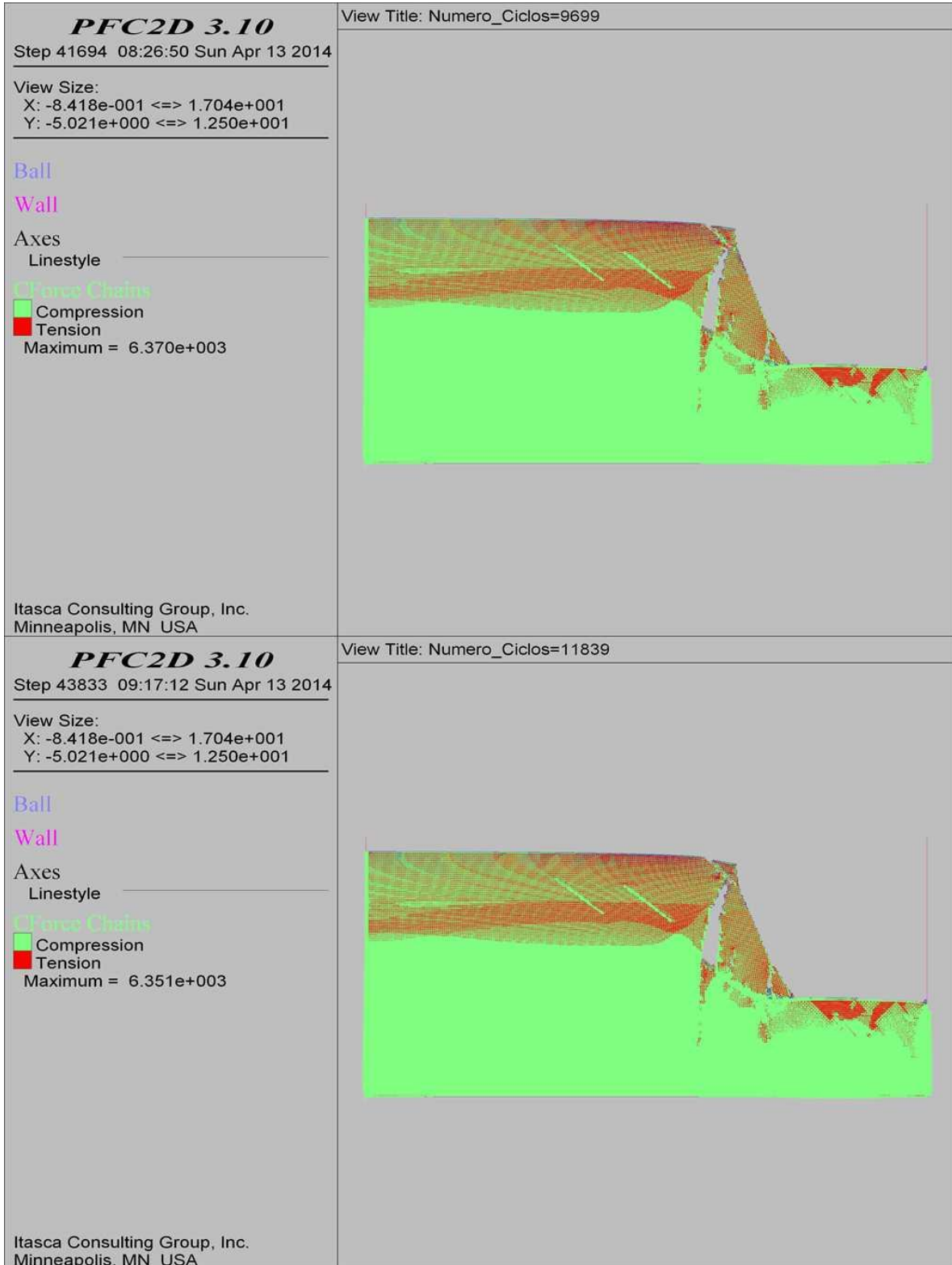
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



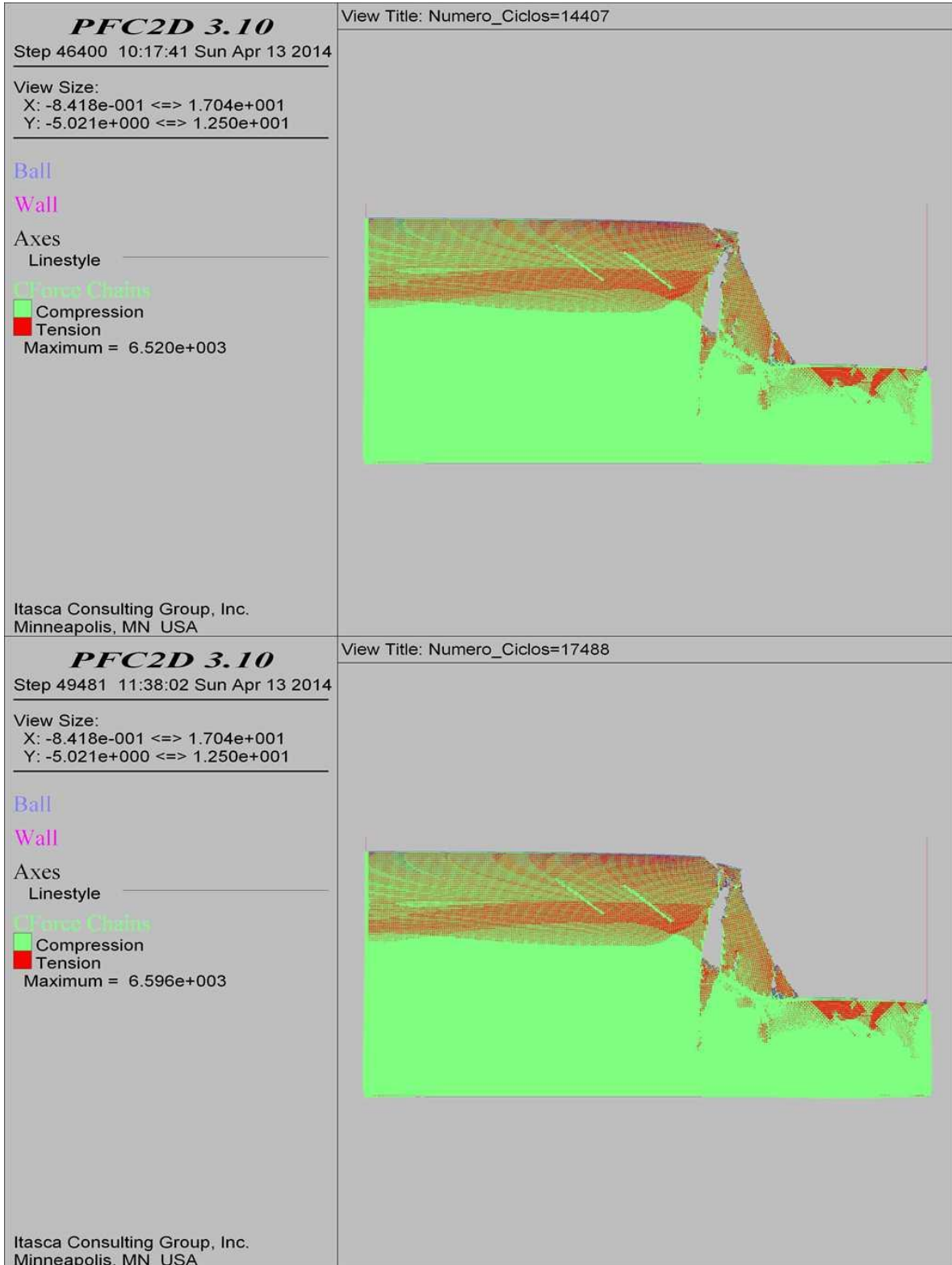
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



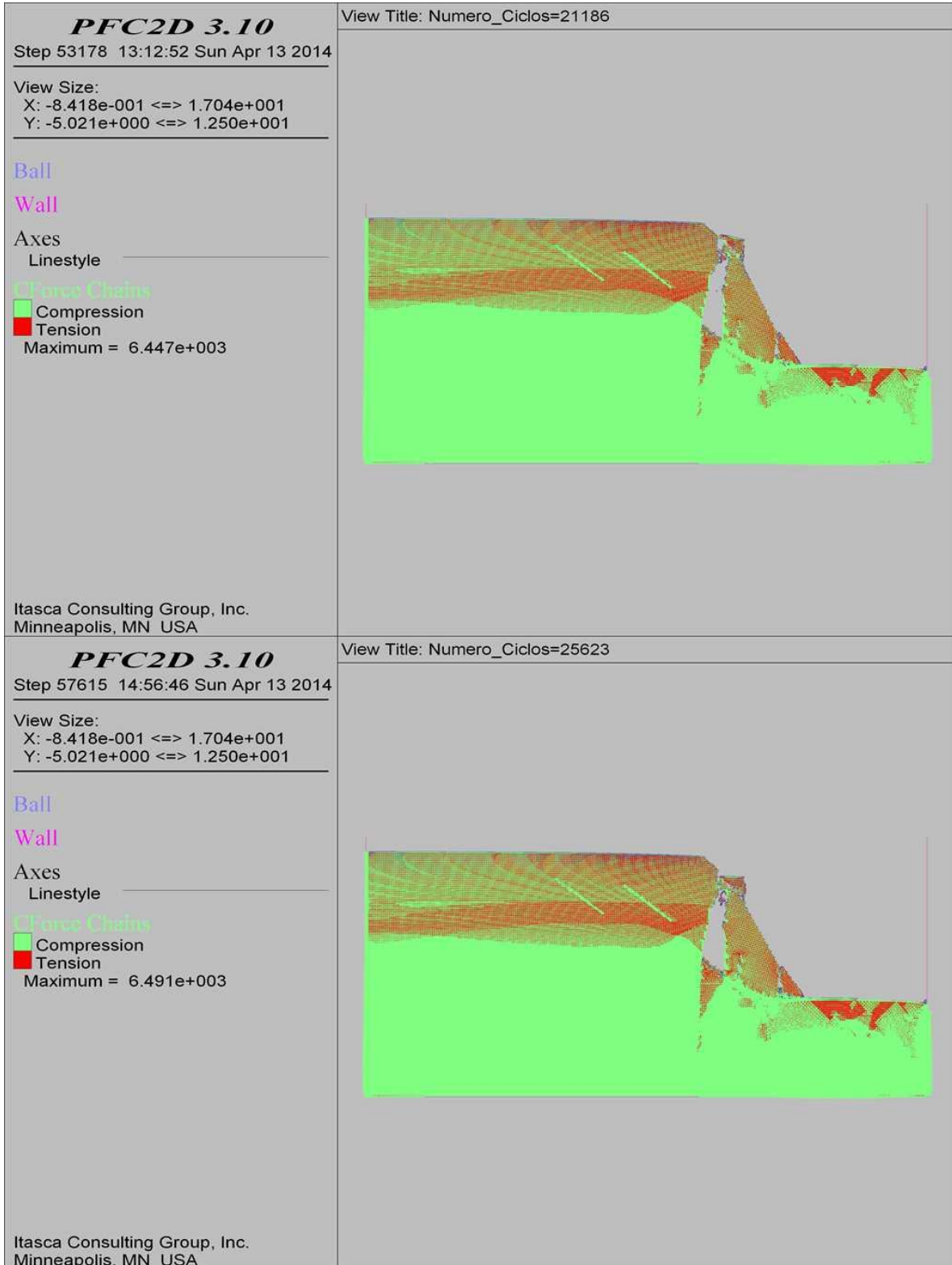
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



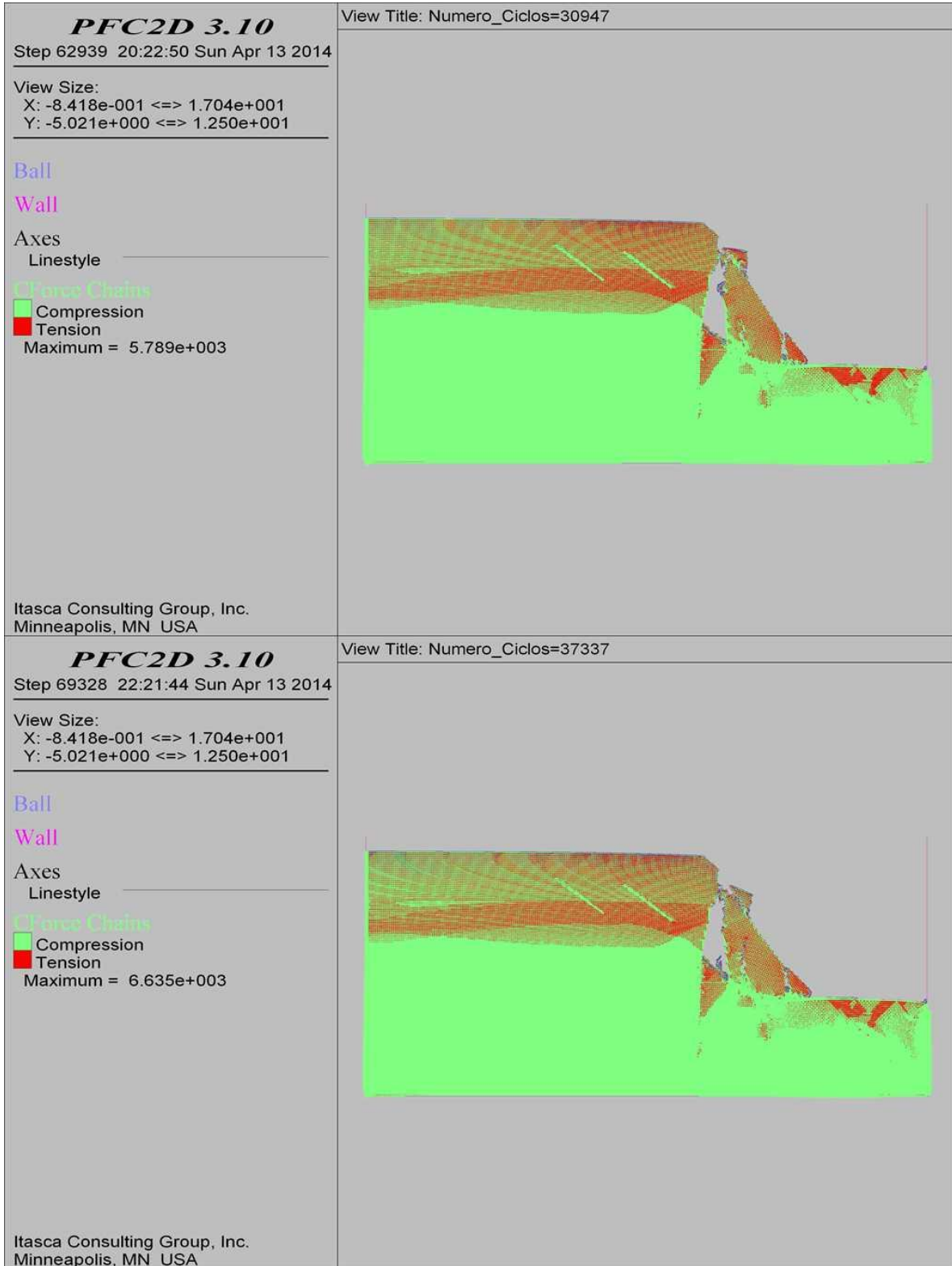
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



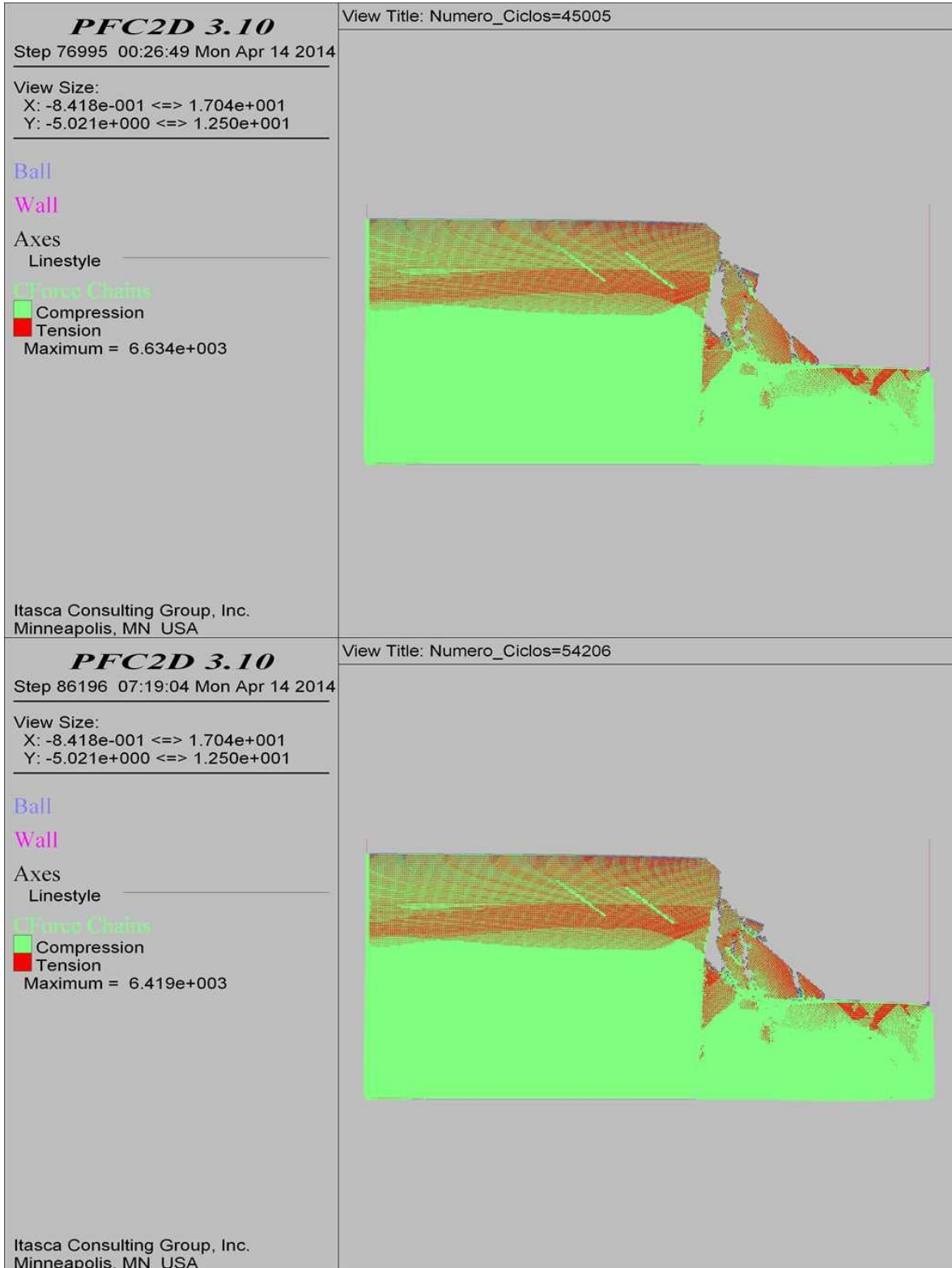
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



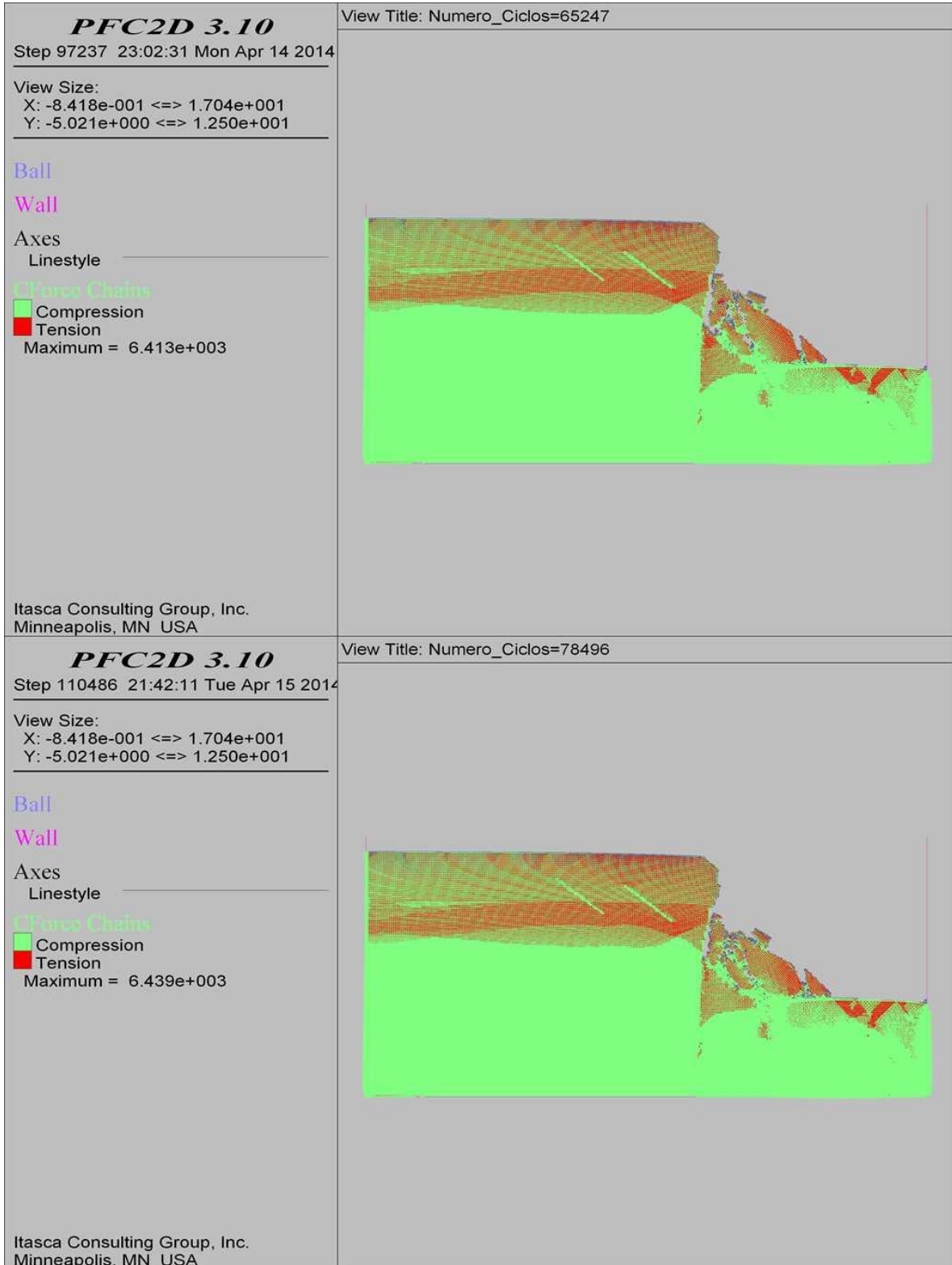
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



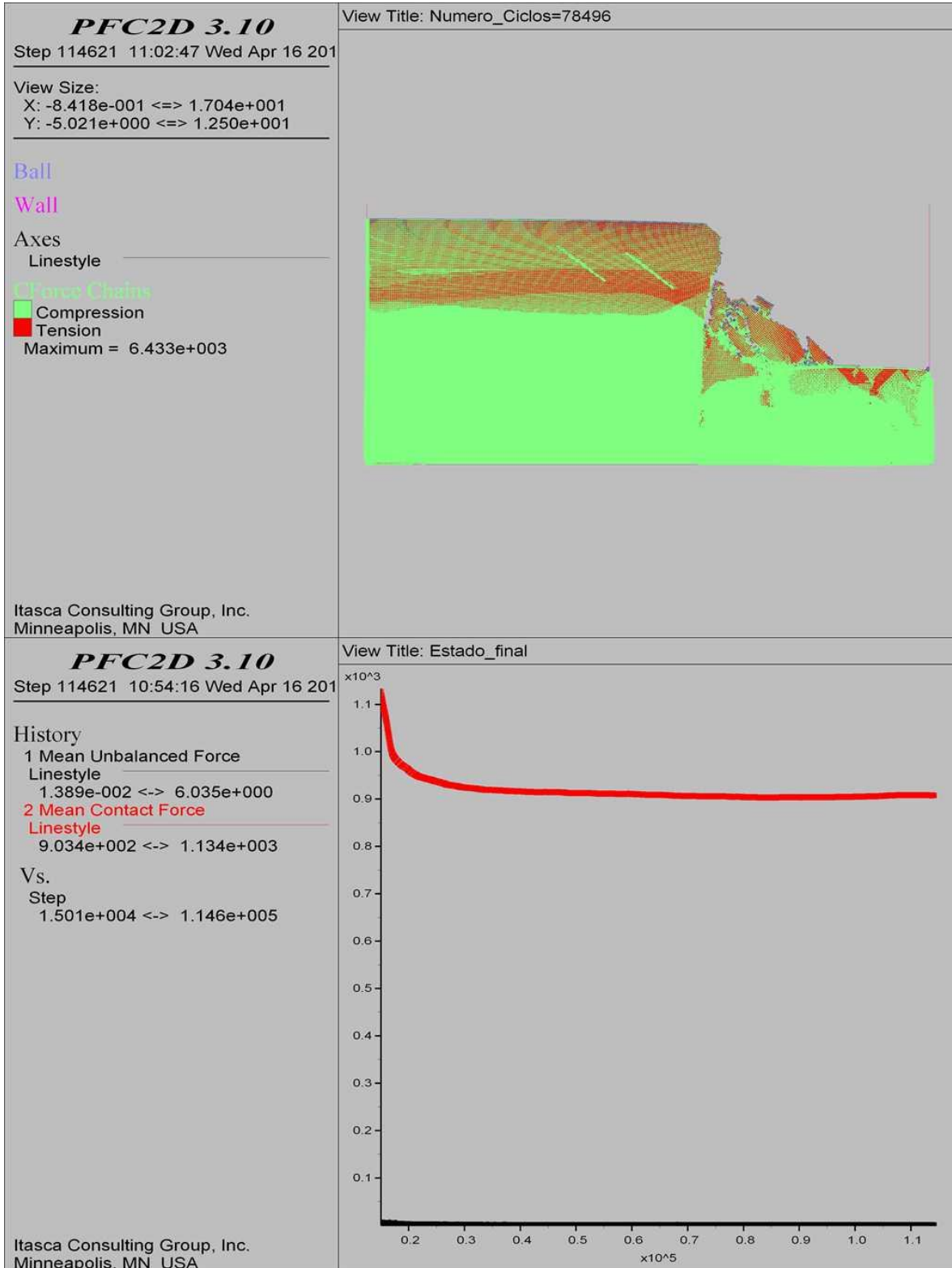
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



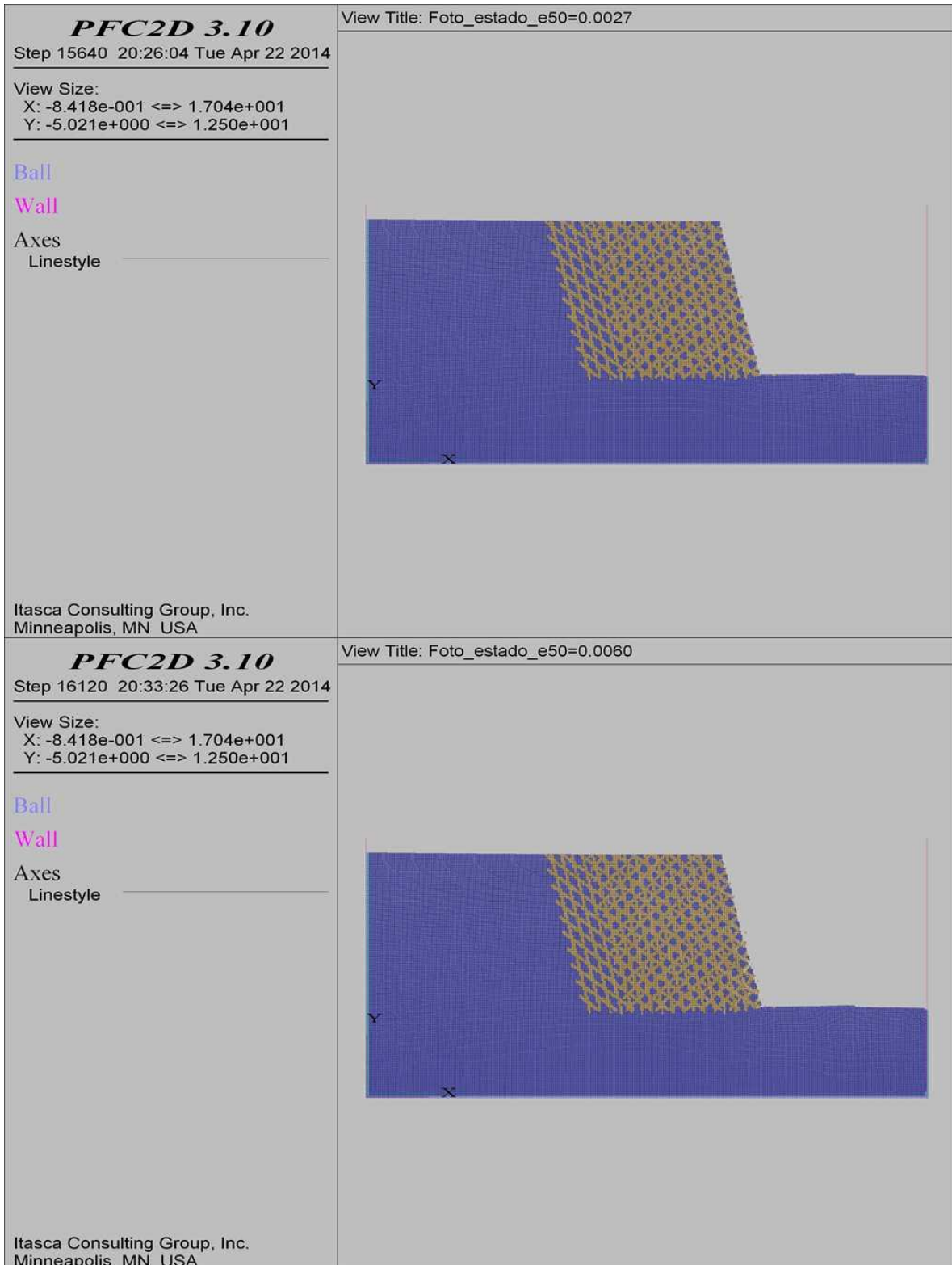
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



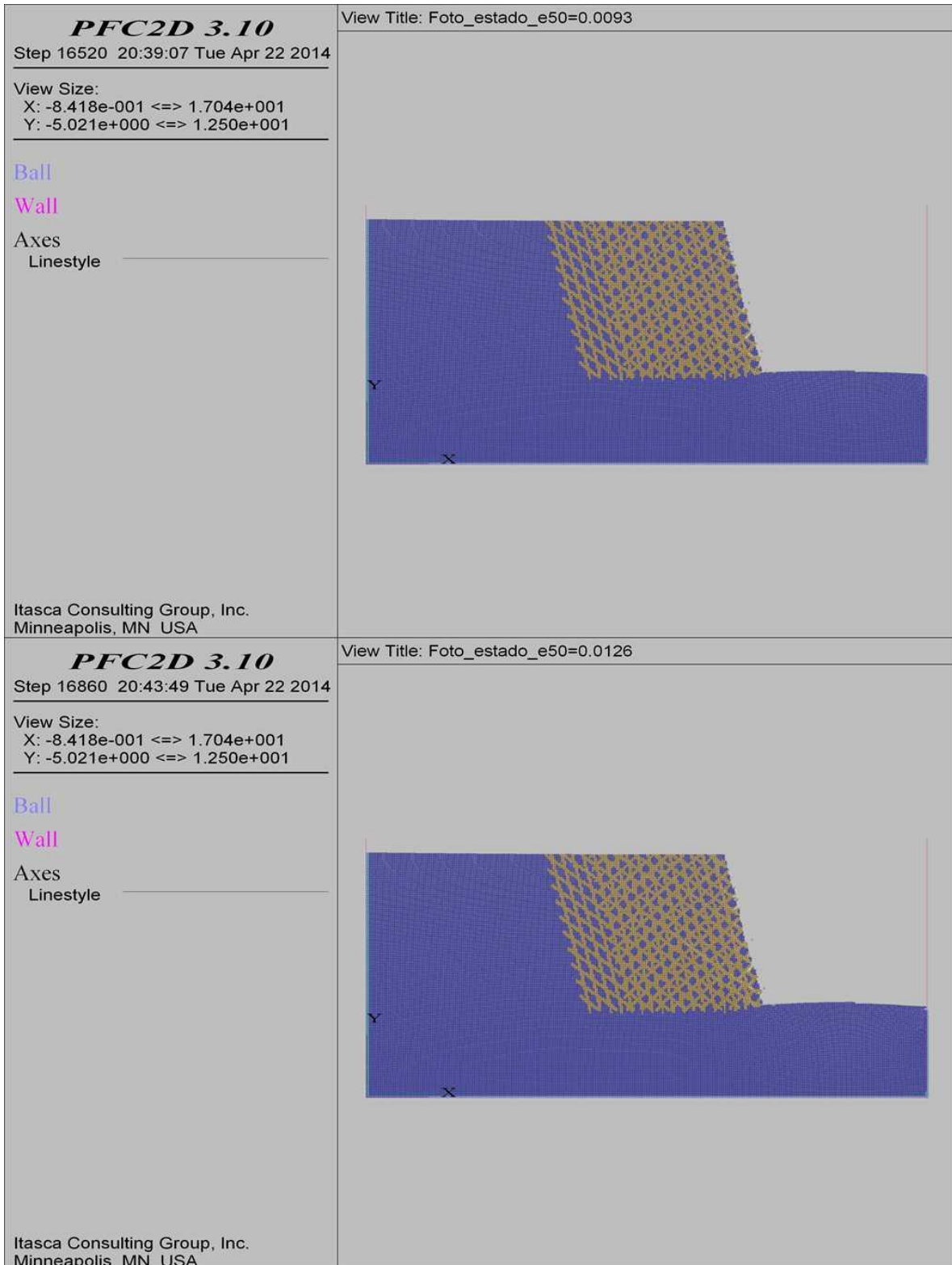
COMBINACIÓN 27: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 2.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



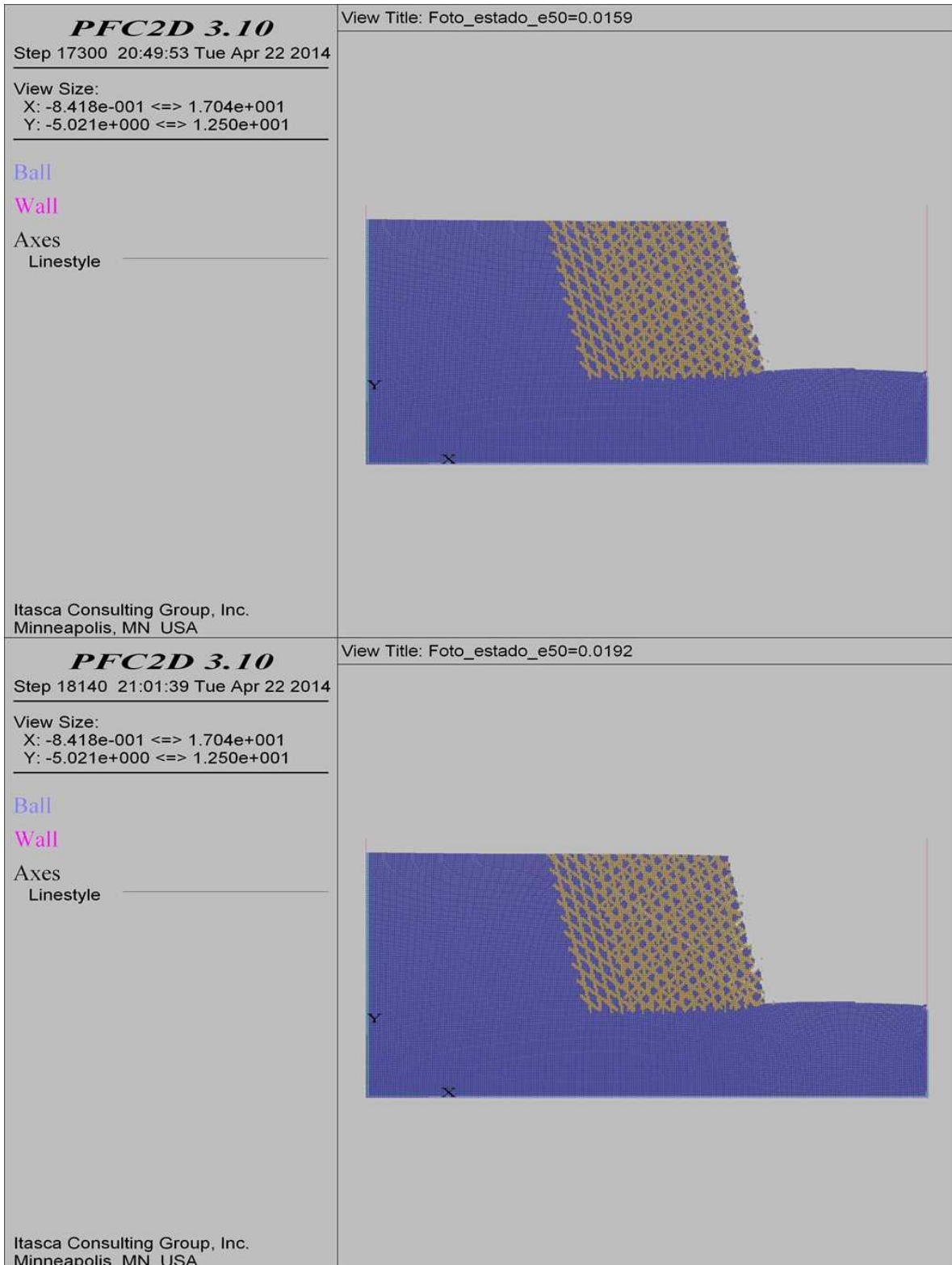
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



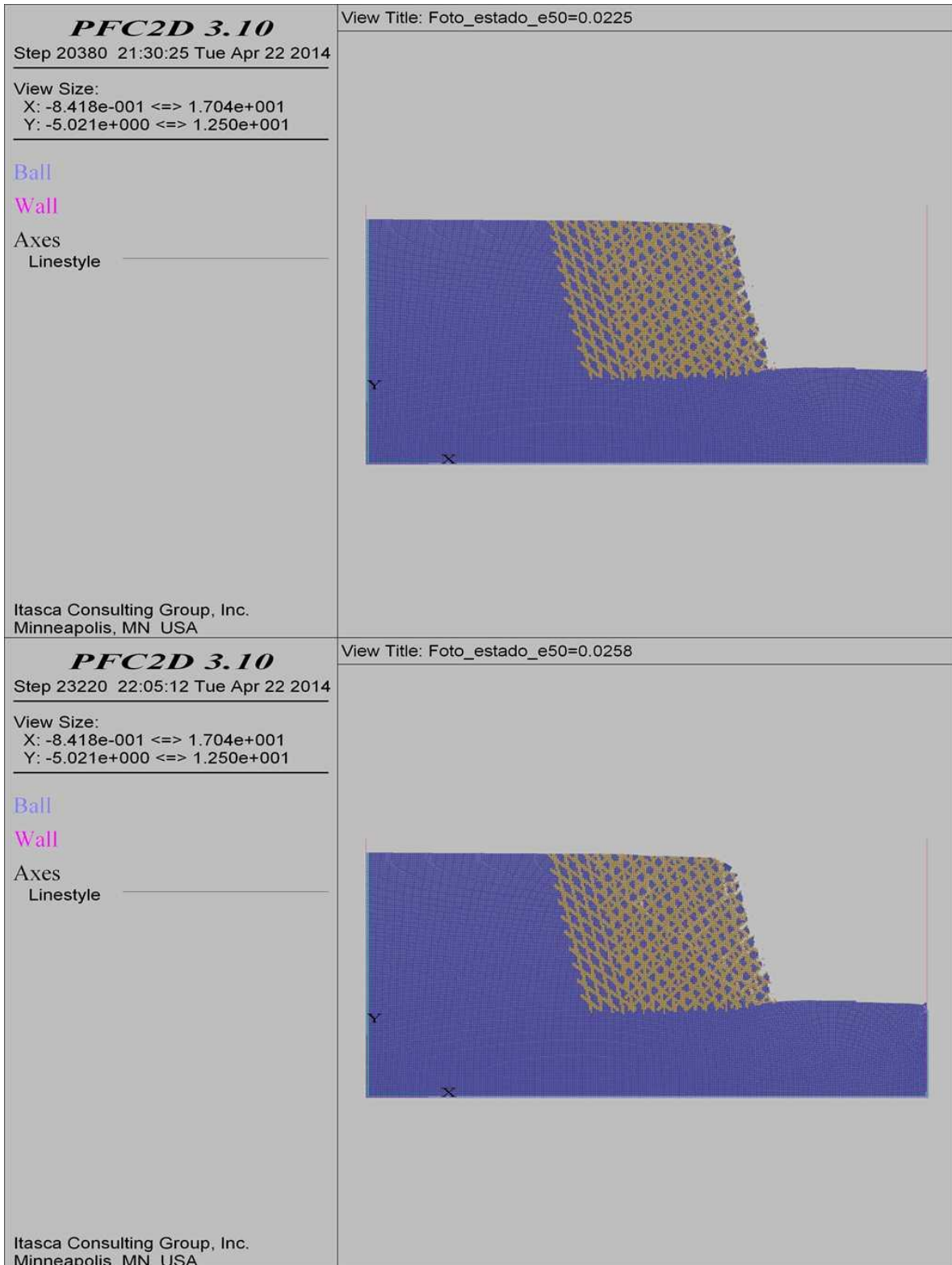
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



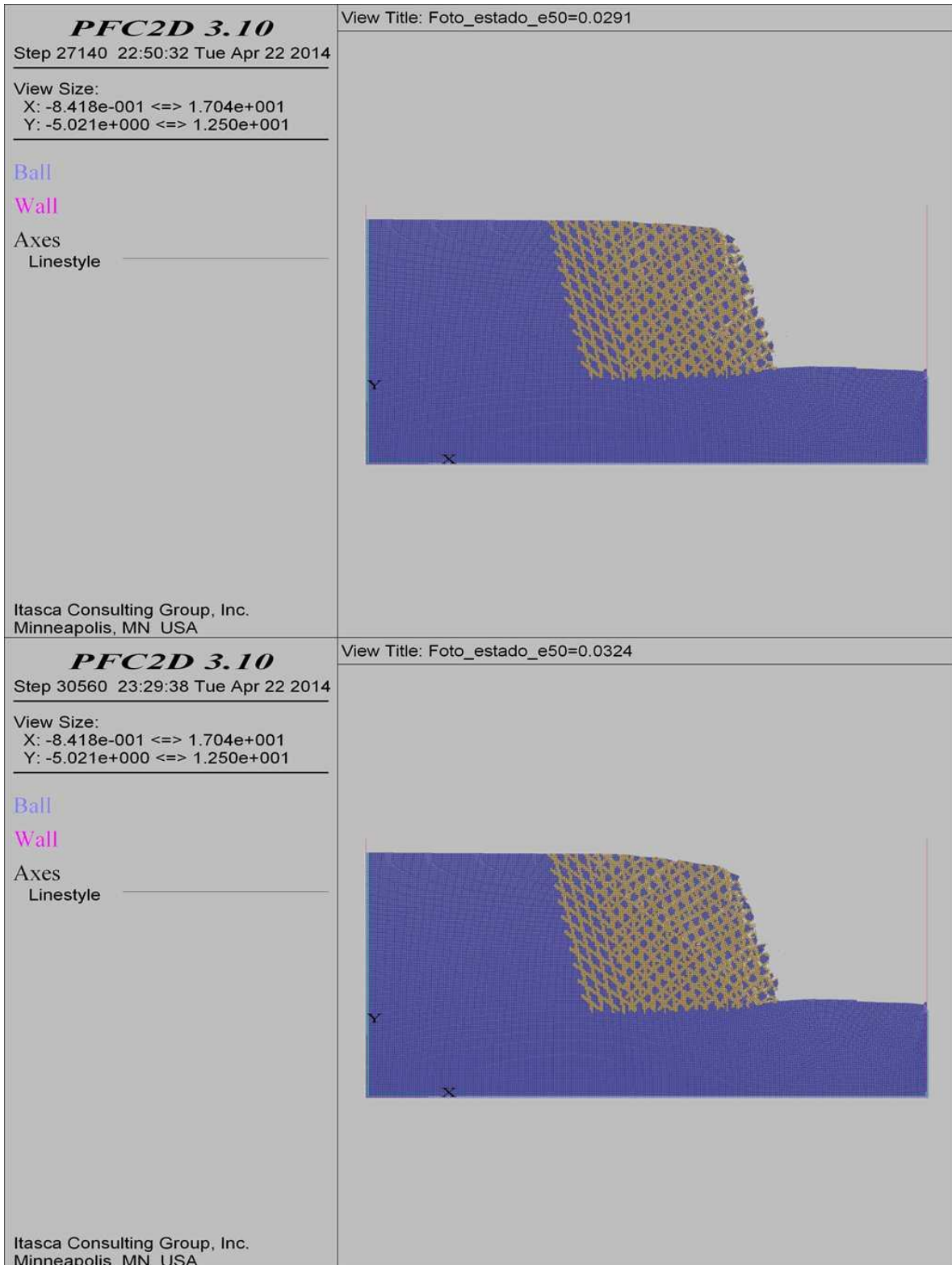
**COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



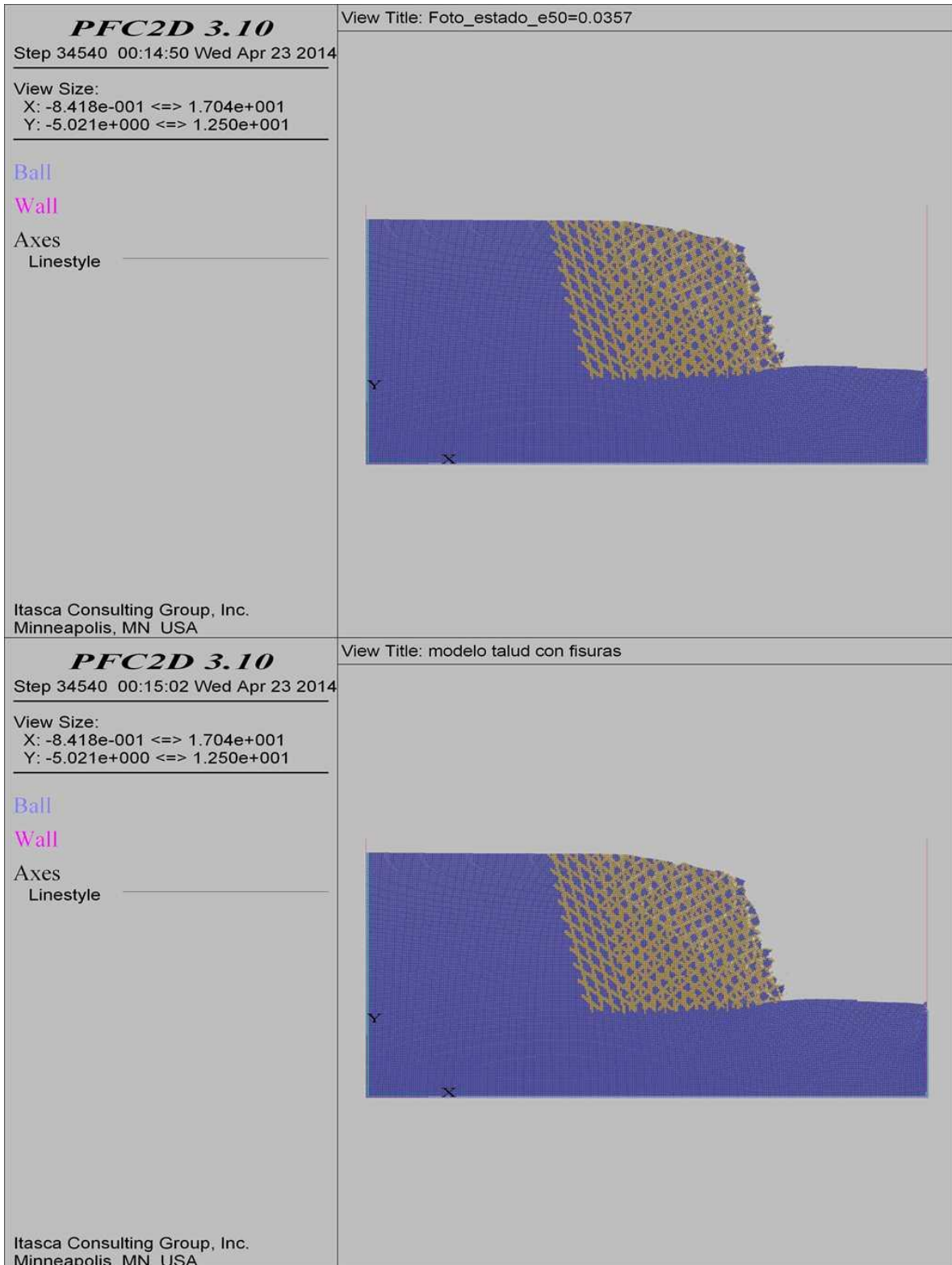
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA ALTA.



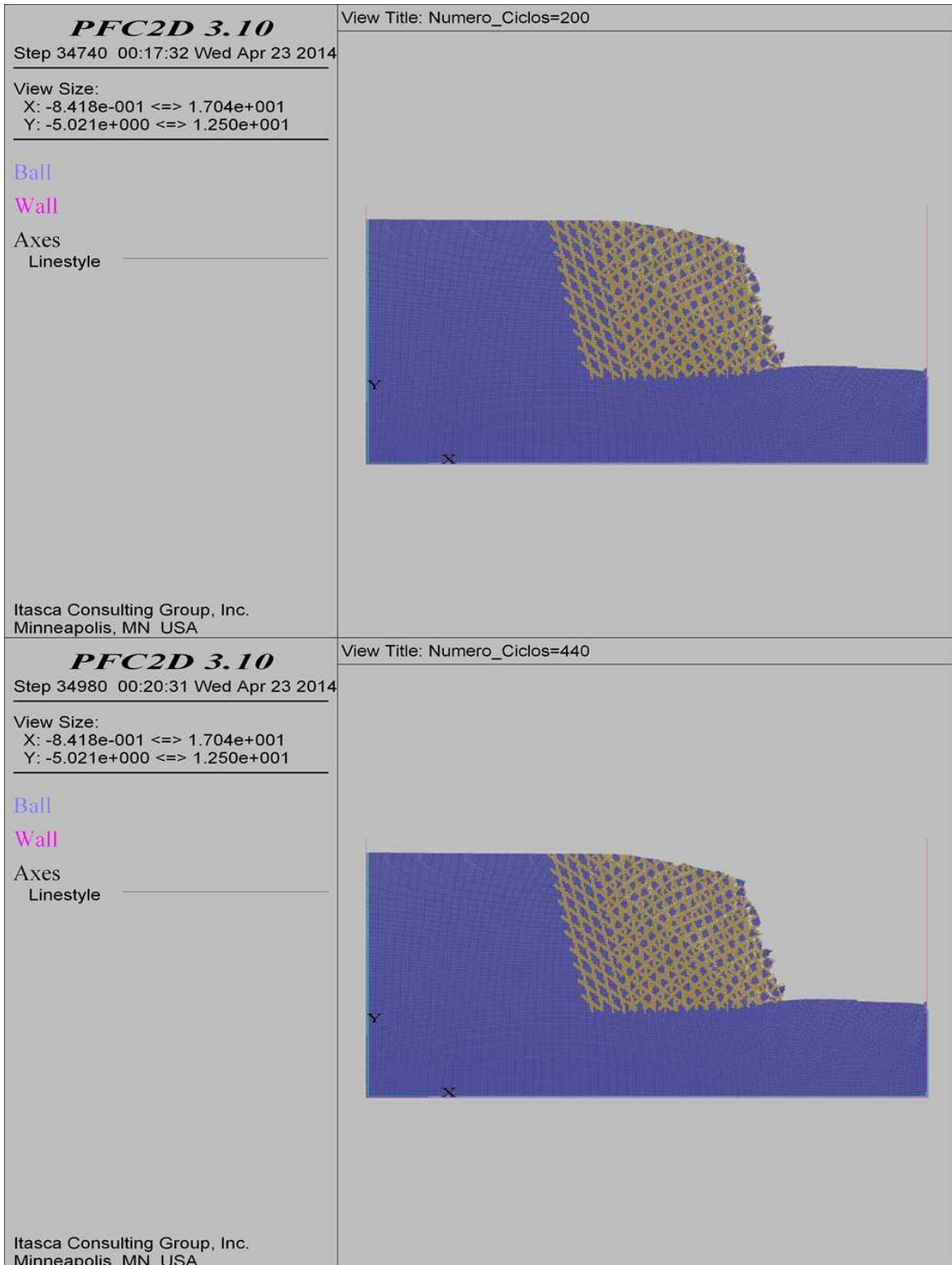
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



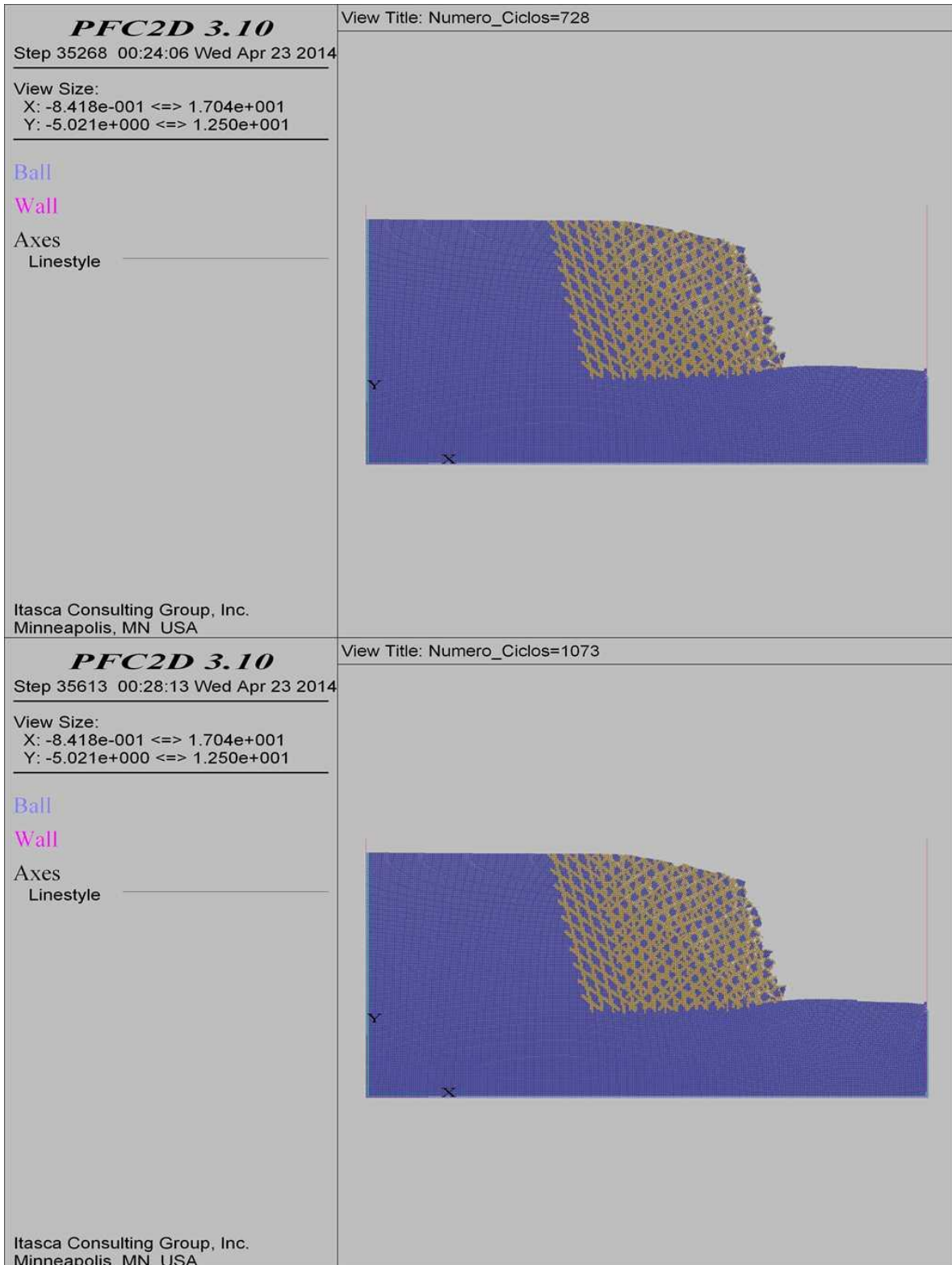
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



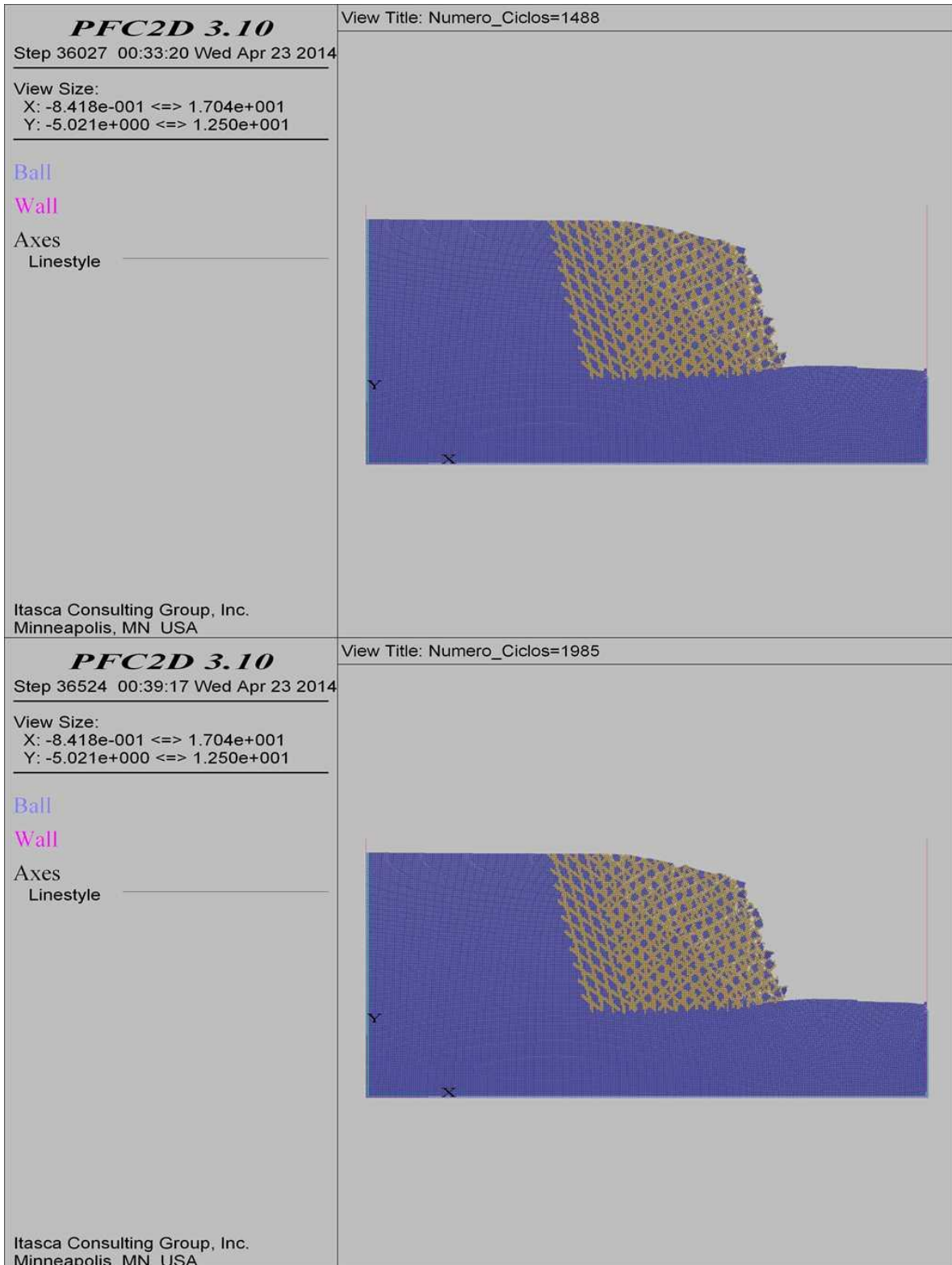
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



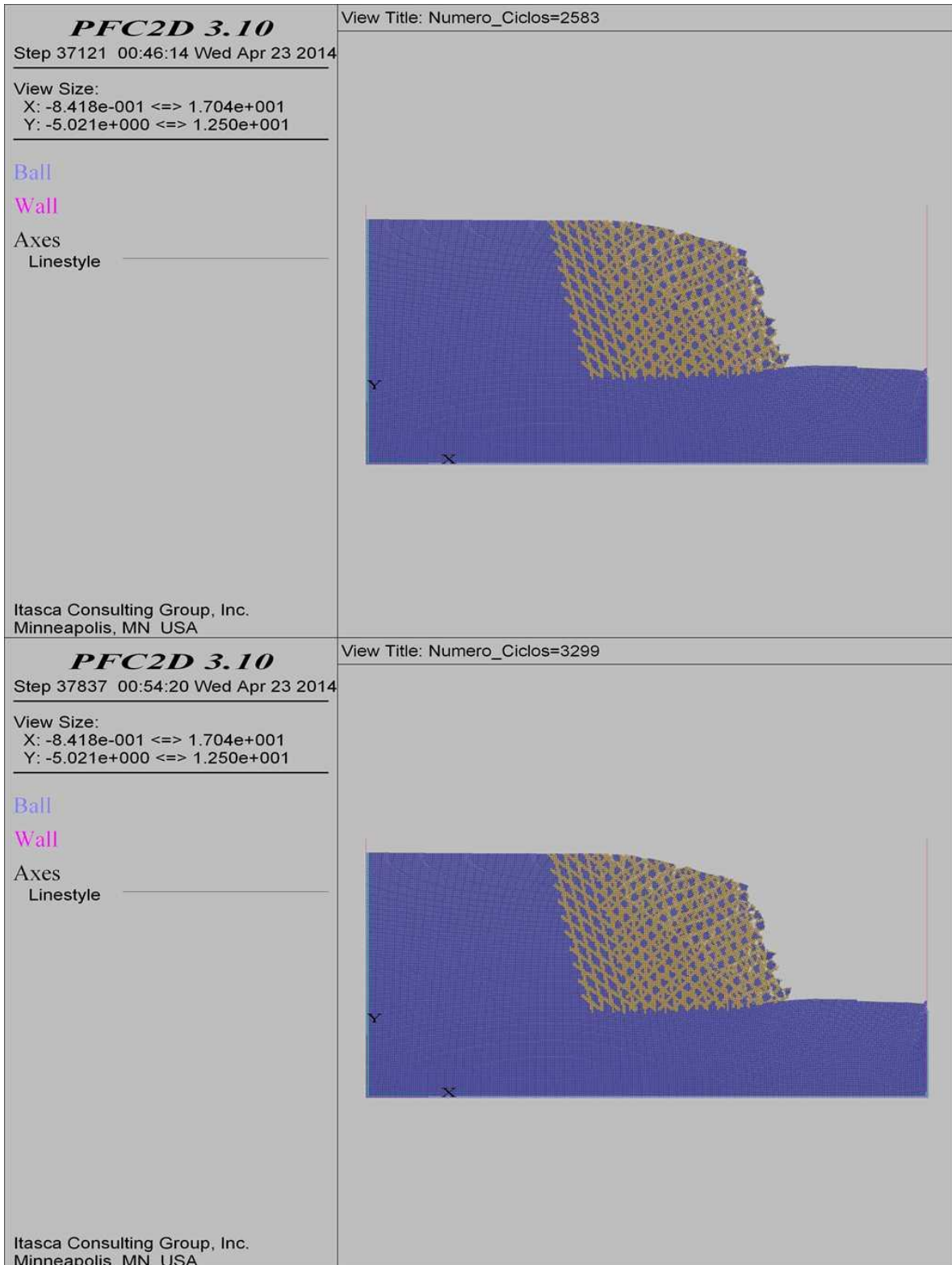
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



