

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Evaluación de riesgos en la estabilidad de taludes de la Costa Verde

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería Civil con mención en Gestión de Riesgos Naturales que presenta:

Rita Clara Moreno Rondoy

Asesor:

Renzo Vihelmo Ayala Alarco

Lima, 2022

RESUMEN

Los taludes de la Costa Verde están ubicados entre los distritos de San Miguel y Chorrillos en Lima. Esta zona presenta gran afluencia de personas, cuenta con edificaciones en la parte superior y, al pie, se ubica el circuito vehicular de playas. El problema radica en que continuamente ocurren deslizamientos que pueden ocasionar accidentes. Además, Lima se encuentra en una región altamente sísmica, lo cual agrava el problema. Tradicionalmente, para analizar la estabilidad de un talud, se emplean métodos determinísticos mediante los cuales se obtiene un factor de seguridad. Sin embargo, existe el enfoque probabilístico, el cual incorpora la incertidumbre de los parámetros involucrados y determina la probabilidad de falla. La presente tesis tiene por objetivo analizar el riesgo en la estabilidad de los taludes de la Costa Verde considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo. El estudio abarca 23 secciones distribuidas a lo largo de los taludes de la Costa Verde, analizando dos casos: estático y pseudoestático. El factor de seguridad es determinado mediante el método de equilibrio límite (método de Spencer) y la probabilidad de falla, mediante el análisis de Monte Carlo. Se concluye que la mayoría de secciones (10) tienen un nivel de riesgo bajo; 6, un riesgo medio; 6, un riesgo alto; y 1, un riesgo muy alto. Además, se presenta al banqueteo como una solución convencional de estabilización. Al comparar los costos de rehabilitación y de riesgo, se concluye que es más económico realizar la estabilización a afrontar las consecuencias del riesgo.

Palabras clave: deslizamientos, talud, Costa Verde, riesgo, análisis determinístico, análisis probabilístico, método de Spencer, Monte Carlo.

ABSTRACT

The slopes of the Costa Verde are located between the districts of San Miguel and Chorrillos in Lima. This area has a large influx of people, it has buildings in the upper part and the beach vehicular circuit is at the bottom. The problem is that landslides continually occur and can lead to accidents. Furthermore, Lima is located in a highly seismic zone, which aggravates the problem. Traditionally, deterministic methods are used to analyze the stability of a slope, and by them a safety factor can be obtained. However, there is also the probabilistic approach, which incorporates the uncertainty of the parameters involved and determines the probability of failure. This thesis aims to analyze the risk in the stability of the slopes of the Costa Verde considering the variability of the soil resistance parameters. The study covers 23 sections distributed along the slopes of the Costa Verde by analyzing two cases: static and pseudo-static. The safety factor is determined by the limit equilibrium method (Spencer's method) and the failure probability by Monte Carlo analysis. It is concluded that most sections (10) have a low level of risk; 6, a medium risk; 6, a high risk; and 1, a very high risk. In addition, the setting of slope benches is presented as a conventional stabilization solution. When comparing the costs of rehabilitation and risk, it is concluded that it is cheaper to carry out the stabilization than to deal with the consequences of the risk.

Key words: landslides, slope, Costa Verde, risk, deterministic analysis, probabilistic analysis, Spencer's method, Monte Carlo.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	7
1.3. Objetivos.....	11
1.4. Metodología.....	12
1.5. Descripción breve de los capítulos.....	13
2. ASPECTOS GENERALES DE LOS TALUDES DE LA COSTA VERDE.....	15
2.1. Descripción de la zona.....	15
2.2. Clima.....	16
2.2.1. Temperatura.....	17
2.2.2. Humedad.....	17
2.2.3. Precipitaciones.....	18
2.2.4. Vientos y nubosidad.....	19
2.3. Geología.....	19
2.3.1. Litología de la zona.....	20
2.3.2. Formaciones geológicas.....	20
2.4. Geotecnia.....	22
2.4.1. Aspectos generales.....	22
2.4.2. Material Grueso.....	23
2.4.3. Material Fino.....	25
2.5. Sismicidad.....	26
3. MARCO TEÓRICO.....	28
3.1. Estudios previos.....	28
3.2. Métodos determinísticos.....	29
3.2.1. Factor de seguridad.....	29
3.2.2. Equilibrio límite.....	30
3.2.3. Elementos finitos.....	34
3.3. Métodos probabilísticos.....	34

3.3.1.	Conceptos generales de probabilidades	35
3.3.2.	Distribuciones probabilísticas	36
3.3.3.	Confiabilidad y probabilidad de falla en la estabilidad de taludes.....	39
3.3.4.	Métodos para estimar desviaciones estándar	40
3.3.5.	Métodos para estimar la desviación estándar del factor de seguridad ...	41
3.3.6.	Métodos para obtener la probabilidad de falla	42
3.3.7.	Riesgo	45
4.	MÉTODO PARA OBTENER LA PROBABILIDAD DE FALLA ANUAL	50
5.	DETERMINACIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD, PROBABILIDAD DE FALLA Y PROBABILIDAD DE FALLA ANUAL.....	57
5.1.	Elección de secciones	57
5.2.	Especificaciones para el análisis	59
5.3.	Resultados de factores de seguridad y probabilidad de falla	60
5.4.	Interpretación de resultados	64
6.	EVALUACIÓN DEL RIESGO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES.....	79
6.1.	Costos de rehabilitación.....	79
6.2.	Costo del riesgo.....	82
6.3.	Interpretación de resultados	87
6.3.1.	Rehabilitación	87
6.3.2.	Sobre el riesgo	88
6.3.3.	Soluciones recomendadas.....	94
7.	ENFOQUE SEMIEMPÍRICO SEGÚN METODOLOGÍA DE SILVA et al. (2008) ¹⁰⁰	
8.	CONCLUSIONES	108
9.	RECOMENDACIONES.....	112
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	ANEXOS	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre factores de seguridad y probabilidad de falla para distintas categorías de estructuras de tierra.....	5
Figura 2: Matrices para factores de seguridad mínimos.....	6
Figura 3: Métodos empleados en tesis de estabilidad de taludes de la Costa Verde	9
Figura 4: Variación de la cohesión de material grueso en la Costa Verde.....	10
Figura 5: Variación del ángulo de fricción de material grueso en la Costa Verde.....	11
Figura 6: Esquema de la metodología a emplear.....	13
Figura 7: Sección transversal de la Costa Verde	15
Figura 8: Temperatura mensual máxima, mínima y promedio de enero del 2016 a diciembre del 2021	17
Figura 9: Humedad mensual promedio de enero del 2016 a diciembre del 2021.....	18
Figura 10: Precipitación acumulada mensual de enero del 2016 a diciembre del 2021	18
Figura 11: Distribución de la litología de los cantos rodados en los taludes de la Costa Verde.....	20
Figura 12: Sismos con magnitud ≥ 5 Mw con epicentro cercano a la zona de estudio	26
Figura 13: Sismos históricos con intensidad mayor a VII en la escala de Mercalli Modificada con epicentros cercanos a la zona de estudio	27
Figura 14: Dovelas en superficie de falla circular.....	31
Figura 15: Función de densidad de probabilidad (PDF)	37
Figura 16: Función de distribución acumulada (CDF)	37
Figura 17: Distribución normal	38
Figura 18: Distribución lognormal.....	39
Figura 19: Ejemplo del análisis de Monte Carlo en el programa Slide.....	44
Figura 20: Proceso de gestión de riesgos.....	47
Figura 21: Ubicación de casos de estudio.....	58
Figura 22: Sección B_6, caso estático, falla circular	61
Figura 23: Sección B_6, caso pseudoestático, falla circular.....	61
Figura 24: Sección B_6, caso estático, falla en bloque	62
Figura 25: Sección B_6, caso pseudoestático, falla en bloque.....	62
Figura 26: Probabilidad de falla vs factor de seguridad.....	66
Figura 27: Probabilidad de falla anual vs factor de seguridad	67
Figura 28: Rango de factores de seguridad por distrito.....	68
Figura 29: Rango de probabilidad de falla anual por distrito.....	69
Figura 30: Factor de seguridad vs H: V.....	69

Figura 31: Probabilidad de falla anual vs H: V.....	70
Figura 32: Comparación de factores de seguridad en fallas circulares y en bloque – caso estático	71
Figura 33: Comparación de factores de seguridad en fallas circulares y en bloque – caso pseudoestático.....	71
Figura 34: Comparación de probabilidad de falla anual en fallas circulares y en bloque – caso estático.....	72
Figura 35: Comparación de probabilidad de falla anual en fallas circulares y en bloque – caso pseudoestático	72
Figura 36: Comparación del factor de seguridad con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso estático	73
Figura 37: Comparación del factor de seguridad con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso pseudoestático.....	74
Figura 38: Comparación de la probabilidad de falla con respecto a la distancia y la magnitud de la carga	75
Figura 39: Comparación del factor de seguridad crítico con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso estático.....	76
Figura 40: Comparación del factor de seguridad crítico con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso pseudoestático	76
Figura 41: Borde libre mínimo recomendado para los taludes en comparación con los factores de seguridad obtenidos	77
Figura 42: Borde libre mínimo recomendado para los taludes en comparación con las probabilidades de falla anual obtenidas	77
Figura 43: Banqueteo con pendiente H: V de 0.50:1	79
Figura 44: Banqueteo con pendiente H: V de 0.75:1	80
Figura 45: Banqueteo de la sección SM_1.....	81
Figura 46: Banqueteo de la sección Mi_1	81
Figura 47: Resultados de niveles de riesgos.....	85
Figura 48: Resultados nivel de pérdida de vida.....	86
Figura 49: Comparación del factor de seguridad real y banqueteadado en condiciones pseudoestáticas.....	87
Figura 50: Comparación de la probabilidad de falla real y banqueteadado en condiciones pseudoestáticas.....	88
Figura 51: Costo del impacto por sección	89
Figura 52: Costo del impacto por sección (eje vertical limitado a S/150 millones).....	89

Figura 53: Influencia aproximada del costo de edificaciones, rehabilitación y pistas en el costo del impacto, (a) en secciones con edificaciones vulnerables a deslizamientos, (b) en secciones sin edificaciones vulnerables	90
Figura 54: Costo del impacto por metro lineal	90
Figura 55: Comparación entre el costo del riesgo y el costo de rehabilitación	92
Figura 56: Comparación entre el costo del riesgo y el costo de rehabilitación (eje vertical limitado a S/25 millones).....	93
Figura 57: Resumen de indicadores en el distrito de San Miguel	95
Figura 58: Resumen de indicadores en el distrito de Magdalena	96
Figura 59: Resumen de indicadores en el distrito de San Isidro.....	96
Figura 60: Resumen de indicadores en el distrito de Miraflores	97
Figura 61: Resumen de indicadores en el distrito de Barranco	98
Figura 62: Resumen de indicadores en el distrito de Chorrillos.....	99
Figura 63: Comparación de resultados por métodos estadísticos y por método de Silva et al. (2008)	101
Figura 64: Comparación de resultados para falla circular y en bloque para el caso estático por el método de Silva et al. (2008)	104
Figura 65: Comparación de resultados para falla circular y en bloque para el caso pseudoestático por el método de Silva et al. (2008).....	104
Figura 66: Comparación del costo del riesgo obtenido estadísticamente y por el método de Silva et al. (2008).....	105
Figura 67: Niveles de riesgo obtenidos por el método de Silva et al. (2008)	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de factores de seguridad mínimos para presas.....	3
Tabla 2: Puntajes según criterios de clasificación	45
Tabla 3: Matriz de riesgo	48
Tabla 4: Formato de registro de riesgo	49
Tabla 5: Resumen de valores recopilados para el material grueso	50
Tabla 6: Resumen de valores recopilados para el material fino	51
Tabla 7: Resumen de valores recopilados para el relleno no controlado.....	51
Tabla 8: Rango de valores empleados.....	52
Tabla 9: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de San Miguel	52
Tabla 10: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Magdalena	53
Tabla 11: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de San Isidro	53
Tabla 12: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Miraflores	54
Tabla 13: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Barranco	54
Tabla 14: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Chorrillos	54
Tabla 15: Extracto de la matriz usada para escoger secciones.....	57
Tabla 16: Leyenda para las salidas del programa Slide	60
Tabla 17: Resultados del factor de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual en caso estático.....	63
Tabla 18: Resultados del factor de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual en caso pseudoestático	64
Tabla 19: Comparación de P.F. entre caso I y caso II.....	78
Tabla 20: Costo de rehabilitación por sección.....	82
Tabla 21: Costo del riesgo (en millones) por sección.....	83
Tabla 22: Matriz de riesgo	84
Tabla 23: Matriz empleada para determinar el nivel de pérdidas de vida	86
Tabla 24: Costo del riesgo por distrito.....	92
Tabla 25: Matriz según el método Silva et al. (2008) para la sección SM_2.....	102
Tabla 26: Matriz empleada para el método semiempírico	105

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El estudio de la estabilidad de taludes es de gran interés para la Ingeniería Civil, debido al uso que pueden tener ciertos taludes para la sociedad; por ejemplo, sobre ellos se pueden cimentar edificios, carreteras, canales, entre otras estructuras (Huang, 2014). Los taludes son formaciones no planas con cierta inclinación y/o de altura variable que pueden fallar intempestivamente ante cambios propios o de su entorno (Suárez, 1998). Es por ello que se han realizado investigaciones en torno a su estabilidad, las cuales han logrado un gran avance en el conocimiento sobre la influencia del comportamiento de los suelos en taludes (Duncan et al., 2014).

El problema relacionado con los taludes se debe a las fuerzas gravitacionales a las que están expuestos debido a su geometría (Huang, 2014). Estas generan esfuerzos cortantes que pueden ser mayores a los que el talud podría soportar; en consecuencia, se provoca así la inestabilidad del mismo (Duncan et al., 2014; Huang, 2014).

Algunos autores mencionan que existen dos factores principales que generan la inestabilidad: por un lado, se tiene la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo que compone el talud y, por otro lado, el segundo factor es el aumento de los esfuerzos cortantes necesarios para mantener el equilibrio. Esto último se puede producir debido a la sismicidad y las cargas en la cima del talud (Duncan et al., 2014). Por otro lado, Huang (2014) menciona que las fallas suelen producirse por la excavación y/o relleno del talud; es decir, cambios de los esfuerzos en los suelos que componen un talud.

En el estado de la práctica en análisis geotécnico de estabilidad de taludes, se suelen determinar factores de seguridad (Suárez, 1998). Existen diversos métodos para analizar la estabilidad, como el método de equilibrio límite y el de elementos finitos (Huang, 2014).

Suárez (1998) indica que para realizar el método de equilibrio límite se necesita contar con la información referente a la resistencia del suelo. Este procedimiento analiza el equilibrio estático del talud, tanto en fuerzas como en momentos (Huang, 2014).

Por otro lado, el método de elementos finitos ha sido empleado desde la década de los sesenta (Duncan et al., 2014) y, a diferencia del método anterior, no solo contempla el equilibrio estático, sino también las ecuaciones de compatibilidad entre el cambio de esfuerzo y deformación, lo que permite determinar desplazamientos (Huang, 2014).

Estos procedimientos tradicionales buscan obtener un factor de seguridad que después es comparado con un valor ya establecido. En el caso peruano, por ejemplo, en lo que respecta a cimentaciones superficiales en taludes, la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) exige un valor mínimo de factor de seguridad de 1.5 en condiciones estáticas y de 1.25 para lo correspondiente a circunstancias sísmicas. Este tipo de valores son empleados para distintas condiciones sin tomar en cuenta el grado de incertidumbre involucrado en cada proyecto (Duncan, 2000). Estos valores, también, son mencionados por la norma CE.020 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012); no obstante, se debe aclarar que esta no se encuentra actualizada.

En cuanto a la normativa internacional, se tiene que no existe un consenso en cuanto a los valores mínimos. Schnaid y otros (2020) realizaron una recopilación de los factores de seguridad mínimos propuestos para presas de diferentes normas internacionales, en donde se observa una variabilidad no solo en los valores, sino también en las condiciones tomadas en cuenta para establecer dichos mínimos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Resumen de factores de seguridad mínimos para presas

Loading condition	ANCOLD (2019)	SEMAD - FEAM (2020)	CDA (2019)	ABNT (2017) ^{*5}	Chile (2007)	S. Africa (2015)
Long-term, normal operation / reservoir level / conditions	1.5 (drained parameters)	- / 1.5 ^{*1} (drained parameters)	1.5 ^{*2}	1.5 / 1.3 ^{*6}	-	-
Operation with extreme reservoir level / flow net	-	-	-	1.3	-	-
Short-term undrained (potential loss of containment)	1.5	-	-	-	-	-
Short-term undrained (no potential loss of containment), or during / end of construction	1.3	-	1.3	1.3	-	-
Rapid drawdown	-	-	1.3	1.1	-	-
Seismic / Pseudo-static	-	-	1.0 ^{*3}	1.1	-	-
Post-seismic	1.0-1.2	-	1.2	-	-	-
Static liquefaction (regardless of trigger)	Peak undrained shear strength	-	1.3 / 1.5 ^{*1}	-	-	-
Post liquefaction undrained shear strength	1.0-1.2	1.1 / 1.1 ^{*1}	1.1 ^{*4}	-	-	-
Unspecified	-	-	-	-	1.2 ^{*7}	1.5

Notes:

(*1) Values refer to: (prior to decharacterization) / (after decharacterization).

(*2) Also applicable during construction of dam raises.

(*3) Unless deformations due to seismic loading are assessed and acceptable.

(*4) Also applies to liquefaction associated to seismic loading.

(*5) For undrained shear strength parameters, values should be defined by the designer.

(*6) Values refer to: (downstream slope) / (between berms).

(*7) Upstream tailings dams are banned where the publication applies, pseudo-static analysis highlighted.

References:

ANCOLD (2019) - Guidelines on Tailings Dams - Planning, Design, Construction, Operation and Closure

SEMAD - FEAM (2020) - Term of Reference for the Decharacterization of Upstream Tailings Dams

CDA (2019) - Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams Revision (2019)

Ministerio de Minería (2007) - Chilean Ministry of Mining's Regulations for the approval of design, construction, operation and closure of tailings dams

South African Government Department of Environmental Affairs (2015) - South African Government's Mining Residue Regulations.

Tomado de *Guidelines and recommendations on minimum factors of safety for slope stability of tailing dams* (p.386), por Schnaid et al., 2020.

Por otro lado, los parámetros que se emplean para el análisis pueden variar en espacio y tiempo y, por lo tanto, cuentan con incertidumbre (Huang, 2014; Nadim, 2007). A pesar de ello, los métodos determinísticos, como los mencionados anteriormente, consideran valores fijos; es decir, se selecciona un solo valor de todas las opciones, el cual suele ser el más conservador (Huang, 2014). No obstante, la elección del valor varía dependiendo del criterio de cada ingeniero. Esto es debido a que en la geotecnia no existe una convención o código que uniformice esta decisión (Phoon, 2004).

A causa de ello, es sumamente importante tomar en consideración el efecto que pueden tener las incertidumbres en el análisis; una situación que se agrava cuando el nivel de incertidumbre es mucho mayor o crítico. Con el fin de mejorar dicha situación, se necesita no solo tener los datos, sino también conocer la calidad de los mismos, además de conocimientos de geología y del criterio del ingeniero (Nadim, 2007).

De lo expresado anteriormente, se concluye que en un proceso de análisis de estabilidad de taludes existen incertidumbres involucradas a lo largo del procedimiento. Fenton y Griffiths (2008) mencionan que una forma eficiente de tomarlas en cuenta es el enfoque probabilístico.

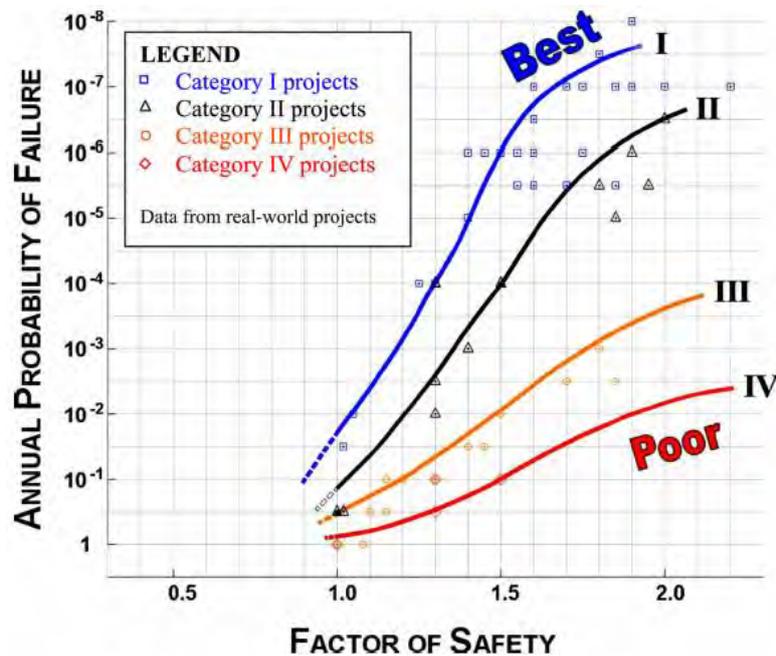
Este enfoque es más realista, puesto que, de existir una variación en los parámetros, no se toma un solo valor, sino que se considera el promedio y desviación estándar del mismo (Huang, 2014).

Usualmente, la determinación del factor de seguridad, en lo que respecta a la estabilidad de taludes, involucra tres puntos: la geometría, la presión de poros y las fuerzas. Sin embargo, un análisis probabilístico permitiría tomar decisiones basadas en el riesgo de falla del talud (Silva et al., 2008).

Análogamente al factor de seguridad en los métodos determinísticos, en el enfoque probabilístico se determina un factor de confiabilidad (R), el cual se relaciona con una probabilidad de falla ($P.F.$) (Duncan et al., 2014). Cabe recalcar que esta probabilidad de falla no se refiere necesariamente a un evento catastrófico, sino a una condición en la que el desempeño de una determinada estructura deja de ser el esperado (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015).

En la siguiente imagen, se pueden observar cuatro curvas correspondientes a estructuras de tierra. Estas están clasificadas según el grado de ingeniería aplicado en su desarrollo, en donde la categoría uno es el nivel más alto y la categoría cuatro, el nivel más pobre. Esta figura muestra la relación existente entre el factor de seguridad y la probabilidad de falla anual, y demuestra que un factor de seguridad elevado no garantiza una probabilidad de falla poco probable; es decir, un menor riesgo (Nadim, 2007; Silva et al., 2008). La relación que existe entre estos términos depende, en realidad, del nivel de incertidumbre involucrado tanto en las cargas como en la resistencia (Nadim, 2007).

Figura 1: Relación entre factores de seguridad y probabilidad de falla para distintas categorías de estructuras de tierra

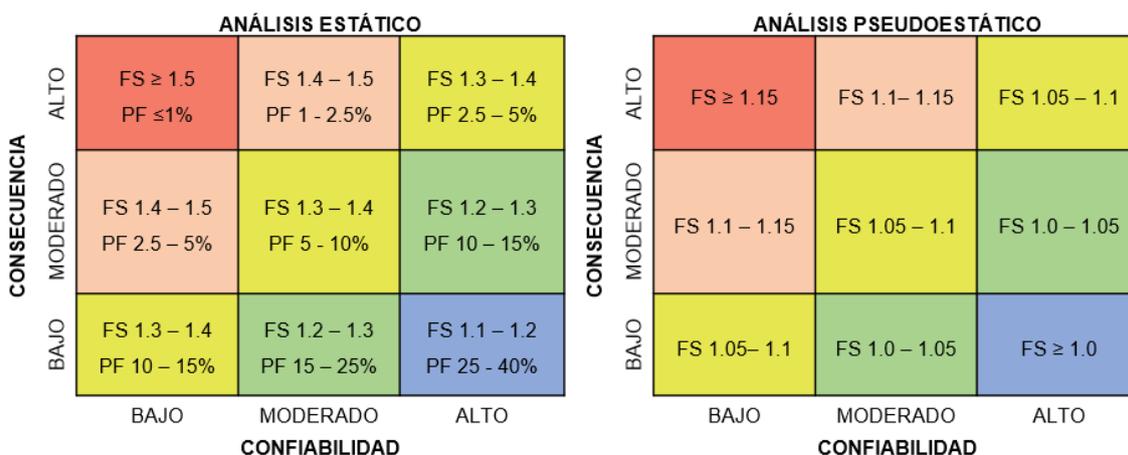


Tomado de *Probability and risk of slope failure* (p. 1692), por Silva et al., 2008.

Si bien este análisis no suele ser empleado debido al desconocimiento de los términos involucrados y por la falsa creencia de que su uso implica mayor tiempo y esfuerzo que el método tradicional (Duncan, 2000), con el transcurso de los años ha tomado una mayor presencia.

Esto se ve reflejado en enfoques más actuales en donde el factor de seguridad mínimo se relaciona con la incertidumbre en el análisis y las consecuencias (Duncan et al., 2014; Hawley et al., 2017). Por ejemplo, para algunos autores, el factor de seguridad mínimo puede ser de 1.25 para incertidumbres pequeñas; sin embargo, este podría ser incluso mayor a 2 cuando las incertidumbres son grandes y el costo de reparación es mucho mayor al costo que generaría un diseño más seguro del talud (Duncan et al., 2014). Asimismo, existen matrices propuestas en base a criterios de aceptación que permiten clasificar de una manera más precisa el proyecto analizado y complementar al factor de seguridad con la probabilidad de falla, como se muestra en la figura 2 (Hawley et al., 2017).

Figura 2: Matrices para factores de seguridad mínimos



Adaptado de *Stability analysis en Guidelines for mine waste dump and stockpile design* (p. 144), por Hawley et al., 2017.

Por tales motivos, la presente tesis busca sumar el enfoque probabilístico dentro del estudio de la estabilidad de taludes para aplicarlo dentro del análisis del riesgo de los mismos. Para esta finalidad, se escogió como zona de estudio a los taludes de la Costa Verde. La estabilidad de estos taludes ha sido estudiada a lo largo de los años (Raygada, 2011); sin embargo, ha habido poca inclusión del enfoque probabilístico.

Por otro lado, a pesar de la gran cantidad de estudios, siguen ocurriendo deslizamientos en esta zona, poniendo en riesgo a sus habitantes y transeúntes. Para el presente trabajo, se ha recopilado información de diversos deslizamientos ocurridos a lo largo de la Costa Verde a través de los años, los cuales se pueden encontrar en la sección de anexos. Algunos ejemplos resaltantes de estos eventos ocurrieron en los meses de agosto y diciembre del 2019. El deslizamiento ocurrido en el mes de agosto tuvo lugar en el distrito de Magdalena, a escasos metros del Malecón Castagnola (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET] & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, 2019), y el correspondiente al mes de diciembre sucedió en Barranco, cerca al Malecón Pedro de Osma (INGEMMET & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, 2020). A causa de los diversos deslizamientos, se declaró en estado de emergencia a los taludes e incluso propició nuevos estudios de estabilidad con el fin de tomar medidas de seguridad (Bernal, Tavera, Sulla, & Torres, 2021).

A la fecha de la realización de la presente tesis, ocurrieron otros deslizamientos en los distritos de Miraflores, Barranco y Chorrillos, el 22 de junio del 2021 a causa de un sismo de 6.0 Mw con epicentro en Mala (Cañete). Por este motivo, Miraflores cerró

temporalmente las vías (INGEMMET & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, 2021).

Es por ello que esta tesis explora la aplicación del enfoque probabilístico dentro del análisis y cuantificación del riesgo de los taludes de la Costa Verde, ya que esto permitiría crear soluciones más certeras ante una problemática mejor entendida.

Adicionalmente, se espera que esta tesis sirva como iniciativa para incluir en el estado de la práctica del país el uso de la probabilidad de falla en los cálculos de estabilidad de taludes.

1.2. Justificación

Los taludes de la Costa Verde fueron escogidos debido a que en ellos se desempeñan actividades con diferentes fines como, por ejemplo: turismo, recreación pública (incluye el uso de parques y playas), servicios —como losas deportivas— y paisajismo, comercio, accesos viales y peatonales (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995a).

Las actividades mencionadas anteriormente se ubican principalmente en la base de los taludes; no obstante, en la parte superior de los mismos también se ha venido dando un desarrollo, como lo es la construcción de edificios (Teves, 2015).

Existen diversos factores que ponen en riesgo a la Costa Verde, los cuales pueden ser de origen geológico, geotécnico, climático, entre otros. Asimismo, una de las actividades que propicia condiciones de inestabilidad, debido a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y caídas de rocas, es la actividad antrópica; es decir, aquella realizada por el ser humano (Programa Ciudades Sostenibles [PCS], 2014).

El riesgo en la estabilidad que tiene la infraestructura localizada en la Costa Verde radica en que se encuentra en una zona altamente sísmica del Perú, debido a la zona de subducción de las placas Nazca y Sudamericana, lo cual genera un peligro latente de que ocurran sismos de gran intensidad (Guzmán et al., 1997). Asimismo, en 1971, el Consorcio Corporación Peruana de Ingeniería (CORPEI) y Aramburú Menchaca Asociados realizaron un estudio en el cual se determinó que se debía mantener un borde libre de construcción de entre 100 y 200 metros, debido al riesgo de deslizamiento en caso de sismos. A pesar de ello, las infraestructuras que se han ido construyendo desde la publicación de dicho estudio hasta la actualidad se han ubicado muy cerca del borde de los acantilados (Teves, 2015).

En los últimos años del siglo XX, comenzó a crecer el interés por habitar en la cima de los taludes de la Costa Verde y, en consecuencia, las municipalidades zonificaron a este suelo como uso residencial. Esto generó un gran crecimiento demográfico con estructuras de densidad muy alta como, por ejemplo, edificios multifamiliares de más de 15 pisos (PCS, 2014). Sumado a ello, las tuberías de agua y desagüe de las edificaciones ubicadas en la parte superior del talud podrían generar filtraciones que debiliten la base en donde estas se cimentan, lo que podría provocar su colapso (Teves, 2015). Esta inestabilidad afectaría tanto a la parte superior como inferior de la zona denominada como Costa Verde, pues, como ya se mencionó anteriormente, la ocurrencia de sismos y el aumento del peso en la parte superior del talud (producto de las edificaciones) aumentan los esfuerzos de corte (Duncan et al., 2014).

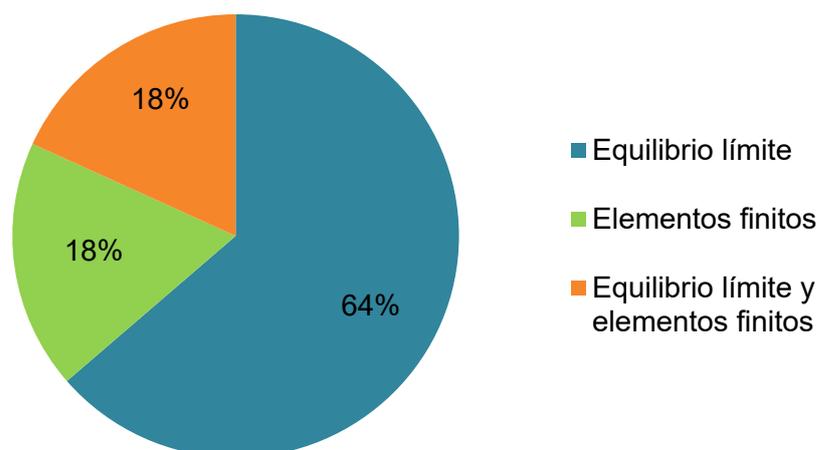
Por otro lado, los taludes de la Costa Verde también se ven afectados por la erosión provocada por el viento y la acción marina, lo cual genera desprendimientos (Guzmán et al., 1997). Al sumar estos efectos con el peligro que representa un sismo, se podría dar un gran problema de inestabilidad de taludes, lo que afectaría las estructuras.

A partir de lo mencionado, se puede concluir que la Costa Verde representa un foco de desarrollo económico, social y cultural vinculado a un riesgo de inestabilidad que, de existir un sismo de gran magnitud, podría tener consecuencias humanas y económicas graves. Es por ello que es importante conocer la probabilidad de falla de los taludes con la finalidad de cuantificar el riesgo. De esta manera, se podrían realizar recomendaciones mejor orientadas que permitan aceptar, reducir o eliminar el mismo.

Por otra parte, a nivel académico, las tesis relacionadas con la estabilidad de taludes de la Costa Verde se han centrado en realizar análisis determinísticos. Estas han empleado tanto métodos de equilibrio límite como de elementos finitos para su respectivo análisis. Del total de tesis analizadas (11), la mayoría centró su análisis en métodos de equilibrio límite, como se aprecia en la figura 3.

Dos de estas once tesis (Cañari & Alva, 2011; Raygada, 2011), asociaron un nivel de riesgo a los factores de seguridad obtenidos. Sin embargo, esto no fue realizado con base en una probabilidad de falla. En uno de los casos, se establecieron los niveles de riesgo según la gravedad de las consecuencias que podrían afectar a pistas y edificios (Cañari & Alva, 2011). En el segundo caso, el riesgo fue determinado por el factor de seguridad y los desplazamientos; por ejemplo, un riesgo alto tiene un factor de seguridad bajo y desplazamientos que afectan la serviciabilidad del talud (Raygada, 2011).

Figura 3: Métodos empleados en tesis de estabilidad de taludes de la Costa Verde

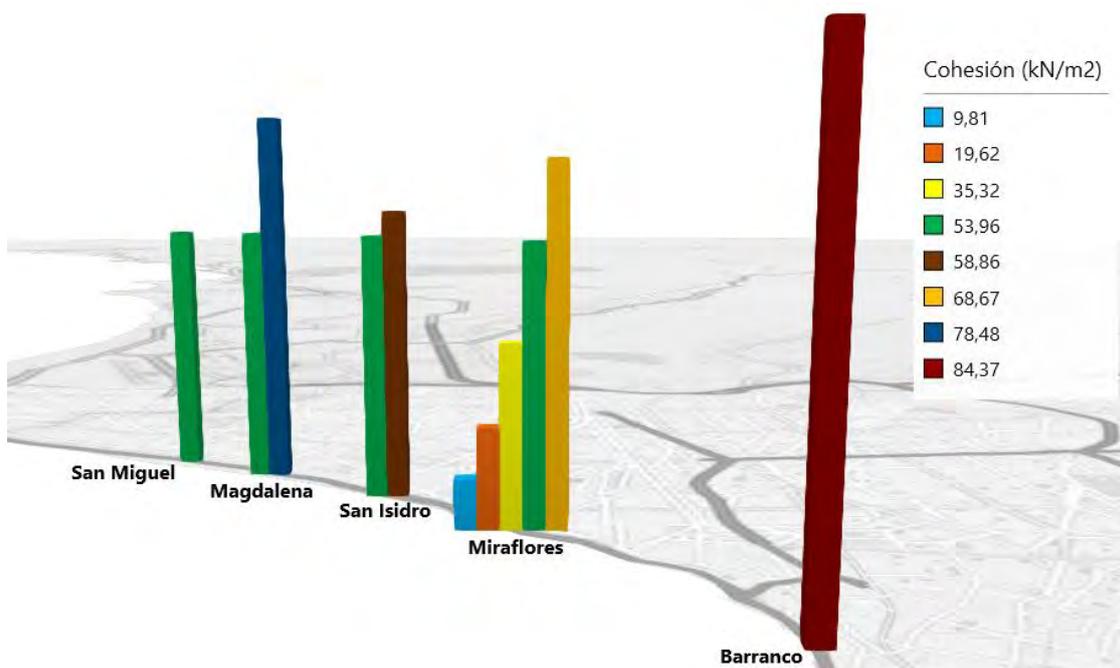


Elaboración propia a partir de la información de *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde*, por Cañari, M., & Alva, J., 2011; *Consideraciones sobre los acantilados de Miraflores ante la carga de las edificaciones*, por Chahua, L., 2010; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena*, por Díaz, J., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco*, por Granados, A., 2006; *Análisis dinámico de los acantilados de la ciudad de Lima*, por Macazana, R., 2006; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro*, por Pacheco, A., 2006; *Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde*, por Raygada, L., 2011; *Metodología de optimización del diseño geotécnico para la estabilización de taludes de un proyecto en la Costa Verde*, por Salazar, C., 2015; *Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el distrito de Miraflores*, por Urrutia, P., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Miraflores*, por Vargas, A., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Miguel*, por Zúñiga, F., 2004.

Otro punto a rescatar de las tesis estudiadas es que muestran la variabilidad que existe en los parámetros de resistencia al corte del suelo en los taludes de la Costa Verde. En la figura 4 y la figura 5, se aprecia la variación de la resistencia al corte bajo los parámetros del modelo Mohr-Coulomb: cohesión y ángulo de fricción para el material grueso. Las investigaciones anteriores han empleado ensayos de corte directo in situ, triaxiales en muestras inalteradas y retroanálisis para obtener estos valores (Cañari & Alva, 2011; Chahua, 2010; Díaz, 2008; Granados, 2006; Pacheco, 2006; Raygada, 2011; Vargas, 2008; Zúñiga, 2004).

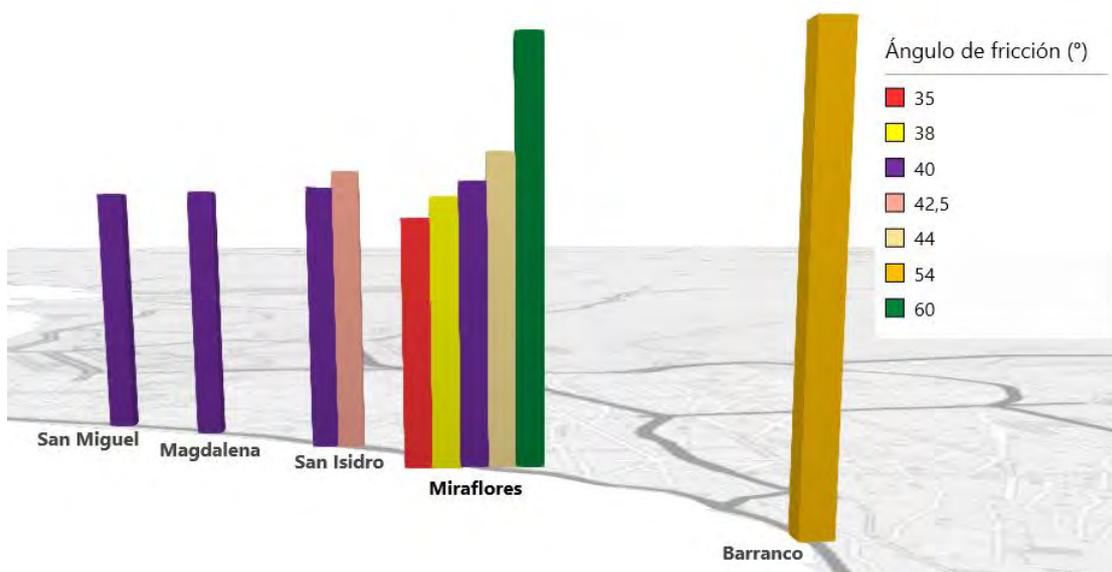
Como se observa, la cohesión varía entre 9.81 kN/m² hasta 84.37 kN/m² y, además, el ángulo de fricción parte de los 35° y puede llegar a los 60°. Miraflores ha sido el distrito más estudiado y, a su vez, en él se observa la mayor variación de los parámetros de resistencia, a pesar de ser una misma zona geográfica. La incertidumbre de estos valores se incrementa, debido a que no se pueden conocer con exactitud estos valores a lo largo de toda la Costa Verde, pues no solo sería costoso, sino que, además, existirían zonas inaccesibles para el muestreo y ejecución de algunos ensayos debido a la altura y pendiente de los taludes.

Figura 4: Variación de la cohesión de material grueso en la Costa Verde



Elaboración propia a partir de la información de *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde*, por Cañari, M., & Alva, J., 2011; *Consideraciones sobre los acantilados de Miraflores ante la carga de las edificaciones*, por Chahua, L., 2010; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena*, por Diaz, J., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco*, por Granados, A., 2006; *Análisis dinámico de los acantilados de la ciudad de Lima*, por Macazana, R., 2006; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro*, por Pacheco, A., 2006; *Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde*, por Raygada, L., 2011; *Metodología de optimización del diseño geotécnico para la estabilización de taludes de un proyecto en la Costa Verde*, por Salazar, C., 2015; *Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el distrito de Miraflores*, por Urrutia, P., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Miraflores*, por Vargas, A., 2008.