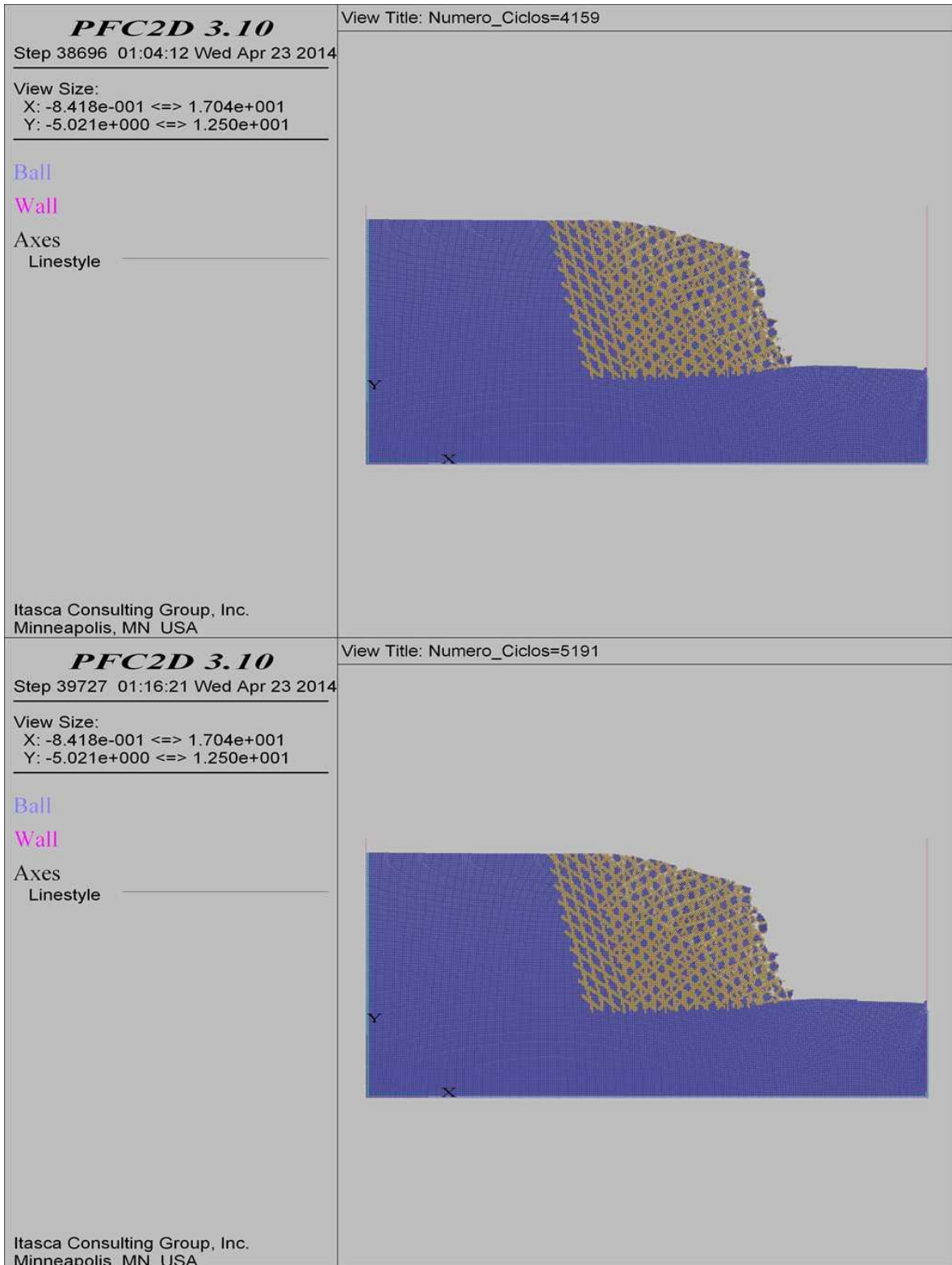
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



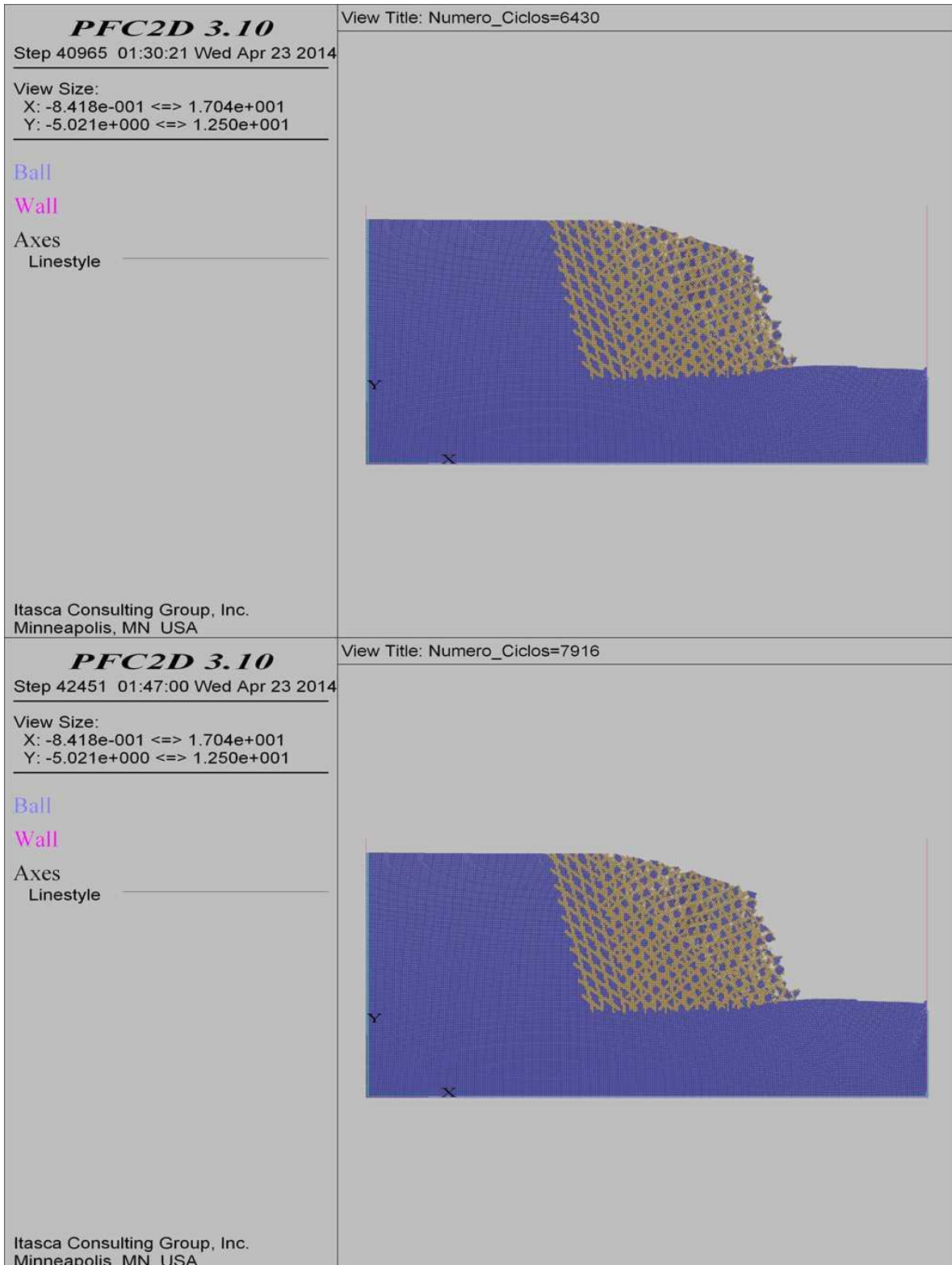
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



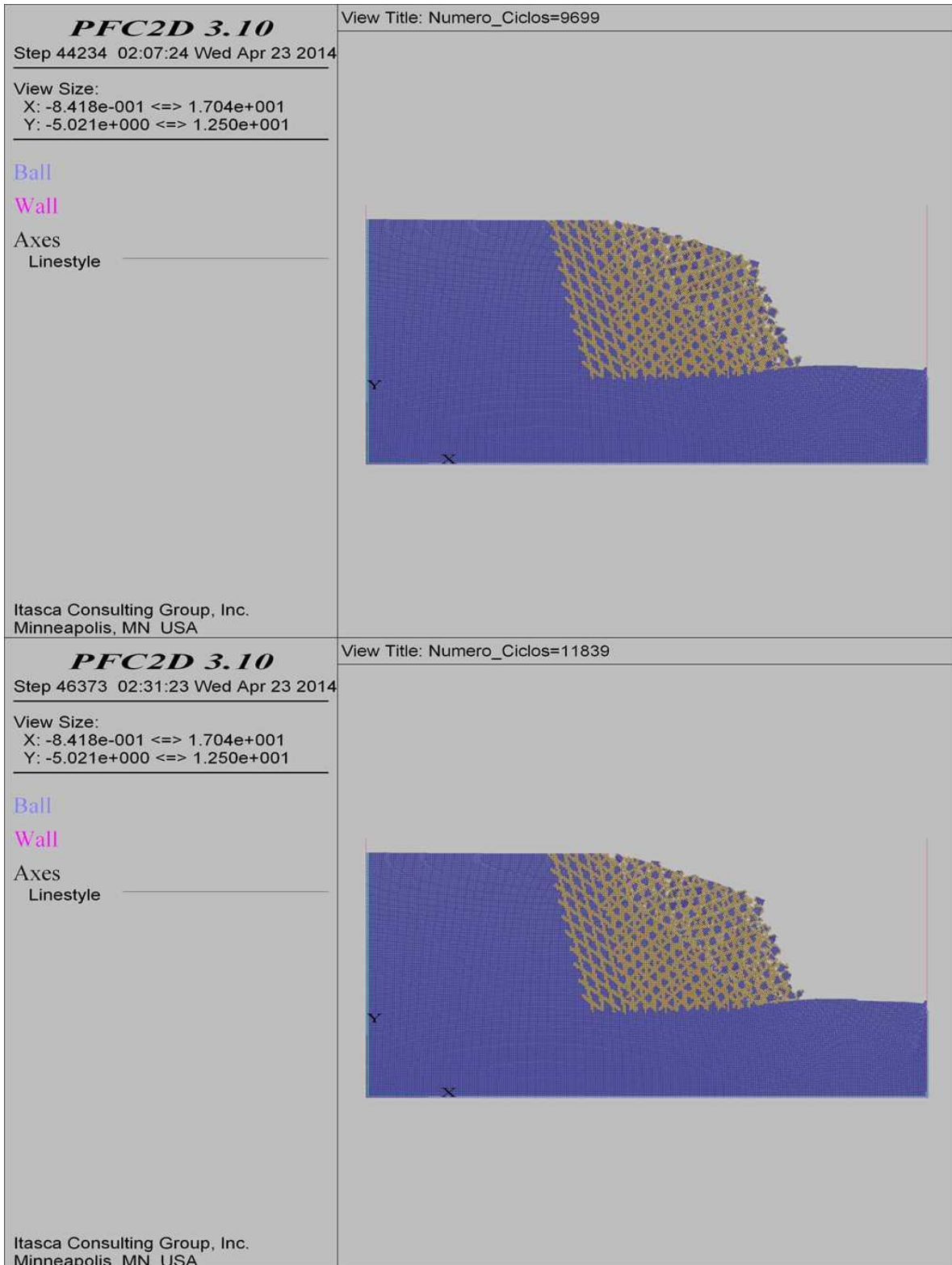
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



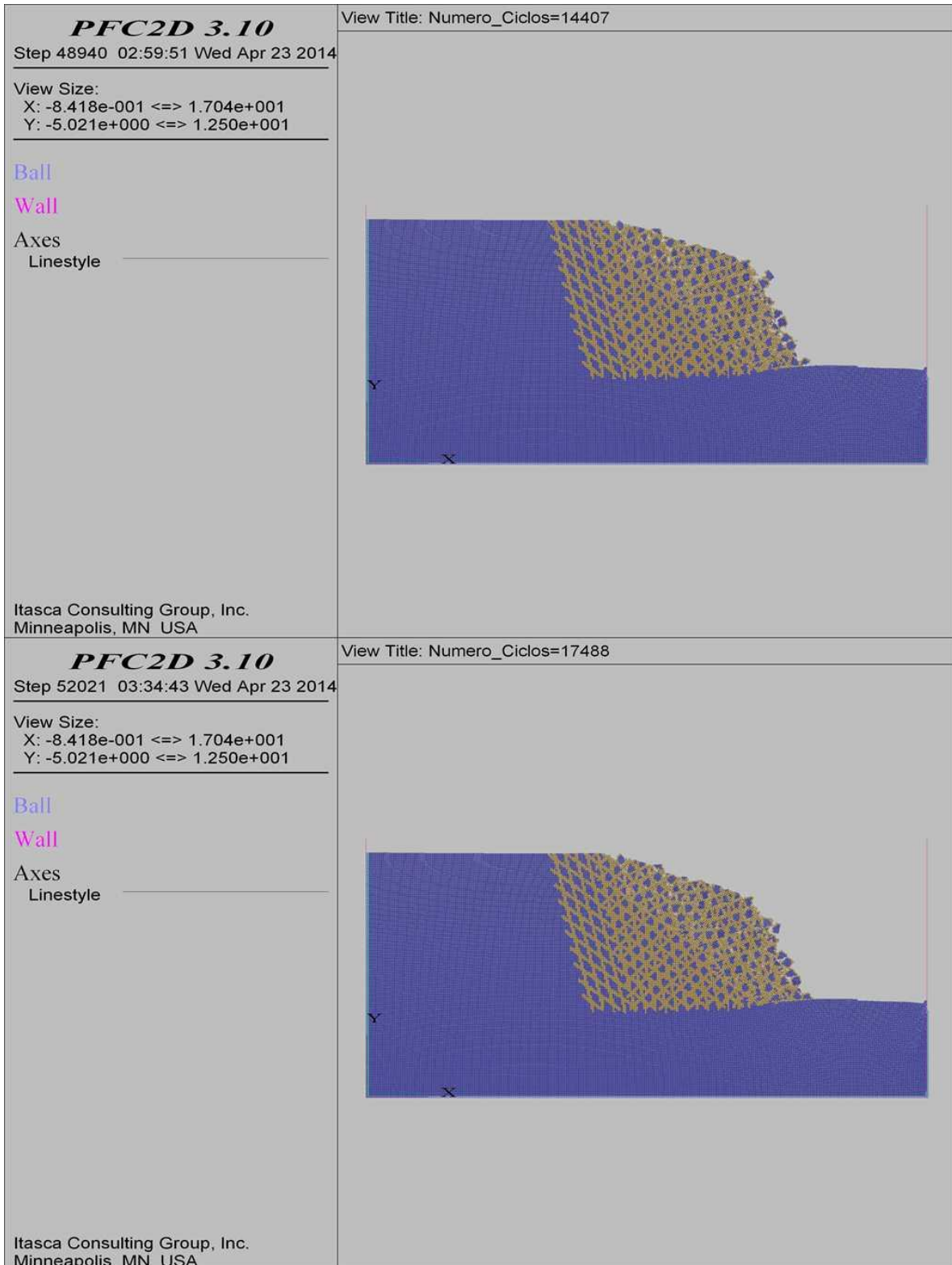
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



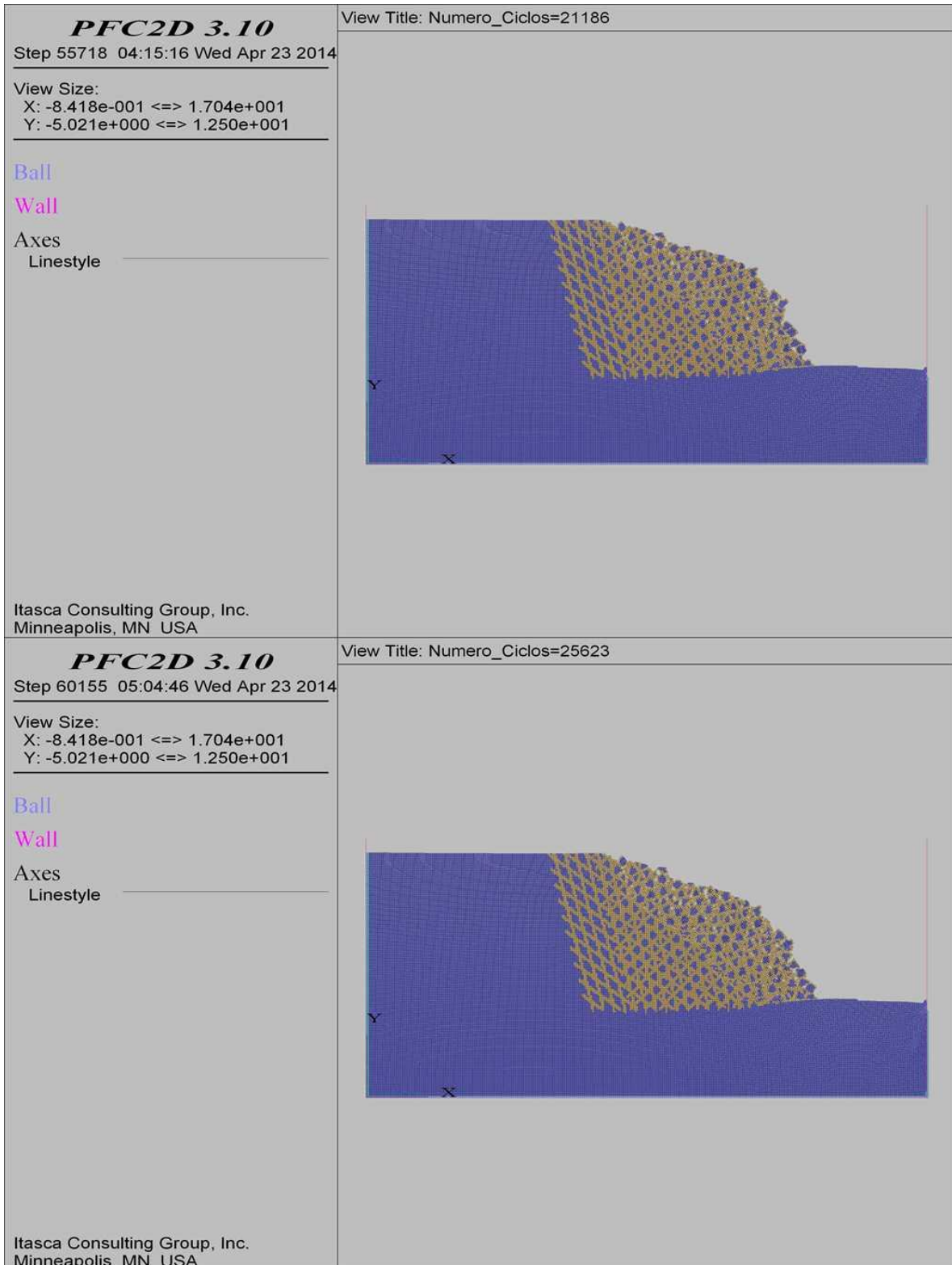
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



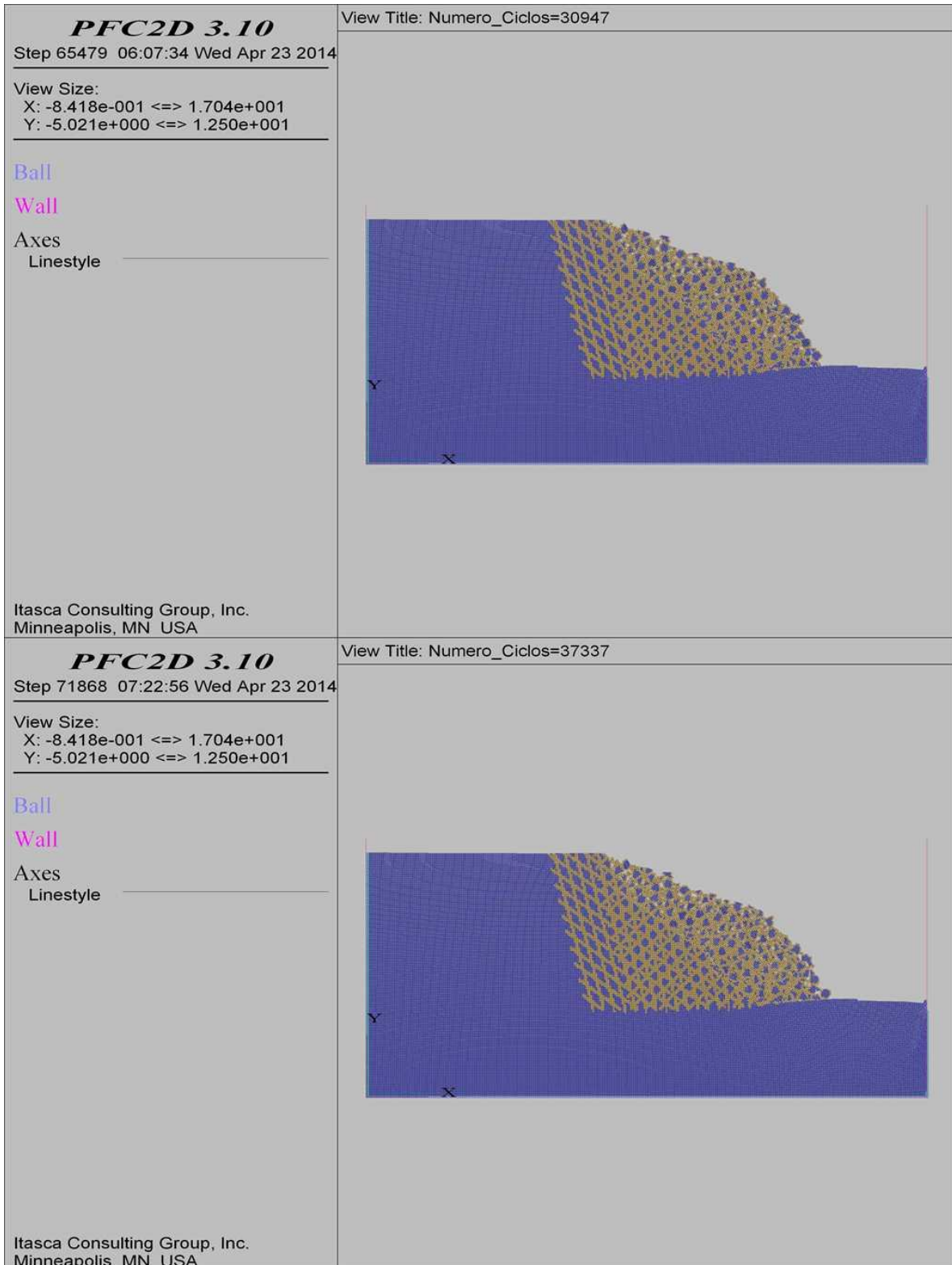
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



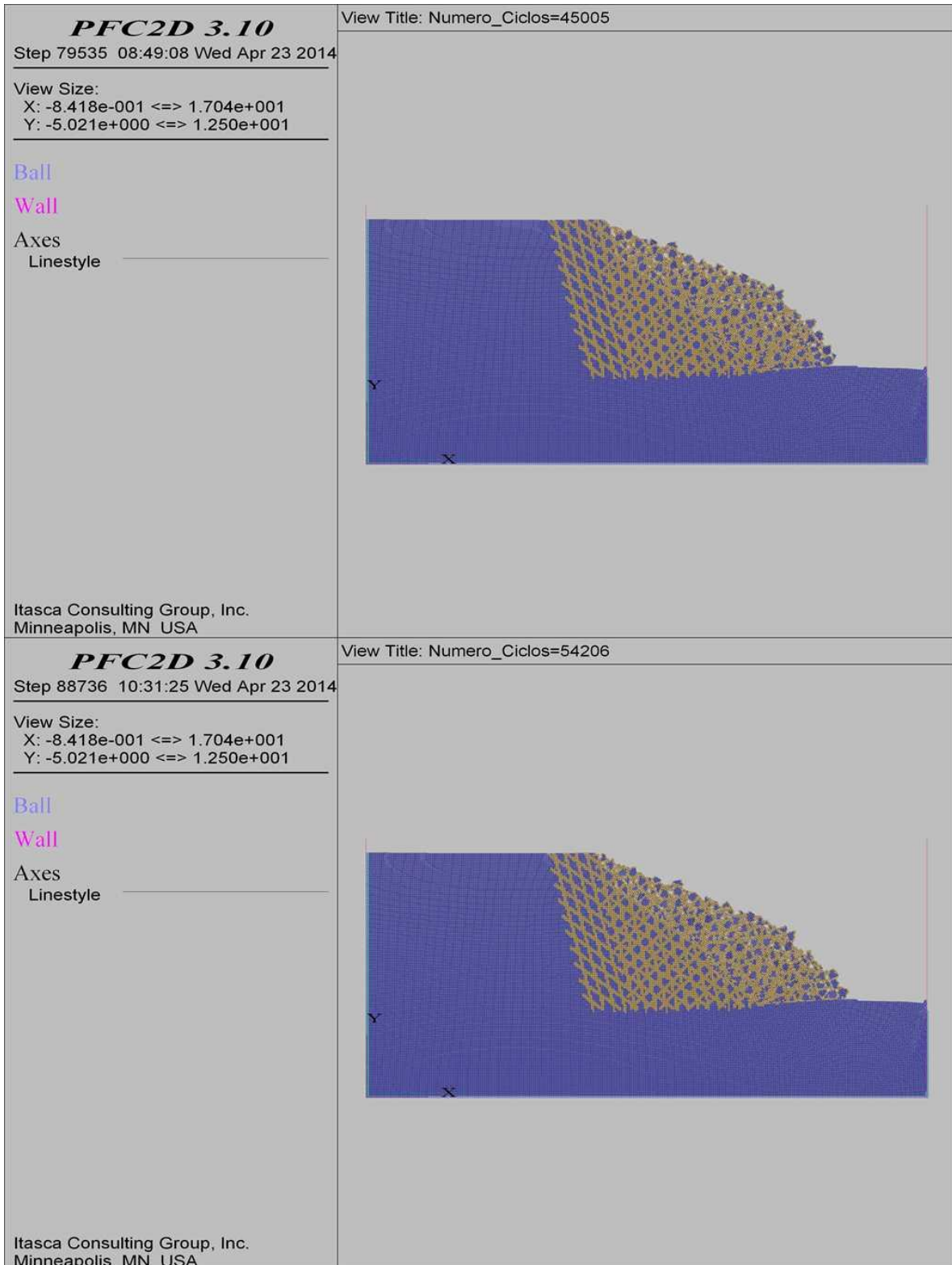
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



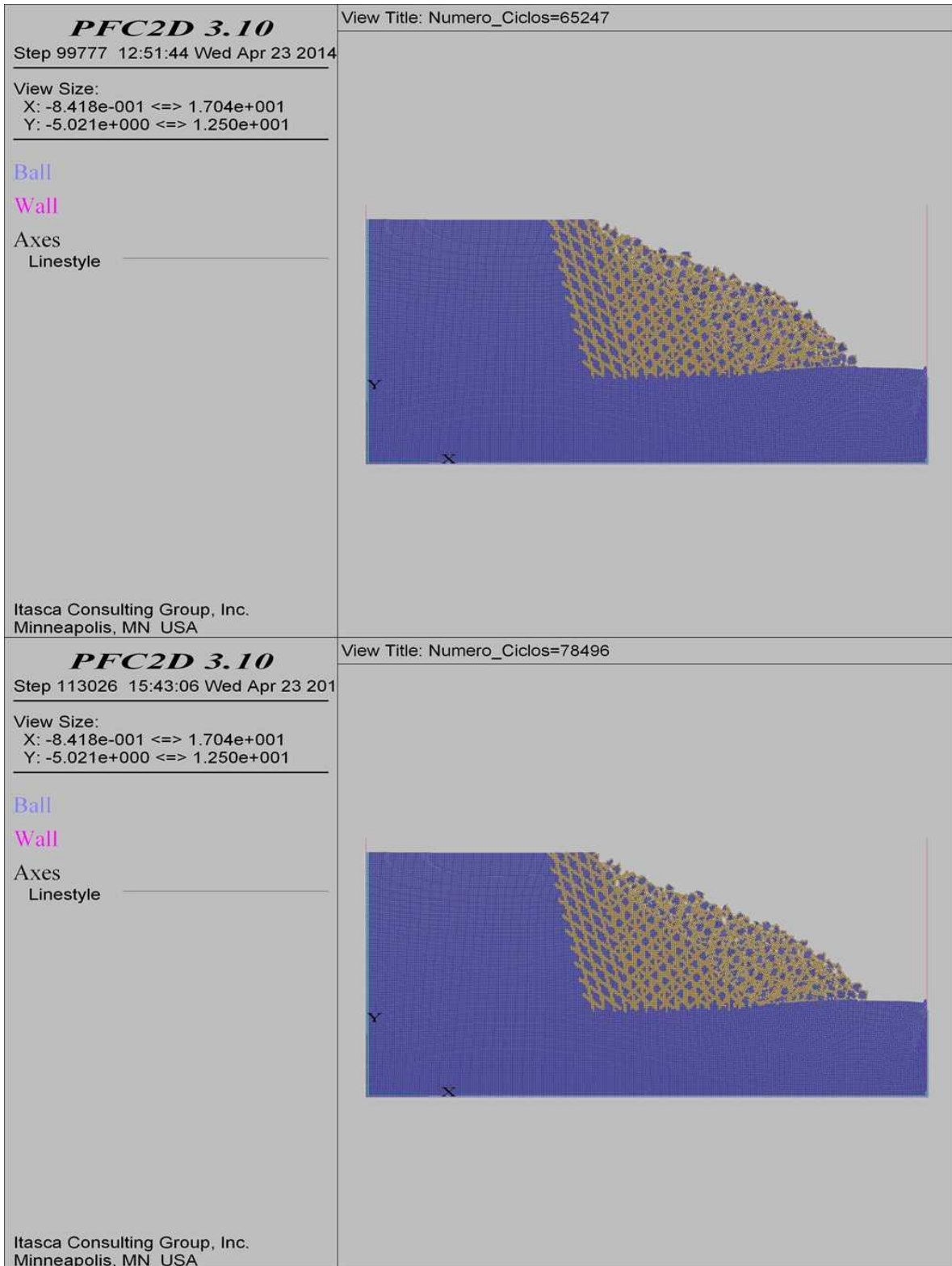
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



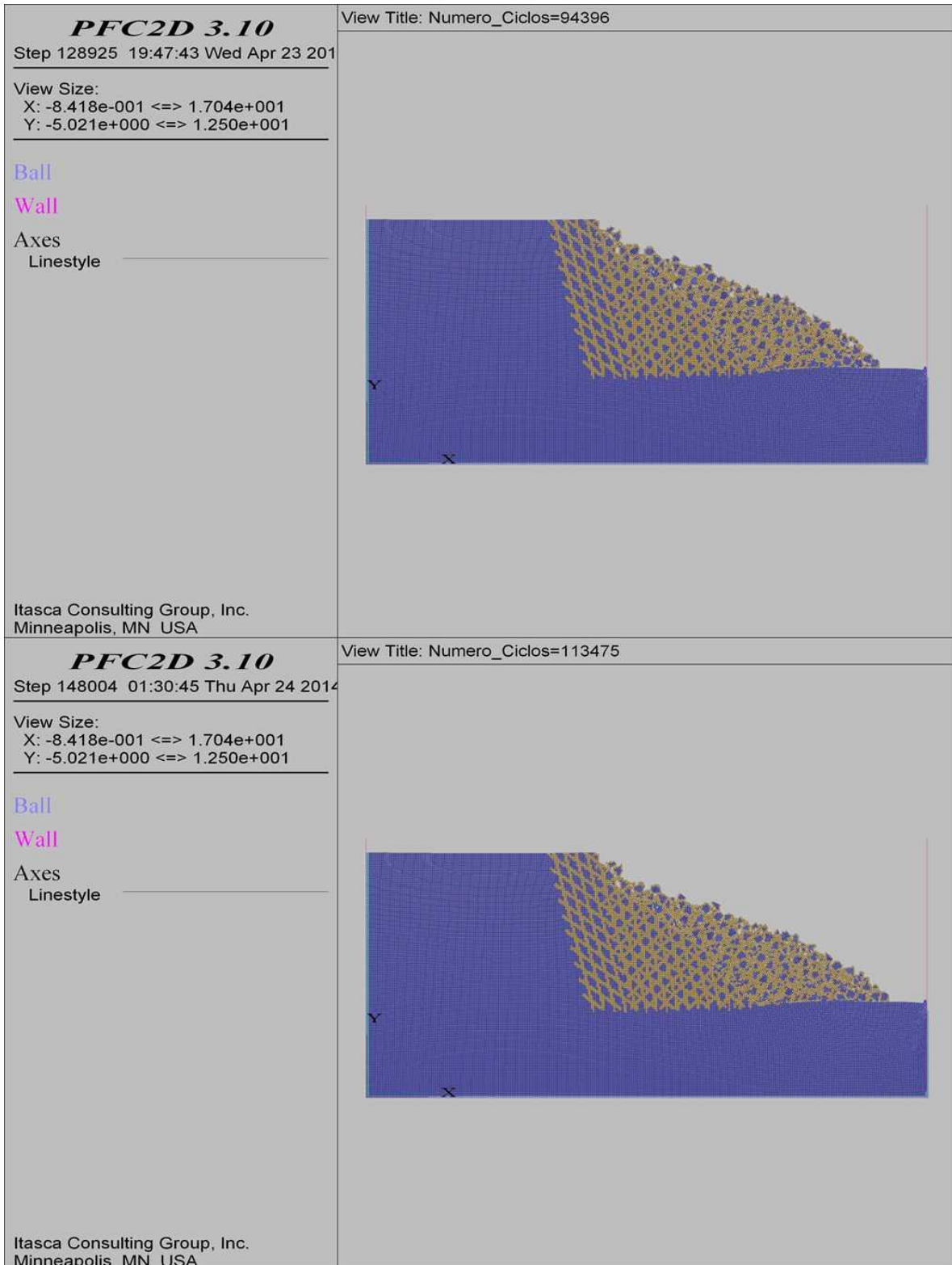
**COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



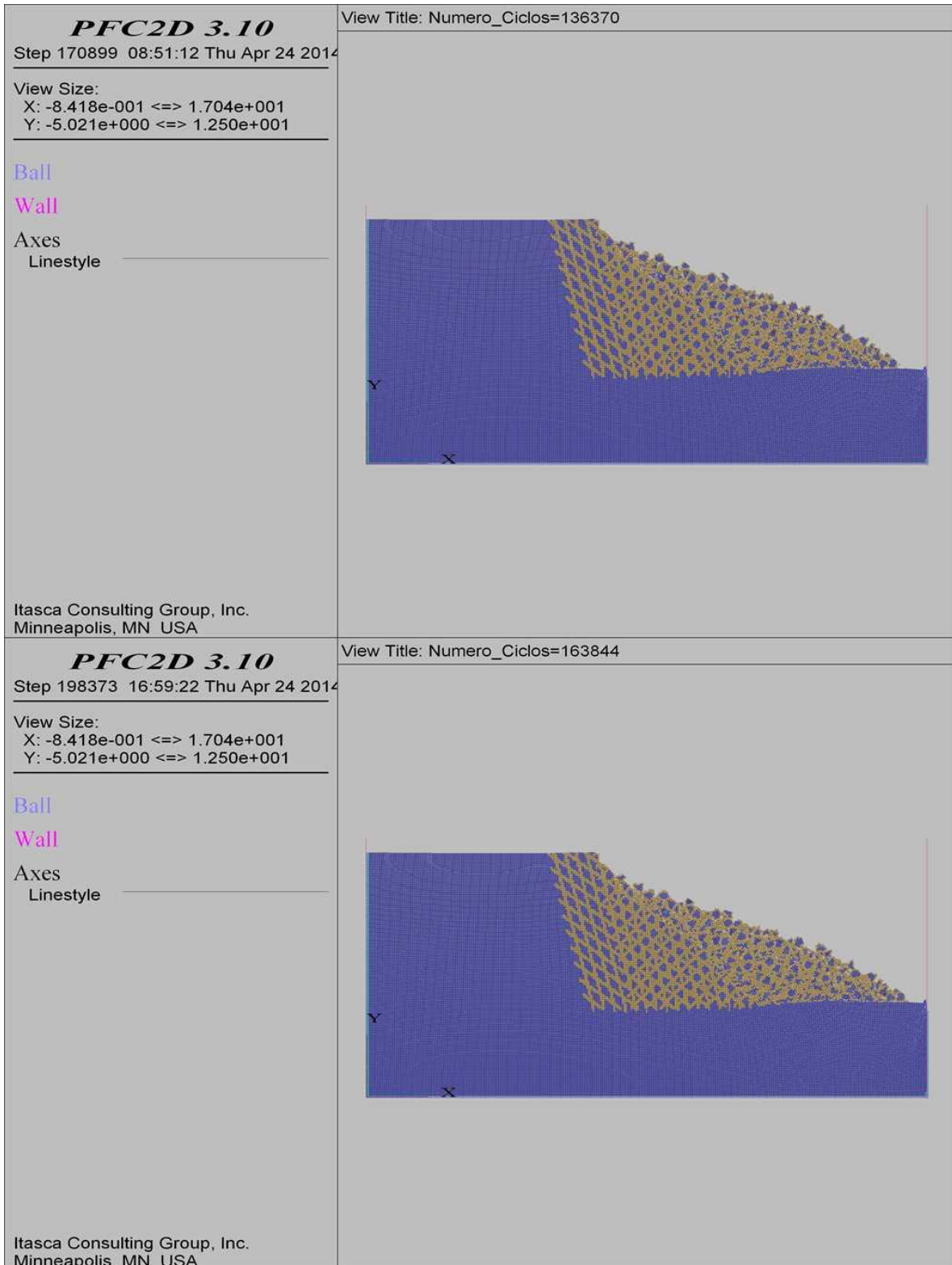
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



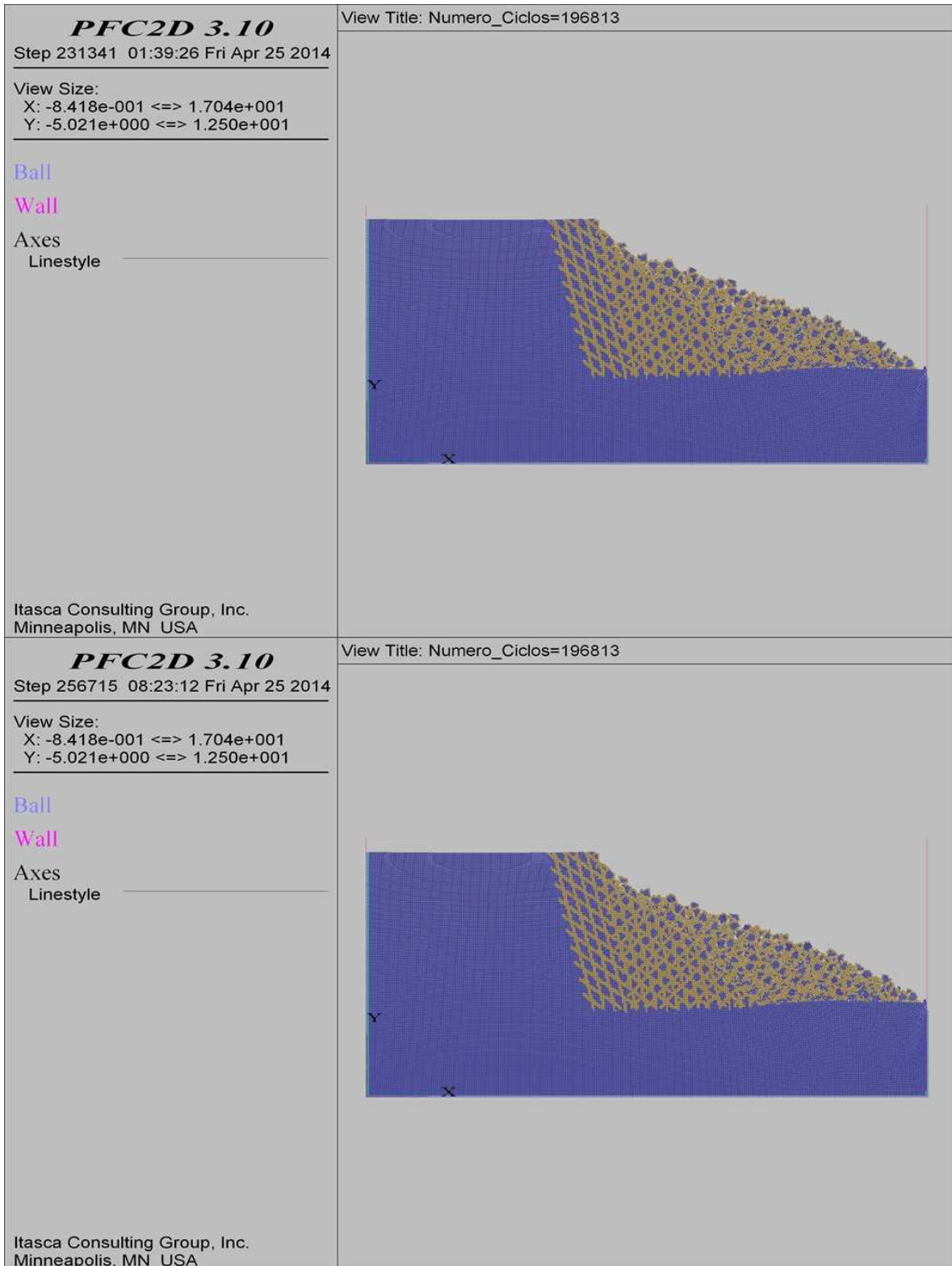
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



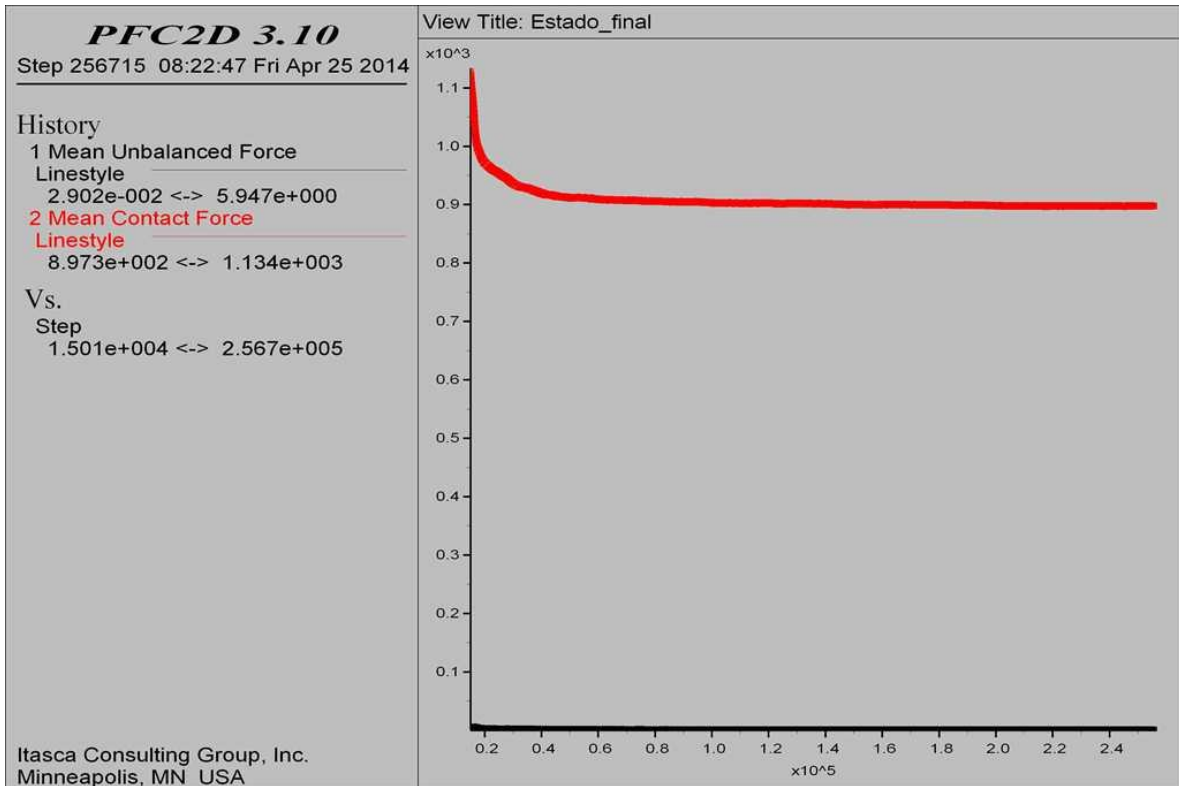
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



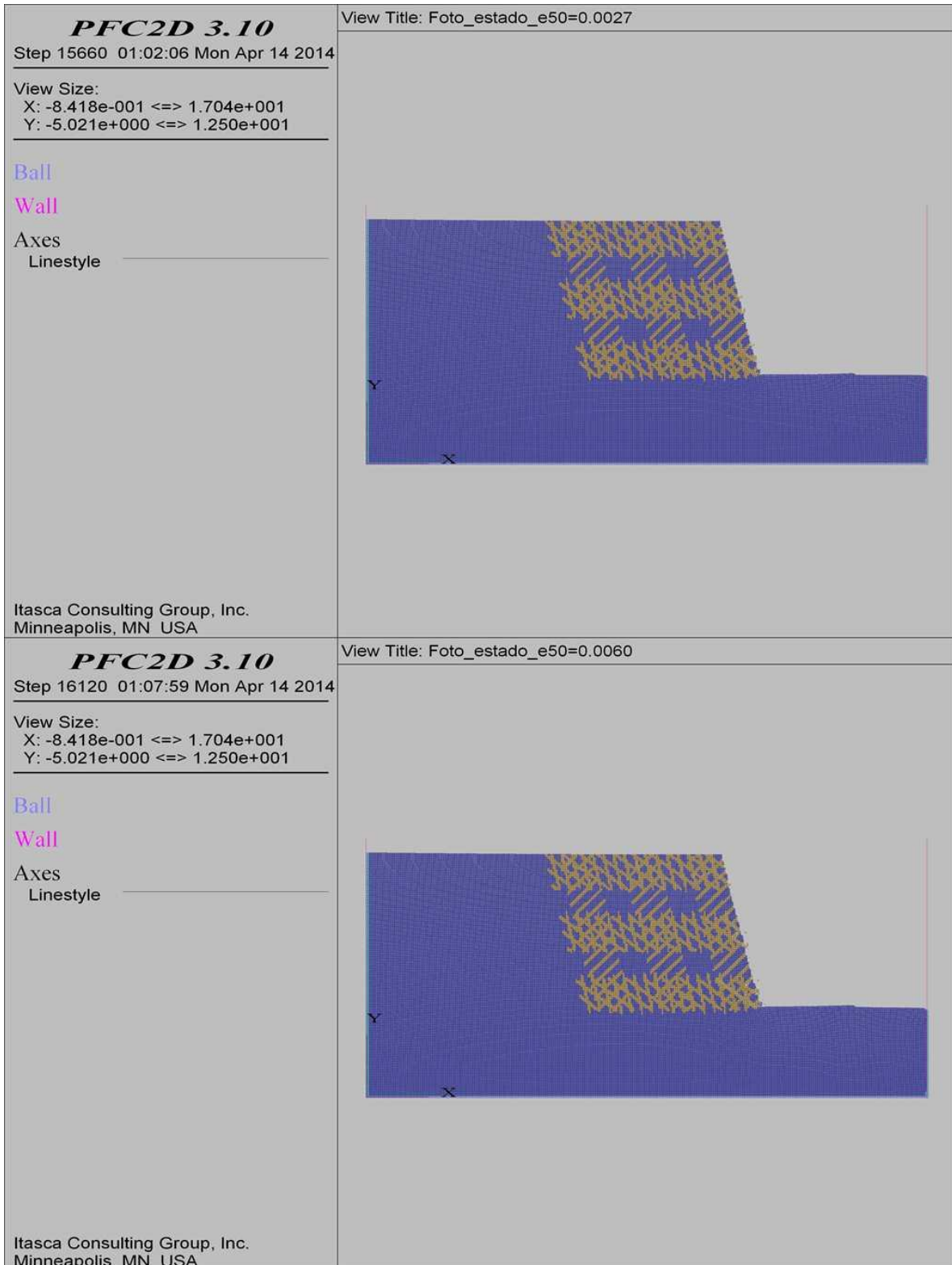
**COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



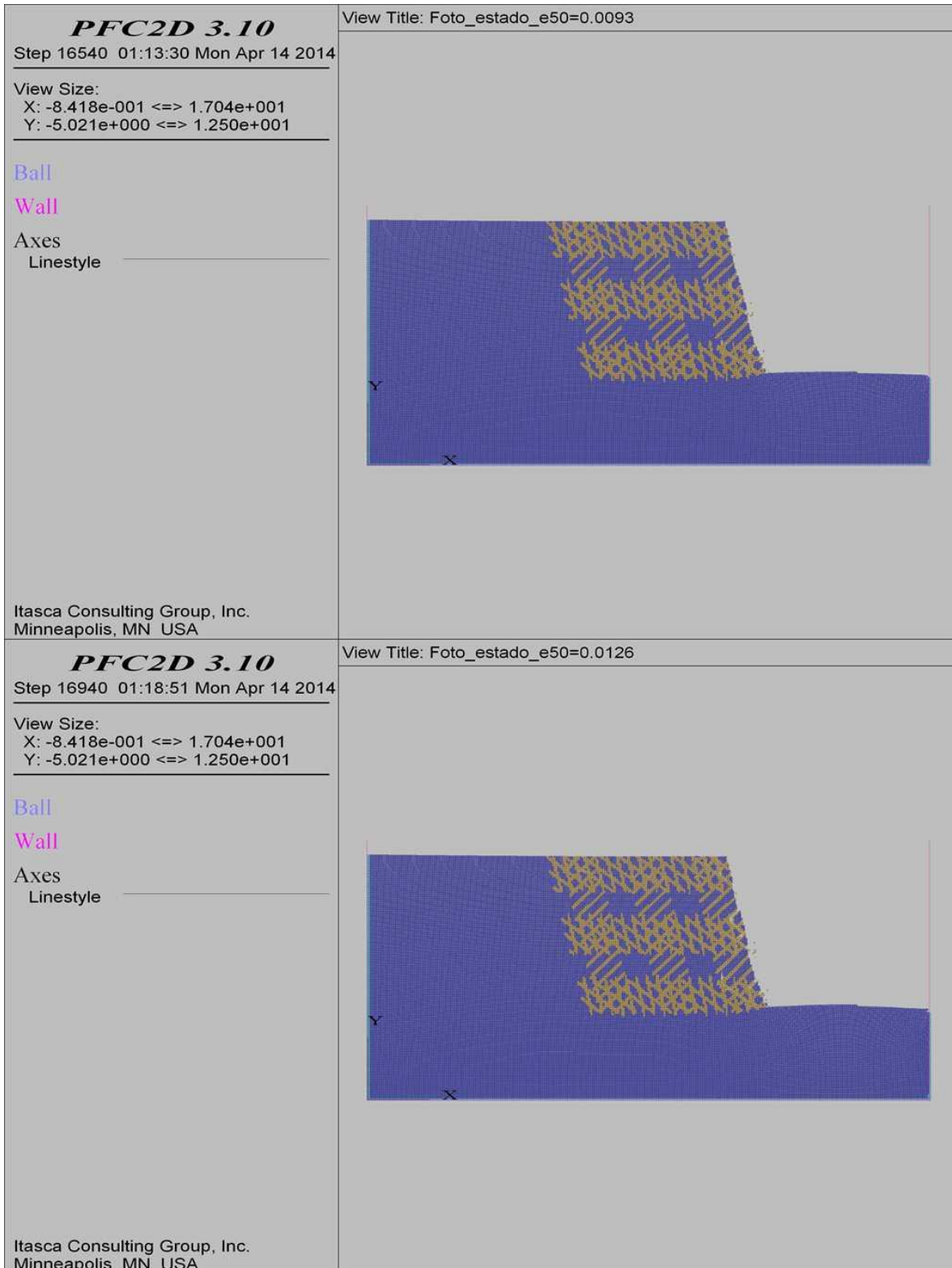
COMBINACIÓN 28: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA ALTA.



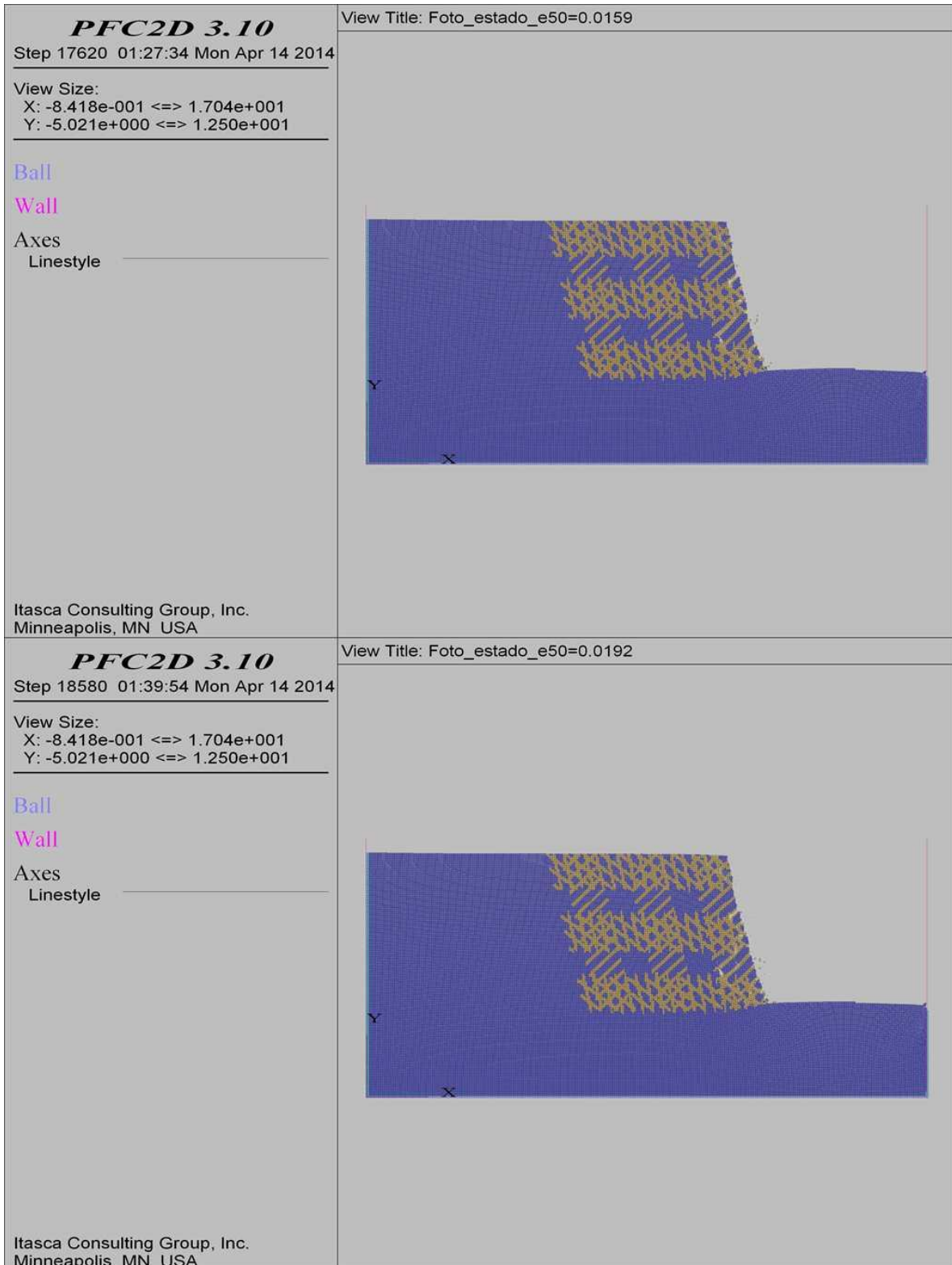
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



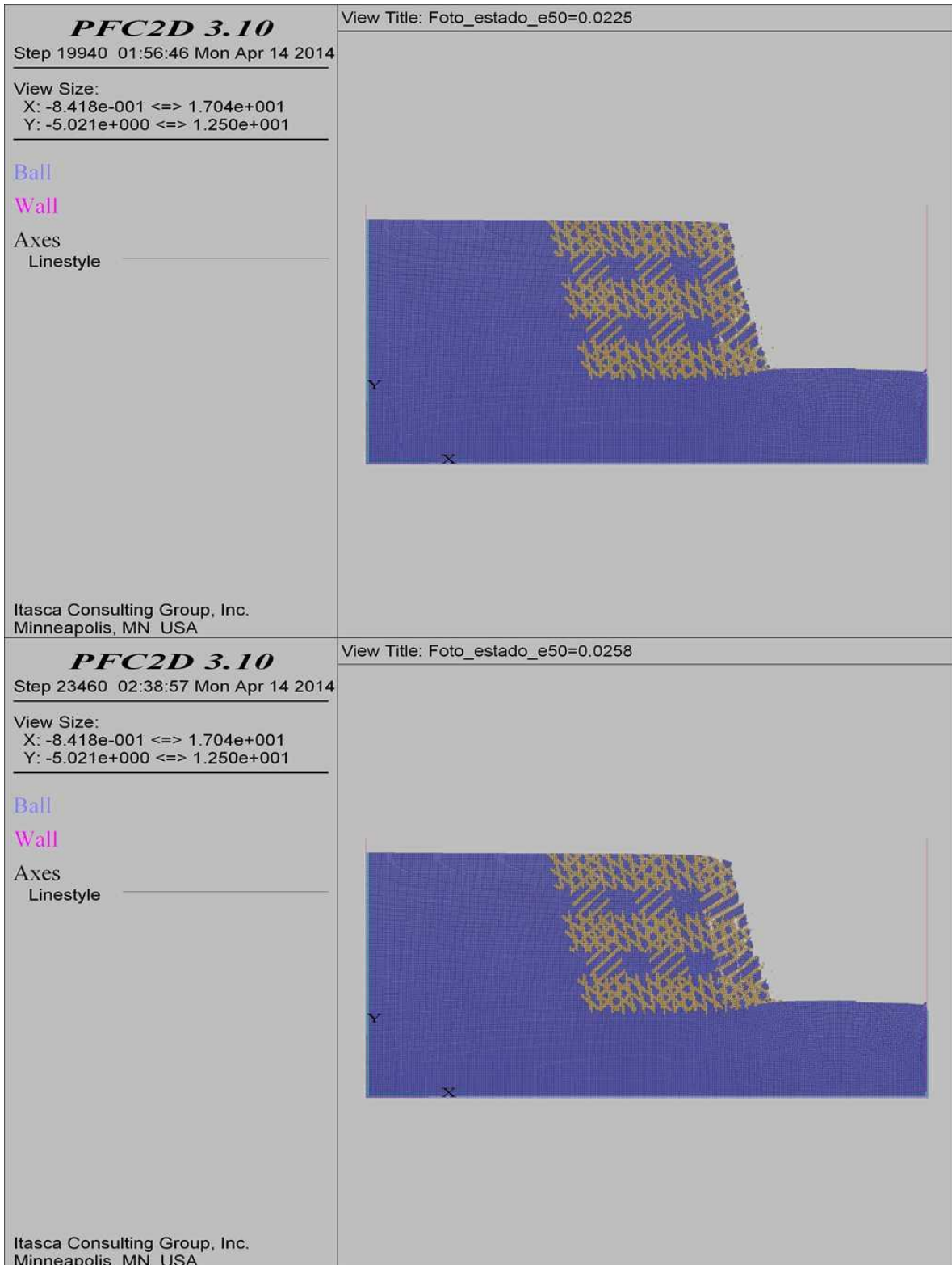
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



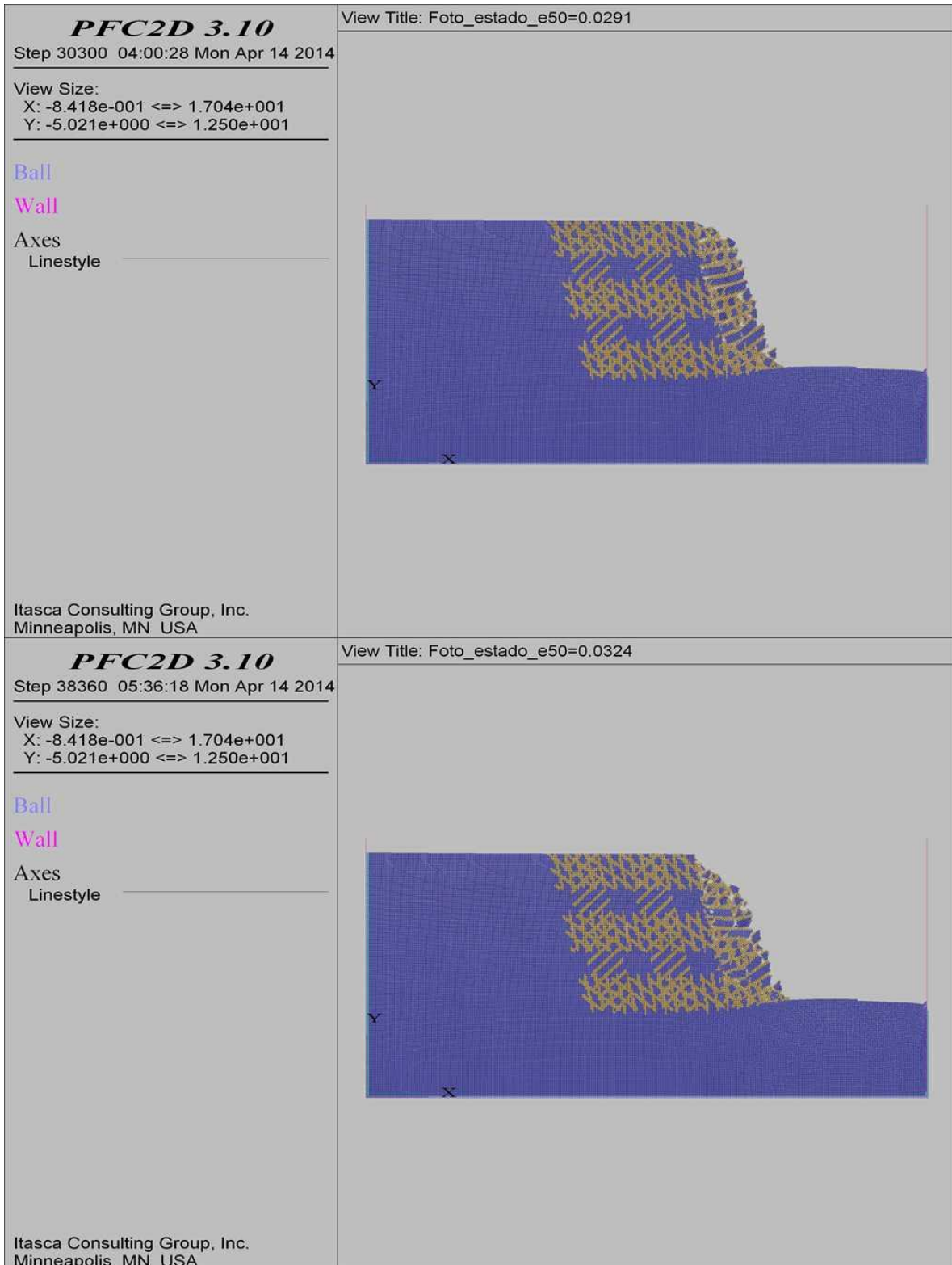
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



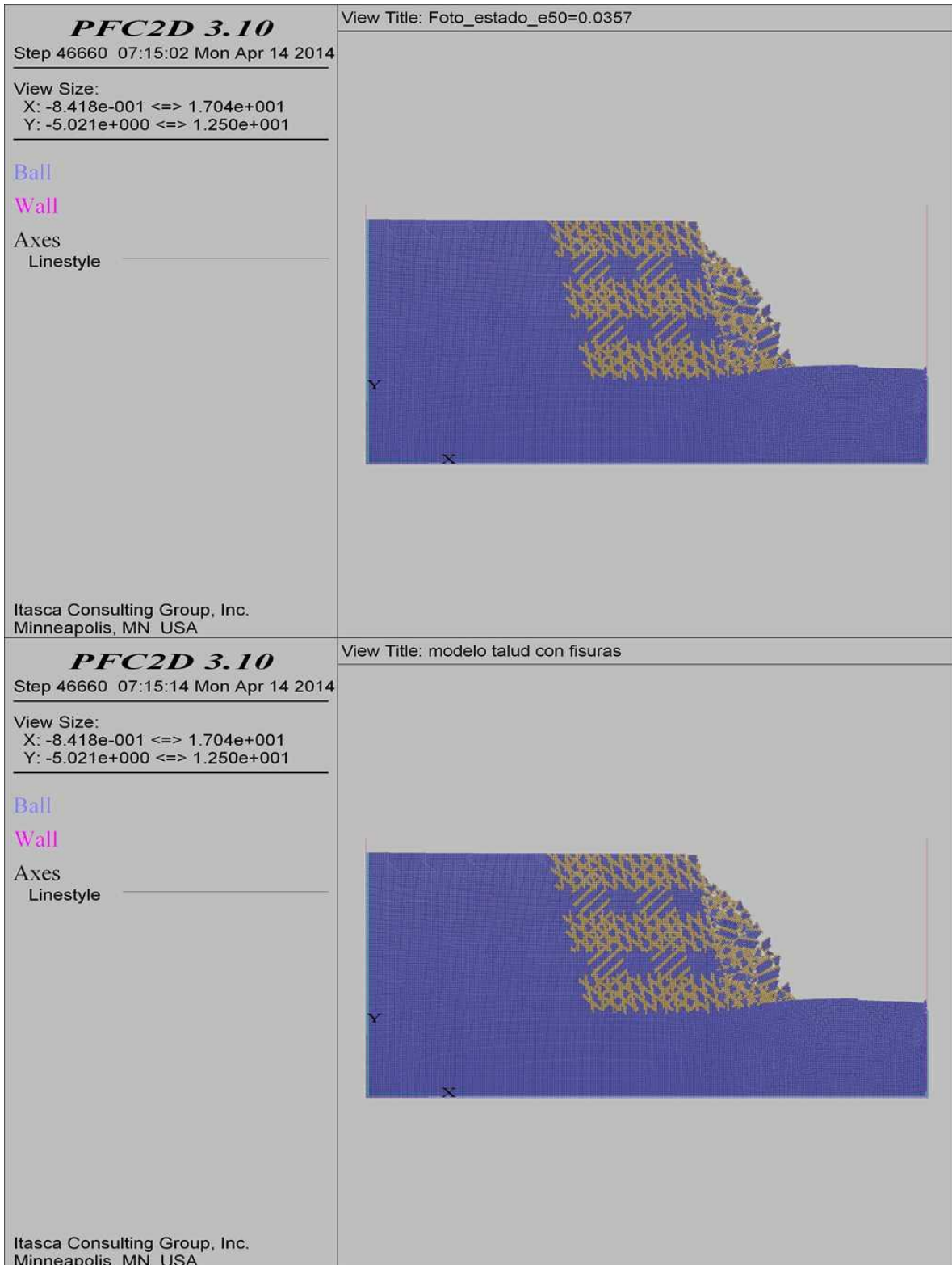
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



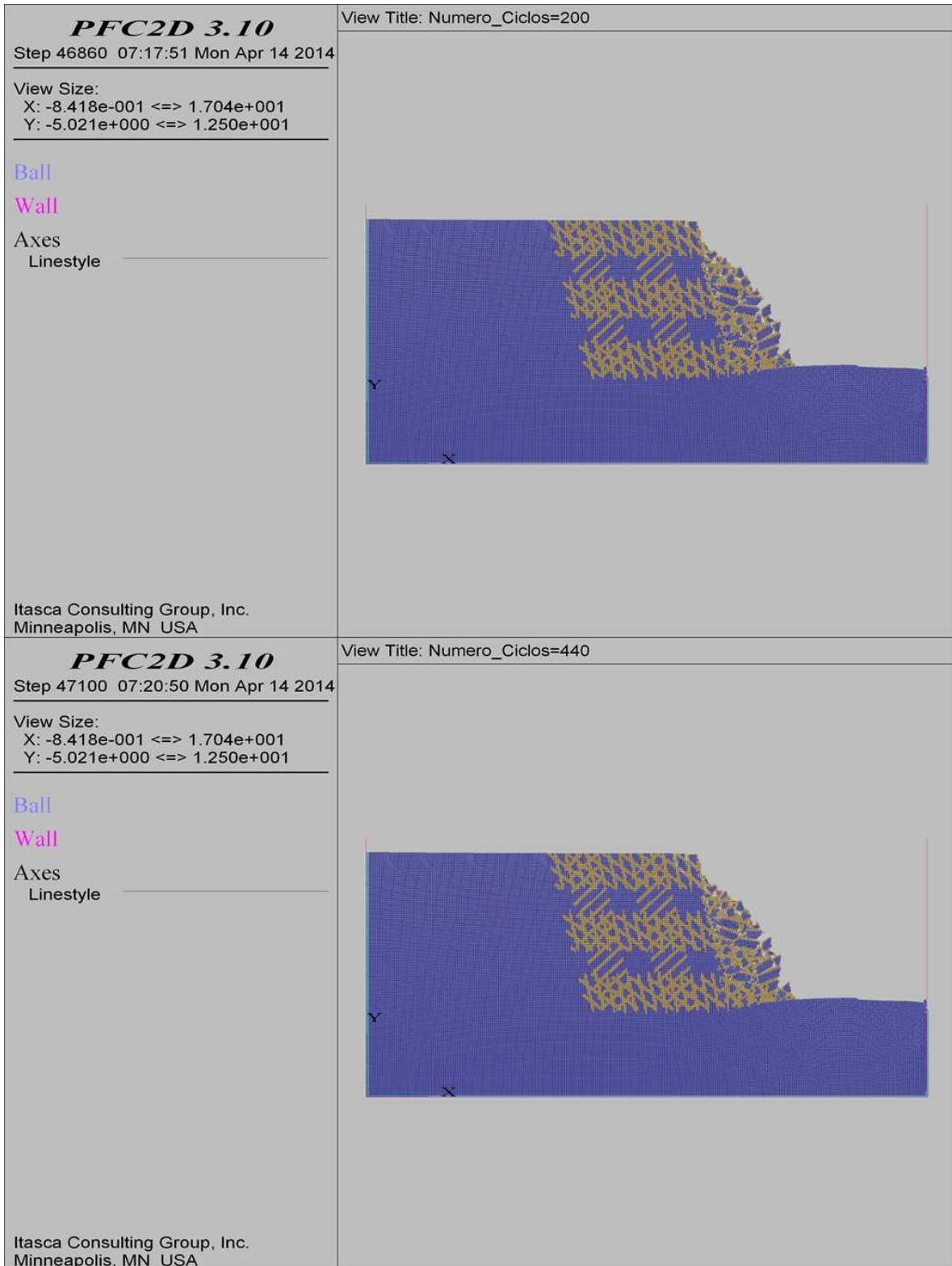
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



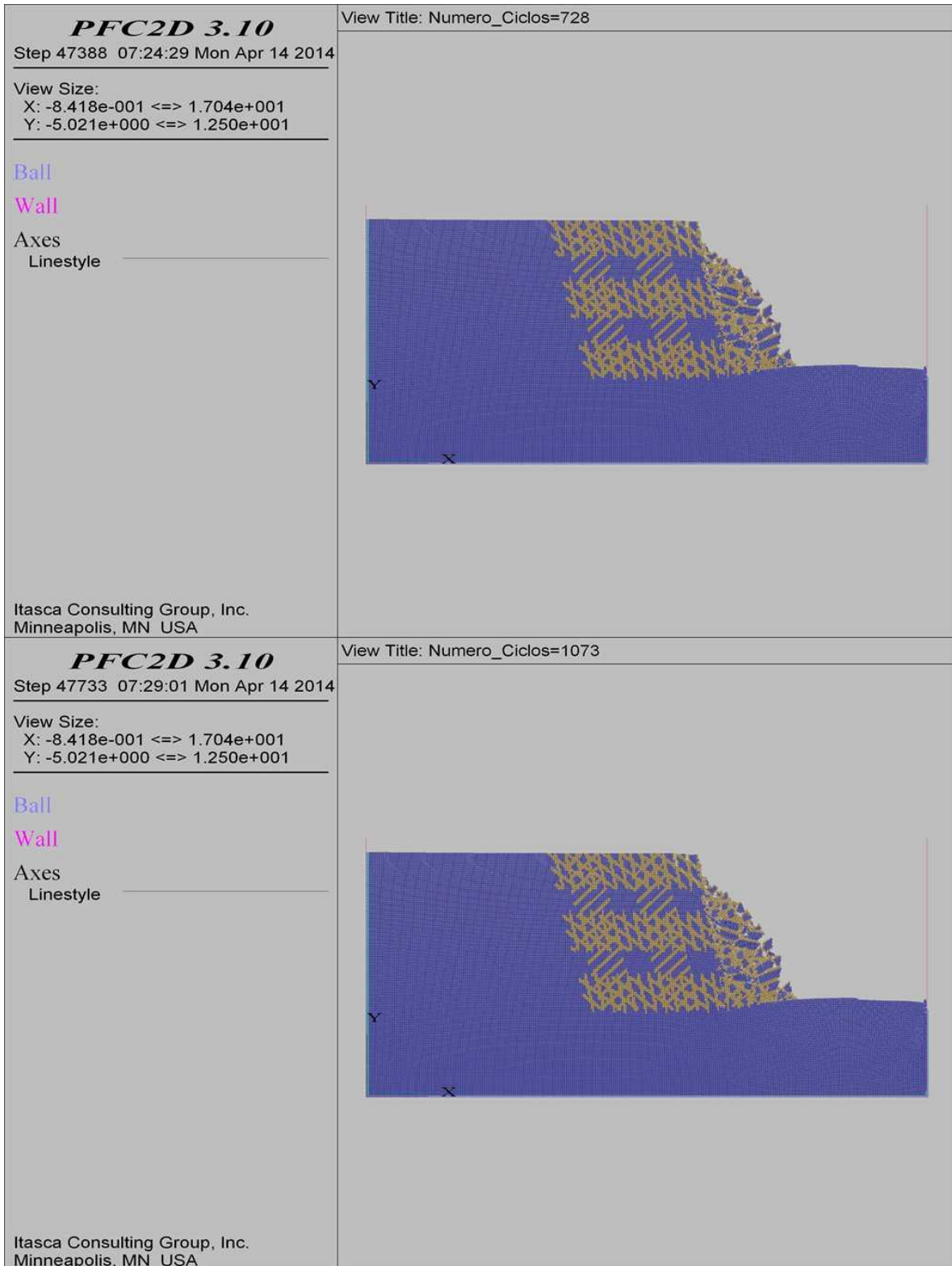
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



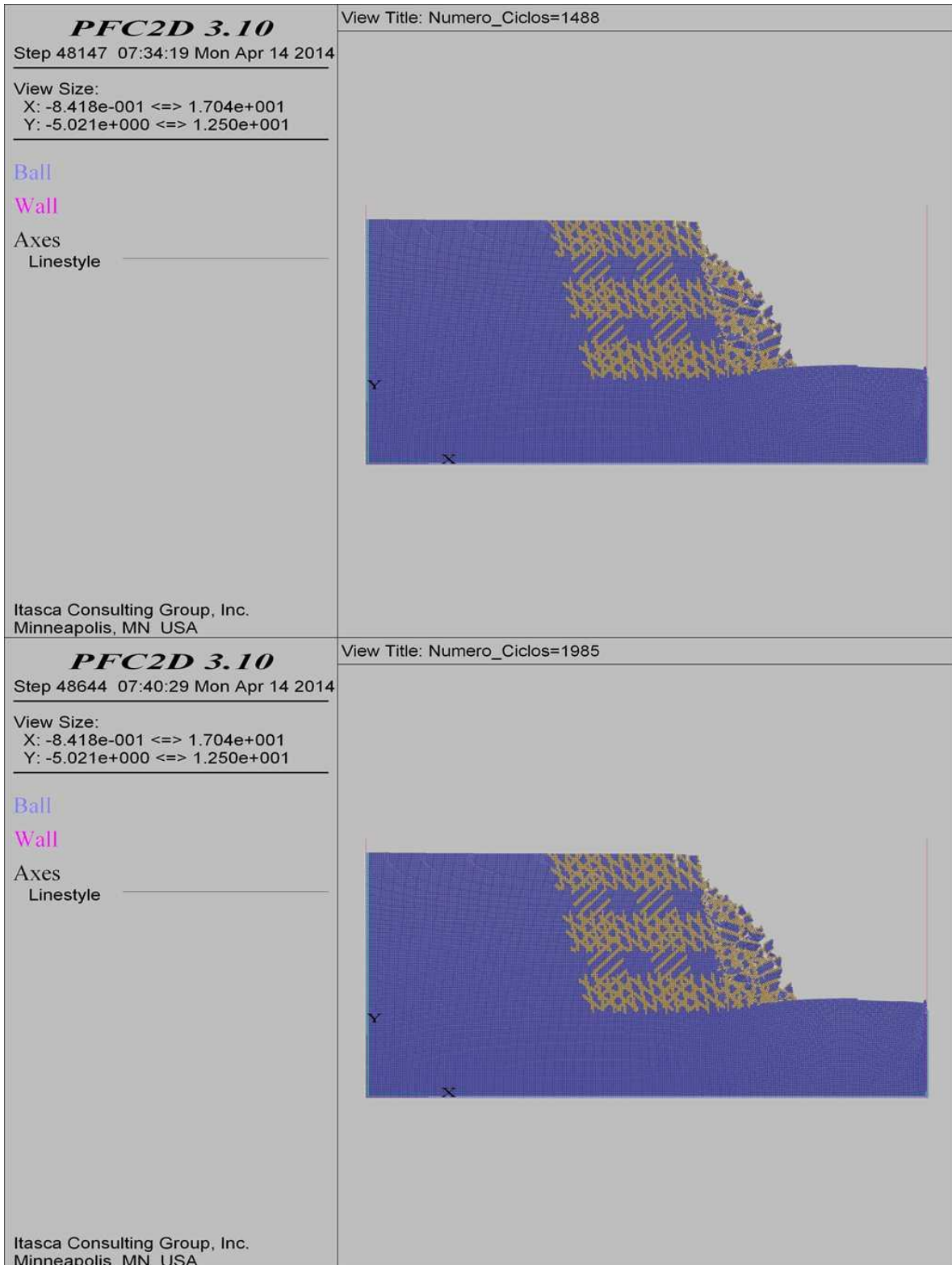
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



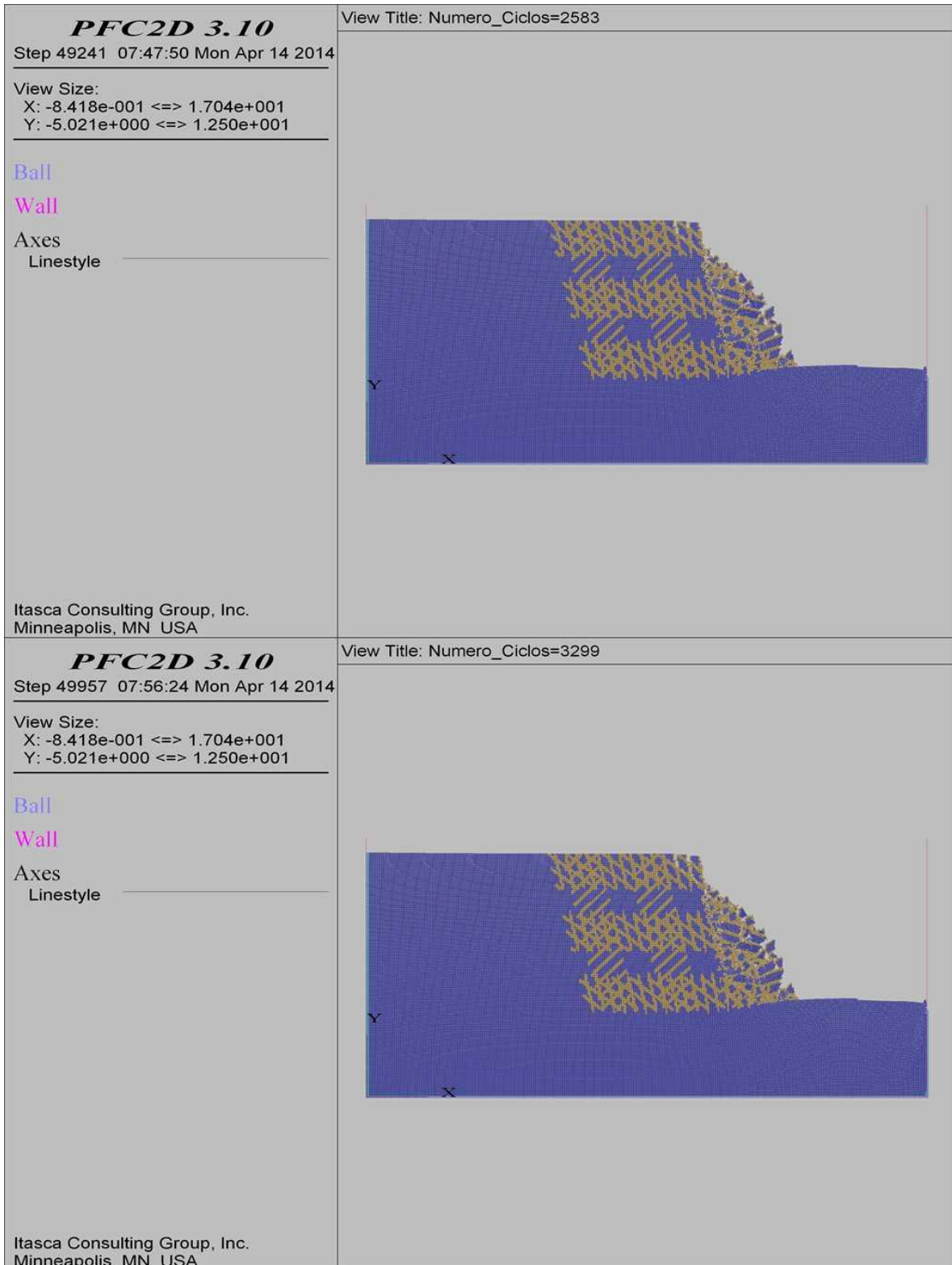
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



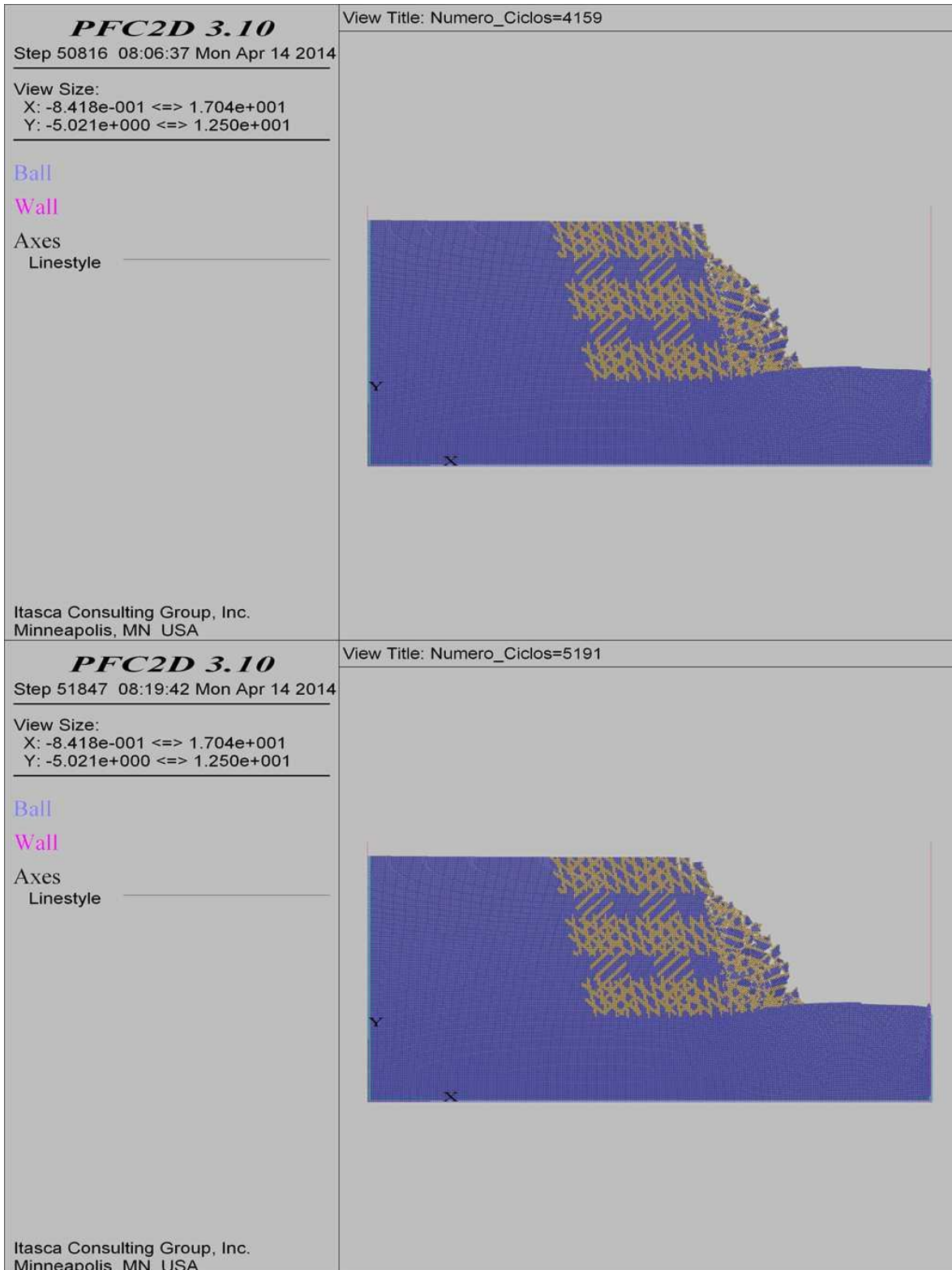
**COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



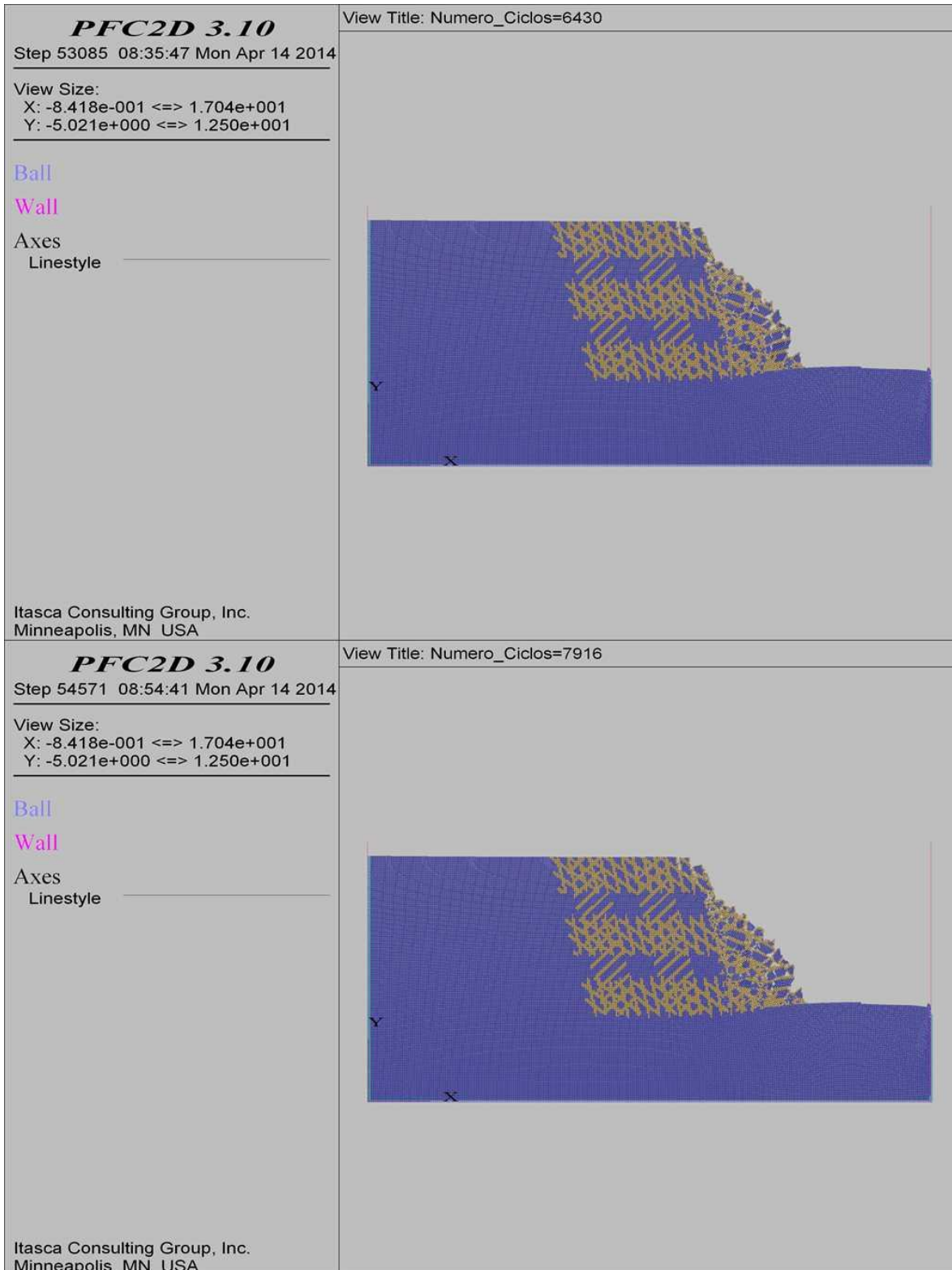
**COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



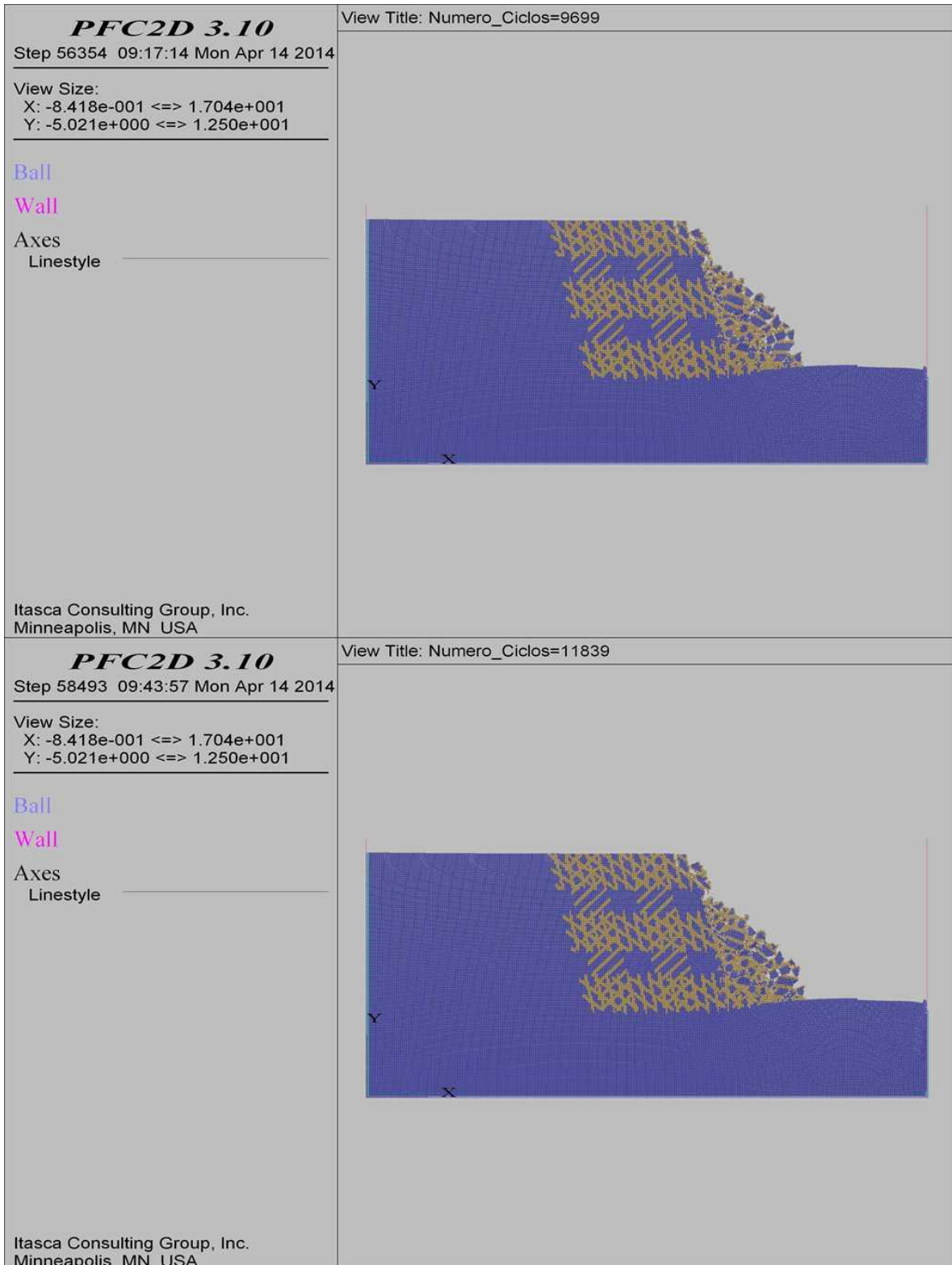
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



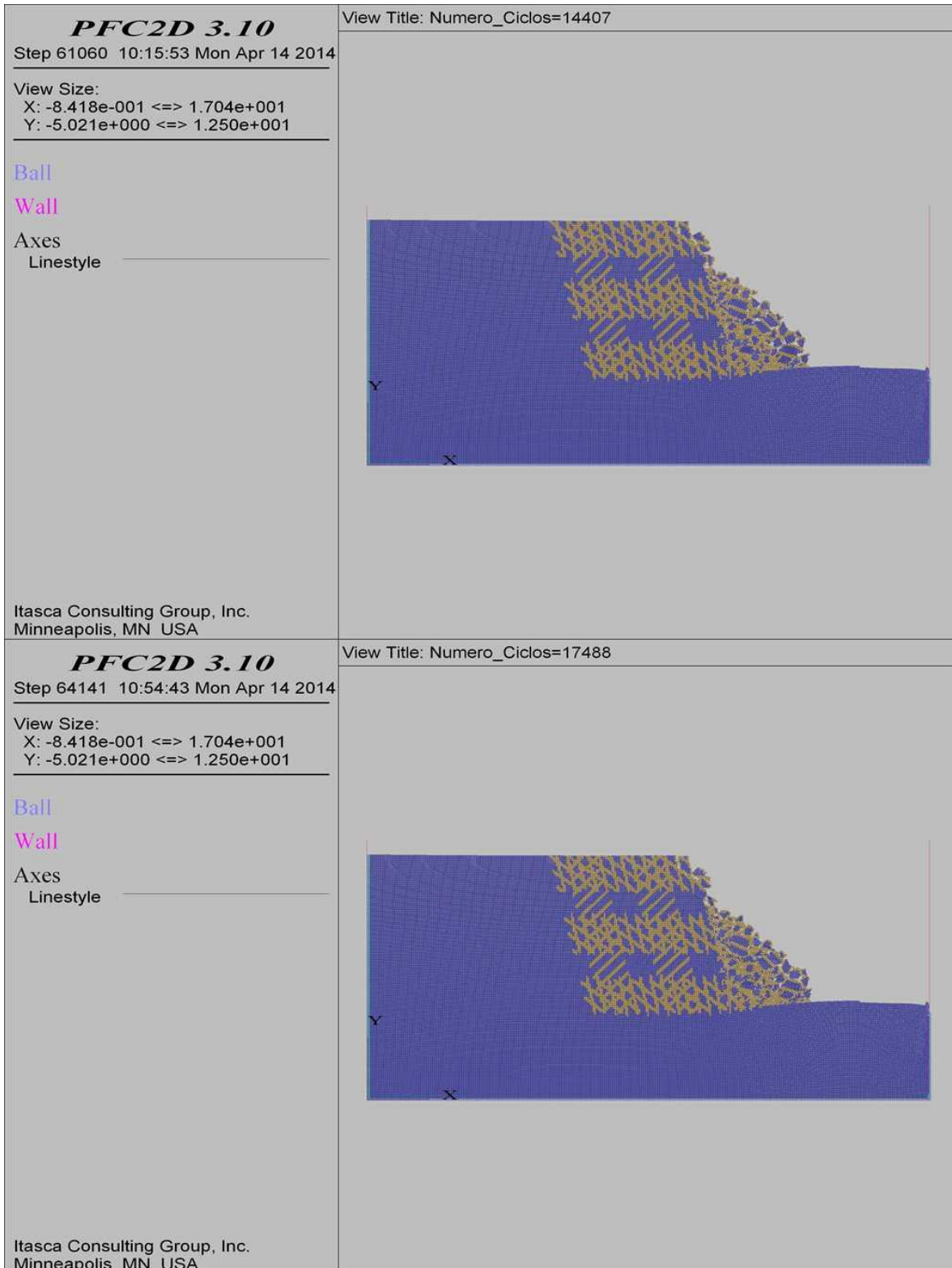
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



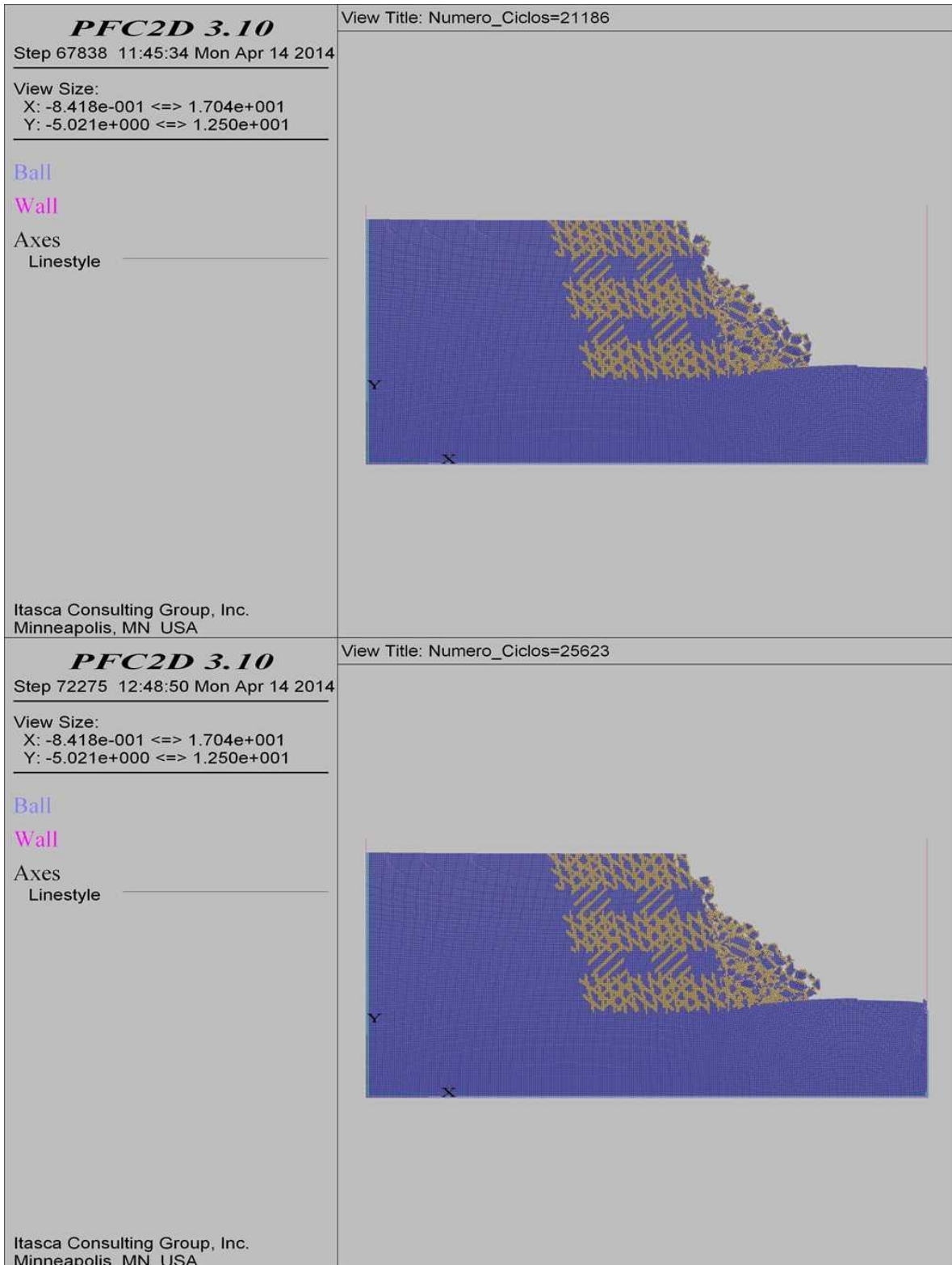
**COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



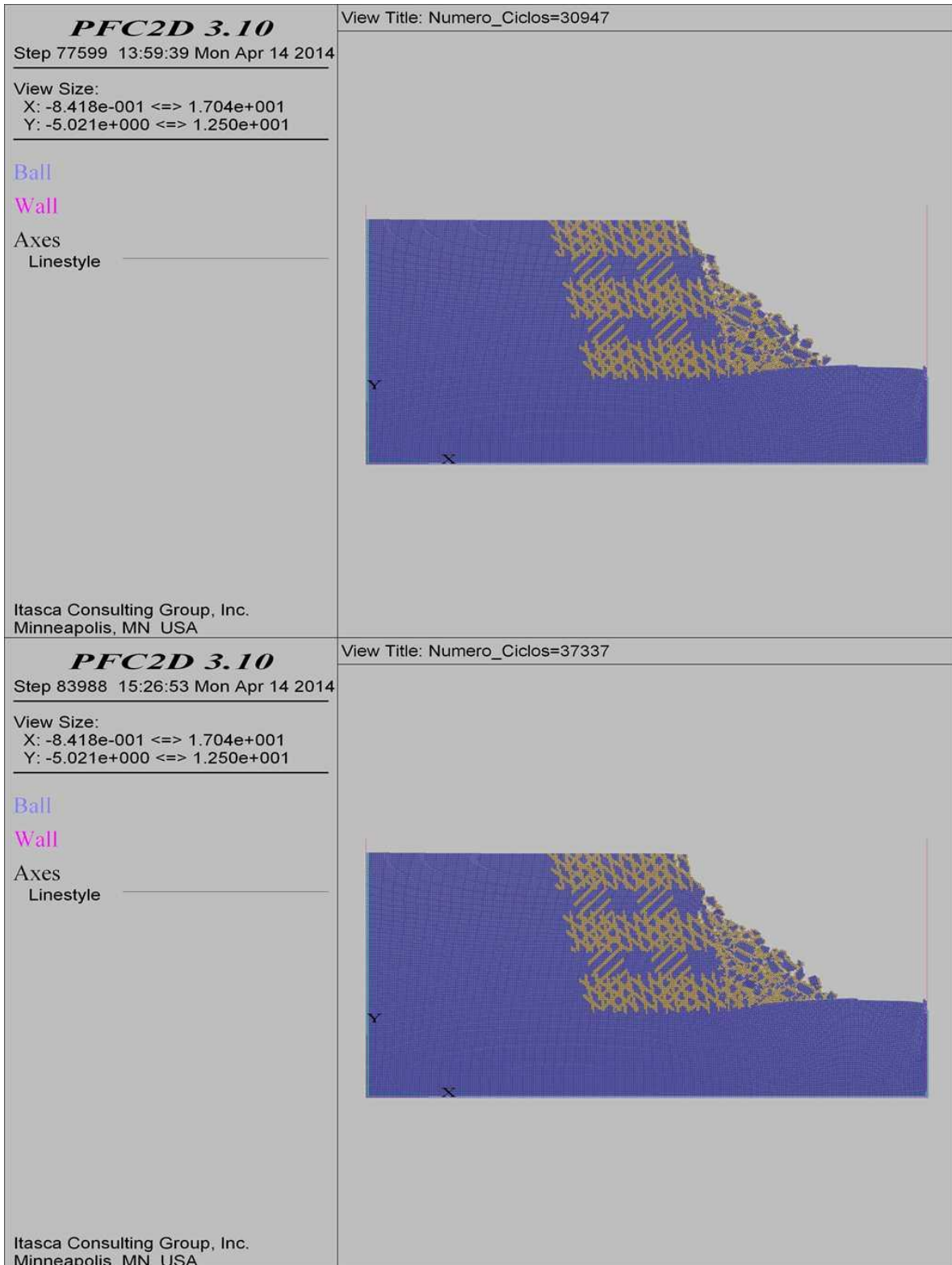
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



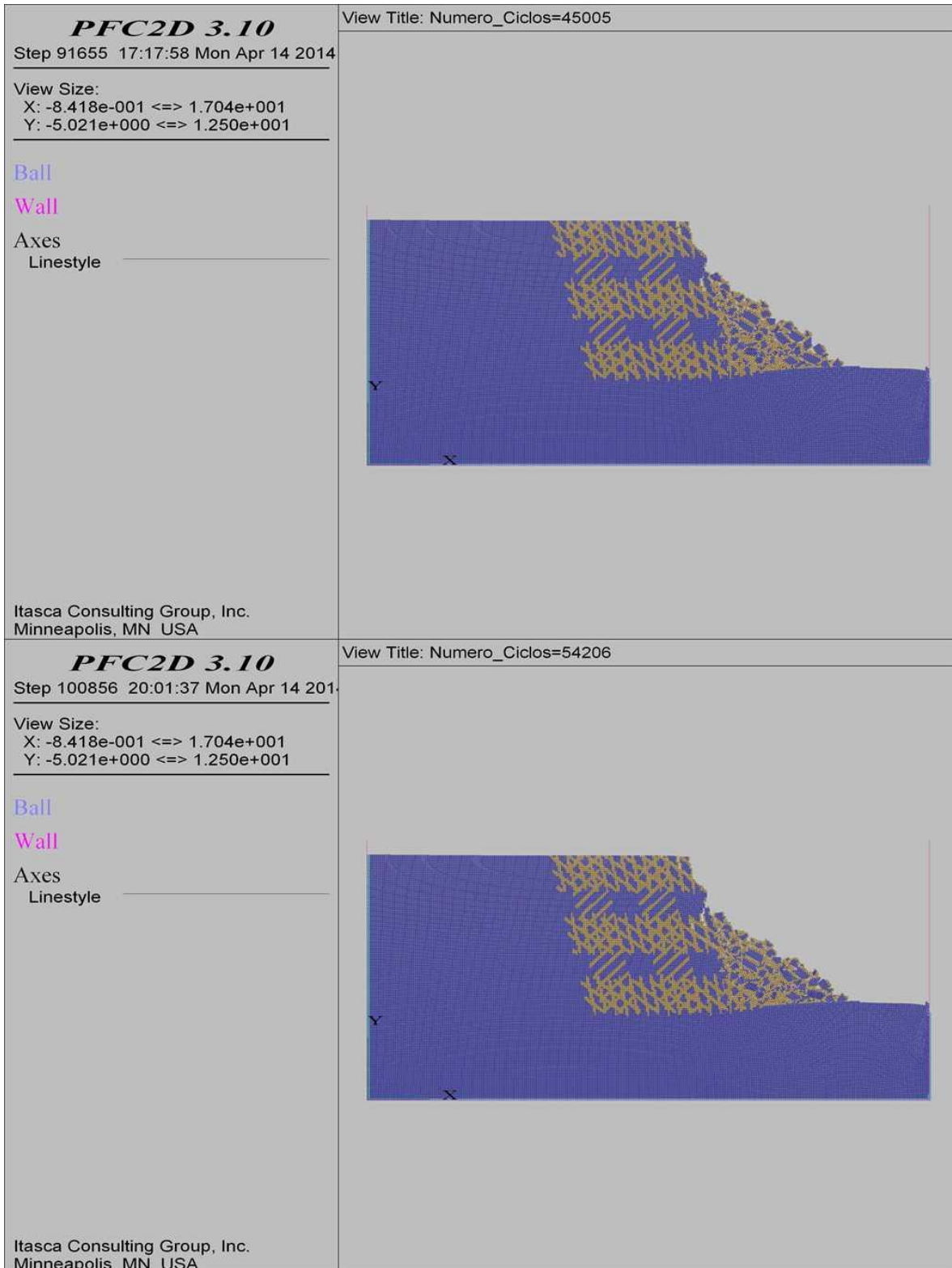
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



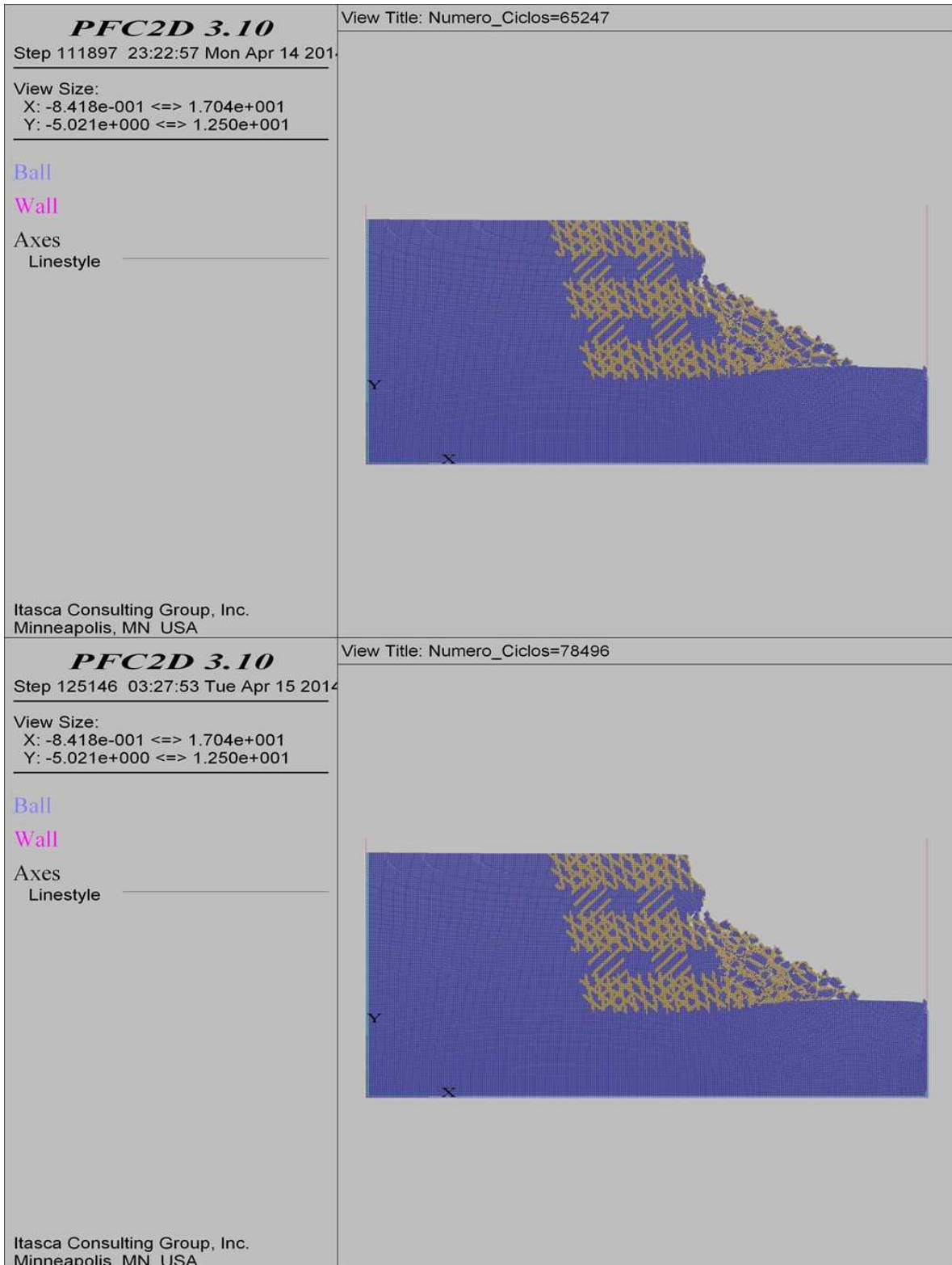
**COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



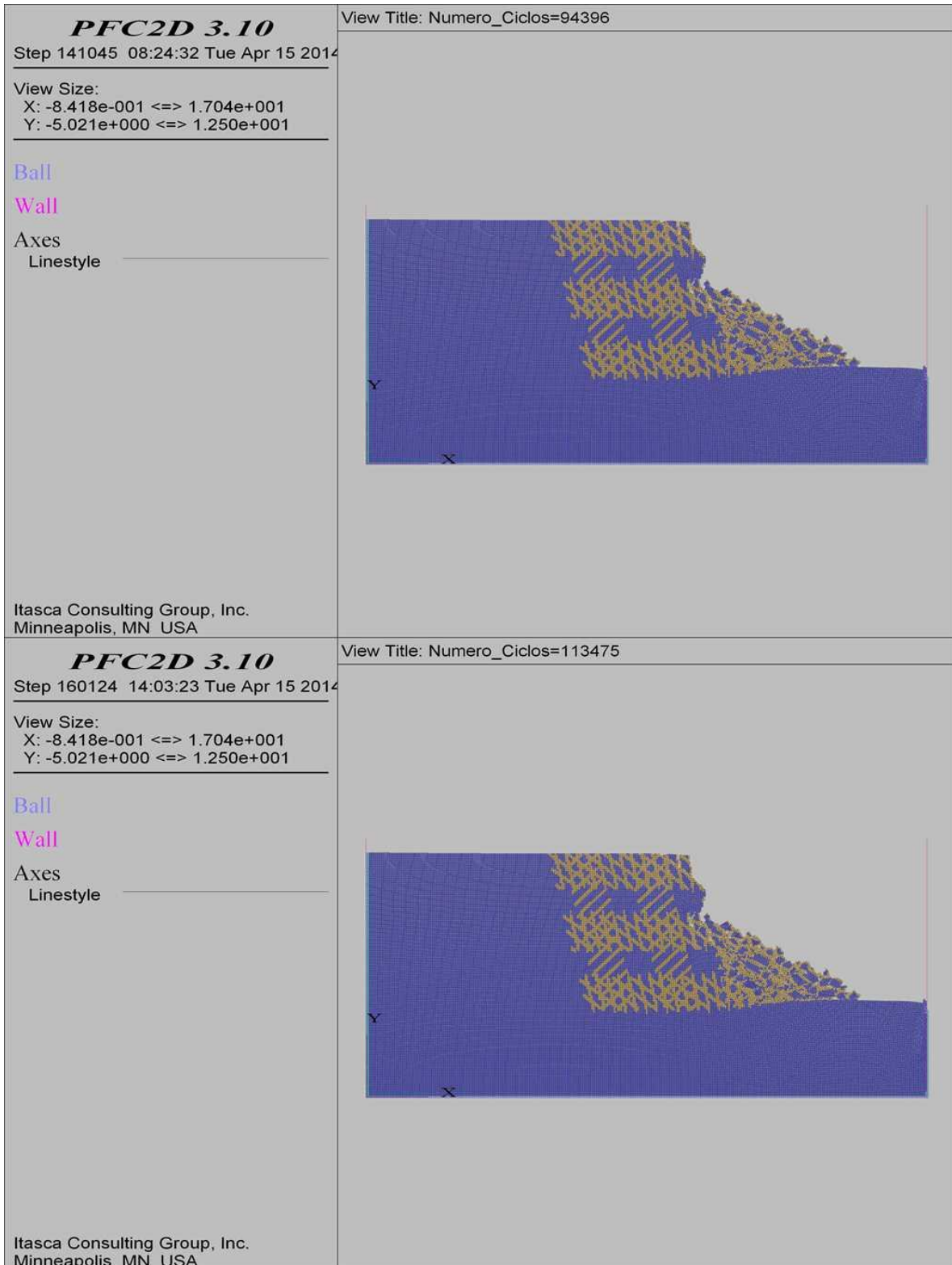
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



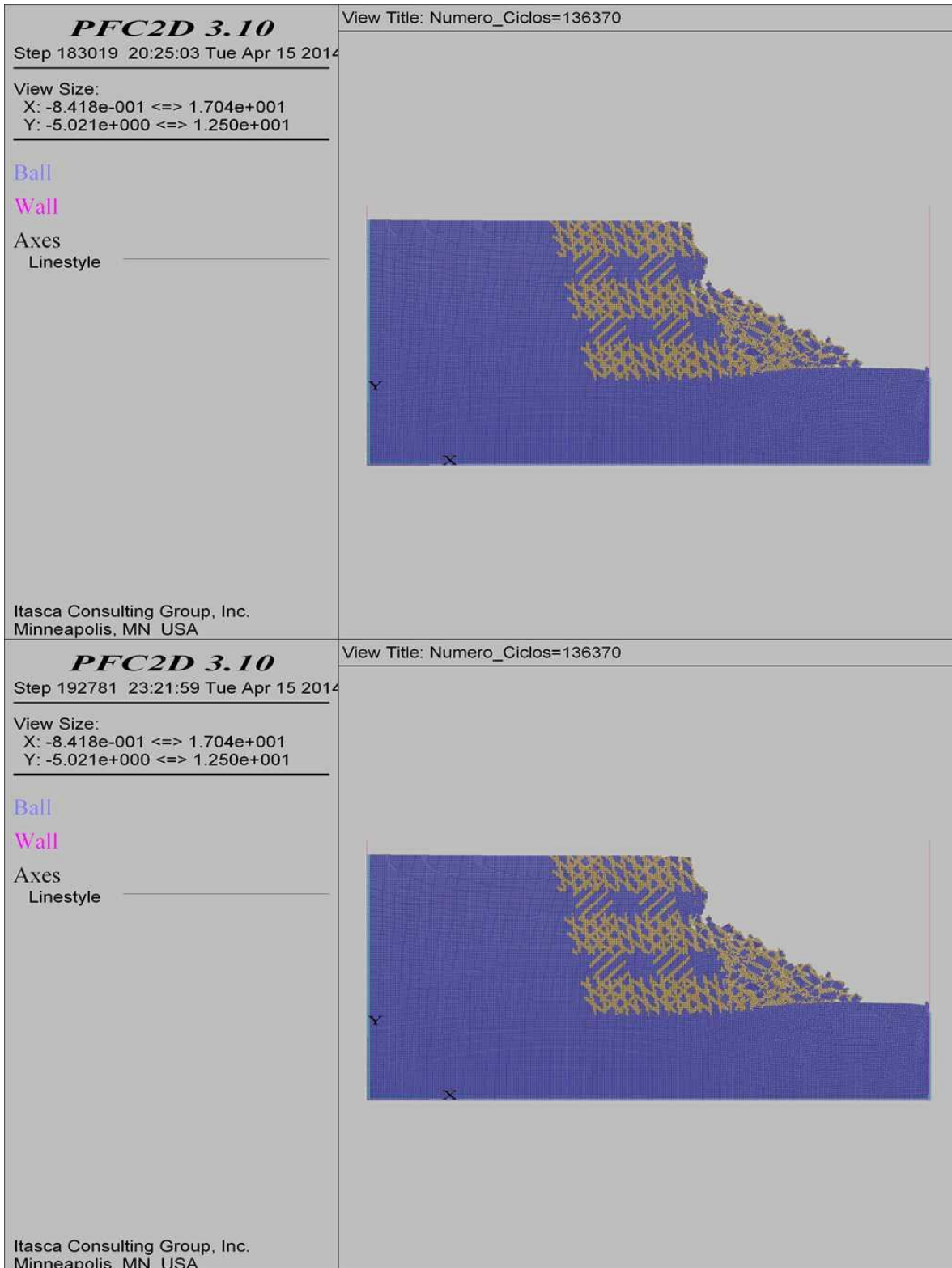
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



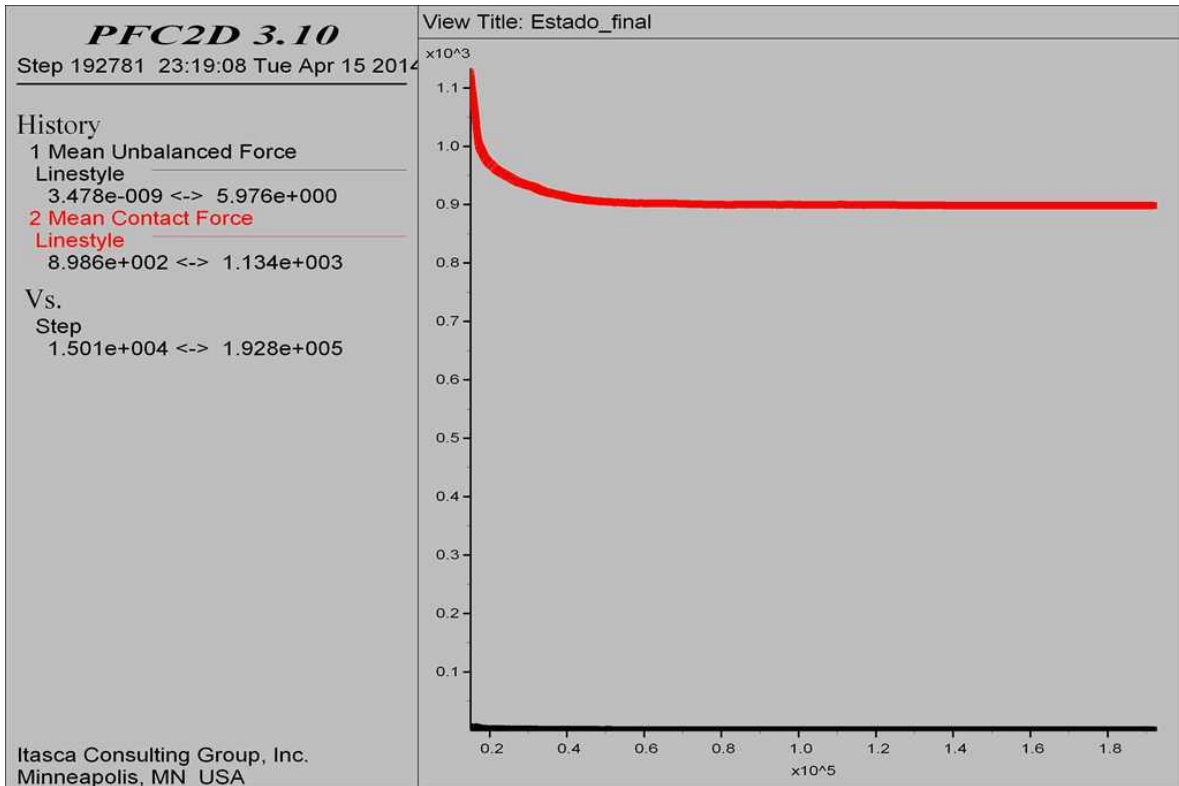
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



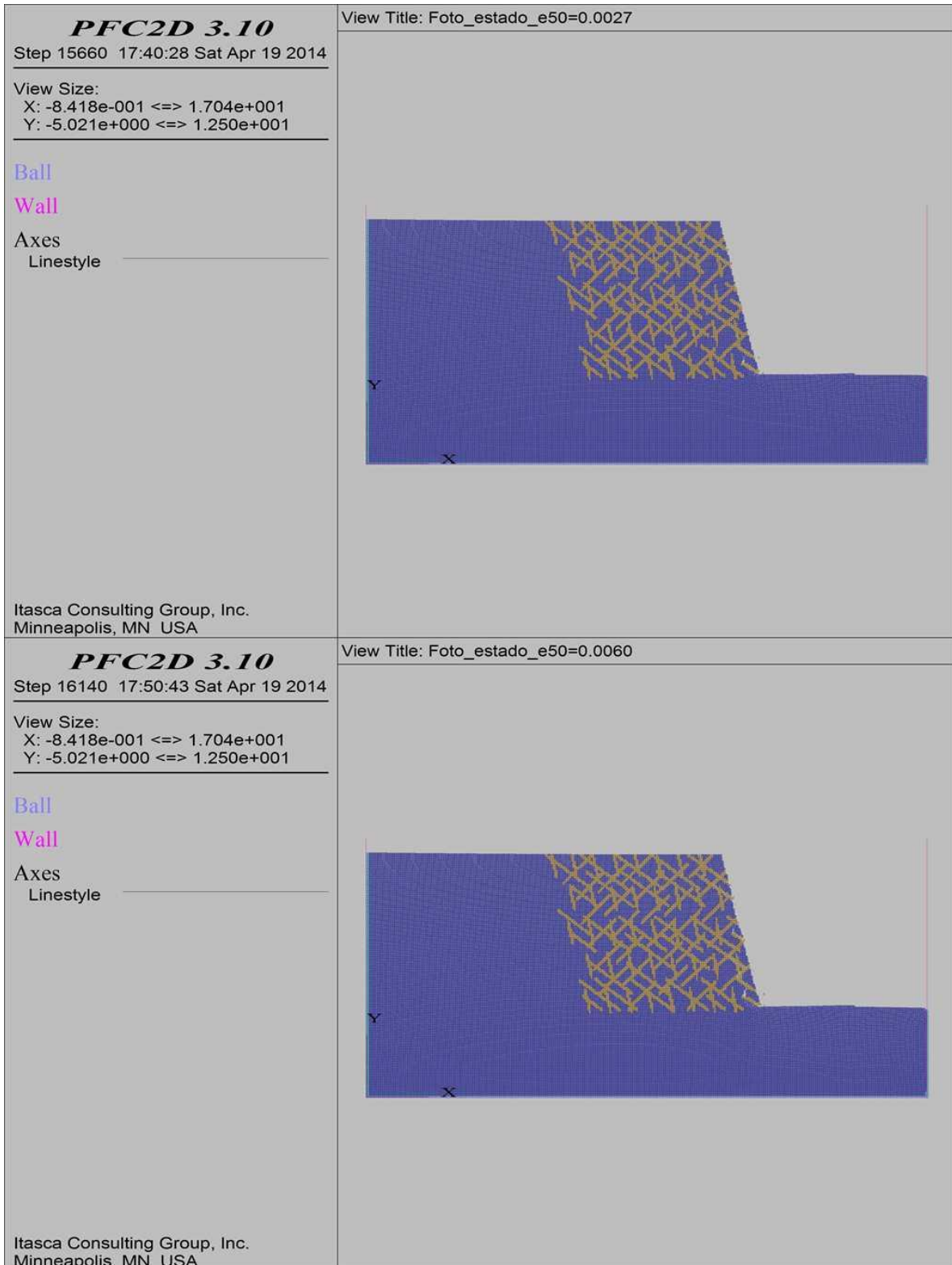
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



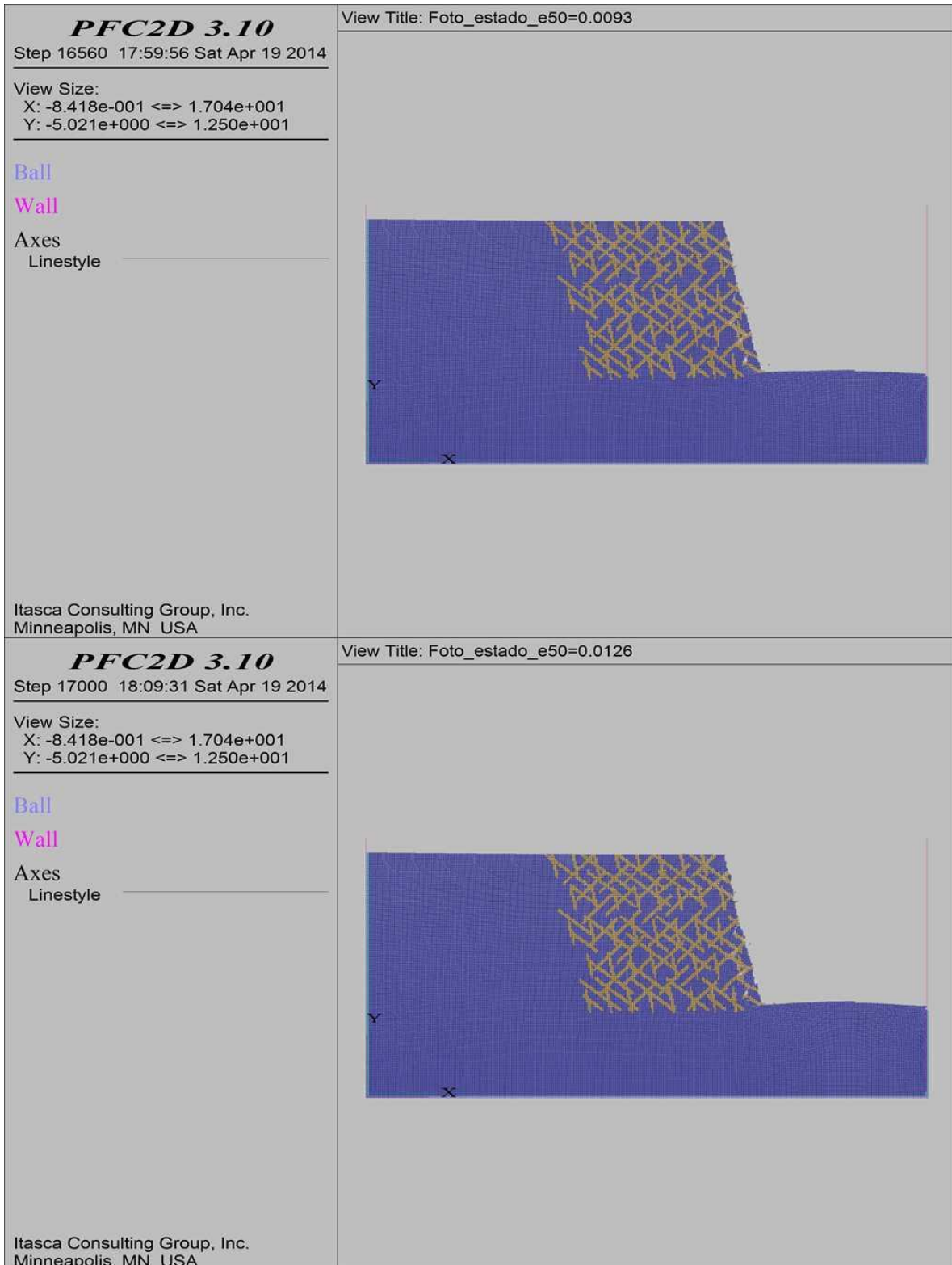
COMBINACIÓN 29: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



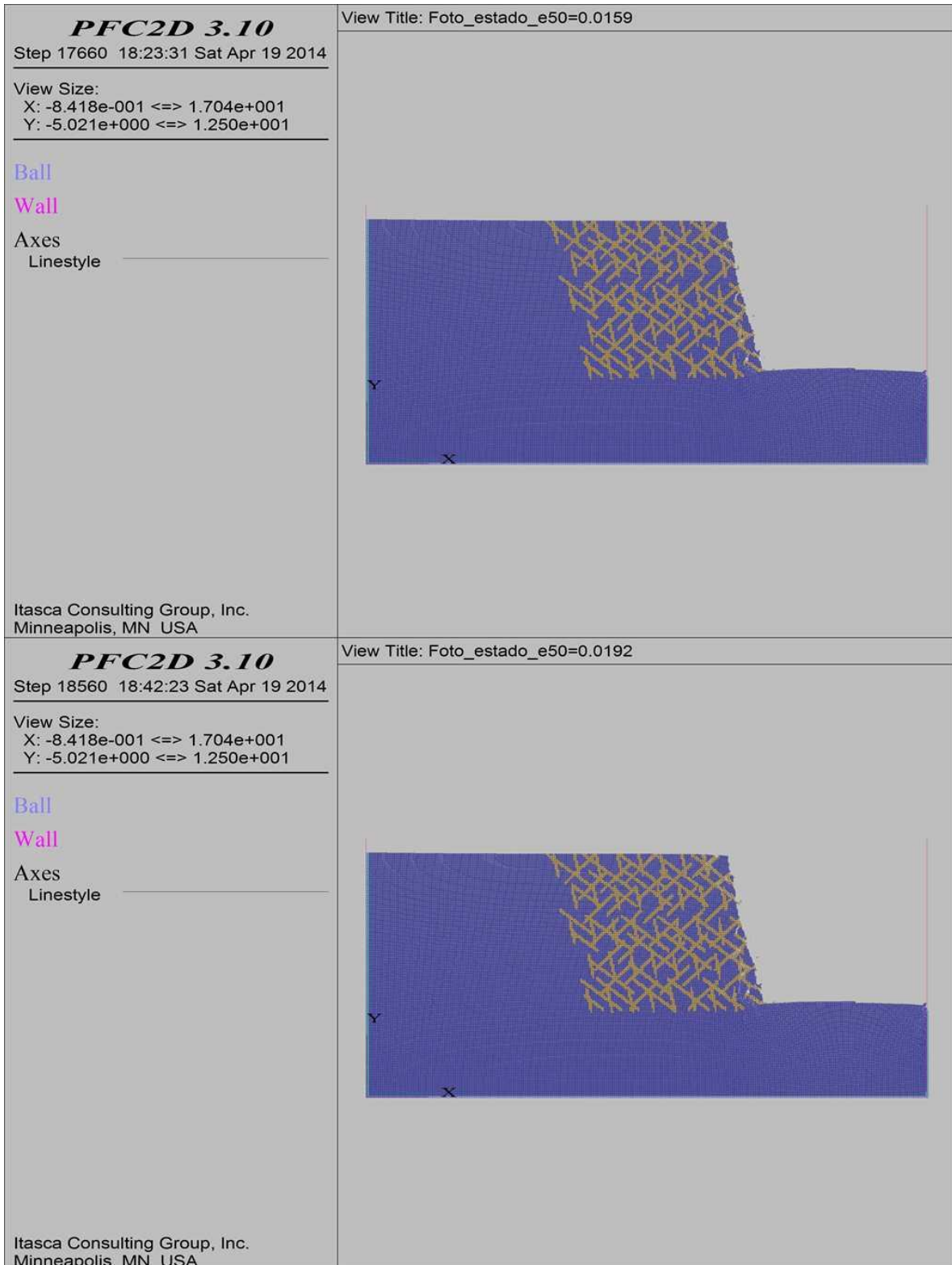
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