Figura 5: Variación del ángulo de fricción de material grueso en la Costa Verde



Elaboración propia a partir de la información de *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde*, por Cañari, M., & Alva, J., 2011; *Consideraciones sobre los acantilados de Miraflores ante la carga de las edificaciones*, por Chahua, L., 2010; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena*, por Diaz, J., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco*, por Granados, A., 2006; *Análisis dinámico de los acantilados de la ciudad de Lima*, por Macazana, R., 2006; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro*, por Pacheco, A., 2006; *Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde*, por Raygada, L., 2011; *Metodología de optimización del diseño geotécnico para la estabilización de taludes de un proyecto en la Costa Verde*, por Salazar, C., 2015; *Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos de los taludes de la Costa Verde en el distrito de Miraflores*, por Urrutia, P., 2008; *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Miraflores*, por Vargas, A., 2008.

A partir de lo expresado, se infiere que los métodos probabilísticos han sido poco empleados para estudiar la problemática de los taludes de la Costa Verde, por lo que la inclusión de estos en el estado de la práctica podría llegar a ser un gran aporte para el entendimiento del riesgo en la estabilidad.

De lo mencionado, en la presente tesis, se acepta que, al sumarle un análisis probabilístico a los métodos determinísticos tradicionales de estabilidad de taludes, se obtienen resultados asociados a una probabilidad de falla vinculada a un factor de seguridad. De esta manera, se podría cuantificar el riesgo asociado a la estabilidad de estos taludes considerando la incertidumbre y variabilidad espacial de los parámetros de resistencia obtenidos de los proyectos en los que se ha recopilado información.

1.3. Objetivos

A partir de lo expuesto anteriormente, se plantea que el objetivo general es analizar el riesgo en la estabilidad de los taludes ubicados en la Costa Verde, específicamente aquellos ubicados en los distritos de San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Para lograr ello, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Proponer una metodología de cálculo de probabilidad de falla anual considerando la incertidumbre y variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo.
- Calcular el factor de seguridad y la probabilidad de falla asociada a diferentes sectores de la Costa Verde.
- Estimar el costo asociado a los riesgos encontrados y sugerir soluciones convencionales o medidas de mitigación para reducción del riesgo.
- Comparar los resultados obtenidos con aquellos obtenidos mediante la metodología semiempírica de Silva, Lambe & Marr (2008).

1.4. Metodología

En primer lugar, se realizó una revisión de diferentes tesis que tratan sobre la estabilidad de los taludes de la Costa Verde. Esto involucró determinar el enfoque que estas tuvieron y la revisión de los parámetros de resistencia del suelo obtenidos en distintas zonas de los taludes. Además, se realizó la revisión de los diferentes deslizamientos ocurridos en la Costa Verde a lo largo de los años.

Luego, se procedió a la revisión bibliográfica correspondiente al estado de la práctica de la estabilidad de taludes. Asimismo, se investigó sobre las metodologías empleadas en el cálculo de factores de seguridad, de la probabilidad de falla y su respectiva asociación al nivel de riesgo.

Con base en la información recolectada en el punto anterior, se determinó el promedio y desviación estándar de los parámetros de resistencia del suelo (peso específico, cohesión y ángulo de fricción), se seleccionó el análisis de Monte Carlo para determinar la probabilidad de falla y se determinó una metodología para el cálculo de la probabilidad de falla anual, tomando en consideración la probabilidad de ocurrencia de los eventos de deslizamientos registrados.

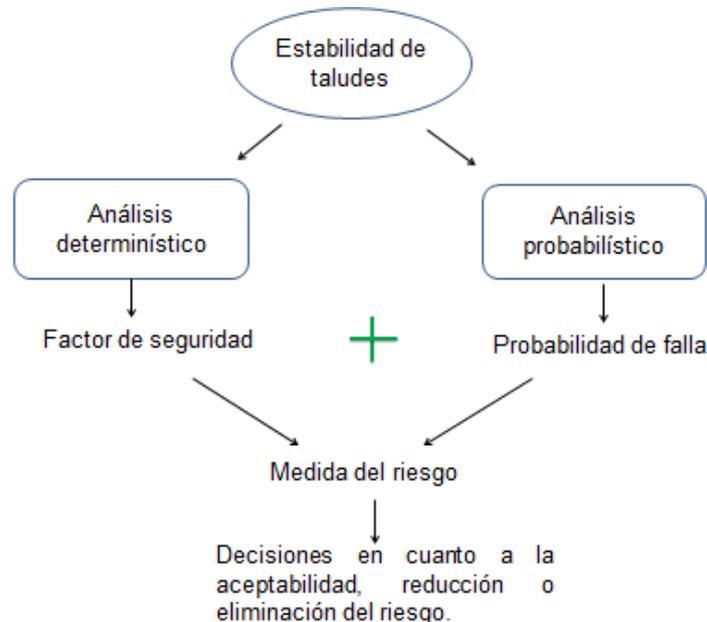
Posteriormente, se escogieron 23 zonas de estudio con base en la información obtenida de la revisión bibliográfica. Con los parámetros de resistencia del suelo y aceleración de sismo escogidos, se calcularon los factores de seguridad en las zonas de estudio mediante el método del equilibrio límite (método de Spencer) en condiciones estáticas y pseudoestáticas considerando únicamente fallas globales. Por otro lado, se determinaron las probabilidades de falla considerando el promedio y desviación estándar de las variables definidas anteriormente.

Una vez determinados los factores de seguridad y las probabilidades de falla, se obtuvo el costo asociado al riesgo y se asignó un nivel de riesgo para cada sección. Asimismo, se sugirieron propuestas de solución orientadas a aceptar, minimizar o eliminar el riesgo.

Luego, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos mediante la metodología planteada y aquellos obtenidos a través de un método semiempírico. Finalmente, se realizaron las conclusiones correspondientes al trabajo desarrollado y se hicieron recomendaciones con el objetivo de mejorar la metodología empleada.

Entre las conclusiones más relevantes se tiene que la gran mayoría de secciones analizadas no cumplen con los factores mínimos indicados en la normativa peruana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012, 2018) tanto en el caso estático como pseudoestático. Por otro lado, se concluyó que 10 secciones se ubican en un nivel de riesgo bajo; 6, en un nivel de riesgo medio; 6, en el nivel de riesgo alto; y 1 en el nivel de riesgo muy alto. Además, después de comparar los costos de rehabilitación y de riesgo, se concluyó que es más económico realizar la estabilización a afrontar las consecuencias del riesgo.

Figura 6: Esquema de la metodología a emplear



Elaboración propia

1.5. Descripción breve de los capítulos

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo, se realizó un breve registro de los antecedentes y estado actual de la metodología para analizar la estabilidad de los taludes. Se justificó la elección del lugar

a ser analizado por medio de métodos probabilísticos y se mencionaron los objetivos y metodología empleada.

Capítulo 2: Aspectos generales de los taludes de la Costa Verde

Este capítulo engloba las características generales de los taludes de la Costa Verde, incluyendo la descripción de la zona a trabajar, clima, geología y aspectos geotécnicos.

Capítulo 3: Marco teórico

Se describen las características que se necesitan conocer de los taludes para poder analizarlos y se explican algunos conceptos de los métodos determinísticos y probabilísticos.

Capítulo 4: Método para la obtención de la probabilidad de falla anual

En este capítulo, se explica cómo se obtuvo la desviación estándar de los parámetros involucrados (cohesión, ángulo de fricción y peso específico), la probabilidad de falla y se describe el procedimiento seguido para anualizar la probabilidad obtenida.

Capítulo 5: Determinación de factores de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual

Se muestran y analizan los resultados correspondientes al factor de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual, tanto para el caso estático como pseudoestático.

Capítulo 6: Evaluación del riesgo y planteamiento de soluciones

Se presentan los niveles de riesgo y los costos asociados a los mismos. Así también, se muestran los costos de la rehabilitación y se plantean las soluciones para las secciones estudiadas.

Capítulo 7: Enfoque semiempírico según metodología de Silva et al. (2008)

El capítulo se centra en los resultados de probabilidad de falla anual y riesgos obtenidos de acuerdo a este enfoque, y se realiza una comparación con aquellos obtenidos previamente.

Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones

En este último capítulo, se detallan las conclusiones más importantes del trabajo realizado y se presentan recomendaciones para futuras investigaciones.

2. ASPECTOS GENERALES DE LOS TALUDES DE LA COSTA VERDE

2.1. Descripción de la zona

La zona denominada como Costa Verde es una franja ubicada a lo largo de la costa comprendida entre el distrito de La Punta y Chorrillos (Cerro La Chira). De forma transversal, esta franja incluye los taludes existentes y un borde de ancho variable en la cima de ellos. Además, en la zona inferior del talud, abarca hasta la línea de marea más alta, lo cual incluye las playas y terrenos ganados al mar (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995a, 1995b).

La Costa Verde forma parte de la Provincia Constitucional del Callao y de la Provincia de Lima. Los distritos de la Provincia del Callao a los que pertenece la Costa Verde son La Punta, Callao y La Perla. Por otra parte, en la Provincia de Lima, se abarca los siguientes distritos: San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

Transversalmente, la Costa Verde ha sido dividida en tres sectores. El sector A va desde los terrenos ganados al mar hasta las playas. El sector B abarca la alameda peatonal y el Circuito de Playas. Finalmente, el sector C parte desde el fin del Circuito de Playas hasta la parte superior de los taludes (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995a).

Figura 7: Sección transversal de la Costa Verde



Tomado de *Plan Maestro de Desarrollo de la Costa Verde 1995–2010. Resumen Ejecutivo* (p. 11), por Autoridad del Proyecto Costa Verde, & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995a.

La Costa Verde cuenta con taludes que comprenden desde el Club Regatas (Chorrillos) hasta la av. Santa Rosa (La Perla); estos continúan hasta La Punta, donde terminan (Guzmán et al., 1997). La altura de los taludes es variable a lo largo de la franja. A la altura del Morro Solar, los taludes llegan a una altura de 100 m.s.n.m. (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b); en Chorrillos, miden 36 m.s.n.m. (Guzmán et al., 1997); en Miraflores, llegan a aproximadamente 70 m.s.n.m. (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Guzmán et al., 1997). La altura va disminuyendo en la Provincia Constitucional del Callao. En la Perla, tienen una altura de 25.5 m.s.n.m. (Guzmán et al., 1997); en el Callao, 8 m.s.n.m. (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b); finalmente, en La Punta, alcanzan el nivel del mar (Guzmán et al., 1997). Cabe recalcar que, para la presente tesis, se trabajará únicamente con los taludes de los distritos de San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos.

Los taludes de la Costa Verde afrontan algunos problemas que generan desprendimientos de rocas, lo cual es un peligro para los vehículos y personas que transitan en la parte inferior del talud. Esto se debe a que los suelos que los conforman son poco consolidados en la superficie; además, los acantilados tienen una gran pendiente y la brisa marina humedece el talud, lo cual produce que los estratos de limo y arena pierdan cohesión y se generen desprendimientos (Guzmán et al., 1997).

Debido a estos problemas, se han tomado algunas medidas para lograr su estabilidad como, por ejemplo, la colocación de enredaderas (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Guzmán et al., 1997) y la construcción de banquetas (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

2.2. Clima

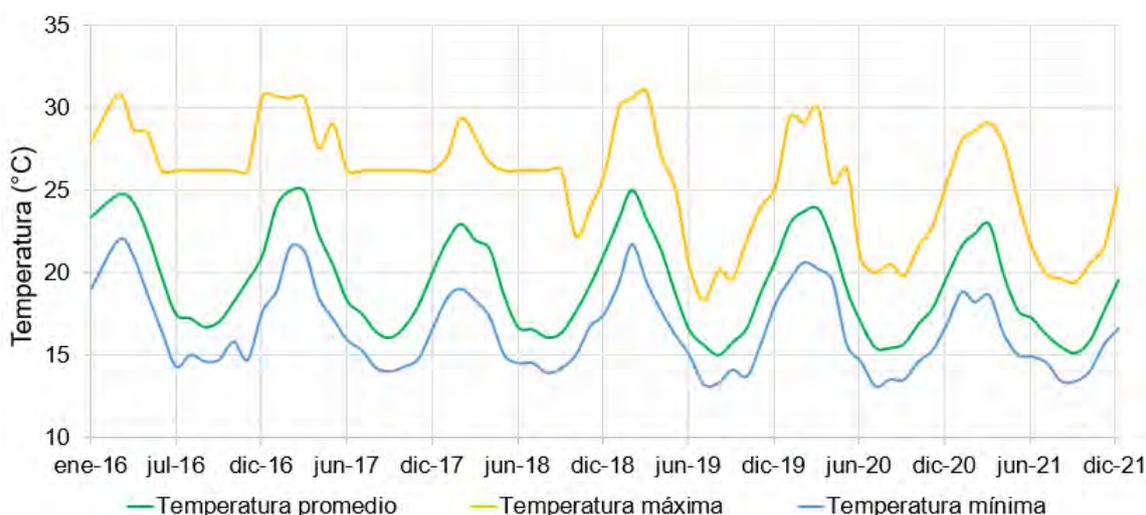
Debido a la ubicación de los taludes de la Costa Verde, el clima en esta zona se ve influenciado por aspectos continentales y marítimos, como las brisas del mar (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b). El clima es considerado semiárido (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Guzmán et al., 1997), árido y desértico (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

2.2.1. Temperatura

La temperatura de enero de 2016 a diciembre de 2021 se obtuvo a partir de la estación Campo de Marte (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi], s. f.), ubicada cerca del área de estudio.

Con esta información, se calculó el promedio de las temperaturas de cada mes. En promedio, la temperatura es de 19 °C y varía desde los 13 °C hasta los 31 °C en épocas de verano (Senamhi, s. f.). A continuación, se muestran las temperaturas máximas, mínimas y promedio de los últimos seis años.

Figura 8: Temperatura mensual máxima, mínima y promedio de enero del 2016 a diciembre del 2021

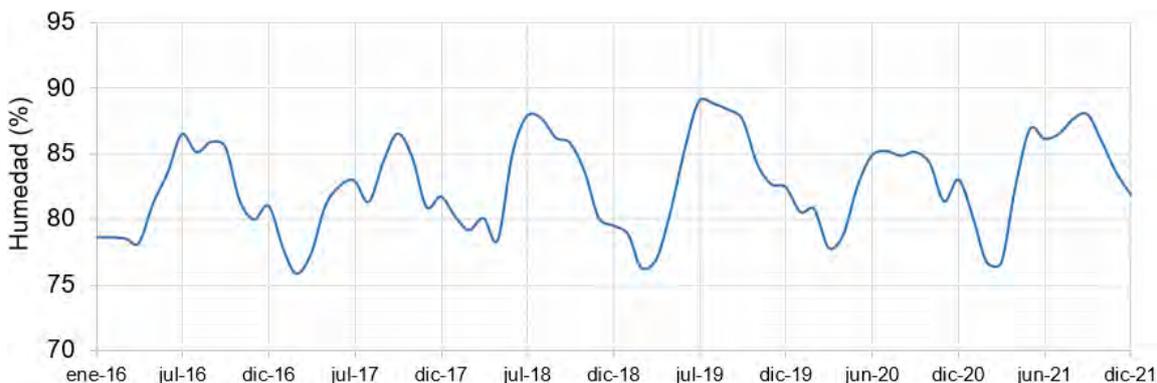


Adaptado de *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional - Estación: Campo de Marte*, por Senamhi, s.f.

2.2.2. Humedad

Entre el periodo de enero de 2016 a diciembre de 2021, la humedad promedio fue aproximadamente de 83% (Senamhi, s. f.). Una causa del aumento de la humedad suele ser la presencia de brisas marinas (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

Figura 9: Humedad mensual promedio de enero del 2016 a diciembre del 2021

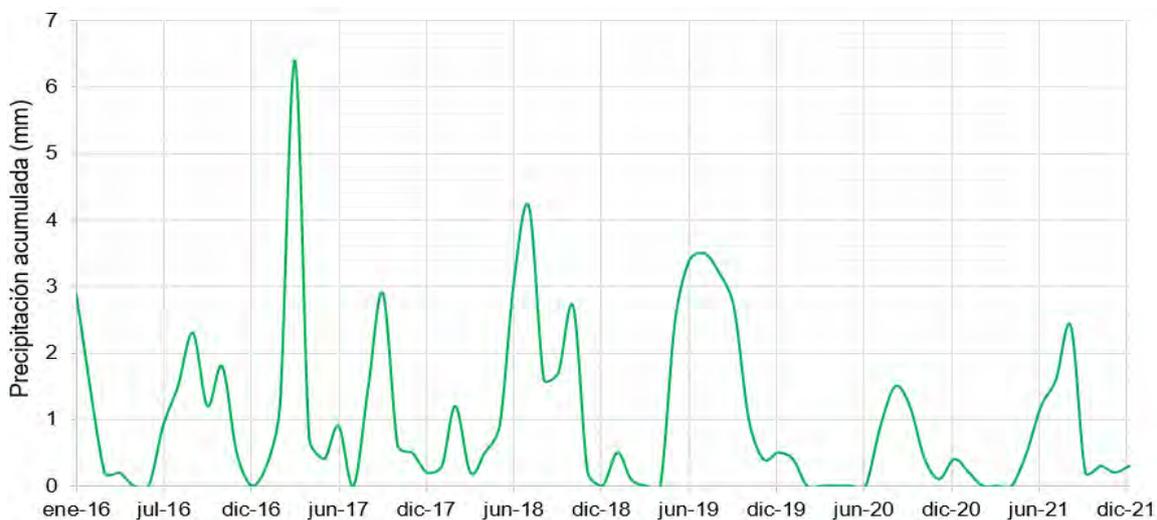


Adaptado de *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional - Estación: Campo de Marte*, por Senamhi, s.f.

2.2.3. Precipitaciones

Las precipitaciones se deben, generalmente, a garúas de invierno cuando la humedad aumenta (Guzmán et al., 1997), aunque también existe influencia de las lluvias de verano que provienen de los Andes (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b). Considerando las precipitaciones totales por mes, la media es de 1.0 mm durante el periodo de enero de 2016 a diciembre del 2021 (Senamhi, s. f.).

Figura 10: Precipitación acumulada mensual de enero del 2016 a diciembre del 2021



Adaptado de *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional - Estación: Campo de Marte*, por Senamhi, s.f.

De la figura anterior, se observa que el nivel de precipitaciones es bajo a excepción de marzo del 2017, como consecuencia del fenómeno del Niño (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [Cenepred], 2018).

2.2.4. Vientos y nubosidad

Los vientos provenientes del sur son los que tienen más influencia en esta zona (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b), no tienen alta intensidad (Guzmán et al., 1997) y son clasificados como “brisa débil” debido a su velocidad (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

La nubosidad se presenta constantemente entre los meses de abril a noviembre (Guzmán et al., 1997) y es considerada alta debido a que ocupa el 75% del cielo (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

2.3. Geología

La ciudad de Lima se encuentra situada sobre el cono de deyección o abanico aluvial del río Rímac (Guzmán et al., 1997; Palacios et al., 1992). Un abanico aluvial es generado a partir del transporte de sedimentos debido a la corriente de un río (Tarbuck & Lutgens, 2005/2005). En este caso, el agente fluvial es el río Rímac proveniente de la sierra del Perú.

La corriente de agua sufre un cambio de pendiente al pasar de una zona montañosa a un lugar llano como, por ejemplo, un valle. Este cambio de gradiente viene acompañado con la transición de espacios estrechos a territorios más amplios donde se van depositando los materiales, lo cual le da la forma de abanico (Tarbuck & Lutgens, 2005/2005).

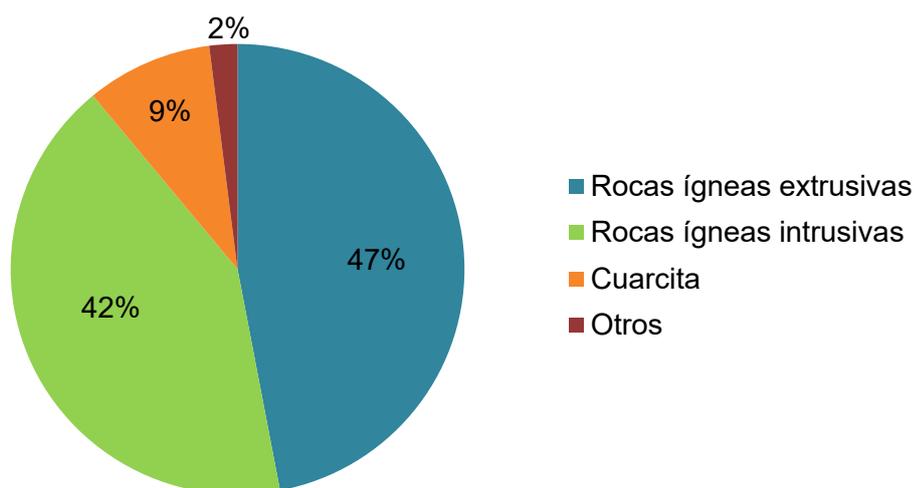
En el caso del cono de deyección del río Rímac, el abanico tiene su vértice en el distrito de Ate, por el sur llega hasta la altura del Morro Solar en Chorrillos y por el norte, hasta la altura del aeropuerto Jorge Chávez en el Callao (Guzmán et al., 1997). Estos depósitos aluviales datan del cuaternario pleistoceno (Qp-al) (Palacios et al., 1992).

Los taludes de la Costa Verde son formados a partir de la erosión marina que sufre el abanico aluvial a lo largo de la costa, lo cual le ha dado la forma empinada característica que tienen (Guzmán et al., 1997). En ellos se visualiza cómo el río fue depositando los sedimentos por estratos alternadamente (Palacios et al., 1992). Entre los materiales que conforman los acantilados se encuentran los conglomerados, cantos rodados, lentes de arcillas y limos, entre otros (Guzmán et al., 1997; Palacios et al., 1992).

2.3.1. Litología de la zona

En los taludes de la Costa Verde se pueden encontrar todos los tipos de roca: ígneas, metamórficas y sedimentarias, entre las cuales las ígneas son las más predominantes (Guzmán et al., 1997). Las rocas ígneas se dividen en dos grupos: intrusivas y extrusivas. Las intrusivas o plutónicas se forman en las profundidades de la tierra, mientras que las extrusivas o volcánicas se forman cuando el magma se solidifica en la superficie (Tarbuck & Lutgens, 2005/2005). De estos dos grupos, los cantos rodados de la Costa Verde tienen una litología predominantemente de rocas ígneas extrusivas como, por ejemplo, la andesita. En segundo lugar, se encuentran las plutónicas, como el granito, la diorita, etc. En menor medida, se halla la roca metamórfica cuarcita y, finalmente, existe un menor porcentaje de caliza, pizarra, entre otros (Guzmán et al., 1997). A continuación, se muestra las proporciones existentes entre las rocas mencionadas anteriormente.

Figura 11: Distribución de la litología de los cantos rodados en los taludes de la Costa Verde



Adaptado de *Estudio de seguridad física de los acantilados de la Costa Verde* (p.18), por Guzmán et al., 1997.

Cabe recalcar que en cada distrito puede variar la predominancia del tipo de roca ígnea. En el caso de Chorrillos, Barranco, San Miguel y ciertas zonas de Magdalena, existe una mayor cantidad de cantos rodados con origen ígneo extrusivo. Por otro lado, en Miraflores y partes de Magdalena, la composición a base de rocas intrusivas es más abundante (Guzmán et al., 1997).

2.3.2. Formaciones geológicas

A lo largo de la Costa Verde, se encuentran unidades litoestratificadas o formaciones geológicas que se han ido generando a lo largo de la historia cada una con características definidas.

- Depósitos aluviales

Estos son producto del acarreo de sedimentos por el río Rímac y dieron origen a los taludes, al fondo marino y a la planicie donde se sitúa la urbe de Lima (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

- Depósitos marinos

Estas acumulaciones se pueden encontrar al pie de los taludes entre el distrito de Miraflores y el Club Regatas en Chorrillos (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b). Son producto de la erosión de los taludes (Palacios et al., 1992) y del retroceso del mar (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b). Las acumulaciones están formadas por gravas y arenas y pertenecen al cuaternario reciente (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b).

En la parte sur de la Costa Verde se encuentran las formaciones de La Herradura y Marcavilca, las cuales forman parte del Grupo Morro Solar (Palacios et al., 1992). Estas formaciones son más antiguas que los depósitos aluviales y marinos, y corresponden al mesozoico cretáceo inferior (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Palacios et al., 1992).

- Formación La Herradura

Se encuentra ubicada en la parte inferior del cerro del Morro Solar (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b). Está formado en gran medida por rocas sedimentarias como las lutitas, areniscas y calizas (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Palacios et al., 1992).

- Formación Marcavilca

Constituido principalmente de areniscas y cuarcitas (Autoridad del Proyecto Costa Verde & Instituto Metropolitano de Planificación, 1995b; Palacios et al., 1992). Además, cuenta con presencia de lutitas ocreas (Palacios et al., 1992).

2.4. Geotecnia

A continuación, se procederá a describir brevemente las características geotécnicas que se ha podido encontrar en algunos distritos.

2.4.1. Aspectos generales

- San Miguel: Los taludes en este distrito están formados por gravas subredondeadas a redondeadas rodeadas por una matriz de arena y arcilla. En la parte alta del talud, existe una capa de suelo cohesivo de baja plasticidad y encima de ella, rellenos como, por ejemplo, basura y desmonte de 10 m de espesor aproximadamente. El tamaño máximo de los bolones es de 20 cm. Existe presencia de carbonatos cementantes. Además, no hay presencia de napa freática (Zúñiga, 2004).
- Magdalena del Mar: Los acantilados están conformados por gravas mal graduadas con intercalaciones de suelos finos, en su mayoría arcillas de hasta 5 m de espesor. Las gravas tienen un tamaño máximo de 25 cm y suelen ser cantos rodados. Además, el suelo no se encuentra saturado y no existe presión de poros. Encima del talud, existen rellenos de basura y desmonte de espesor variable (Díaz, 2008). A partir de ensayos de MASW-MAM, se encontró un suelo aluvial suelto a medianamente compacto en los primeros metros del talud (Bernal, Tavera, Sullá, & Torres, 2021), lo que correspondería a rellenos no controlados. Sin embargo, al aumentar la profundidad (entre 9 y 23 m), se observa que el suelo tiene mayor compactación (Bernal, Tavera, Sullá, & Torres, 2021), por lo que se podría considerar como relleno controlado.
- San Isidro: Originalmente, el talud estaba compuesto por el conglomerado de Lima (cantos rodados con matriz arena arcillosa), donde los cantos tienen un tamaño máximo de hasta 40 cm (Pacheco, 2006). Sin embargo, la parte superior del talud actual está formado por relleno proveniente de la construcción de la Vía Expresa (Pacheco, 2006). De ensayos MASW-MAM, se observa que, en los primeros metros de profundidad, existe suelo aluvial suelto a medianamente compacto y, luego, se extiende hasta una profundidad de 17-18 m un suelo aluvial medianamente compacto (Bernal, Tavera, Sullá, & Salas, 2021). A la primera capa se le podría considerar como relleno no controlado, mientras que a la segunda, como relleno controlado. Según trabajos de campo, el relleno tiene una clasificación SUCS de grava mal graduada limosa (GP-GM) y peso

específico promedio de 20.60 kN/m^3 (Pacheco, 2006). Al igual que en Magdalena, no presenta nivel freático (Pacheco, 2006)

- Miraflores: Los taludes están formados por gravas arenosa mal graduada y con bolones. Como sucede en Magdalena del Mar, la parte superior del talud cuenta con rellenos (Raygada, 2011). Además, los estratos de grava tienen lentes de suelo cohesivo (Vargas, 2008). En cuanto a la profundidad de la napa freática, esta varía entre 3.10 m y 3.30 m con respecto al pie del talud. Estos valores fueron determinados a partir de calicatas y perforaciones (Raygada, 2011). En este distrito, se encuentran de tres a cuatro capas de material fino ubicadas a lo largo de la mitad superior del talud (Bernal et al., 2019).
- Barranco: El 90% del talud está conformado por gravas y el resto consta de lentes de material fino (Granados, 2006). Se asume que no hay presencia de napa freática (Granados, 2006).
- Chorrillos: En los taludes de Chorrillos hay una menor presencia de material granular, por lo que el material fino puede alcanzar a representar hasta el 70% del talud en algunas zonas (García, 1984). Así también, la precipitación de carbonatos brinda cohesión aparente a las gravas con matriz arenosa, lo cual las mantiene estables (Hidroenergía consultores en ingeniería, citado en Universidad Nacional de Ingeniería [UNI] & Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID], 2010). Se pueden encontrar estratos de material fino en por lo menos los dos primeros metros de profundidad (UNI & CISMID, 2010).

2.4.2. Material Grueso

- San Miguel: Predomina la grava mal graduada (GP) y la grava mal graduada arcillosa (GP-GC). En menor medida, hay gravas mal graduadas limosas (GP-GM), gravas arcillosas (GC) y arenas limosas (SM) (Zúñiga, 2004). En algunas zonas, hay gravas que se descomponen con facilidad. Mediante retro análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite, se determinó que, para condiciones estáticas, las gravas tenían una cohesión de 19.62 a 78.48 kN/m^2 y el ángulo de fricción varía de 35° a 42.5° . Por otro lado, para casos dinámicos, la cohesión era de 58.86 kN/m^2 y el ángulo de fricción, de 42.5° (Zúñiga, 2004).

- Magdalena del Mar: En su mayoría, el material grueso tiene como clasificación SUCS grava mal graduada (GP) y, en menor medida, gravas mal graduadas limosas (GP-GM) y arcillosas (GP-GC). En cuanto a su resistencia cortante, la cohesión es de 78.48 kN/m^2 y el ángulo de fricción, de 40° (Díaz, 2008). Estos valores se obtuvieron por medio de un retro análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite, debido a que, en Perú, no se cuentan con los equipos necesarios para hacer ensayos de laboratorio que permitan determinar la resistencia al corte para ese tamaño de partículas (Díaz, 2008).
- San Isidro: A partir de retro análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite, se obtuvo que los valores de cohesión y ángulo de fricción para el conglomerado era de 58.86 kN/m^2 y 42.5° , respectivamente. Los valores de resistencia para el relleno obtenidos por el mismo método son de 40.5° como ángulo de fricción y cohesión nula (Pacheco, 2006).
- Miraflores: Los materiales granulares de la zona cuenta con cohesión aparente debido a cementación (Vargas, 2008).
Este es el único distrito en donde se han realizado ensayos de corte directo in situ. La empresa Jorge Alva Ingenieros E.I.R.L. realizó dos ensayos de este tipo, uno en el pie del talud y otro a 40 m.s.n.m. En el pie del talud, se obtuvo una cohesión de 9.81 kN/m^2 y un ángulo de fricción de 35° . Asimismo, sobre el talud se obtuvo una cohesión de 19.62 kN/m^2 y 40° de ángulo de fricción. Ambas muestras fueron considerados como grava mal graduada (GP) (Jorge Alva Ingenieros, 2009). A partir de otro corte directo in situ, en la corona del talud, se obtuvo una cohesión de 53.96 kN/m^2 , un ángulo de fricción de 40° y peso específico de 20.60 kN/m^3 (Cañari & Alva, 2011). Por otro lado, a partir de retro análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite, se determinó que la cohesión era de 68.67 kN/m^2 y el ángulo de fricción, de 60° (Vargas, 2008).
- Barranco: El talud de esta zona está compuesto por gravas mal graduadas (GP), subredondeadas para partículas mayores a $2''$, seca con un máximo de 10% de bolonería. Debido a las limitaciones para los ensayos de este tipo de partículas, también se realizó un retro análisis de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite. Se obtuvo, como valores para la grava, 84.37 kN/m^2 de cohesión y 54° de ángulo de fricción (Granados, 2006).

Así también, en estudios donde se ha analizado la Costa Verde desde San Miguel hasta Chorrillos, para el conglomerado se emplearon valores de cohesión desde 9.81 a 78.48 kN/m²; para el ángulo de fricción, valores desde 35 a 42°, y para el peso específico, de 19.62 a 21.58 kN/m³ (Hidroenergía consultores en ingeniería, citado en UNI & CISMID, 2010).

2.4.3. Material Fino

- San Miguel: Existen lentes de arcilla de baja plasticidad (CL) con bolsones de limo intercalados. A partir de ensayos triaxiales a muestras inalteradas, se obtuvieron los siguientes parámetros de resistencia: a partir de un ensayo no consolidado no drenado (UU), la resistencia al corte no drenado es 68.67 kN/m², mientras que de un ensayo consolidado no drenado (CU), se obtuvo una cohesión de 95.16 kN/m² y un ángulo de fricción de 21°. Además, se obtuvo un peso específico de 16.48 kN/m³ (Zúñiga, 2004).
- Magdalena del Mar: Predomina la presencia de arcillas limosas de baja plasticidad (CL-ML). También, figuran arcillas de baja plasticidad (CL), limos de baja plasticidad (ML) y poca presencia de arenas limo-arcillosas (SC-SM). A partir de ensayos triaxiales, se tiene que la resistencia al corte no drenado es 107.91 kN/m², obtenida mediante un ensayo UU. Por otro lado, de acuerdo a un ensayo CU, la resistencia tiene un valor de 82.40 kN/m² y un ángulo de fricción de 22° (Díaz, 2008).
- Miraflores: Los taludes de Miraflores cuentan con estratos de suelo cohesivo de máximo cinco metros de altura. En cuanto a la resistencia del suelo, de un ensayo triaxial CU a una muestra de limo, se obtuvo que la cohesión es 46.11 kN/m² y el ángulo de fricción 20°. Adicionalmente, el peso específico es de 16.58 kN/m³ (Vargas, 2008).
- Barranco: En la zona, se encuentra limo a partir del cual se realizó un ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU), donde se evidenció una cohesión de 39.24 kN/m² y ángulo de fricción igual a 20° (Granados, 2006).

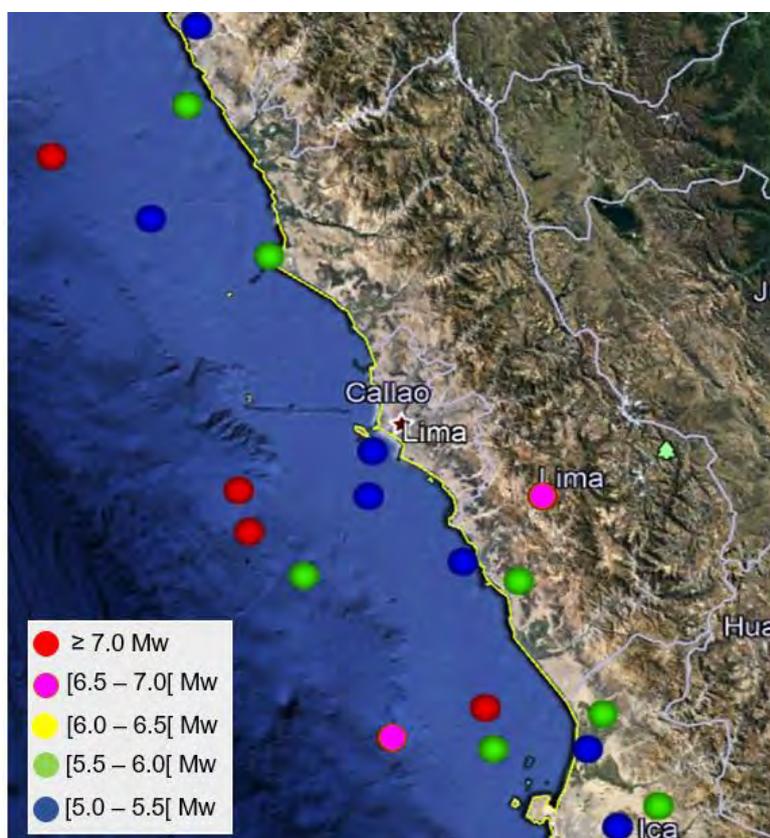
Finalmente, también se han encontrado valores de peso específico que varían de 15.70 a 17.66 kN/m³; de cohesión, de 29.43 a 39.24 kN/m² y de ángulos de fricción, de 10 a 25° para materiales finos en investigaciones donde se ha estudiado toda la Costa Verde (Hidroenergía consultores en ingeniería, citado en UNI & CISMID, 2010).

2.5. Sismicidad

Como se indicó anteriormente, la ciudad de Lima se encuentra ubicada en una zona altamente sísmica debido a la convergencia de las placas Nazca y Sudamericana. En líneas generales, la costa del Perú, principalmente la zona centro y sur, es la región con el 70% de ocurrencia de sismos de gran magnitud. Por ello, dicha región es considerada como la de mayor riesgo ante sismos frecuentes de gran magnitud (Tavera, 2014).

En lo que respecta a la zona de estudio, se han recopilado los sismos con epicentro más cercano a dicho sector. Esto se realizó a partir de una base de datos (Charca, 2018) de 118 sismos de subducción ocurridos entre 1966 y 2015 con magnitudes desde 5 Mw.

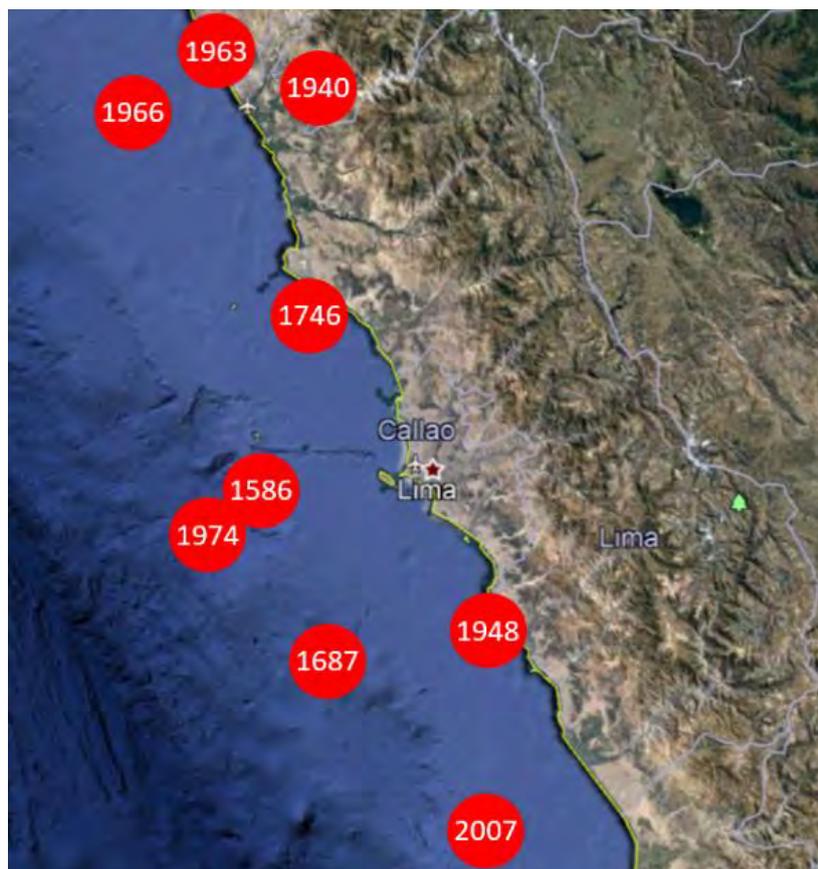
Figura 12: Sismos con magnitud ≥ 5 Mw con epicentro cercano a la zona de estudio



Adaptado de *Selección de leyes de atenuación sísmica de subducción para la evaluación del peligro sísmico en el Perú*, por Charca, O., 2018.

Históricamente, según un estudio de intensidades máximas para los sismos ocurridos entre 1500 y 2014, se ha encontrado que en Lima y Callao ha ocurrido sismos con intensidades desde VII hasta X-XI en la escala de Mercalli modificada (Tavera, 2014). Cabe recalcar que la escala base para este estudio fue VII, debido a que a partir de este nivel se observan daños estructurales. Asimismo, la intensidad ha ido disminuyendo a través de los años, por lo que en el periodo de 1960 a 2014 la intensidad máxima alcanzada fue VIII (Tavera, 2014).

Figura 13: Sismos históricos con intensidad mayor a VII en la escala de Mercalli Modificada con epicentros cercanos a la zona de estudio



Adaptado de *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*, por Tavera, H., 2014.

Es importante mencionar que en el departamento donde se ubica la Costa Verde existe una laguna sísmica relacionada con el sismo de 1746, por lo que se esperaría un sismo con una magnitud mayor a 8 Mw (Tavera, 2014). La laguna sísmica ha podido ser detectada a través de estudios de las zonas de ruptura, análisis estadísticos para determinar asperezas y estudios de los movimientos de las placas mediante GPS (Tavera, 2014).

De acuerdo a la norma E.030 (2019), la Costa Verde se encuentra ubicada en la zona 4 correspondiéndole un factor Z de 0.45. Este valor indica la máxima aceleración horizontal con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.

La aceleración horizontal pico (PGA) empleada en el presente trabajo es 0.44g. Esta se obtuvo a partir de un mapa de isoaceleraciones (Charca, 2018) para una clasificación de sitio tipo B, según la clasificación del International Building Code [IBC] (International Code Council, 2015); es decir, para roca y un periodo de retorno de 475 años.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Estudios previos

Antes de realizar un estudio a un talud, es necesario tener las características de la zona a estudiar. Esto incluye la topografía, la geología y las propiedades del suelo del lugar (Duncan et al., 2014; Suárez, 1998). En lo que respecta a los parámetros topográficos, estos nos brindan información de la pendiente, altura, largo del talud, entre otros (Suárez, 1998).

De igual forma, es importante conocer las características y extensión del suelo que conforman el talud para comprender la influencia que podrían tener estos en el desempeño del mismo (Huang, 2014). Para la exploración del suelo, se puede hacer uso de sondajes y ensayos geofísicos. De estos últimos, existen diversos tipos como, por ejemplo, de resistividad que emplea corrientes eléctricas; ensayos sísmicos, donde se evalúa la velocidad con que llegan las ondas; radiación de rayos gamma, entre otros (Suárez, 1998).

Por otro lado, se debe conocer las condiciones hidrológicas, lo cual incluye ubicar la profundidad de la napa freática (Huang, 2014; Suárez, 1998). Con ello, se determinaría la presión de poros, la cual es necesaria para realizar análisis de esfuerzos efectivos (Duncan et al., 2014).

Acercas de los parámetros del suelo, el más importante que se requiere conocer es la resistencia al corte, ya que afecta al factor de seguridad (Huang, 2014). Esta puede ser determinada a partir de ensayos de laboratorio o ensayos en campo (Huang, 2014; Suárez, 1998).

Entre los ensayos de campo, se encuentra el ensayo de penetración estándar (SPT) y el ensayo de penetración con cono (CPT) (Huang, 2014; Suárez, 1998). Sin embargo, estos ensayos no aplican para suelos con partículas del tamaño de una grava (Huang, 2014; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018); para tal material u otros, se pueden hacer ensayos de corte directo in situ (Suárez, 1998).

En cuanto a los ensayos de laboratorio que sirven para determinar la resistencia cortante, se encuentran el ensayo de corte directo, el ensayo triaxial y el ensayo de compresión simple (Huang, 2014; Suárez, 1998). Por otra parte, también es importante conocer el peso específico, ya que este influye en los análisis de estabilidad (Duncan et al., 2014).

Finalmente, se necesitan cortes o secciones a escala en donde se pueda observar la geometría del talud y las características más importantes. Esto debería hacerse especialmente en donde se haya hecho exploraciones, perforaciones o ensayos geofísicos no intrusivos (Duncan et al., 2014).

3.2. Métodos determinísticos

Como ya se mencionó, al analizar la estabilidad de taludes, se suelen determinar factores de seguridad a partir de métodos matemáticos. Estos consideran diversos factores que podrían afectar la estabilidad, tales como: la geometría, presión de poros, sismos, etc. Para ello, se asume que el suelo tiene las mismas propiedades en todas las direcciones; es decir, es isotrópico (Suárez, 1998).

3.2.1. Factor de seguridad

El factor de seguridad es determinado ante las incertidumbres de los parámetros del suelo y debido a las consecuencias que podrían ocurrir (Huang, 2014). Este sirve para tener cierto grado de seguridad de que la resistencia del suelo sea mayor que las fuerzas que podrían hacer que el talud falle (Duncan et al., 2014). Si las consecuencias ocasionadas por la falla son bajas, entonces, se aceptan factores de seguridad menores (Huang, 2014).

El factor de seguridad (F.S.) se suele definir como la siguiente relación (Duncan et al., 2014; Suárez, 1998):

$$F.S. = \frac{\textit{Resistencia al corte}}{\textit{Esfuerzo cortante de equilibrio}} \quad (3.1)$$

Para obtenerlo, se asume una superficie de falla; es decir, una superficie en la cual podría ocurrir una ruptura o un deslizamiento y se emplean ecuaciones de equilibrio estático para calcular los esfuerzos (Duncan et al., 2014). Entonces, se asume un criterio de equilibrio límite y se analiza un cuerpo libre en el que las fuerzas externas y las del suelo deben cumplir el equilibrio (Suárez, 1998). La superficie de falla puede ser circular, parabólica, logarítmica, plana y, además, estas pueden ser combinadas o compuestas (Suárez, 1998).

Asimismo, se asume que el factor de seguridad es constante a lo largo de toda la superficie de falla; por ello, se requiere analizar distintas superficies hasta obtener una crítica a la cual le corresponde un factor de seguridad mínimo (Duncan et al., 2014; Huang, 2014). A continuación, se presentan algunos métodos de la práctica común para obtener dicho factor de seguridad.

3.2.2. Equilibrio límite

Una manera de analizar la superficie de falla es considerando una sola masa de suelo o dividir dicha masa en franjas o dovelas para luego estudiar el equilibrio en cada una de ellas (Duncan et al., 2014; Huang, 2014; Suárez, 1998). El equilibrio puede ser evaluado considerando la acción de fuerzas en el eje vertical, horizontal y la acción de momentos en cualquier punto. Los distintos métodos consideran uno o más de estos casos; sin embargo, para determinar el factor de seguridad se necesitan realizar asunciones que varían entre los métodos, por lo que los factores de seguridad obtenidos son distintos (Duncan et al., 2014).

Métodos para un solo cuerpo libre

En este tipo de métodos, el equilibrio es evaluado en toda la masa de suelo entre la superficie del talud y la superficie de falla (Duncan et al., 2014). Un ejemplo de esto es el método del talud infinito (Duncan et al., 2014; Huang, 2014; Suárez, 1998), el cual tiene un procedimiento simple y rápido (Suárez, 1998).

En este método, el talud se considera infinito, pues su longitud es mucho más grande que la profundidad (Huang, 2014; Suárez, 1998). La superficie de falla es paralela a la superficie del talud (Duncan et al., 2014; Huang, 2014; Suárez, 1998). Debido a ello, cualquier par de planos perpendiculares al talud tienen los mismos esfuerzos (Duncan et al., 2014). Las fuerzas en estos planos, entonces, tienen la misma magnitud, pero son de sentidos contrarios, por lo que se anulan (Duncan et al., 2014; Huang, 2014). Si bien el equilibrio de momentos no es considerado explícitamente, sí se cumple, por lo que este método cumple tanto con equilibrio de fuerzas como de momentos (Duncan et al., 2014).

Método de dovelas

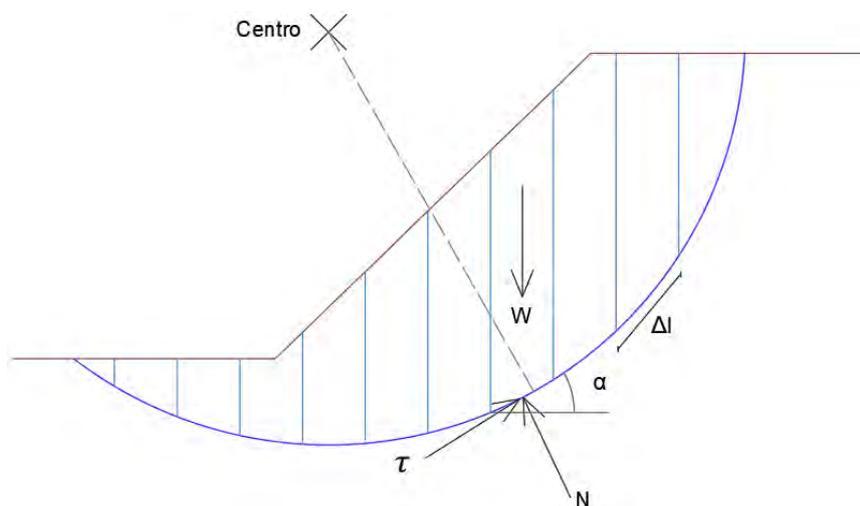
Estos procedimientos son útiles al estudiar taludes que cuentan con distintos tipos de suelo y para diferentes características de influencia del agua subterránea (Huang, 2014). Es de especial utilidad para los casos estáticamente indeterminados, ya que al dividir la masa en rebanadas y asumir ciertos criterios para las fuerzas entre ellas, el problema encuentra solución (Huang, 2014).

Estos métodos pueden asumir tanto fallas circulares como no circulares. Para el primer caso, el equilibrio de momentos se realiza con respecto al punto central del círculo. Para el segundo caso, el equilibrio se analiza en cada dovela (Duncan et al., 2014).

Método de dovelas con superficie de falla circular

Este tipo de fallas se produce en taludes con suelos homogéneos, en los cuales no se detecta alguna capa débil (Huang, 2014). Las dovelas tienen una orientación vertical y el ancho puede variar entre ellas (Das, 2013/2015). Cada rebanada tiene un peso (W_i), un ancho (Δl) y un ángulo de inclinación (α), el cual se mide desde la horizontal hasta la base de la dovela (Duncan et al., 2014). Además, en la dovela actúa una fuerza cortante (τ) y normal (N) en su base (Das, 2013/2015; Duncan et al., 2014). Cabe recalcar que si bien la superficie de falla es circular, para fines prácticos, se puede considerar que la base de la dovela es recta (Duncan et al., 2014).

Figura 14: Dovelas en superficie de falla circular



Adaptado de *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (p. 363), por Das, 2013/2015; *Soil strength and slope stability*, por Duncan et al., 2014.

El problema se da cuando un suelo tiene un valor no nulo del ángulo de fricción, puesto que, en ese caso, se requiere determinar el valor del esfuerzo normal, lo cual no es posible realizar sin hacer ciertas suposiciones que varían de acuerdo a cada método, como ya se mencionó anteriormente (Duncan et al., 2014).

- Método Ordinario o de Fellenius (1936)

Debido al contacto que existe entre dovelas, se generan fuerzas normales y cortantes entre ellas; no obstante, una característica de este método es que estas no son consideradas en los cálculos (Duncan et al., 2014; Huang, 2014; Zhu et al., 2003); en otras palabras, las fuerzas entre dovelas se anulan entre sí (Burman et al., 2015). Así mismo, este método puede emplearse en taludes con suelos no homogéneos (Huang, 2014).

Se desprende que la fuerza normal se obtiene al multiplicar el peso de cada dovela por el coseno del ángulo de la inclinación de la base de la rebanada (α). A partir de ello, la ecuación del factor de seguridad expresada en términos de esfuerzos efectivos, es la siguiente (Duncan et al., 2014):

$$F.S. = \frac{\sum(c'\Delta l + (W\cos\alpha - u\Delta l)\tan\phi')}{\sum W\text{sen}\alpha} \quad (3.2)$$

Si bien este procedimiento permite obtener el factor de seguridad sin necesidad de realizar iteraciones, su nivel de precisión es menor a otros similares. Este se ve afectado, especialmente, cuando la presión de poros aumenta (Duncan et al., 2014). Al no considerar las fuerzas entre dovelas, este método suele entregar factores de seguridad muy bajos (Burman et al., 2015), lo cual lo convierte en un método conservador.

- Método de Bishop simplificado (1955)

A diferencia del método de Fellenius donde no se tomaban en cuenta las fuerzas entre dovelas, el método de Bishop simplificado considera solo las fuerzas normales entre dovelas, mientras que las fuerzas cortantes son nulas (Das, 2013/2015; Duncan et al., 2014; Huang, 2014; Suárez, 1998; Zhu et al., 2003).

La ecuación para determinar el factor de seguridad, en función de esfuerzos efectivos, se muestra a continuación (Duncan et al., 2014):

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{c'\Delta l\cos\alpha + (W - u\Delta l\cos\alpha)\tan\phi'}{\cos\alpha + (\text{sen}\alpha \tan\phi')/(F.S.)} \right]}{\sum W\text{sen}\alpha} \quad (3.3)$$

Como se aprecia, el término de factor de seguridad no ha sido despejado por completo, puesto que se encuentra a ambos lados de la ecuación, por ello, en este caso, se debe realizar un proceso iterativo (Das, 2013/2015).

Si bien este método no satisface todas las condiciones de equilibrios (solo suma de fuerzas verticales y equilibrio de momentos) (Duncan et al., 2014; Huang, 2014), es más preciso que el método de Fellenius (Duncan et al., 2014) y es el recomendado para analizar superficies de falla circulares (Huang, 2014). Sin embargo, su principal limitación es que solo es aplicable para este tipo de superficies (Duncan et al., 2014; Huang, 2014).

Método de dovelas con superficie de falla no circular

Las superficies de falla no circulares ocurren, generalmente, cuando hay capas de suelos débiles. Los métodos pueden cumplir con algunas o todas las condiciones de equilibrio (Duncan et al., 2014). A continuación, se presentan dos métodos que cumplen totalmente con el equilibrio.

- Método de Spencer (1967)

Este procedimiento es el más sencillo entre aquellos que cumplen con todas las condiciones de equilibrio (Burman et al., 2015; Duncan et al., 2014). Para emplearlo, se deben hacer ciertas asunciones. En primer lugar, las fuerzas son paralelas entre sí y, en segundo lugar, tienen una cierta inclinación con la horizontal. (Duncan et al., 2014; Huang, 2014). Así también, la fuerza normal de la dovela pasa por el centro de su base (Duncan et al., 2014).

A partir del equilibrio en toda la masa del suelo, es posible determinar tanto el factor de seguridad como el ángulo de inclinación de las fuerzas en cada dovela, lo cual se logra gracias a un proceso iterativo (Duncan et al., 2014). Finalmente, con estos valores determinados y empleando el equilibrio en cada dovela, se obtiene la fuerza normal en cada rebanada, la ubicación de las fuerzas entre dovelas y su respectiva magnitud (Duncan et al., 2014).

- Método de Morgenstern-Price (1965)

Este método genera una relación entre las fuerzas verticales y horizontales entre cada dovela, mediante un factor escalar y una función asumida (Duncan et al., 2014; Zhu et al., 2003). A través de las ecuaciones de equilibrio, es posible determinar el factor de seguridad, el factor escalar, la fuerza normal en la base y la fuerza horizontal entre las dovelas. Con ello, es posible despejar el valor de la fuerza vertical (Duncan et al., 2014).

Las diferencias con el método de Spencer es que este tiene como incógnita un mismo ángulo de inclinación para todas las fuerzas entre dovelas, mientras que Morgenstern-Price tiene la posibilidad de considerar diferentes ángulos (Huang, 2014). Además, el método de Morgenstern-Price toma en cuenta el factor escalar (Duncan et al., 2014).

Por ello, el método de Morgenstern-Price es más flexible en cuanto a las asunciones de las fuerzas entre rebanadas. No obstante, en casos generales, estas fuerzas no influyen en el resultado del factor de seguridad, por lo que ambos métodos dan resultados

similares (Duncan et al., 2014; Huang, 2014). Cabe señalar que es el de Spencer, el más sencillo de aplicar (Huang, 2014).

3.2.3. Elementos finitos

Este procedimiento consiste en dividir el suelo en pequeños elementos que se unen en los nodos y en bordes definidos (Suárez, 1998). Para realizar este tipo de análisis, se necesita de seis datos de ingreso: cohesión, ángulo de fricción, peso específico, ángulo de dilatación, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson (Duncan et al., 2014; Griffiths & Lane, 1999). Este método realiza varios análisis, en cada uno de ellos va disminuyendo la resistencia del suelo hasta que el talud se vuelve inestable y, de esta manera, se obtiene el factor de reducción de resistencia (SRF), un equivalente al factor de seguridad (Duncan et al., 2014).

Entre las ventajas del análisis por elementos finitos, se encuentra lo siguiente: no son necesarias las asunciones con respecto a la superficie de falla, no se hace uso de dovelas y, por lo tanto, no se asumen condiciones para las fuerzas entre ellas; se puede obtener información sobre deformaciones y se puede observar cómo se va generando la falla (Griffiths & Lane, 1999).

Todos los puntos evaluados dentro del análisis deben estar en equilibrio, para ello, se necesita la relación entre esfuerzos y deformaciones; no obstante, esto genera una desventaja para este método, pues dicha relación es difícil de determinar (Suárez, 1998).

3.3. Métodos probabilísticos

Al analizar el significado del factor de seguridad, se tiene que un factor igual a 1 indica que el talud se encuentra en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad. Los resultados por encima de dicho valor, por muy pequeña diferencia que exista, indicarían que el talud es estable. A pesar de ello, debido a la incertidumbre inherente de algunos parámetros empleados en el cálculo, se exigen valores mayores que 1 (Duncan et al., 2014).

Los métodos de confiabilidad permiten combinar los efectos de las incertidumbres y diferenciar entre condiciones donde estas sean mayores o menores (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014). Además, incluyen conceptos de gestión de riesgos y probabilidades que permiten que los ingenieros tomen decisiones más informadas (Silva et al., 2008).

Las incertidumbres que existen en el área de la geotecnia son de dos tipos: aleatorios y epistémicos. Los aleatorios son aquellos que son naturales y no pueden ser reducidos ni eliminados como, por ejemplo, la variabilidad espacial de los parámetros del suelo. Por otro lado, la incertidumbre epistémica se relaciona con la falta de conocimiento y si puede ser reducida o eliminada. Por ejemplo, la incertidumbre estadística, de medición y en el modelo empleado (Nadim, 2007).

3.3.1. Conceptos generales de probabilidades

- Variable

Es aquel parámetro que puede tomar diferentes valores (Duncan & Sleep, 2015). En el caso de la geotecnia, las propiedades de los suelos o rocas se consideran como variables aleatorias (Duncan & Sleep, 2015; Nadim, 2007), incluso si toman un valor único como, por ejemplo, un promedio (Duncan & Sleep, 2015). Estas variables son definidas a partir del promedio, desviación estándar o coeficiente de variación y una función de distribución de probabilidad (Nadim, 2007), conceptos que se verán a continuación.

- Promedio (\bar{x})

Dentro de una distribución o grupos de datos, el promedio es la medida de la tendencia central (Fenton & Griffiths, 2007; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

- Varianza (V) y desviación estándar (σ)

Dentro de una población, la varianza de una muestra (cantidad “n” de observaciones independientes) se determina con la siguiente ecuación (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014):

$$V(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (3.4)$$

En esa misma línea, la desviación estándar puede obtenerse como la raíz cuadrada de la varianza (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014). Estos conceptos permiten obtener la dispersión de los valores con respecto al promedio (Duncan & Sleep, 2015; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

Existe otro tipo de desviación estándar, también conocida como poblacional, que considera todos los elementos dentro un conjunto y cuya fórmula es diferente a la anterior, como se muestra a continuación (Duncan & Sleep, 2015):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.5)$$

Como se observa, en el caso de la desviación estándar de una muestra, el denominador sufre una reducción para corregir el sesgo ocasionado, ya que la media empleada también ha sido obtenida a partir de dicha muestra (Baecher & Christian, 2003). Si bien estas ecuaciones dan resultados ligeramente diferentes, su uso es indistinto al analizar las propiedades de suelos y rocas (Duncan & Sleep, 2015).

- Coeficiente de variación (COV)

Este término sirve para apreciar el tamaño de la dispersión de las variables (Duncan & Sleep, 2015; Fenton & Griffiths, 2007). Se obtiene al dividir la desviación estándar entre el promedio (Duncan & Sleep, 2015; Fenton & Griffiths, 2007; Huang, 2014; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

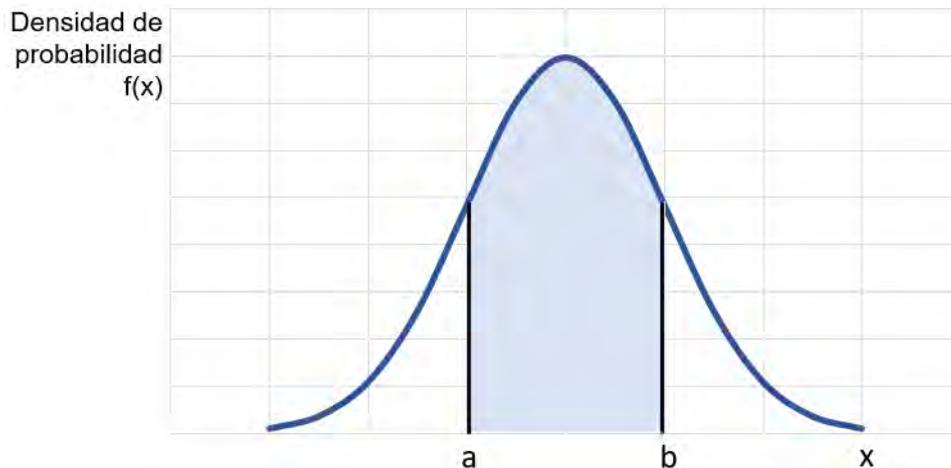
$$COV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3.6)$$

3.3.2. Distribuciones probabilísticas

Las variables que se consideran en el presente trabajo —tales como cohesión, ángulo de fricción y peso específico— se conocen como variables continuas. Estas se caracterizan porque pueden tomar infinitos valores, a diferencia de las variables discretas que tienen valores finitos (Baecher & Christian, 2003; Fenton & Griffiths, 2007; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019). Para las variables continuas, se emplean ciertas funciones para analizar la probabilidad, como lo son la función de densidad de probabilidad (PDF) y la función de distribución acumulada (CDF) (Baecher & Christian, 2003; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

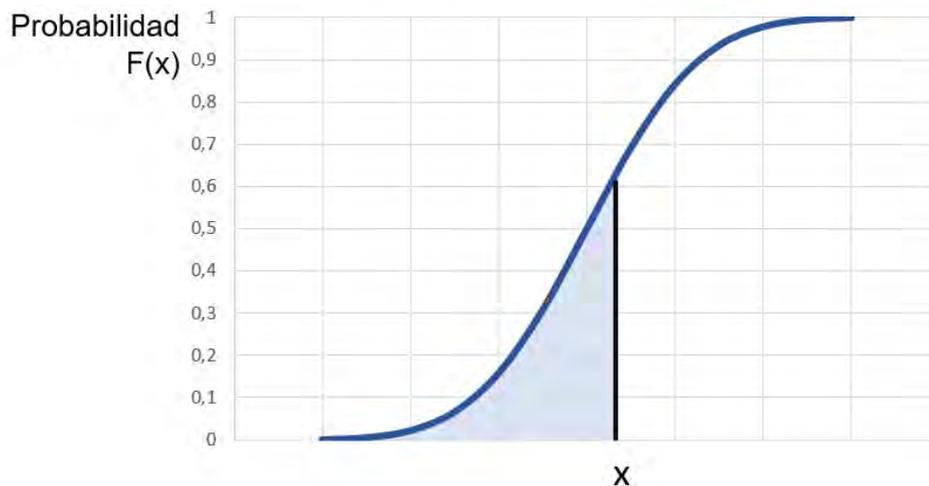
La primera función permite obtener la probabilidad de ocurrencia dentro de un rango de valores. Esto se logra al conocer el área bajo la curva de dicho sector. Por otro lado, la CDF es la integral de la PDF e indica la probabilidad de que una variable sea menor o igual a un valor determinado (Baecher & Christian, 2003; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

Figura 15: Función de densidad de probabilidad (PDF)



Adaptado de *Best Practices in dam and levee safety risk analysis. Part I - Risk Analysis Basics* (p. A-1-16 y A-1-17), por U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019.

Figura 16: Función de distribución acumulada (CDF)



Adaptado de *Best Practices in dam and levee safety risk analysis. Part I - Risk Analysis Basics* (p. A-1-18), por U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019.

La distribución normal y la distribución lognormal son las más empleadas y pueden ser obtenidas a partir del promedio y la desviación estándar (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014).

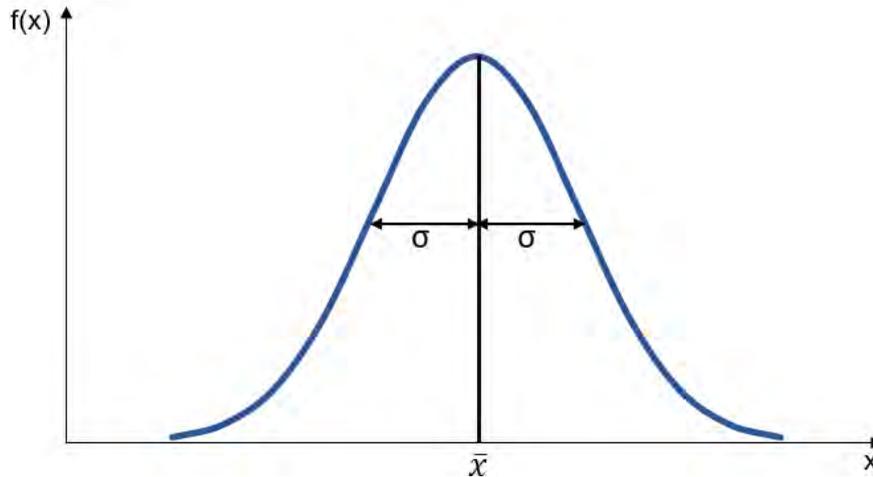
- Distribución normal

Esta es la distribución más empleada y algunos parámetros del suelo —como, por ejemplo, la cohesión— tienen esta distribución (Fenton & Griffiths, 2007). Se caracteriza por tener forma de campana simétrica con su punto máximo ubicado en el valor promedio (Baecher & Christian, 2003; Duncan & Sleep, 2015; Fenton & Griffiths, 2007; Huang, 2014; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019; Walpole et al., 2012/2012). A esta campana se le conoce como

curva normal (Walpole et al., 2012/2012). La ecuación para la función de densidad de probabilidad (PDF) es la siguiente (Baecher & Christian, 2003; Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019; Walpole et al., 2012/2012):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

Figura 17: Distribución normal



Adaptado de *Best Practices in dam and levee safety risk analysis. Part I - Risk Analysis Basics* (p. A-1-23), por U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019; *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (p. 173), por Walpole et al., 2012/2012.

- Distribución lognormal o logarítmica normal

Esta distribución también tiene forma de campana; sin embargo, a diferencia del caso anterior, es una campana asimétrica y el pico se ubica a la izquierda del valor promedio (Duncan & Sleep, 2015). Esta distribución se basa en que el logaritmo de una variable tiene una distribución normal (Duncan & Sleep, 2015; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019; Walpole et al., 2012/2012).

La función de densidad de la distribución lognormal viene dada por la siguiente ecuación (Duncan & Sleep, 2015):

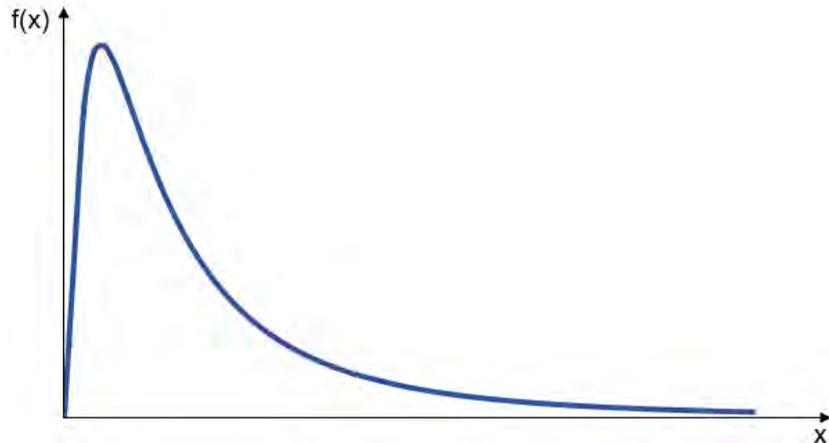
$$f(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

Donde:

$$\zeta = \sqrt{\ln(1 + COV^2)} \quad (3.9)$$

$$\lambda = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{2}\zeta^2 \quad (3.10)$$

Figura 18: Distribución lognormal



Adaptado de *Best Practices in dam and levee safety risk analysis. Part I - Risk Analysis Basics* (p. A-1-24), por U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019; *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (p. 202), por Walpole et al., 2012/2012.

3.3.3. Confiabilidad y probabilidad de falla en la estabilidad de taludes

La confiabilidad (R) es la probabilidad de que un talud no va a fallar; es decir, se mantendrá estable ante ciertas condiciones como, por ejemplo, un sismo (Duncan et al., 2014). Esta es un complemento de la probabilidad de falla (Duncan & Sleep, 2015).

La probabilidad de falla es, valga la redundancia, la probabilidad de que ocurra la falla. Al relacionarla con el factor de seguridad, se dice que esta ocurre cuando el factor de seguridad es menor a 1 (Duncan & Sleep, 2015). Como ya se mencionó anteriormente, la falla no implica un hecho catastrófico, sino una deficiencia en el desempeño del talud (Duncan, 2000; Duncan & Sleep, 2015).

La relación entre la probabilidad de falla ($P.F$) y la confiabilidad es la siguiente (Duncan et al., 2014; Huang, 2014):

$$R = 1 - Pf \quad (3.11)$$

La probabilidad de falla puede ser determinada a partir de probabilidades obtenidas mediante observaciones (datos históricos), de teorías de probabilidad y a partir del juicio de expertos (Silva et al., 2008).

3.3.4. Métodos para estimar desviaciones estándar

Es importante determinar las desviaciones estándar de los parámetros involucrados en el factor de seguridad, con el fin de hallar la probabilidad de falla del talud (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015).

- Data histórica

Como se mencionó, esta es una forma aceptada de obtener datos probabilísticos (Silva et al., 2008). Entonces, de existir información suficiente, se podrían emplear las ecuaciones mencionadas anteriormente (3.4) y (3.5); no obstante, en el área geotécnica no siempre se cuenta con los datos debidos (Duncan & Sleep, 2015).

- La regla 3-sigma

Esta regla indica que se puede hallar la desviación estándar de una variable conociendo el máximo y el mínimo valor que este podría tomar, puesto que existen aproximadamente tres desviaciones estándar por encima y por debajo del valor promedio. A este intervalo se le atribuye aproximadamente 99.7% de intervalo de confianza; es decir, 99.7% de los valores están dentro del rango definido por las 6 desviaciones estándar en una distribución normal (Baecher & Christian, 2003; Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015).

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{6} \quad (3.12)$$

Donde HCV es el máximo valor posible y LCV es el mínimo valor posible.

Sin embargo, en algunos casos puede ocurrir que el rango de los valores máximos y mínimos posibles no es lo suficientemente amplio para que estén en el rango de más menos tres desviaciones estándar (Baecher & Christian, 2003; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015). En estos casos, existe una variación de esta regla conocida como la regla N-sigma, en donde el denominador recomendado es 4; no obstante, no hay un valor definido (Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015). Cabe mencionar que el intervalo de confianza para una distribución normal con un rango de 4 desviaciones estándar es de 95% (Altman & Bland, citado en Altman & Bland, 2005).

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{N} \quad (3.13)$$

- Valores publicados

Existen valores publicados de coeficientes de variación para distintos parámetros geotécnicos, por lo que al hacer uso de la ecuación (3.6) es posible determinar la desviación estándar. Ahora bien, estos valores son generales y deben ser tomados con cuidado, puesto que pueden variar según el tipo de suelo (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015).

3.3.5. Métodos para estimar la desviación estándar del factor de seguridad

Análogamente a los métodos que existen para determinar la desviación estándar de los parámetros del suelo, también existen procedimientos, como los mostrados líneas abajo, para determinar la desviación del factor de seguridad. Para emplearlos, se requiere conocer, primero, la desviación estándar de los parámetros involucrados. No obstante, en la actualidad, existen programas como Slide que ya brindan esta información.

- Método de las series de Taylor o Método del valor medio primer orden segundo momento (MFOSM)

Este método es bastante útil cuando el coeficiente de variación de los parámetros a emplear se basa más en la experiencia que en ensayos de campo (Huang, 2014). Solo es necesario conocer el promedio y desviación estándar de las variables (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014). Este método consiste en determinar dos factores de seguridad por cada variable: uno con el valor promedio de la variable más su desviación estándar y el otro con el valor promedio menos la desviación estándar. Al calcular los dos factores de seguridad para una determinada variable, las otras deben mantener su promedio (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014).

La desviación estándar puede ser obtenida mediante la siguiente fórmula (Duncan, 2000; Duncan et al., 2014; Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014):

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{F_{x1+} - F_{x1-}}{2}\right)^2 + \left(\frac{F_{x2+} - F_{x2-}}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{F_{xn+} - F_{xn-}}{2}\right)^2} \quad (3.14)$$

Donde:

F_{xi+} : Factor de seguridad calculado con el promedio más la desviación estándar de la variable i.

F_{xi-} : Factor de seguridad calculado con el promedio menos la desviación estándar de la variable i.

- Método de estimación puntual

Este método fue elaborado por Rosenblueth en 1975 (Baecher & Christian, 2003; Duncan & Sleep, 2015). Es un procedimiento sencillo, bastante usado en el análisis de confiabilidad en el área geotécnica y no requiere de gran conocimiento probabilístico (Baecher & Christian, 2003).

A partir de una función con n variables, se analizan 2^n casos para determinar la media y desviación estándar de la función (Baecher & Christian, 2003; Duncan et al., 2014). Esta función podría ser el factor de seguridad (Duncan & Sleep, 2015).

Cada variable involucrada toma dos valores: el valor promedio más la desviación estándar y el valor promedio menos la desviación estándar. A partir de ellos, se calcula la función mediante todas las combinaciones entre las variables, por lo que resultan 2^n casos (Baecher & Christian, 2003; Duncan & Sleep, 2015).

Además, se debe asignar un peso (P) a cada combinación. Si las variables son independientes, este peso es el mismo para todos los casos; es decir, 1 entre el número de casos (Baecher & Christian, 2003; Duncan & Sleep, 2015).

El promedio de la función, en este caso el factor de seguridad, se halla como el promedio de todos resultados obtenidos de las combinaciones; por otro lado, la desviación estándar se obtiene mediante la siguiente ecuación (Duncan & Sleep, 2015):

$$\sigma_F = \sqrt{\sum P_i F_i^2 - F_{promedio}^2} \quad (3.15)$$

Donde F es el resultado de la función, en este caso el factor de seguridad.

3.3.6. Métodos para obtener la probabilidad de falla

- A partir de una distribución normal

Para obtener la probabilidad de falla a partir de una distribución normal, se hace uso del índice de confiabilidad (β). Este es una medida de la confiabilidad e indica el número de desviaciones estándar entre un factor de seguridad de 1 y el factor de seguridad más probable (Duncan et al., 2014).

De acuerdo a esta distribución, el índice β se obtiene a partir del factor de seguridad promedio y de la desviación estándar mediante la siguiente ecuación (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014).

$$\beta = \frac{F.S.promedio - 1}{\sigma[F.S]} \quad (3.16)$$

Con este valor y conociendo la función para esta distribución, se procede a determinar el área hasta dicho punto. De esta manera, sabiendo que el área total bajo una curva normal es 1, es posible determinar la probabilidad de falla por diferencia de áreas (Duncan & Sleep, 2015; Huang, 2014; Walpole et al., 2012/2012).

- A partir de una distribución lognormal

De forma semejante al caso anterior, se requiere calcular el índice de confiabilidad, pero considerando logaritmos (Duncan et al., 2014):

$$\beta_{ln} = \frac{\ln\left(\frac{F_{MLV}}{\sqrt{1 + COV_F^2}}\right)}{\sqrt{\ln(1 + COV_F^2)}} \quad (3.17)$$

Donde, F_{MLV} es el factor de seguridad más probable. Con el índice obtenido, se puede determinar la probabilidad de falla, como en el caso anterior, haciendo uso de una distribución normal (Duncan & Sleep, 2015).

- Análisis de Monte Carlo

El método de Monte Carlo se caracteriza por realizar varios análisis cambiando los valores de las variables de forma aleatoria de acuerdo a su función de densidad de probabilidad (PDF) (Duncan & Sleep, 2015; International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005; Nadim, 2007; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019). Para ello, se suelen emplear programas de computadora para poder realizar las diferentes corridas (Duncan & Sleep, 2015; Nadim, 2007; Prada et al., 2011).

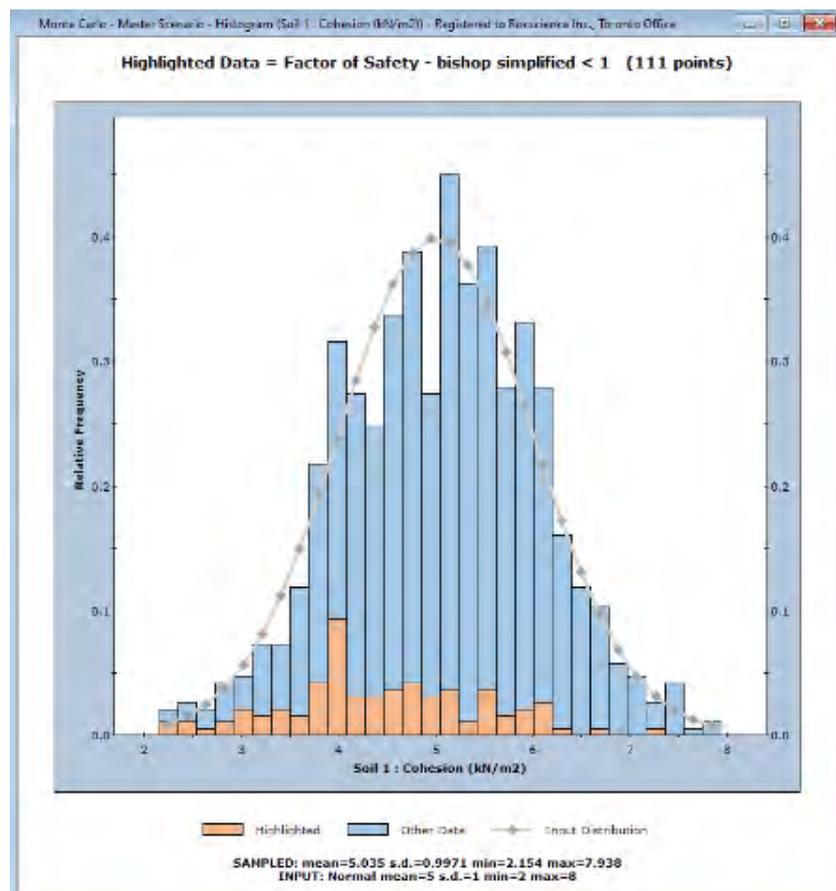
La cantidad de análisis a emplear depende de la precisión que se requiera en los resultados (Baecher & Christian, 2003). Para lograr una respuesta más confiable, se requiere de una mayor cantidad de corridas (Nadim, 2007; Prada et al., 2011). Por otro lado, no se asume una distribución para el factor de seguridad, sino que se le asigna a cada variable implicada una distribución (Duncan & Sleep, 2015).

Con el método de Monte Carlo, la probabilidad de falla —y, por consecuencia, la confiabilidad— se calcula directamente al obtener las veces en las que la función (para este caso, el factor de seguridad) tiene un valor menor a 1. Entonces, al dividir esta

cantidad entre el total de cálculos se obtiene la probabilidad de falla (Duncan & Sleep, 2015; Prada et al., 2011).

Específicamente, el programa Slide, empleado para la presente tesis, permite realizar el análisis en la superficie de deslizamiento crítica determinada a través del método determinístico seleccionado. Para dicha superficie, se otorgan valores aleatorios a las variables involucradas de acuerdo a la distribución y desviación estándar asignadas, con los que se obtiene una cierta cantidad de factores de seguridad dependiendo del número de iteraciones indicadas por el usuario (Rocscience, 2021). Con la recopilación de los factores de seguridad, se obtiene la probabilidad de falla, al dividir la cantidad de factores de seguridad menores a la unidad entre la cantidad total. Asimismo, en caso se desee realizar una correlación entre el ángulo de fricción y la cohesión, el programa ofrece esta alternativa; sin embargo, también se pueden tratar como variables independientes (Rocscience, 2021).

Figura 19: Ejemplo del análisis de Monte Carlo en el programa Slide



Tomado de *Probabilistic analysis tutorial*, por Rocscience, 2021.