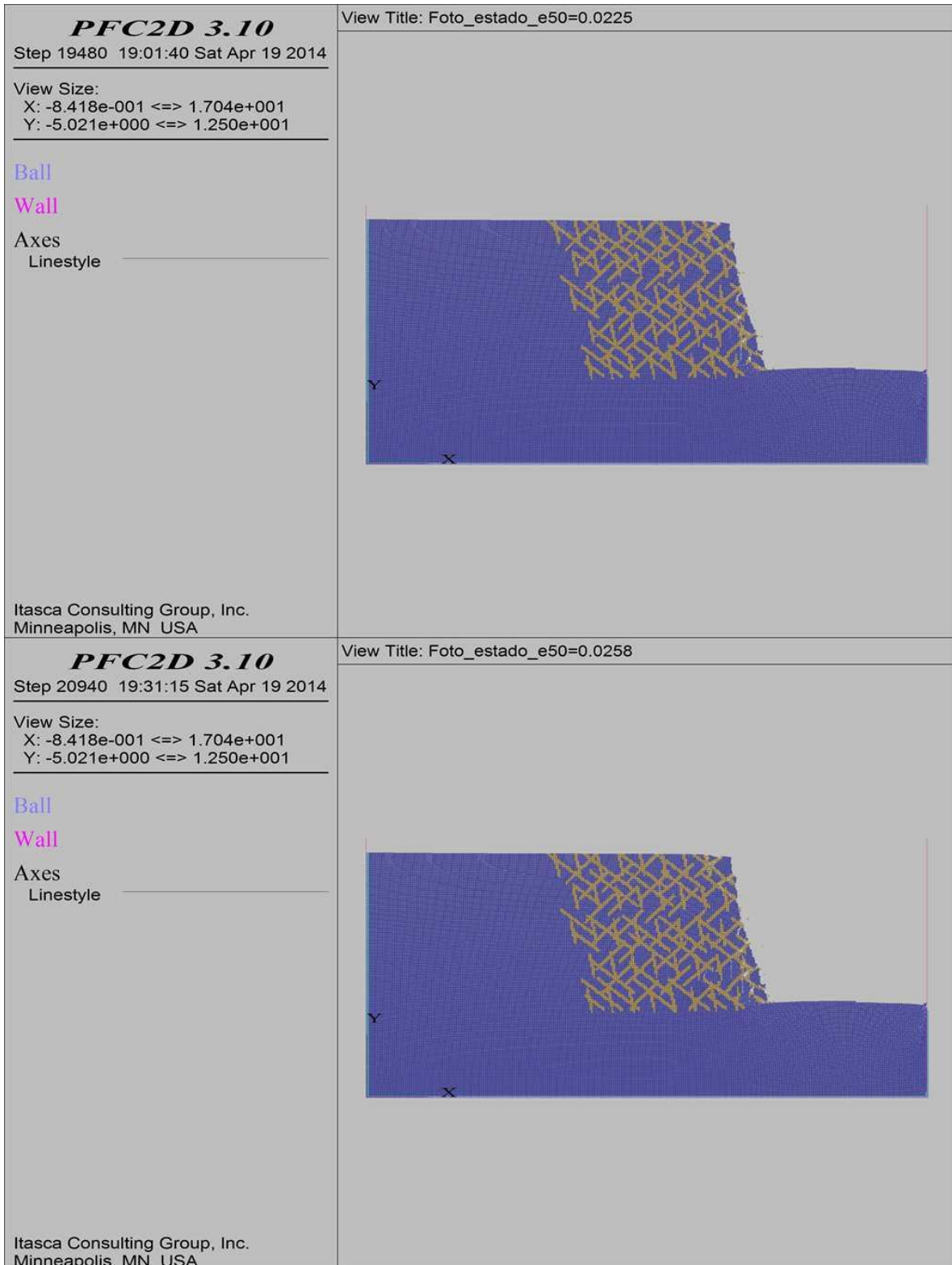
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



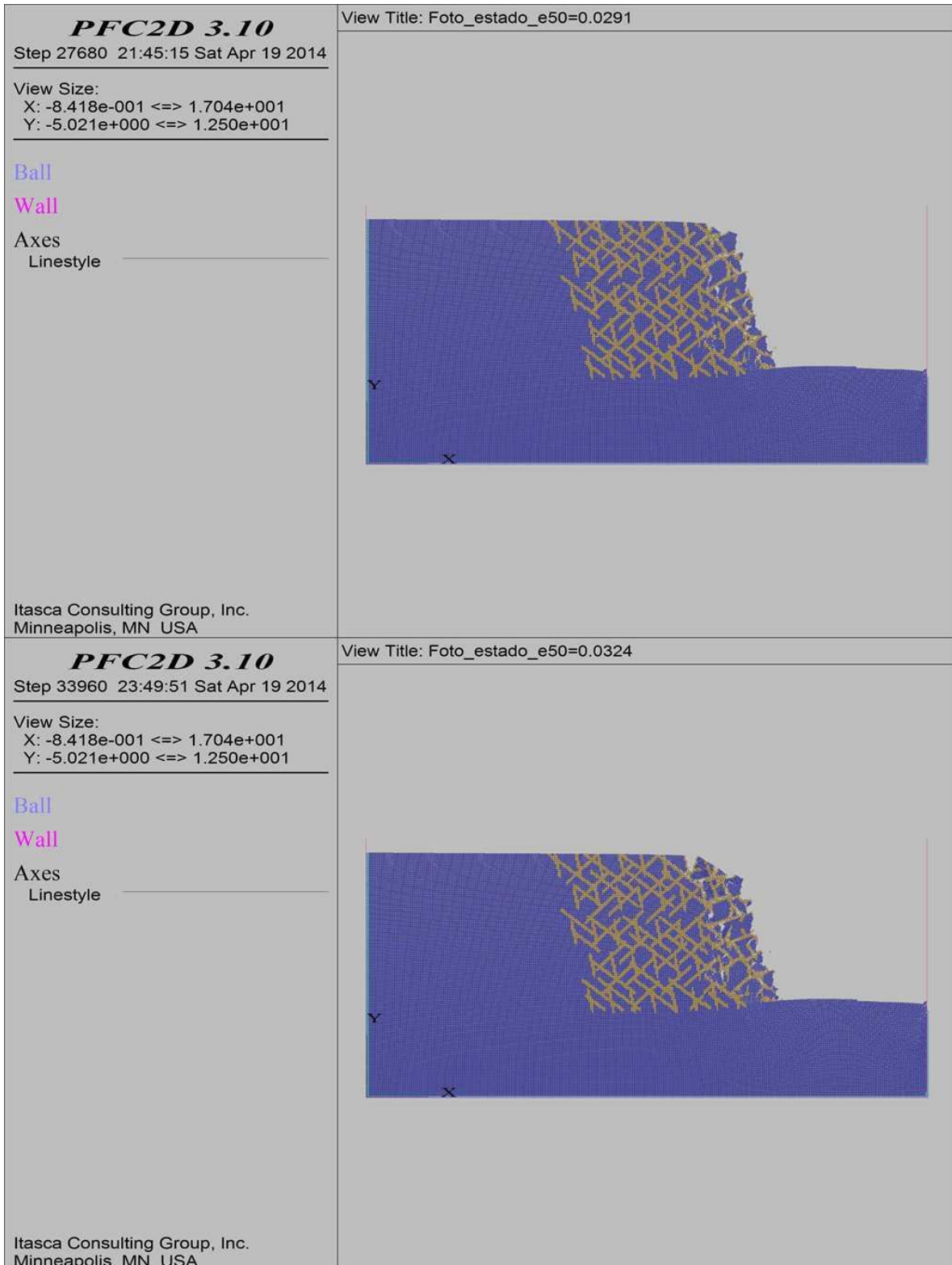
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



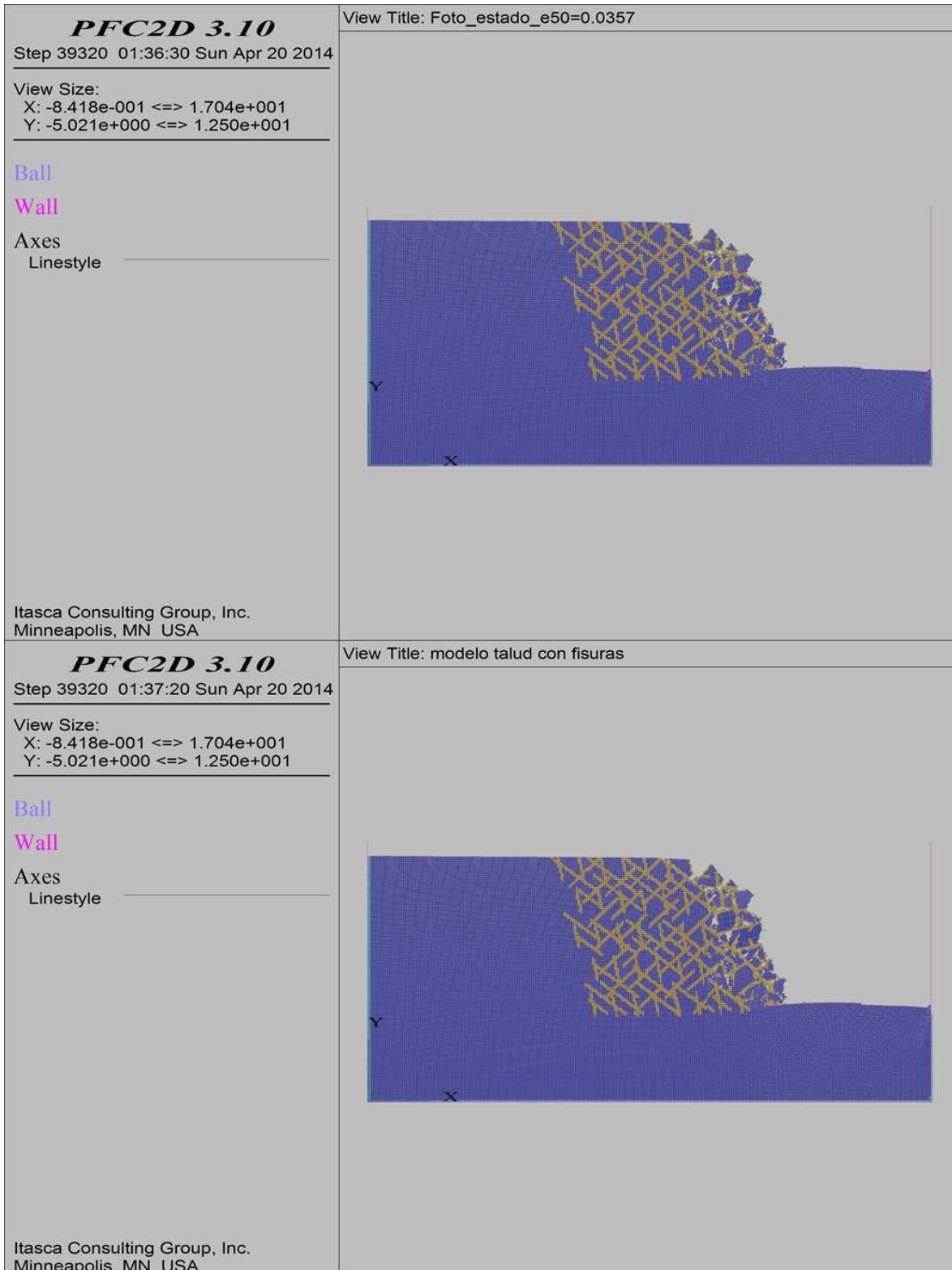
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



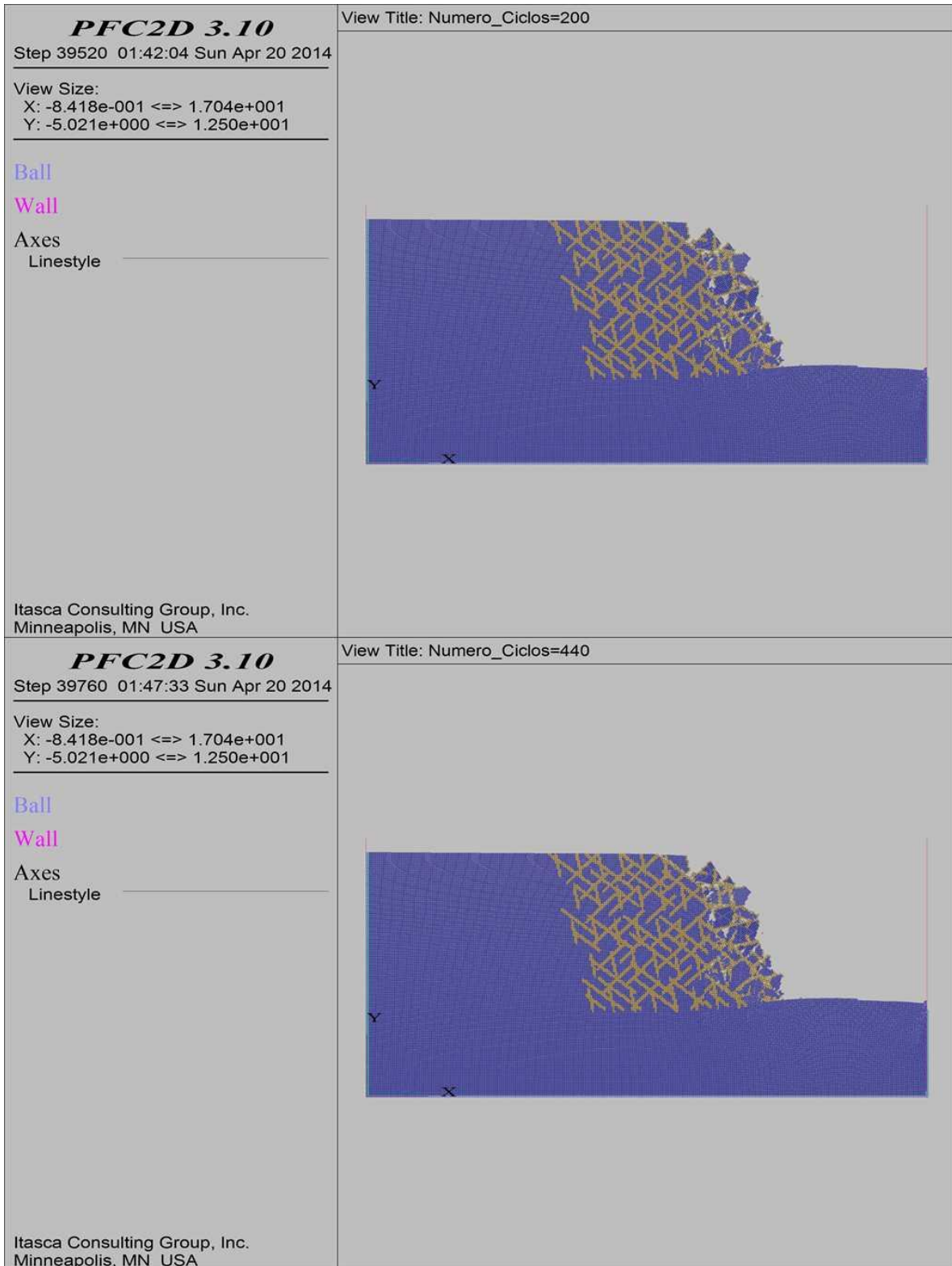
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



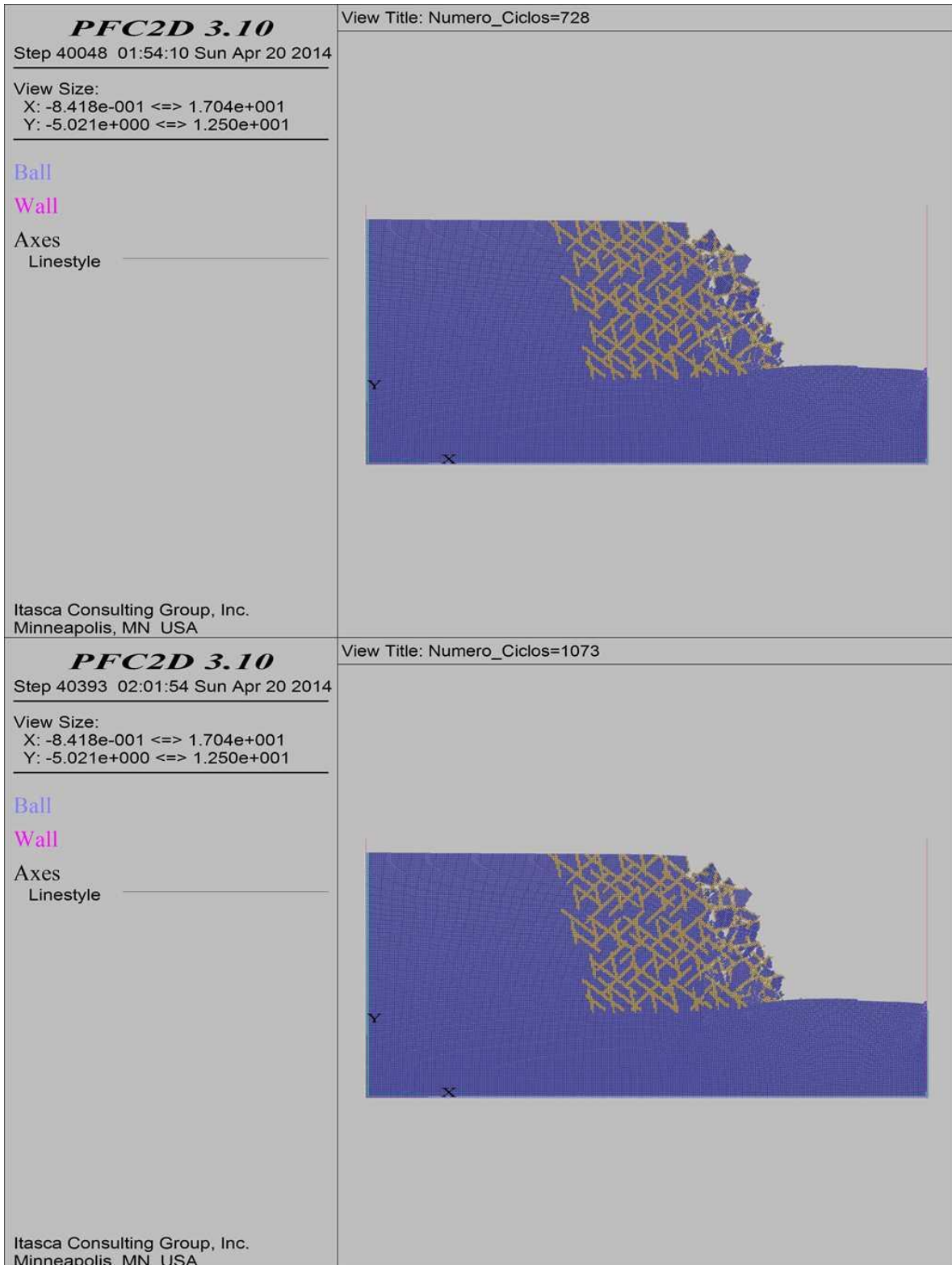
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



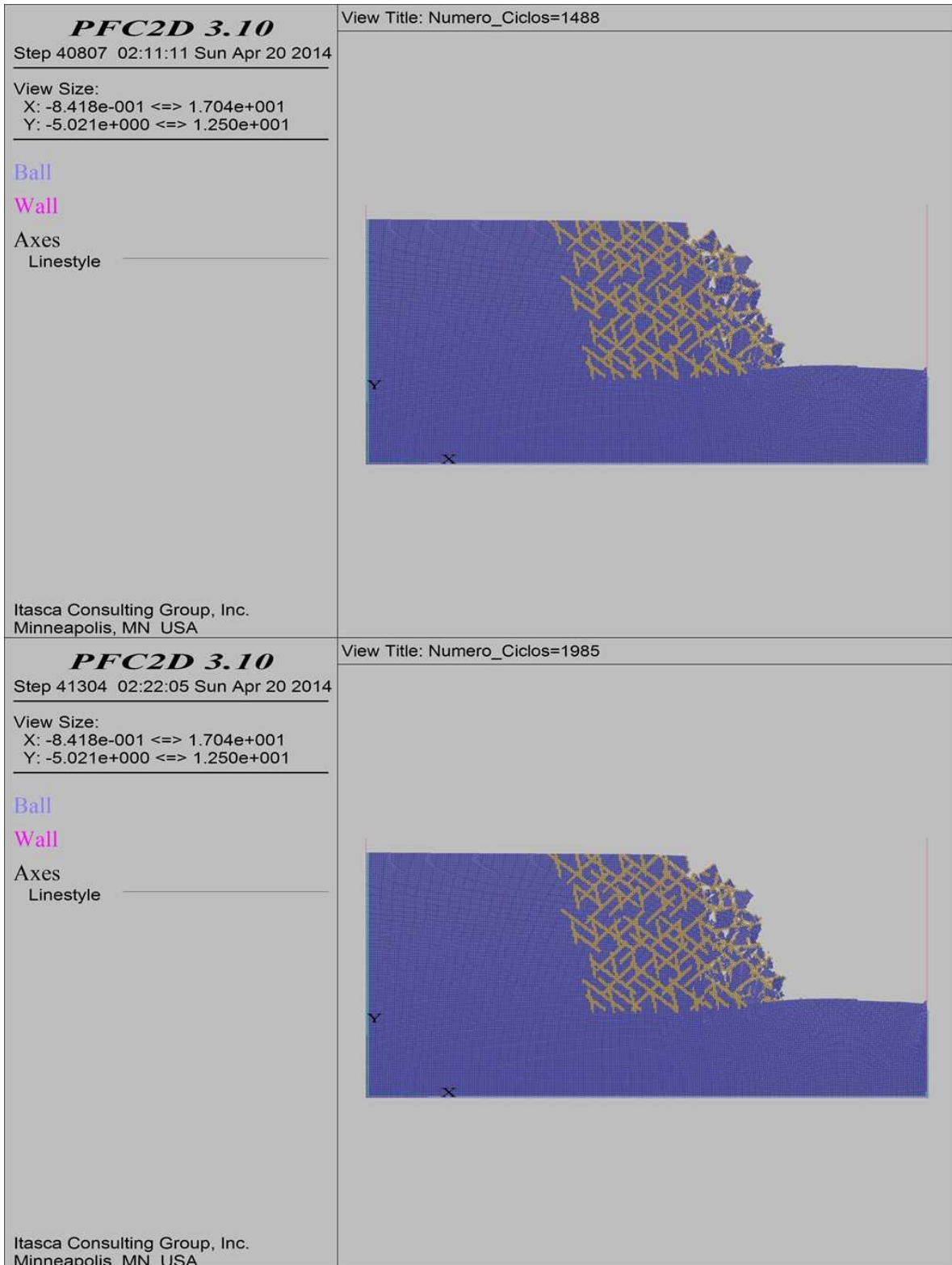
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



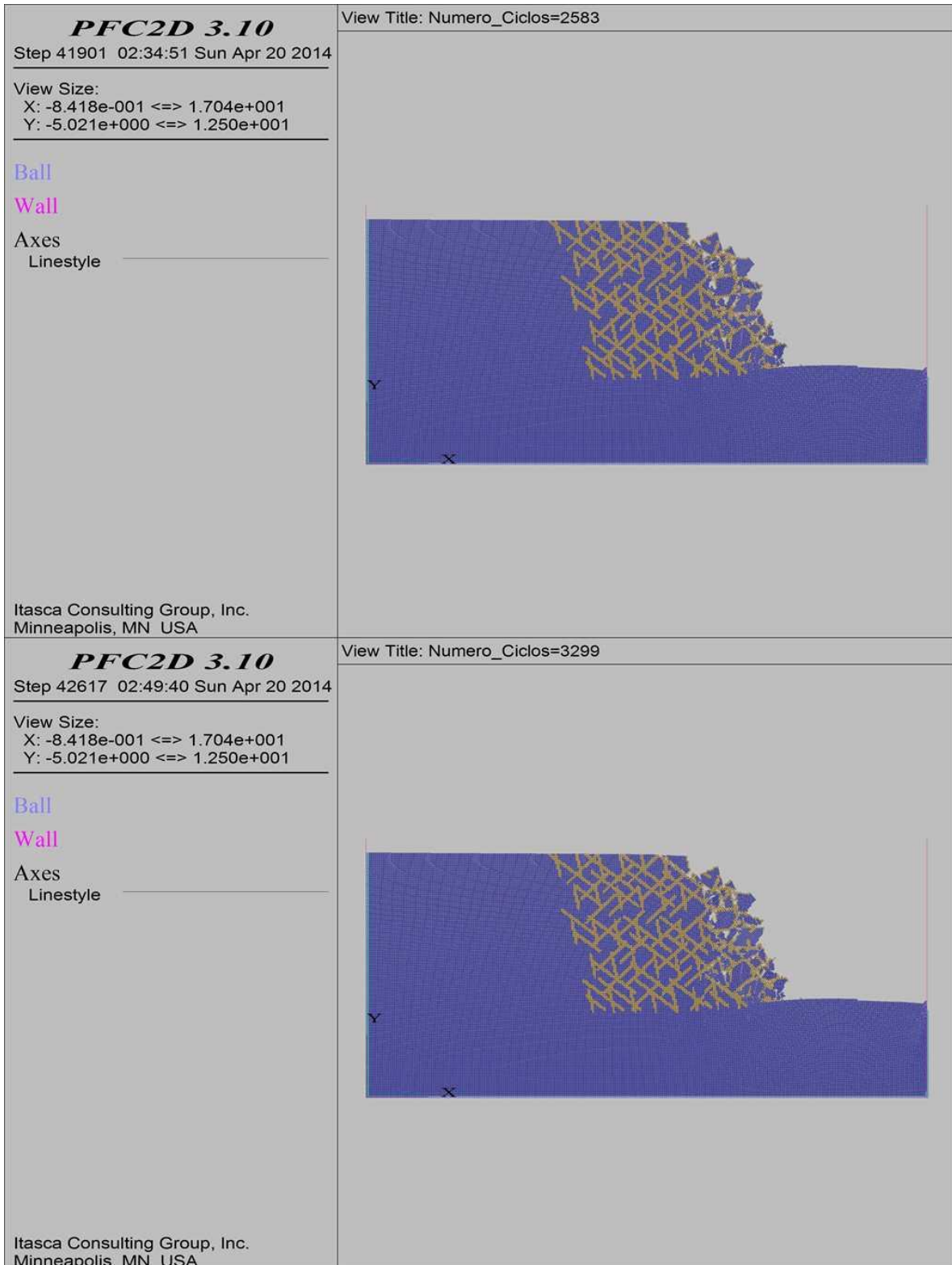
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



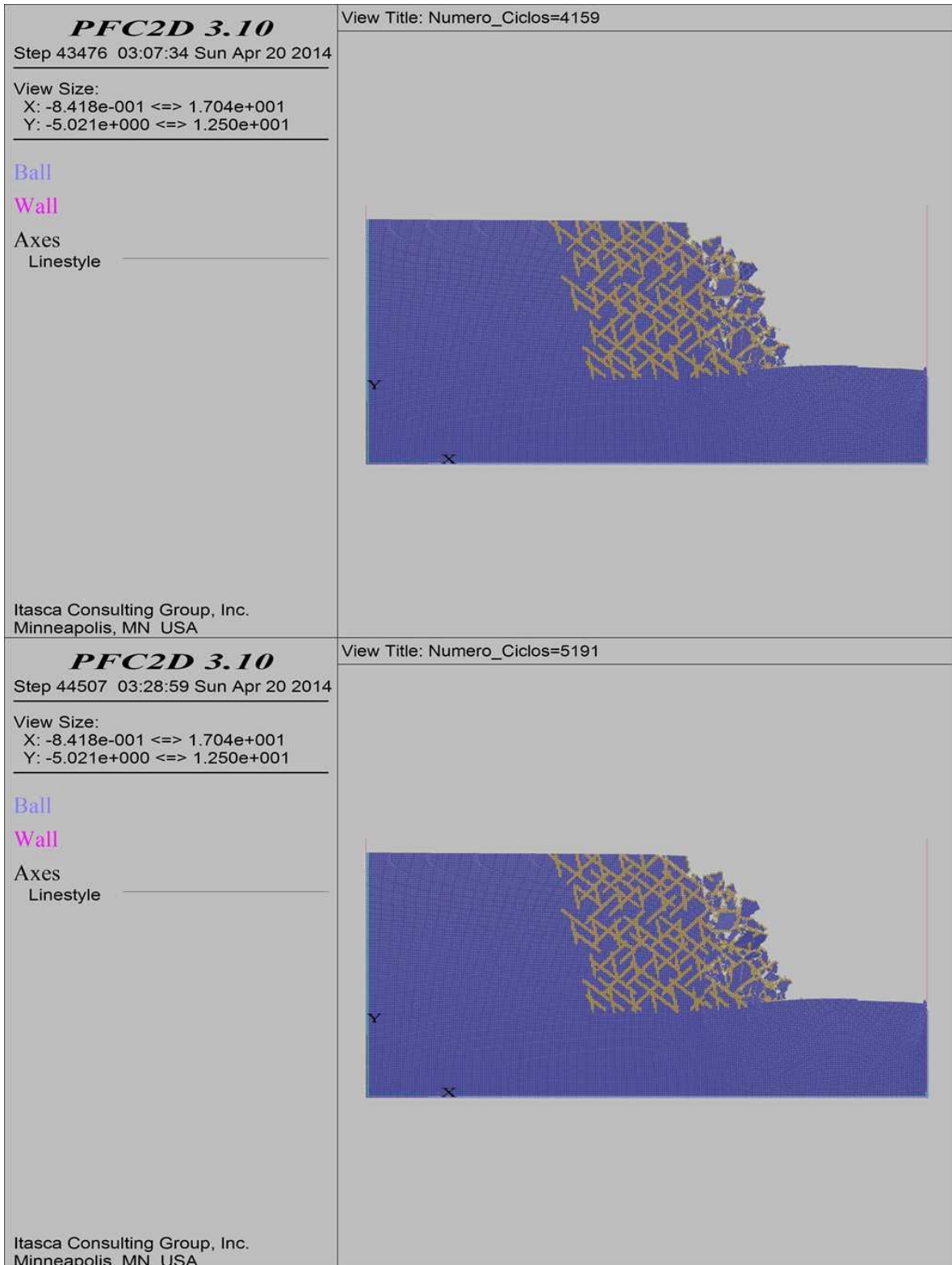
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



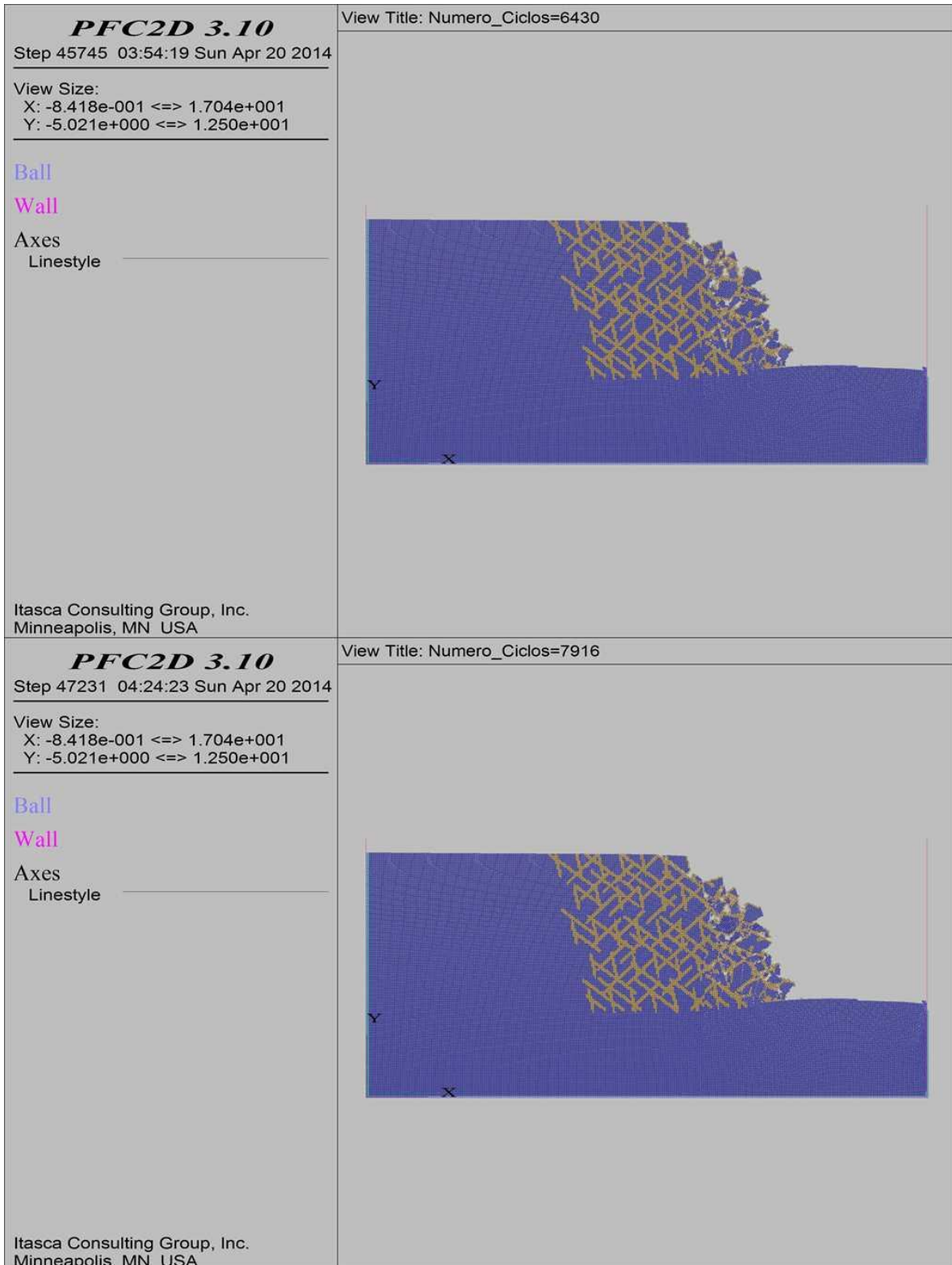
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



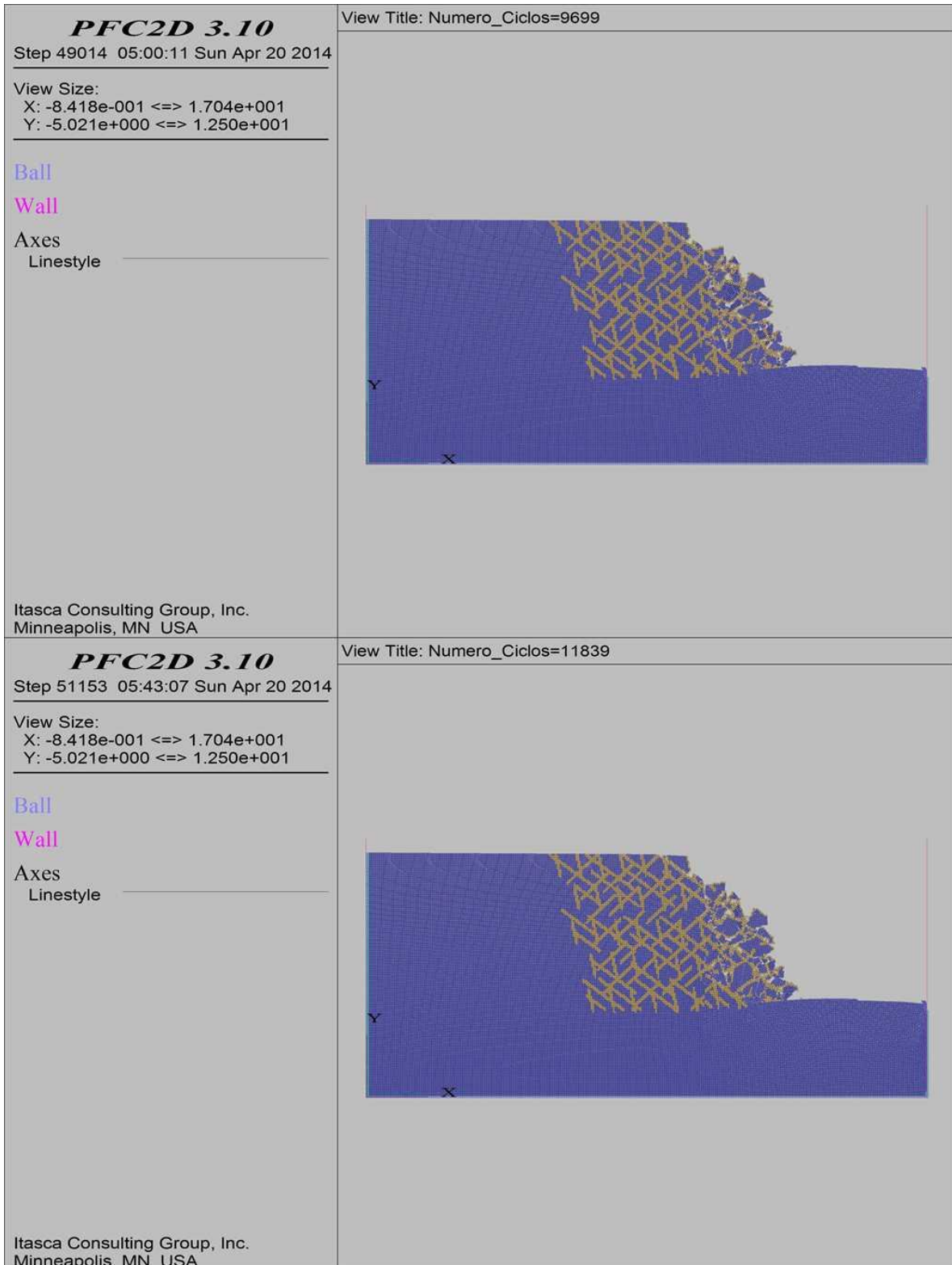
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



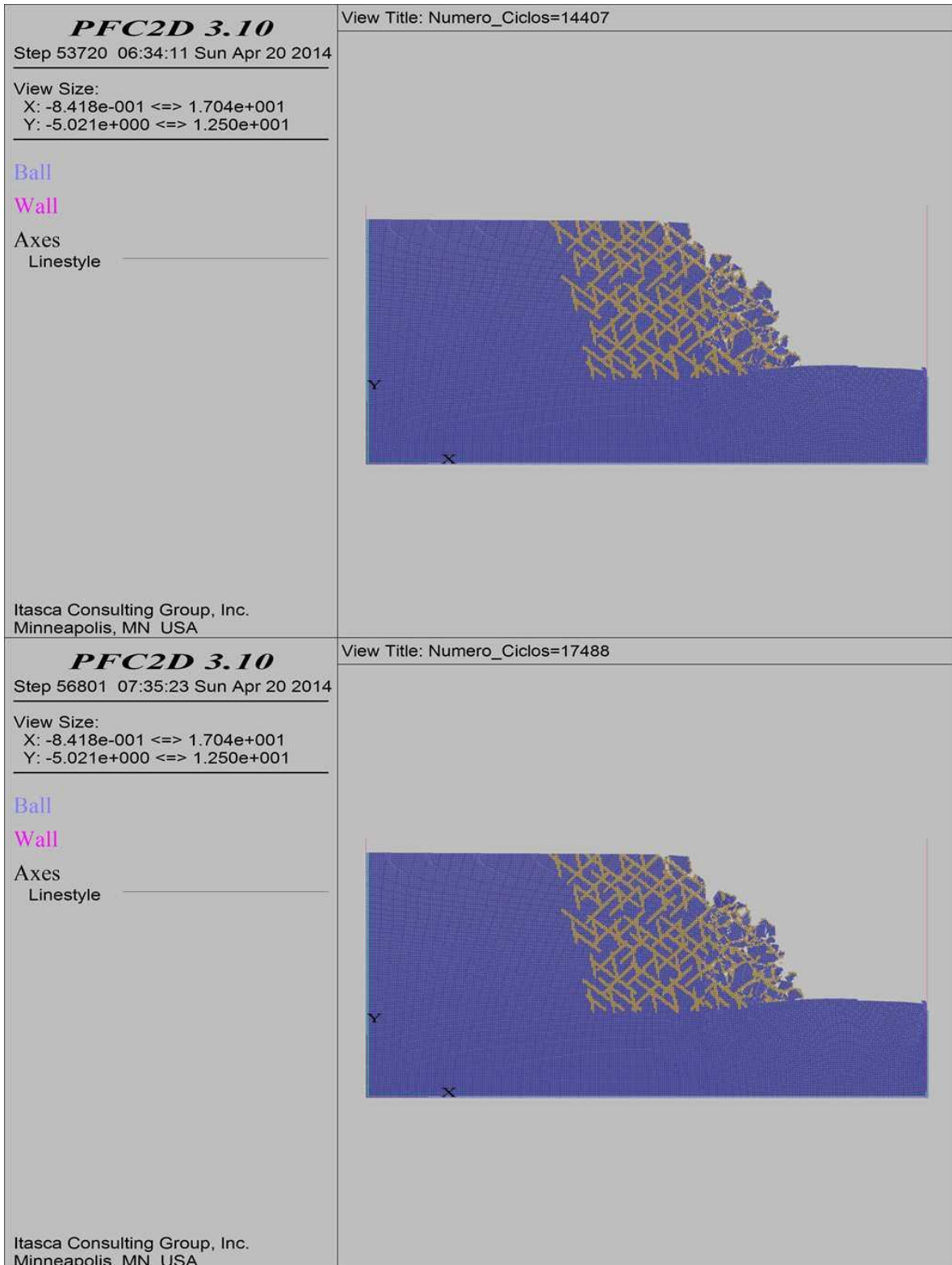
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



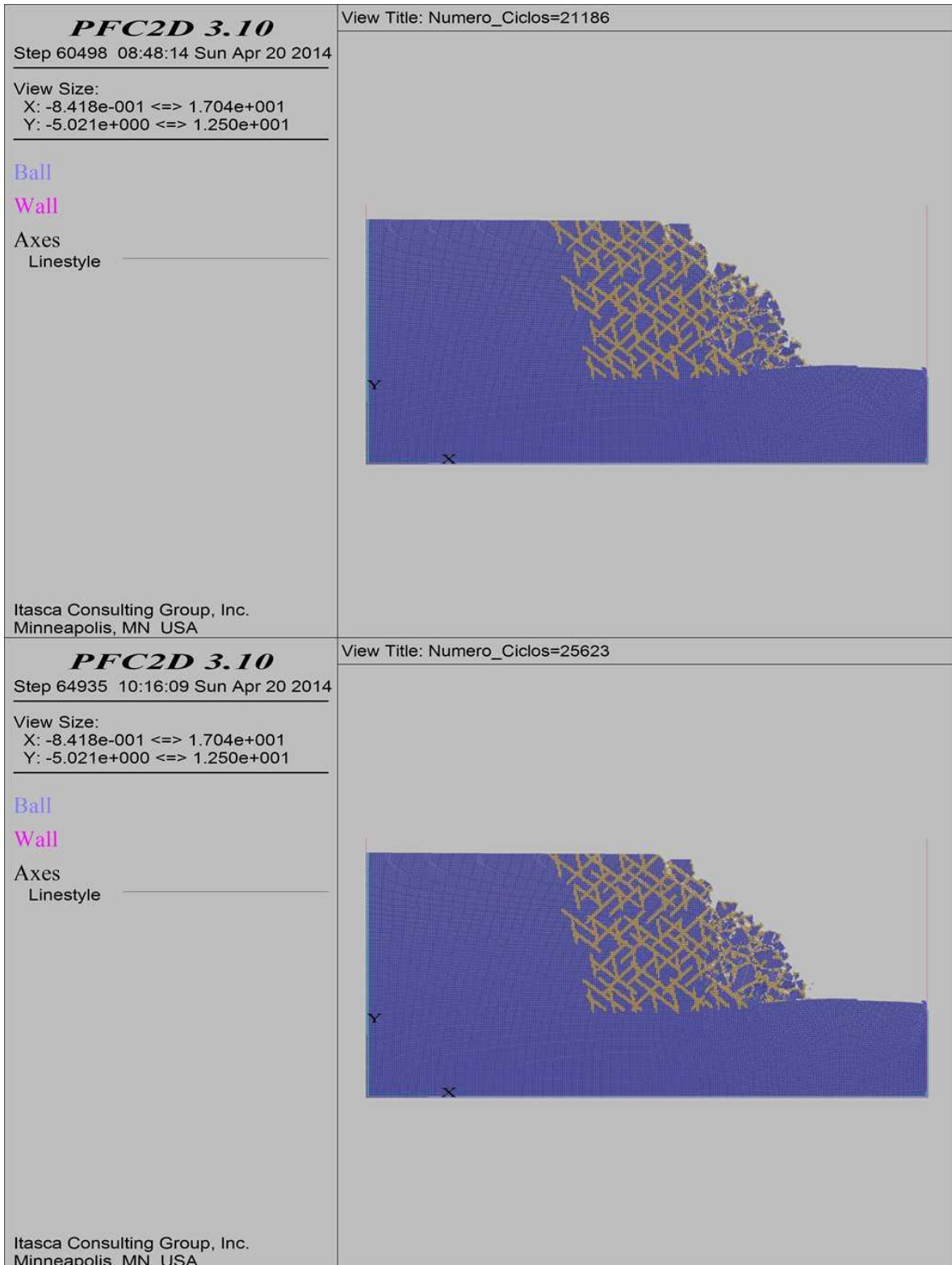
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



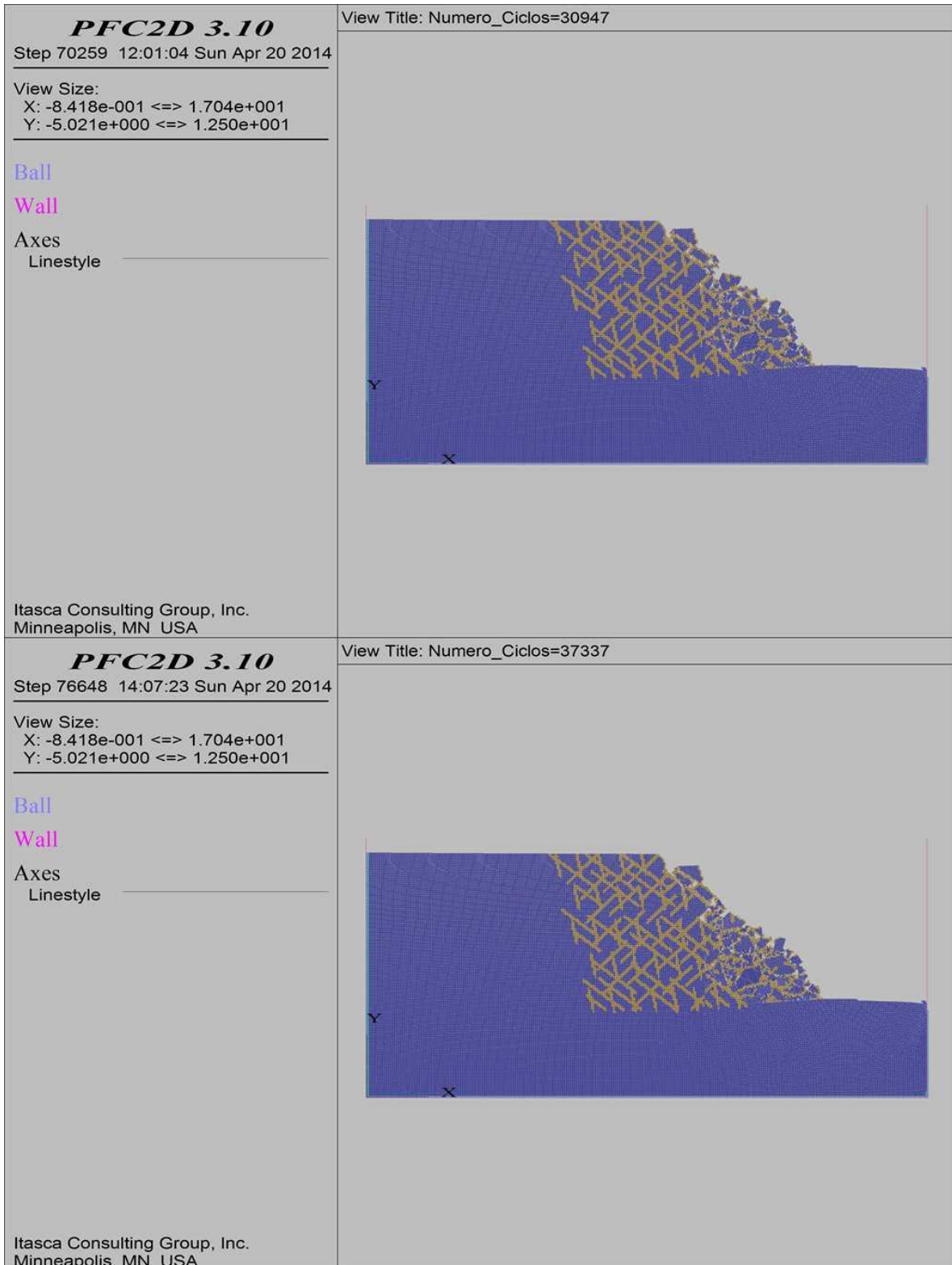
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



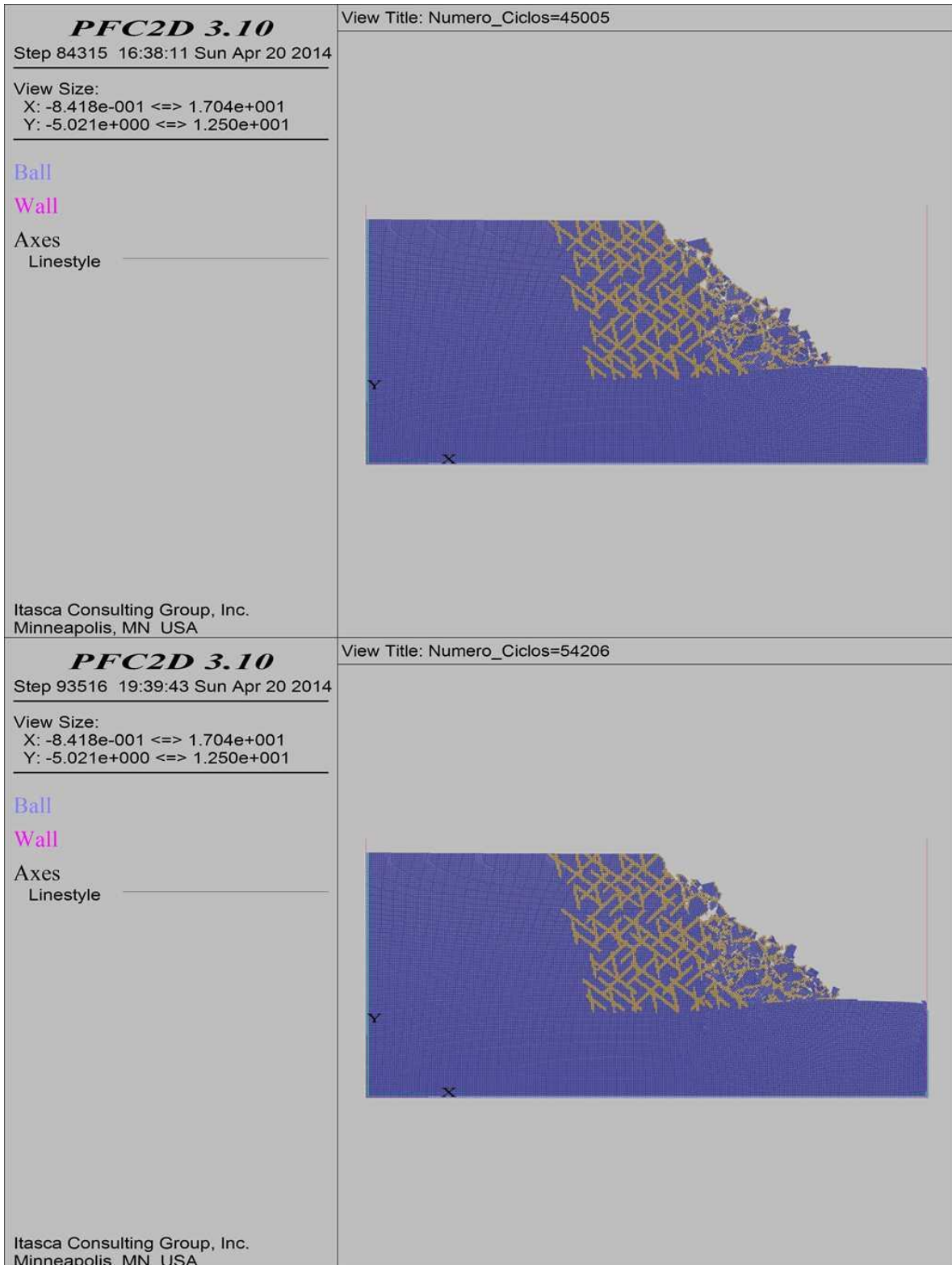
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



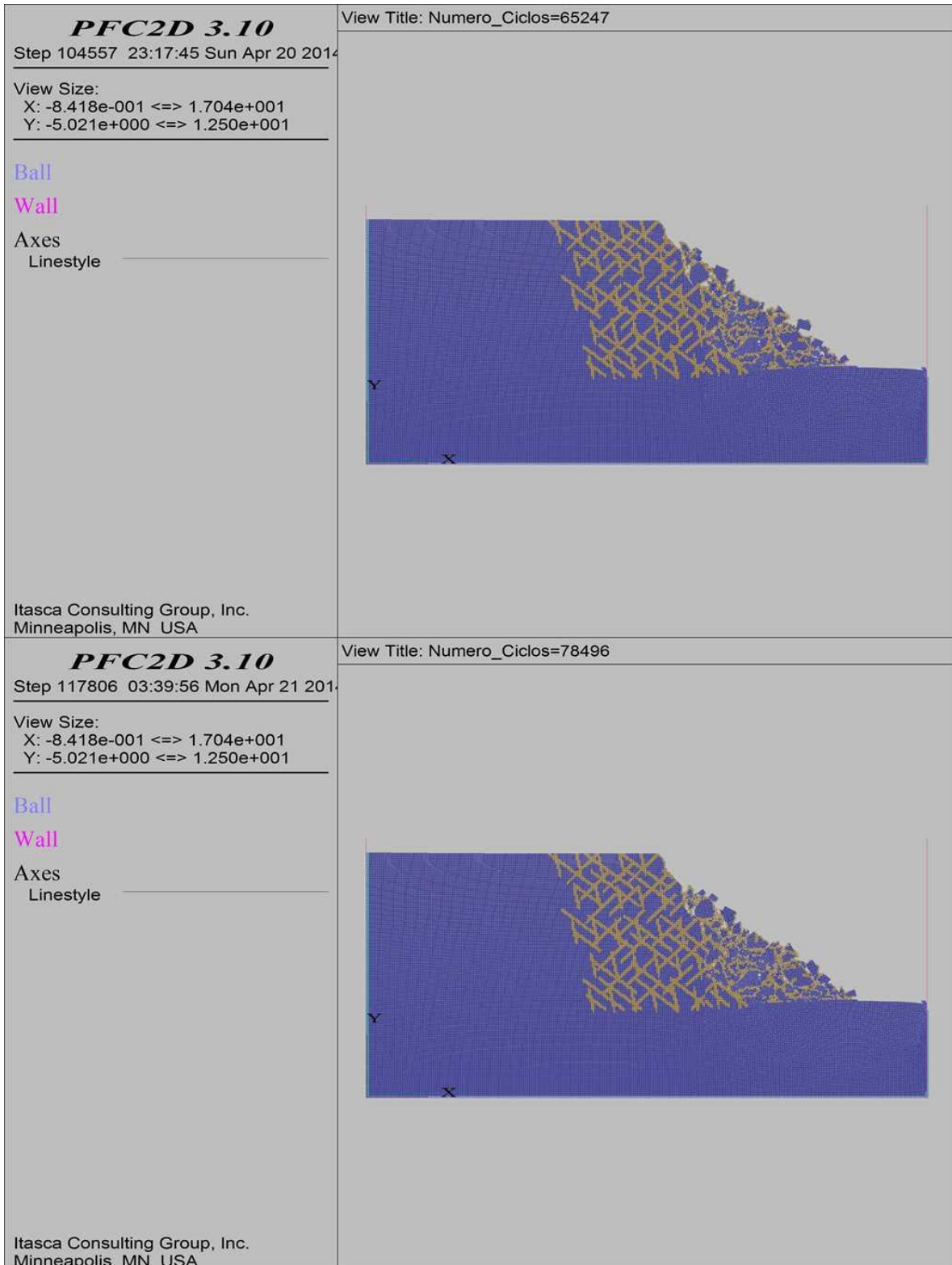
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



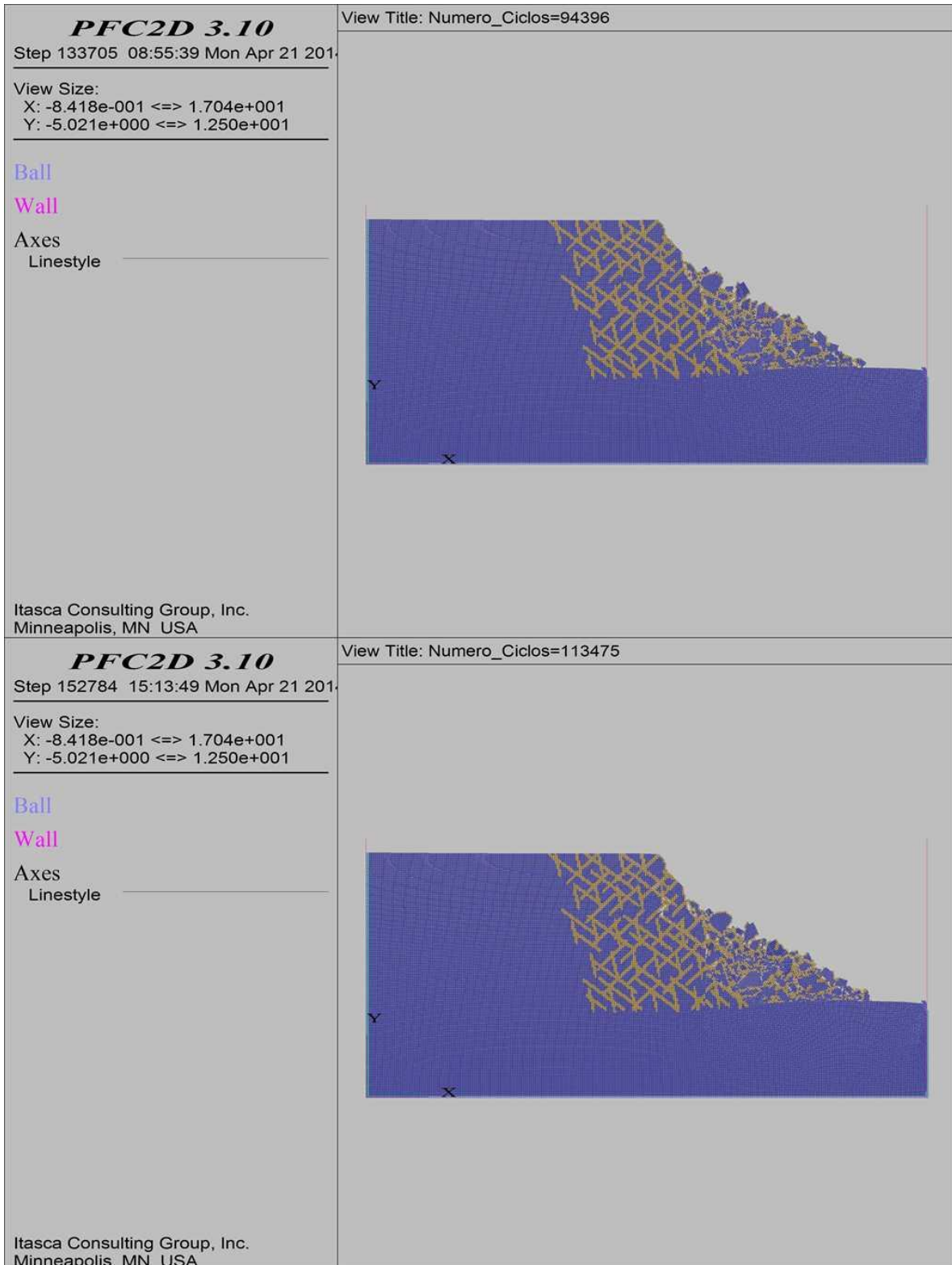
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



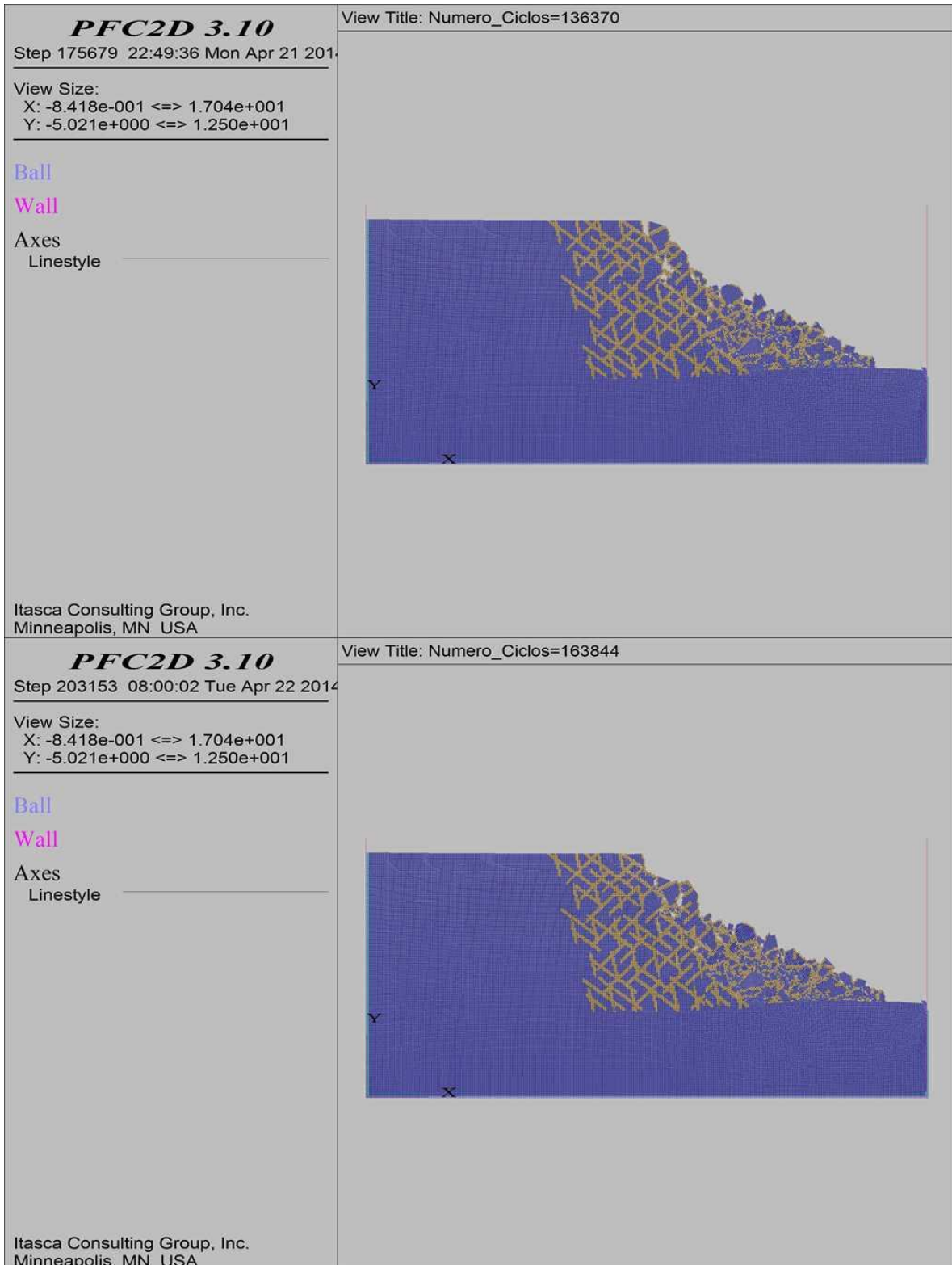
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



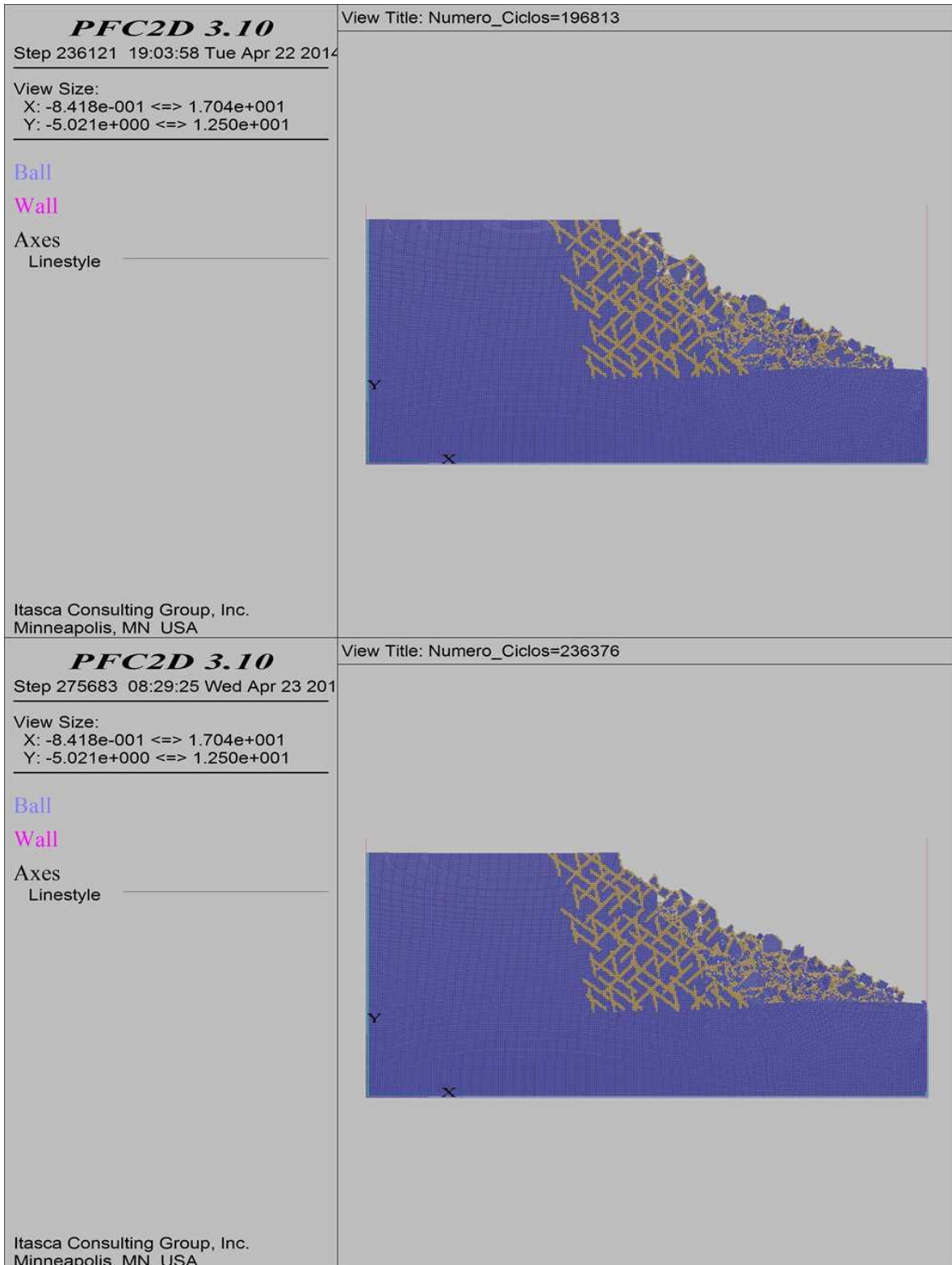
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



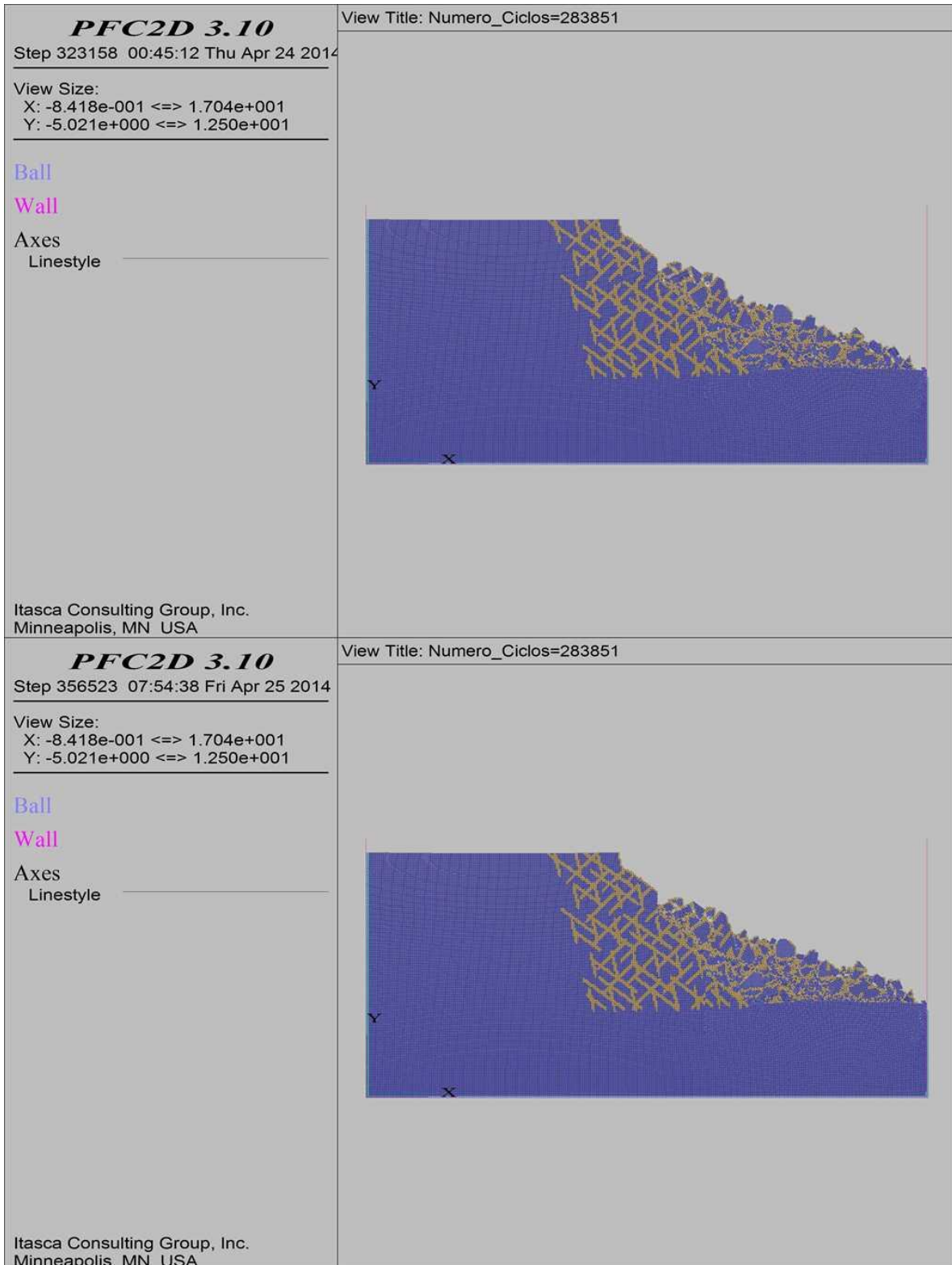
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



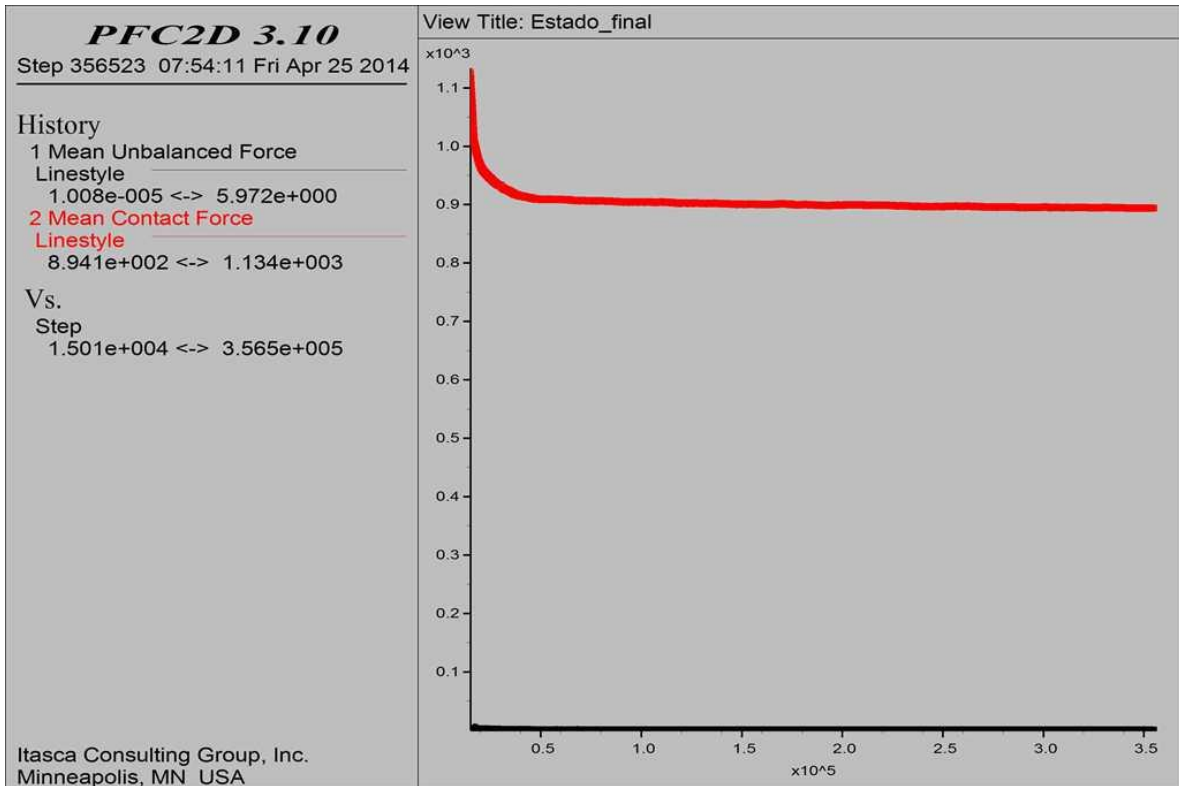
**COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y
PERSISTENCIA BAJA.**



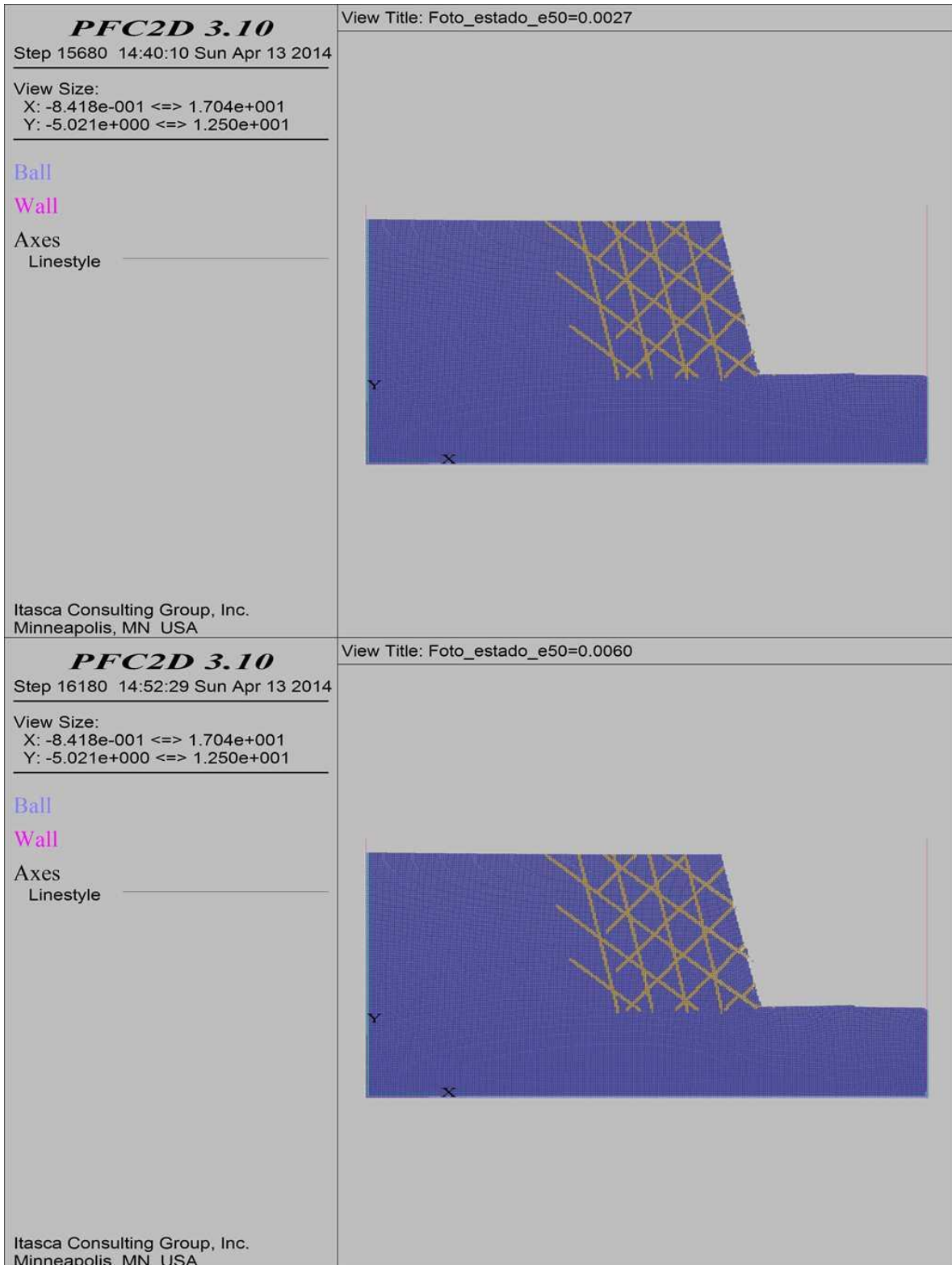
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



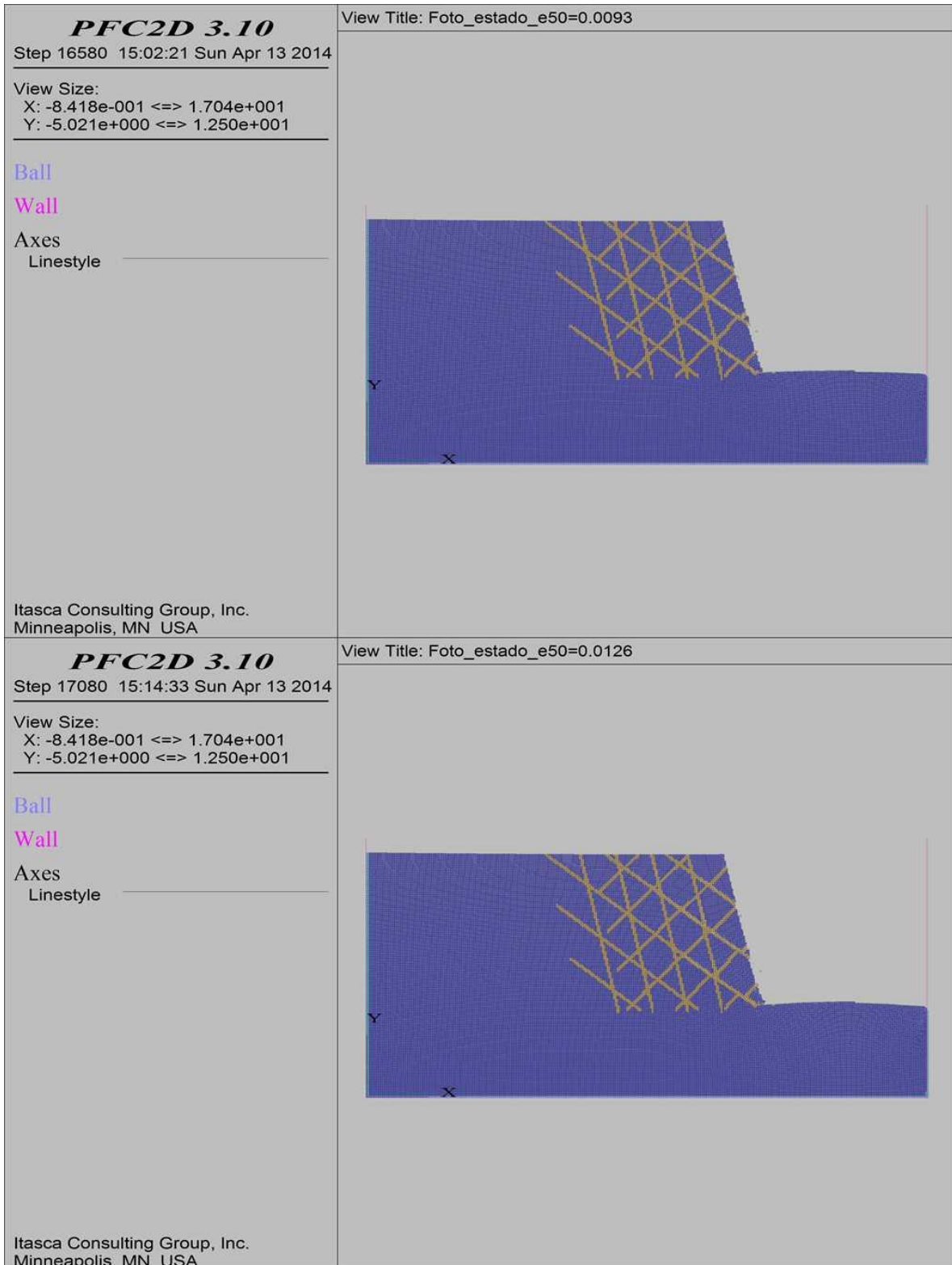
COMBINACIÓN 30: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 0.3 M Y PERSISTENCIA BAJA.



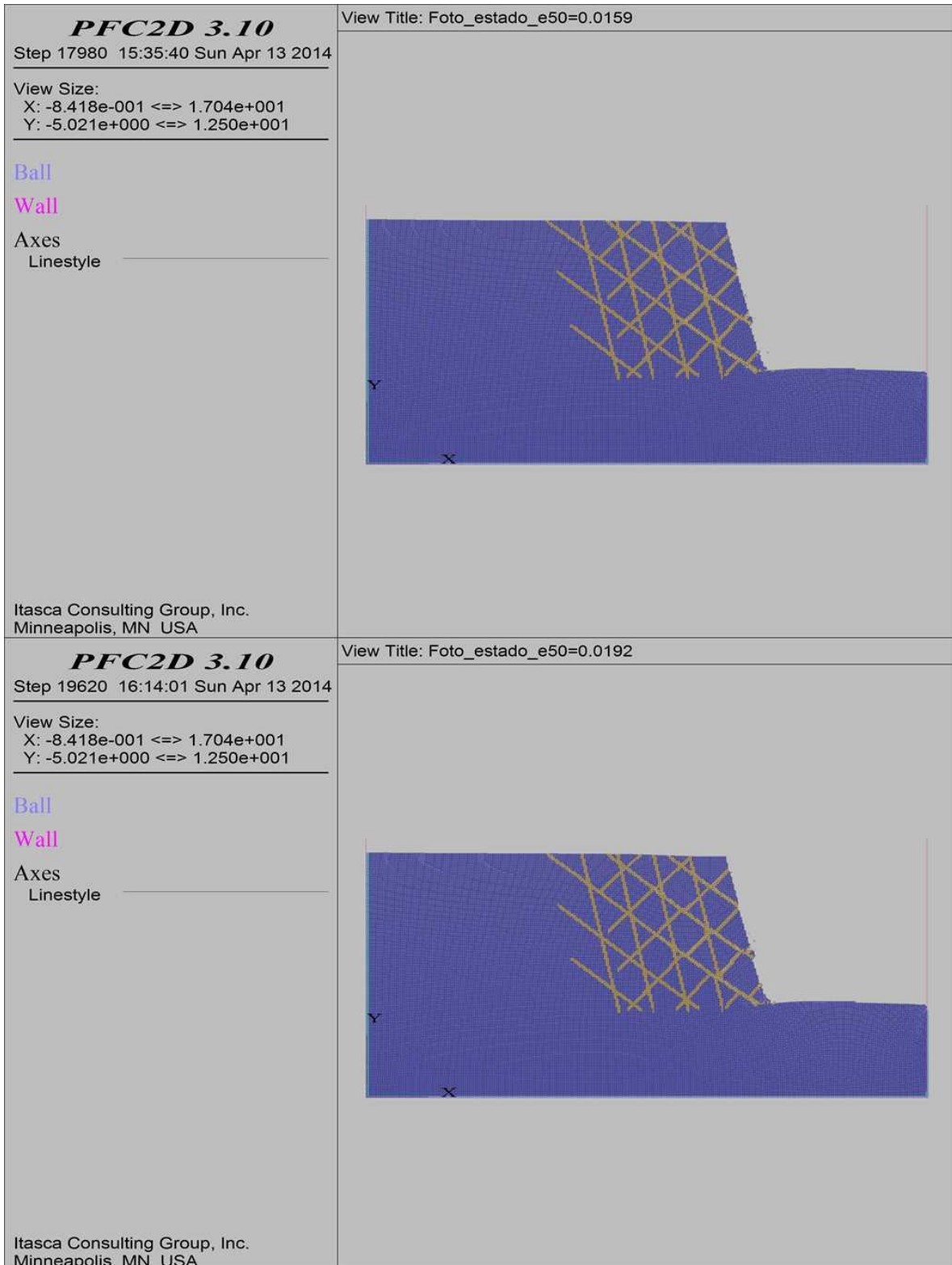
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



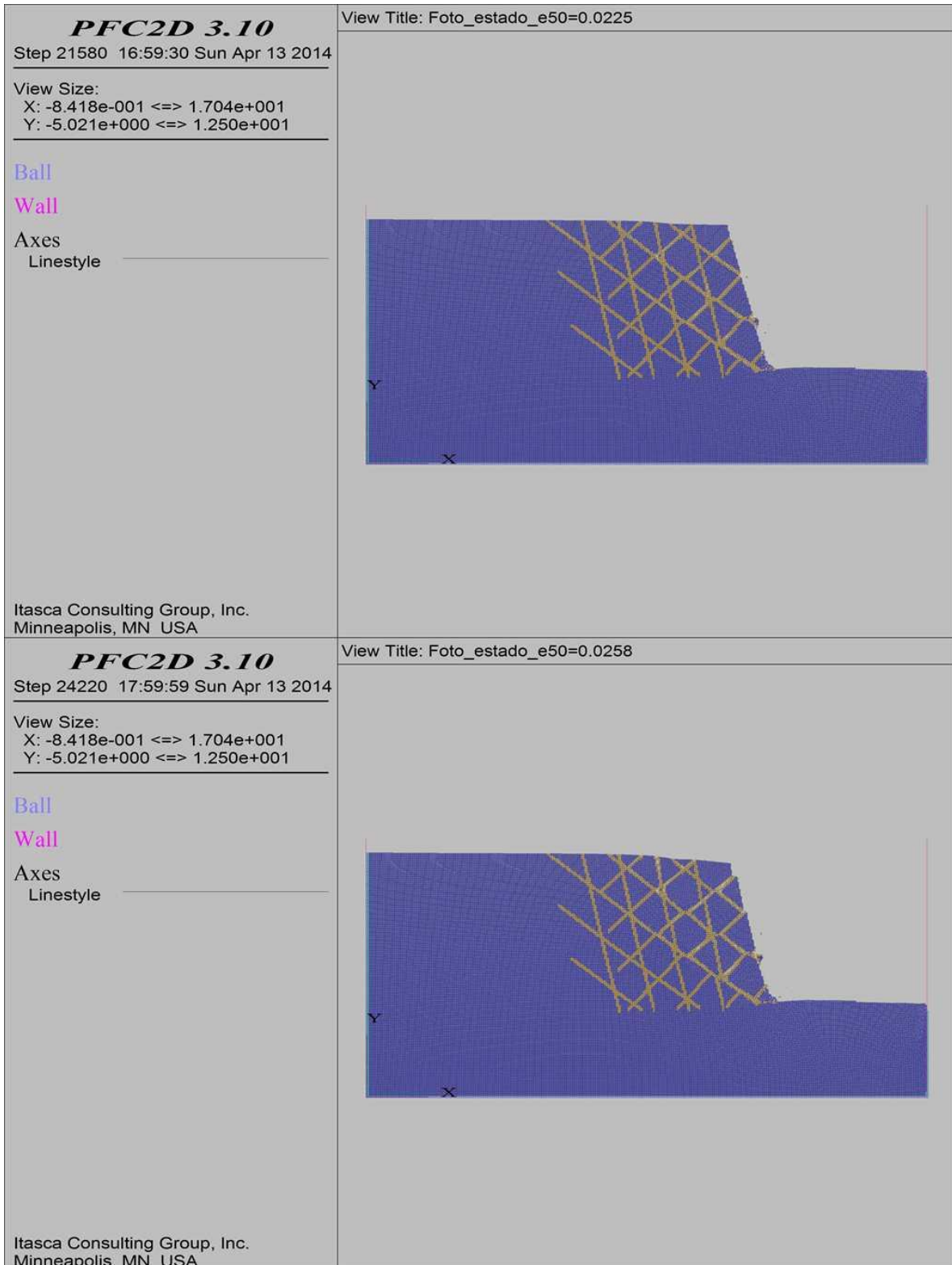
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



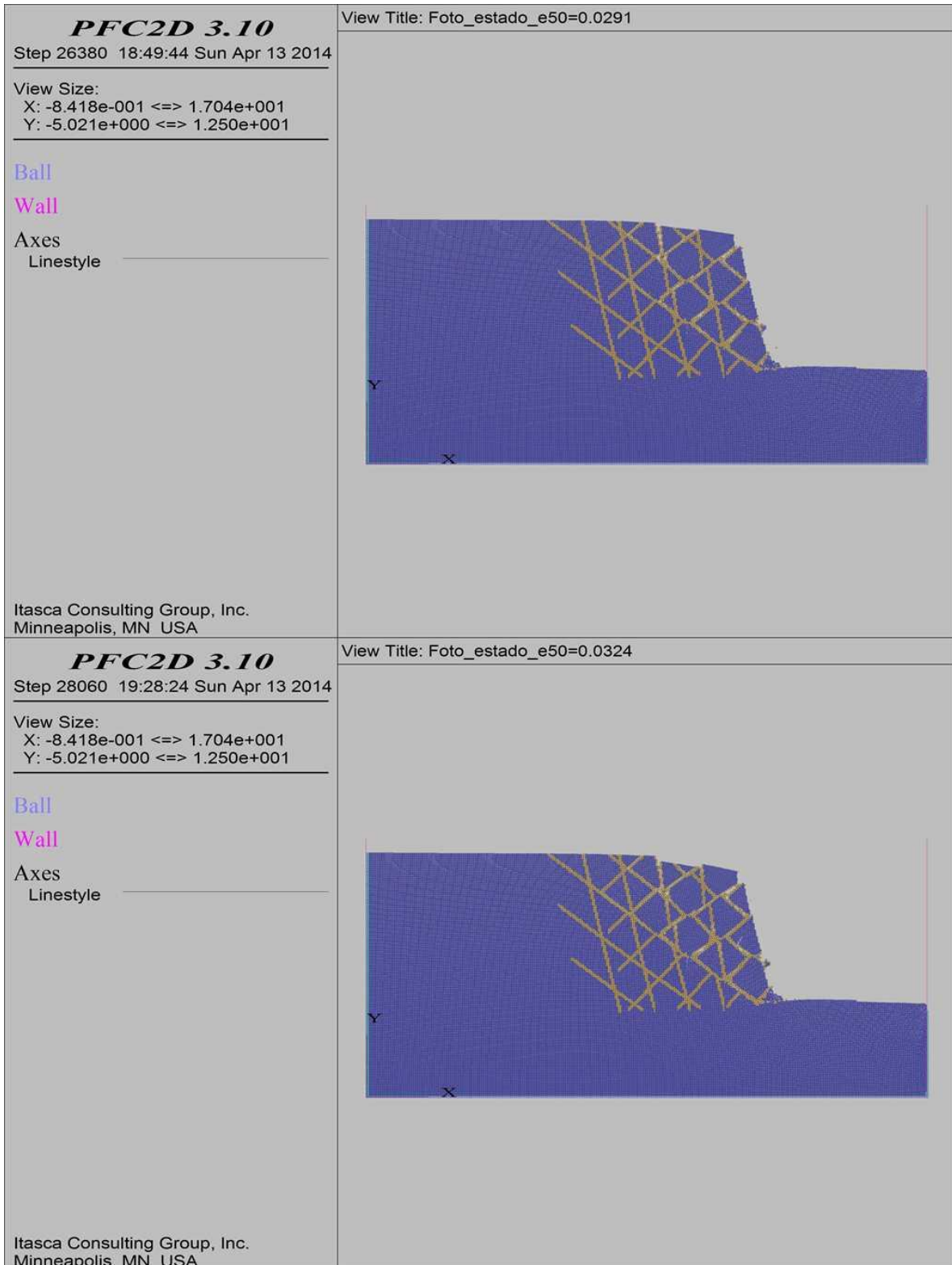
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



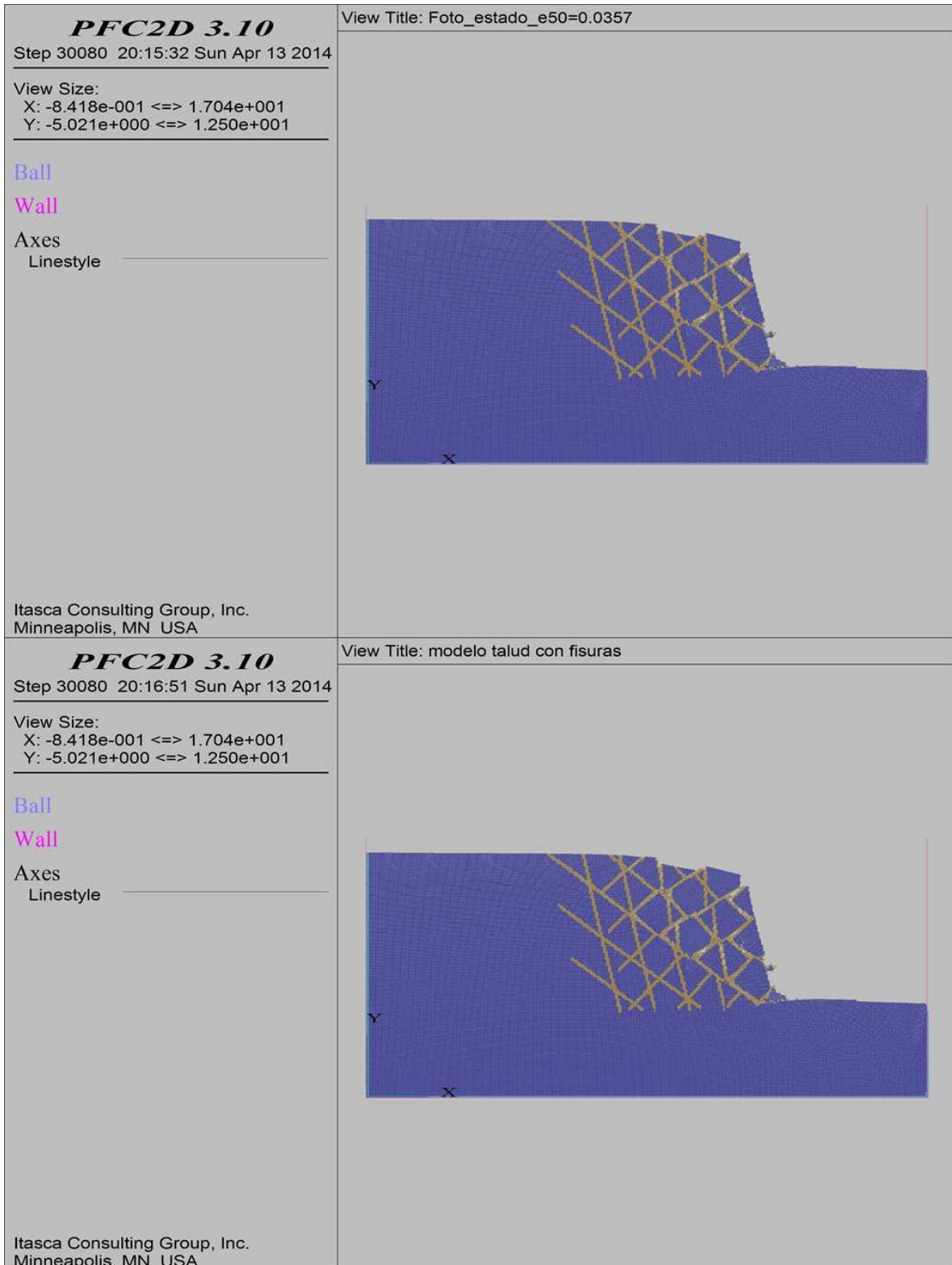
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



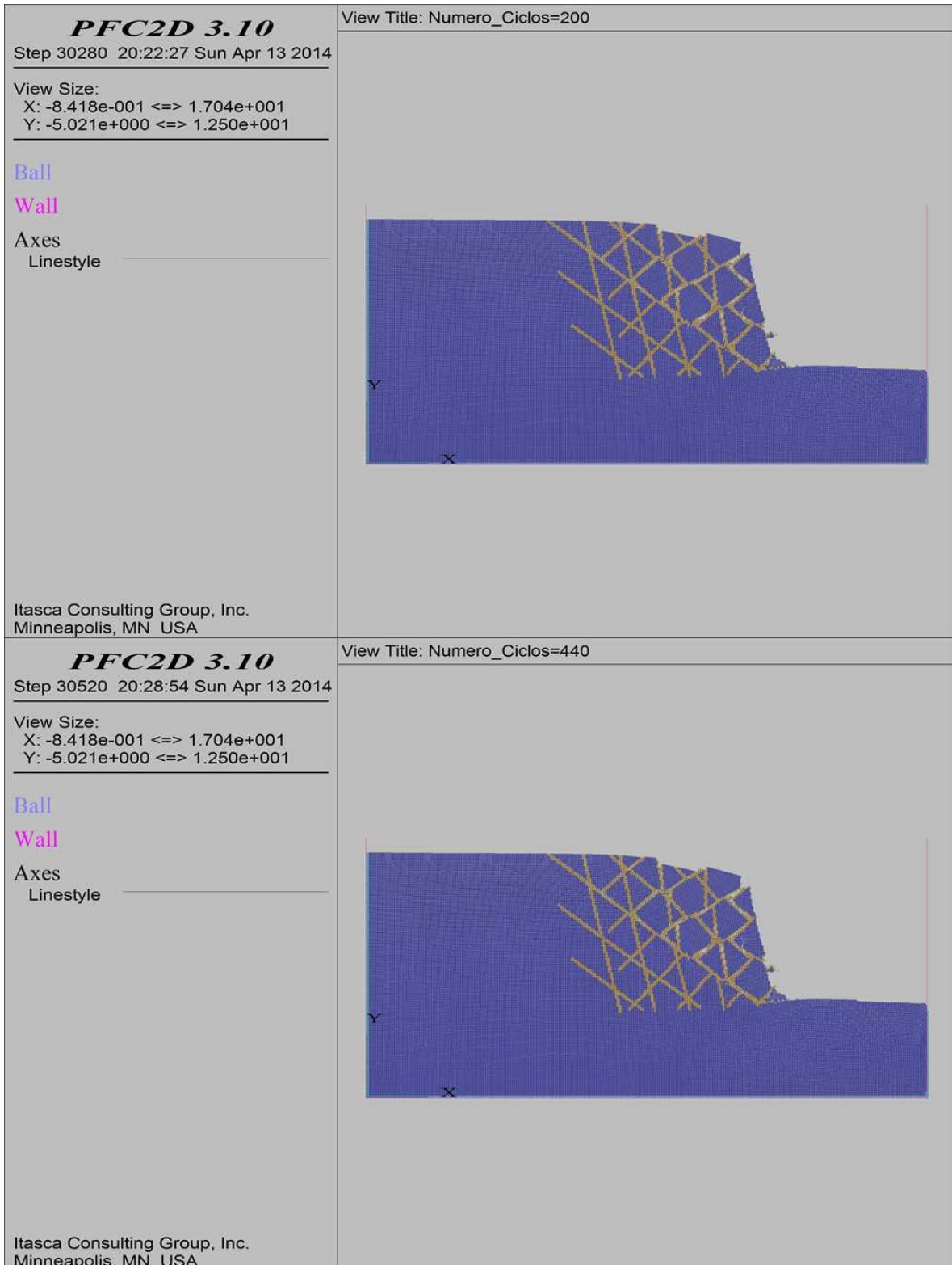
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



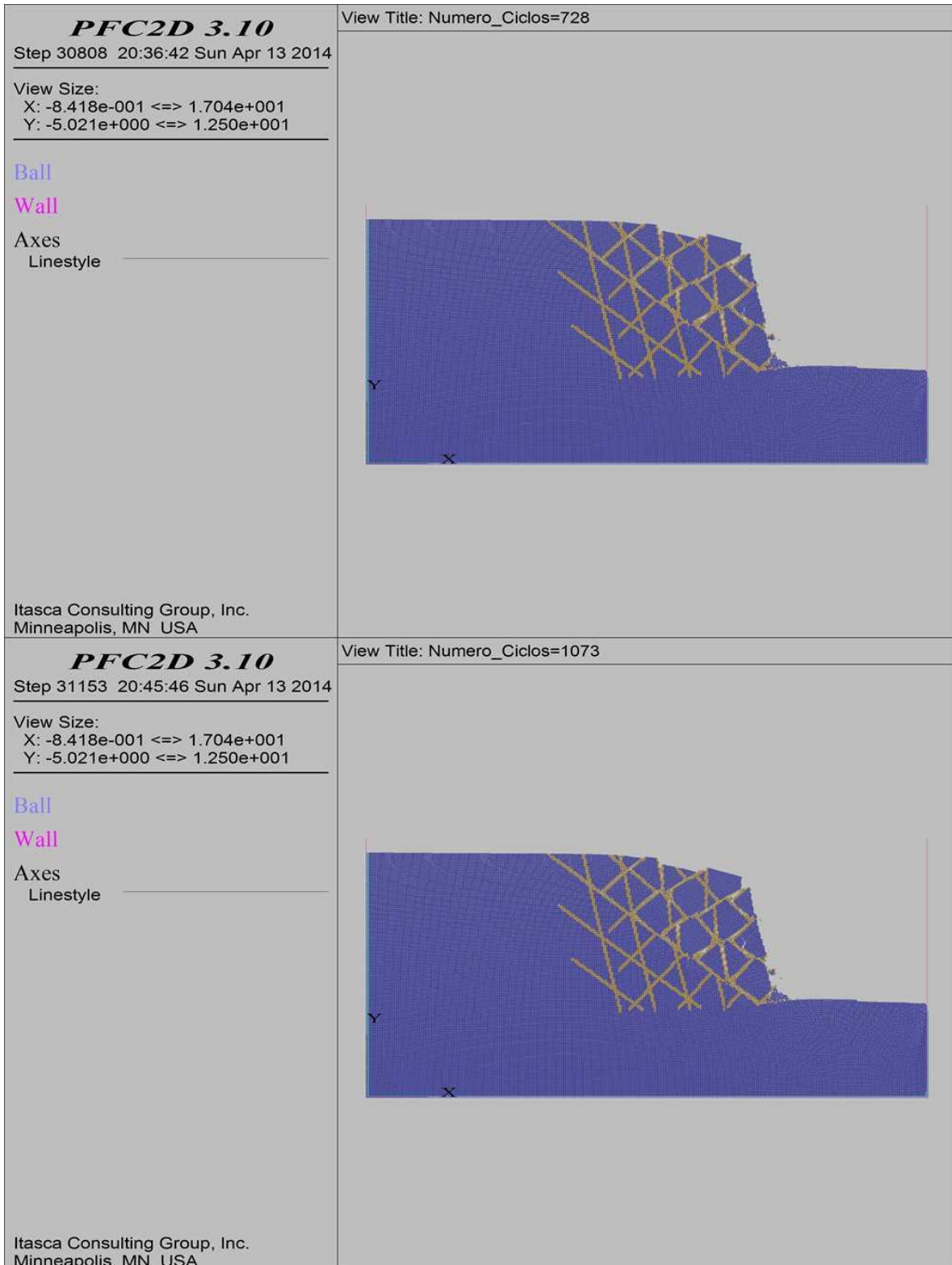
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



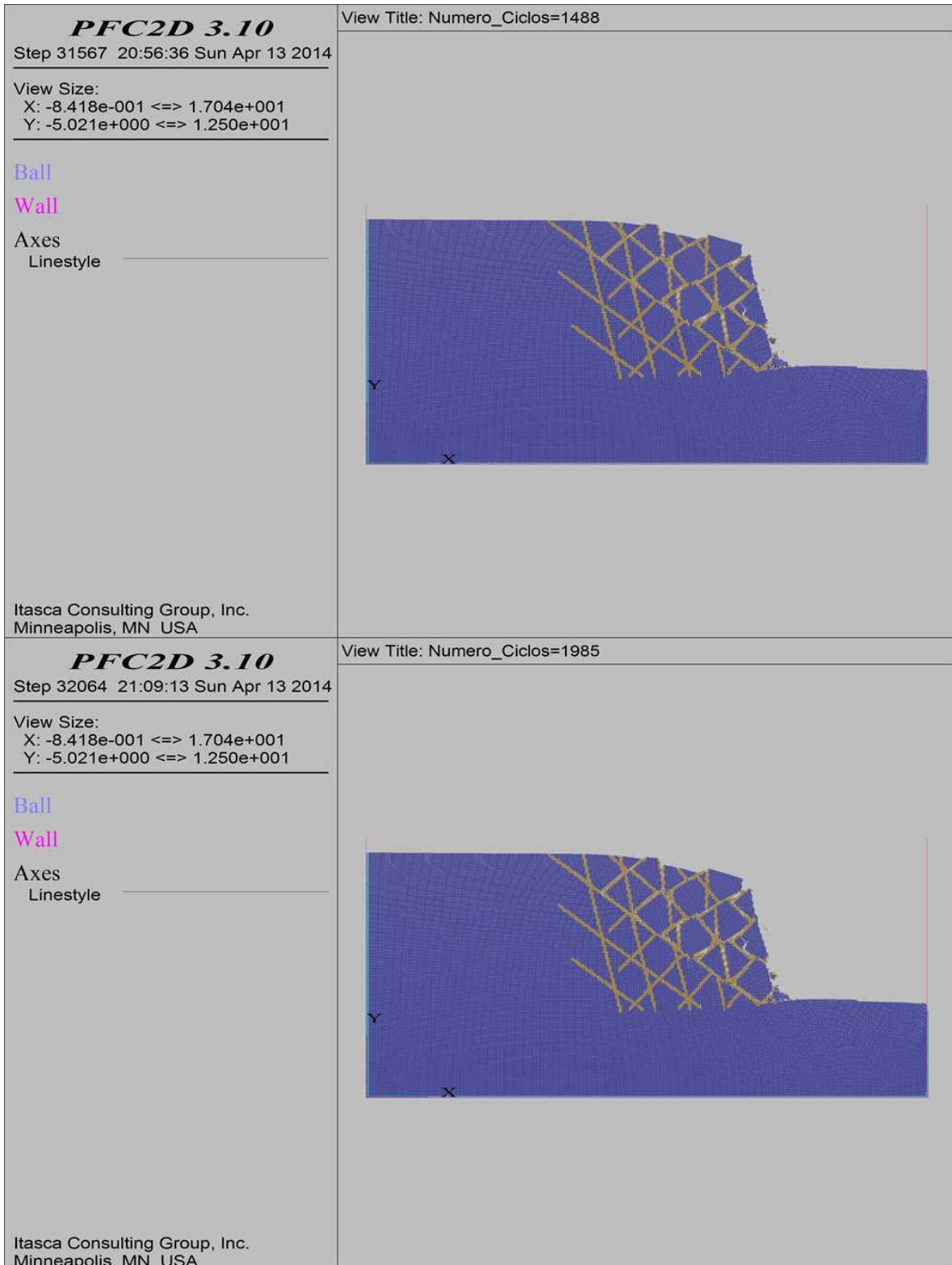
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



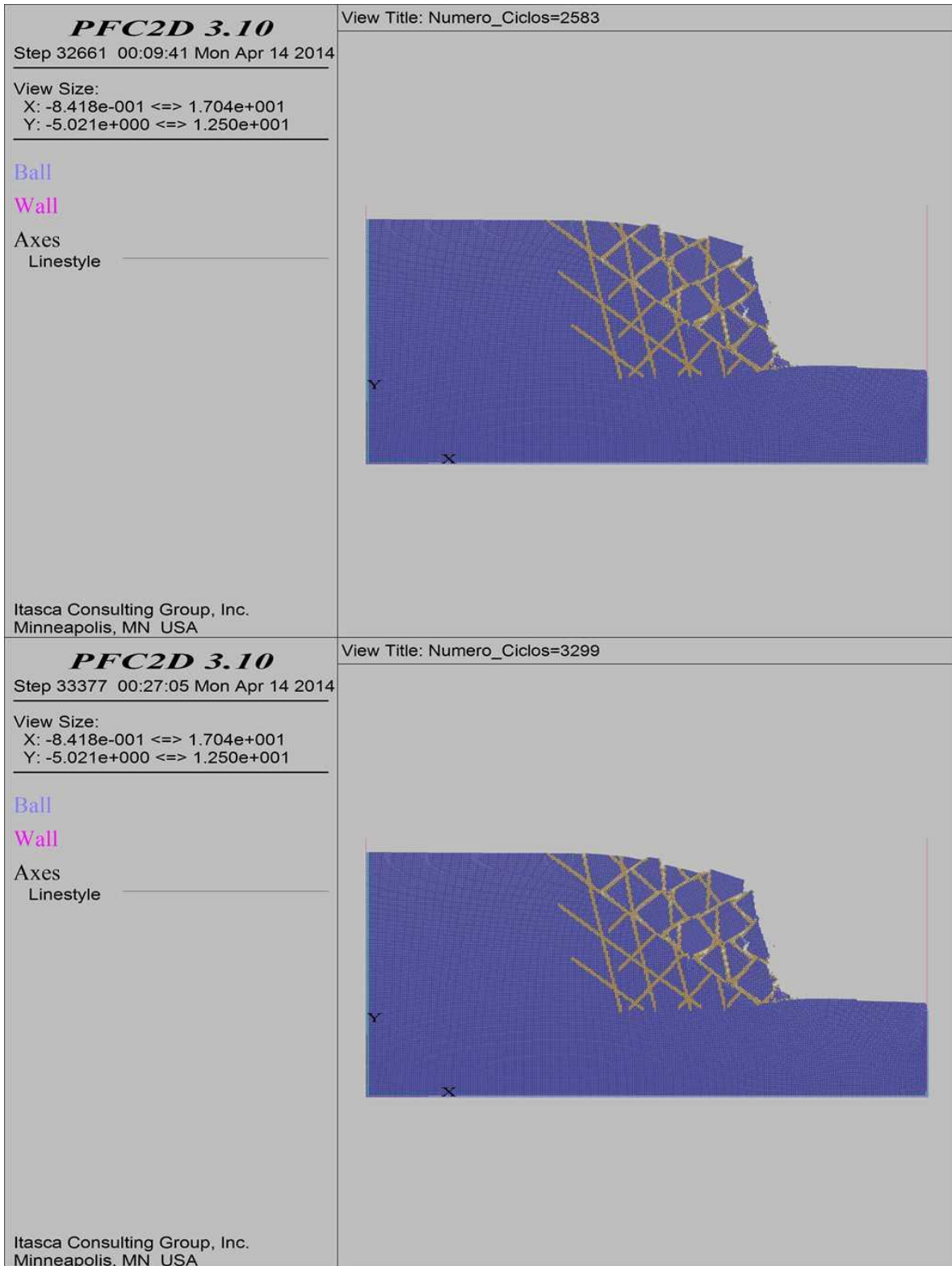
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



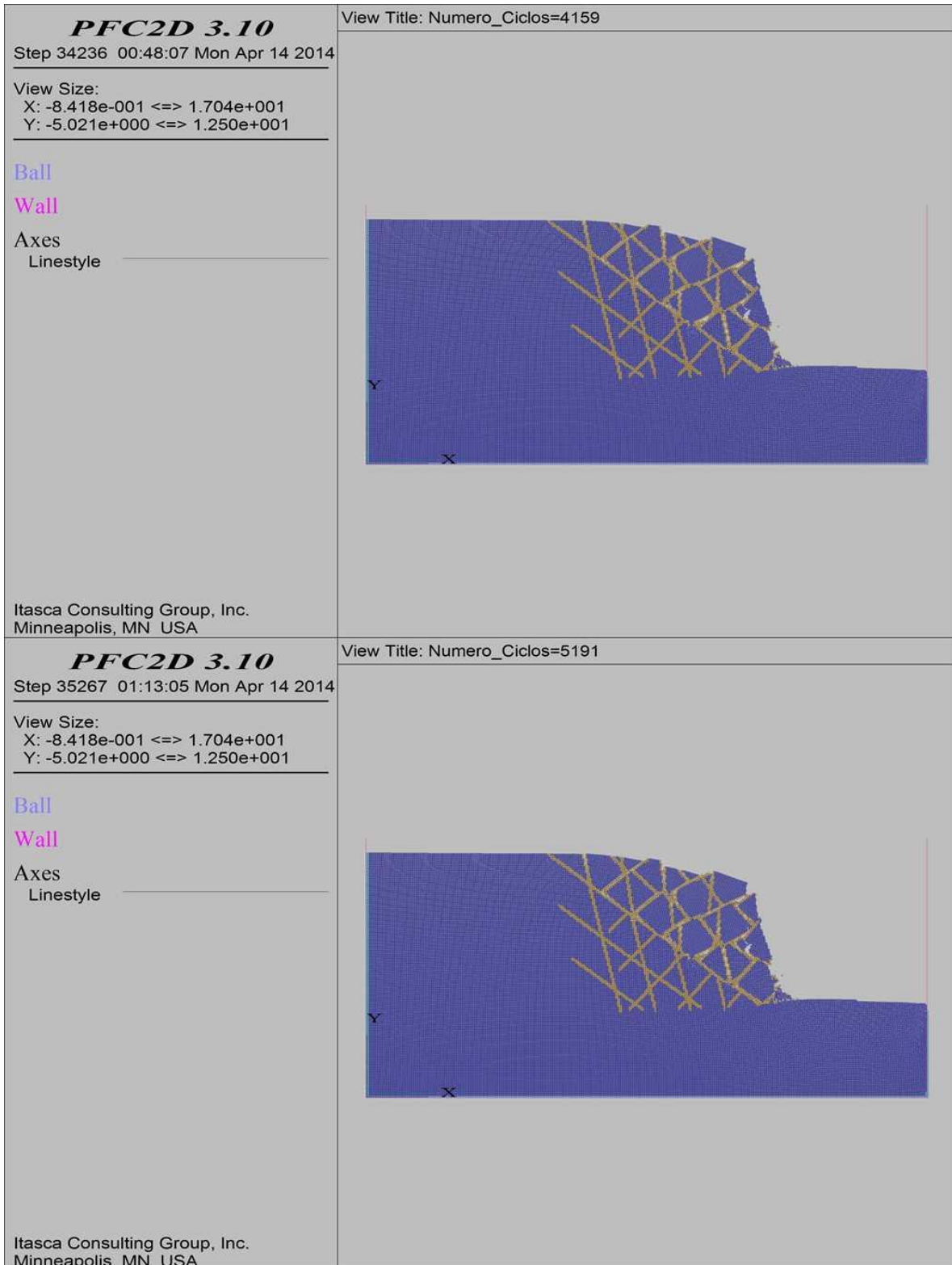
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



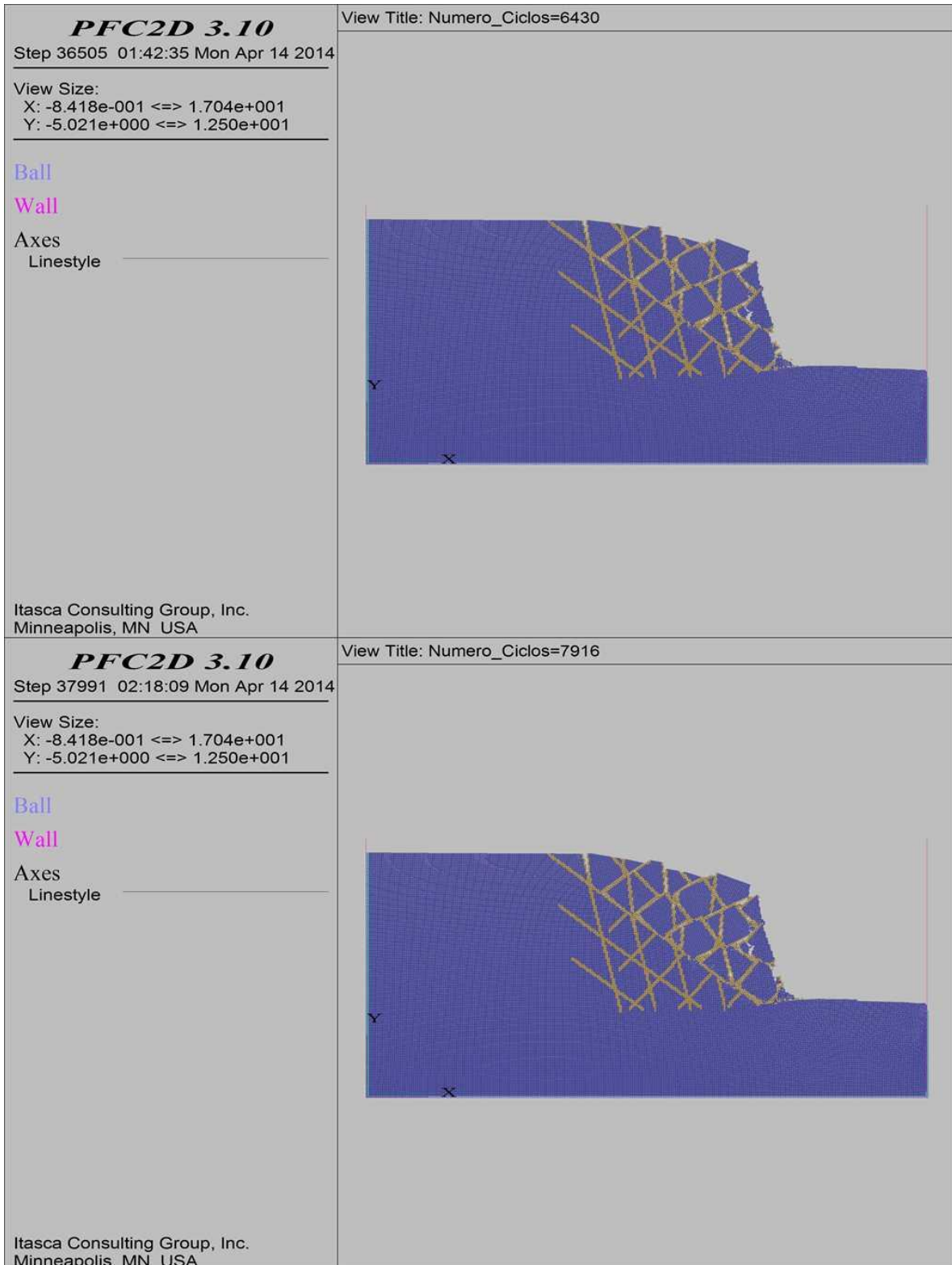
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



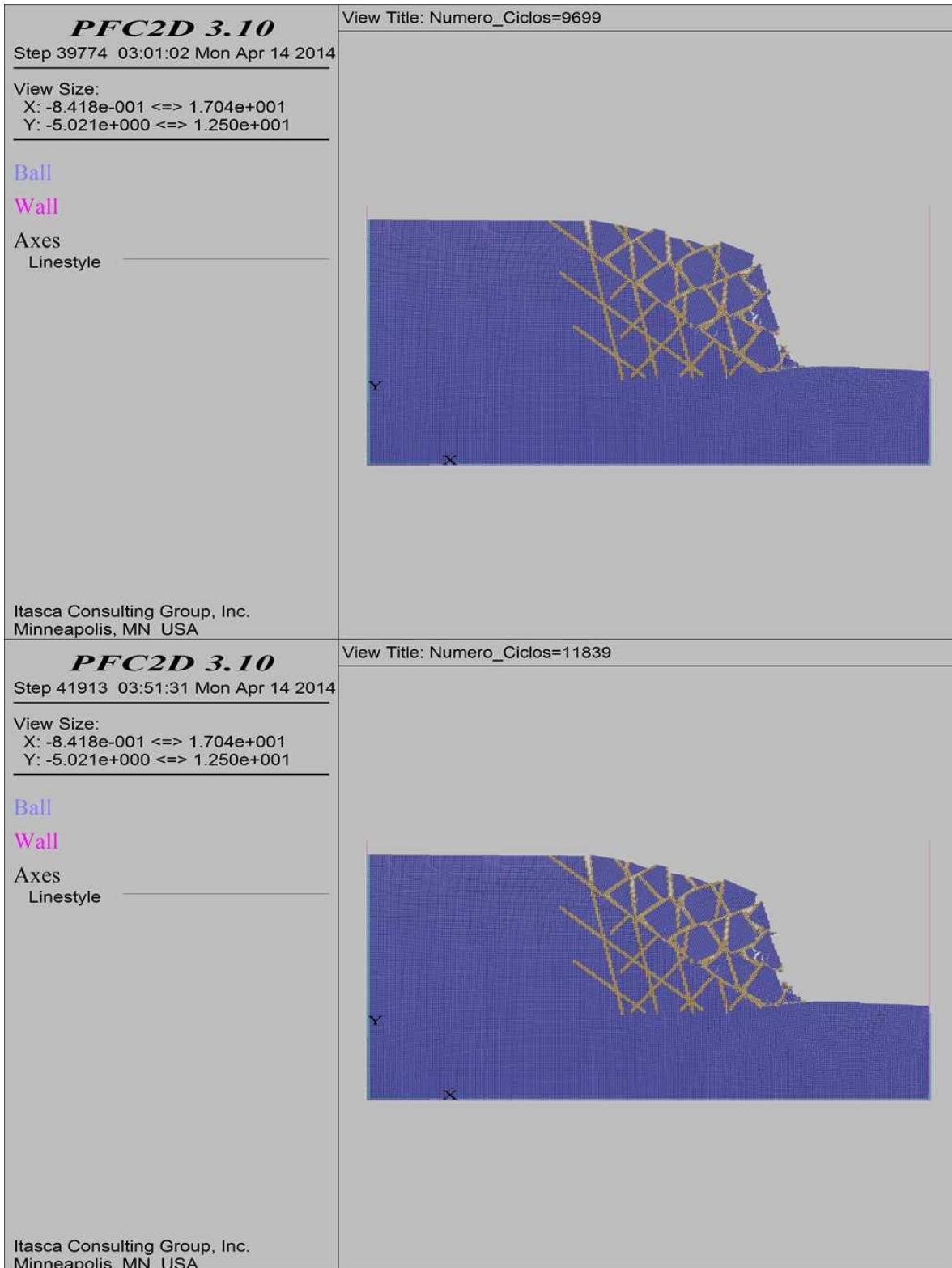
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



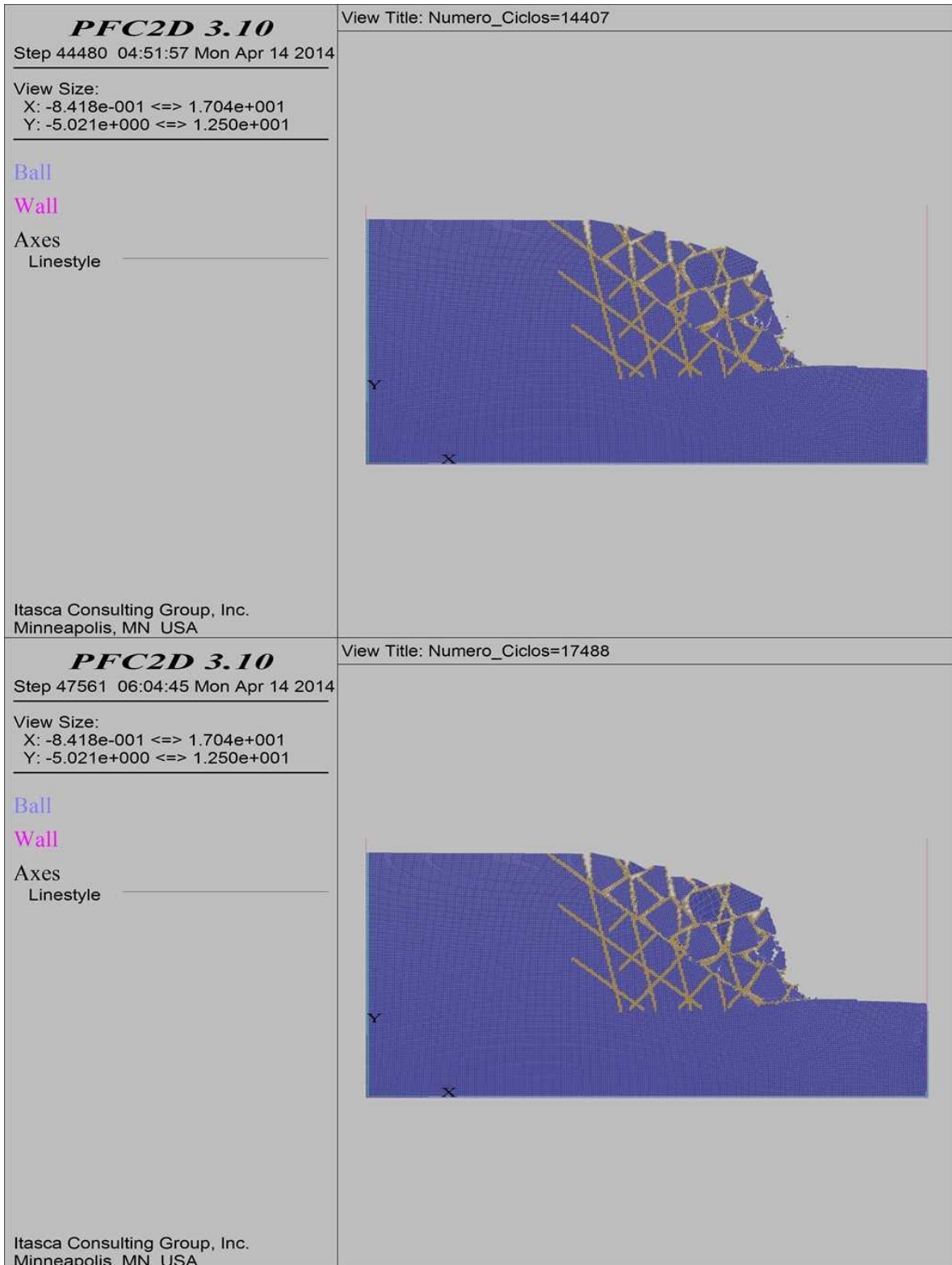
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



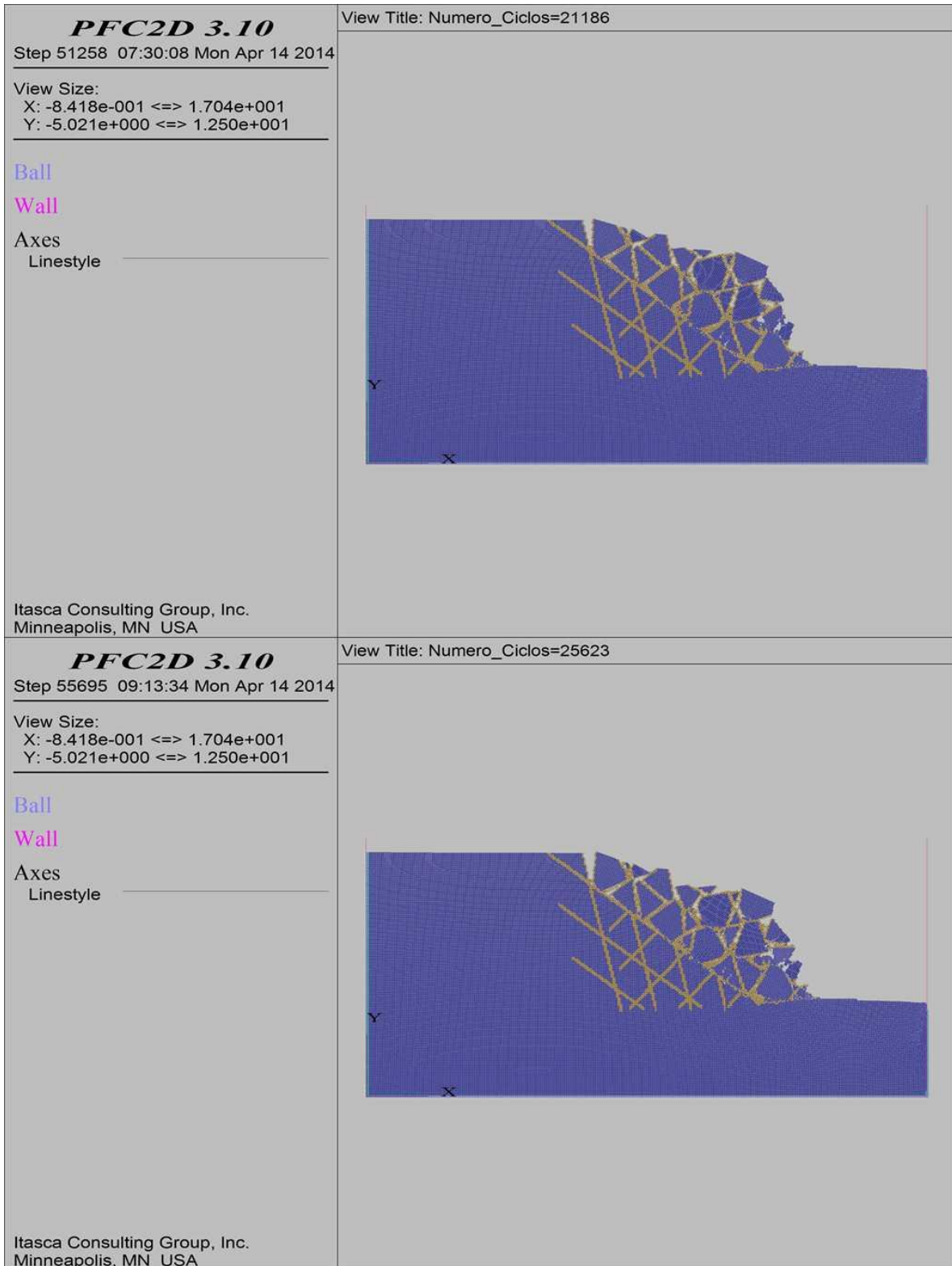
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