- Método semiempírico: según el nivel de ingeniería y el criterio ingenieril

El factor de seguridad también puede ser asociado a una probabilidad de falla gracias a la figura 1, a partir del nivel de ingeniería empleado en una estructura de tierra. Cabe recalcar que esta imagen brinda directamente la probabilidad de falla anualizada. Dicha gráfica fue elaborada a partir de 75 proyectos realizados a lo largo de 40 años y busca cuantificar el criterio empleado por los ingenieros para hacer el análisis de riesgo (Silva et al., 2008).

Para clasificar a una estructura en una curva determinada, se puede emplear los aspectos indicados en la tabla 2 (el detalle de cada criterio se puede encontrar más adelante en la tabla 25). A cada característica se le asigna un valor, dependiendo si cumple o no con las condiciones de cada criterio. Al final, se suman los valores obtenidos en todos los aspectos y se le asigna un nivel. Si la estructura no calza en una curva exacta, se podría interpolar con el valor obtenido. (Silva et al., 2008).

Tabla 2: Puntajes según criterios de clasificación

Nivel de Ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Ensayos	Análisis y documentación		
I (Óptimo)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
II (Encima del promedio)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
III (Promedio)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
IV (Pobre)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Adaptado de *Probability and risk of slope failure* (p. 1693), por Silva et al., 2008.

3.3.7. Riesgo

El concepto de riesgo relaciona a la gravedad de las consecuencias no deseadas que podrían ocurrir ante un cierto evento con su frecuencia de ocurrencia. Este está asociado a un peligro, el cual es la fuente que podría generarlo (Griffin, 2017; Silva et al., 2008). El riesgo puede implicar consecuencias en diferentes rubros, tales como: el ambiente, la economía y el aspecto humano (Griffin, 2017). Es muy importante considerar el riesgo, especialmente en el ámbito geotécnico, puesto que suele ocurrir con mayor frecuencia que en otras áreas de la ingeniería civil, debido a la complejidad y la incertidumbre del suelo (Orr, 2015).

Una adecuada evaluación del riesgo permite comprender las incertidumbres de un proyecto, identificar y evaluar los peligros, y tomar acciones adecuadas al respecto

(Silva et al., 2008). Las actividades involucradas en la gestión de riesgos, generalmente, implican un equipo de trabajo interdisciplinario de gran experiencia que realiza diversas revisiones y retroalimentaciones para llevar a cabo su labor (Griffin, 2017; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

El proceso de gestión de riesgos, en primer lugar, inicia con la delimitación del contexto a trabajar y la identificación de potenciales modos de falla, causas y todos los eventos que tendrían que suceder para que ocurra la falla y sus consecuencias. El análisis de riesgo permite comprender y estimar el riesgo, ya sea de forma cuantitativa o cualitativa (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015; Griffin, 2017).

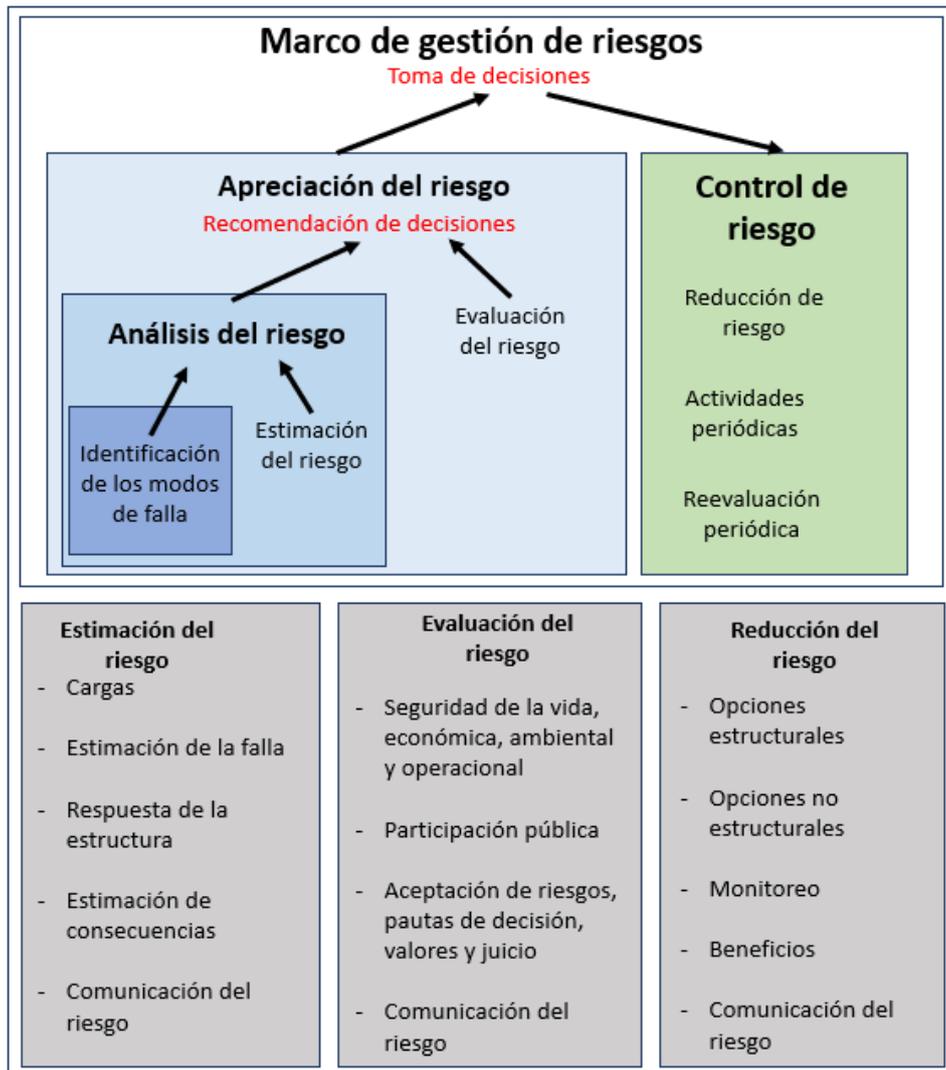
Posteriormente, se procede a evaluar el riesgo, lo cual involucra la descripción con mayor detalle (magnitud, origen y probabilidad) de las consecuencias ocasionadas por un peligro. Así mismo, se proponen opciones para manejar el riesgo, evaluaciones económicas, ambientales, entre otras. Con ello, se realiza el proceso para determinar cuáles serían los riesgos que se van a mitigar o aceptar, el orden de prioridad y el procedimiento a seguir (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015; Griffin, 2017).

A continuación, se realiza la gestión de riesgos, en donde se deciden e implementan las acciones para llevar al riesgo a un nivel aceptable tomando en cuenta los costos y beneficios (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015). Finalmente, se continúa monitoreando las decisiones tomadas con el fin de una mejora continua (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015; Griffin, 2017).

El término de riesgo tolerable, anteriormente conocido como riesgo aceptable (Silva et al., 2008), está relacionado con una probabilidad de falla aceptada; no obstante, esto puede variar según las consecuencias (Fenton & Griffiths, 2008). Se debe aclarar que este no es un tipo de riesgo que pueda ser ignorado; por el contrario, siempre debe estar bajo observación y debe ser reducido dentro de las posibilidades (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015).

El riesgo aceptable se relaciona con la opinión pública, la probabilidad de falla versus el costo y el riesgo percibido. Sin embargo, el costo no siempre se puede determinar, por ejemplo, como en el caso de las vidas humanas (Fenton & Griffiths, 2008).

Figura 20: Proceso de gestión de riesgos



Adaptado de *Federal guidelines for dam safety risk management* (p. 6), por Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2015.

- Métodos para estimar el riesgo

Mediante costos

Se puede obtener un riesgo económico anual a partir de la probabilidad de falla anual de los eventos estudiados. La pérdida promedio esperada se calcula como el producto entre la probabilidad de falla anual y el costo de dicha falla. Sin embargo, el aspecto humano, como la pérdida de vidas, suele considerarse aparte (Silva et al., 2008).

Métodos de análisis de modo de falla

Este método fácil de aplicar permite visualizar un amplio rango de las consecuencias que podrían ocurrir, así como las causantes. Existen dos enfoques para este método: el análisis de modo de falla (FMEA) y el análisis de modo de falla, efectos y criticidad

(FMECA) (International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005). Este último estudia sistemas más grandes, así como identifica medidas de mitigación y clasifica al riesgo de acuerdo a un rango empleando matrices (Griffin, 2017). El modo de falla involucra la causa inicial o el iniciador, el cual podría ser, por ejemplo, un sismo. Además, considera la secuencia de pasos que deberían ocurrir para llegar a la falla y sus impactos (Griffin, 2017; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019). El FMEA solo busca entender la situación y evaluar la influencia del modo de falla, mientras que el FMECA involucra probabilidades de ocurrencia y consecuencias para cada modo de falla (International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005).

En el caso del método del FMECA, una vez que se haya determinado los modos de fallas y sus respectivas consecuencias, se proponen soluciones para mitigar el riesgo. De igual manera, los efectos económicos, ambientales y de seguridad son determinados para los modos de falla y sus consecuencias. Esto se realiza a través de una matriz de riesgos, como la mostrada más adelante, en la cual en un eje se indica la probabilidad de ocurrencia y en el otro, la gravedad de las consecuencias (Griffin, 2017).

Tabla 3: Matriz de riesgo

Frecuencia		Gravedad de las consecuencias				
Índice	Eventos/año	Muy bajas (A)	Bajas (B)	Moderadas (C)	Altas (D)	Muy altas (E)
5 Probable	>1	Moderado	Alto	Crítico	Crítico	Crítico
4 Menos probable	1 a 1/10	Moderado	Alto	Alto	Crítico	Crítico
3 Posible	1/10 a 1/100	Bajo	Moderado	Alto	Crítico	Crítico
2 Poco probable	1/100 a 1/1000	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Crítico
1 Raro	1/1000 a 1/10000	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto

Adaptado de *Risk assessment in Guidelines for mine waste dump and stockpile design* (p. 190), por Griffin, B., 2017.

Finalmente, los resultados son presentados en un formato de registro de riesgo, como el mostrado a continuación. Cabe recalcar que tanto la matriz de riesgo como el registro de riesgo pueden ser empleados por otros métodos de análisis (Griffin, 2017).

Tabla 4: Formato de registro de riesgo

Modo de falla	Causa	Consecuencias	Medidas de mitigación	Tipo de control	Frecuencia	Severidad					Notas
						Salud y seguridad	Comunidad	Ambiente	Operación	Costo	
					1	-	-	D	C	D	

Adaptado de *Risk assessment in Guidelines for mine waste dump and stockpile design* (p. 192), por Griffin, B., 2017.

Árboles lógicos

Los árboles lógicos permiten analizar de manera secuencial los eventos relacionados con un peligro (Griffin, 2017). Los árboles pueden ser de falla y de evento (Griffin, 2017; International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005), e incluso se puede realizar la combinación de ambos, a la cual se le conoce como de causa-consecuencia (Griffin, 2017).

El árbol de falla coloca el evento no deseado en la parte superior del diagrama y, a partir de este, se identifican las causas en cada nivel (Griffin, 2017; International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005). Usualmente, en el segundo nivel, se ubican las causas o modos de falla (International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005). Los beneficios de este sistema es que se pueden identificar todos los factores, se delimita el problema a analizar, ya que el análisis se centraliza en un evento; asimismo, permite estimar probabilidades y el riesgo (Griffin, 2017).

En cuanto al árbol de evento, este comienza con un suceso que podría ser una falla y, a partir de este, se desprenden las posibles consecuencias que podrían ocurrir. Este método también permite obtener la probabilidad de que ocurra o no una determinada consecuencia (Griffin, 2017; International Commission on Large Dams [ICOLD], 2005; U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019). Usualmente, en este tipo de árbol, se comienza indicando el evento inicial como, por ejemplo, un sismo; luego, se desarrolla las posibles respuestas del sistema y las consecuencias de estas respuestas. Para un mayor análisis, se podría incluir, además, otros factores que influyan en los hechos (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

4. MÉTODO PARA OBTENER LA PROBABILIDAD DE FALLA ANUAL

A lo largo del capítulo anterior, se presentaron diversas herramientas estadísticas que permiten involucrar las incertidumbres propias de los parámetros del suelo en el análisis, con lo cual se obtiene la probabilidad de falla.

Sin embargo, para la evaluación del riesgo, no se hace uso de probabilidades absolutas; por el contrario, se emplean probabilidades relacionadas con un periodo de tiempo, usualmente un año. A esto se le conoce como probabilidad de falla anual (Oboni & Oboni, 2020).

Basándose en la información recolectada, se procedió a escoger los métodos para determinar la desviación estándar de los parámetros involucrados (peso específico, cohesión y ángulo de fricción), la probabilidad de falla y la probabilidad de falla anual.

Desviación estándar de los parámetros involucrados

En las siguientes tablas, se muestra el resumen de los valores recopilados para los diversos parámetros, lo cual sirvió de base para determinar la desviación estándar correspondiente.

Tabla 5: Resumen de valores recopilados para el material grueso

Distrito	Fuente	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de fricción (°)
San Miguel	Zúñiga (2004)	22.56	58.86	42.50
Magdalena	Díaz (2008)	22.56	78.48	40.00
San Isidro	Pacheco (2006)	22.56	58.86	42.50
Miraflores	Cañari (2011)	20.60	53.96	40.00
	Chahua (2010)	17.66	0.98	35.40
		17.56	1.96	34.70
	Raygada (2011)		9.81	35.00
			19.62	40.00
Vargas (2008)	22.86	68.67	60.00	
Barranco	Granados (2006)		84.37	54.00
Chorrillos	Hidroenergía consultores, citado en UNI & CISMID (2010)	19.62 – 21.58	9.81 – 78.48	35.00 – 42.00
Toda la zona en general	García (1984)	21.58	58.86	39.00

Elaboración propia

Tabla 6: Resumen de valores recopilados para el material fino

Distrito	Fuente	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de fricción (°)
San Miguel	Zúñiga (2004)	16.48	95.16	21.00
Magdalena	Díaz (2008)	15.01	82.40	22.00
Miraflores	Cañari (2011)	16.68	88.29	28.50
	Vargas (2008)	16.58	46.11	20.00
Barranco	Granados (2006)		39.24	20.00
Chorrillos	Hydroenergía consultores, citado en UNI & CISMID (2010)	15.70 – 17.66	29.43 – 39.24	10.00 - 25.00
Toda la zona en general	García (1984)	16.68	58.86	26.00

Elaboración propia

Tabla 7: Resumen de valores recopilados para el relleno no controlado

Distrito	Fuente	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de fricción (°)
San Miguel	Zúñiga (2004)	17.66	0.00	25.00
Magdalena	Díaz (2008)	17.95	0.00	25.00
San Isidro	Pacheco (2006)	20.60	0.00	40.50
Miraflores	Cañari (2011)	17.66	4.91	30.00

Elaboración propia

Con respecto al relleno controlado, se encontró que el peso específico varía entre 20.01 a 21.97 kN/m³; la cohesión, entre 0 a 9.81 kN/m² y, finalmente, el ángulo de fricción se encuentra entre 28 a 38° (Oboni & Oboni, 2020).

Cabe recalcar que la información recopilada muestra en algunos casos valores que no se encuentran dentro de un rango típico, por lo que para determinar el promedio y desviación estándar se descartaron algunos valores extremos y se consideraron los valores mostrados en la tabla 8.

Tabla 8: Rango de valores empleados

Material	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de fricción (°)
Material grueso	17.66 – 22.86	9.81 – 68.65	34.00 – 43.50
Material fino	15.00 – 17.66	29.42 – 95.12	20.00 – 30.00
Relleno no controlado	17.66 – 18.34	0.00 – 4.90	25.00 – 31.00
Relleno controlado	20.01 – 21.97	0.00 – 9.81	36.00 – 40.00

Elaboración propia

Para el promedio, se empleó un promedio simple; sin embargo, para determinar la desviación estándar, se optó por emplear las reglas 3-sigma y N-sigma, puesto que solo es necesario conocer los valores máximos y mínimos posibles, información que puede ser deducida a partir de lo recopilado. De esta manera, se descartó determinar la desviación estándar a partir de las ecuaciones (3.4) y (3.5), puesto que no se cuenta con un registro amplio de valores.

La elección de considerar como denominador el valor de 6 o 4 estuvo vinculada al tipo de material analizado (grueso, fino o relleno), a la información de cada distrito y a la procedencia de estos valores; es decir, si fueron hallados en muestras inalteradas, mediante cálculos, entre otros.

Finalmente, se eligió como tipo de distribución a la distribución normal, ya que esta es la más empleada y los parámetros involucrados suelen tener este comportamiento. De este modo, los valores empleados en el análisis fueron los siguientes:

Tabla 9: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de San Miguel

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m³)	20.83	1.30	N=4
	Cohesión (kN/m²)	48.60	14.96	N=4
	Fricción (°)	38.73	2.38	N=4
Material fino	Peso específico (kN/m³)	16.27	0.44	N=6
	Cohesión (kN/m²)	62.98	10.95	N=6
	Fricción (°)	26.06	1.67	N=6
Relleno no controlado	Peso específico (kN/m³)	17.90	0.17	N=4
	Cohesión (kN/m²)	1.23	1.23	N=4
	Fricción (°)	27.75	1.50	N=4

Elaboración propia

Tabla 10: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Magdalena

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m³)	20.83	1.30	N=4
	Cohesión (kN/m²)	48.60	14.96	N=4
	Fricción (°)	38.73	2.38	N=4
Material fino	Peso específico (kN/m³)	16.27	0.44	N=6
	Cohesión (kN/m²)	62.98	10.95	N=6
	Fricción (°)	26.06	1.67	N=6
Relleno no controlado	Peso específico (kN/m³)	17.90	0.17	N=4
	Cohesión (kN/m²)	1.23	1.23	N=4
	Fricción (°)	27.75	1.50	N=4
Relleno controlado	Peso específico (kN/m³)	20.99	0.49	N=4
	Cohesión (kN/m²)	4.90	2.45	N=4
	Fricción (°)	38.00	1.00	N=4

Elaboración propia

Tabla 11: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de San Isidro

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m³)	20.83	1.30	N=4
	Cohesión (kN/m²)	48.60	14.96	N=4
	Fricción (°)	38.73	2.38	N=4
Material fino	Peso específico (kN/m³)	16.27	0.66	N=4
	Cohesión (kN/m²)	62.98	16.43	N=4
	Fricción (°)	26.06	2.50	N=4
Relleno no controlado	Peso específico (kN/m³)	17.90	0.17	N=4
	Cohesión (kN/m²)	1.23	1.23	N=4
	Fricción (°)	27.75	1.50	N=4
Relleno controlado	Peso específico (kN/m³)	20.99	0.49	N=4
	Cohesión (kN/m²)	4.90	2.45	N=4
	Fricción (°)	38.00	1.00	N=4

Elaboración propia

Tabla 12: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Miraflores

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m ³)	20.83	0.87	N=6
	Cohesión (kN/m ²)	48.60	9.97	N=6
	Fricción (°)	38.73	1.58	N=6
Material fino	Peso específico (kN/m ³)	16.27	0.44	N=6
	Cohesión (kN/m ²)	62.98	10.95	N=6
	Fricción (°)	26.06	1.67	N=6

Elaboración propia

Tabla 13: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Barranco

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m ³)	20.83	1.30	N=4
	Cohesión (kN/m ²)	48.60	14.96	N=4
	Fricción (°)	38.73	2.38	N=4
Material fino	Peso específico (kN/m ³)	16.27	0.44	N=6
	Cohesión (kN/m ²)	62.98	10.95	N=6
	Fricción (°)	26.06	1.67	N=6

Elaboración propia

Tabla 14: Promedio y desviación estándar de los parámetros en el distrito de Chorrillos

		Promedio	Desviación estándar	N
Material grueso	Peso específico (kN/m ³)	20.83	1.30	N=4
	Cohesión (kN/m ²)	48.60	14.96	N=4
	Fricción (°)	38.73	2.38	N=4
Material fino	Peso específico (kN/m ³)	16.27	0.66	N=4
	Cohesión (kN/m ²)	62.98	16.43	N=4
	Fricción (°)	26.06	2.50	N=4

Elaboración propia

Obtención de la probabilidad de falla

Una vez obtenidas las distribuciones de los parámetros, se procedió a determinar la probabilidad de falla a partir del factor de seguridad, por lo que, para tal fin, se escogió el análisis de Monte Carlo. Esto debido a que permite realizar una gran cantidad de combinaciones entre las variables involucradas, con la cual se obtuvo la distribución del factor de seguridad y, consecuentemente, la probabilidad de falla.

De esta manera, conociendo dicha distribución, fue posible determinar la probabilidad de falla basándose en los factores de seguridad inferiores a 1. Debido al gran número de combinaciones necesarias, se optó por emplear el programa Slide. En este

programa, se introdujeron el promedio y la desviación estándar para cada variable involucrada y se realizaron 10000 iteraciones por cada análisis; de esta manera, se buscó aumentar la precisión del cálculo de la probabilidad de falla. Cabe recalcar que se observó que mayores números de iteraciones no mostraban variaciones en los resultados, por lo que se terminó escogiendo este número.

Cálculo de la probabilidad de falla anual

La probabilidad de falla anual se obtiene al usar la regla de la multiplicación, en donde $P(A)$ representa la probabilidad de que ocurra un evento A y $P(B|A)$ es la probabilidad de que ocurra un evento B dado el evento A (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation & U.S. Army Corps of Engineers, 2019).

$$P(A \cap B) = P(A)P(B|A) \quad (4.1)$$

En este caso, el evento B es la falla del talud, específicamente el deslizamiento de material. En cuanto al evento A, se evaluaron dos situaciones: la ocurrencia de incidentes en la zona —entiéndase como incidente a cualquier hecho no deseado en el comportamiento del talud, tales como deslizamientos, caídas de piedras, entre otros— y un sismo con un periodo de retorno de 475 años —aplicable solo al caso pseudoestático.

Así, con el fin de anualizar la probabilidad de falla, se hizo una recopilación de los diferentes incidentes que han ocurrido a lo largo de la Costa Verde. En este proceso se encontraron 23 incidentes desde el año 1995 hasta la fecha de la elaboración de esta tesis, los cuales se muestran en la sección de anexos.

Tomando en consideración esta información, se empleó la distribución de Poisson para determinar la ocurrencia de eventos en el plazo de un año. Esta distribución permite relacionar el número de incidentes con su frecuencia en un tiempo t (Oboni & Oboni, 2020). Su ecuación es la siguiente (Walpole et al., 2012/2012):

$$p(x; \lambda t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!} \quad (4.2)$$

Donde λ es la frecuencia, t es el tiempo y x, el número de eventos.

Cabe recalcar que, para este cálculo, se descartaron los eventos con consecuencias que no reflejaban los deslizamientos analizados, lo que resultó en 13 incidentes en el transcurso de 27 años. Por lo tanto, al dividir el número de eventos entre el periodo de tiempo, se obtuvo una tasa (λ) de 0.481.

Entonces, se calculó, en primer lugar, la probabilidad de que no exista ningún evento en un año:

$$p(x = 0) = \frac{e^{-0.481x1}(0.481x1)^0}{0!} = 0.618$$

Por consiguiente, la probabilidad de que ocurra al menos un evento en un año es 0.382 o 38.2%.

Para el caso pseudoestático, se siguió el mismo procedimiento y se determinó la probabilidad tomando en cuenta únicamente los eventos producidos por algún sismo, con lo que se obtuvo 16.9%. Así también, se tomó en cuenta una probabilidad de 10%, la cual corresponde a la probabilidad de excedencia de un sismo con periodo de retorno de 475 años.

Finalmente, dejando de lado la regla de la multiplicación, se emplearon las curvas propuestas por Silva et al. (2008) como otra manera de determinar la probabilidad de falla anual, esta vez empleando directamente el factor de seguridad y la matriz correspondiente. Esto se explicará con más detalle en el capítulo 7.

5. DETERMINACIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD, PROBABILIDAD DE FALLA Y PROBABILIDAD DE FALLA ANUAL

5.1. Elección de secciones

Con el fin de tener un análisis diverso que permita evaluar diferentes características de los taludes, se tomaron en cuenta ciertos criterios con los que se elaboraron matrices en las que se puedan apreciar las diferentes combinaciones de elementos. Los criterios considerados fueron los siguientes:

- Acumulación de material en la parte inferior del talud: Esto indica que constantemente ha ido cayendo material, el cual se ha ido acumulando hasta formar grandes conos de material.
- Relleno: Se refiere a si existe evidencia de que en la parte superior del talud se cuenten con estratos de relleno controlado o no controlado.
- Carga: Relacionada con la presencia de edificaciones en la parte superior del talud.
- Jardines: Se refiere a la existencia de jardines o parques en la parte superior. Esto fue considerado, ya que estos elementos necesitan de riego constante, lo que podría afectar la estabilidad.
- Sin vegetación: Se enfoca en la ausencia de vegetación a lo largo del talud. Esto fue tomado en cuenta, puesto que las raíces de las plantas podrían contribuir a la estabilidad superficial.
- Distancia al borde libre: La distancia entre una carga y el borde superior del talud.
- Pendiente: La relación horizontal: vertical (H: V) del talud, lo cual indica qué tan inclinada es una sección.

Tabla 15: Extracto de la matriz usada para escoger secciones

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H: V)
SM_3		X	X			18	0.27:1
M_4	X	X					0.65:1
SI_1		X		X	X		1.54:1
Mi_1				X			0.61:1
B_2	X		X			20	1.14:1
C_3			X	X		21	0.45:1

Elaboración propia

La codificación de las secciones es la siguiente: código del distrito _ n. El código de San Miguel es SM; el de Magdalena, M; el de San Isidro, SI; el de Miraflores, Mi; el de Barranco, B; y el de Chorrillos, C. Por otro lado, la letra “n” es el número de sección. Por ejemplo, el código SM_1 se refiere a la sección 1 del distrito de San Miguel.

Se escogieron veintitrés secciones, entre dos a siete por cada distrito, intentando abarcar la mayor cantidad de combinaciones entre los factores involucrados.

Figura 21: Ubicación de casos de estudio



Elaboración propia

5.2. Especificaciones para el análisis

Para el análisis determinístico, se empleó el método de equilibrio límite de Spencer, debido a que es un método que cumple con todas las ecuaciones de equilibrio, es el más sencillo de emplear y es aplicable para diferentes tipos de superficies. Además, dentro de los métodos que cumplen totalmente con el equilibrio, no hay mayor diferencia en cuanto a la precisión de los resultados que se obtienen mediante ellos (Duncan et al., 2014). Se trabajó con superficies de falla circulares y en bloque, estas últimas con el fin de evaluar la influencia de los estratos de suelo fino en las secciones.

En lo que respecta al método probabilístico, como ya se indicó anteriormente, se obtuvieron las desviaciones estándar de los parámetros involucrados a través de la regla N-sigma y se empleó el método de Monte – Carlo con 10000 iteraciones para la obtención de la probabilidad de falla. Ambos análisis, determinístico y probabilístico, fueron realizados en simultáneo en el programa Slide.

Para los análisis pseudoestáticos, el coeficiente sísmico empleado es un porcentaje del PGA ajustado para el sitio, el cual suele ser del 50% (Anderson et al., 2008; Hynes-Griffin & Franklin, 1984; Kavazanjian et al., 2011) o menor (Kavazanjian et al., 2011). Esto implica que se acepta un desplazamiento permanente de hasta 5 cm y que, de obtenerse factores de seguridad mayores a 1.1 - 1.3, las deformaciones son consideradas ínfimas (Anderson et al., 2008). Cabe mencionar que la norma E.050 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) no brinda recomendaciones al respecto. Si bien existen metodologías más actuales que obtienen el coeficiente sísmico en función a variables adicionales como la altura del talud (Kavazanjian et al., 2011), para este caso, se escogió el valor típico de 50%, debido a que es el caso más crítico, lo cual favorece al análisis, ya que el objetivo principal de la tesis es evaluar el riesgo. Por ello, para la aceleración sísmica, se empleó 0.22 g, que es la mitad de la aceleración proyectada para un sismo con periodo de retorno de 475 años. Finalmente, si hubiera cargas en la cima del talud, se asumió 1000 kg/m² por piso y se analizó la influencia de la misma en el factor de seguridad.

Con respecto a la topografía, se emplearon planos con curvas de nivel cada 2.50 m (Municipalidad Metropolitana de Lima [MML], 2016a, 2016b, 2016c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2019, 2021a, 2021b, 2021c), los cuales fueron adquiridos a través de la Autoridad del Proyecto Costa Verde.

5.3. Resultados de factores de seguridad y probabilidad de falla

Debido a la cantidad de secciones analizadas, en este segmento se presentarán las salidas de un sector solamente (sección B_6), mientras que la totalidad de salidas se encuentran en la sección de anexos. Se debe aclarar que, para la presente tesis, se trabajaron únicamente con fallas globales y no con fallas locales y/o superficiales. Si bien este tipo de fallas puede ocurrir, no fue considerado, ya que el objetivo de la tesis es estimar los riesgos de fallas.

Asimismo, para un estudio más completo, se analizaron diferentes posibilidades; por ejemplo, se tomaron en cuenta fallas circulares —figuras 22 y 23— y fallas en bloque —figuras 24 y 25. Además, de existir una carga sobre el talud, como es el caso de la sección B_6, se determinó el factor de seguridad cuando la superficie de falla (circular o en bloque) pasaba por debajo de la carga —como se aprecia en las figuras 23 y 25— o fuera de esta —figuras 22 y 24.

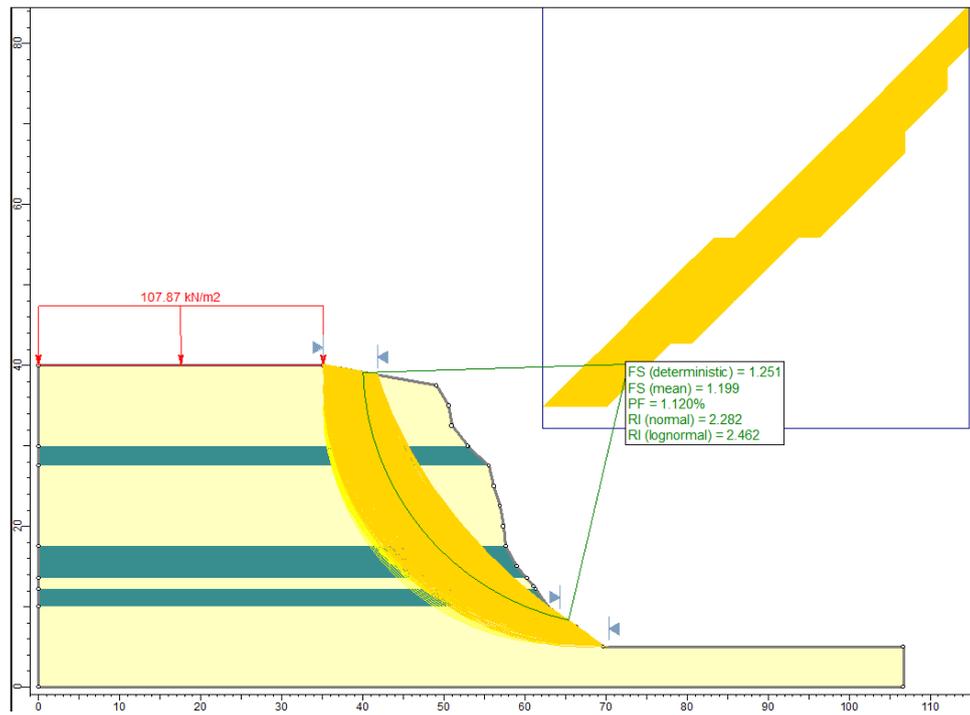
En la tabla 16, se presenta la leyenda para las figuras 22, 23, 24 y 25. Cabe mencionar que, para los resultados de la presente tesis, solo se tomó en cuenta el factor de seguridad determinístico y la probabilidad de falla.

Tabla 16: Leyenda para las salidas del programa Slide

Leyenda	
	Estrato de material grueso
	Estrato de material fino
FS (deterministic)	Factor de seguridad obtenido mediante métodos determinísticos
FS (mean)	Factor de seguridad promedio de todos los valores obtenidos en el análisis de Monte Carlo
PF	Probabilidad de falla
Ri (normal)	Índice de confiabilidad normal
Ri (lognormal)	Índice de confiabilidad lognormal

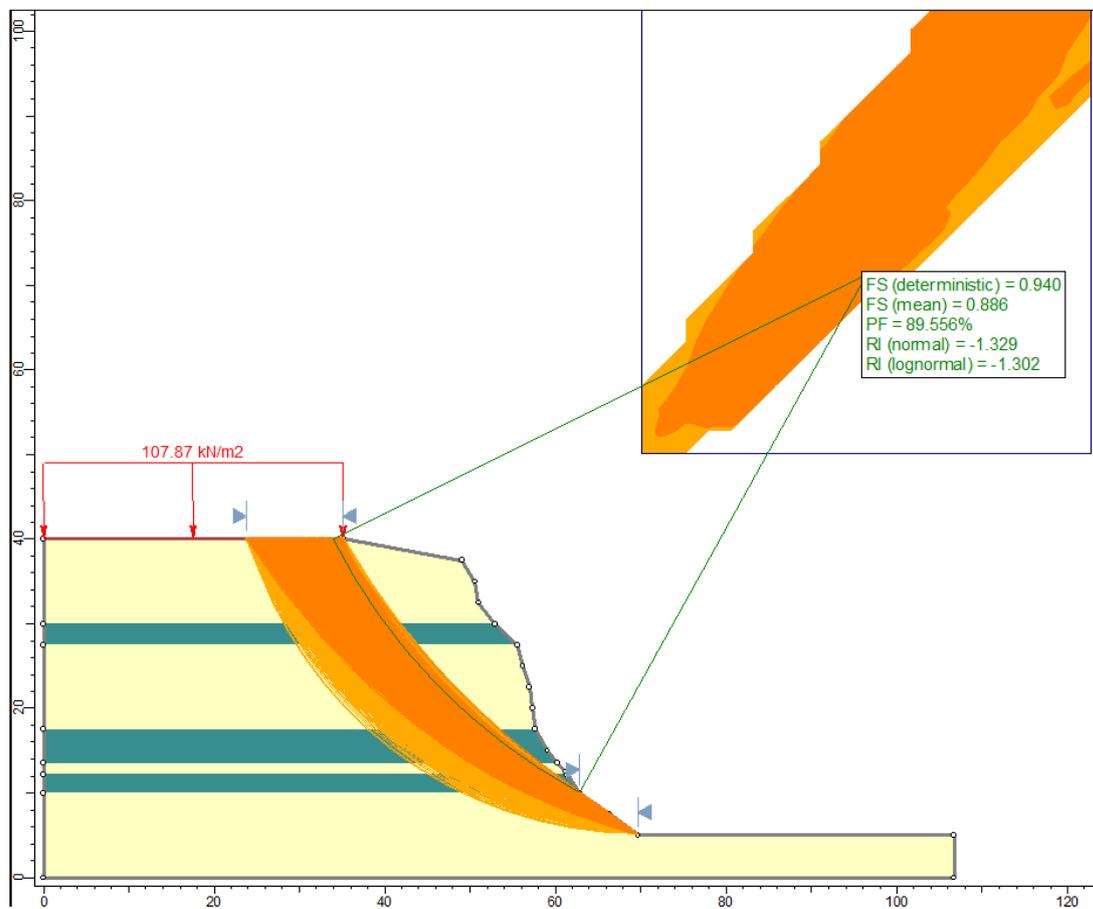
Elaboración propia

Figura 22: Sección B_6, caso estático, falla circular



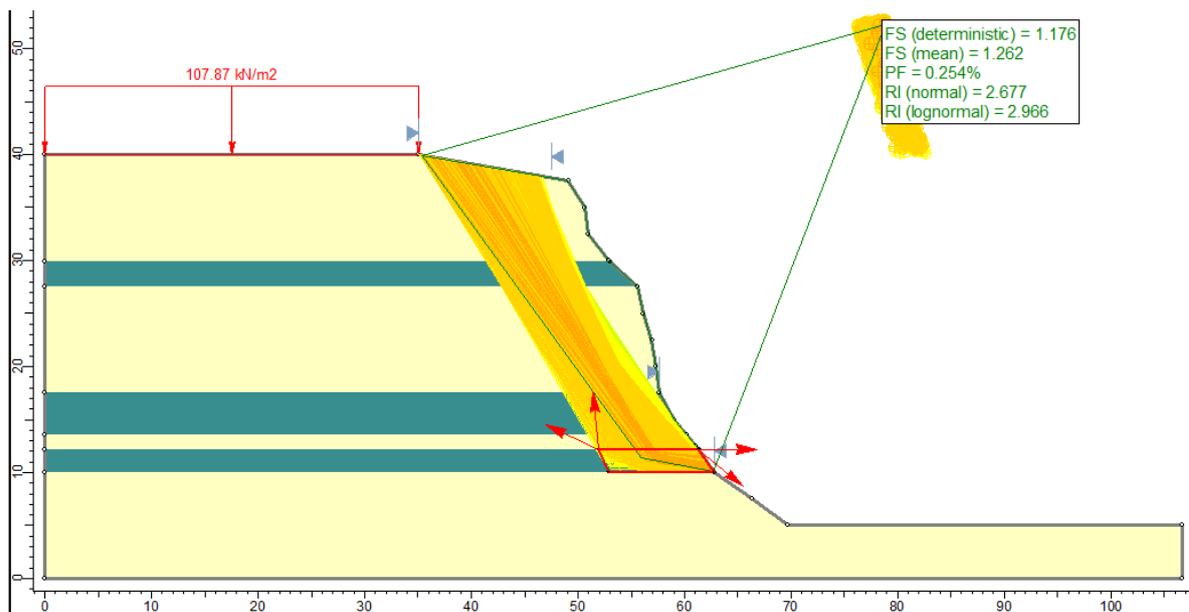
Elaboración propia

Figura 23: Sección B_6, caso pseudoestático, falla circular



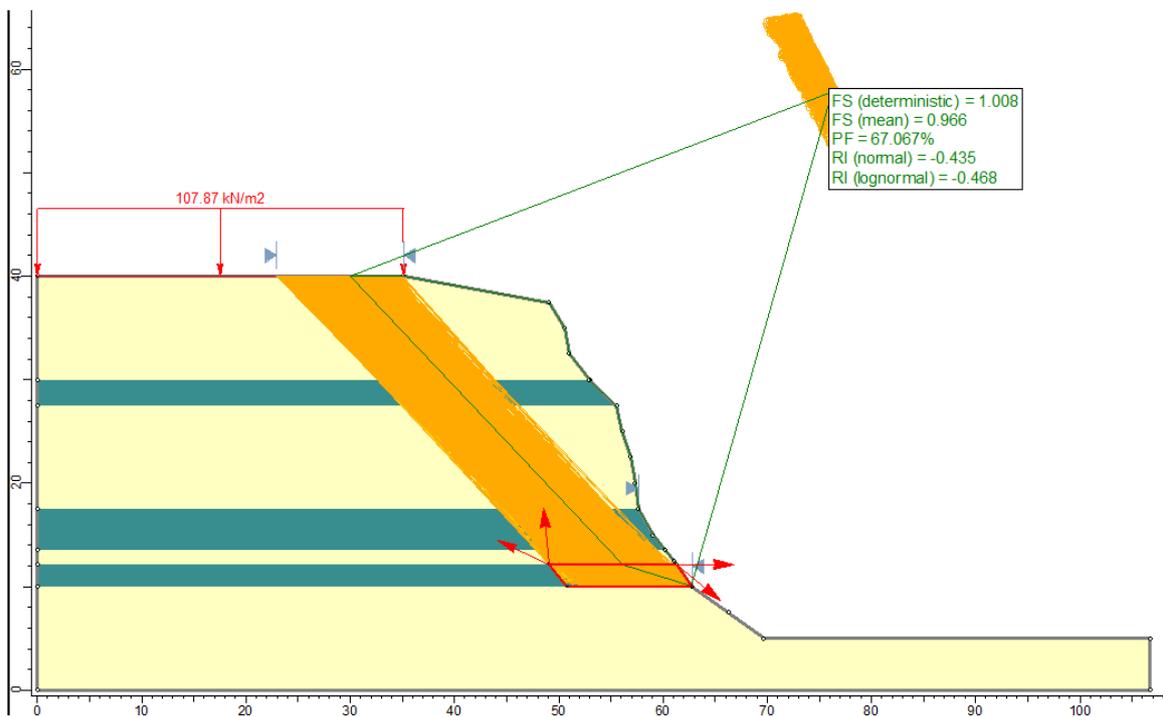
Elaboración propia

Figura 24: Sección B_6, caso estático, falla en bloque



Elaboración propia

Figura 25: Sección B_6, caso pseudoestático, falla en bloque



Elaboración propia

En la tabla 17 y en la tabla 18, se encuentran los resultados obtenidos para todas las secciones. El factor de seguridad crítico hace referencia al mínimo factor de seguridad obtenido mediante el método determinístico, después de analizar las diferentes situaciones mencionadas anteriormente.