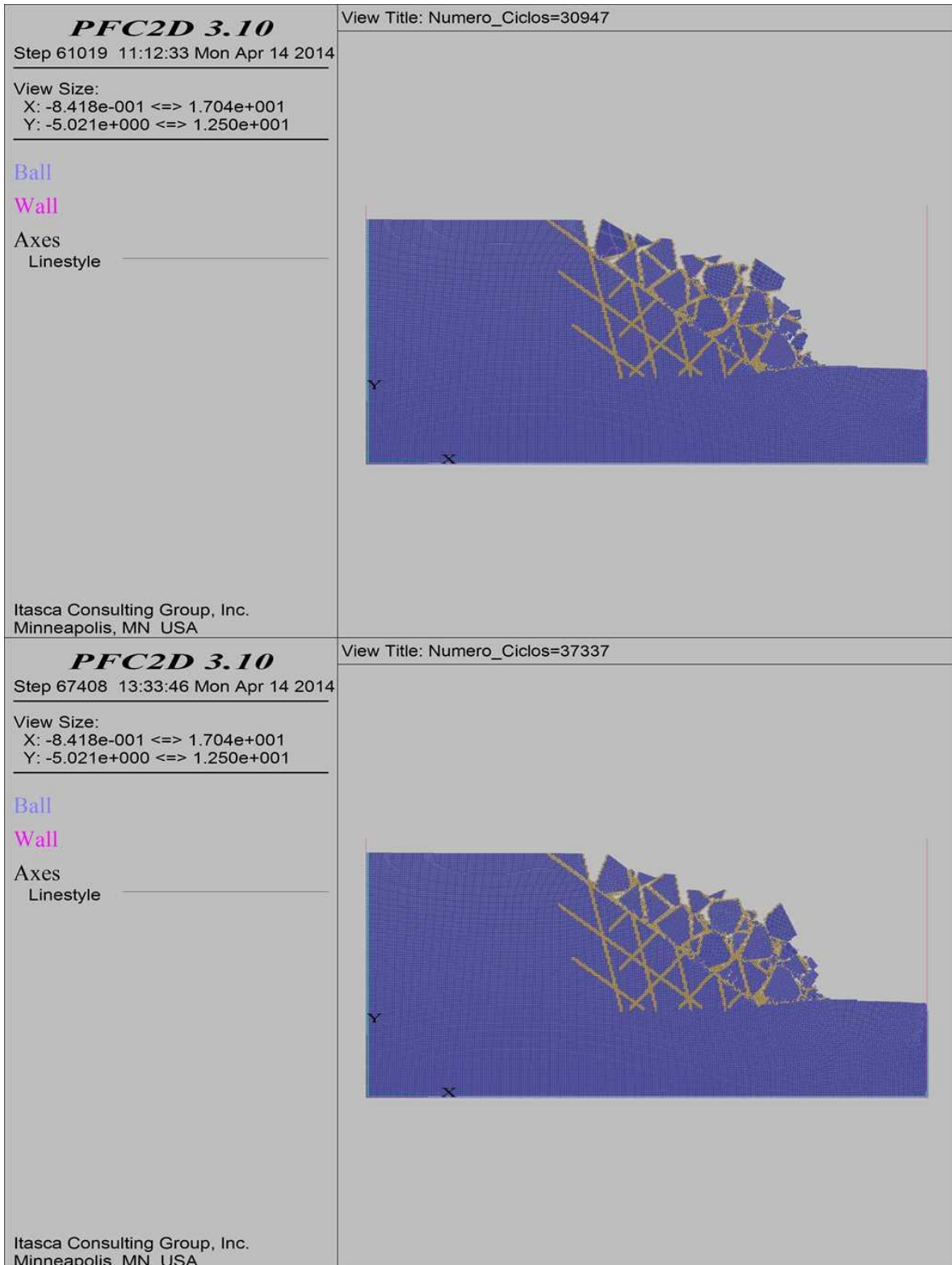
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



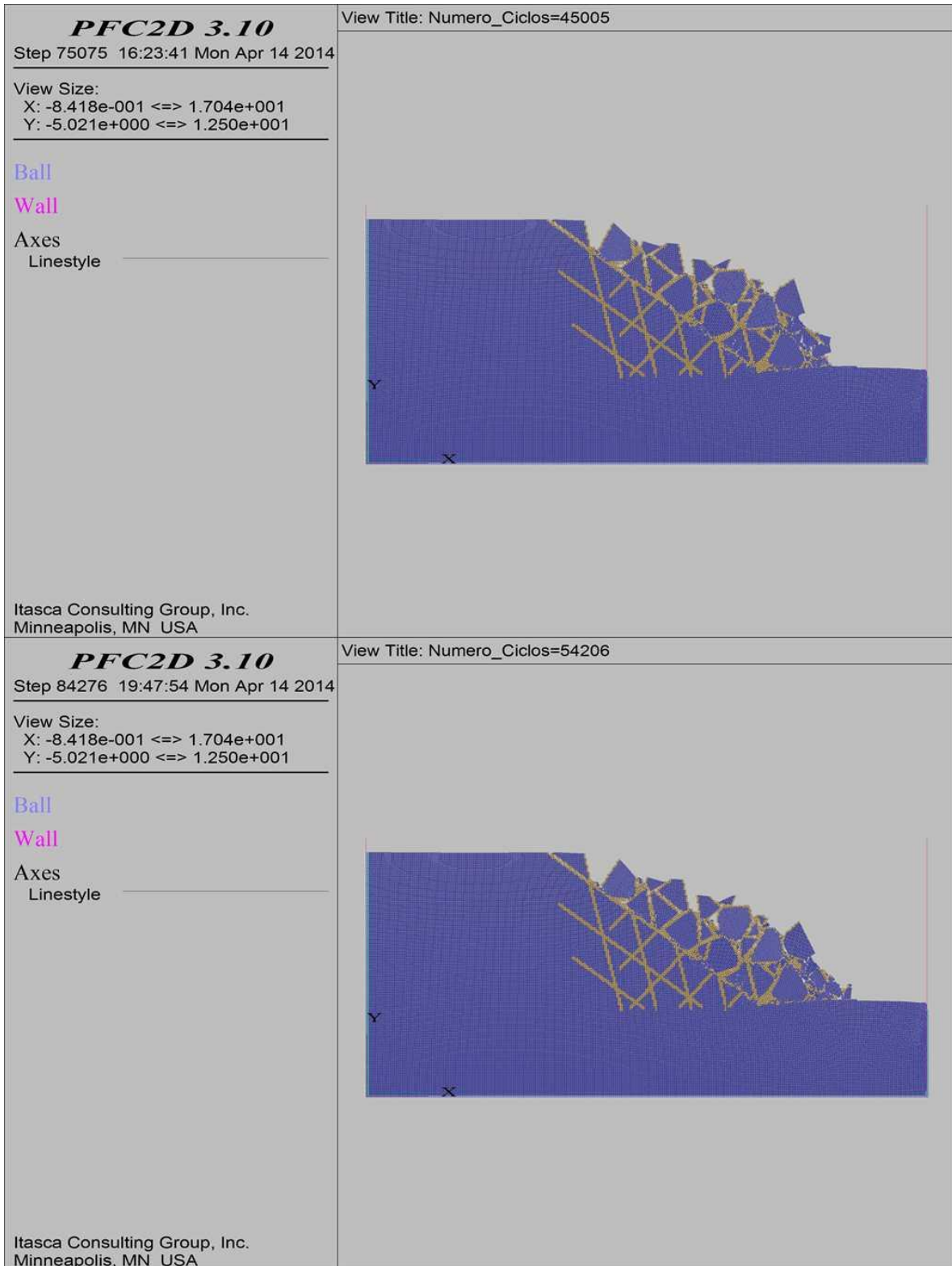
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



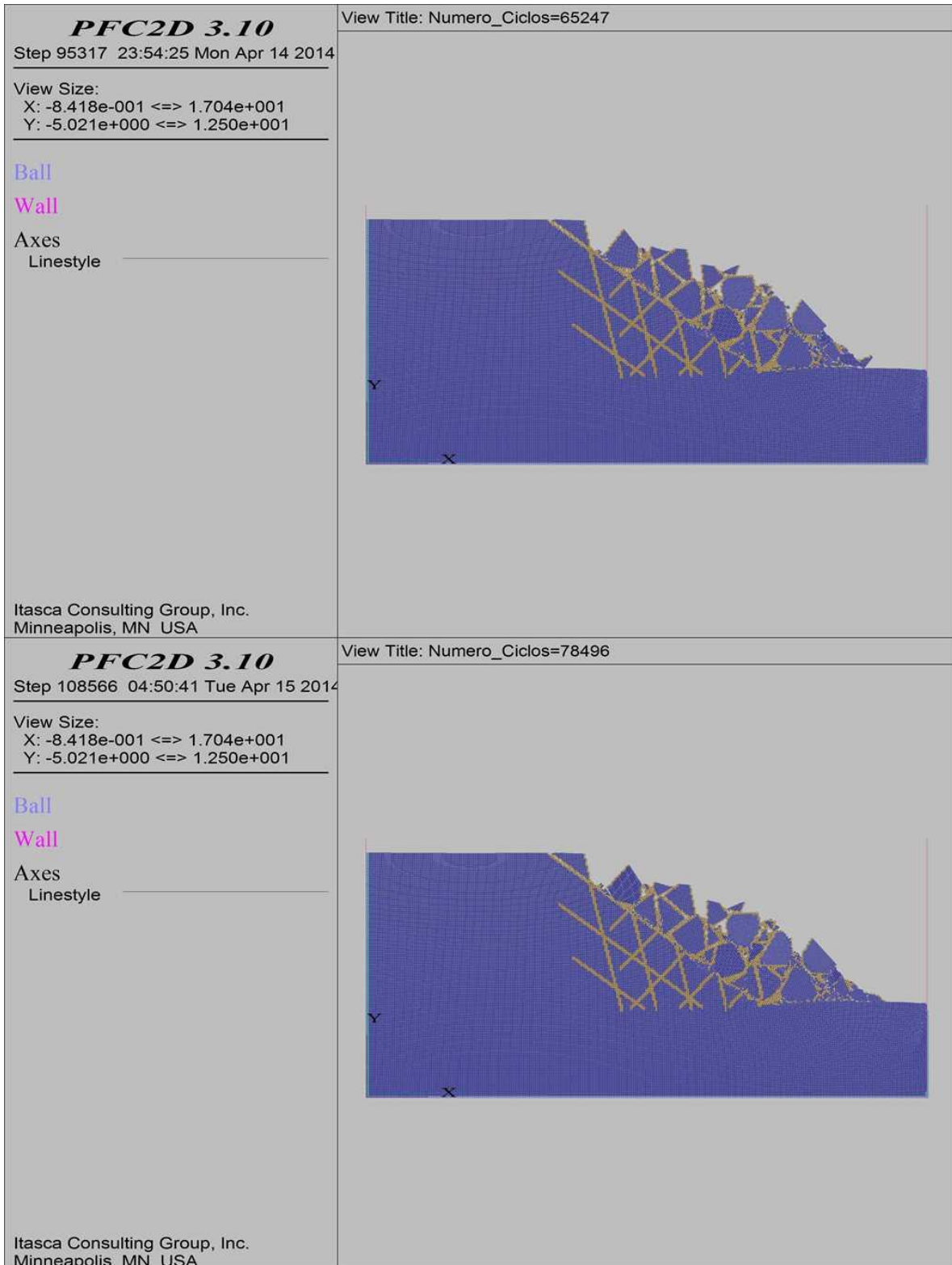
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



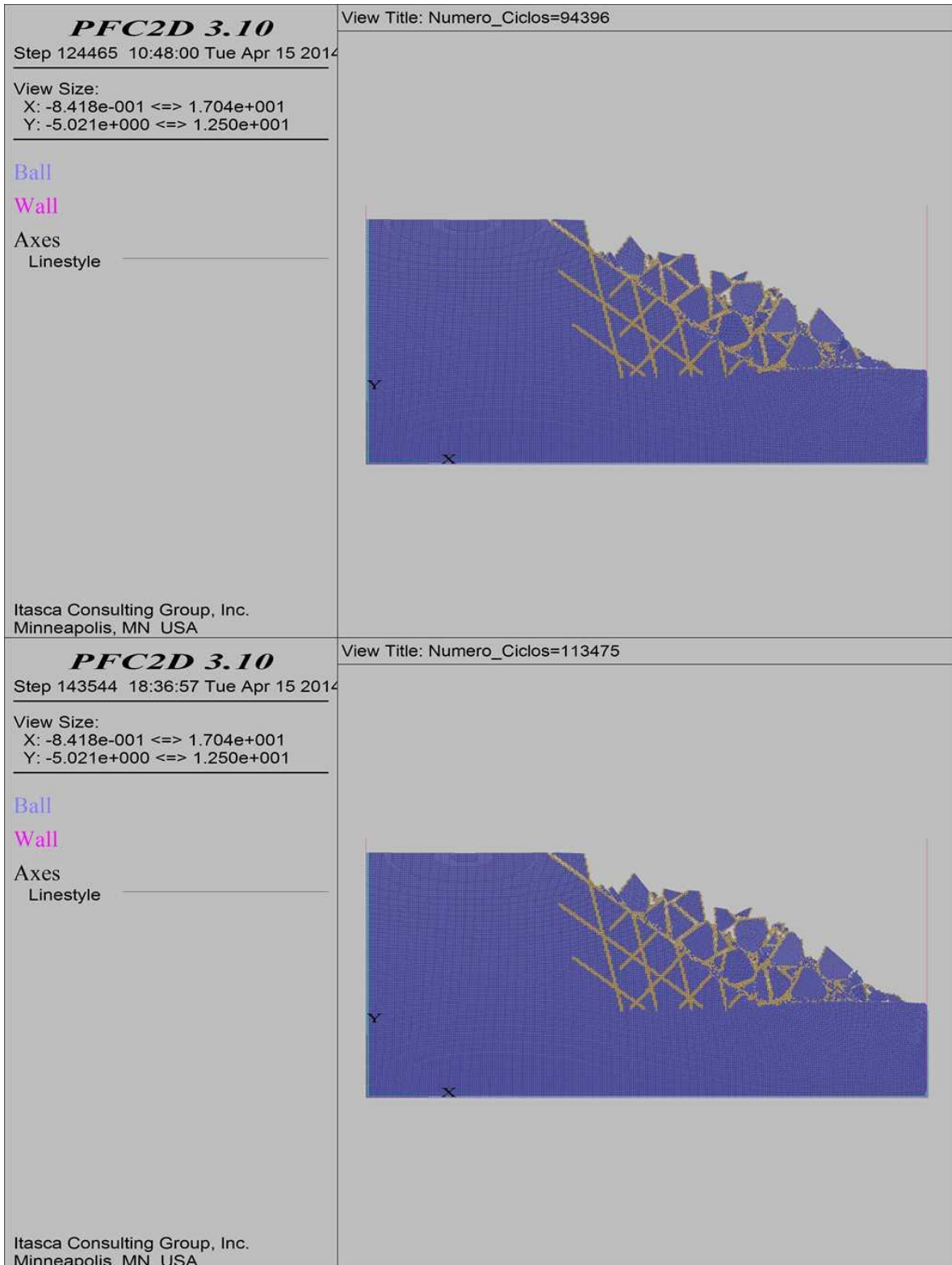
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



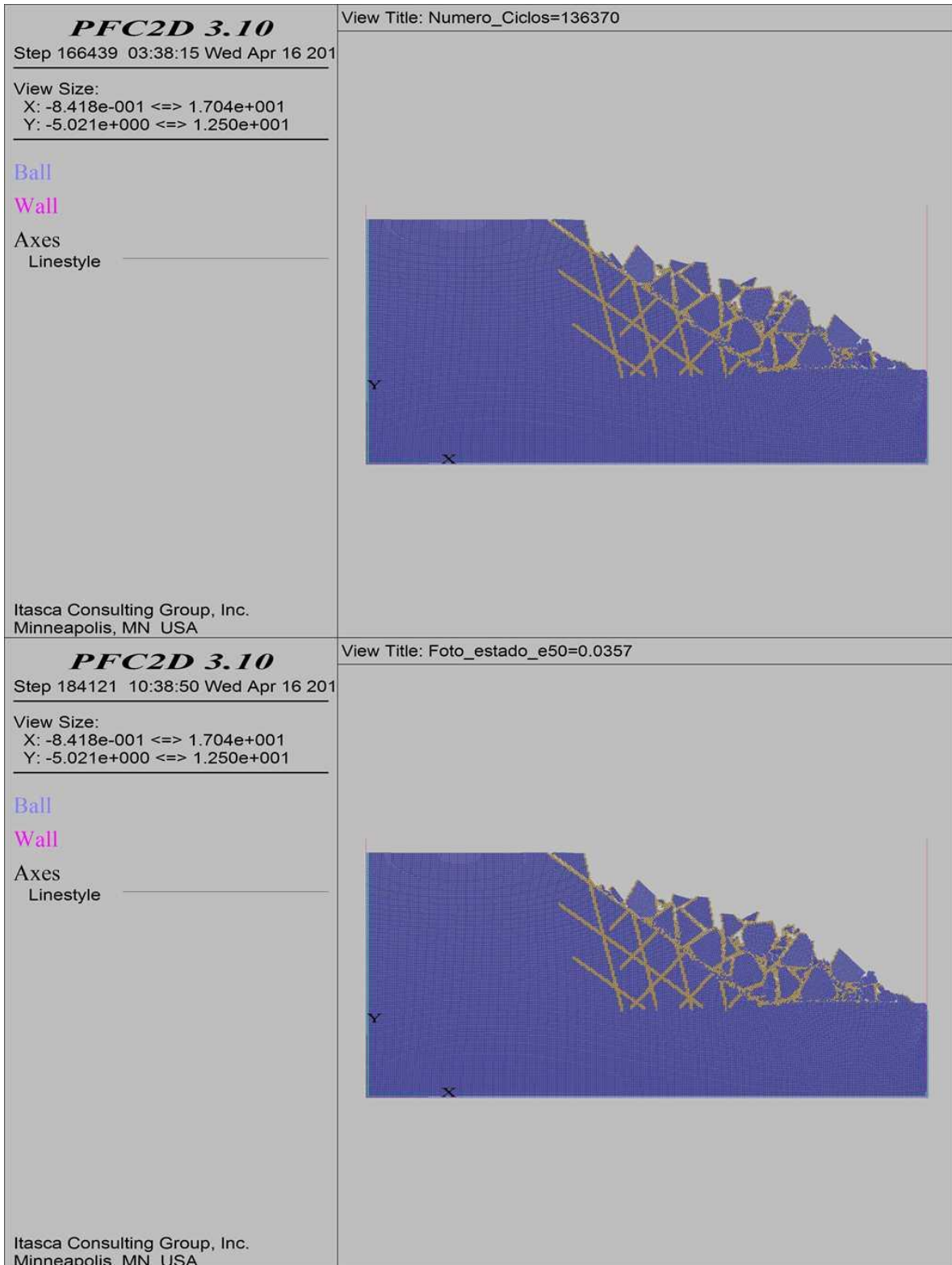
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



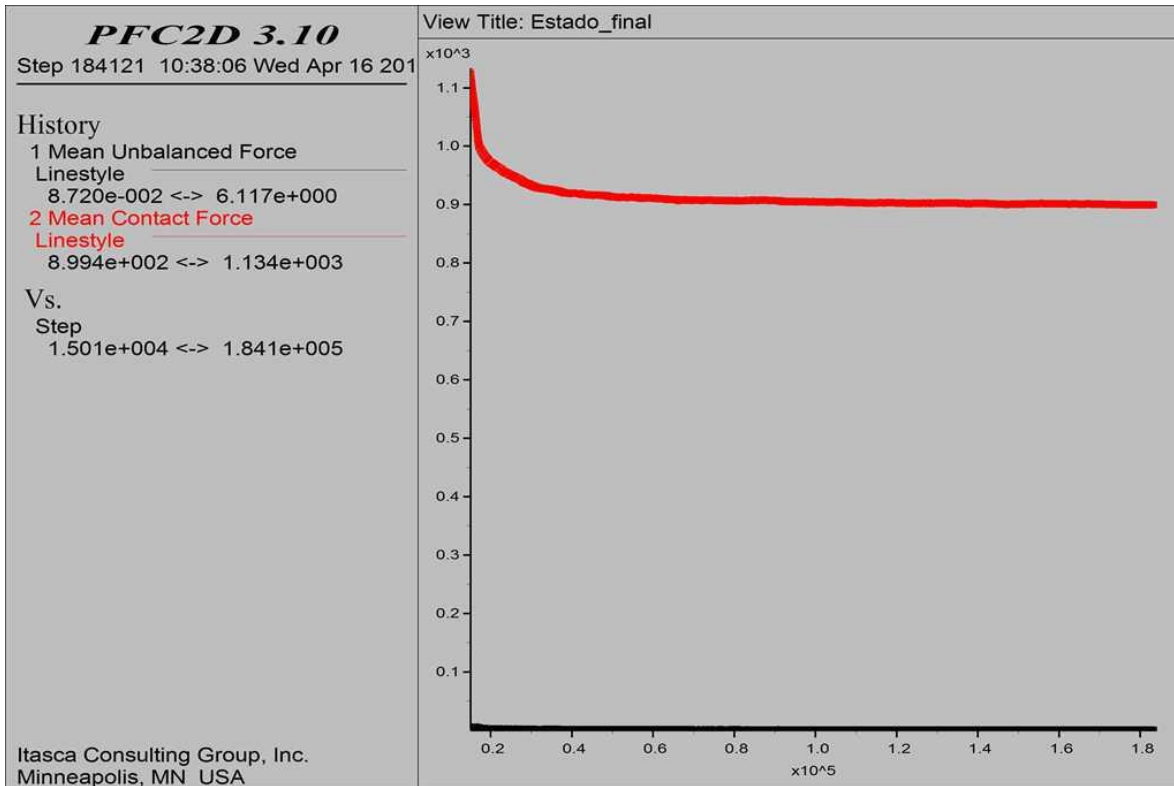
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



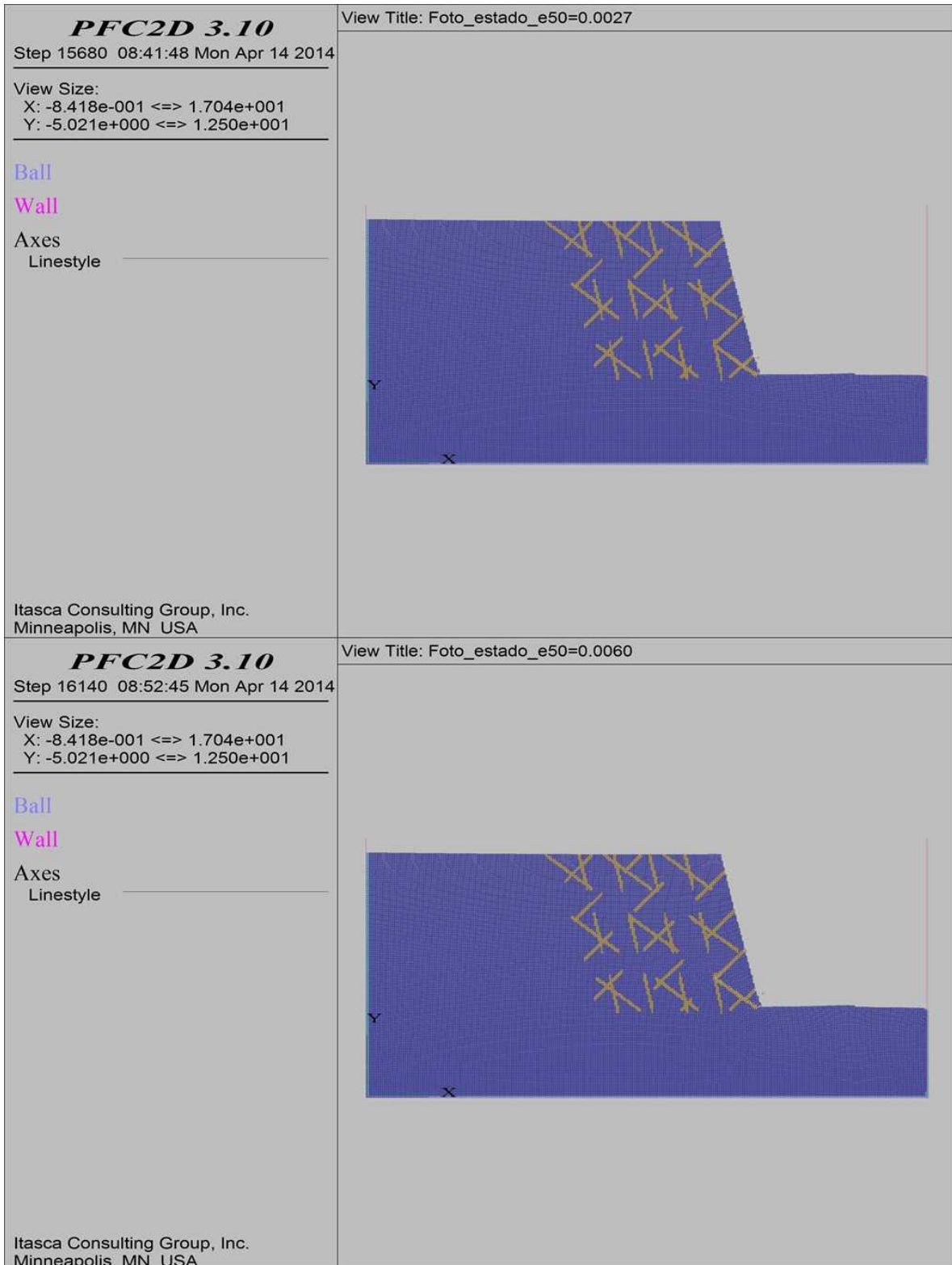
**COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA ALTA.**



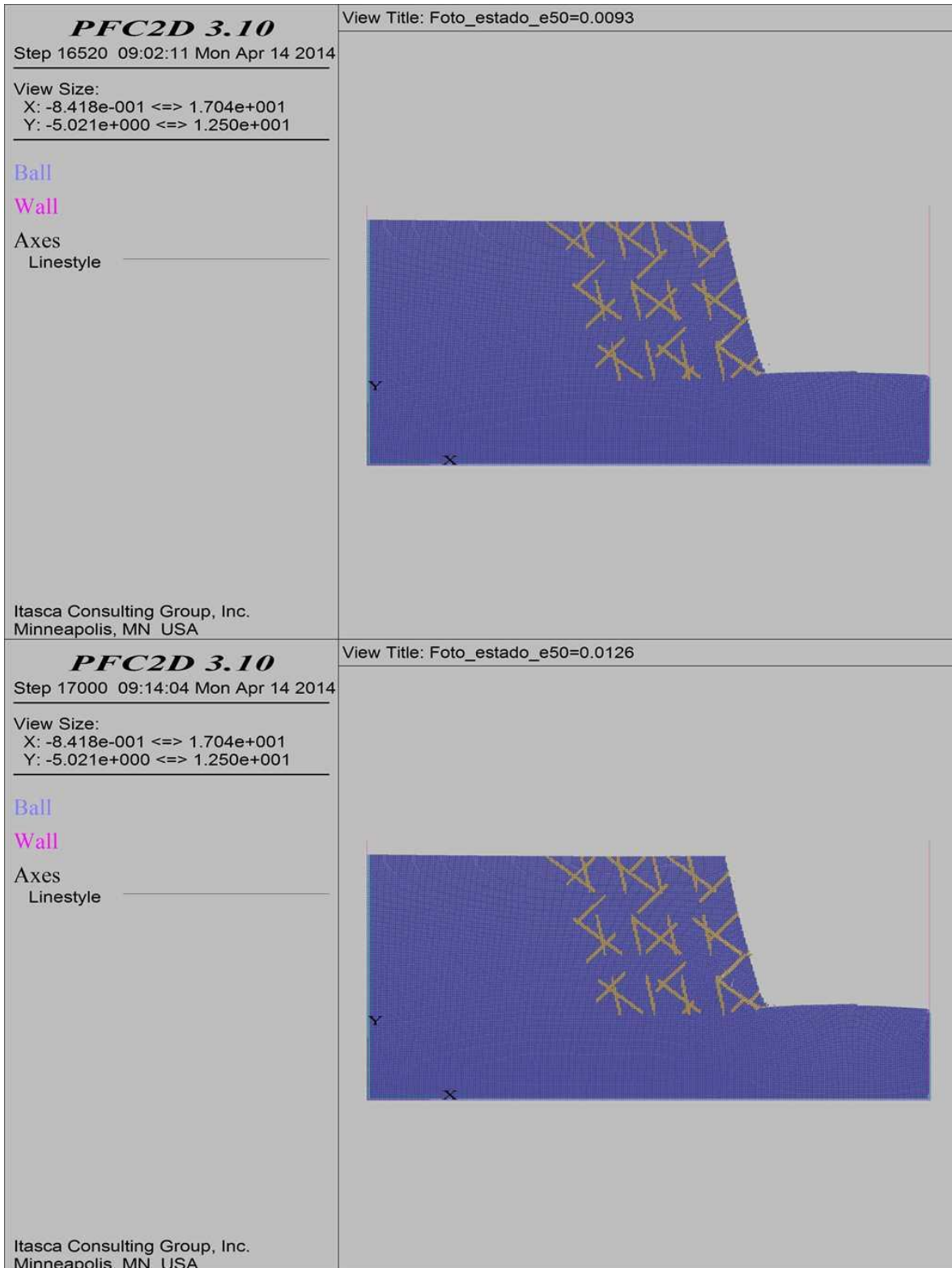
COMBINACIÓN 31: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA ALTA.



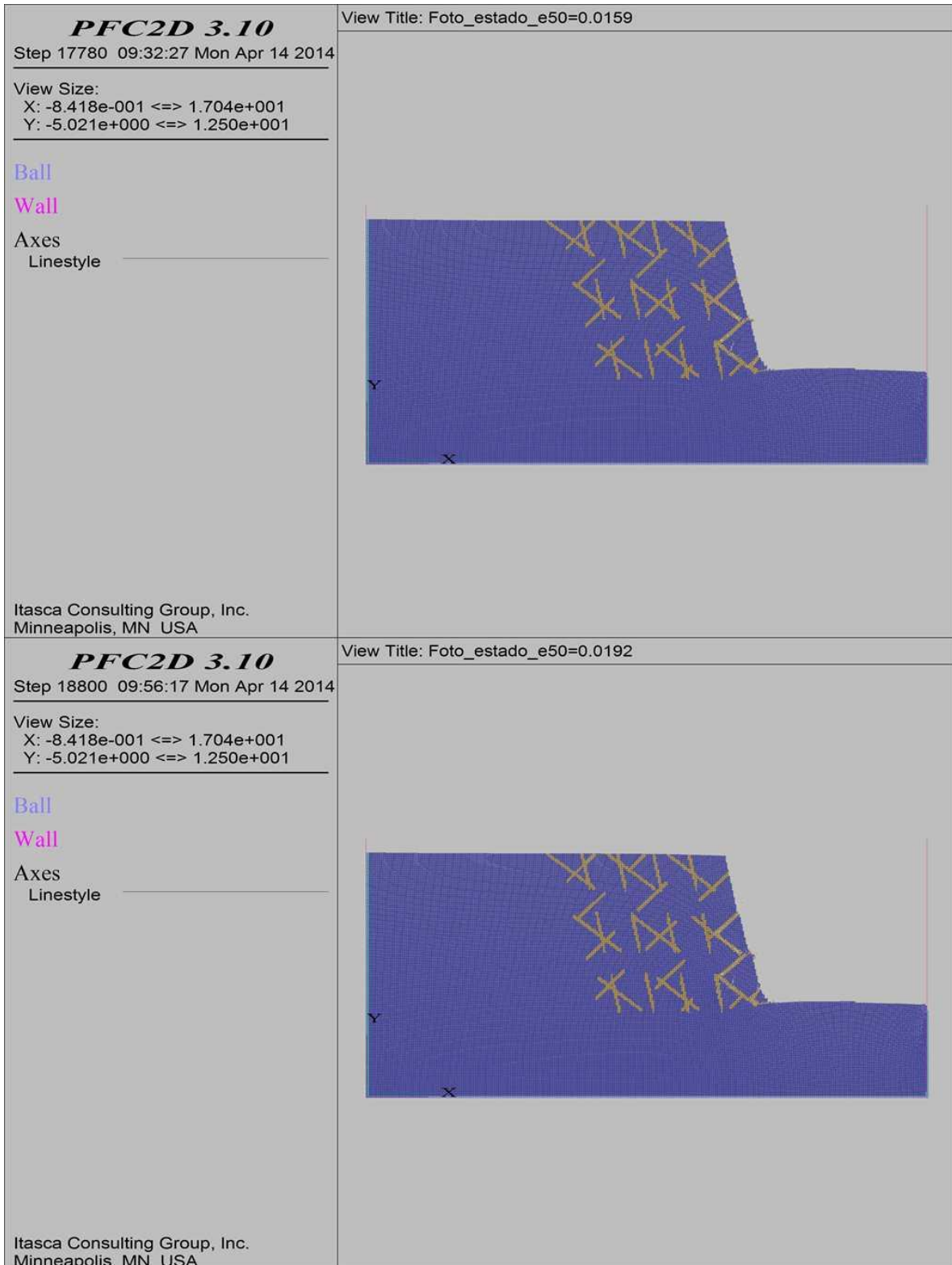
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



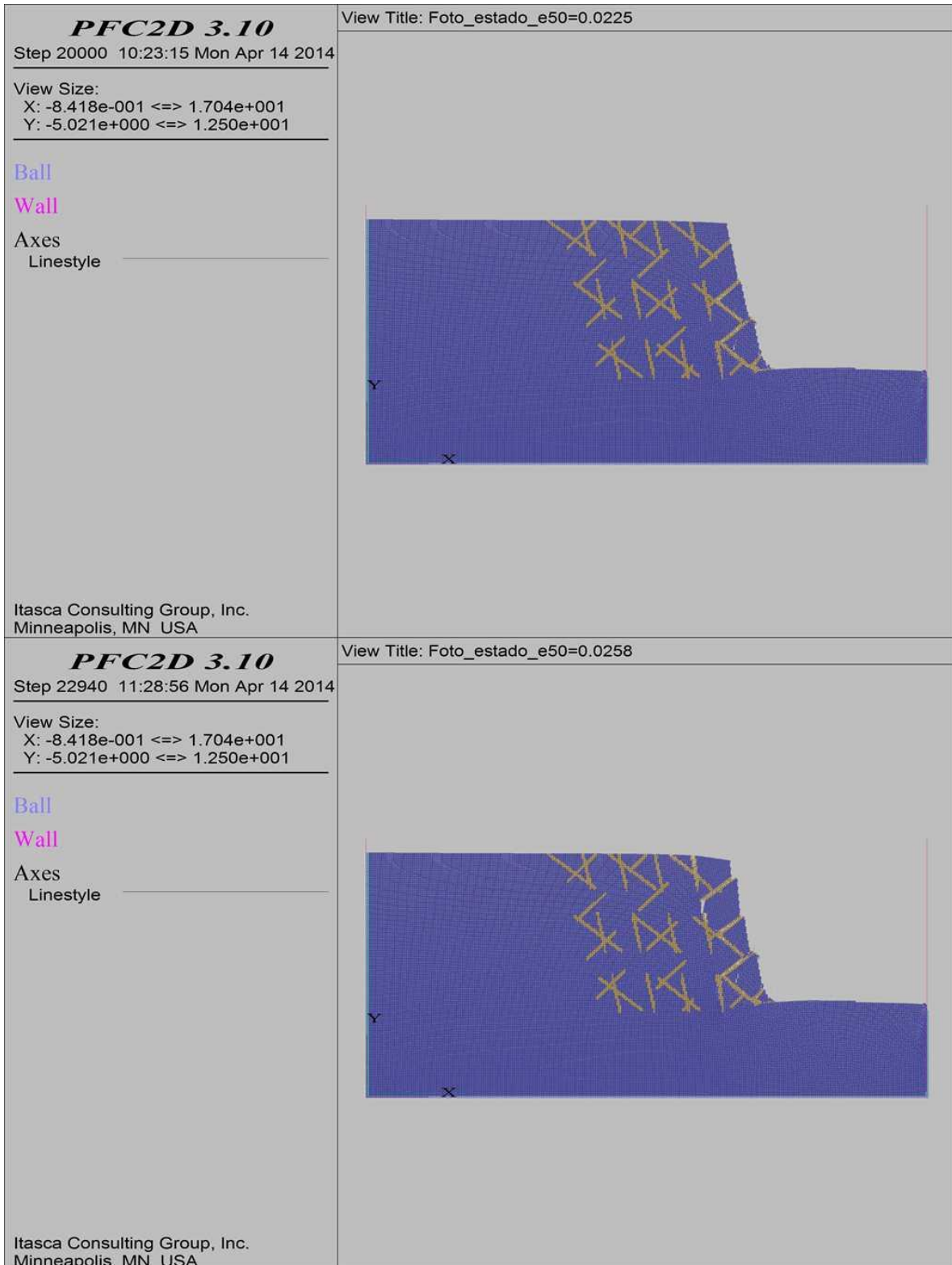
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



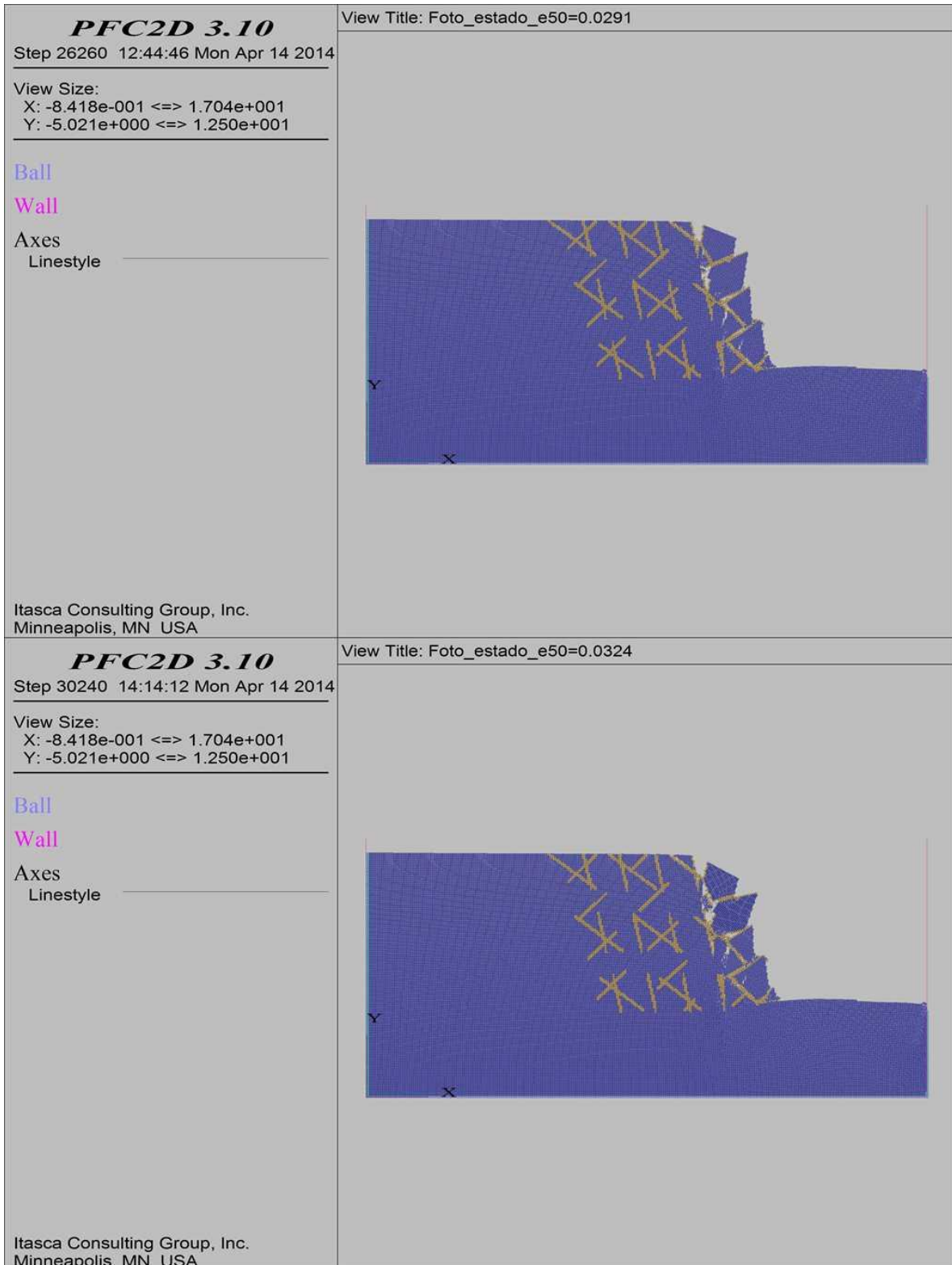
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



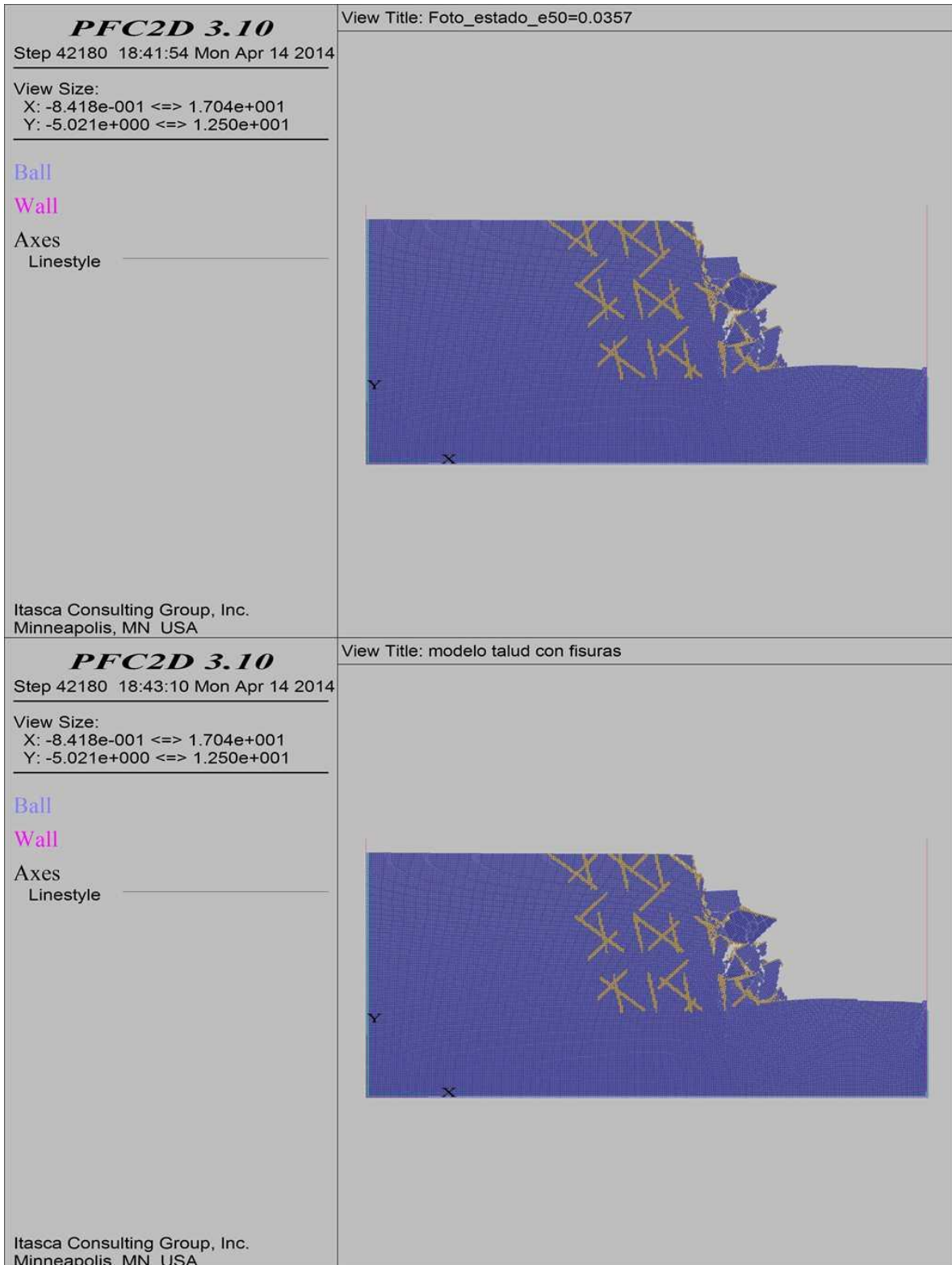
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



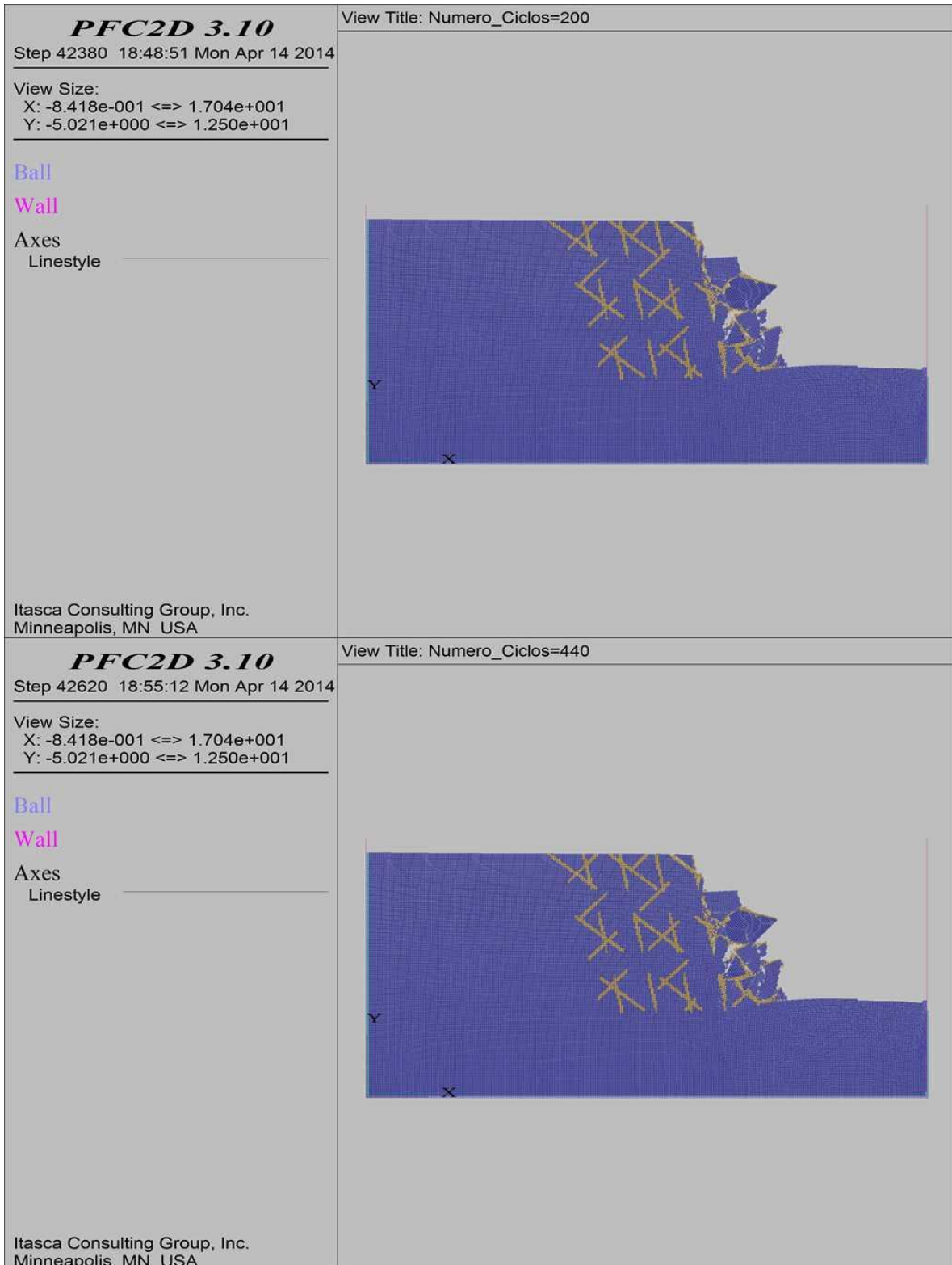
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



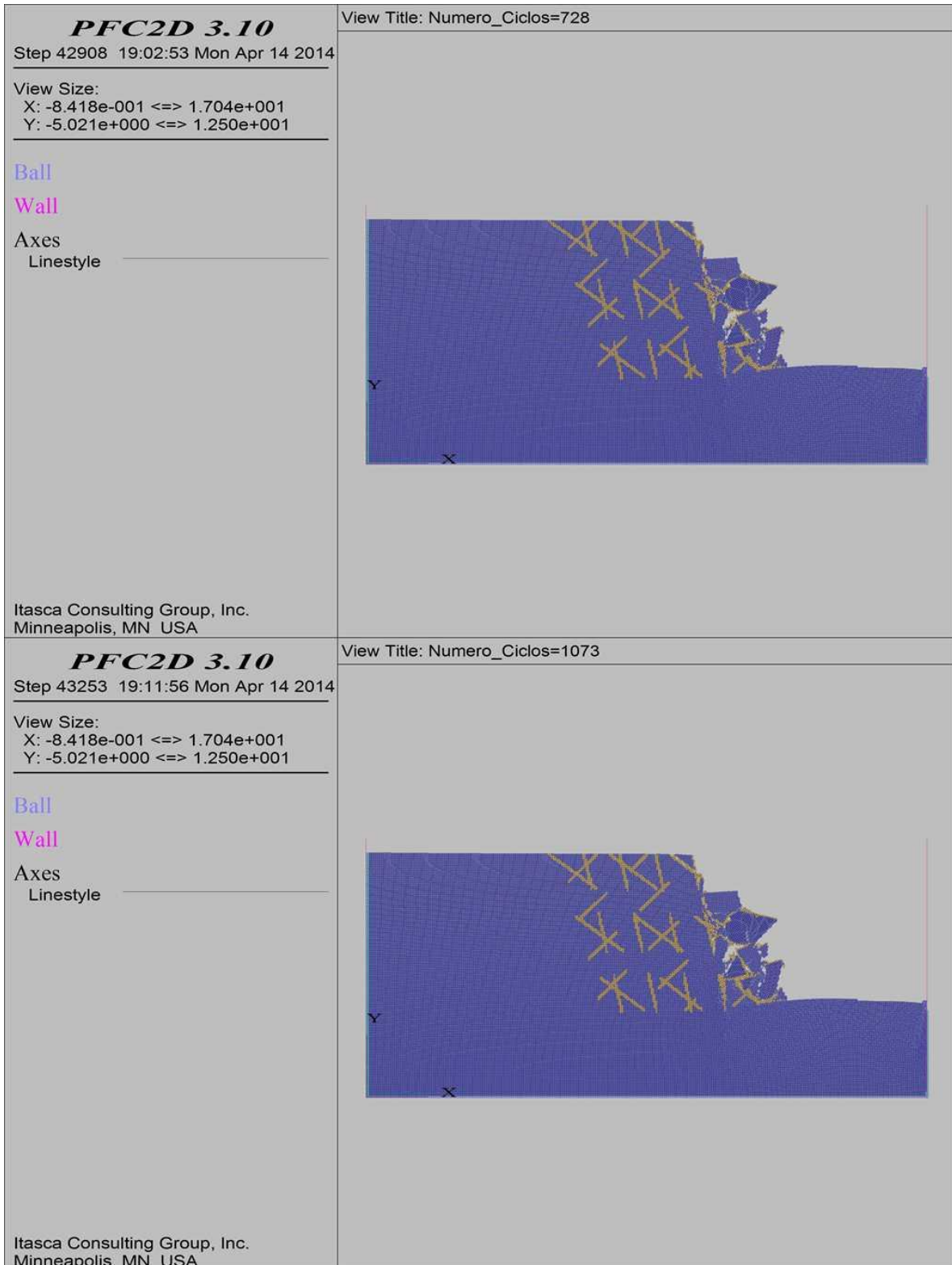
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



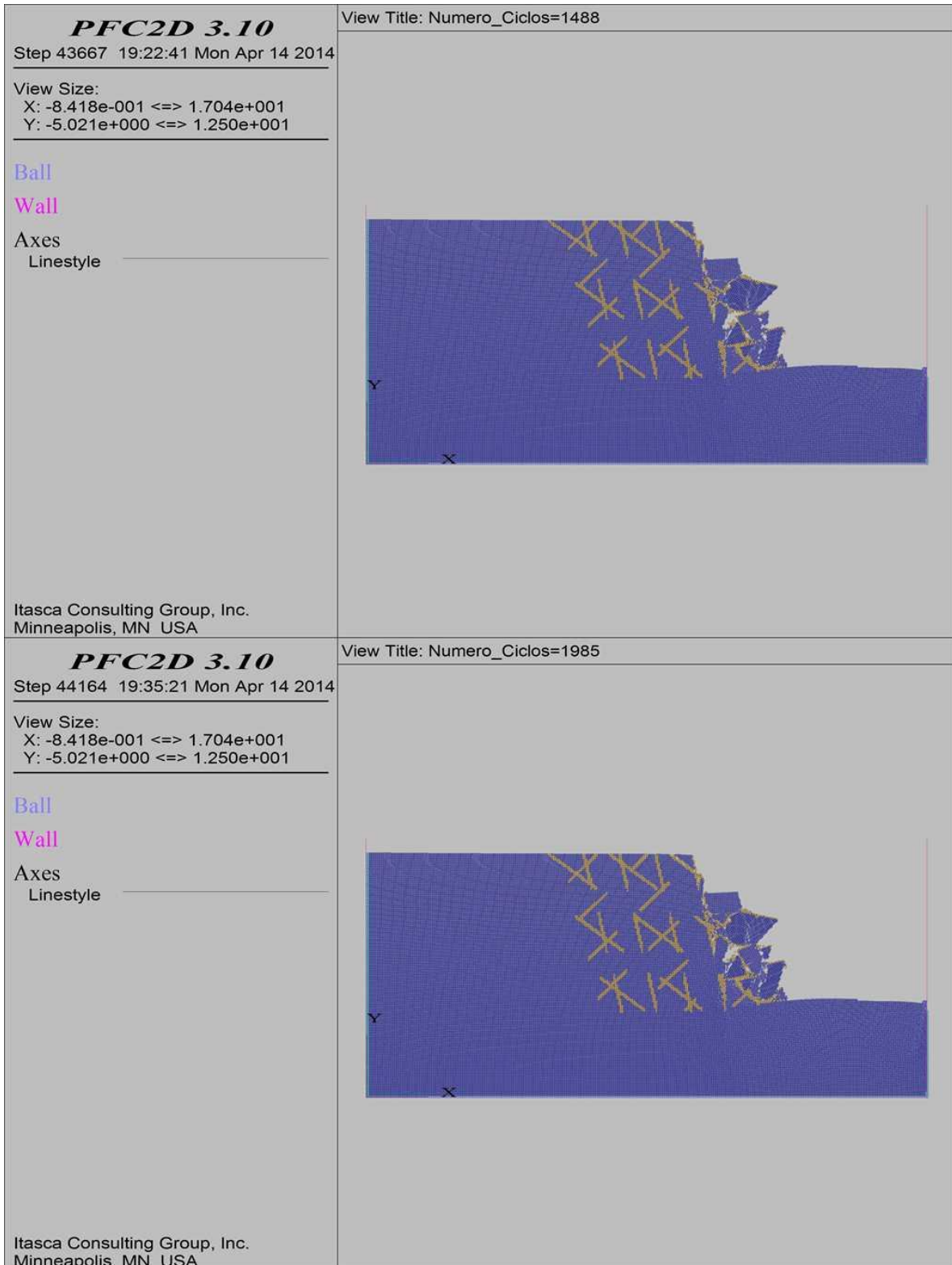
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



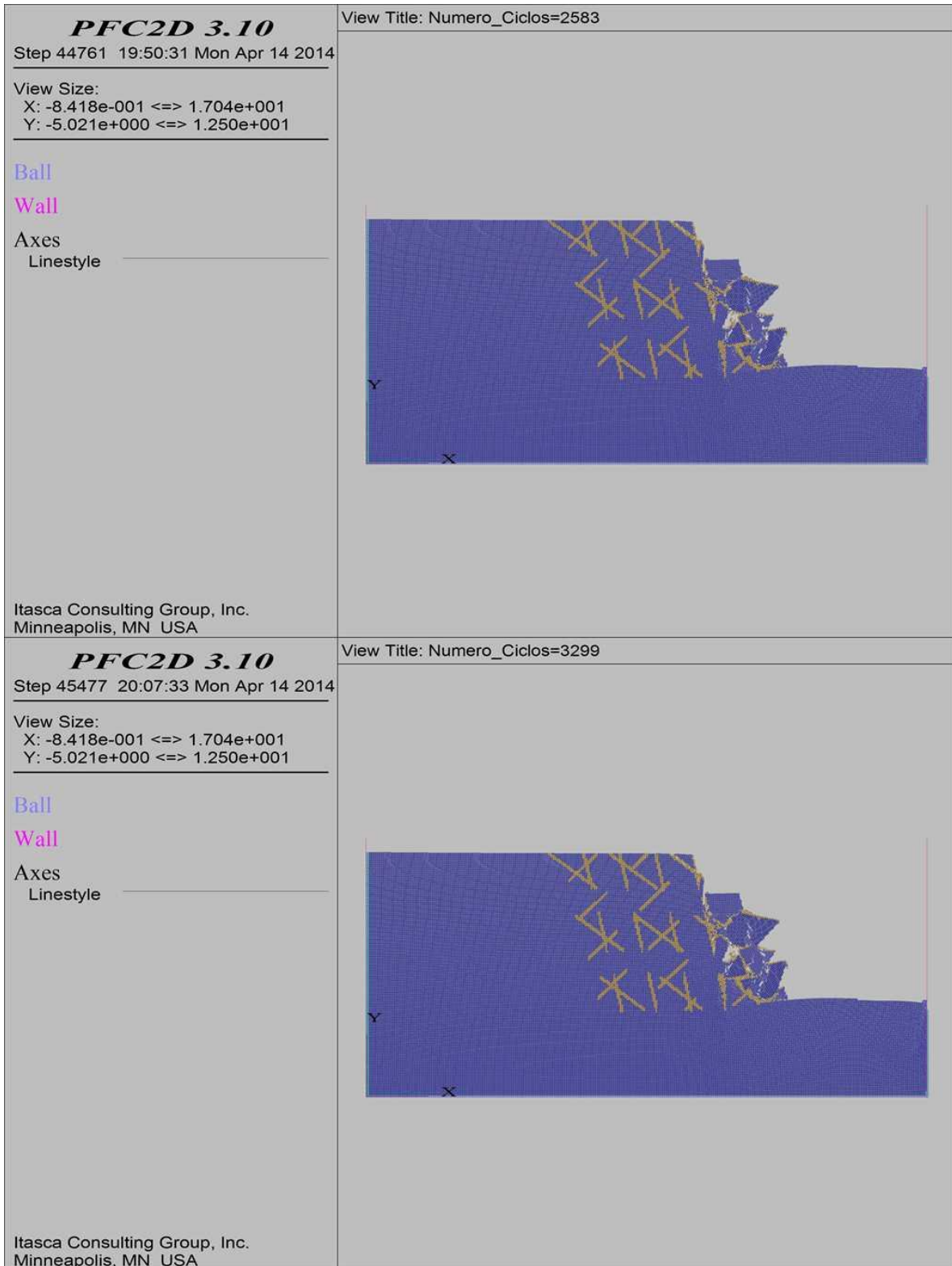
**COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



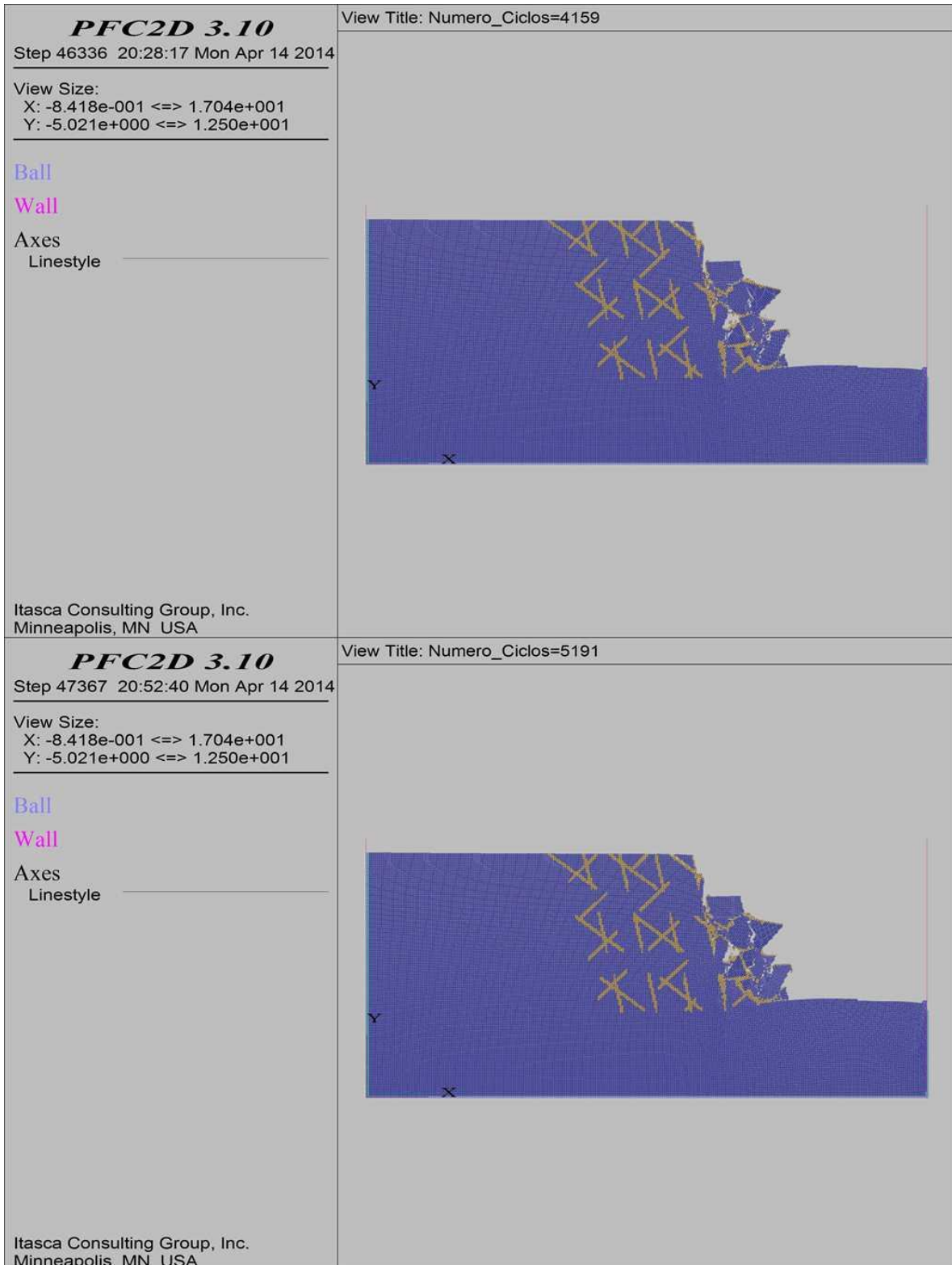
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