Asimismo, la probabilidad de falla es la probabilidad obtenida para este factor de seguridad crítico. En el caso estático, la probabilidad de falla anual fue calculada basándose en la probabilidad de ocurrencia de 0.382, obtenida previamente en el capítulo 4.

Tabla 17: Resultados del factor de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual en caso estático

Sección	F.S. crítico	P.F.	P.F. anual (38.2%)
SM_1	1.09	3.01E-01	1.15E-01
SM_2	1.40	0.00E+00	0.00E+00
SM_3	1.09	1.95E-01	7.44E-02
M_1	1.02	7.97E-01	3.05E-01
M_2	1.11	4.63E-01	1.77E-01
M_3	1.07	4.31E-01	1.65E-01
M_4	1.38	0.00E+00	0.00E+00
SI_1	1.87	0.00E+00	0.00E+00
SI_2	1.75	0.00E+00	0.00E+00
Mi_1	1.34	1.00E-04	3.82E-05
Mi_2	1.16	2.89E-02	1.10E-02
Mi_3	1.06	2.69E-01	1.03E-01
Mi_4	1.25	1.11E-03	4.24E-04
B_1	1.04	4.72E-01	1.80E-01
B_2	1.25	6.00E-03	2.29E-03
B_3	1.42	0.00E+00	0.00E+00
B_4	1.01	7.18E-01	2.74E-01
B_5	1.12	2.48E-01	9.47E-02
B_6	1.18	1.12E-02	4.28E-03
B_7	1.65	0.00E+00	0.00E+00
C_1	1.27	7.27E-03	2.78E-03
C_2	1.23	1.43E-02	5.47E-03
C_3	1.28	2.64E-02	1.01E-02

Elaboración propia

Cabe mencionar que para el caso pseudoestático, la probabilidad de falla anual 1 fue obtenida en función de la probabilidad de ocurrencia de evento de 16.9%. Por otra parte, la probabilidad de falla anual 2 corresponde a la probabilidad de excedencia de 10% de un sismo con periodo de retorno de 475 años.

Tabla 18: Resultados del factor de seguridad, probabilidad de falla y probabilidad de falla anual en caso pseudoestático

Sección	F.S. crítico	P.F.	P.F. anual 1 (16.9%)	P.F. anual 2 (10%)
SM_1	0.90	0.5056	8.55E-02	5.06E-02
SM_2	1.01	0.4356	7.36E-02	4.36E-02
SM_3	0.81	1.0000	1.69E-01	1.00E-01
M_1	0.76	1.0000	1.69E-01	1.00E-01
M_2	0.84	0.9988	1.69E-01	9.99E-02
M_3	0.80	1.0000	1.69E-01	1.00E-01
M_4	0.99	0.5557	9.39E-02	5.56E-02
SI_1	1.27	0.0041	6.95E-04	4.11E-04
SI_2	1.21	0.0214	3.62E-03	2.14E-03
Mi_1	0.97	0.6974	1.18E-01	6.97E-02
Mi_2	0.90	0.8081	1.37E-01	8.08E-02
Mi_3	0.83	0.9758	1.65E-01	9.76E-02
Mi_4	0.93	0.9098	1.54E-01	9.10E-02
B_1	0.80	0.9991	1.69E-01	9.99E-02
B_2	0.92	0.8071	1.36E-01	8.07E-02
B_3	1.09	0.2895	4.89E-02	2.89E-02
B_4	0.77	0.9713	1.64E-01	9.71E-02
B_5	0.87	0.7768	1.31E-01	7.77E-02
B_6	0.94	0.8956	1.51E-01	8.96E-02
B_7	1.23	0.1069	1.81E-02	1.07E-02
C_1	0.96	0.8846	1.50E-01	8.85E-02
C_2	0.95	0.8517	1.44E-01	8.52E-02
C_3	1.02	0.1604	2.71E-02	1.60E-02

Elaboración propia

5.4. Interpretación de resultados

En la figura 26, se muestran los resultados obtenidos para el factor de seguridad y la probabilidad de falla. Como se puede apreciar, se demuestra que un factor de seguridad alto no necesariamente equivale a una probabilidad de falla baja, aunque sí existe una tendencia inversa entre ambos ejes.

De manera general, se observa que, en el caso estático, se tienen factores de seguridad más elevados, así como probabilidades de falla más bajas que aquellos resultados obtenidos en el caso pseudoestático. Esto era lo esperado, ya que al ocurrir un sismo se espera que afecte la estabilidad y, por lo tanto, la probabilidad de que un talud falle sería mayor.

Con respecto al factor de seguridad, se debe recordar que tanto la norma E.050 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) y la norma CE.020

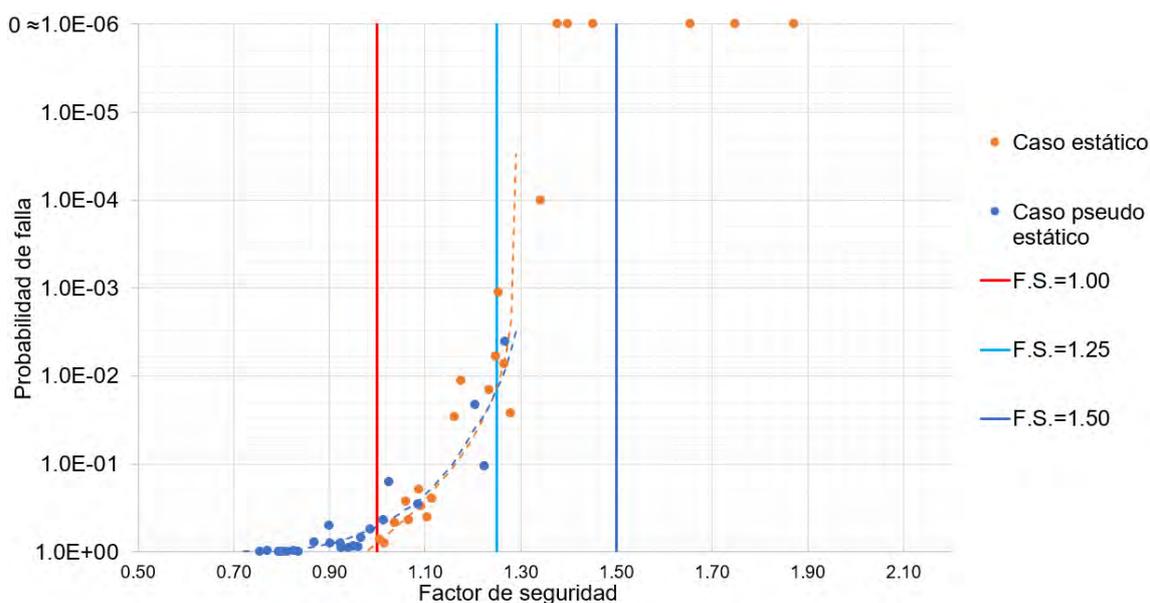
(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012) establecen un valor mínimo de 1.50 para condiciones estáticas y de 1.25 para pseudoestáticas. Sin embargo, como se indicó anteriormente, la norma CE.020 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012) no se encuentra actualizada, por lo que para el presente trabajo se realizó la comparación únicamente con la norma E.050 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

En el caso pseudoestático, en la figura 26, se observa que la mayoría de secciones han obtenido un factor de seguridad inferior a la unidad, lo cual los hace inestables en dichas condiciones. Independientemente del valor que hayan obtenido en este cálculo, la probabilidad de falla es similar en estos casos. En otras palabras, la probabilidad obtenida para un factor de seguridad de 0.70, 0.80 o 0.90 es prácticamente la misma y cercana o igual al 100%. Por consiguiente, la mayoría de las secciones tampoco han podido cumplir con el factor de seguridad de 1.25 establecido en la normativa peruana para estabilidad de taludes para condiciones pseudoestáticas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

En lo que respecta al caso estático, si bien todos los factores de seguridad son mayores a 1, muy pocos superan el valor mínimo de 1.50 exigido por norma (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) para condiciones estáticas. Esto es preocupante y, de alguna manera, explica la cantidad y frecuencia de eventos no deseados que ocurren a lo largo de la Costa Verde.

Existen algunos casos en donde el factor de seguridad es bastante cercano a uno como, por ejemplo, el de la sección 1 de Magdalena, el cual se encuentra a escasos metros de la zona en donde ocurrió un deslizamiento en agosto del 2019 (INGEMMET & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, 2019).

Figura 26: Probabilidad de falla vs factor de seguridad



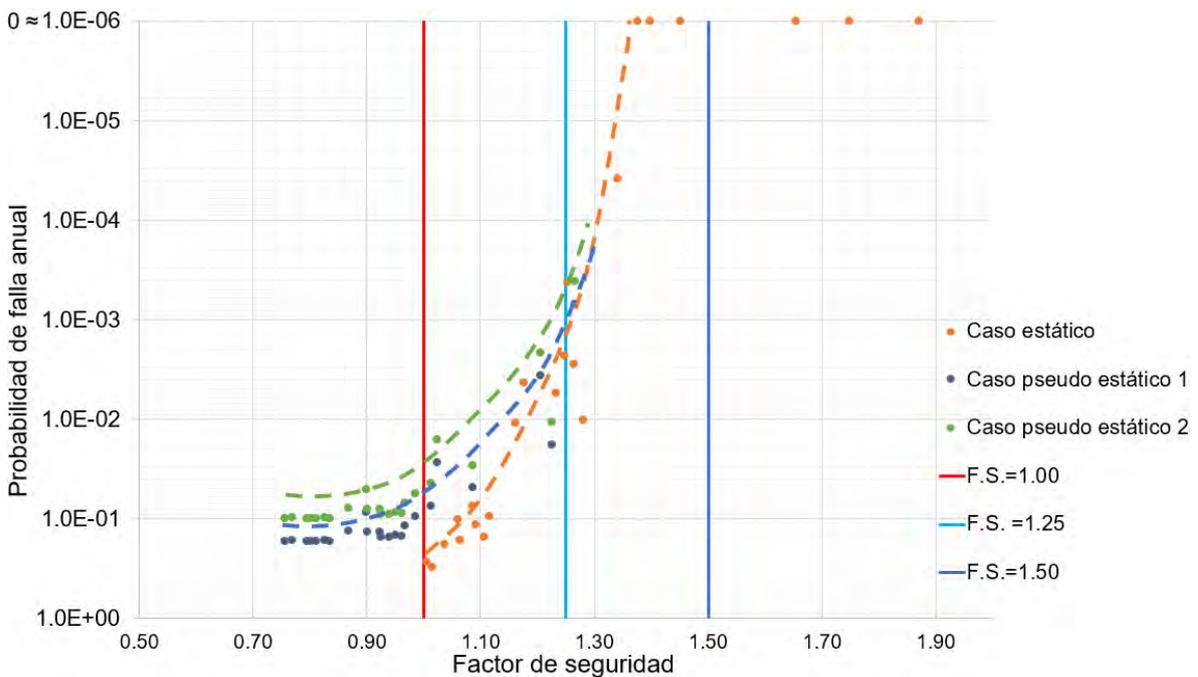
Elaboración propia

En la figura 27, se observan los resultados del factor de seguridad y la probabilidad de falla anual. A partir de esta, en primer lugar, se tiene que las probabilidades de falla más altas corresponden al caso estático. Esto era lo esperado, ya que estadísticamente es más probable que en un año haya deslizamientos de material en condiciones estáticas, que la ocurrencia de un sismo que provoque un inadecuado comportamiento del talud. Además, de acuerdo con el registro de deslizamientos en la Costa Verde que se realizó, se ha encontrado que, al ocurrir un sismo, inclusive de magnitud baja, casi siempre hay un deslizamiento. Esto indica que, si bien la probabilidad de falla anual en el caso pseudoestático es menor, de ocurrir un sismo, la probabilidad de falla es mayor que la estática, debido a que los factores de seguridad son cercanos a 1. De esta forma, se podría decir que es un evento con una baja probabilidad de ocurrencia, pero con altas consecuencias.

Con respecto al caso pseudoestático, se analizaron dos situaciones, como ya se mencionó anteriormente. El primero fue realizado sobre la base de una probabilidad de ocurrencia anual de 17% aproximadamente. Esta se relaciona con los deslizamientos producidos en la Costa Verde causados por sismos. Cabe recalcar que estos sismos, en su mayoría, tuvieron magnitudes entre 5 y 6 Mw, a excepción del sismo de Pisco del 2007 que tuvo una magnitud de 7.9 Mw (Tavera et al., 2007) y el sismo ocurrido en la selva en mayo del 2019 de 8 Mw (Tavera, 2019) Si bien tuvieron grandes magnitudes, sus epicentros no se encontraron en Lima.

Finalmente, el segundo caso, correspondiente a la curva verde de la figura 27, tiene una probabilidad de falla anual menor que el caso anterior, ya que se ha realizado basado en un sismo con periodo de retorno de 475 años, lo cual lo hace menos frecuente que los sismos considerados en el caso anterior. Debido a que con este caso se obtienen probabilidades más pequeñas, para las siguientes figuras se empleará la probabilidad de falla anual del primer caso.

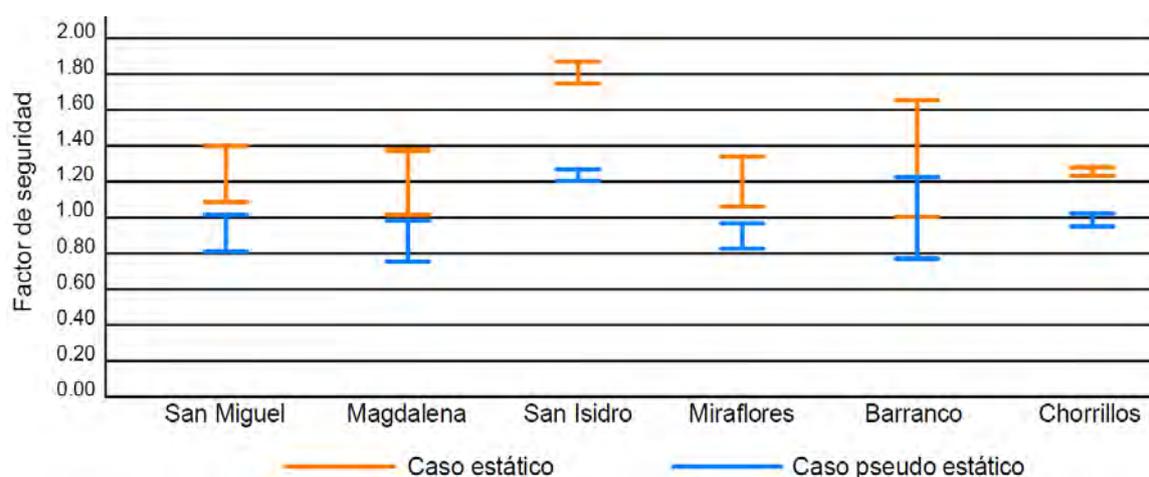
Figura 27: Probabilidad de falla anual vs factor de seguridad



Elaboración propia

De acuerdo con la figura 28, a nivel distrital, se observa que los factores de seguridad de San Miguel, Magdalena y Miraflores se encuentran dentro de rangos similares tanto para el caso estático como pseudoestático. San Isidro tiene los valores más altos, lo cual era lo esperado, ya que es uno de los pocos distritos que ha realizado los trabajos necesarios para darle estabilidad a sus taludes, lo cual también se ve reflejado en el rango de probabilidad de falla anual obtenido. Por otro lado, el distrito con el rango más amplio de factor de seguridad es Barranco y el de rango más limitado es Chorrillos.

Figura 28: Rango de factores de seguridad por distrito



Elaboración propia

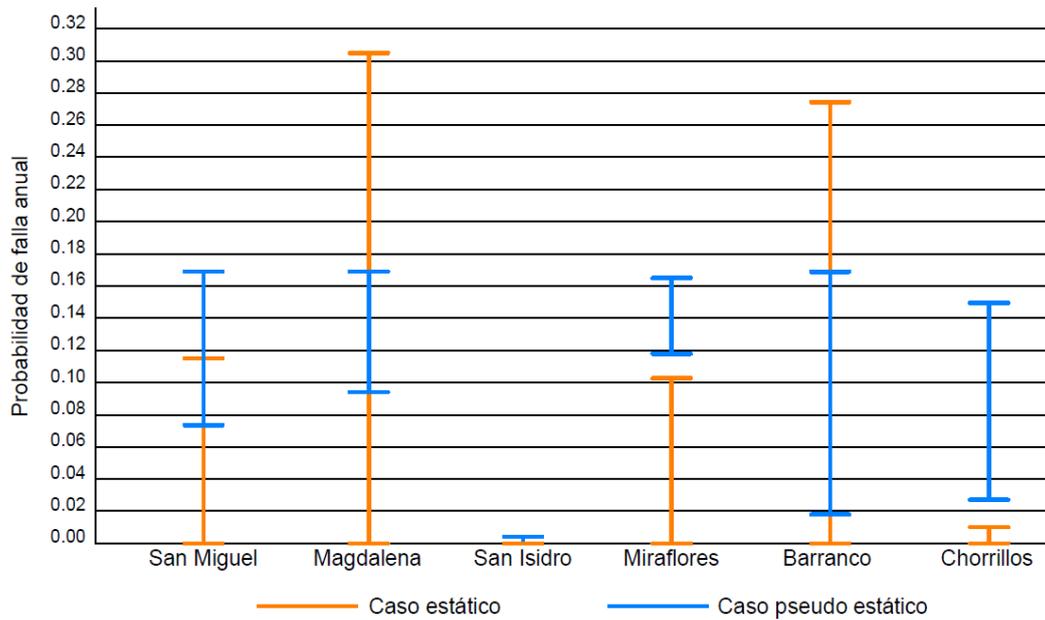
En cuanto al análisis de la probabilidad de falla, de acuerdo con la figura 29, Magdalena y Barranco son los distritos con las mayores probabilidades de falla anual en condiciones estáticas. Por otro lado, en condiciones pseudoestáticas, Miraflores tiene el rango más crítico, ya que su probabilidad de falla mínima es la mayor de todas.

Las probabilidades de falla elevadas obtenidas en distritos como Barranco y Magdalena podrían explicar la cantidad de deslizamientos que han ocurrido en dichos distritos. A partir del registro de incidentes que se realizó, se encontró que el distrito con la mayor cantidad de eventos (13) es Barranco, seguido por Miraflores (5) y, finalmente, Magdalena (3). De esta manera, al comparar ambas fuentes de información, se confirman los valores de probabilidad de falla obtenidos mediante el método probabilístico de estabilidad de taludes. Ante esto, también se esperaba que, en Miraflores, la probabilidad de falla sea más alta; sin embargo, esto podría deberse a que las secciones escogidas no representaron esta problemática.

Se debe agregar que no se encontró registro de incidentes en los distritos de San Isidro y Chorrillos. Ello explica la probabilidad de falla baja al menos en el caso estático, ya que, como se mencionó anteriormente, no ha ocurrido un evento sísmico grave en Lima como para realizar las comparaciones respectivas.

En palabras breves, se evidencia que todos los distritos, salvo San Isidro, requieren tomar medidas para disminuir la probabilidad de falla, siendo de mayor preocupación los distritos de Barranco y Magdalena, ya que su probabilidad anual en el caso estático es la más alta.

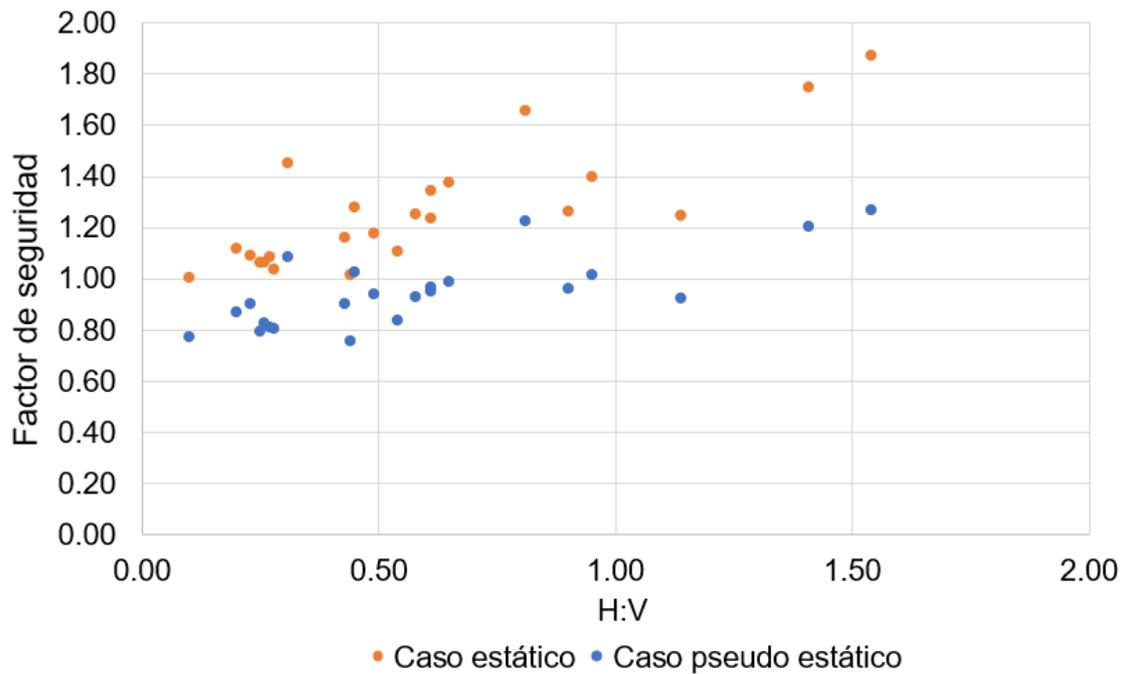
Figura 29: Rango de probabilidad de falla anual por distrito



Elaboración propia

Otro factor a tomar en cuenta que tiene influencia en el factor de seguridad y la probabilidad de falla es la pendiente, representada por la relación H: V. En la figura 30, se aprecia que, a menor pendiente, el factor de seguridad es mayor; es decir, tienen una relación inversa.

Figura 30: Factor de seguridad vs H: V

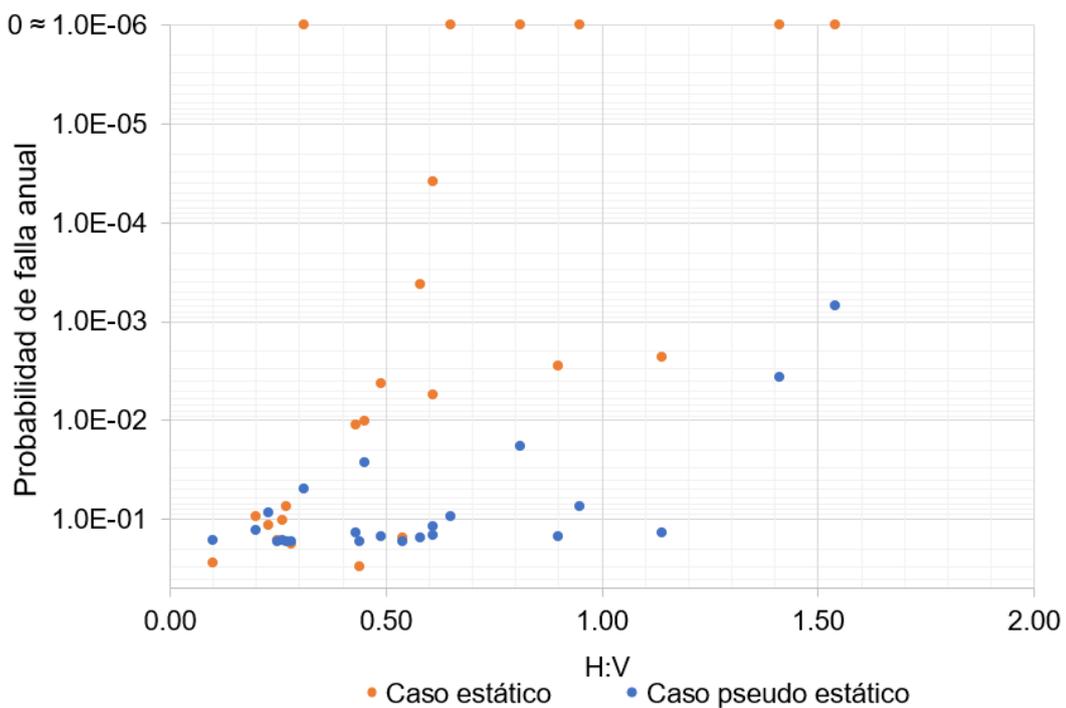


Elaboración propia

En lo que respecta a la probabilidad de falla anual, de acuerdo con la figura 31, no se observa una tendencia tan marcada, como ocurre con el factor de seguridad. En el caso pseudoestático, para relaciones H: V menores a 0.70, la gran mayoría de probabilidades de falla se encuentra en la misma magnitud. En cambio, en relaciones H: V superiores, se aprecia una tendencia inversa.

Para el caso estático, se tiene que para relaciones H: V menores a 0.50, la tendencia es prácticamente lineal y, a medida que la pendiente se hace menos pronunciada, la probabilidad de falla anual tiende a disminuir considerablemente.

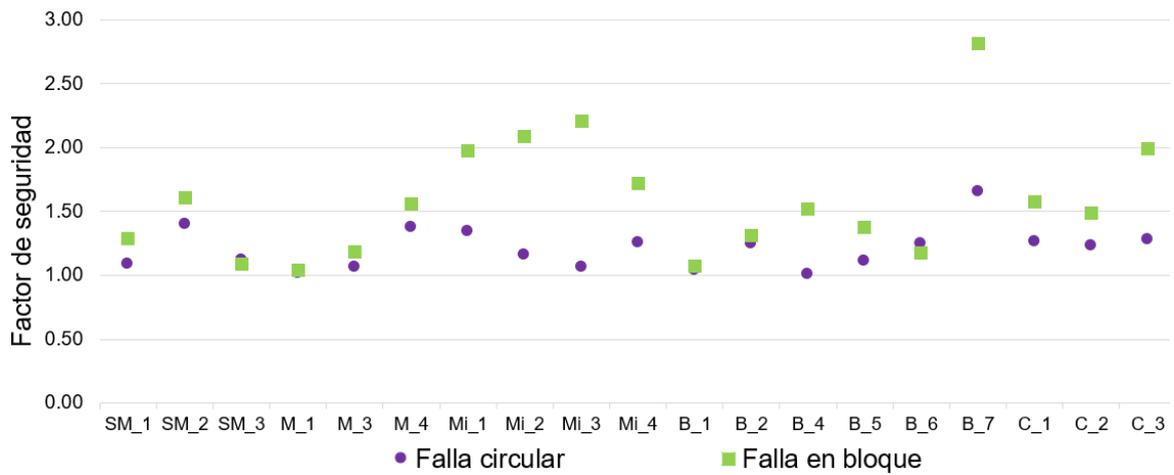
Figura 31: Probabilidad de falla anual vs H: V



Elaboración propia

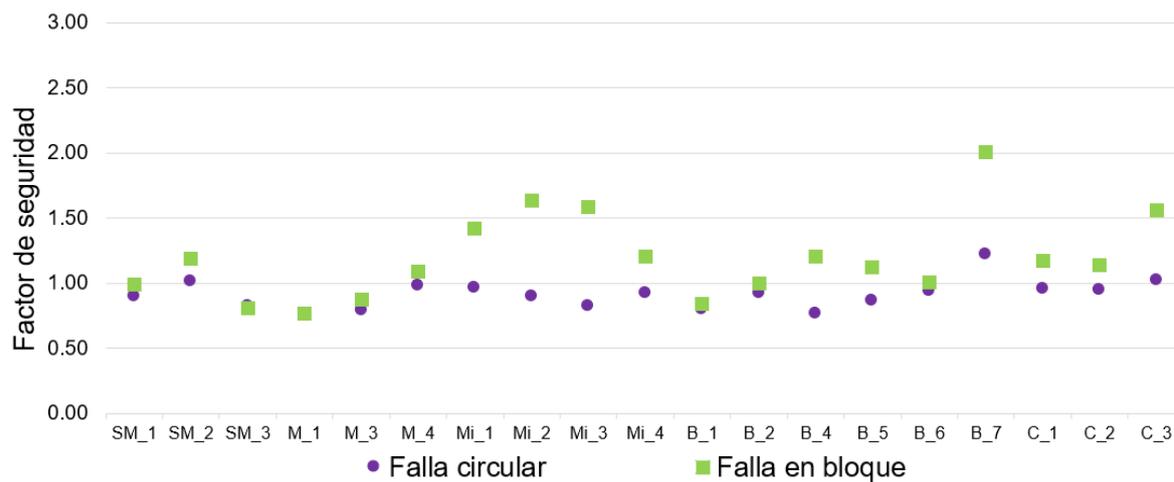
En lo que se refiere a fallas circulares y en bloque, en la figura 32 y figura 33, se aprecia que, en la mayoría de los casos, los factores de seguridad mínimos que se determinaron corresponden a los casos en donde se ha empleado falla circular, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas. De ello se infiere que los estratos de suelo fino no tienen gran influencia en la estabilidad del talud. Conviene subrayar que mientras más cerca esté el estrato de suelo fino del pie del talud, mayor influencia tiene en la obtención del factor de seguridad crítico. De igual manera, al analizar un talud con varias capas de material fino, se obtuvieron menores factores de seguridad al analizar las capas inferiores.

Figura 32: Comparación de factores de seguridad en fallas circulares y en bloque – caso estático



Elaboración propia

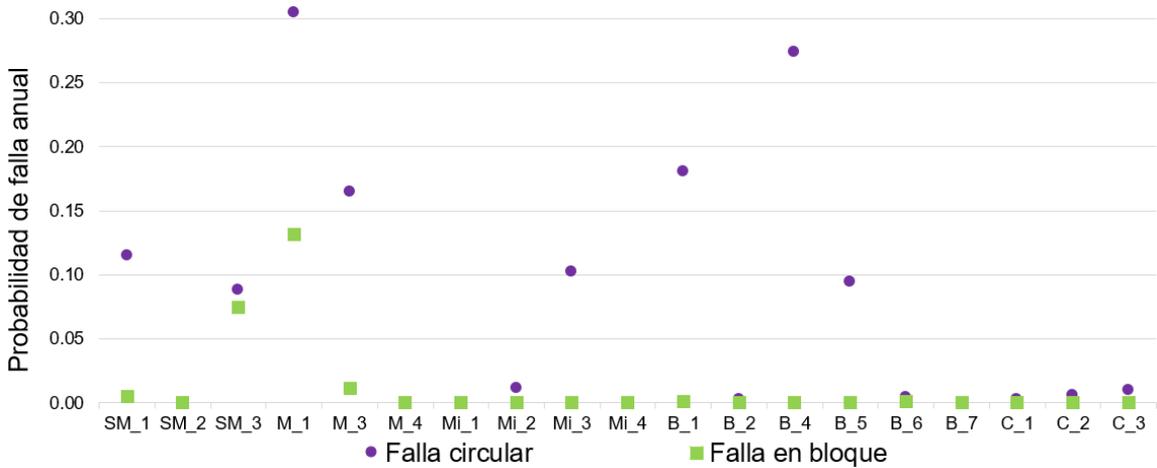
Figura 33: Comparación de factores de seguridad en fallas circulares y en bloque – caso pseudoestático



Elaboración propia

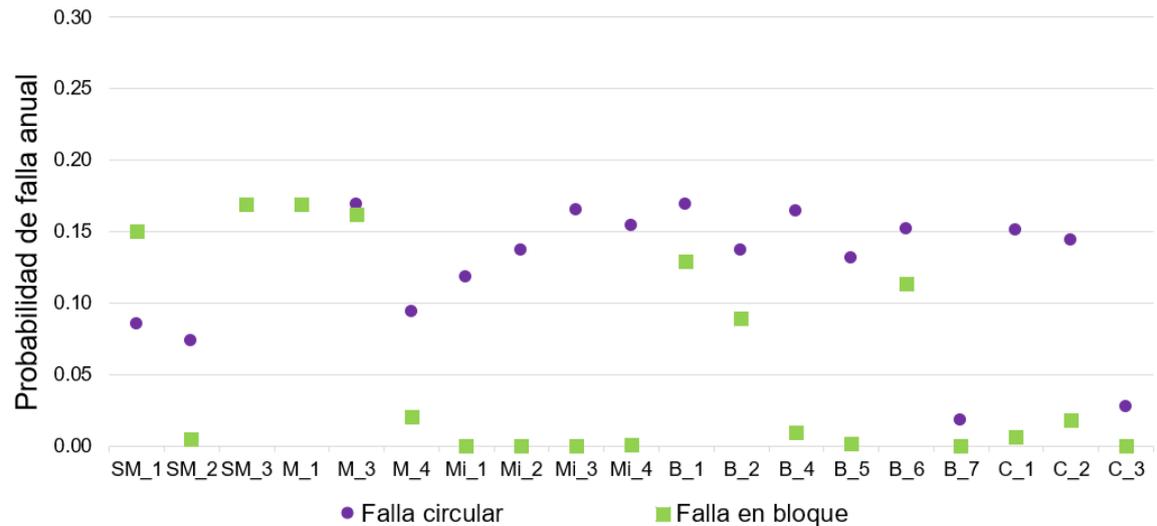
Algo semejante ocurre con la probabilidad de falla anual, en donde las mayores probabilidades de falla se alcanzaron, en su mayoría, con fallas circulares. Esto se dio tanto para el caso estático como para el pseudoestático, lo cual se muestra en la figura 34 y figura 35.

Figura 34: Comparación de probabilidad de falla anual en fallas circulares y en bloque – caso estático



Elaboración propia

Figura 35: Comparación de probabilidad de falla anual en fallas circulares y en bloque – caso pseudoestático



Elaboración propia

Otro punto que se tomó en cuenta al buscar el factor de seguridad crítico es la influencia de las cargas sobre el talud. Para ello, se calculó este parámetro buscando que el inicio de la superficie de falla se encuentre debajo de la carga. En las siguientes figuras, se observa lo siguiente: la distancia entre la carga y el borde del talud, en el eje x; el factor de seguridad, en el eje y, además de la magnitud de la carga representada por el tamaño de los círculos.

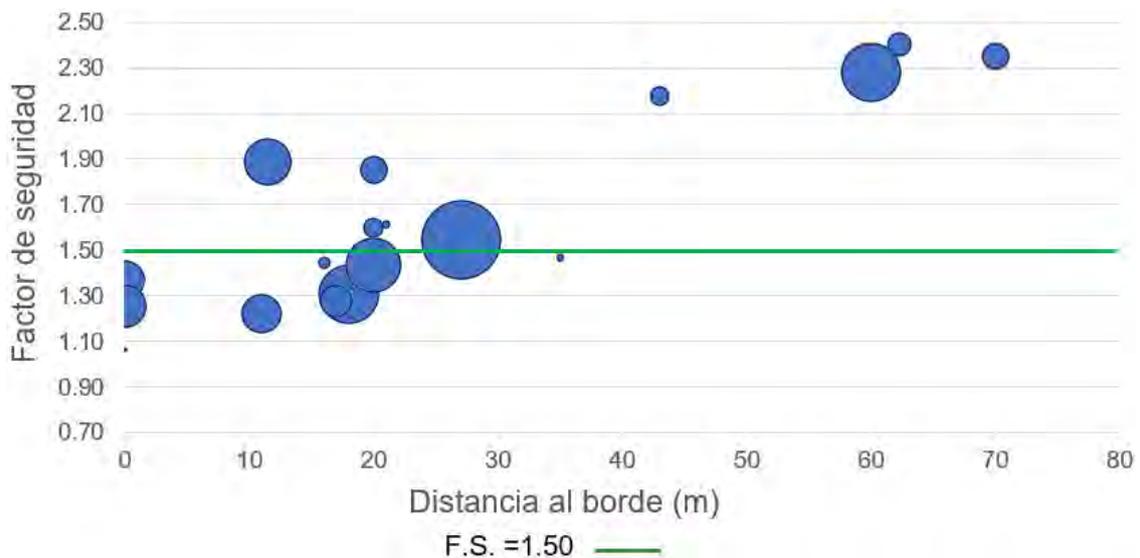
En la figura 36, se compara el factor de seguridad, la distancia entre el borde libre y la ubicación de la carga y la magnitud de la misma en el caso estático. A partir de esta, se

desprende que la distancia a la carga influye más en el cálculo del factor de seguridad que la magnitud de la misma. De manera similar en la figura 37, se aprecia esta comparación para el caso pseudoestático; sin embargo, esta relación tiene una tendencia más definida en el caso estático.

Muchos de estos factores de seguridad son mayores a los críticos, ya que, como se mencionó anteriormente, estos fueron calculados con el inicio de la superficie de falla debajo de la carga. A pesar de ello, en estas condiciones, tampoco se cumple en todos los casos que el factor de seguridad sea mayor a 1.50 en condiciones estáticas y 1.25, en condiciones pseudoestáticas, los cuales son los factores de seguridad establecidos en la norma E.050 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) al analizar la estabilidad de un talud.

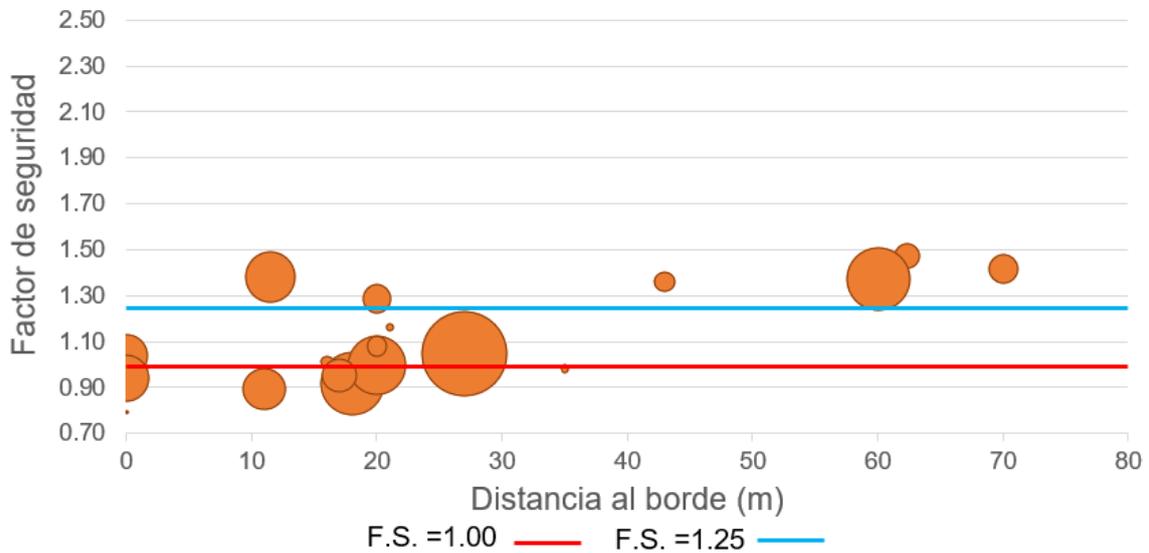
En condiciones estáticas, como se observa en la figura 36, a partir de los 20-25 m de distancia, en la mayoría de los casos, se obtienen valores superiores al 1.50 exigido por la normativa correspondiente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Por otro lado, en condiciones pseudoestáticas (figura 37), es a partir de los 40 m en donde todos los casos cumplen con lo establecido por la norma (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), con dos excepciones a 10 y 20 m.

Figura 36: Comparación del factor de seguridad con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso estático



Elaboración propia

Figura 37: Comparación del factor de seguridad con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso pseudoestático

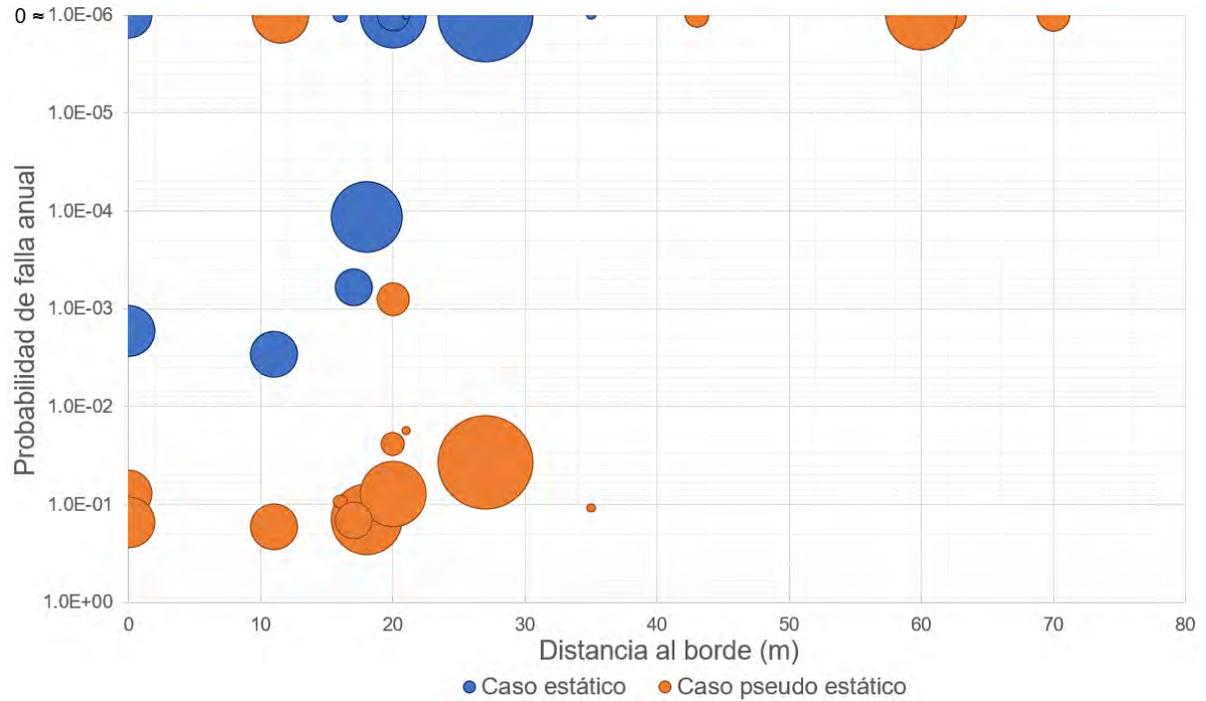


Elaboración propia

Ahora bien, en la figura 38, se muestra en el eje x, la distancia desde la carga al borde del talud; en el eje y, la probabilidad de falla anual obtenida y, nuevamente, el tamaño de los círculos indica la magnitud de la carga. Al analizar la probabilidad de falla anual obtenida para los factores de seguridad mostrados anteriormente, se observa que, si bien estos últimos no cumplen con la norma, las probabilidades obtenidas, en el caso estático, son bastante bajas, incluso en varios casos son 0, con lo cual el riesgo a causa de estas cargas es bajo. Esto también demuestra la importancia de emplear el factor de seguridad junto con la probabilidad de falla para tener un entendimiento mejor del problema.

Por otra parte, en lo que respecta al caso pseudoestático, se observa que no sería recomendable la existencia de cargas a distancias menores de 30 m, independientemente de la magnitud de esta. Es necesario recalcar que, incluso trabajando con la probabilidad de falla anualizada, el caso pseudoestático es más preocupante, debido a que las consecuencias que se podrían ocasionar son mayores a las del caso estático. Por esto, las secciones involucradas en la obtención de estos datos requieren de un plan de acción urgente.

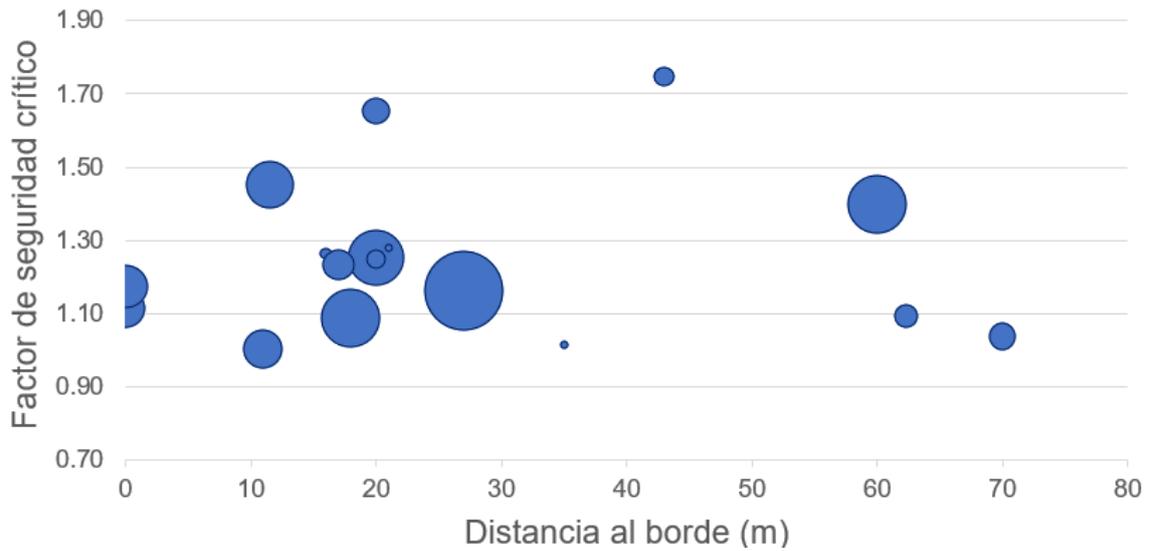
Figura 38: Comparación de la probabilidad de falla con respecto a la distancia y la magnitud de la carga



Elaboración propia

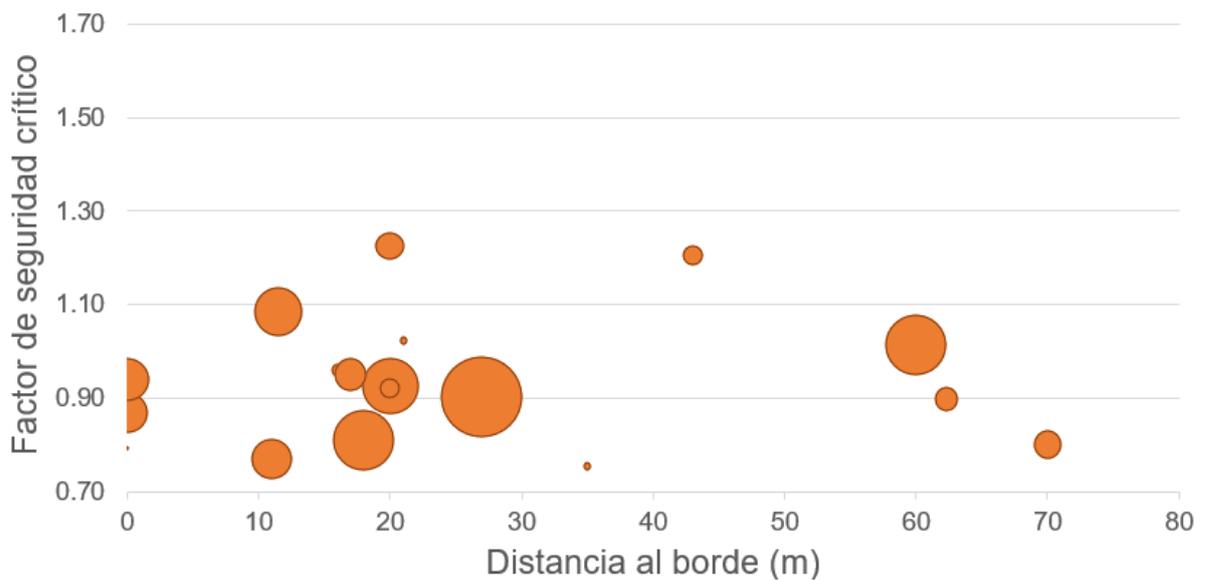
Considerando ahora el factor de seguridad crítico, en la figura 39, se muestra la relación que existe entre este, la distancia al borde libre y la magnitud de la carga para el caso estático; de igual forma, en la figura 40, se muestra esta relación para el caso pseudoestático. Para ambos casos, no se encuentra alguna relación entre la influencia de la carga y este valor, con lo cual se podría inferir que el factor de seguridad crítico depende más de la pendiente y de los estratos de suelos granulares.

Figura 39: Comparación del factor de seguridad crítico con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso estático



Elaboración propia

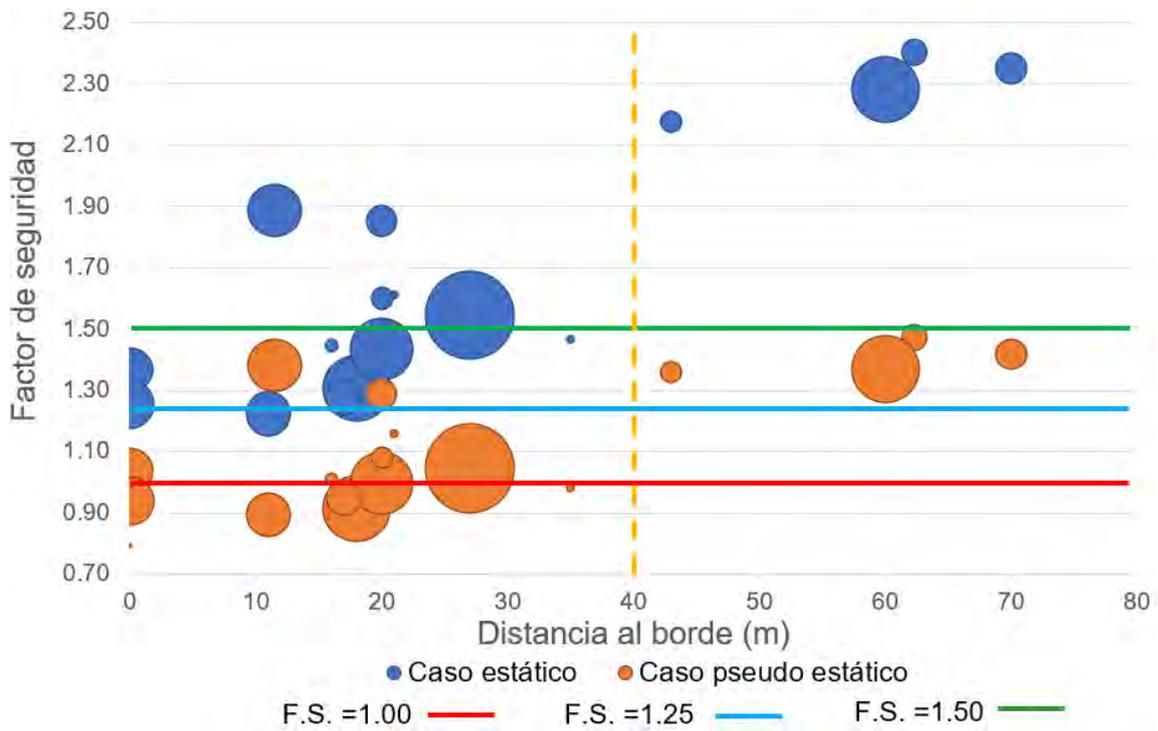
Figura 40: Comparación del factor de seguridad crítico con respecto a la distancia y la magnitud de la carga – caso pseudoestático



Elaboración propia

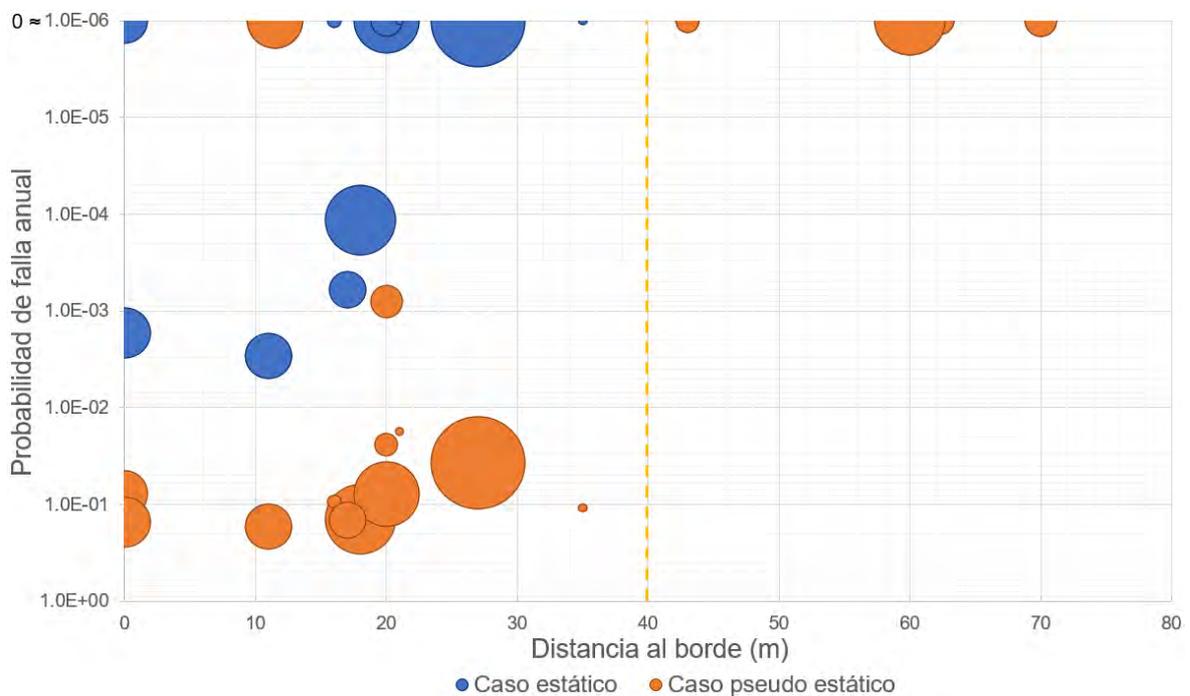
En conclusión, de lo observado en las figuras anteriores, se debería considerar un espacio libre entre la carga y el borde del talud, el cual se sugiere que sea mínimo de 40 m para garantizar factores de seguridad que cumplan con la norma, como se muestra en la figura 41, y lograr probabilidades de falla bajas (figura 42).

Figura 41: Borde libre mínimo recomendado para los taludes en comparación con los factores de seguridad obtenidos



Elaboración propia

Figura 42: Borde libre mínimo recomendado para los taludes en comparación con las probabilidades de falla anual obtenidas



Elaboración propia

Finalmente, se buscó analizar la variación en los parámetros empleados; por lo que, a manera de ejemplo, se realizó una variación en ellos para las secciones SM_1 y SM_2

en el caso pseudoestático. El caso I corresponde a los resultados obtenidos en el presente trabajo, es decir, sin variar los parámetros. Para el caso II, se realizó una variación de -25% en la desviación estándar de todos los parámetros (peso específico, cohesión y ángulo de fricción). En el caso III, se redujo en 10% tanto el promedio como la desviación estándar en todos los parámetros. Los resultados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Comparación de P.F. entre caso I y caso II

	F.S.			P.F.		
	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
SM_1	0.90	0.90	0.85	50.56%	59.73%	72.98%
SM_2	1.01	1.01	0.93	43.56%	41.89%	75.18%

Elaboración propia

Como se observa, la variación en la desviación estándar tiene una influencia pequeña a mediana en la probabilidad de falla, a pesar de haber reducido los parámetros en 25%. Sin embargo, al variarla junto con el promedio y solo en 10%, ocasiona un cambio significativo tanto en la probabilidad como en el factor de seguridad.

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

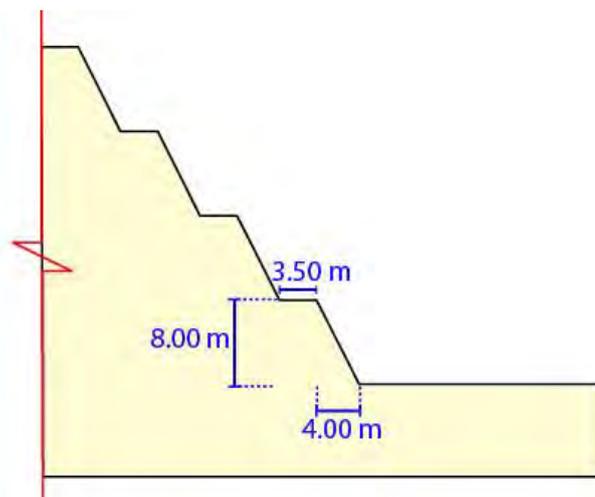
Una vez calculado el factor de seguridad, la probabilidad de falla y la probabilidad de falla anual, se procedió a estimar el costo del riesgo asociado a las secciones estudiadas. Este costo se calculó multiplicando la probabilidad de falla anual por el costo del impacto (Silva et al., 2008). Para este último, se consideró un escenario en el que, al ocurrir el sismo, las edificaciones, las pistas del Circuito de Playas y el talud sufren consecuencias. Dicho lo anterior, el costo del impacto se calculó mediante la suma de los costos estimados de la construcción de la pista más los trabajos de rehabilitación del talud y más el costo de las edificaciones afectadas.

Con el propósito de obtener los costos de rehabilitación, paralelamente se trabajó una solución para brindar mayor estabilidad a los taludes, especialmente en condiciones pseudoestáticas, debido a que este es el caso más crítico. Se escogió realizar el banqueteo de las secciones, es decir, cortar y perfilar el talud formando banquetas. Esta es una técnica convencional muy empleada, ya que permite aumentar el factor de seguridad y disminuir la probabilidad de falla.

6.1. Costos de rehabilitación

Para el banqueteo, se decidió emplear dos pendientes (H: V) de talud típicas con el fin de facilitar los trabajos de campo. Las pendientes consideradas fueron 0.50:1 y 0.75:1. No se tomaron en cuenta pendientes menos pronunciadas, dado que muchas de las construcciones en la parte superior de los taludes se encuentran cerca del borde, por lo que no existiría suficiente área para realizar el banqueteo.

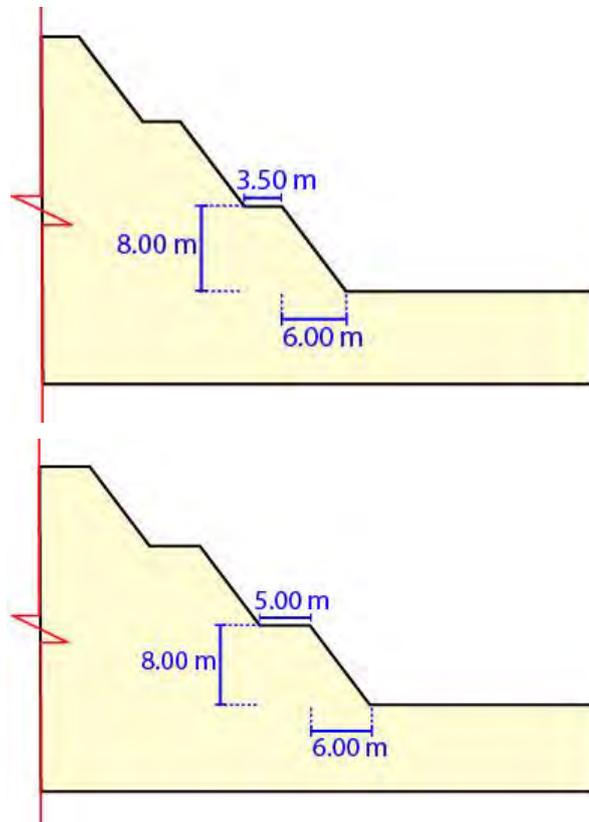
Figura 43: Banqueteo con pendiente H: V de 0.50:1



Elaboración propia

Para el caso de las secciones con pendiente H: V 0.75:1, se tuvieron dos casos: uno con un ancho de banqueta de 3.50 m y otro, de 5.00 m, como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 44: Banqueteo con pendiente H: V de 0.75:1



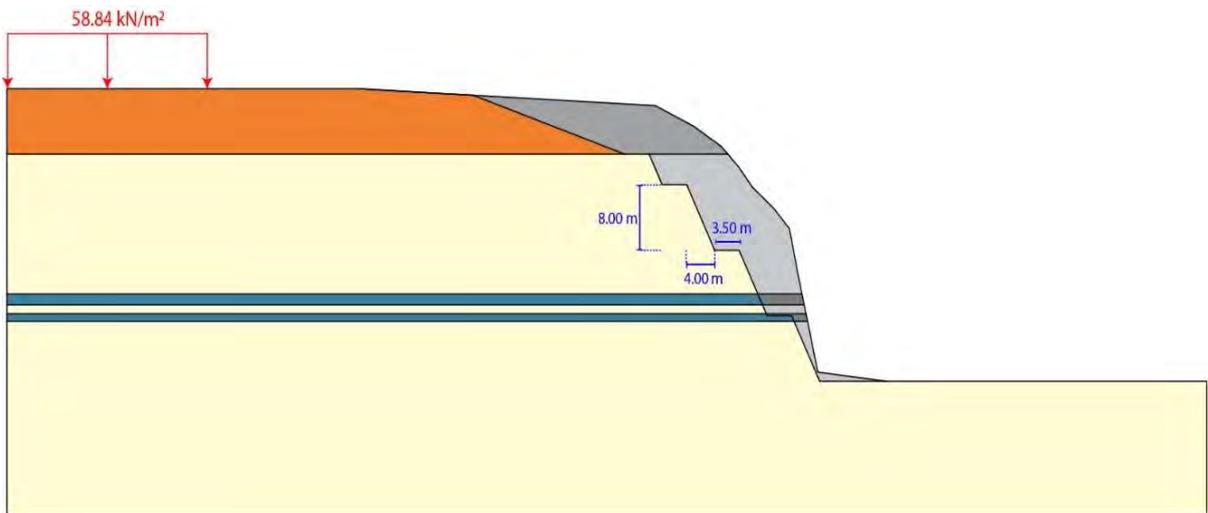
Elaboración propia

En el caso de los taludes que cuentan con relleno en la parte superior, para dicho estrato, se utilizaron pendientes de 2:1 y 3:1 con una sola excepción (sección M_3), en donde se empleó una pendiente de 1.5:1 por el limitado espacio.

Definidas las pendientes, se procedió a banquetear las secciones. Cabe mencionar que no se realizó el banqueteo en el distrito de San Isidro, debido a que dichos taludes ya se encuentran estabilizados. De las 21 secciones restantes, no pudieron ser banqueteadas 3 de ellas (SM_3, M_2 y B_6), puesto que el edificio correspondiente ubicado en la parte superior limitaba este procedimiento.

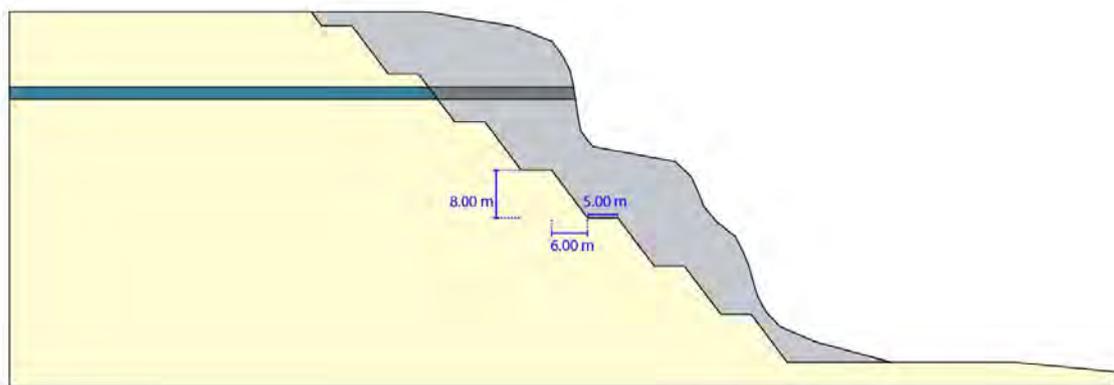
Para ilustrar mejor el trabajo realizado, se muestran algunos ejemplos. En color gris, se observa el talud como es en realidad y a color, el banqueteo propuesto. Las demás secciones se encuentran en los anexos correspondientes.

Figura 45: Banqueteo de la sección SM_1



Elaboración propia

Figura 46: Banqueteo de la sección Mi_1



Elaboración propia

Ahora bien, estas secciones son solo diferenciales dentro del talud; sin embargo, para determinar los costos de rehabilitación, se determinó la extensión a lo largo del talud en la que se podría realizar determinado banqueteo. Para ello, se evaluaron diferentes características como, por ejemplo, el espacio disponible, la topografía, los estratos, entre otros.

Con esta información, se realizó el estimado de cantidades para determinar el costo del movimiento de tierras y perfilado. Cabe recalcar que, para estimar el costo de la rehabilitación, estos aspectos fueron los únicos tomados en cuenta, debido a que son los que poseen mayor impacto en el costo al realizar un trabajo de estas características. Los costos unitarios fueron obtenidos del expediente del proyecto "Servicio de consultoría de obra por situación de emergencia IOARR "Reparación de estabilizadores de suelo en los acantilados del circuito de playas de la Costa Verde, distrito de

Magdalena del Mar, provincia de Lima, departamento de Lima” con código único N.º 2464290” (Gallegos Casabonne Arango Quesada Ingenieros Civiles, 2020). La estimación de los costos de rehabilitación por sección se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 20: Costo de rehabilitación por sección

Sección	Movimiento de tierras (S/)	Perfilado (S/)	Costo de rehabilitación
SM_1	841259.96	46328.13	S/0.9 M
SM_2	801476.93	41200.38	S/0.8 M
SM_3	-	-	-
M_1	2223204.09	83249.41	S/2.3 M
M_2	-	-	-
M_3	726938.30	32626.94	S/0.8 M
M_4	2849253.84	140691.46	S/3.0 M
Mi_1	1748476.42	47600.00	S/1.8 M
Mi_2	2126460.72	58300.48	S/2.2 M
Mi_3	1505317.97	33129.60	S/1.5 M
Mi_4	1619049.12	57664.00	S/1.7 M
B_1	1990547.23	48037.38	S/2.0 M
B_2	3242171.07	95472.00	S/3.3 M
B_3	344895.18	23196.16	S/0.4 M
B_4	2045104.48	68755.07	S/2.1 M
B_5	738307.22	34689.25	S/0.8 M
B_6	-	-	-
B_7	280183.63	16738.44	S/0.3 M
C_1	1689349.20	59785.60	S/1.7 M
C_2	397176.78	24759.62	S/0.4 M
C_3	206390.95	13464.00	S/0.2 M

Elaboración propia

6.2. Costo del riesgo

Para determinar el costo del impacto, se consideró el mismo largo u extensión que se le dio a las banquetas para el cálculo del costo de la rehabilitación. Como se indicó anteriormente, el costo del impacto se estimó considerando los trabajos de rehabilitación, el costo de las pistas y edificios que se verían afectados de ocurrir un sismo. Para el cálculo del costo de la construcción de pistas, se empleó el compendio estadístico de la provincia de Lima (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2019) y para el costo de edificaciones, se empleó el informe estadístico del mercado inmobiliario en donde se encuentran los precios por m² por distrito (Asociación de desarrolladores inmobiliarios [ADIPERÚ], 2020).

Con el propósito de obtener el riesgo, se multiplicó la probabilidad de falla anual del caso estático y pseudoestático por el costo del impacto obtenido. De esta manera, se obtuvieron dos cuantificaciones de los potenciales riesgos (uno de acuerdo a cada caso) y, finalmente, el mayor —es decir, el más crítico— se tomó como el riesgo más representativo. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21: Costo del riesgo (en millones) por sección

Sección	Costo impacto (S/)	Costo del riesgo estático (S/)	Costo del riesgo pseudoestático (S/)	Costo del riesgo
SM_1	1170563.09	134738.83	100039.86	S/0.13 M
SM_2	1048477.31	0.00	77204.23	S/0.08 M
SM_3	70188074.75	5224760.94	11865265.96	S/11.87 M
M_1	11463150.77	3492790.94	1937841.05	S/3.49 M
M_2	27417993.43	4187571.41	4633888.42	S/4.63 M
M_3	7177907.75	1181921.16	1213422.43	S/1.21 M
M_4	3709945.30	0.00	348515.46	S/0.35 M
Mi_1	1906326.42	72.85	224756.39	S/0.22 M
Mi_2	93809176.82	1036352.64	12815334.71	S/12.82 M
Mi_3	17369315.57	1783199.19	2865306.06	S/2.87 M
Mi_4	92635221.95	39292.83	14247889.78	S/14.25 M
B_1	2278584.61	410762.90	384835.59	S/0.41 M
B_2	36767667.47	84300.76	5016515.90	S/5.02 M
B_3	570591.34	0.00	27922.73	S/0.03 M
B_4	310308657.55	85121984.24	50951498.05	S/85.12 M
B_5	85924012.47	8139312.04	11283927.22	S/11.28 M
B_6	132537796.76	567246.61	20065435.13	S/20.07 M
B_7	381972.07	0.00	6905.35	S/0.01 M
C_1	13352617.80	37094.97	2010356.18	S/2.01 M
C_2	12114450.40	66291.96	1744171.61	S/1.74 M
C_3	7186818.95	72502.80	194850.29	S/0.19 M

Elaboración propia

Sumado a esto, se realizó una matriz de riesgo para determinar el nivel de cada sección. En el eje vertical, se indicó la probabilidad de falla anual correspondiente al costo del riesgo obtenido. Esta se dividió en tres niveles: bajo, medio y alto; de esta manera, se dividió entre tres el rango de probabilidades que puede ser obtenido, siendo 38.2% el máximo valor que puede tomar la probabilidad de falla anual.

En cuanto al eje horizontal, se colocó el costo del impacto dividido en cuatro niveles. Para este caso en particular, los niveles se separaron de diferente manera, debido a que los costos presentaban una gran amplitud de rango. Esto puesto que, en algunas

secciones, no había edificaciones que considerar y, por lo tanto, se generaba una gran diferencia entre los costos.

Entonces, se tomó como nivel bajo aquellas secciones en donde el costo por edificaciones era cero. Además, al no haber estas estructuras que se verían afectadas, las consecuencias no serían tan graves. Teniendo como base esto, el nivel bajo se limitó para montos inferiores a S/7.2 millones.

Para los tres niveles restantes, se consideró el costo más alto (S/310.3 M aproximadamente) como un valor aislado, ya que la diferencia con el segundo más alto es de casi S/180 M, por lo que la división se realizó en función de los valores hasta el segundo nivel más alto (S/132.5 M). De esta manera, el nivel medio quedó definido de S/7.2 millones a S/69.9 millones; el nivel alto, de S/69.9 M a S/132.5 M; y el nivel muy alto, para valores mayores a S/132.5 M, tal como se observa en la tabla 22.

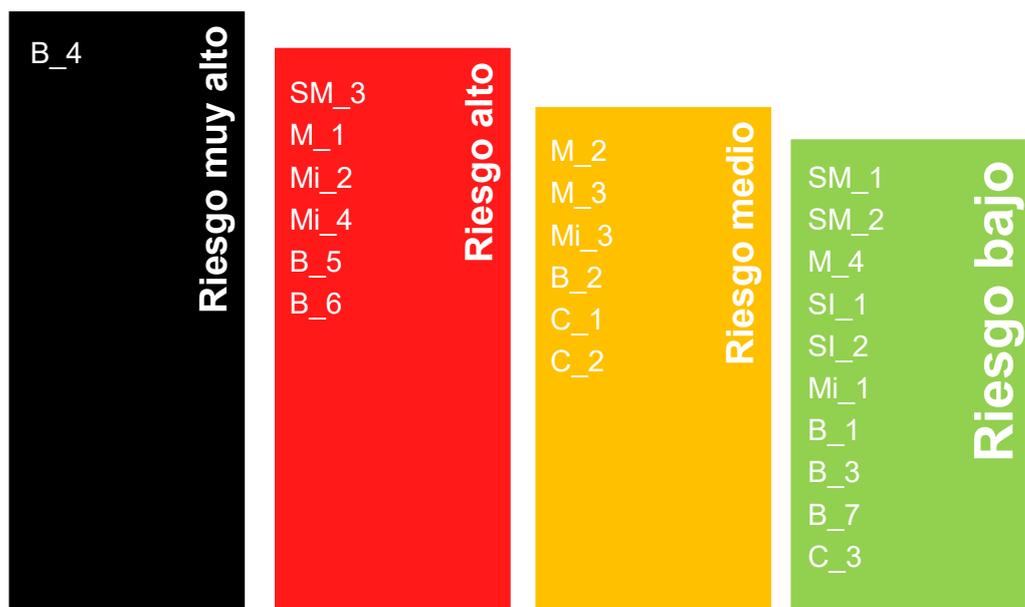
Tabla 22: Matriz de riesgo

			Impacto			
			Bajo Menor a S/7.2 M	Medio De S/7.2 M a S/69.9 M	Alto De S/69.9 M a S/132.5 M	Muy alto Mayor a S/132.5 M
			1	2	3	4
Probabilidad de falla anual máxima	Alto (De 25.47% a 38.20%)	3	3	6	9	12
	Medio (De 12.74% a 25.47%)	2	2	4	6	8
	Bajo (Menor a 12.74%)	1	1	2	3	4

Elaboración propia

Esta matriz se empleó para todas las secciones y los resultados obtenidos se muestran en la figura 47 ordenados por distrito.

Figura 47: Resultados de niveles de riesgos



Elaboración propia

Además del costo económico, también se analizó de manera cualitativa las pérdidas de vida. Para ello, en primer lugar, se hizo un registro de los diferentes lugares que se encontraban en la sección analizada como, por ejemplo, canchas de fútbol, edificios, casas, parques, pistas, puentes peatonales, hoteles, clubs, restaurantes, entre otros. Todos estos se agruparon en cinco categorías: losas deportivas, viviendas, vías, espacios públicos y centros de esparcimiento o recreación.

A cada una, se le asignó un peso, ya que algunas categorías tienen más probabilidad de tener un mayor número de personas que otras. Así también, se trabajó con tres niveles de pérdida de vida: bajo, medio y alto. Los pesos, puntajes y criterios se muestran en la siguiente matriz.

Tabla 23: Matriz empleada para determinar el nivel de pérdidas de vida

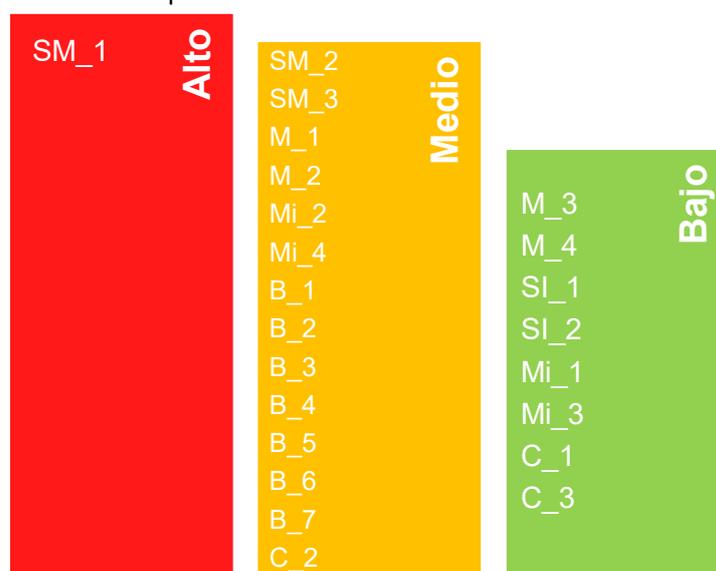
Nivel de pérdidas de vida por categoría	Bajo (1)	Medio (3)	Alto (5)
Losas deportivas (8%)	No hay	Sí hay	-
Colegios (15%)	No hay	-	Sí hay
Viviendas (40%)	No hay	Hay casas y/o edificios cuya ubicación es segura.	Hay edificios que podrían ser afectados por el deslizamiento.
Vías (5%)	No hay	Sí hay	-
Espacios públicos (12%)	No hay	Hay arriba o abajo del talud.	Hay arriba y abajo del talud.
Centros de esparcimiento o recreación (20%)	No hay	Hay uno o pocos centros.	Hay varios centros.

Elaboración propia

Haciendo uso de la matriz anterior y teniendo el registro de lugares mencionados anteriormente, se procedió a asignar un puntaje según la categoría a cada sección. Luego, estos puntajes se ponderaron y se obtuvo un resultado numérico, el cual sirvió para clasificar cada sección dentro un nivel. Se debe tomar en cuenta que el mínimo puntaje que se puede obtener es 1 y el máximo, de 4.74.

El nivel bajo quedó delimitado por un puntaje de [1 – 2.25]; el nivel medio, de [2.25 – 3.5]; y el nivel alto, de [3.5 - 4.74]. En la figura 48, se muestran los resultados obtenidos ordenados por distrito.

Figura 48: Resultados nivel de pérdida de vida



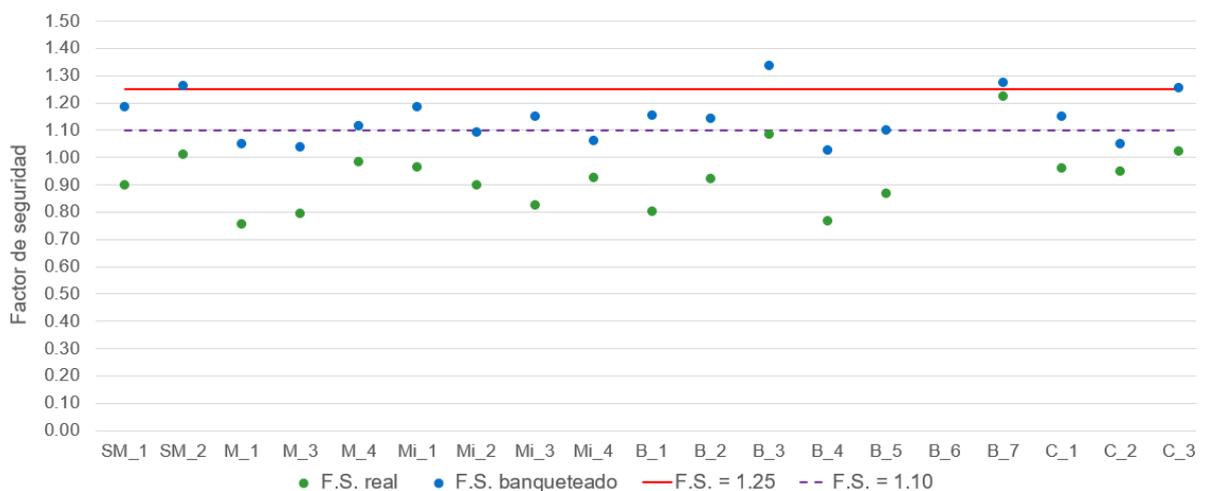
Elaboración propia

6.3. Interpretación de resultados

6.3.1. Rehabilitación

Con respecto al banqueteo realizado, en la figura 49, se muestra la comparación entre los factores de seguridad reales y banqueteados en condiciones pseudoestáticas (caso más crítico). Lo primero a resaltar de esta imagen es que, efectivamente, hubo un incremento en la magnitud de los factores de seguridad para todas las secciones, lo cual era lo esperado. Otro punto importante es que solo 4 secciones superaron el factor de seguridad mínimo de 1.25 exigido por la norma E.050 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Se debe recalcar que, al realizar el banqueteo, se buscaba que este factor de seguridad se cumpla en aquellas secciones que tenían edificaciones en la parte superior. Sin embargo, como ya se indicó anteriormente, no se trabajó con pendientes de talud menos pronunciadas —lo cual aumentaría el factor de seguridad—, puesto que no había espacio suficiente por la ubicación de las edificaciones y/o pistas.