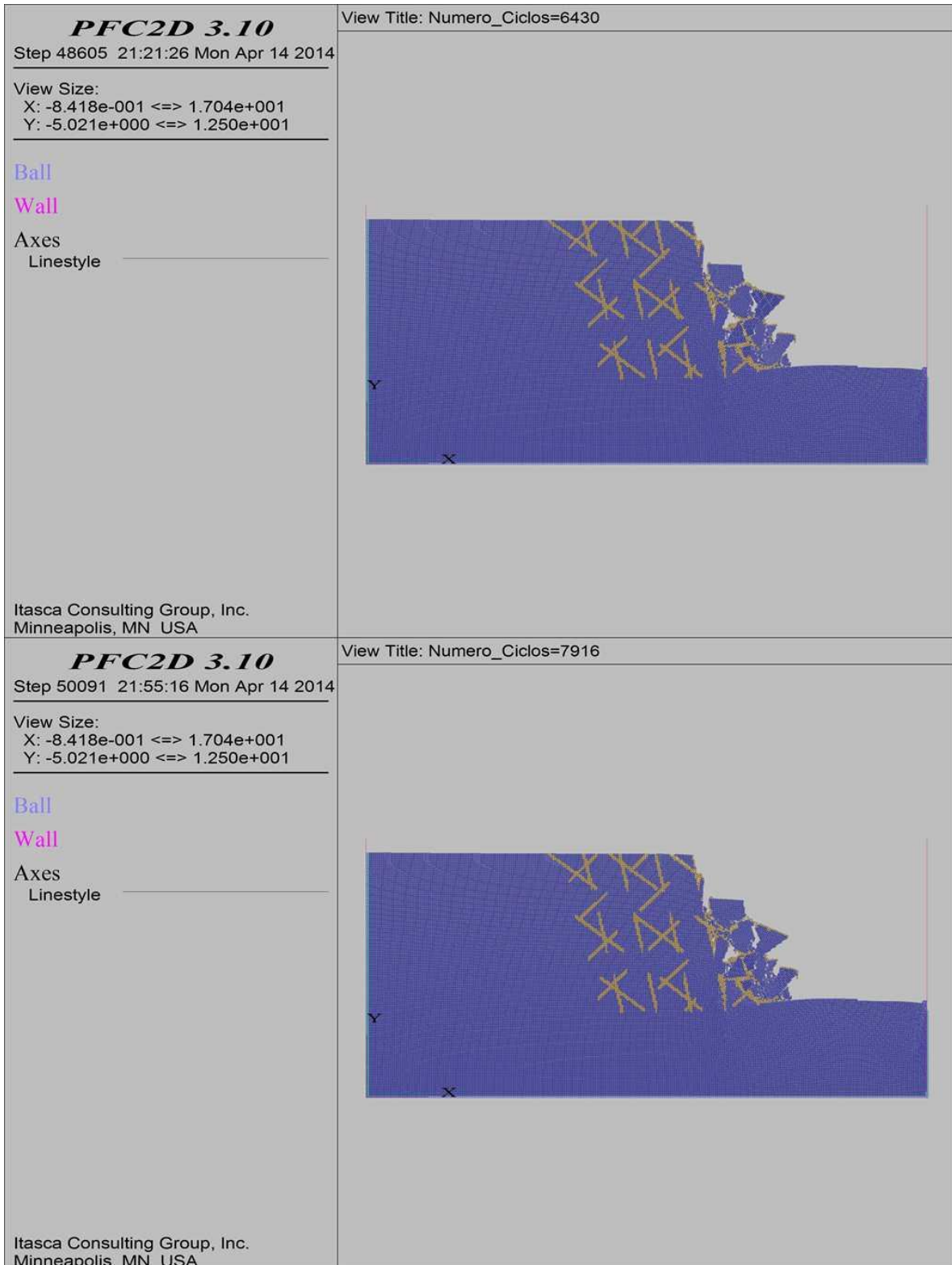
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



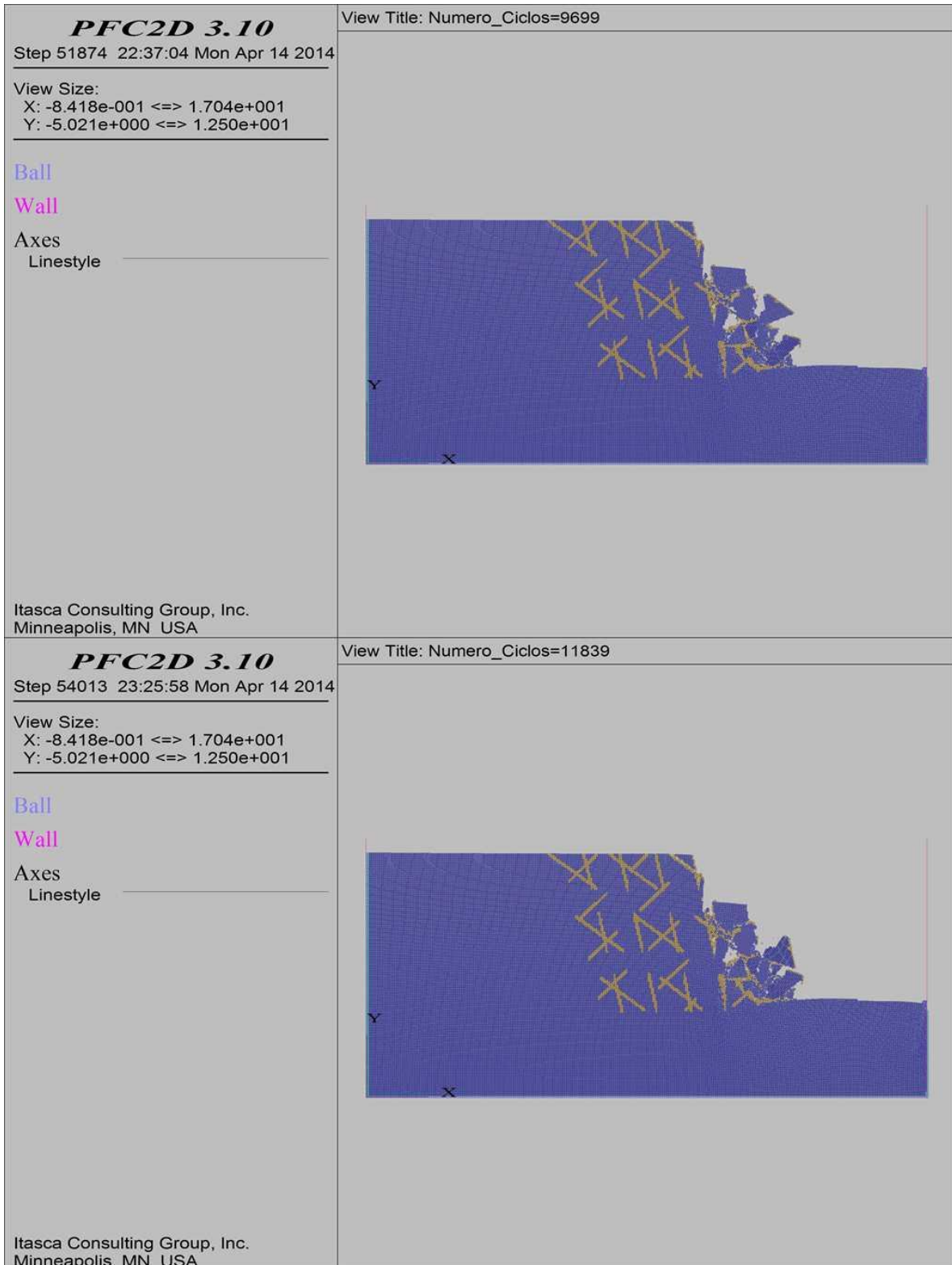
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



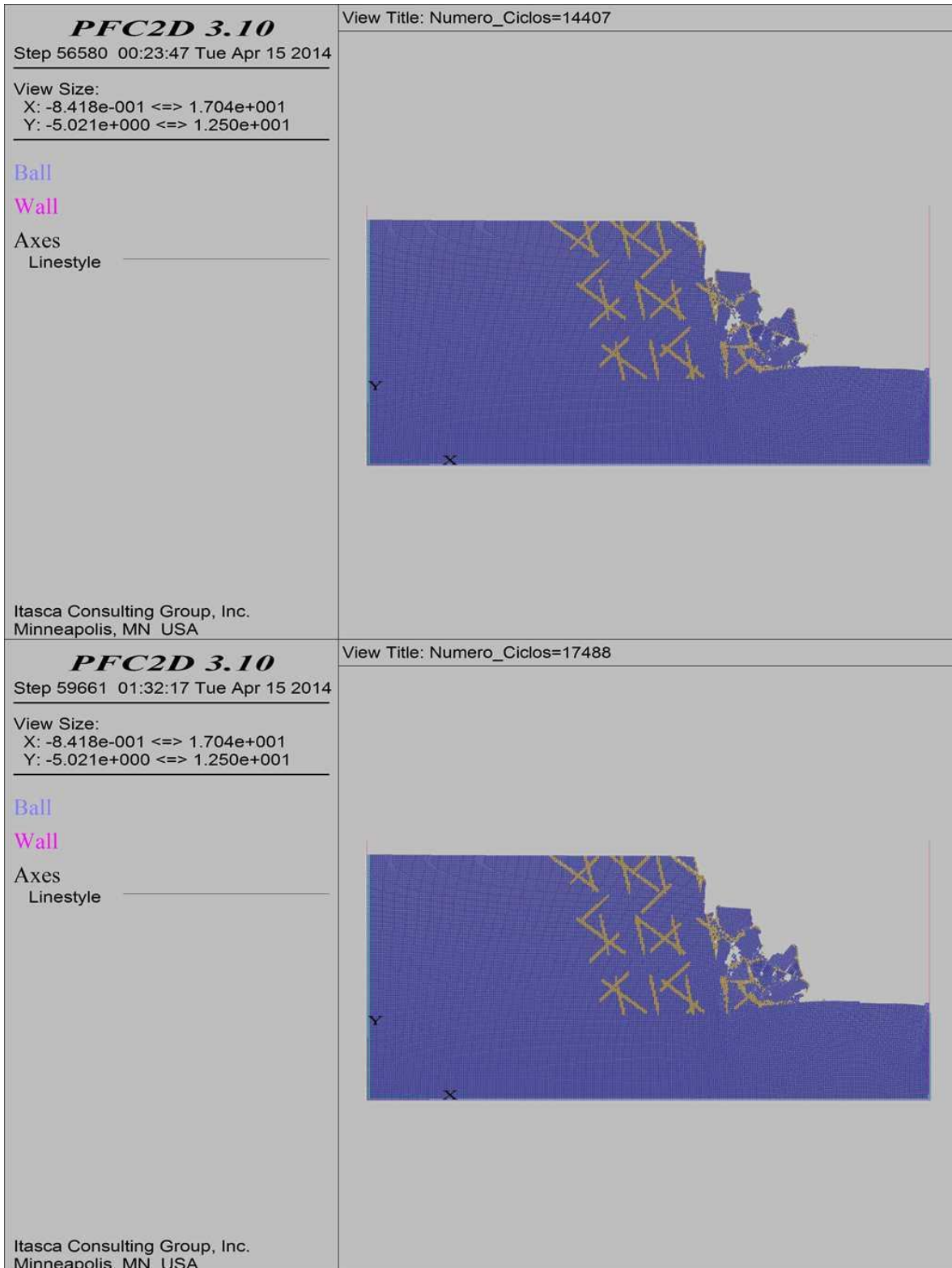
**COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



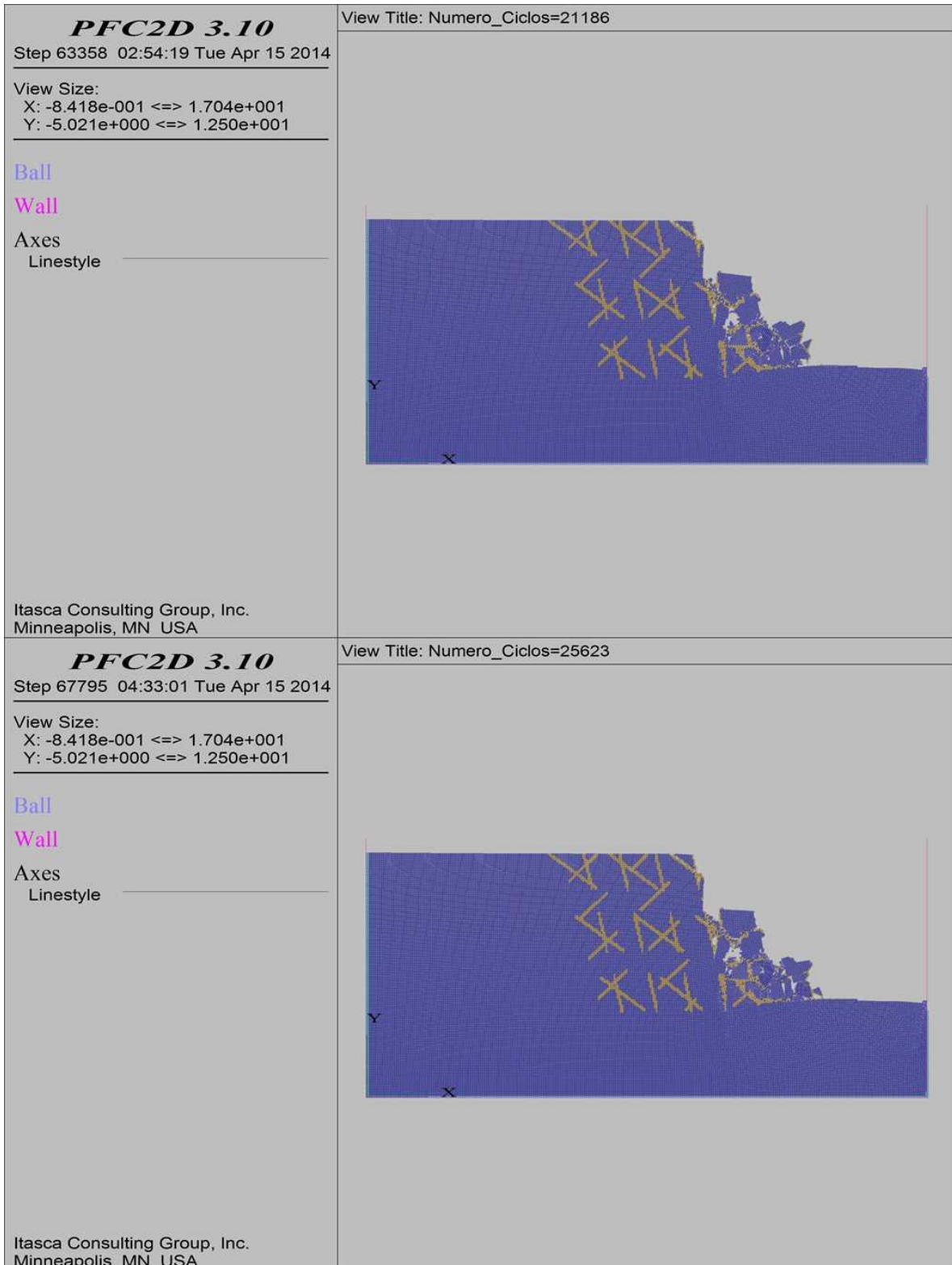
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



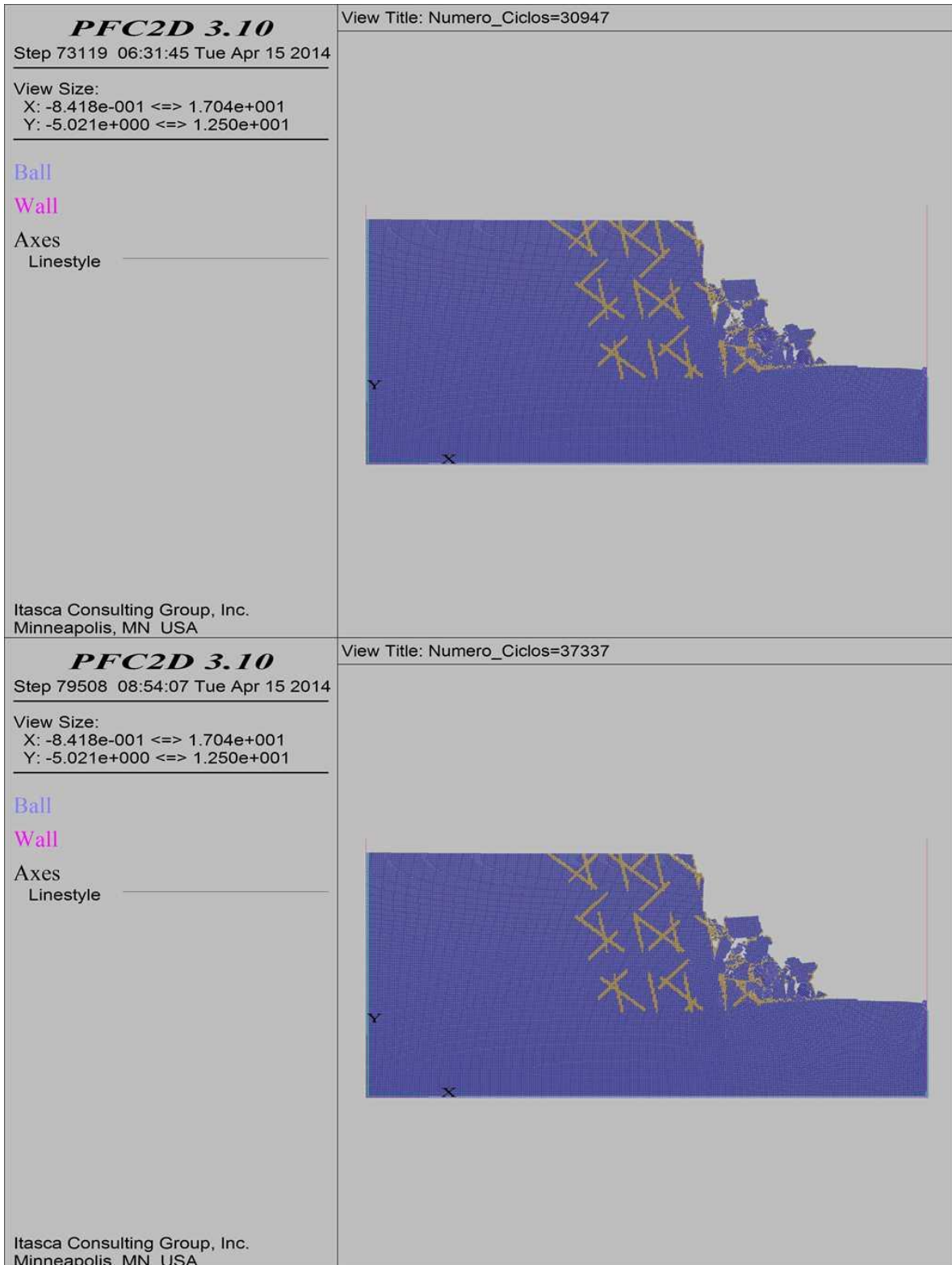
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



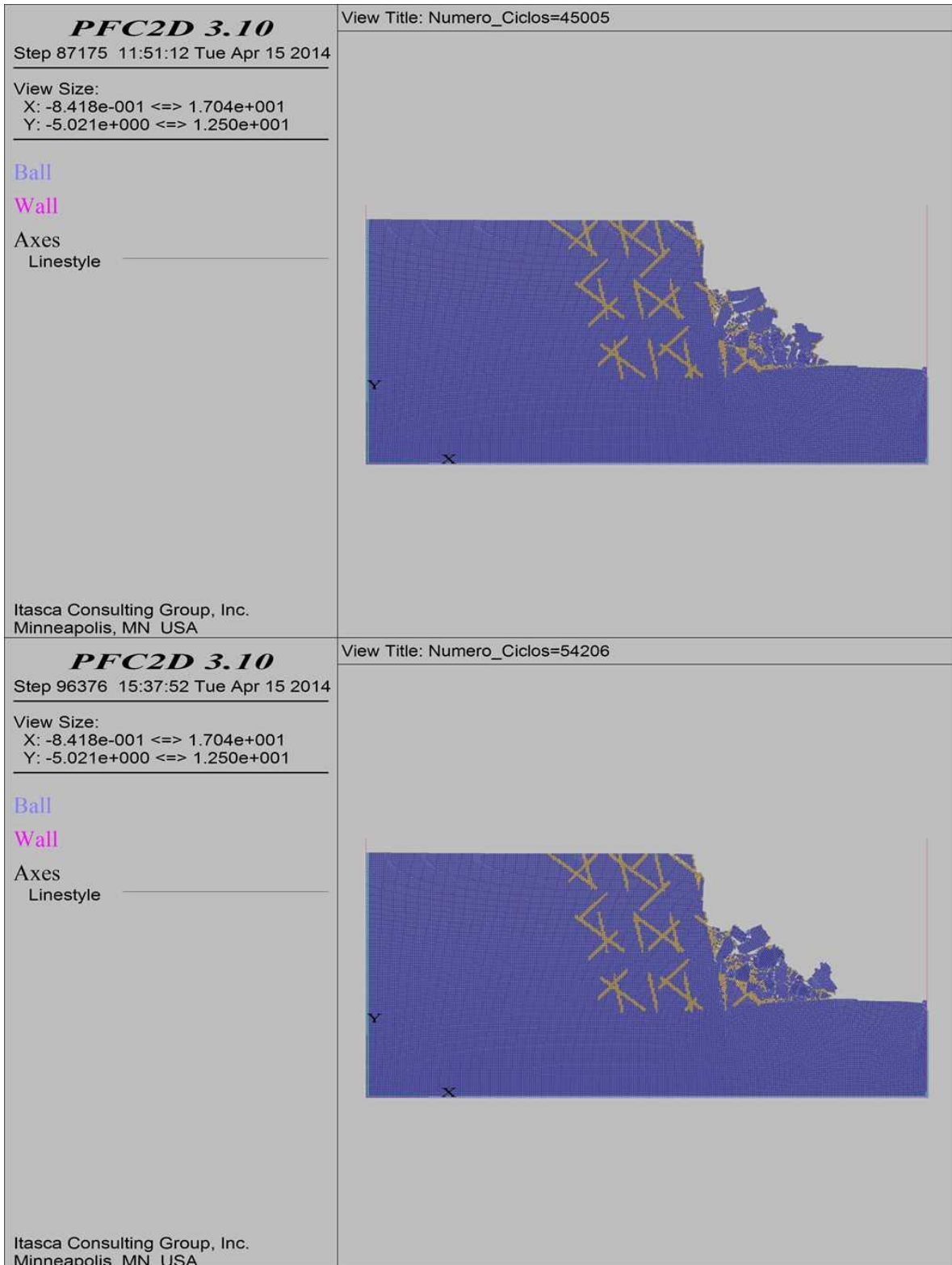
**COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



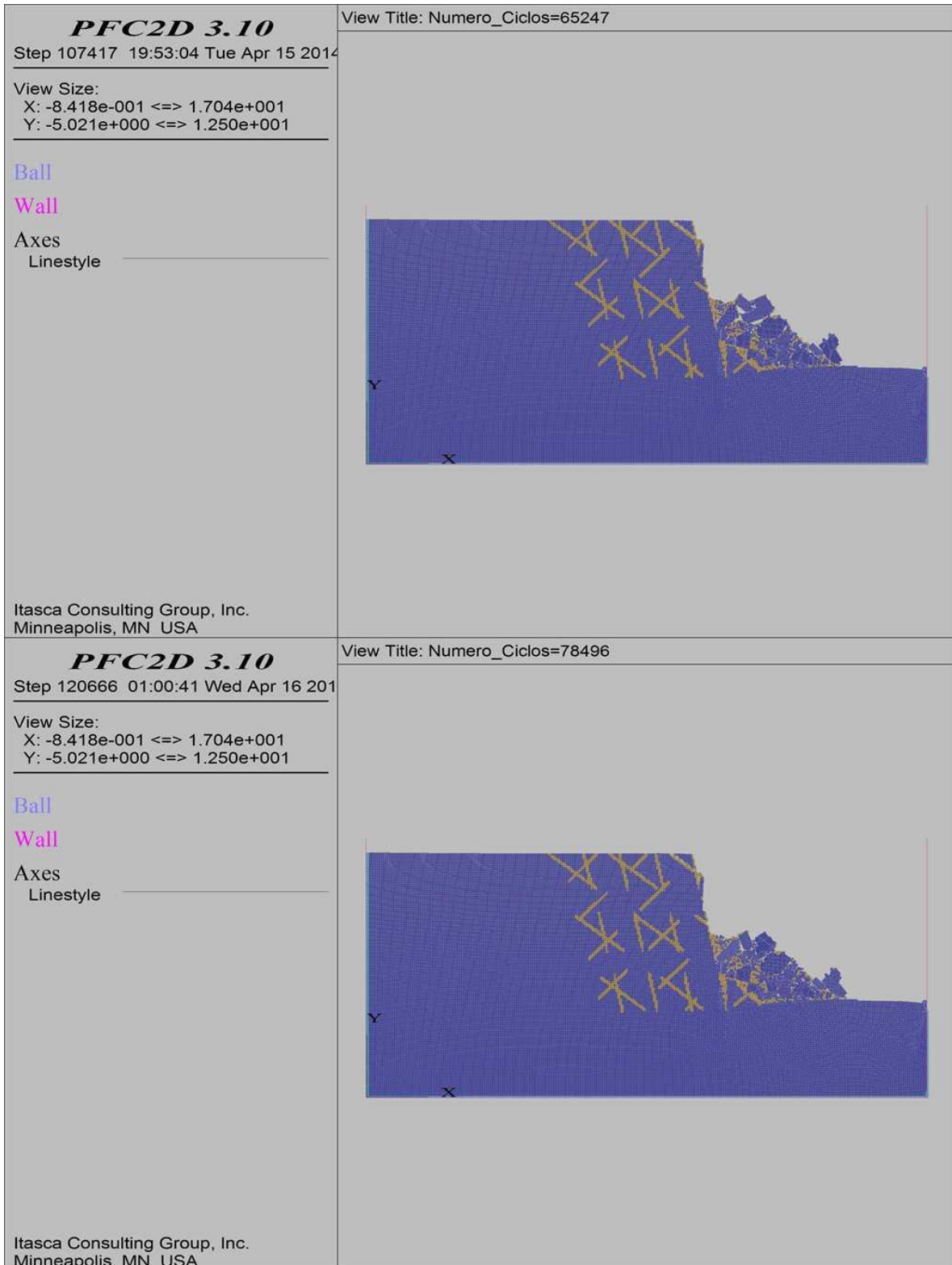
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



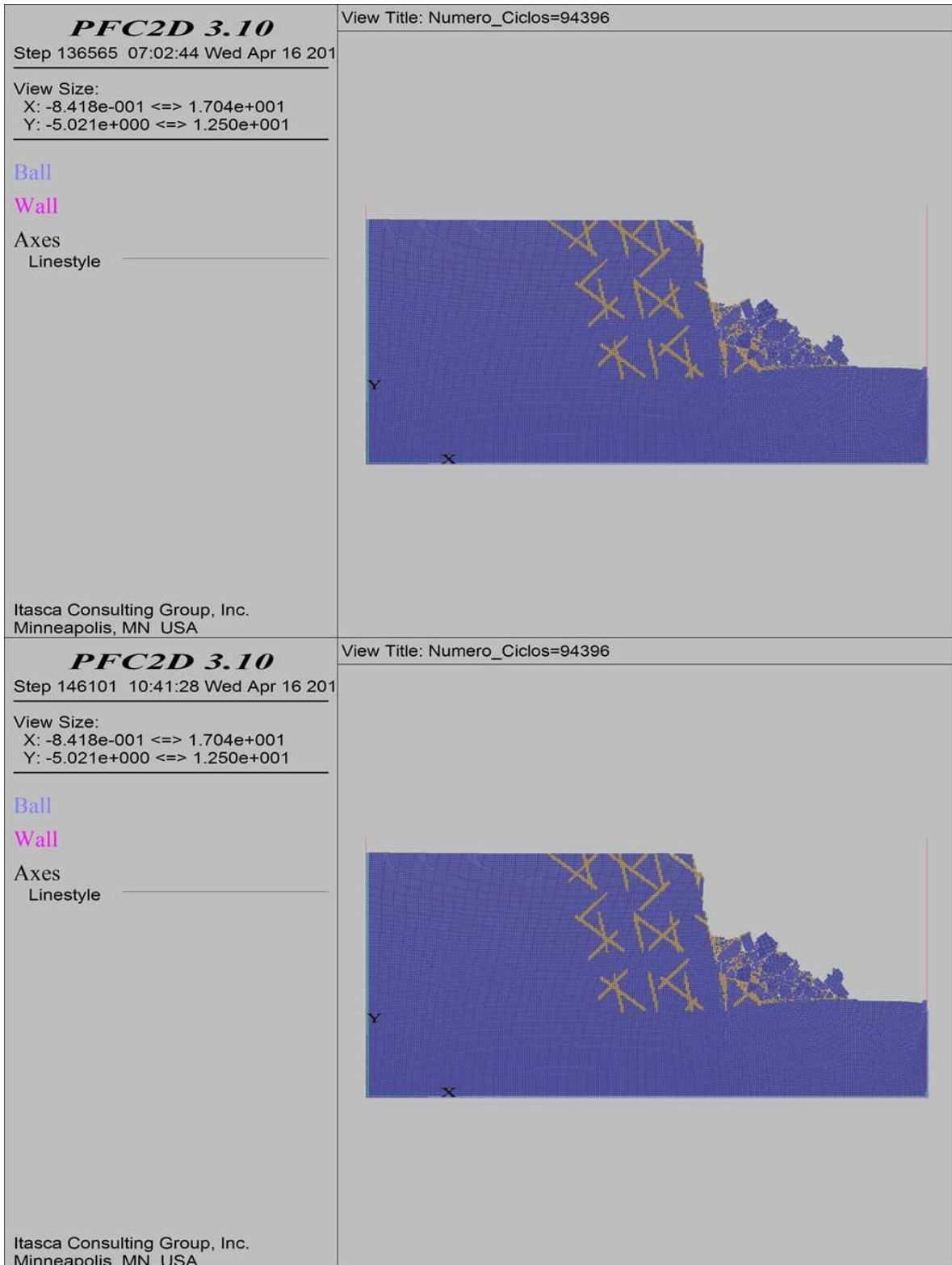
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



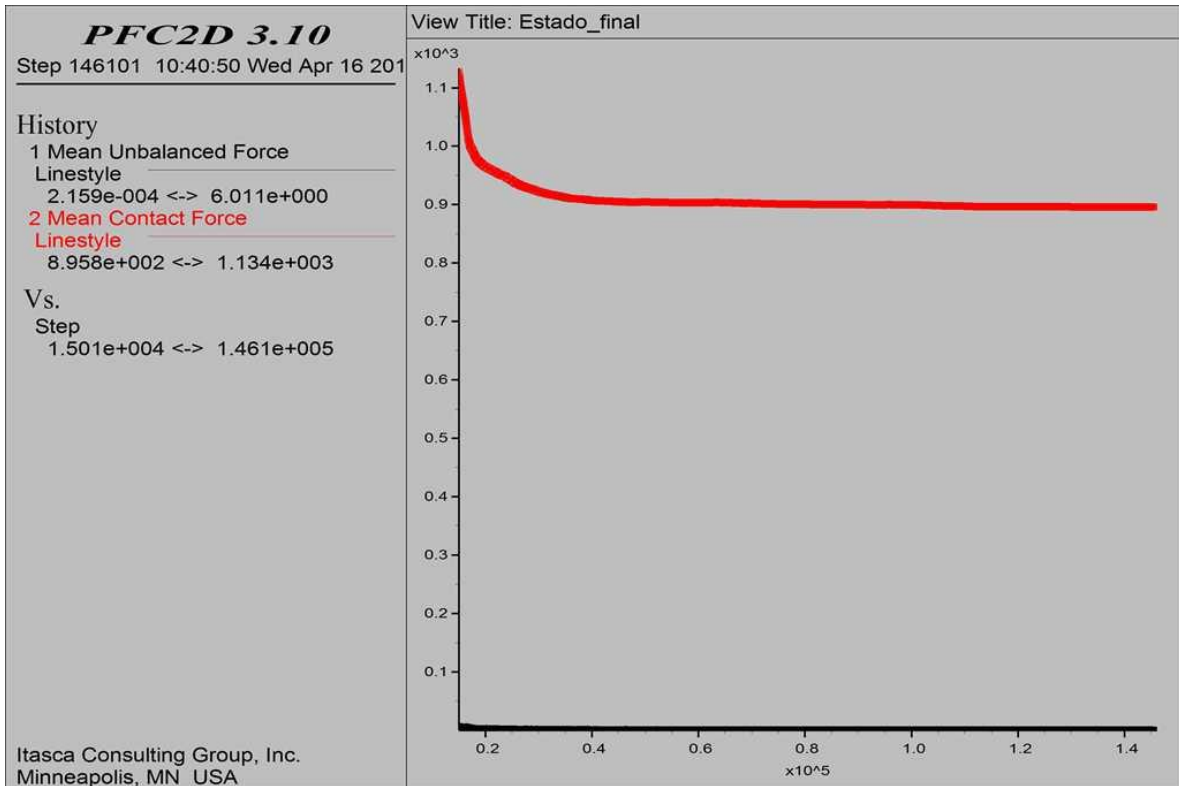
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



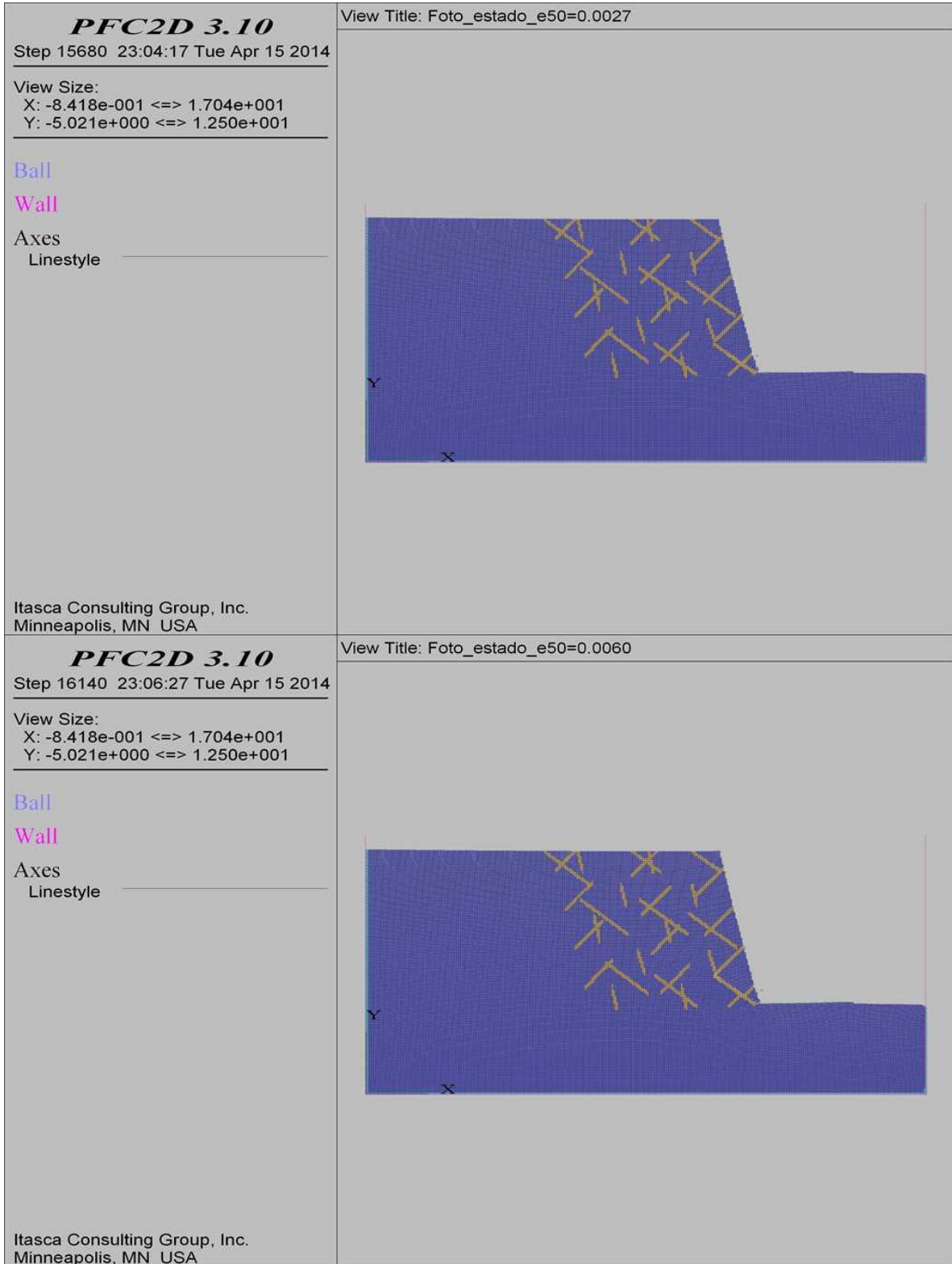
**COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y
DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y
PERSISTENCIA MEDIA.**



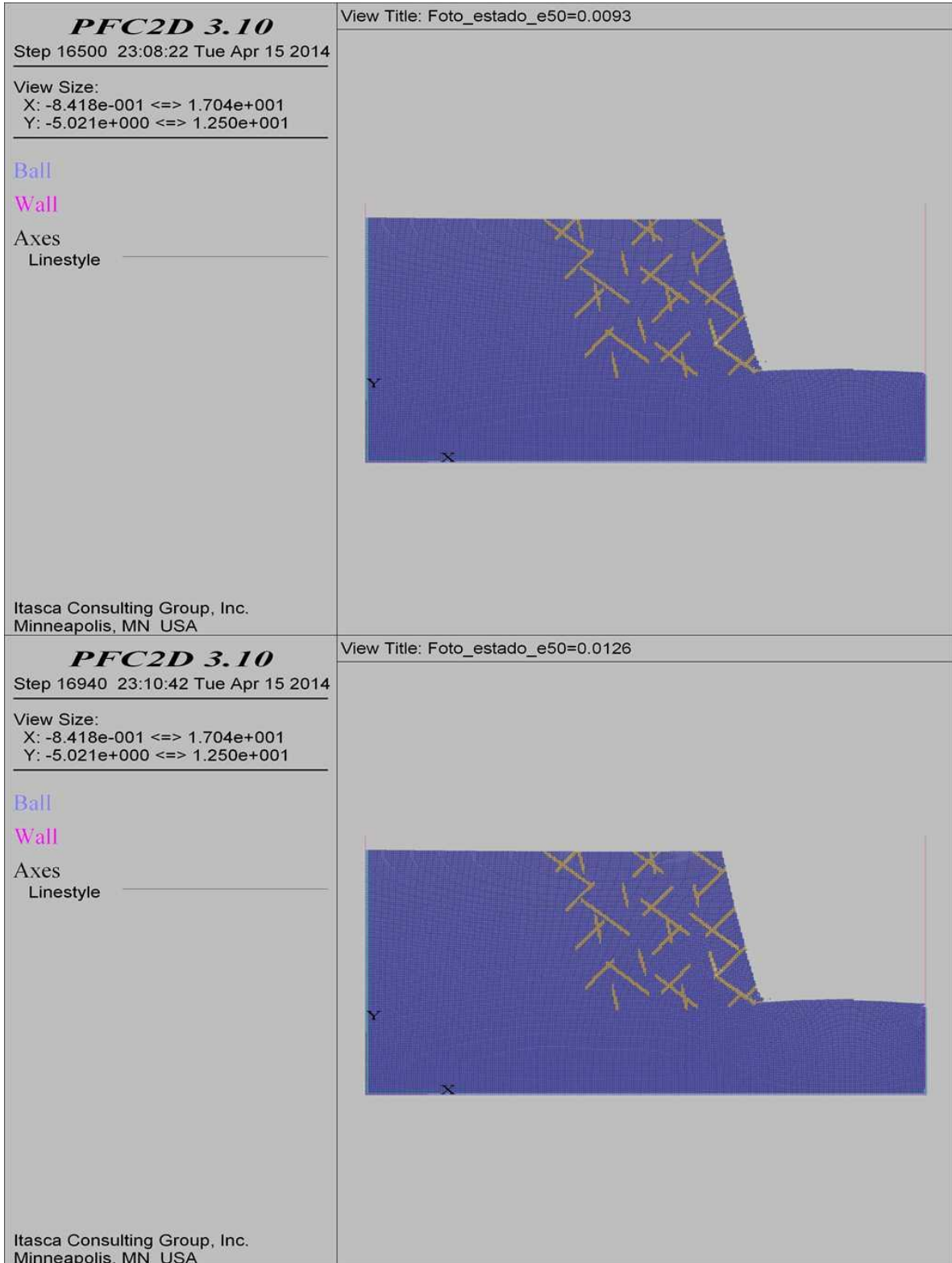
COMBINACIÓN 32: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA MEDIA.



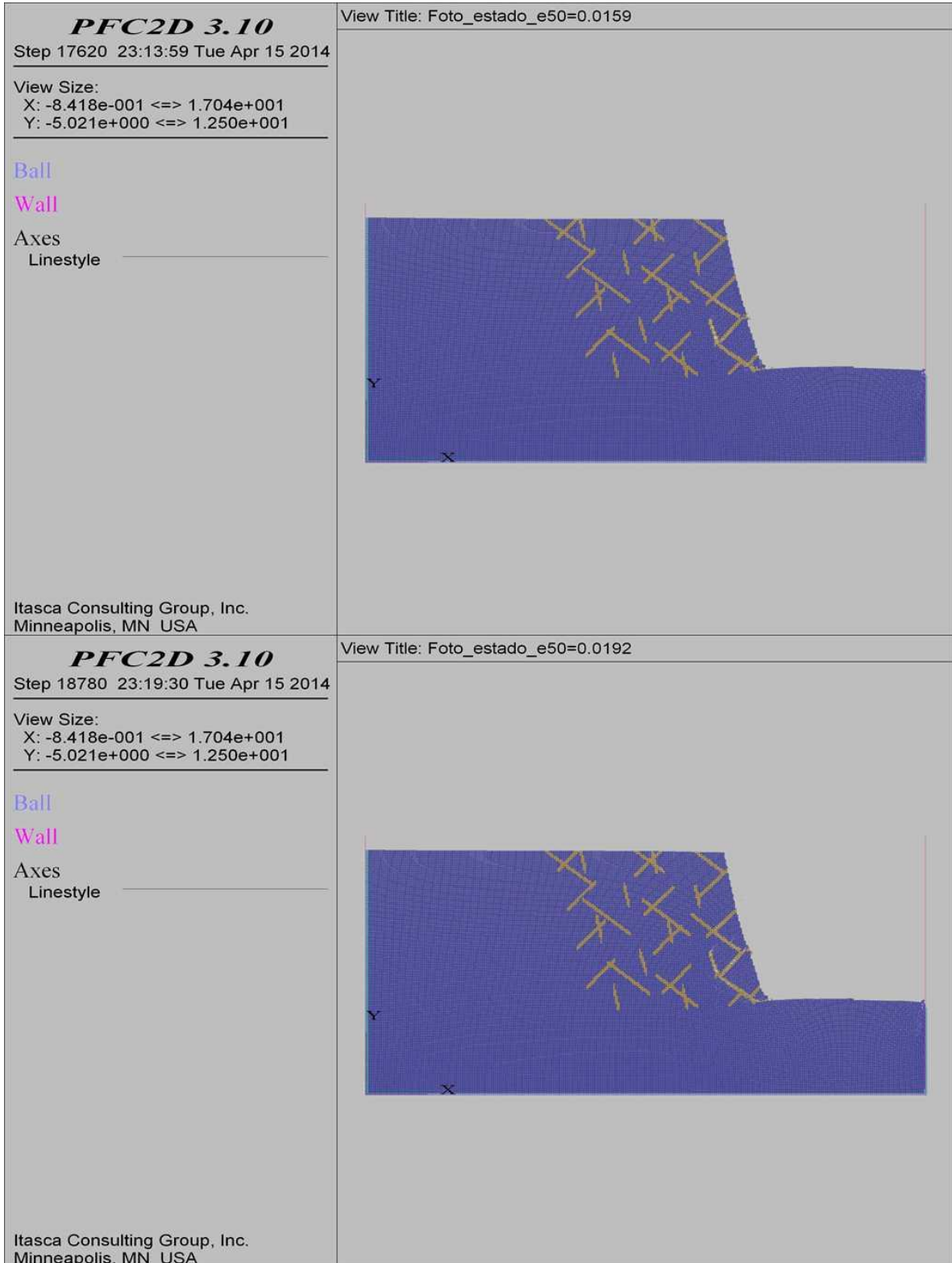
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



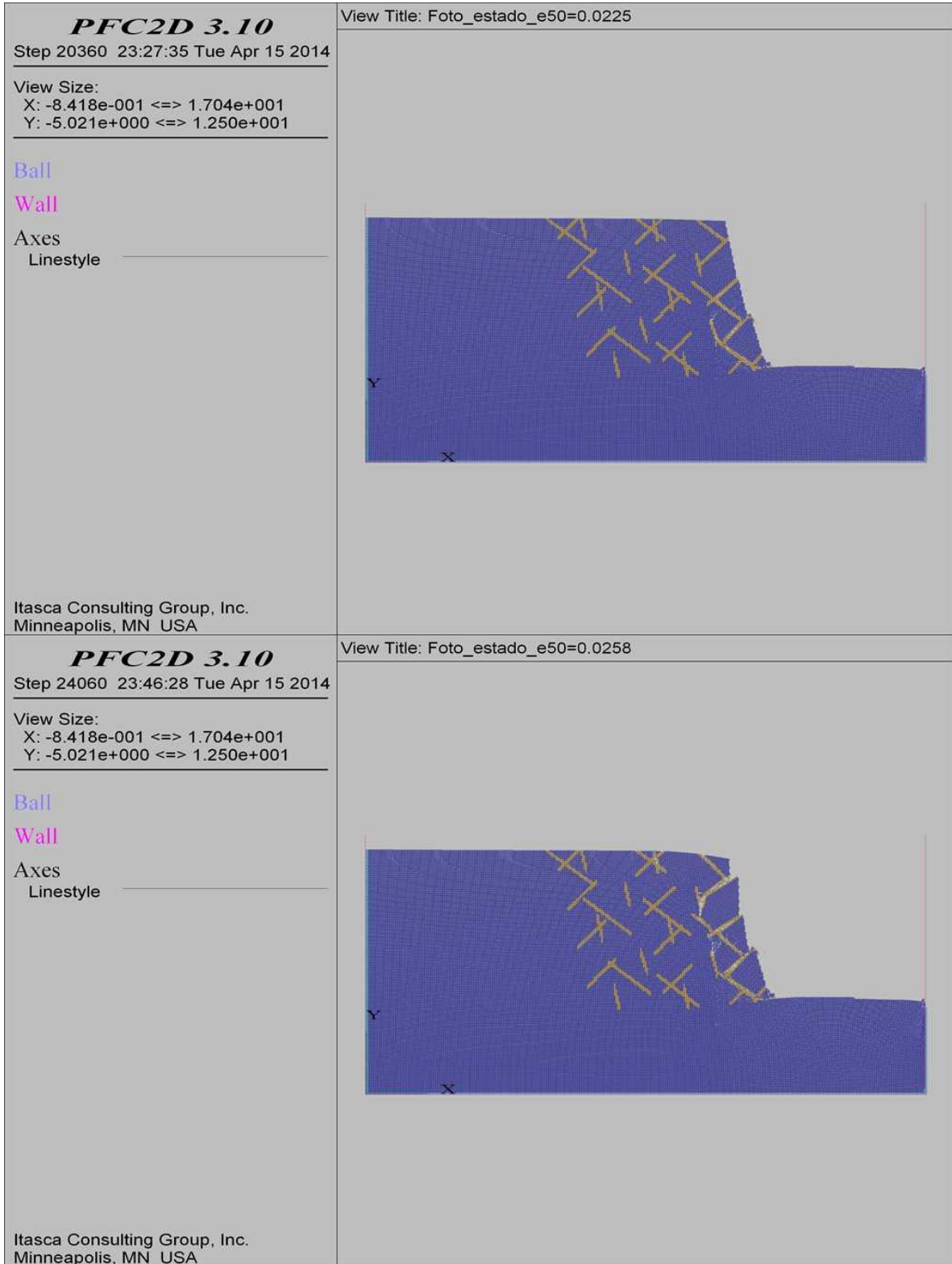
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



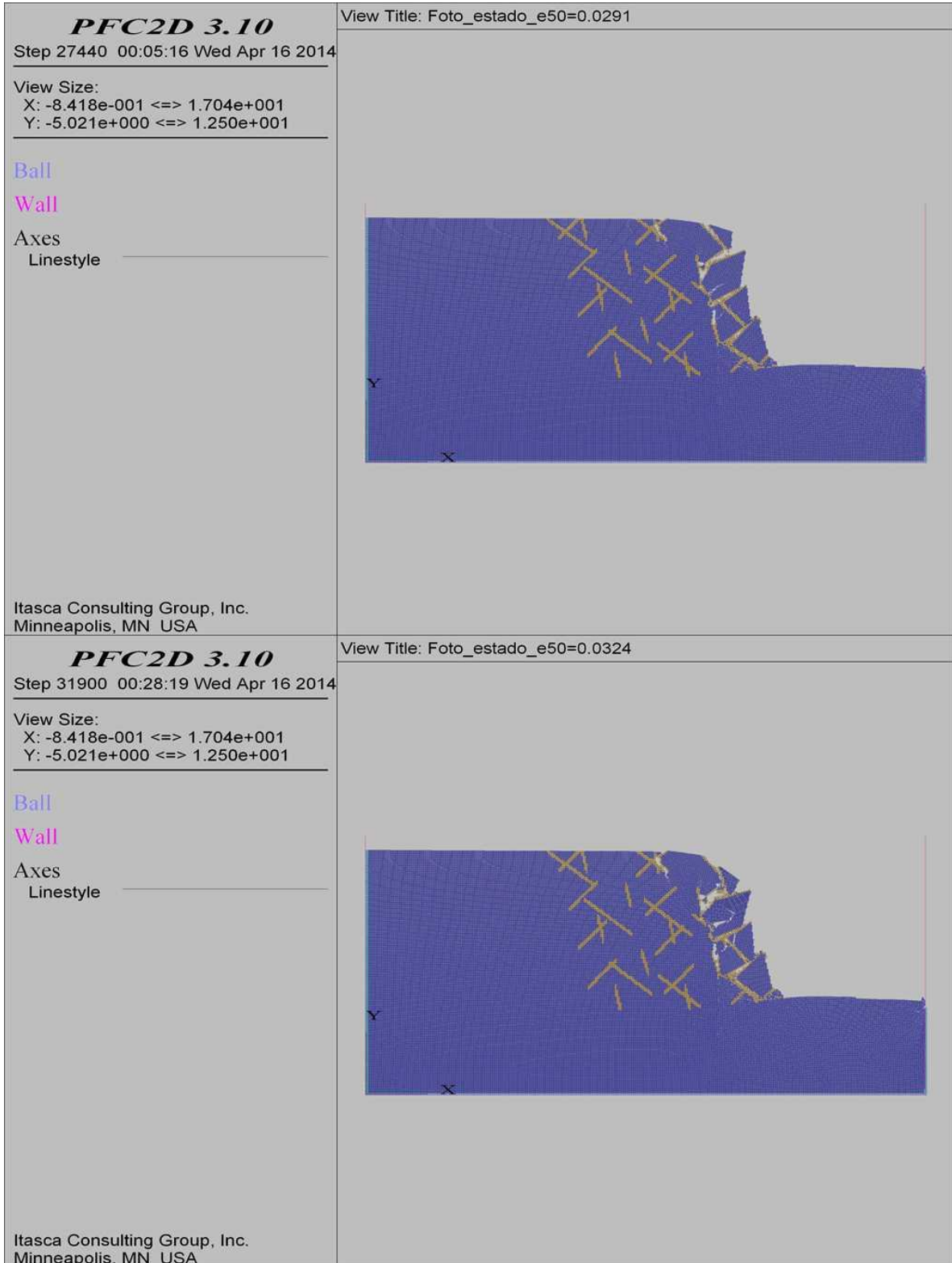
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



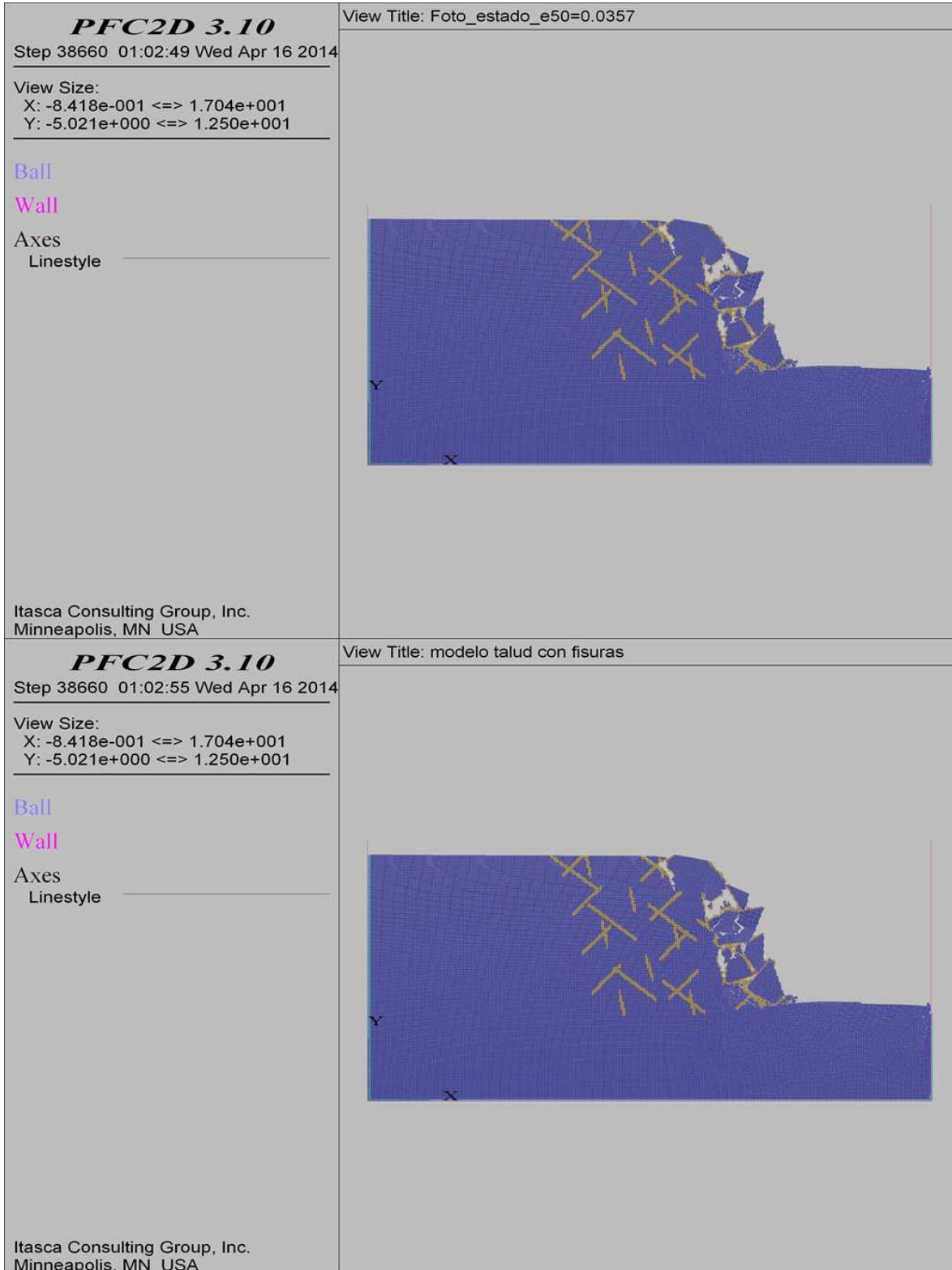
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



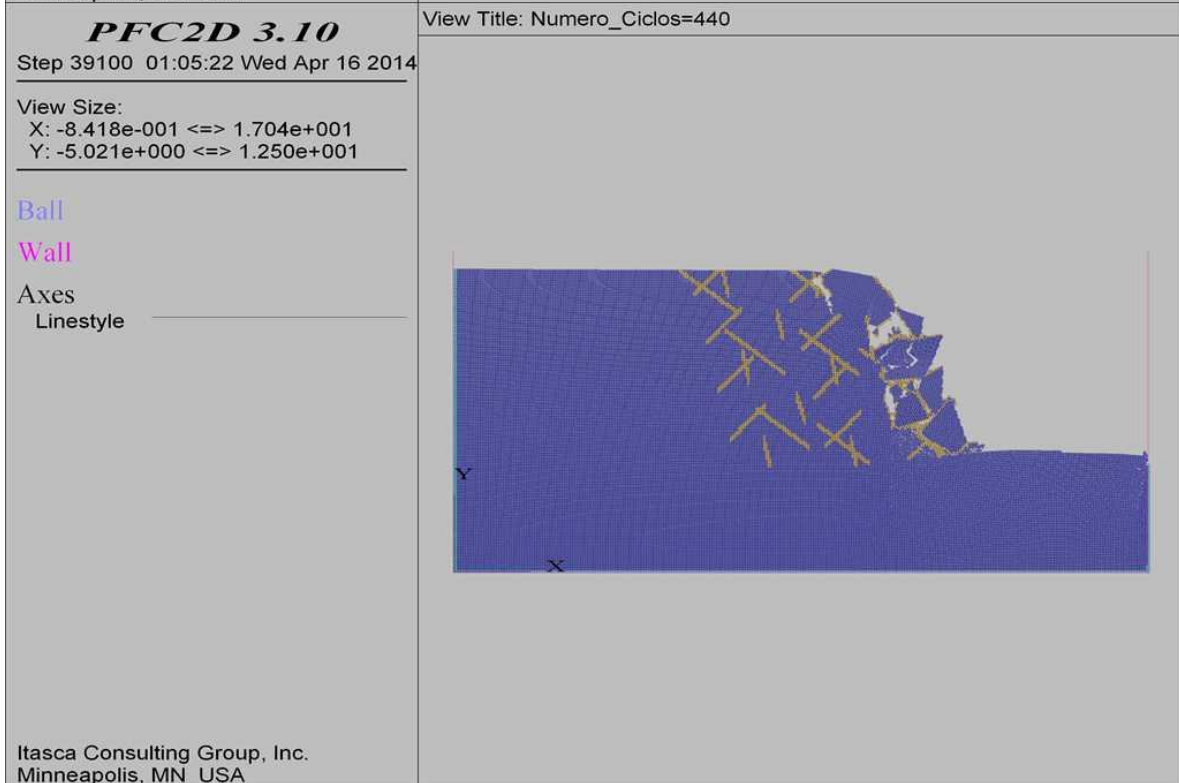
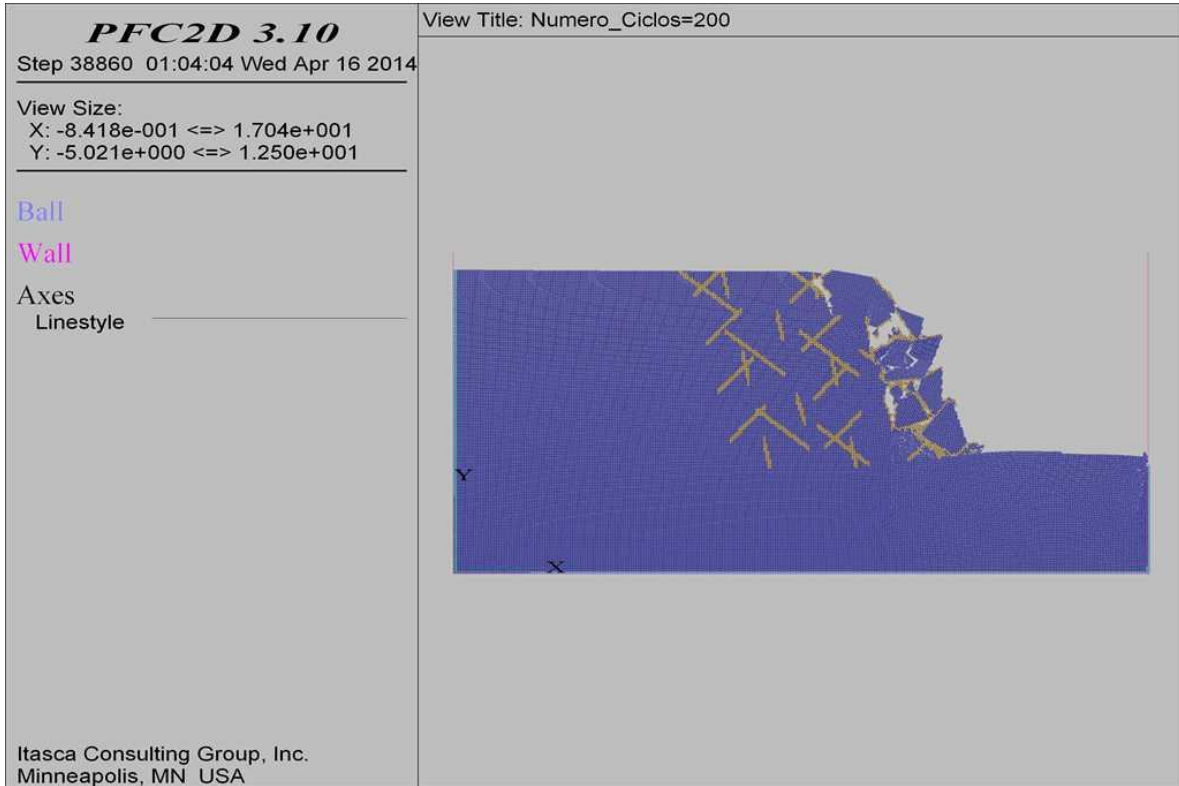
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



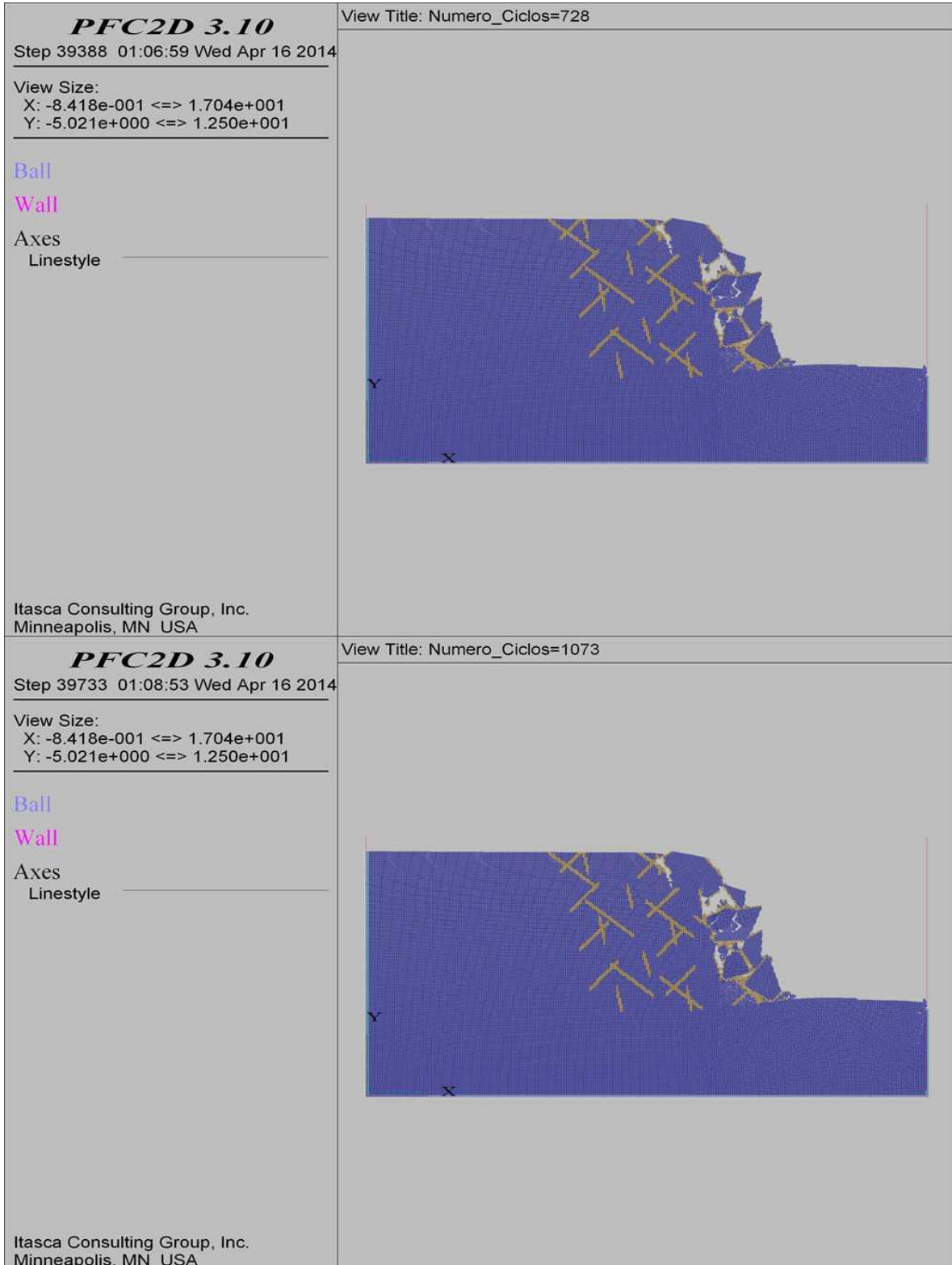
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



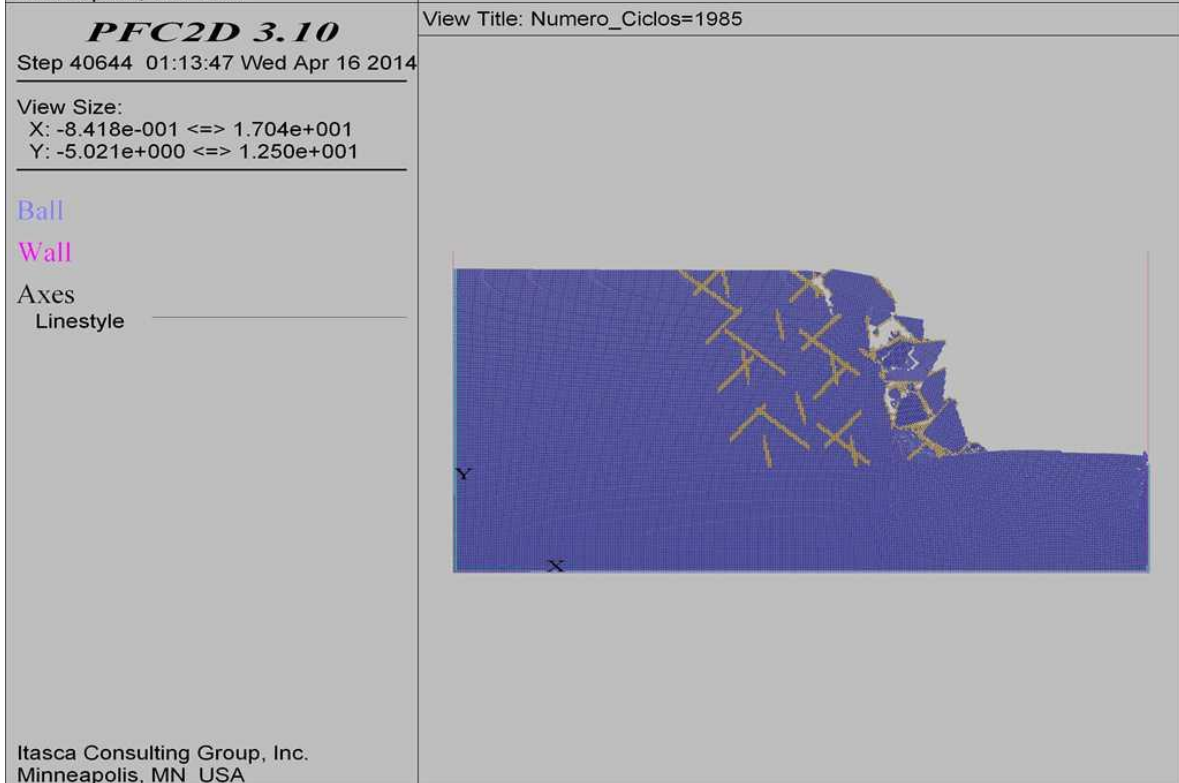
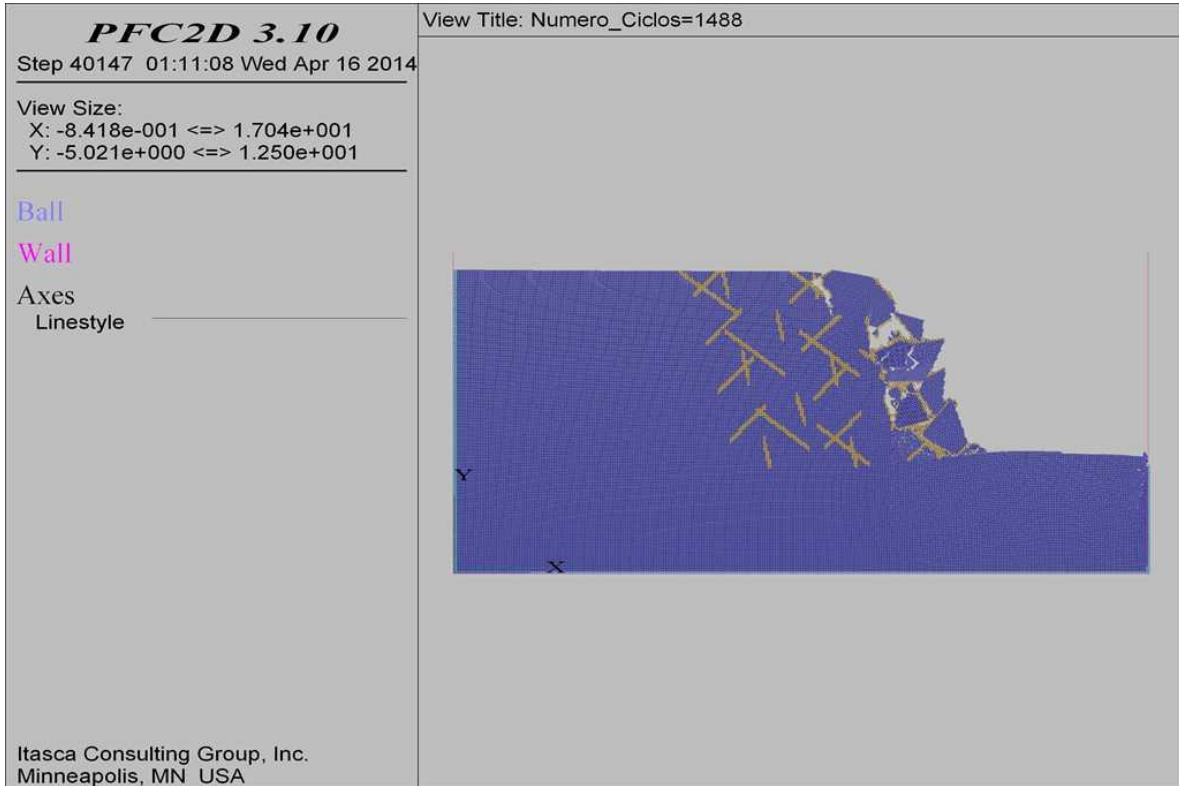
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



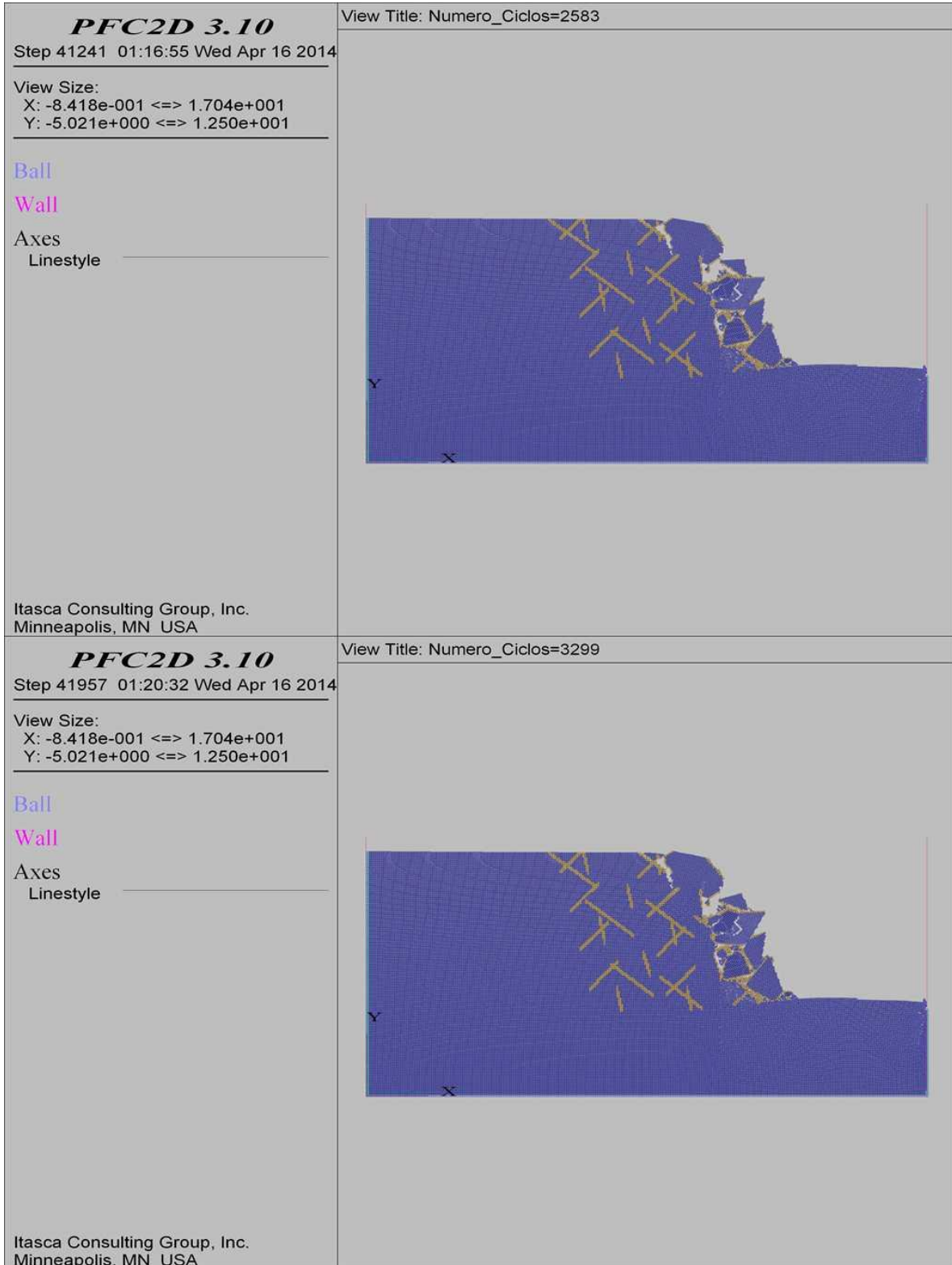
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



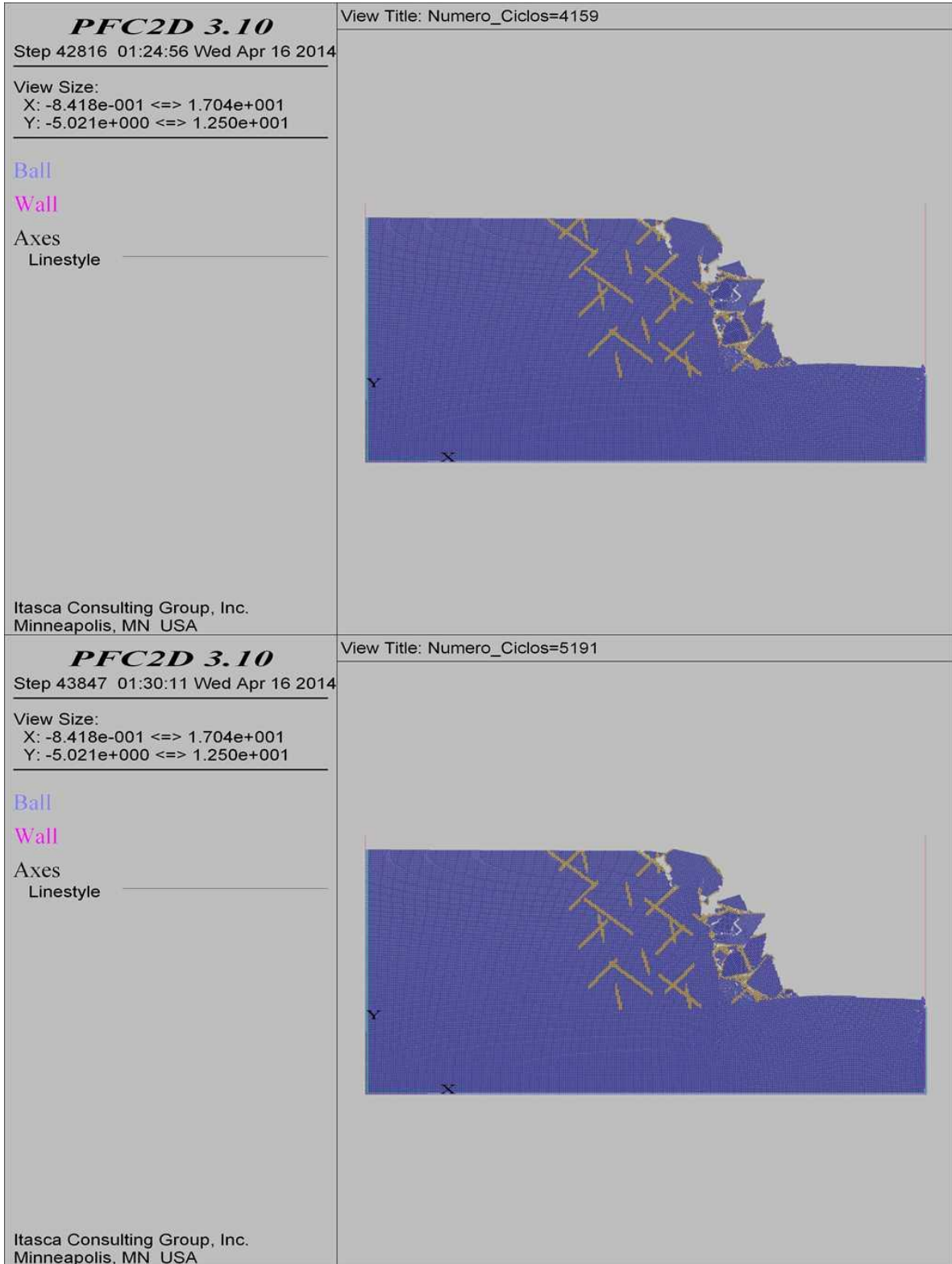
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



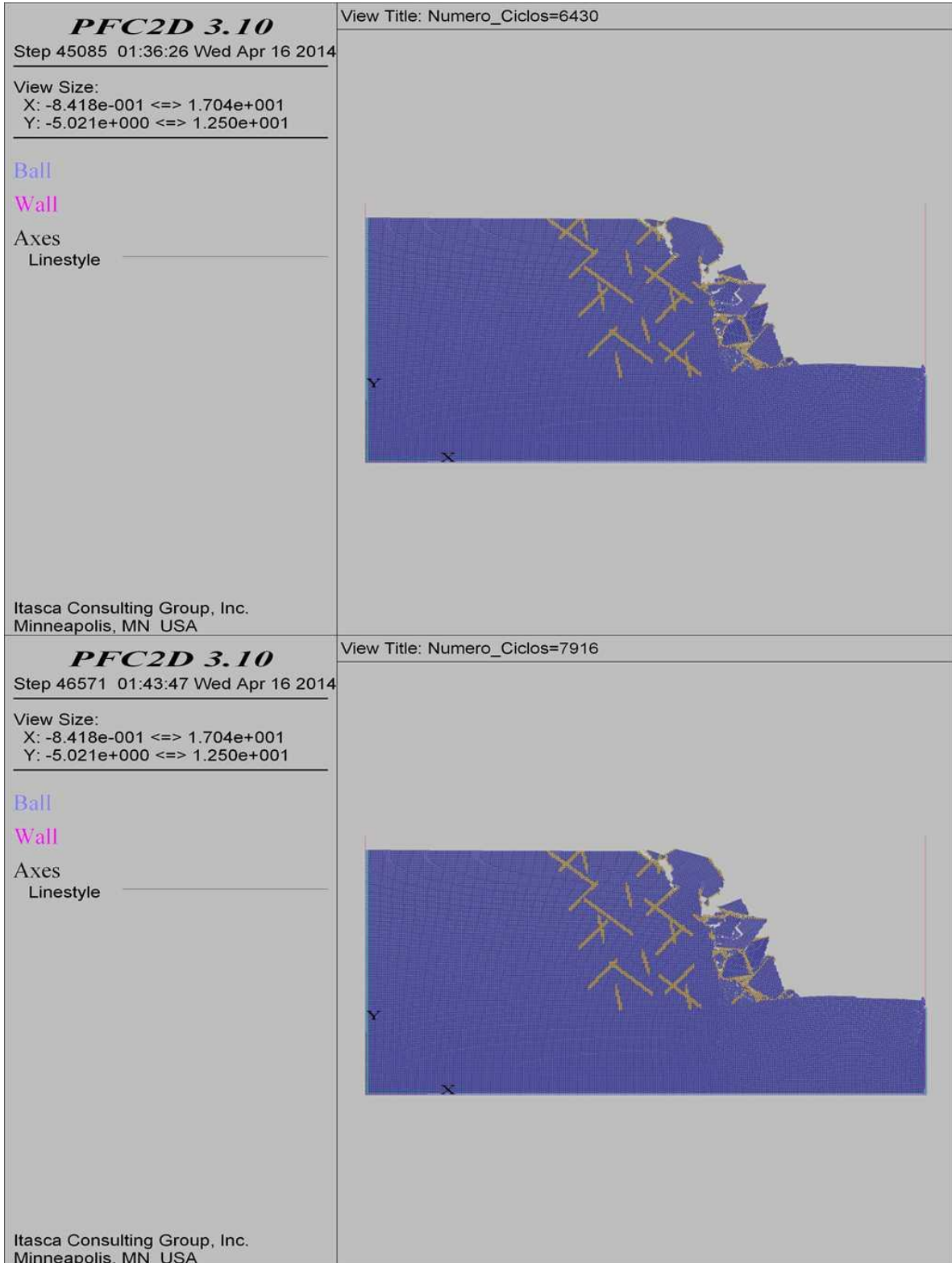
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



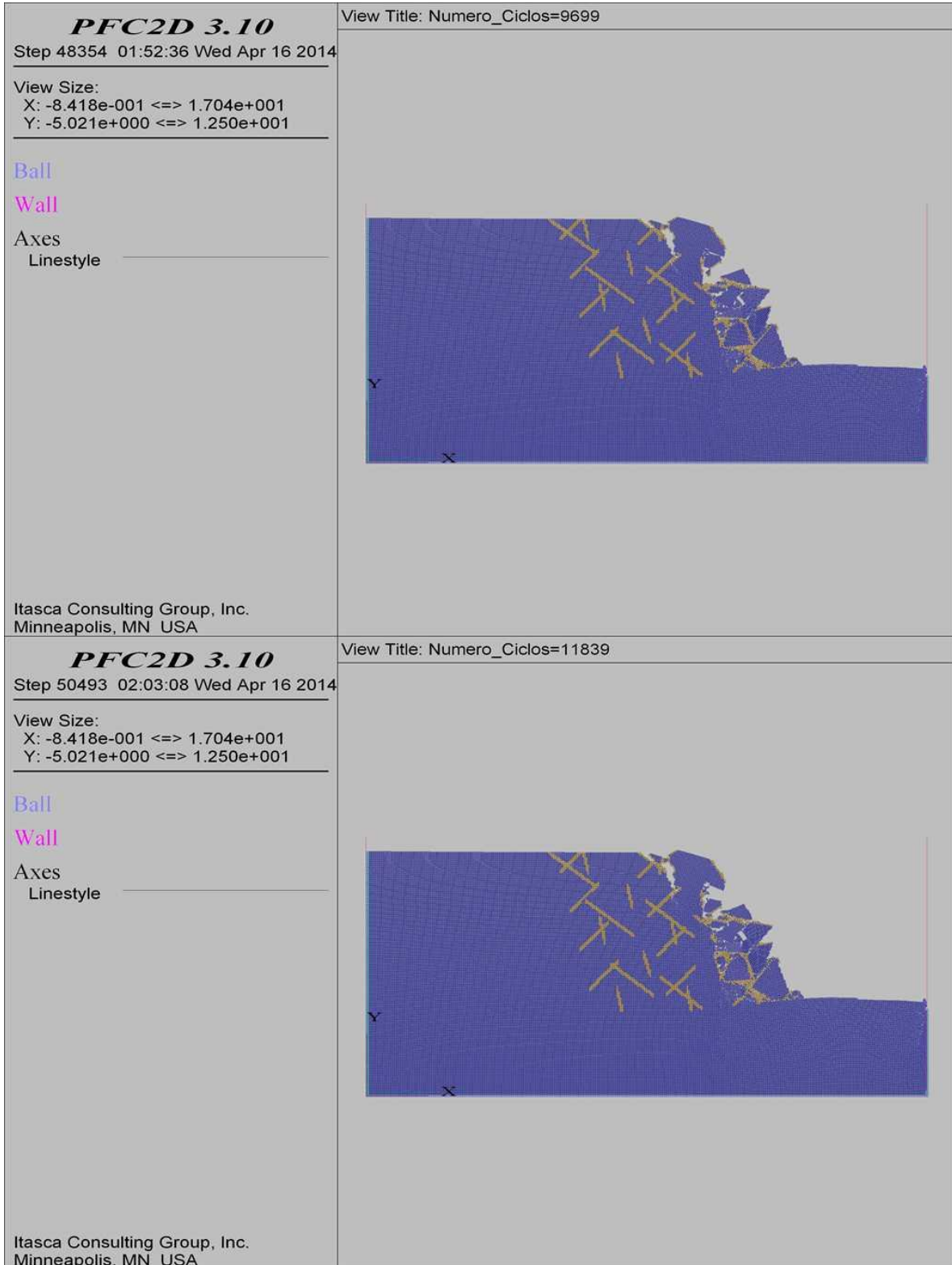
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



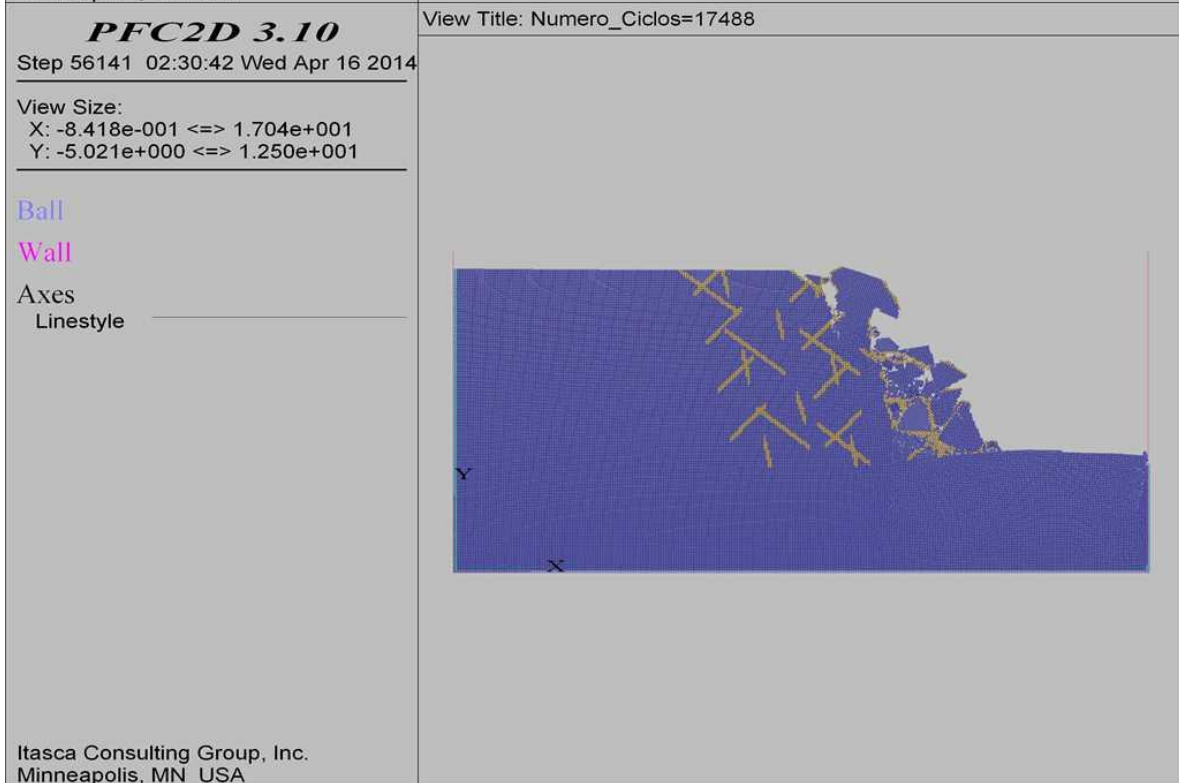
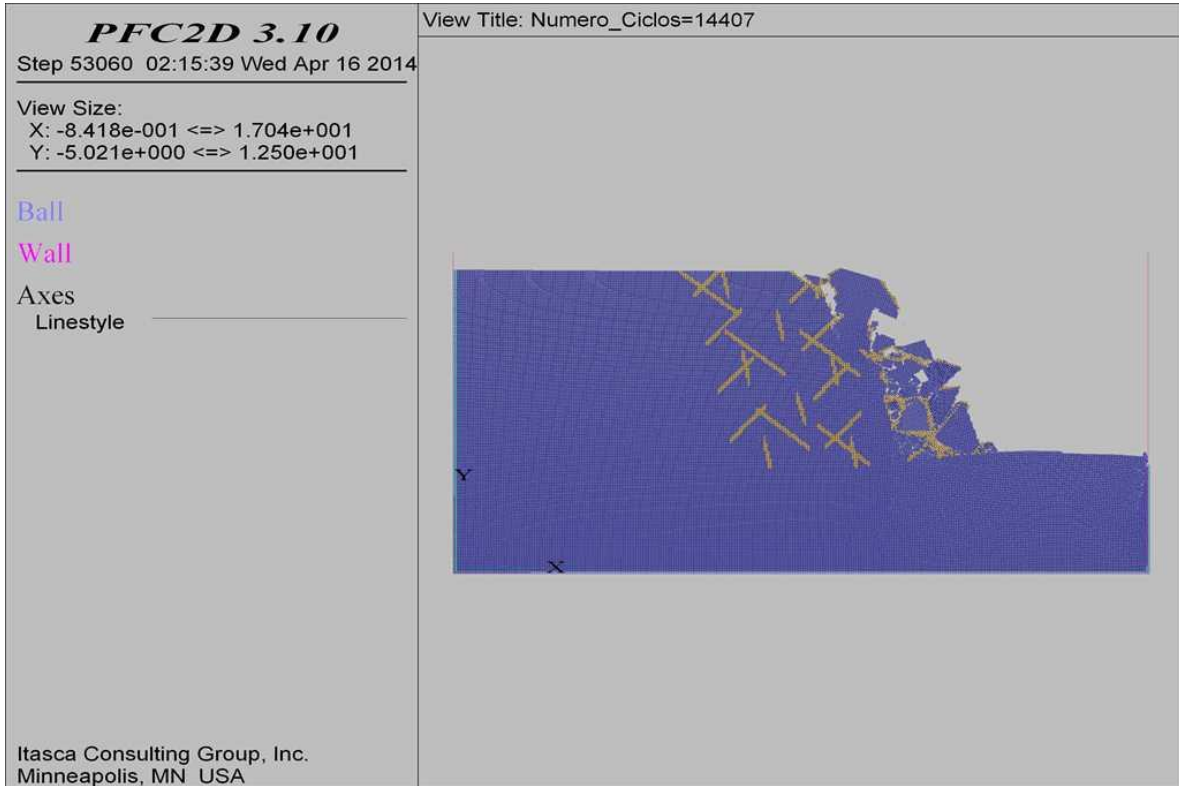
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



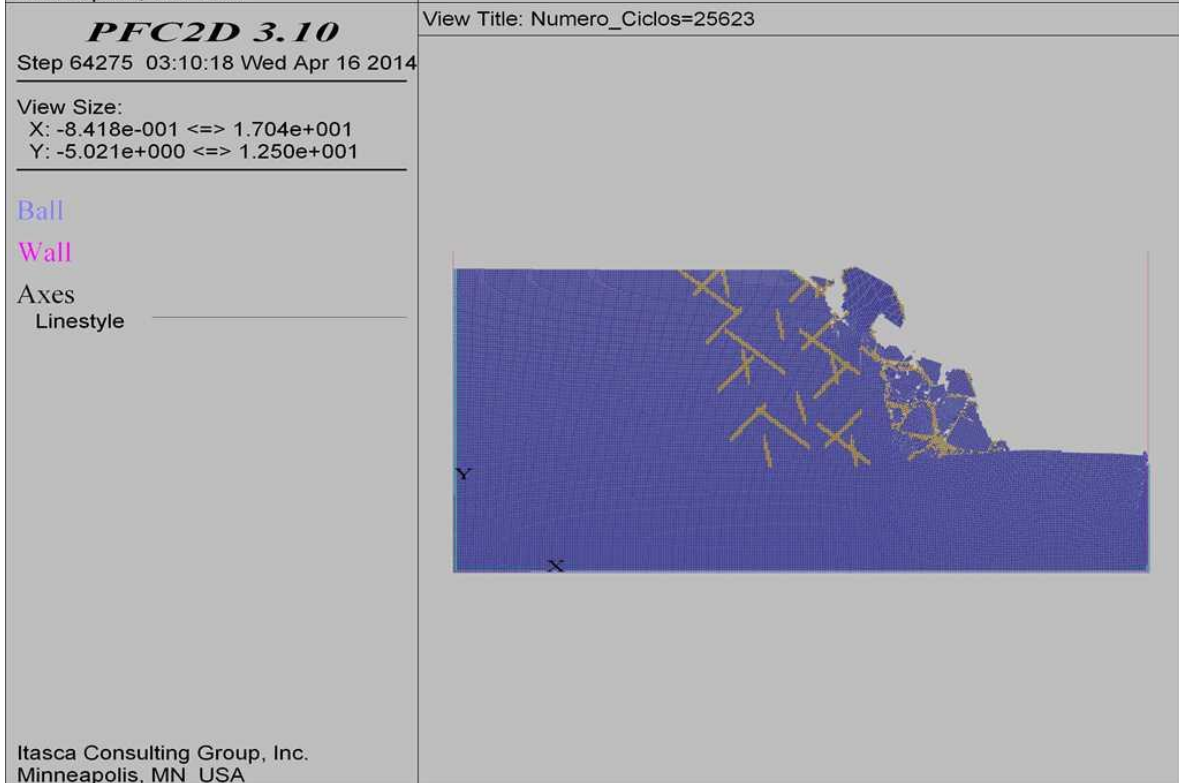
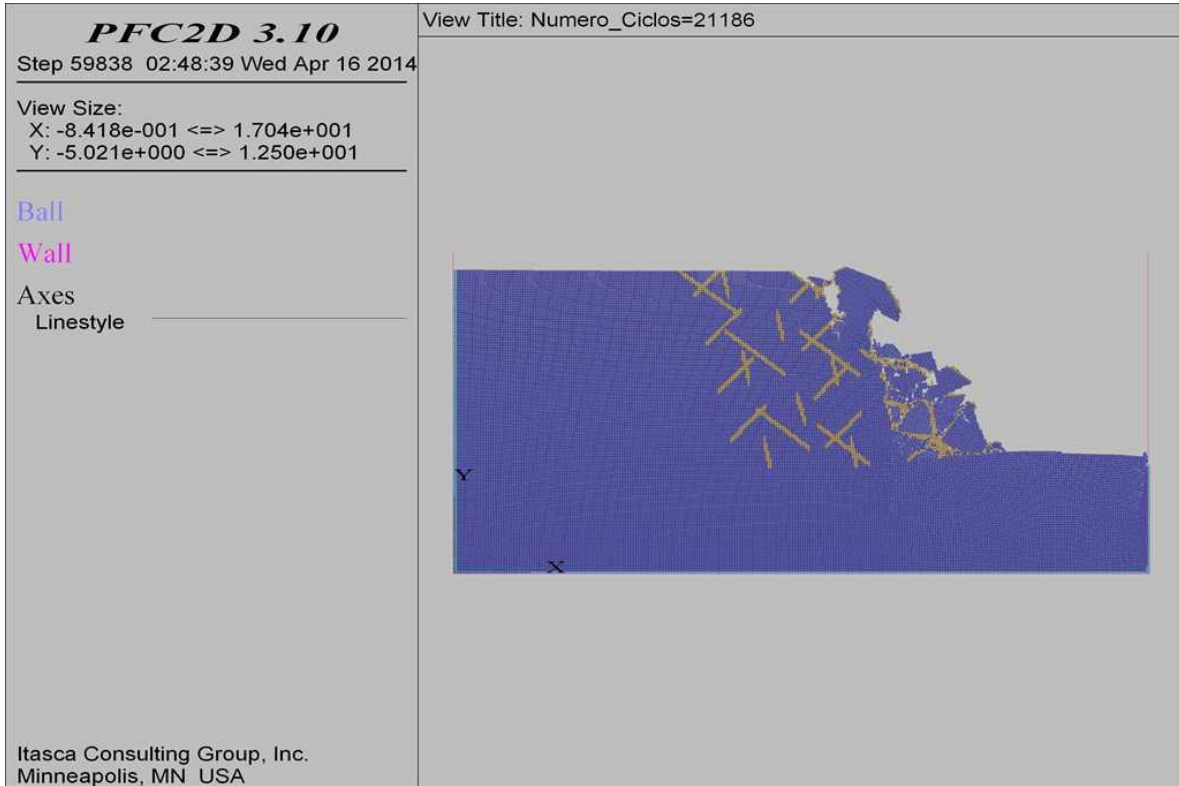
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



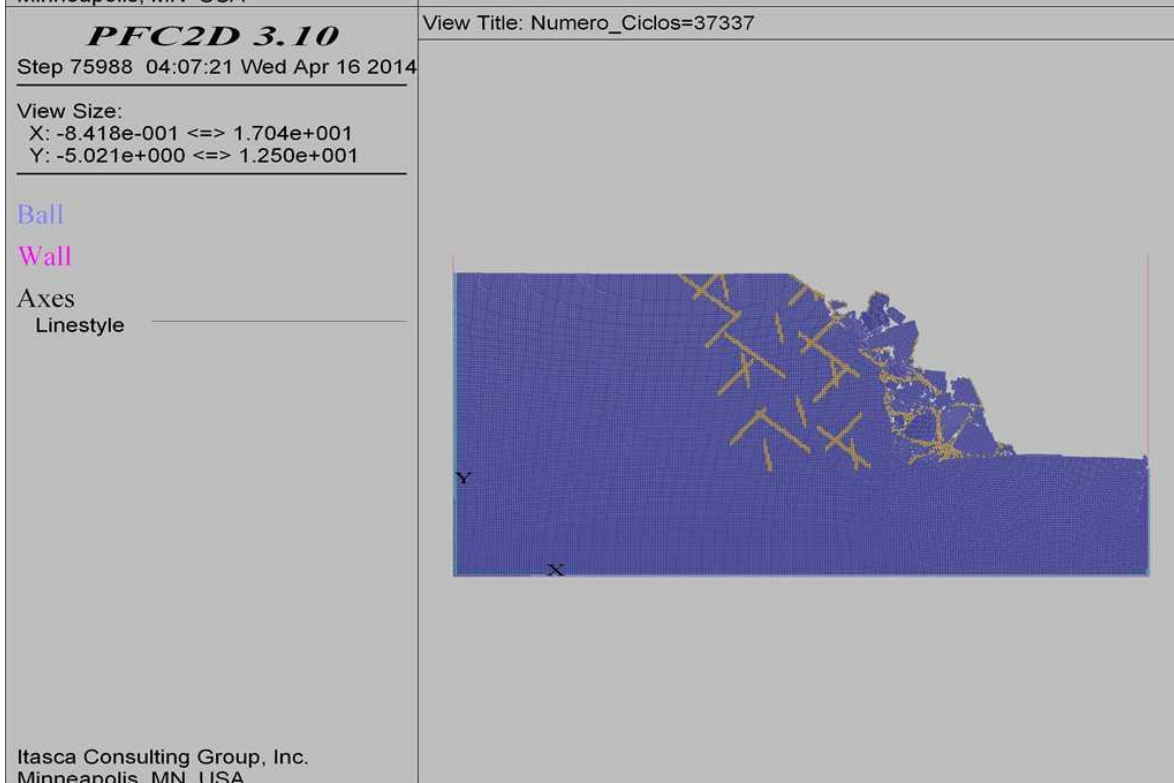
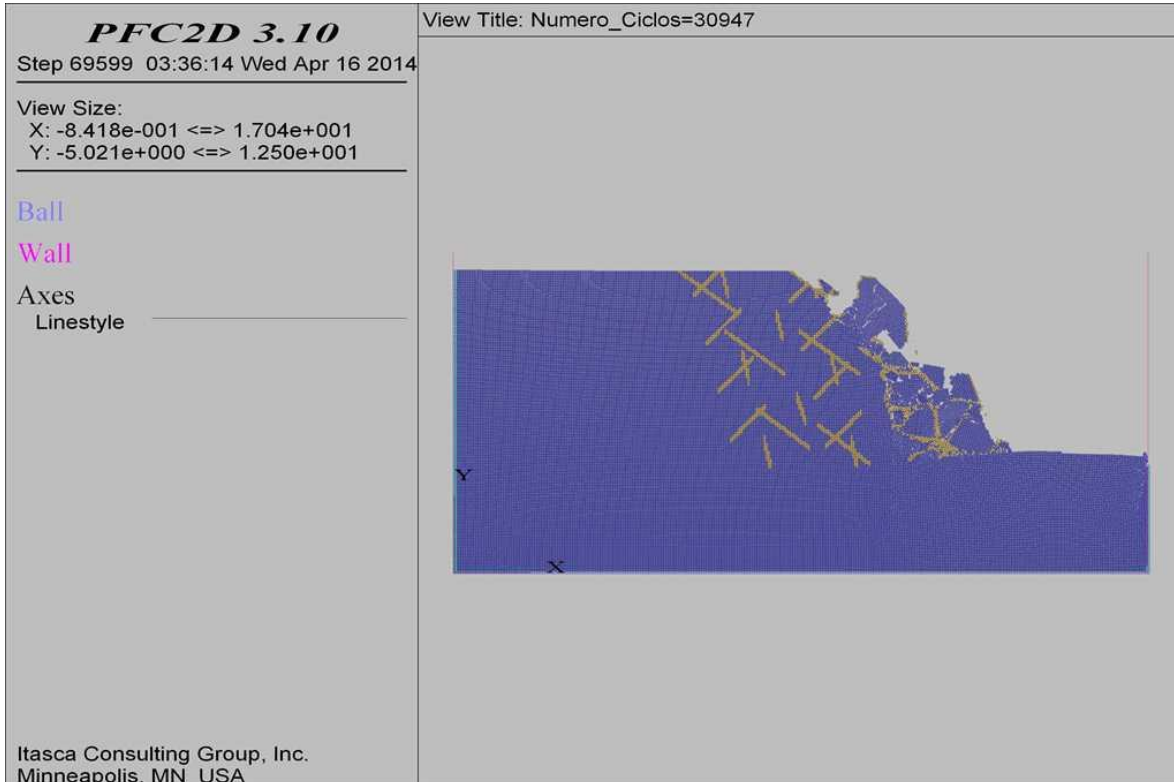
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



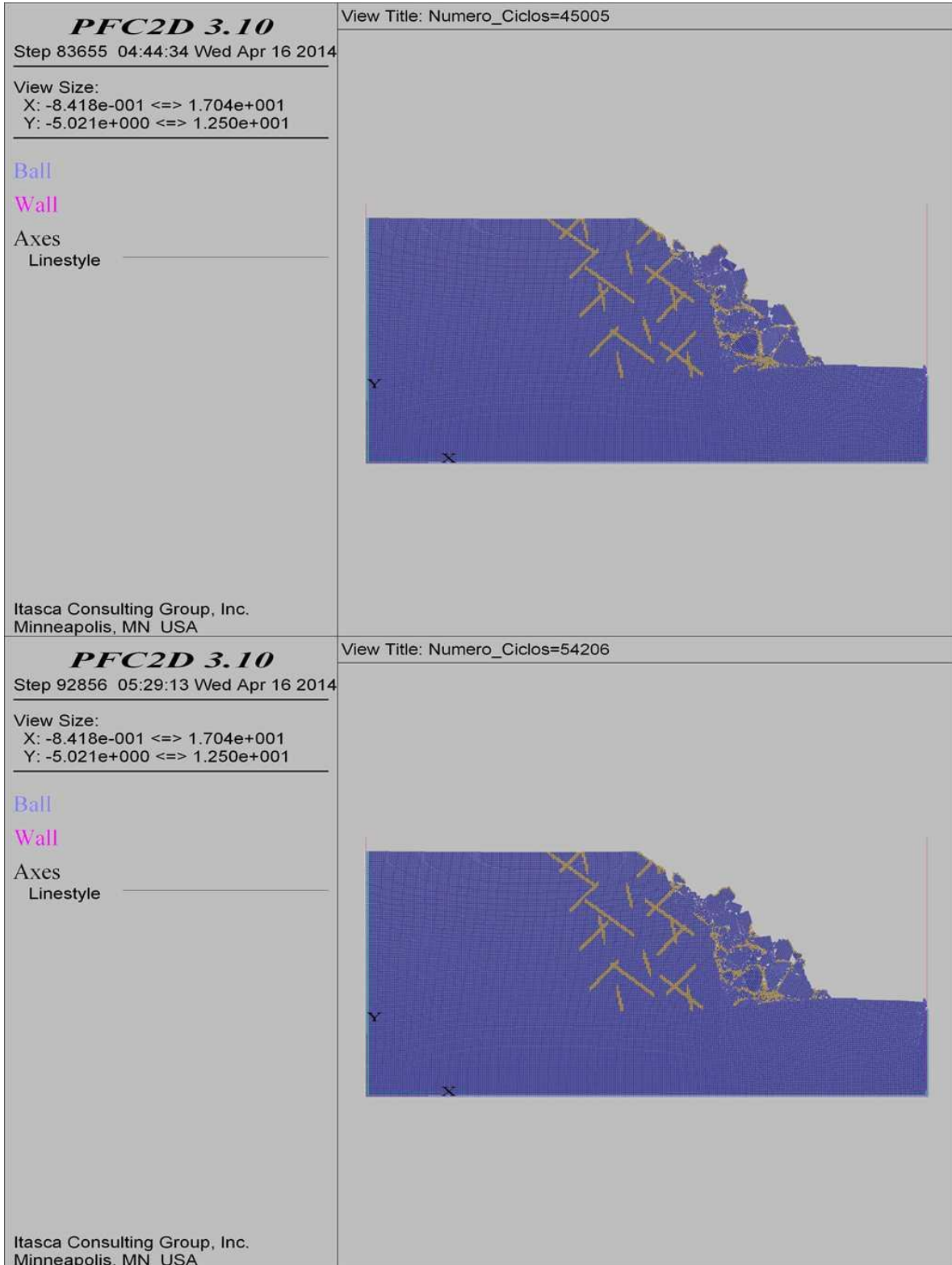
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



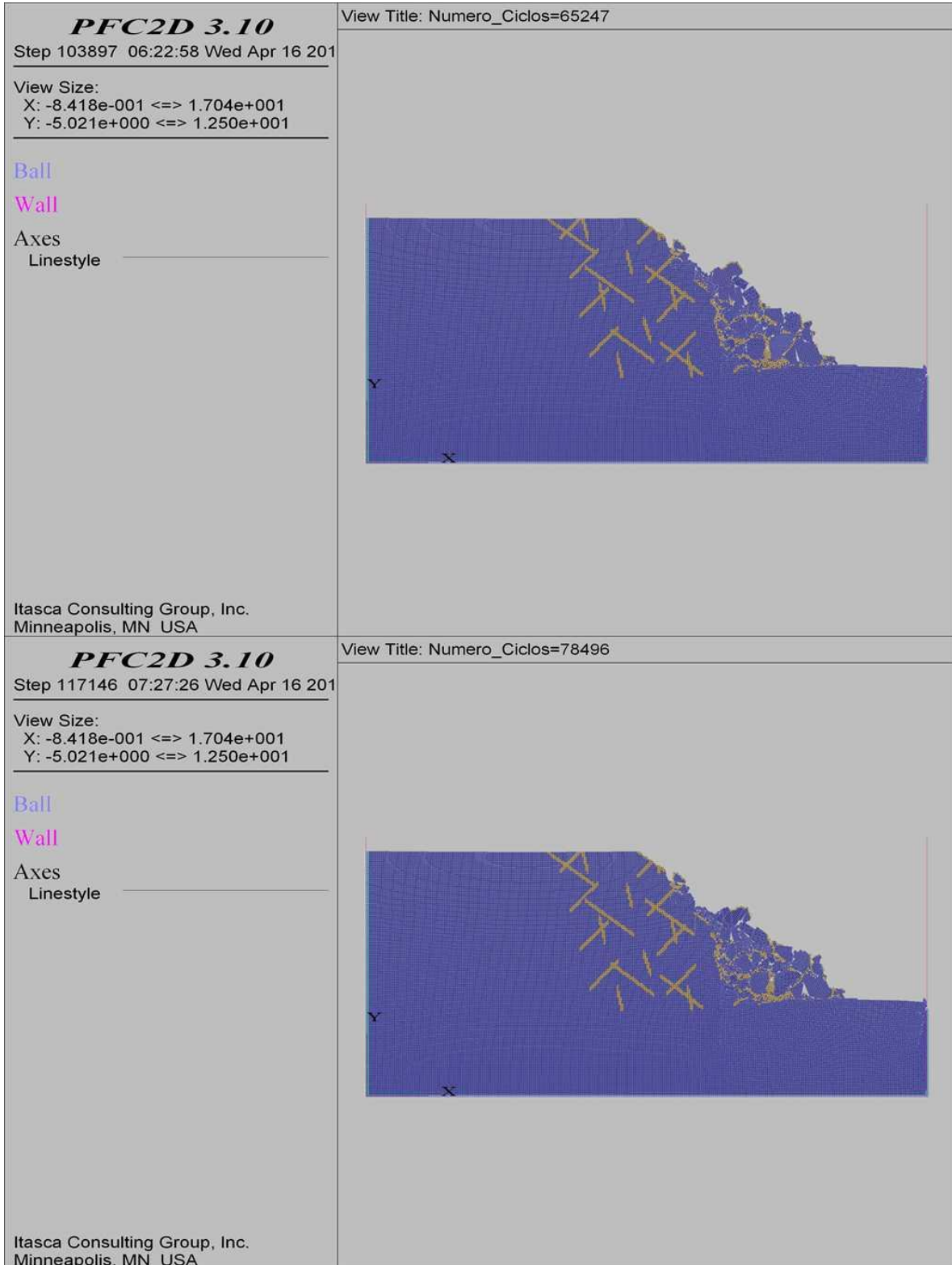
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



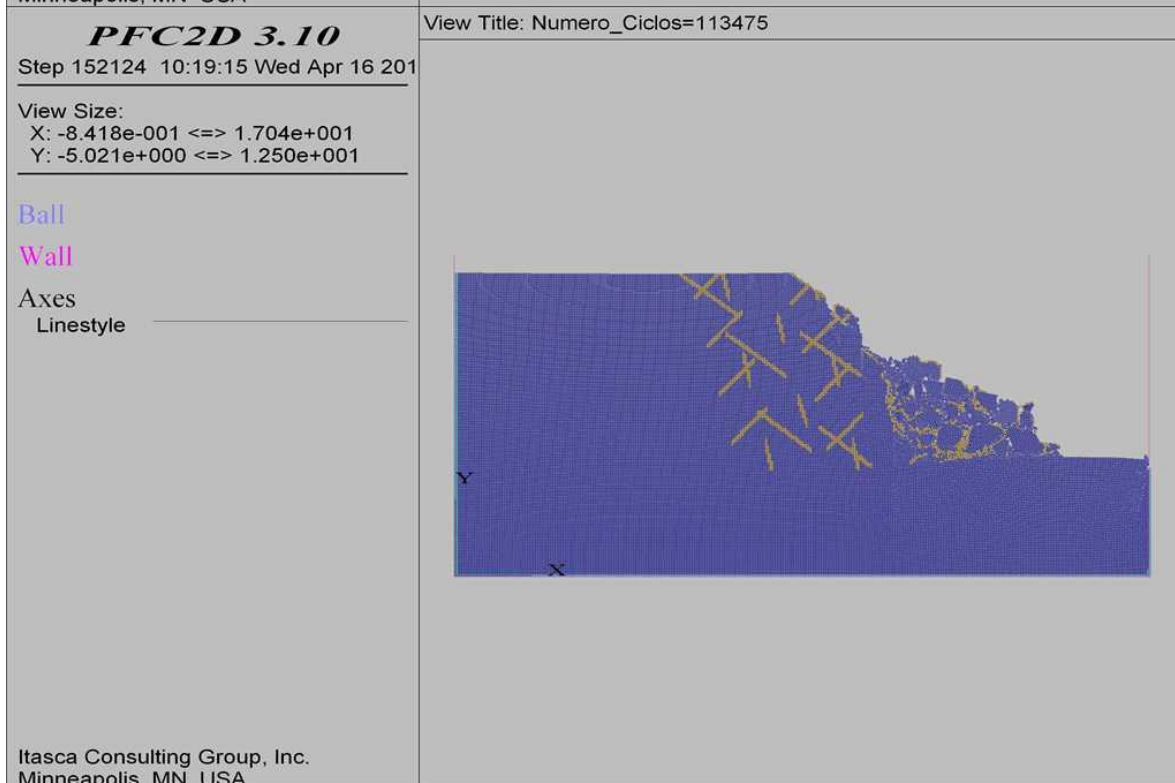
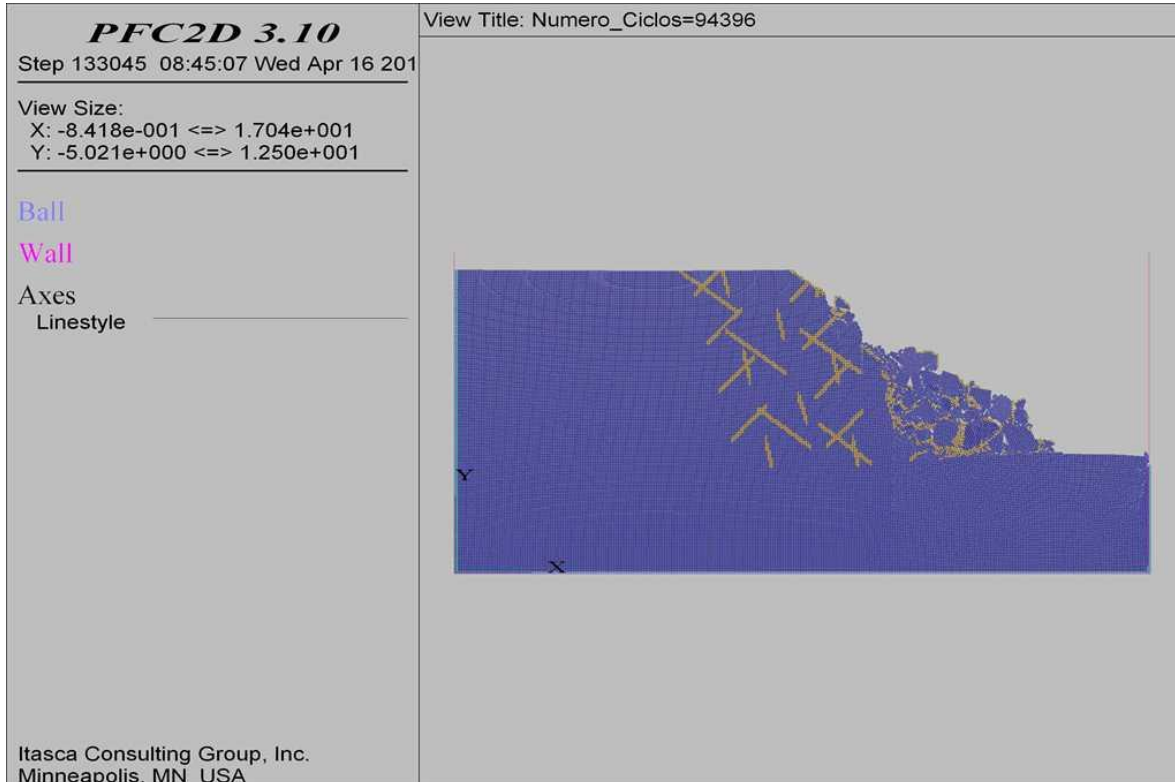
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



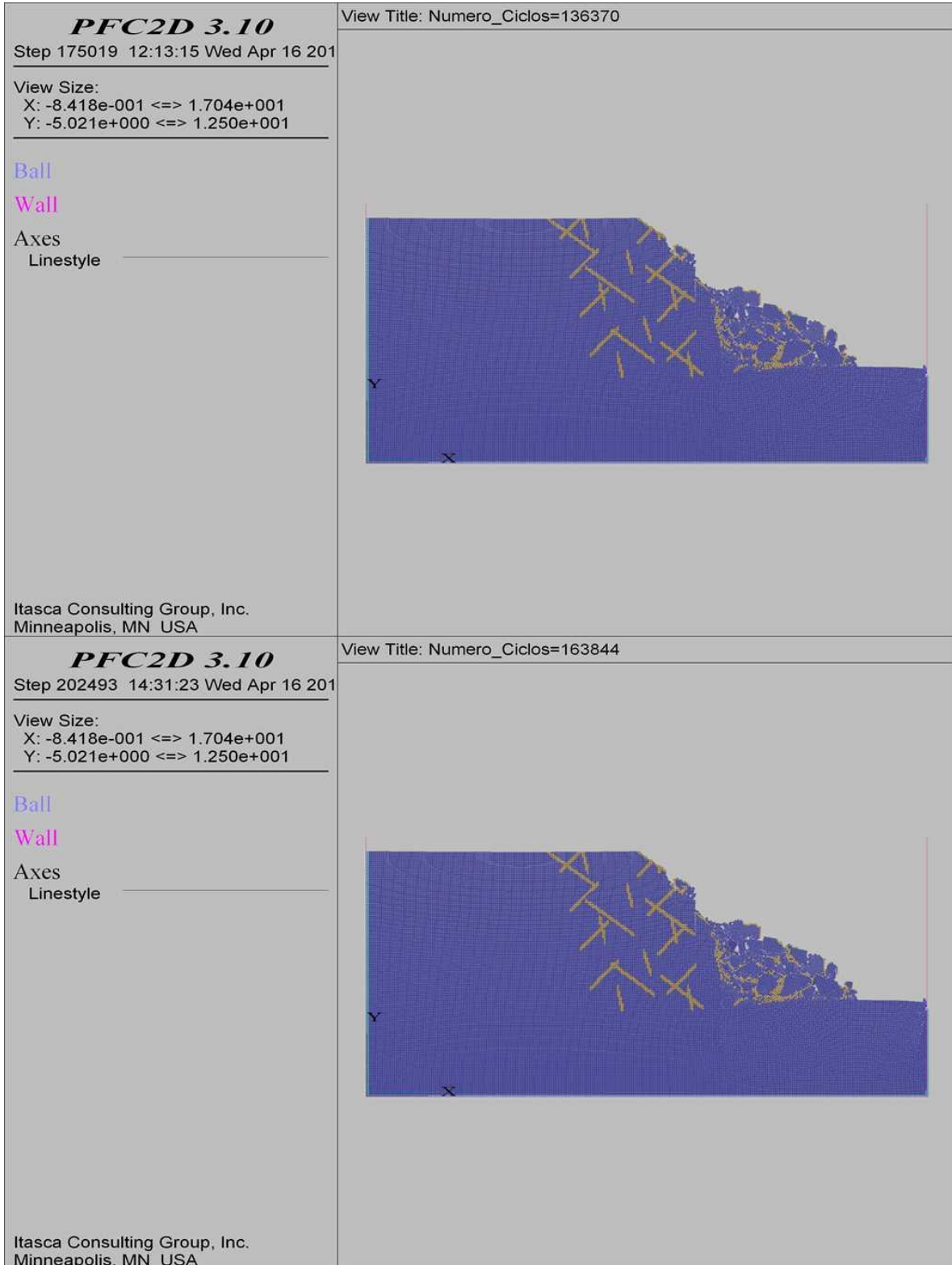
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



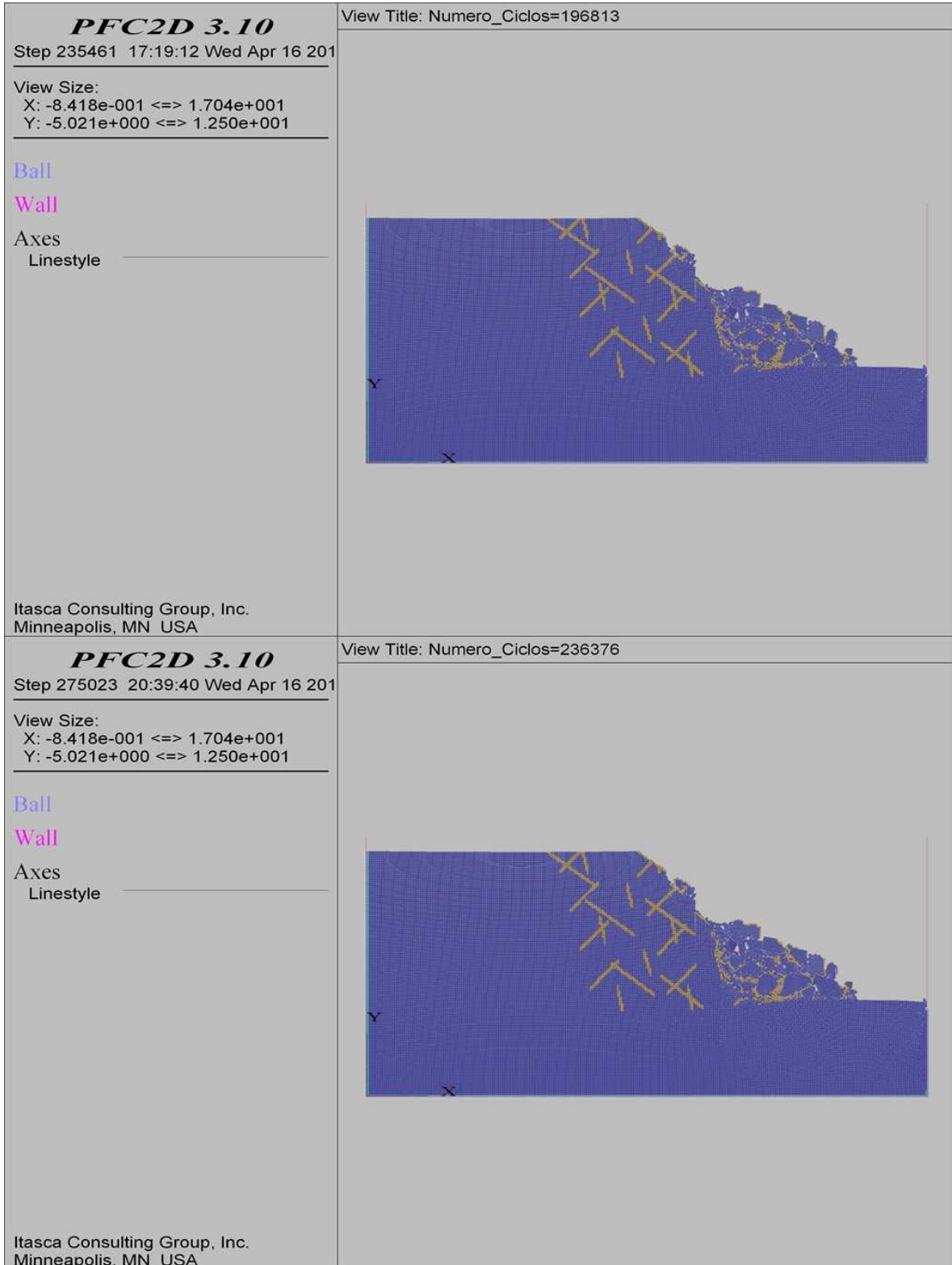
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.



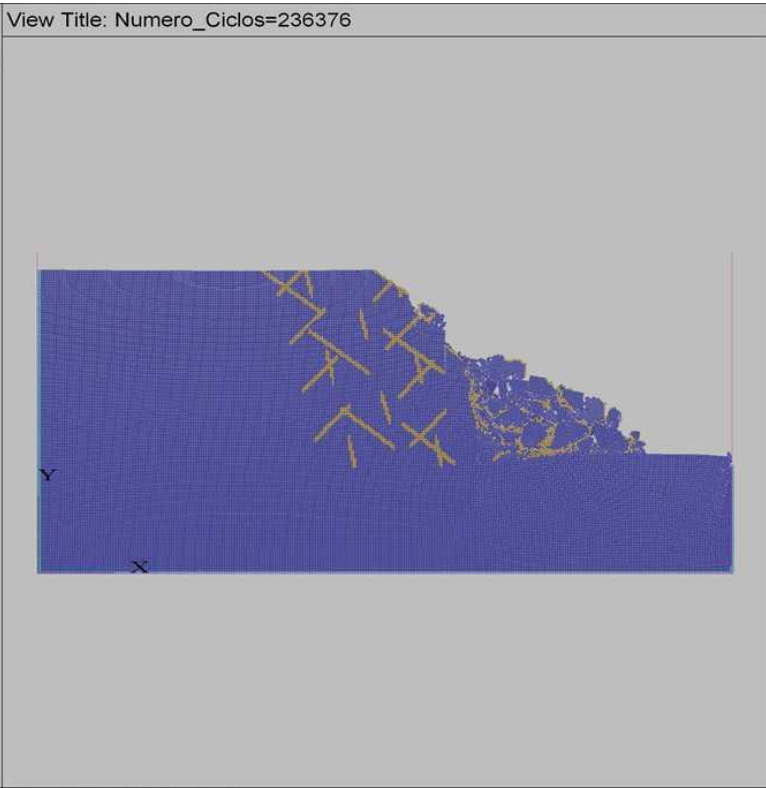
COMBINACIÓN 33: ORIENTACIÓN DE LAS FISURAS FAVORABLE, MEDIANAMENTE FAVORABLE Y DESFAVORABLE A LA ESTABILIDAD DEL TALUD, SEPARACIÓN DE LAS FISURAS 1.0 M Y PERSISTENCIA BAJA.

PFC2D 3.10
 Step 293425 22:14:19 Wed Apr 16 201

View Size:
 X: -8.418e-001 <=> 1.704e+001
 Y: -5.021e+000 <=> 1.250e+001

Ball
 Wall
 Axes
 Linestyle

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



PFC2D 3.10
 Step 293425 22:20:19 Wed Apr 16 201

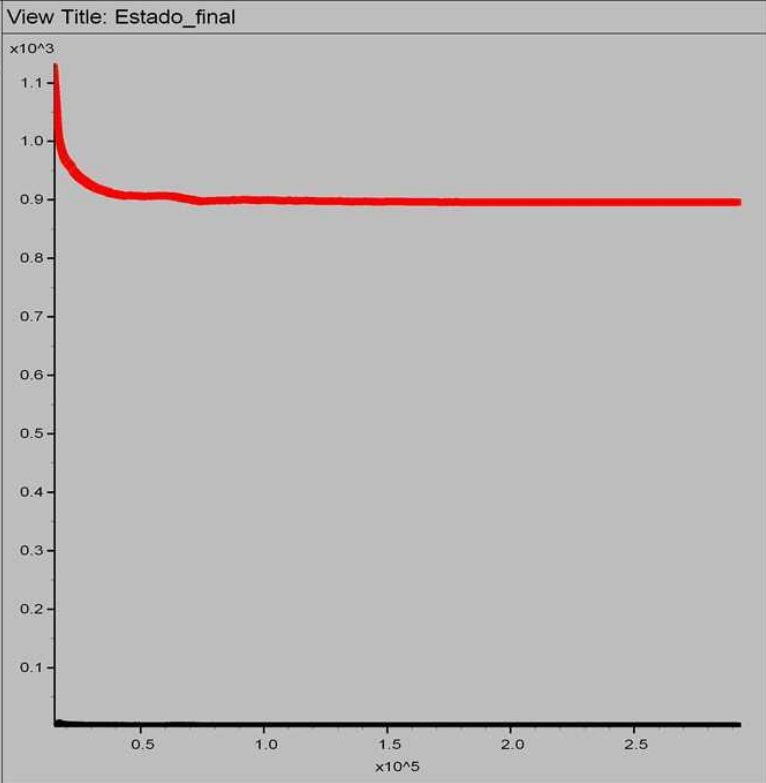
History

1 Mean Unbalanced Force
 Linestyle
 4.226e-010 <-> 6.014e+000

2 Mean Contact Force
 Linestyle
 8.960e+002 <-> 1.134e+003

Vs.
 Step
 1.501e+004 <-> 2.934e+005

Itasca Consulting Group, Inc.
 Minneapolis, MN USA



ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES (Licencia de uso)

Bogotá, D.C., JUNIO 15 DE 2014

Señores
Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.
Pontificia Universidad Javeriana
Cuidad

Los suscritos:

<u>CARLOS ANDRÉS BUENAHORA BALLESTEROS</u>	, con C.C. No	<u>91.110.825</u>
<u>LUZ STELLA BRAVO MOLINA</u>	, con C.C. No	<u>1.098.619.842</u>
_____	, con C.C. No	_____

En mi (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada:

ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE FALLA DE TALUDES EN GEOMATERIALES INTERMEDIOS (IGMs) MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS.

(por favor señale con una "x" las opciones que apliquen)
Tesis doctoral Trabajo de grado Premio o distinción: Sí No
cual: CANDIDATO A MEJOR TESIS

presentado y aprobado en el año 2014, por medio del presente escrito autorizo (autorizamos) a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	X	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	X	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados,

respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

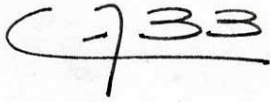

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: Información Confidencial:

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. Si No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
CARLOS ANDRÉS BUENAHORA BALESTEROS	91.110.825	
LUZ STELLA BRAVO MOLINA	1.098.619.842	

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO: MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL - ENFASIS GEOTECNIA

ANEXO 3
BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO
FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO						
ANÁLISIS DE LOS MECANISMOS DE FALLA DE TALUDES EN GEOMATERIALES INTERMEDIOS (IGMs) MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS.						
SUBTÍTULO, SI LO TIENE						
AUTOR O AUTORES						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
BRAVO MOLINA			LUZ STELLA			
BUENAHORA BALLESTEROS			CARLOS ANDRÉS			
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
OCAMPO TERREROS			MANUEL SANTIAGO			
FACULTAD						
INGENIERA						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa (seleccione con "x")						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
		X				
Nombre del programa académico						
MAESTRIA EN INGENIERA CIVIL - ENFASIS GEOTECNIA						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
LUIS FELIPE PRADA SARMIENTO						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
CANDIDATO A MEJOR TESIS DE GRADO						
CIUDAD		AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO			NÚMERO DE PÁGINAS	
BOGOTÁ		2014			153	
TIPO DE ILUSTRACIONES (seleccione con "x")						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		X				
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
<p>Nota: En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						

MATERIAL ACOMPAÑANTE					
TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. <i>(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo biblioteca@javeriana.edu.co, donde se les orientará).</i>					
ESPAÑOL			INGLÉS		
IGMs			IGMS		
DEM			DEM		
FISURAS			FISSURES		
MECANISMO DE FALLA			FAILURE MECHANISM		
TALUDES			SLOPES		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS					
(Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>Los mecanismos de falla en taludes en Geomateriales Intermedios (IGMs), los cuales hacen referencia a materiales de transición entre suelo y roca, no son bien comprendidos desde el punto de vista del continuo, pues no representa adecuadamente el desarrollo y la propagación de fisuras producto de su degradación. El presente estudio busca representar y analizar los mecanismos de falla en taludes en IGMs mediante el método de Elementos Discretos (DEM). Utilizando como referencia taludes de la concesión vial Briceño Tunja - Sogamoso. Las simulaciones se realizaron mediante la herramienta computacional PFC-2D[®]; la geometría del talud se mantuvo constante en altura y pendiente y se varió la orientación, persistencia y la separación de las fisuras. Como resultado de la investigación se obtuvo una rutina de programación, la cual permitió representar y analizar los mecanismos de falla en IGMs y dónde se puede observar la evolución de la falla. Se observó que la orientación de las fisuras condiciona el mecanismo de falla del talud; los resultados de los modelos se acercan más a los modos de falla observados en campo, en los taludes revisados. El uso del DEM en este estudio muestra su potencialidad para ser usado en los análisis de degradación de cortes en este tipo de materiales, sin embargo, los resultados dependerán de la buena calibración de los parámetros del modelo.</p>					