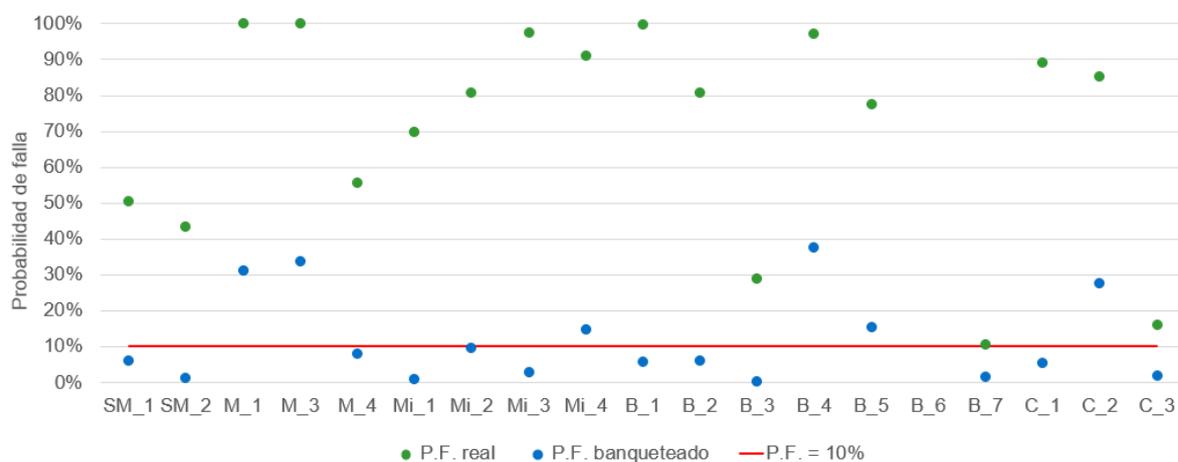
Figura 49: Comparación del factor de seguridad real y banqueteadado en condiciones pseudoestáticas



Elaboración propia

A pesar de no haber alcanzado en muchos casos el factor de seguridad de 1.25, al analizar la probabilidad de falla, se aprecian mejor los beneficios que ha conllevado el banqueteo. En la figura 50, se comparan ambas probabilidades de falla y se puede apreciar que esta se redujo en todas las secciones —en algunos casos, en gran medida— y que la gran mayoría se ubica por debajo del 10%, lo cual representa una probabilidad de falla baja.

Figura 50: Comparación de la probabilidad de falla real y banqueteo en condiciones pseudoestáticas



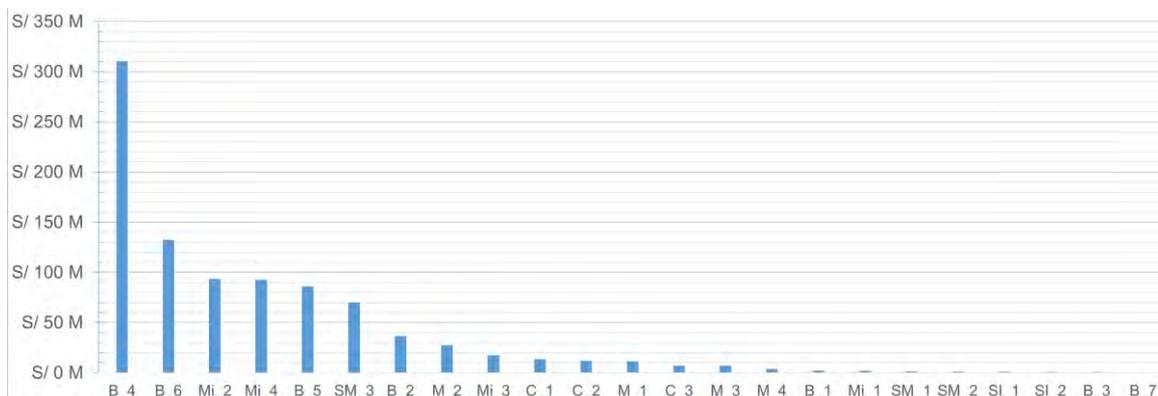
Elaboración propia

Al analizar ambas gráficas en conjunto, se tiene que generalmente las secciones en donde se ha obtenido un factor de seguridad mayor a 1.10 tienen una probabilidad de falla máxima de 10%. Como ya se mencionó anteriormente, este factor de seguridad implica deformaciones mínimas (Anderson et al., 2008). Así también, aquellas con un factor de seguridad mayor a 1.25 cuentan con una probabilidad aproximadamente menor igual a 2%. Por tanto, se considera aceptable una probabilidad de falla máxima de 10% para aquellos sectores que no cuenten con edificaciones cercanas al borde o donde estas no se verían afectadas por el deslizamiento. Por otro lado, para aquellas secciones que cuenten con edificaciones que tienen cierta probabilidad de ser afectadas por el deslizamiento se recomienda una probabilidad de 2%.

6.3.2. Sobre el riesgo

En torno al costo del impacto estimado, en la figura 51, se advierte que la sección que presenta el mayor costo es la sección B_4, debido a que cuenta con edificaciones de gran área y números de pisos, además de estar ubicado en el tercer distrito más caro en lo que respecta a precio por m² (ADIPERÚ, 2020). Las siguientes secciones también se ubican en Barranco, en Miraflores (segundo distrito con mayor precio por m² (ADIPERÚ, 2020)) y una, en San Miguel, en donde se ubica un edificio de varios pisos. Cabe mencionar que para aquellas secciones en las que no se pudo banquetear por falta de espacio (SM_3, M_2 y B_6), de igual manera, se estimó el costo de la rehabilitación por banqueteo solo para ser considerado dentro de la estimación del costo del impacto.

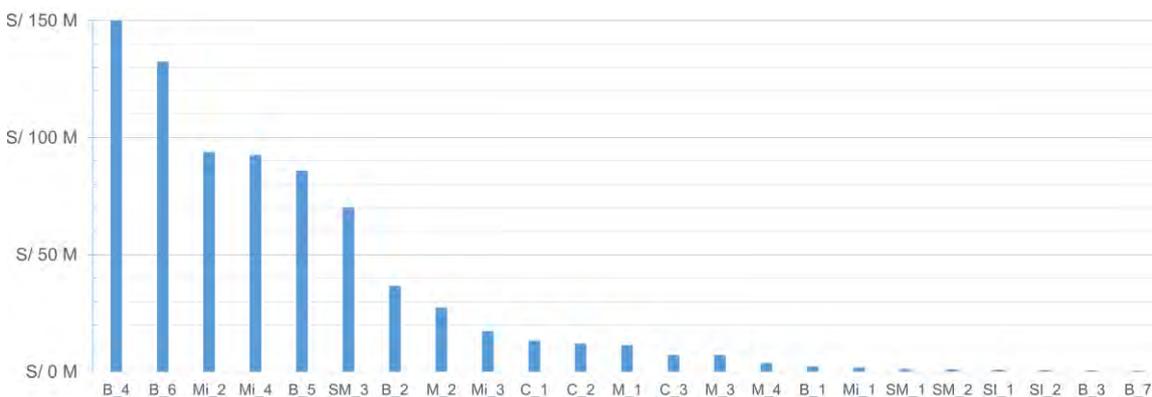
Figura 51: Costo del impacto por sección



Elaboración propia

Debido a la gran diferencia de magnitud entre la sección B_4 y las demás secciones, se muestra la misma gráfica con el eje vertical limitado a S/150 millones para observar con mejor detalle los costos de las demás zonas de estudio.

Figura 52: Costo del impacto por sección (eje vertical limitado a S/150 millones)



Elaboración propia

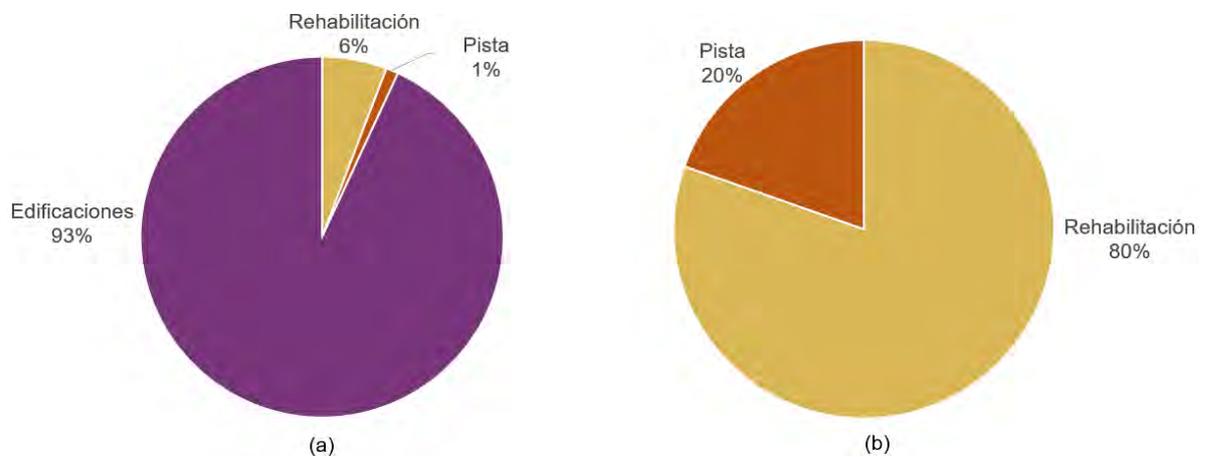
A partir de la sección M_4, los costos se vuelven bajos, en vista de que en estas zonas de estudio no se encontraron edificaciones cerca al borde del talud o porque los deslizamientos no afectaban su estabilidad; en otras palabras, la probabilidad de falla en su ubicación era 0%. La última sección en la gráfica, la B_7, tiene un costo de impacto de aproximadamente S/0.4 millones.

Exceptuando a las dos secciones de San Isidro y analizando las 21 secciones restantes, se tiene que en el 66.67% de los casos, existe presencia de edificaciones que podrían verse afectadas ante un deslizamiento. Como se indicó, para obtener el costo del impacto se consideró el costo de las edificaciones, de la rehabilitación y de las pistas. En la figura 53, se observa la influencia que estos han tenido en el costo total.

En el lado izquierdo, se observa la distribución para aquellas secciones en donde hay edificaciones vulnerables. Dentro de este grupo, el costo de las edificaciones representa aproximadamente el 93% del total; luego, se encuentran los costos de rehabilitación y, con menor influencia, los costos de las pistas.

Por otro lado, en el lado derecho, se encuentra la distribución para las secciones en donde no fue considerado el costo de edificaciones. Aquí el costo de la rehabilitación tiene una influencia aproximada del 80%. Al igual que el caso anterior, el costo de las pistas es el menos influyente.

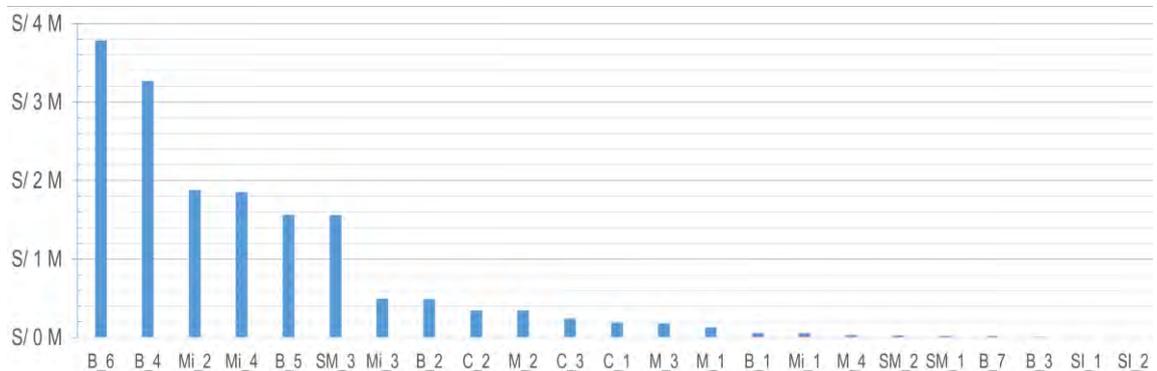
Figura 53: Influencia aproximada del costo de edificaciones, rehabilitación y pistas en el costo del impacto, (a) en secciones con edificaciones vulnerables a deslizamientos, (b) en secciones sin edificaciones vulnerables



Elaboración propia

Otro punto a tomar en cuenta es la influencia que tiene la extensión de cada sección en el costo. Se debe recordar que, para obtener los costos del impacto y banqueteo, se trabajó sobre un área determinada y diferente para cada sección.

Figura 54: Costo del impacto por metro lineal



Elaboración propia

En la figura 54, se observa que la sección B_6 es ahora la que ocupa el primer lugar, seguida de B_4, quien era la sección que se encontraba en primer lugar en la figura 51. Otro punto para considerar es la reducción de la diferencia entre el primer y segundo puesto. Las zonas de estudio ubicadas en el tercer, cuarto, quinto y sexto puesto mantienen la misma posición que en la figura 51, mientras que todas las demás varían. En la figura 54, las dos últimas secciones corresponden a San Isidro, lo cual es lógico, ya que, para determinar el costo, solo se consideraron las pistas. La última sección, SI_2, tiene un costo de impacto por metro lineal de alrededor de 4800 soles.

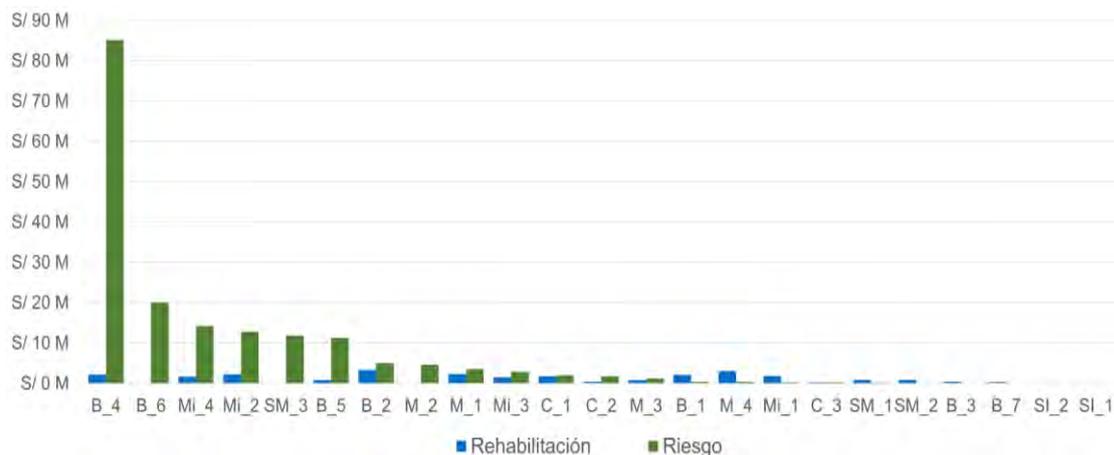
En lo que respecta al nivel del riesgo, 1 sección se encuentra en el nivel de riesgo muy alto; 6, en el nivel alto; 6, en el nivel medio; y 10, en el nivel de riesgo bajo (figura 47). Se debe recalcar que estos riesgos están en función de probabilidades anuales. Sin embargo, si comparamos las 10 secciones que se ubican dentro del nivel de riesgo bajo con los resultados obtenidos para el nivel de pérdida de vida (figura 48), se observa que solo 5 de ellas tienen un nivel de pérdida de vida bajo, mientras que las demás están dentro del nivel medio o alto.

Continuando con el costo del riesgo, en la figura 55, se muestra la comparación de este con los costos de rehabilitación obtenidos. El costo del riesgo no es necesariamente proporcional al costo del impacto, ya que depende de la probabilidad de falla, la cual varía para cada sección.

A primera vista se tiene que la sección B_4 es el caso más crítico, con una diferencia de aproximadamente S/65 millones con la segunda sección más crítica (B_6). Esto se debe a que el costo del impacto también era el más alto, al igual que su probabilidad de falla. Así mismo, se observa que las 6 secciones que tenían los costos de impacto más alto, también se encuentran dentro de ese rango, aunque en diferentes posiciones.

A nivel distrital, Barranco tiene el costo de riesgo más alto, seguido por Miraflores, lo cual era lo esperado, ya que las secciones con riesgos más altos corresponden a dichos distritos. Por otro lado, el distrito de Chorrillos y San Isidro tienen los menores costos. Este último tiene una marcada diferencia con los demás distritos, ya que es el único en donde se ha realizado un trabajo de rehabilitación. Esto se puede apreciar más adelante en la tabla 24.

Figura 55: Comparación entre el costo del riesgo y el costo de rehabilitación



Elaboración propia

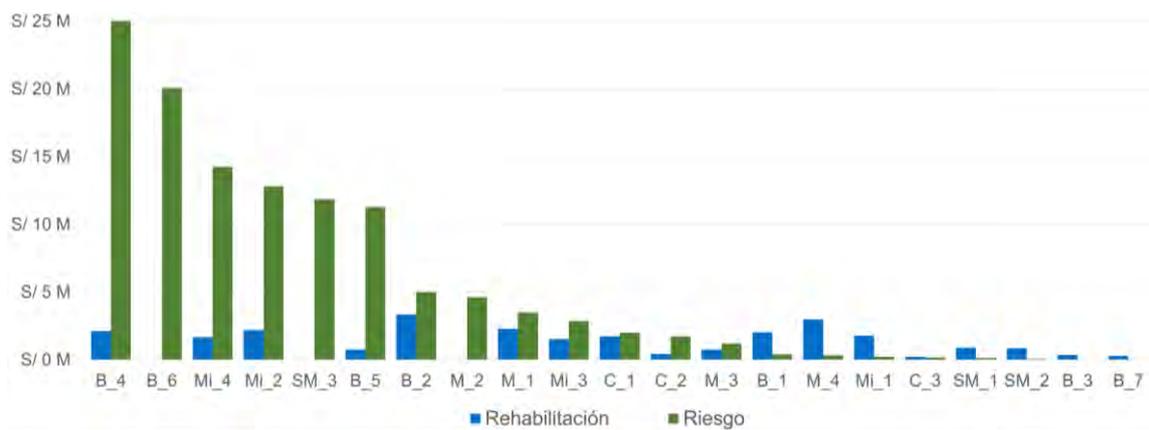
Tabla 24: Costo del riesgo por distrito

Distrito	Costo del riesgo
San Miguel	S/12.08 M
Magdalena	S/9.69 M
San Isidro	S/0.003 M
Miraflores	S/30.15 M
Barranco	S/121.93 M
Chorrillos	S/3.95 M

Elaboración propia

En la figura 56, se muestra la misma gráfica anterior; sin embargo, se ha reducido el eje vertical para poder apreciar mejor la comparación de costos de las secciones. Así también, se eliminaron las secciones de San Isidro, ya que el costo del riesgo llegaba a, como máximo, S/2500 aproximadamente y no requiere de rehabilitación.

Figura 56: Comparación entre el costo del riesgo y el costo de rehabilitación (eje vertical limitado a S/25 millones)



Elaboración propia

En 10 de las 21 secciones, existe una considerable diferencia entre el costo de la rehabilitación y el del riesgo. En estas queda demostrado que es preferible optar por estabilizar el talud que afrontar el riesgo, el cual para estas secciones tiene una clasificación de nivel alto y medio de acuerdo a la figura 47. Estas secciones son M_1, M_3, Mi_2, Mi_3, Mi_4, B_2, B_4, B_5, C_1 y C_2. Además, existe otra sección, la C_3, cuyo costo de rehabilitación es bastante cercano al del riesgo, por lo que también se considera conveniente optar por la rehabilitación en este caso.

Ahora bien, esto no quiere decir que en las secciones en donde el costo de la rehabilitación sea mayor o en los casos donde no se puedan comparar (SM_3, M_2 y B_6), sea mejor mantener al talud en las condiciones actuales. Las secciones de este último grupo cuentan con un nivel de riesgo entre medio y alto y con un nivel de pérdida de vidas medio, por lo que se recomienda su remediación.

Con respecto a las 7 secciones restantes, no se debe olvidar que en todos estos casos los costos del riesgo son bajos, debido a que no había edificaciones que se podrían ver afectadas. Como ya se mencionó anteriormente, el costo de estas equivale al 93% del costo del impacto. Siguiendo este punto, se recomienda no entregar permisos de construcción de edificaciones en estas zonas, con el fin de evitar el aumento del riesgo. De igual modo, se debe recalcar que el costo de la rehabilitación es un costo único, mientras que el costo del riesgo es anual.

Considerando el nivel de pérdida de vida para estas 7 secciones, se observa que 1 tiene un nivel de pérdida de vida alto (SM_1); 4, un nivel medio (SM_2, B_1, B_3 y B_7); y solo 2, un nivel bajo (M_4 y Mi_1). Cabe aclarar que, si bien este nivel es considerado bajo, no se puede garantizar que no ocurra ninguna pérdida de vida ante un

deslizamiento. Por lo expresado anteriormente, se propone la estabilización de dichas secciones, ya sea por el nivel de riesgo, el costo de rehabilitación económico o por las vidas que podrían ser afectadas, en especial ante un sismo. Sin embargo, se podría plantear otras alternativas como, por ejemplo, un monitoreo geotécnico periódico con el objetivo de identificar señales de posible debilitamiento del talud, tales como: excavaciones no permitidas, filtraciones o caída de material. Otra alternativa podría ser fomentar la investigación geotécnica en dichas zonas con el fin de reducir la incertidumbre en los parámetros y, de esta manera, mejorar el análisis.

Así mismo, los trabajos de rehabilitación podrían priorizarse según el nivel de riesgo obtenido y el nivel de pérdidas de vidas. Por ejemplo, secciones como B_4 y SM_1 que tienen el mayor costo del riesgo y el nivel más alto de pérdida de vida, respectivamente, tienen mayor prioridad que las secciones M_4 y Mi_1 con un nivel de riesgo y de pérdidas de vida bajo.

6.3.3. Soluciones recomendadas

De la figura 50, quedó claro que varias de las secciones no cumplen con la probabilidad de falla propuesta en el punto 6.3.1, por lo que realizar el banqueteo no sería suficiente. Para este tipo de situación, se recomienda complementar el banqueteo con otras técnicas de estabilización como, por ejemplo, *soil nailing*. Esta técnica ampliamente reconocida mejora la estabilidad de taludes (Watkins & Powell, 1992) y sirve como refuerzo para excavaciones en suelo (Lazarte et al., 2015). Esto se logra al introducir los denominados *nails*, los cuales son elementos pasivos con cierto espaciamiento e inclinación que brindan soporte a la masa de suelo (Lazarte et al., 2015; Watkins & Powell, 1992). Usualmente, estas barras son de acero de entre 4 a 20 metros de longitud, con un diámetro entre 25 y 40 mm, a las cuales se les recubre con un mortero de cemento que genera la adhesión entre la barra y el suelo, además de brindarle protección contra la corrosión (Sharma et al., 2019).

Un gran aporte del análisis probabilístico es poder entender mejor la problemática para dar soluciones más adecuadas. Como se mencionó anteriormente, esta metodología permite aceptar, reducir o eliminar el riesgo según corresponda. Gracias a ello, se pueden agrupar las secciones según el grado de rehabilitación que necesitan. En primer lugar, se tienen a las secciones de San Isidro (SI_1 y SI_2). Estas no requieren de un trabajo adicional, debido a que ya han sido estabilizadas, su nivel de riesgo es aceptable y su probabilidad de falla en caso de sismo es de 0.41% y 2.14%, respectivamente.

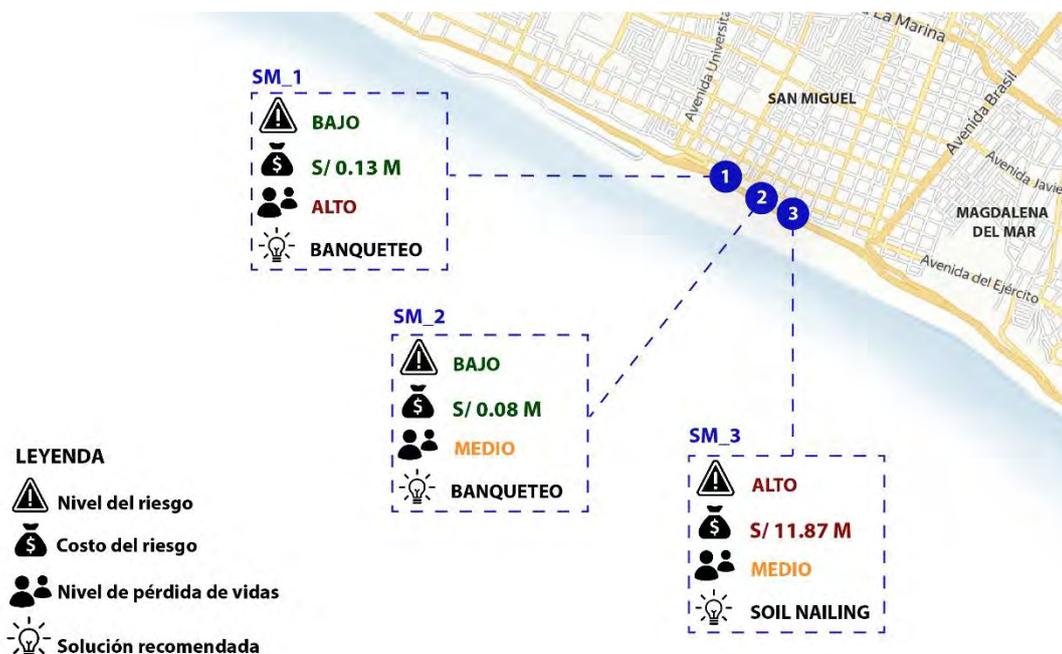
En segundo lugar, se tienen las secciones en donde el banqueteo planteado logra reducir el riesgo y obtener una probabilidad de falla aceptable. Así mismo, cuentan con un nivel de riesgo entre medio a bajo, por lo que no sería necesario un refuerzo adicional. Estas secciones son SM_1, SM_2, M_4, Mi_1, Mi_3, B_1, B_3, B_7 y C_3.

En tercer lugar, se encuentran las secciones en donde si bien se realizó el banqueteo, este no ha sido suficiente, por lo que solo se podría considerar a este método como una medida de mitigación. Además, en algunos de estos casos, quedaba poco espacio libre entre el edificio y el borde del talud. Por ello, en esta situación, se recomienda complementar el banqueteo con *soil nailing* para lograr la eliminación del riesgo. Dentro de este grupo, se encuentran las siguientes secciones: M_1, M_3, Mi_2, Mi_4, B_2, B_4, B_5, C_1 y C_2.

En el último grupo, se tienen a aquellas secciones en las que no hubo posibilidad de realizar el banqueteo debido al espacio insuficiente. En estos casos, se sugiere emplear *soil nailing* para disminuir la probabilidad de falla. Las secciones en este grupo son SM_3, M_2 y B_6.

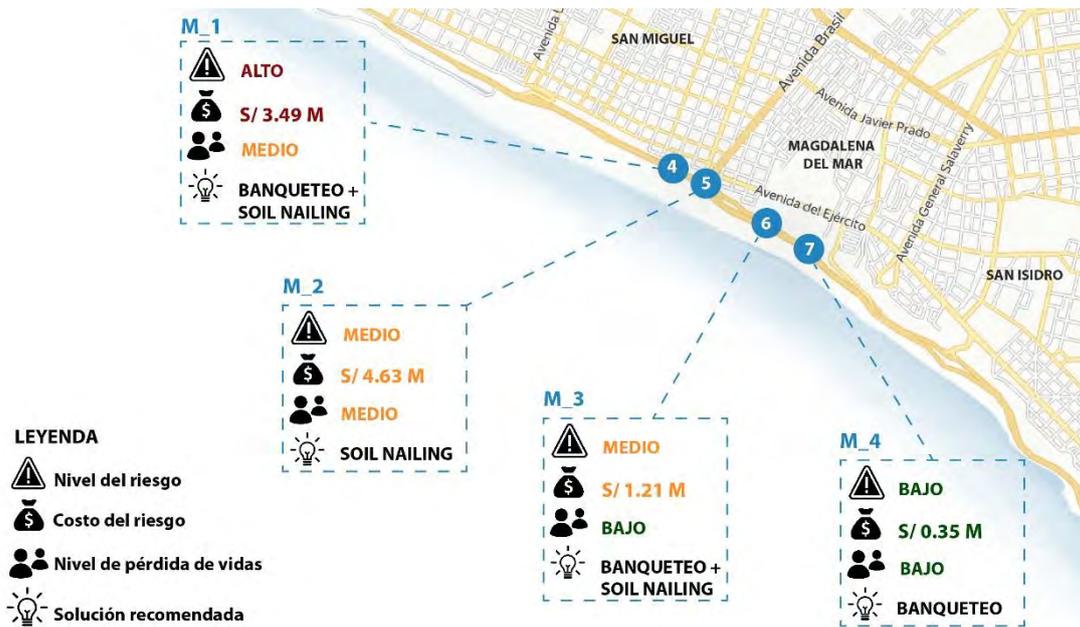
Finalmente, se muestra el resumen de indicadores (nivel de riesgo, costo del riesgo, nivel de pérdida de vidas y solución recomendada) por distrito.

Figura 57: Resumen de indicadores en el distrito de San Miguel



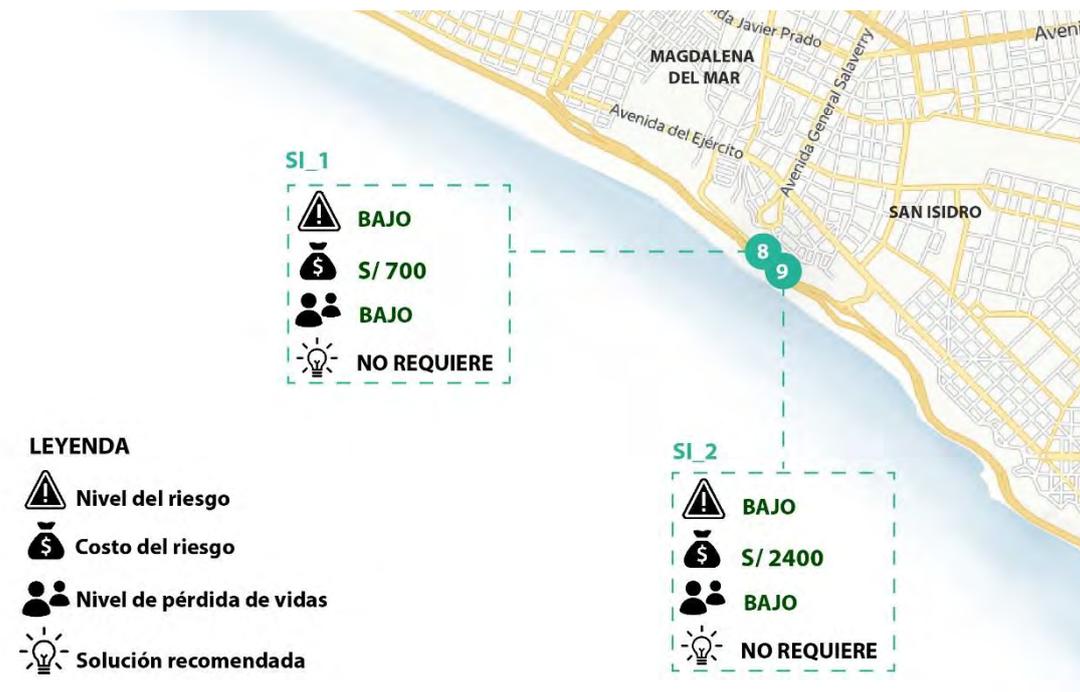
Elaboración propia

Figura 58: Resumen de indicadores en el distrito de Magdalena



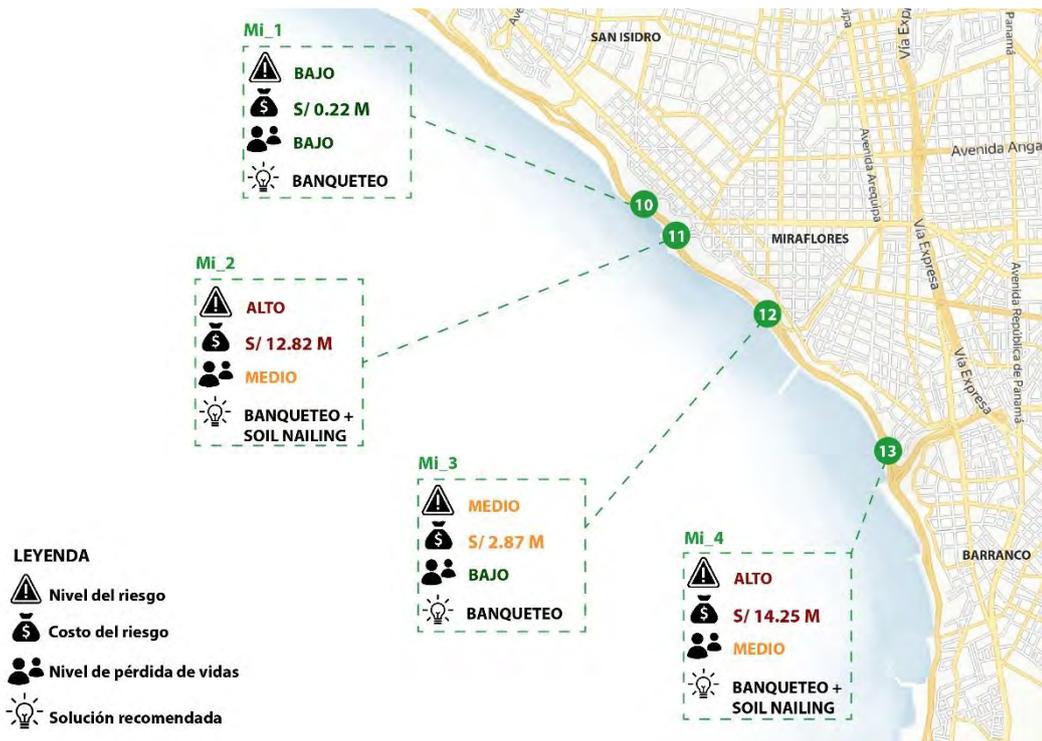
Elaboración propia

Figura 59: Resumen de indicadores en el distrito de San Isidro



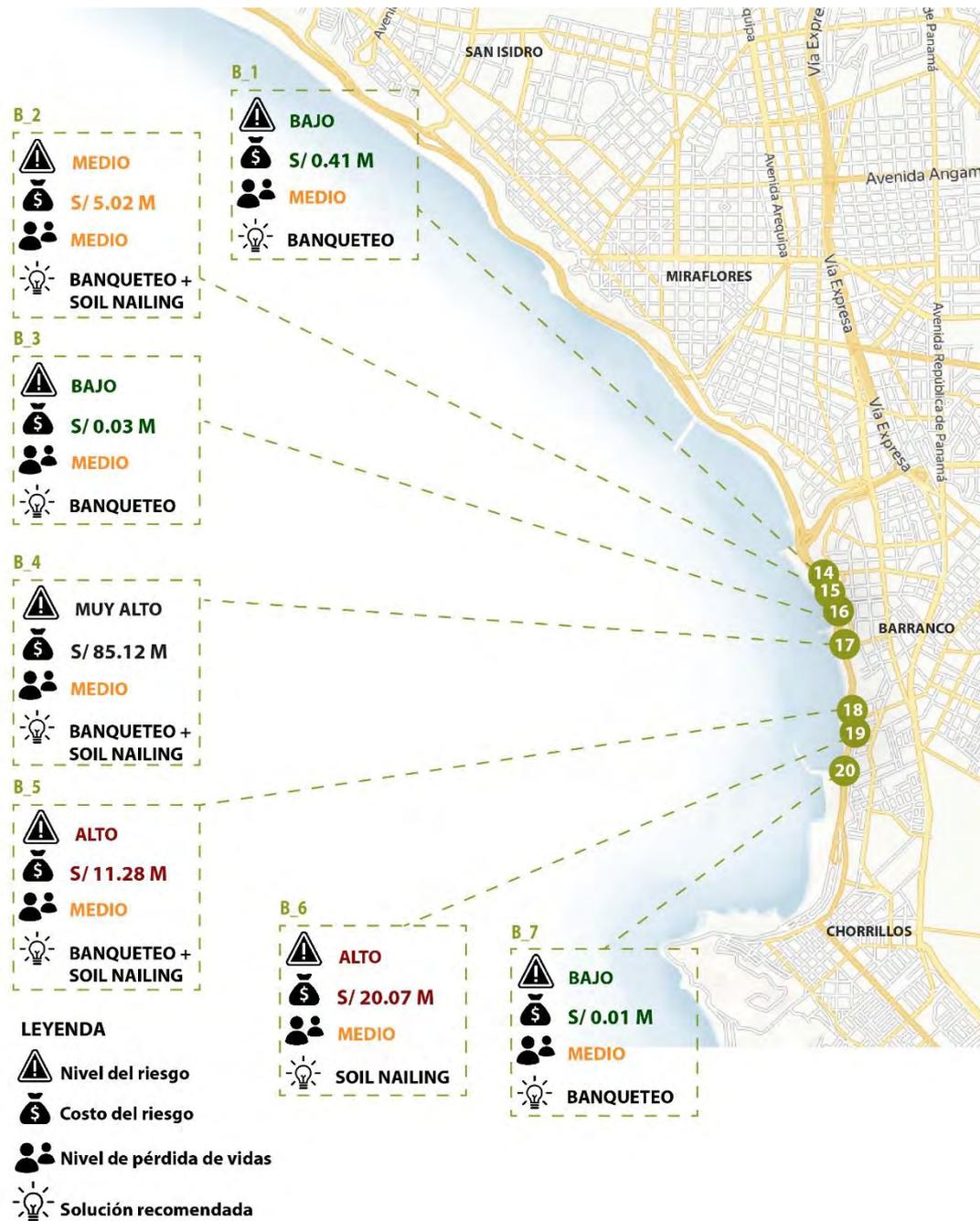
Elaboración propia

Figura 60: Resumen de indicadores en el distrito de Miraflores



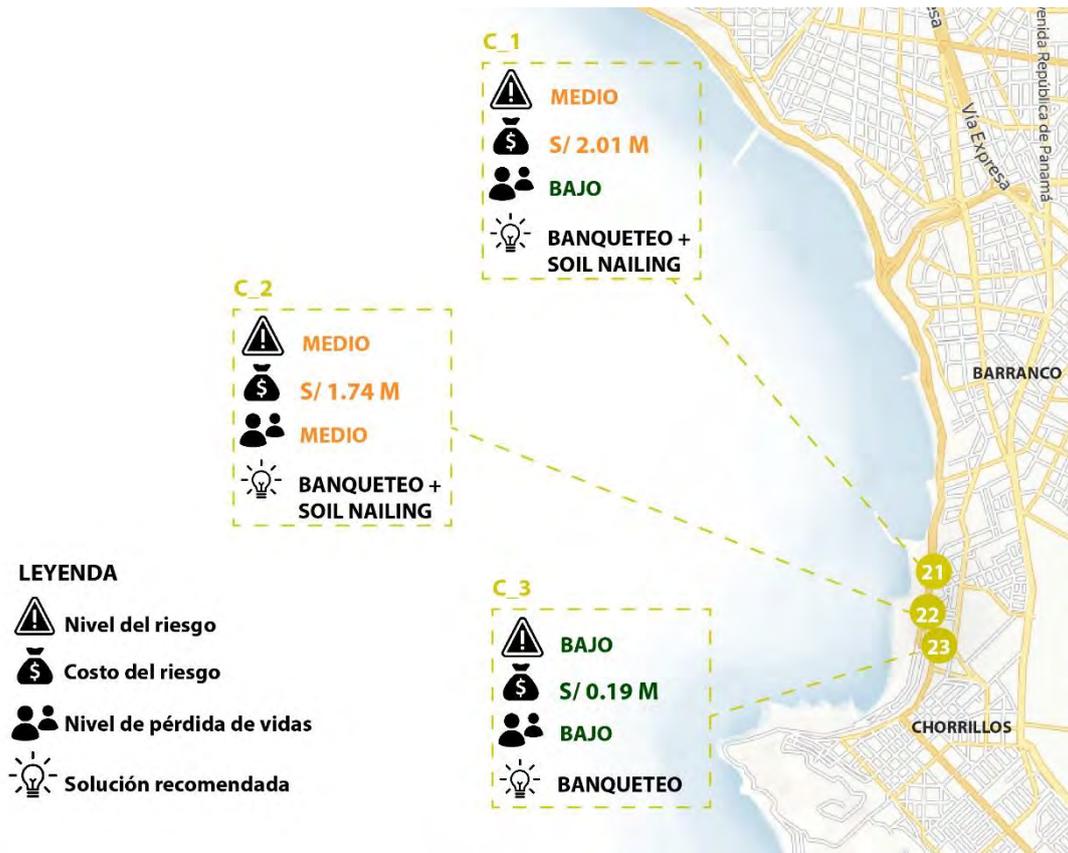
Elaboración propia

Figura 61: Resumen de indicadores en el distrito de Barranco



Elaboración propia

Figura 62: Resumen de indicadores en el distrito de Chorrillos



Elaboración propia

7. ENFOQUE SEMIEMPÍRICO SEGÚN METODOLOGÍA DE SILVA et al. (2008)

Como se mencionó en el punto 3.3.6, existe una metodología que permite determinar la probabilidad de falla anual, haciendo uso de la figura 1. Este método fue desarrollado en base a la experiencia en proyectos de estructuras de tierra y en el juicio de expertos, el cual fue cuantificado para lograr este enfoque semiempírico (Silva et al., 2008).

Después de haber determinado los factores de seguridad, el primer paso para emplear este método es asignarle a la estructura una clasificación de acuerdo con el nivel de ingeniería empleado. Para ello, se emplean los criterios y puntajes establecidos en la tabla 2. Estos criterios son investigación, ensayos, análisis y documentación, construcción, y operación y monitoreo (Silva et al., 2008).

Debido a que una estructura puede tener diferentes niveles de calidad para cada criterio, el puntaje total sirve para interpolar de manera lineal los resultados, de acuerdo a las curvas de la figura 1 (Silva et al., 2008). Con toda la información recolectada para los distritos estudiados, se procedió a llenar la tabla para cada sección. En la tabla 25, presentada más adelante, se muestra un ejemplo, y las demás matrices se encuentran en la sección de anexos.

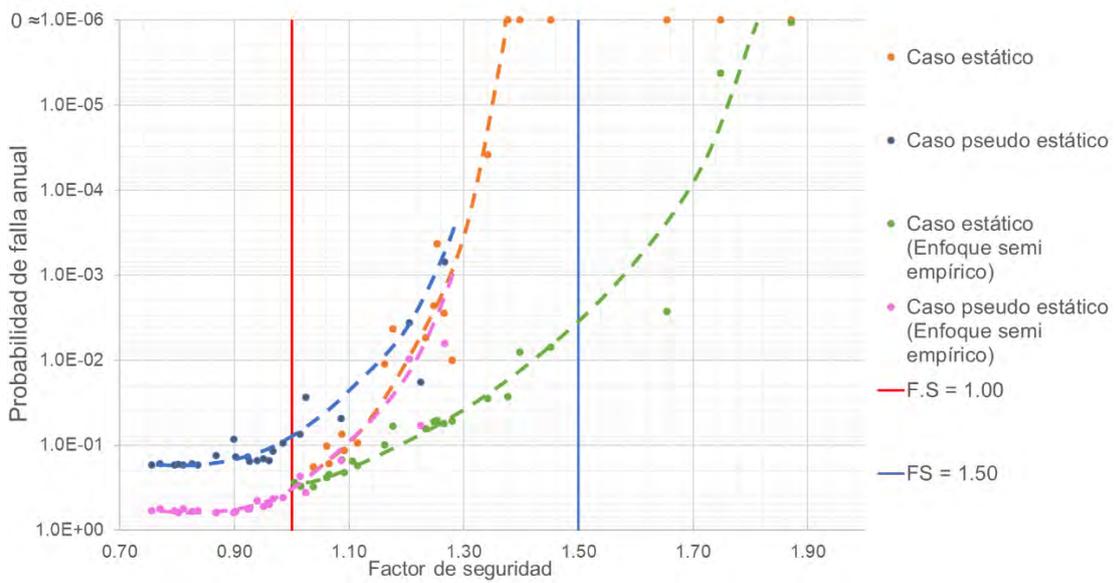
Cabe aclarar que el llenado de la tabla y el otorgamiento de puntajes es en parte subjetivo, por lo que se intentó mantener los mismos criterios para todas las secciones. Así también, se identificaron las celdas con dos colores, donde el color verde indica que la información tiene un menor nivel de confianza que el color celeste, lo cual también influyó en los puntajes de cada grupo. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que esta gráfica está basada en estructuras construidas, mientras que los taludes de la Costa Verde tienen una formación natural, por lo que, para los criterios de construcción, y operación y monitoreo, se ha tenido un mayor margen de interpretación y específicamente ha sido más empleado para los taludes en los que se haya realizado algún trabajo. De esta clasificación, se obtuvo que todas las secciones estaban entre una categoría II y III; es decir, las clasifica como estructuras con un nivel de ingeniería entre encima del promedio (II) y el promedio (III).

La figura 1 está elaborada para factores de seguridad entre 1 y 2, por lo que, para factores inferiores o superiores, se asumió que las curvas eran rectas paralelas al eje horizontal. Esto debido a que para factores mayores a 2, no hay dudas de la estabilidad del talud y la probabilidad de falla no tiene tanta incidencia. Por otro lado, para factores de seguridad menores a 1, se entiende que el talud es inestable, por lo que,

independientemente de la magnitud de la probabilidad de falla, este requiere de algún tipo de estabilización.

Los resultados obtenidos mediante este método se muestran en la figura 63, en donde también se aprecian aquellos obtenidos previamente. En el caso pseudoestático, solo se muestra la curva que se obtuvo asumiendo una probabilidad de ocurrencia de sismo de 16.9%, el cual era el caso más crítico.

Figura 63: Comparación de resultados por métodos estadísticos y por método de Silva et al. (2008)



Elaboración propia

Tabla 25: Matriz según el método Silva et al. (2008) para la sección SM_2

SM_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc.).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta claramente las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el F.S. usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índices en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo
2.20	0.65	0.45	0.40	0.30	0.40

Adaptado de *Probability and risk of slope failure* (p. 1693), por Silva et al., 2008.

Interpretación de resultados

En primer lugar, de la figura 63, se concluye que los resultados, según este método semiempírico, tienen la misma tendencia para el caso pseudoestático, pero son más conservadores que los obtenidos por métodos estadísticos. En la parte inicial de las curvas, estas presentan cierta separación, la cual se va reduciendo conforme aumenta el factor de seguridad.

Por otro lado, al comparar las curvas correspondientes al caso estático, se visualiza que ambas tienen tendencias diferentes. Los resultados muestran cierta similitud para factores de seguridad menores a 1.10; no obstante, al ir aumentando dicho valor también aumenta la brecha de separación entre las mismas, opuesto a lo que sucede en el caso pseudoestático.

Estas diferencias obtenidas pueden tener explicación debido a las características del método semiempírico. Para comenzar, como se indicó anteriormente, las curvas fueron hechas en función a estructuras construidas, lo cual no ocurre con los taludes de la Costa Verde. Además, no se conoce la información de la aceleración sísmica empleada para estas curvas, ni si solo se limita a un caso pseudoestático o estático. En las matrices, se obtiene un puntaje para cada sección, el cual se empleó sin distinción para ambos casos e incluso de haberse considerado otra aceleración para el cálculo del factor de seguridad, el puntaje no habría cambiado. Es por esta razón que se comprende por qué se obtienen valores tan conservadores con respecto a los determinados previamente.

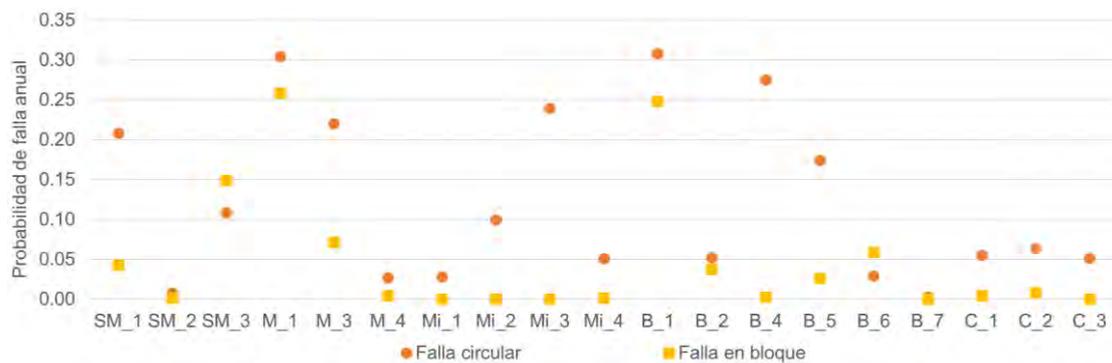
En otro punto, esta metodología, al tener otro tipo de criterios, puede tornarse subjetiva al asignar los puntajes, ya que dependerá no solo de la persona que realice el análisis, sino también de la información disponible. No obstante, un punto a favor de este método es que permite considerar otras áreas que no se considerarían en un análisis estadístico y que, además, permitiría priorizar aquellas que requieran de más atención o mejora. Así también, permitiría considerar la incertidumbre en diferentes procesos involucrados en la construcción de una estructura de tierra.

Otra ventaja es que, al emplear este método, se obtiene directamente la probabilidad de falla anual, con lo cual no sería necesario tener información, por ejemplo, de la incertidumbre de los parámetros de resistencia o de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. Si se quiere implementar el enfoque probabilístico por primera vez en un determinado proyecto, este método permitiría obtener resultados razonables (para el

caso pseudoestático) con poco esfuerzo, manteniendo el análisis determinístico tradicional.

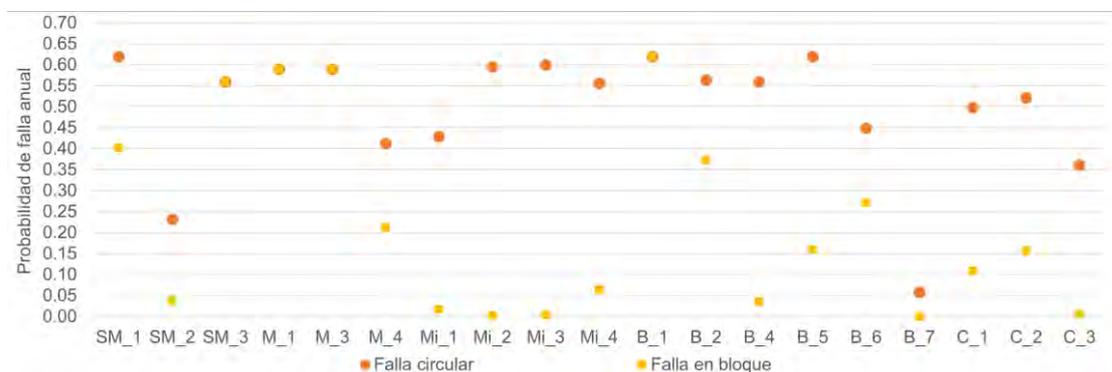
Otra ventaja de este método es que permite obtener las probabilidades de falla anual para fallas circulares y en bloque, debido a que solo se requiere conocer el factor de seguridad y la matriz de cada sección para obtenerla. No obstante, como ya se mencionó anteriormente, se obtienen valores más conservadores para ambos casos. Cabe mencionar que en ciertos casos aislados (específicamente 3 en total), se obtienen respuestas opuestas. Esto se refiere a que, en el análisis estadístico, se obtuvo que la falla circular tenía una probabilidad de falla anual mayor a la del bloque o viceversa; sin embargo, en el método semiempírico, la respuesta se invirtió. No obstante, en la mayoría de los casos, en ambos métodos se concluye que la falla circular es más crítica y no hay gran influencia de los estratos de suelo fino.

Figura 64: Comparación de resultados para falla circular y en bloque para el caso estático por el método de Silva et al. (2008)



Elaboración propia

Figura 65: Comparación de resultados para falla circular y en bloque para el caso pseudoestático por el método de Silva et al. (2008)

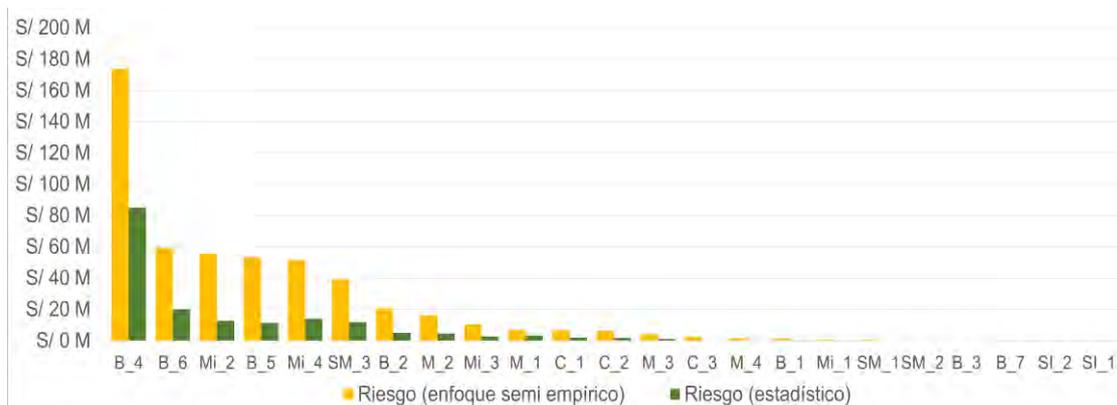


Elaboración propia

Finalmente, se comparó el costo del riesgo obtenido, el cual se observa en la figura 66. A partir de esta, se visualiza que los costos obtenidos con la probabilidad de falla anual

por el método semiempírico son mucho mayores a los obtenidos por el método estadístico. Los costos mediante el método de Silva et al. (2008) son entre 2 a 13 veces el costo obtenido inicialmente. En este caso, el costo del riesgo de la sección más crítica es de alrededor de S/170 millones, el doble de lo obtenido anteriormente.

Figura 66: Comparación del costo del riesgo obtenido estadísticamente y por el método de Silva et al. (2008)



Elaboración propia

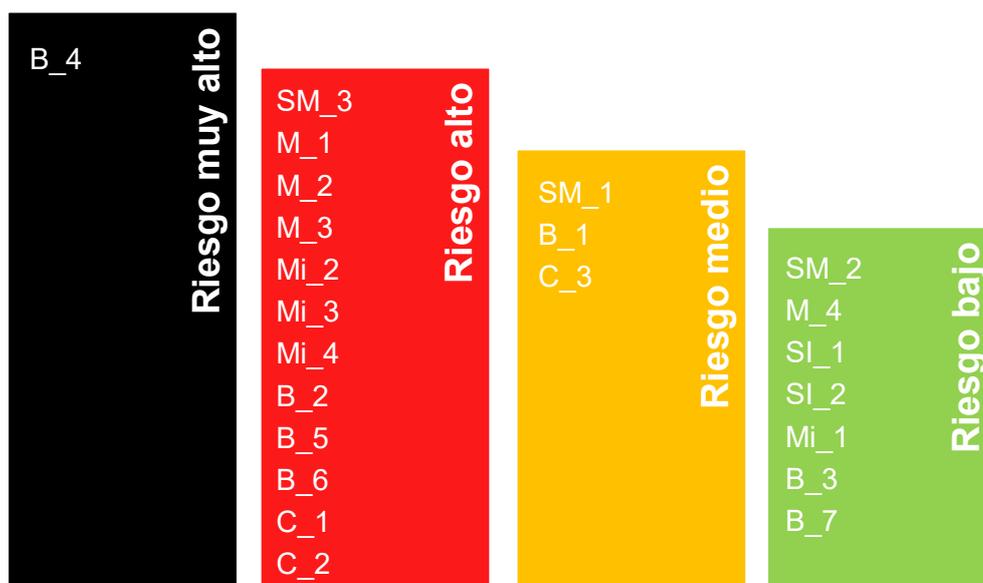
La probabilidad de falla anual también influye en los niveles de riesgos, ya que es un parámetro empleado en la matriz de riesgos. Para dicha matriz, se consideró que el valor máximo que puede tomar la probabilidad de falla anual para una estructura de categoría III, a partir de la figura 1, es 0.70. Se escogió dicha categoría, ya que se observó que las secciones estaban comprendidas entre la categoría II y III, como se mencionó anteriormente. La matriz de riesgos y los niveles de riesgos obtenidos se muestran en la tabla 26 y figura 67.

Tabla 26: Matriz empleada para el método semiempírico

			Impacto			
			Bajo Menor a S/7.2 M	Medio De S/7.2 M a S/69.9M	Alto De S/69.9 M a S/132.5M	Muy alto Mayor a S/132.5 M
			1	2	3	4
Probabilidad	Alto (De 46.67 a 70%)	3	3	6	9	12
	Medio (De 23.33% a 46.67%)	2	2	4	6	8
	Bajo (Menor a 23.33%)	1	1	2	3	4

Elaboración propia

Figura 67: Niveles de riesgo obtenidos por el método de Silva et al. (2008)



Elaboración propia

Al analizar el costo y los niveles de riesgo, se concluye que al contar con probabilidades de falla anual conservadores se está sobreestimando el análisis al obtener valores más preocupantes, en donde se justificaría mucho más la rehabilitación. Así mismo, más de la mitad de las secciones analizadas se encontrarían entre un nivel de riesgo alto a muy alto y los taludes necesitarían ser rehabilitados con prontitud. Esto se diferencia con lo obtenido mediante el método estadístico desarrollado en los capítulos anteriores, en donde más de la mitad de secciones se ubicaban en un riesgo de medio a bajo. Se debe recordar que, en dicho análisis, se encontraron 10 secciones con riesgo bajo, 6 con riesgo medio, 6 con riesgo alto y 1 con riesgo muy alto.

De acuerdo con todo lo mencionado, se concluye que este método puede ser beneficioso para la obtención de la probabilidad de falla anual en el caso pseudoestático, debido a que los resultados muestran la misma tendencia que lo obtenido por el método estadístico. Esto lo hace una alternativa rápida que brindaría un análisis de estabilidad de taludes más completo, incluso si no se tiene mucha información. Sin embargo, los resultados son conservadores, ya que es un método más general, y esto se evidencia aún más en el caso estático. Para este último, no se recomienda, puesto que la brecha entre los resultados por el método estadístico y el semiempírico es mucho mayor. Asimismo, el caso pseudoestático generalmente suele ser el más crítico y preocupante, por lo que ayudaría a brindar una base para analizar el riesgo e identificar posibles soluciones.

Dicho esto, el riesgo y el costo del riesgo obtenidos mediante este método deben ser analizados cuidadosamente, porque están sobredimensionados. Pueden ser útiles para entender la situación, priorizar secciones y analizar entre alternativas; sin embargo, no se deben tomar como montos finales de las consecuencias que podrían ocurrir.

Por ello, se sugiere ajustar la matriz de criterios, que es la parte más subjetiva del análisis, para obtener resultados más cercanos a los métodos estadísticos y a la realidad peruana. Con tal fin, se podría desarrollar una versión específica para cada proyecto e incluso se podrían ajustar las curvas o la probabilidad obtenida, basándose en estructuras con características similares al proyecto estudiado.

Como recomendación, se sugiere implementar ciertos criterios indicados en la matriz de Silva et al. (2008) con el fin de reducir el riesgo y obtener una probabilidad de falla más representativa. De esta manera, se podrían obtener costos más reales y ejecutar medidas más certeras. Algunos criterios son los siguientes:

- Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.
- Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.
- Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).
- Determinar el F.S. usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos para el sitio.
- Mantenimiento continuo y supervisión.
- En caso el talud sea modificado como, por ejemplo, banquetas, se deben realizar ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados, además de realizar un informe de construcción donde se documente claramente las actividades de construcción.

8. CONCLUSIONES

Se evaluaron 23 secciones distribuidas a lo largo de los taludes de la Costa Verde desde el distrito de San Miguel hasta Chorrillos. Para cada una de ellas, se determinó el factor de seguridad mediante el método de equilibrio límite (Spencer) y la probabilidad de falla para el caso estático y pseudoestático. La probabilidad de falla se determinó considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo (cohesión y ángulo de fricción) y peso específico. Con esta información, se determinó los niveles de riesgo y se estimó los costos asociados a estos. Así mismo, se plantearon soluciones según lo encontrado.

Se optó por la regla N-sigma para determinar la distribución de los parámetros y el análisis de Monte Carlo para obtener la probabilidad de falla. Para la presente tesis, solo se consideraron fallas globales; sin embargo, para obtener la probabilidad de falla anualizada, se registraron los incidentes de deslizamientos en la Costa Verde que se pudieron encontrar hasta la fecha de la elaboración de la tesis, siendo el último registrado de septiembre del 2021. Con esta información, se logró obtener la probabilidad de que al menos un evento ocurra en un año, la cual se multiplicó por la probabilidad de falla para anualizarla. Para el caso pseudoestático, además de lo anterior, se trabajó con la probabilidad de excedencia del sismo empleado para determinar la probabilidad de falla anual.

- Se concluye que la metodología planteada para anualizar la probabilidad de falla funciona y es útil para relacionar este concepto con el de factor de seguridad. Los pasos a seguir no requieren de una dificultad adicional a los métodos determinísticos tradicionales, lo que lo hacen aplicable a proyectos similares como, por ejemplo, el análisis de fallas locales.
- De lo analizado, se concluye que el promedio de cada variable tiene una gran influencia en los resultados, lo cual puede ser ampliado a que la cantidad y calidad de datos es importante para lograr resultados más precisos al emplear la metodología planteada. Sin embargo, la regla N-sigma propuesta en dicha metodología es adecuada para determinar la desviación estándar dado que la influencia de la variabilidad de la desviación en los resultados es mucho menor.
- La regla de la multiplicación aplicada en conjunto con la distribución de Poisson permitió anualizar la probabilidad de falla. Al ser esta zona un foco de continuos deslizamientos usar data histórica posibilitó obtener resultados más conservadores en comparación al uso de la probabilidad de excedencia del sismo, como se mostró en los resultados.

- Si bien al emplear la probabilidad de excedencia del sismo, se obtienen resultados menos conservadores, la tendencia obtenida es similar a aquella obtenida mediante el registro y podría servir para estimar los niveles de riesgo, a partir de los cuales se obtendrían soluciones más certeras con costos más precisos para llevar a cabo las inversiones correspondientes.
- De lo calculado y analizado, se concluye que la gran mayoría de secciones estudiadas no cumplen con los factores de seguridad establecidos en la normativa peruana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012, 2018), tanto para condición estática como pseudoestática. El hecho de que los factores de seguridad no cumplan con el requisito de la norma y que las probabilidades de falla sean tan altas en condiciones estáticas generan gran preocupación, ya que los taludes no están preparados para las condiciones normales de exposición e incluso tienen una preparación deficiente para condiciones sísmicas. Se debe recordar que Lima está en una zona de silencio sísmico, por lo que es fundamental acondicionar los taludes con la seguridad necesaria para soportar un evento de dicha magnitud y que, además, la Costa Verde es un continuo escenario de deslizamientos y accidentes, cuya gran extensión solo cuenta con geomallas como medida de contención.
- Al comparar los valores de los factores de seguridad obtenidos con la normativa internacional indicada en la tabla 1, se concluye, que en el caso pseudoestático, la cantidad de secciones que cumplen con el mínimo es mayor; sin embargo, esto debe ser tomado con cautela, debido a que como ya se mencionó, no hay un consenso con respecto a los factores de seguridad mínimos, por lo que sería más adecuado considerar en conjunto al factor de seguridad junto con la probabilidad de falla.
- A mayor relación H:V, el factor de seguridad aumenta y la probabilidad de falla disminuye, por lo que reducir las pendientes tendría un efecto positivo en la estabilización del talud; por ello, se considera que el banqueteo es una buena alternativa de solución.
- Para condiciones pseudoestáticas, a partir de los banqueteos planteados y de la influencia de las cargas en el talud, se tiene que un factor de seguridad de 1.10 está relacionado con una probabilidad de falla del 10%; por otro lado, uno de 1.25, se relaciona con una probabilidad de 2%. Dado que el caso pseudoestático es el más crítico, se concluye que, en esta situación, para secciones sin presencia de carga o que esta esté ubicada a una distancia en donde no se vería afectada, sería adecuado tomar como probabilidad de falla máxima de 10% (equivalente a 1 - 2% anual, dependiendo de la probabilidad empleada para

anualizar o 10^{-2} , de acuerdo a la escala vertical empleada en la figura 1 de Silva et al. (2008)). Asimismo, se concluye que, para secciones en donde exista alguna edificación que podría verse afectada, se podría considerar como máximo una probabilidad de 2% (0.2 - 0.3% de probabilidad de falla anual o 10^{-3}).

- Se encontró que la distancia entre la ubicación de la carga y el borde libre del talud tiene una mayor influencia en el factor de seguridad y la probabilidad de falla anual que la magnitud de la carga misma. Por ello, se concluye que mantener un borde libre de 40 m, podría lograr factores de seguridad que cumplan con la normativa y probabilidades de falla anual que cumplan con lo expresado en el punto anterior.
- Después de haber calculado el costo del riesgo y de rehabilitación, se concluye que, en la mayoría de las secciones, es más económico realizar la rehabilitación que asumir los gastos del riesgo. Sin embargo, cabe recalcar que, para aquellas secciones con riesgo bajo, se propone como otra alternativa realizar un monitoreo periódico, el cual podría ser suficiente hasta que se implementen medidas de ingeniería para que los taludes cumplan con la normativa vigente.
- A nivel distrital, Magdalena y Barranco son los distritos en donde se ha encontrado las probabilidades de falla anual más altas para el caso estático. Asimismo, para el caso pseudoestático, Miraflores cuenta con el rango más crítico. En cuanto a los niveles de riesgos encontrados en cada distrito, se obtuvo que Barranco tiene una sección en el nivel de riesgo muy alto (B_4), dos en el nivel de riesgo alto (B_5 y B_6) y una en el nivel de riesgo medio (B_2). Tres de las cuatro secciones de Magdalena se ubican entre riesgo medio (M_2 y M_3) y alto (M_1). Por otro lado, Miraflores cuenta con dos secciones en el nivel de riesgo alto (Mi_2 y Mi_4) y una en nivel medio (Mi_3). Con respecto a Chorrillos, este distrito tiene dos secciones de tres en el nivel de riesgo medio (C_1 y C_2). San Miguel presenta una sección de riesgo alto (SM_3), pero las dos restantes se ubican en el nivel bajo (SM_1 y SM_2). Finalmente, las dos secciones de San Isidro tienen un nivel de riesgo bajo.
- Además del costo, el nivel de pérdidas de vida está presente en el riesgo, incluso a un nivel bajo, por lo que no se puede garantizar que no haya pérdidas, debiéndose considerar la estabilización. De acuerdo a este criterio, la sección SM_1 es la más preocupante por tener un nivel alto de pérdida de vidas.
- El banqueteo logró aumentar el factor de seguridad y disminuir la probabilidad de falla; sin embargo, no en todas las secciones se logró una probabilidad de falla menor a las propuestas: 2%, para secciones con edificaciones vulnerables al deslizamiento y 10%, para aquellas sin edificaciones cercanas o vulnerables.

A pesar de ello, el banqueteo sugerido serviría para reducir la cantidad de material que se deslizaría, lo cual disminuiría la gravedad de las consecuencias. En las zonas en donde no se ha podido lograr la probabilidad de falla sugerida, se puede complementar el banqueteo con otra técnica adicional de estabilidad como lo es el “soil nailing”.

- En lo que respecta al método semiempírico de Silva et al. (2008), se concluye que, de no contar con suficiente información acerca de los parámetros de resistencia del suelo, es una buena alternativa para determinar la probabilidad de falla anual únicamente en el caso pseudoestático. A pesar de obtenerse resultados más conservadores, la tendencia es similar a la obtenida en el capítulo 5, lo cual permitiría priorizar las secciones analizadas, darse una idea de la gravedad de las consecuencias y poder tomar decisiones. Igualmente, esta metodología permite identificar, a nivel de ingeniería, los vacíos que sustentan la construcción, mantenimiento o estabilidad de los taludes existentes, sobre los cuales se alimenta una de las vías y áreas más importantes de la capital. No obstante, al ser conservador, los costos de riesgos obtenidos son sobreestimados, por lo que, económicamente hablando, no se debería tomar estos montos como definitivos, sino como una herramienta para evaluar diferentes alternativas.
- Finalmente, de lo realizado, se considera que complementar el método tradicional o determinístico con el análisis probabilístico logra un mejor entendimiento de la estabilidad de las secciones analizadas. Esto no solo a nivel ingenieril, sino que también puede ser favorecedor para la transmisión de información al público en general, ya que mencionar probabilidades o niveles de riesgo es más comprensible que hablar de factores de seguridad y se podría compartir dicha información a través de infografías como las mostradas en el capítulo 6. Implementar este enfoque en la normativa peruana permitiría incluir las incertidumbres propias de cada proyecto y desarrollar diferentes soluciones, basándose en los niveles de riesgos encontrados, lo cual podría ser un buen aporte para el estado de la práctica actual.

9. RECOMENDACIONES

- Con respecto a la metodología empleada para determinar la probabilidad de falla, se recomienda incluir en el análisis la variación del coeficiente sísmico. En este trabajo, se empleó un coeficiente sísmico del 50% del PGA, el cual, como ya se mencionó en el capítulo 5, es un valor recomendado por diferentes entidades como NCHRP (Anderson et al., 2008) y FHWA (Kavazanjian et al., 2011), ya que al obtenerse factores de seguridad entre 1.1 a 1.3, se considera que las deformaciones son mínimas (Anderson et al., 2008); sin embargo, se sugiere analizar la influencia de esta variación en futuros trabajos similares.
- Adicionalmente, en este trabajo, se asumió que los estratos son completamente horizontales y cuyas capas se extienden a lo largo de las secciones analizadas; sin embargo, esto no ocurre necesariamente en la realidad, por lo que se recomienda también incluir esta variabilidad en futuros estudios.
- En cuanto a la normativa vigente, se sugiere lograr una convención del coeficiente sísmico basado en una discusión de expertos y especialistas para estandarizar los análisis sísmicos de taludes en Perú. También, se recomienda que se lleve un registro de los incidentes ocurridos en la Costa Verde para de esta manera mejorar la precisión de las probabilidades de ocurrencia. En especial, se debería incluir los incidentes anteriores a los años 1990, ya que no se encontró información de aquellos años.
- Se han realizado muy pocos ensayos in situ en los taludes de la Costa Verde, por lo que se sugiere fomentar más de estos estudios con el fin de mejorar las distribuciones de los parámetros de resistencia empleados y, de esta manera, reducir la incertidumbre, proveer soluciones más certeras y costos más aterrizados.
- Se sugiere que la normativa peruana considere este enfoque o establezca un rango de factores de seguridad con el fin de abarcar con mayor detalle las particularidades de cada proyecto.
- En el caso de las secciones con nivel de riesgo bajo, se recomienda no otorgar permisos de construcción en dichas zonas con el objetivo de prevenir el aumento del nivel del riesgo.
- En caso se lleguen a realizar trabajos de rehabilitación en la Costa Verde, se sugiere continuar con el monitoreo y mantenimiento de las zonas estabilizadas con el fin de desarrollar una mejora continua que se pueda aplicar en otras zonas del talud e incluso otras estructuras de tierra en el país. Además, se recomienda la creación de una sala de monitoreo geotécnico de los taludes de la Costa

Verde, mediante la cual se realicen inspecciones de ingeniería anuales o semestrales. Asimismo, en caso ocurra un sismo con magnitud mayor a 5 Mw a distancias menores de 100 km u ocurra algún deslizamiento, se deberían realizar inspecciones obligatorias.

- Con respecto al nivel de pérdidas de vida, en la presente tesis se ha realizado un análisis cualitativo al no ser objetivo de la misma; sin embargo, se sugiere realizar en futuras tesis un estudio más preciso y cuantitativo para definir mejor los niveles de pérdidas de vida.
- Con respecto a los costos, se debe mencionar que no se han incluido aquellos ocasionados por otros inconvenientes que se podrían producir al ocurrir estos deslizamientos, como es el cierre de las vías, la gestión y logística ocasionados por los problemas de transporte que podrían surgir, entre otros. Igualmente, se sugiere para futuros trabajos, determinar de una forma más detallada el costo del impacto y hacer una diferencia entre los costos para el caso estático y pseudoestático, ya que estos podrían diferir.
- Se recomienda realizar un ajuste en la matriz empleada de Silva et al. (2008) para permitir que se adapte de una mejor manera a las necesidades de cada proyecto e incluso, a futuro, se podrían desarrollar nuevas curvas para distintas aceleraciones sísmicas o para estructuras de tierra creadas por la misma naturaleza, como es el caso de los taludes de la Costa Verde.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altman, D. G., & Bland, J. M. (2005). Standard deviations and standard errors. *BMJ*, 331(7521), 903. <https://doi.org/10.1136/bmj.331.7521.903>
- Anderson, D. G., Martin, G. R., Lam, I., & Wang, J. N. (2008). *Seismic analysis and design of retaining walls, buried structures, slopes, and embankments (NCHRP Report 611)*. Transportation Research Board.
- Arana, R. (2014, 21 de enero). Zona de Miraflores en la Costa Verde: una amenaza sin atención. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/766920-zona-de-miraflores-en-la-costa-verde-una-amenaza-sin-atencion/>
- Asociación de desarrolladores inmobiliarios [ADIPERÚ]. (2020). *Informe estadísticos mercado inmobiliario julio 2020*.
- Autoridad del Proyecto Costa Verde, & Instituto Metropolitano de Planificación. (1995a). *Plan Maestro de Desarrollo de la Costa Verde 1995–2010. Resumen Ejecutivo*.
- Autoridad del Proyecto Costa Verde, & Instituto Metropolitano de Planificación. (1995b). *Plan Maestro de Desarrollo de la Costa Verde 1995 - 2010. Volumen A: Diagnóstico*.
- Baecher, G. B., & Christian, J. T. (2003). *Reliability and statistics in geotechnical engineering*. John Wiley & Sons Ltd.
- Bernal, I., Pari, K., Torres, L., Suya, W., Rosado, F., Vivanco, M., Namay, G., Mattos, M., Alarcón, V., Gómez, J. C., Céspedes, L., Ruiz, Di., Príncipe, E., & Martínez, A. (2019). *Informe de la evaluación de peligros geofísicos en el distrito de Miraflores*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., & Salas, J. (2021). *Evaluación geofísica de los acantilados de la Costa Verde - Distrito de San Isidro. Informe técnico N°012-2021/IGP Ciencias de la tierra sólida*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., & Torres, L. (2021). *Evaluación geofísica de los acantilados de la Costa Verde distrito de Magdalena del Mar - Informe técnico N°009-2021/IGP Ciencias de la tierra sólida*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].
- Bishop, A. (1955). The use of failure circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17.

- Burman, A., Acharya, S. P., Sahay, R. R., & Maity, D. (2015). A comparative study of slope stability analysis using traditional limit equilibrium method and finite element method. *Asian Journal of Civil Engineering*, 16(4), 467-492.
- Cañari, M., & Alva, J. (2011). *Análisis de la estabilidad de taludes de la Costa Verde* (Primera ed). Guzlop Editoras.
- Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [Cenepred]. (2018). *Escenarios de riesgos por lluvias intensas*.
- Chahua, L. (2010). *Consideraciones sobre los acantilados de Miraflores ante la carga de las edificaciones* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Charca, O. (2018). *Selección de leyes de atenuación sísmica de subducción para la evaluación del peligro sísmico en el Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (J. León (trad.); 4ta ed.). Cengage Learning (Obra original publicada en 2013).
- Díaz, J. (2008). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Duncan, J. M. (2000). Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 126(4), 307-316. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2000\)126:4\(307\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2000)126:4(307))
- Duncan, J. M., & Sleep, M. D. (2015). Evaluating reliability in geotechnical engineering. En K.-K. Phoon & J. Ching (Eds.), *Risk and reliability in geotechnical engineering* (pp. 131-179). CRC Press.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2da. ed.). John Wiley & Sons.
- Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2015). *Federal guidelines for dam safety risk management. FEMA P-1025*.
- Fellenius, W. (1936). *Calculation of the stability of earth dams. Trans., 2nd Congress on Large Dams. 4, 445-462*.

- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2007). Review of probability theory, random variables, and random Fields. En D. V. Griffiths & G. A. Fenton (Eds.), *Probabilistic methods in geotechnical engineering* (pp. 1-69). Springer Wien New York.
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk assessment in geotechnical engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Gallegos Casabonne Arango Quesada Ingenieros Civiles. (2020). *Reparación de estabilizadores de suelo en los acantilados del circuito de playas de la Costa Verde, distrito de Magdalena del Mar, provincia de Lima, departamento de Lima” con código único N° 2464290*.
- García, E. (1984). *Análisis de estabilidad estática y dinámica de los acantilados de Lima* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Granados, A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Griffin, B. (2017). Risk assessment. En M. Hawley & J. Cunning (Eds.), *Guidelines for mine waste dump and stockpile design* (pp. 187-195). CSIRO Publishing.
- Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Géotechnique*, 49(3), 387-403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387>
- Guzmán, A., Zavala, B., & Valenzuela, G. (1997). *Estudio de seguridad física de los acantilados de la Costa Verde. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 18*. INGEMMET.
- Hawley, M., Hogarth, J., Cunning, J., & Haynes, A. (2017). Stability analysis. En M. Hawley & J. Cunning (Eds.), *Guidelines for mine waste dump and stockpile design* (pp. 141-160). CSIRO Publishing.
- Huang, Y. (2014). *Slope stability analysis by the limit equilibrium method*. American Society of Civil Engineers Press.
- Hynes-Griffin, M., & Franklin, A. (1984). Rationalizing the seismic coefficient method. Miscellaneous paper GL-84-13. *Department of the army waterways experiment station, Vicksburg, MS*.

- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo. (2019). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el malecón Castagnola - Acantilado de la Costa Verde. Región Lima, provincia Lima, distrito Magdalena del Mar (Informe técnico N° A6930)*. INGEMMET.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo. (2020). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el malecón Pedro de Osma - acantilado de la Costa Verde. Región Lima, provincia Lima, distrito Barranco (Informe técnico N° A7020)*. INGEMMET.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo. (2021). *Evaluación de peligros geológicos ocasionados por el sismo del 22 de junio del 2021 en la Costa Verde. Región Lima, provincia Lima, distrito Chorrillos, Barranco, Miraflores (Informe técnico N° A7165)*. INGEMMET.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2019). *Compendio estadístico: Provincia de Lima 2019*. Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI].
- International Code Council. (2015). *2015 IBC: International Building Code*. International Code Council.
- International Commission on Large Dams [ICOLD]. (2005). Risk assessment in dam safety management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications. *ICOLD Bulletin 130*.
- Jorge Alva Ingenieros. (2009). «*Ensayo de corte directo in-situ hotel Larcomar*». *Informe técnico, Miraflores - Lima, Perú*.
- Kavazanjian, E., Wang, J.-N. J., Martin, G. R., Shamsabadi, A., Lam, I. (Po), Dickenson, S. E., & Hung, J. (2011). *LRFD Seismic analysis and design of transportation geotechnical features and structural foundations - NHI course no. 130094, Reference manual geotechnical engineering circular no. 3*. Federal Highway Administration.
- Lazarte, C. A., Robinson, H., Gómez, J., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. (2015). *Geotechnical engineering circular N° 7 Soil nail walls - reference manual*. N° FHWA-NHI-14-007.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones*.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma técnica E.030. Diseño Sismorresistente*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). *Norma Técnica CE. 020 Suelos y taludes*.
- Morgenstern, N., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15(1), 79-93.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2016a). *Parque Media Luna* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2016b). *Playa Las Cascadas* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2016c). *Playa Marbella* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2018a). *Malecón Mariscal Ramón Castilla* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2018b). *Maria Reiche* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2018c). *Playas Los Yuyos* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2018d). *Victor Larco Herrera* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2019). *Parque La Pera del Amor* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2021a). *Bajada Los Baños* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2021b). *Playa Miraflores* [Plano]. 1:2500. Lima.
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2021c). *Playa Redondo II* [Plano]. 1:2500. Lima.

- Nadim, F. (2007). Tools and strategies for dealing with uncertainty in geotechnics. En D. V. Griffiths & G. A. Fenton (Eds.), *Probabilistic methods in geotechnical engineering* (pp. 71-95). Springer Wien New York.
- Oboni, F., & Oboni, C. (2020). *Tailings dam management for the twenty-first century*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19447-5>
- Orr, T. L. L. (2015). Managing risk and achieving reliable geotechnical designs using Eurocode 7. En K. K. Phoon & J. Ching (Eds.), *Risk and reliability in geotechnical engineering* (pp. 395-433). CRC Press.
- Pacheco, A. (2006). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Palacios, O., Caldas, J., & Vela, C. (1992). *Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Boletín N° 43, Serie A: Carta Geológica Nacional*. INGEMMET.
- Phoon, K. K. (2004). Towards reliability-based design for geotechnical engineering. *Special Lecture for Korean Geotechnical Society, Seoul, 9 July 2004*, 1-23.
- Prada, F., Ramos, A., Solaque, D., & Caicedo, B. (2011). Confiabilidad aplicada al diseño geotécnico de un muro de contención. *Obras y proyectos* 9, 49-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132011000100006>
- Programa Ciudades Sostenibles [PCS]. (2014). *Mapas de peligros, vulnerabilidad y riesgos, plan de usos del suelo ante desastres, proyectos y medidas de mitigación de la Costa Verde*.
- Raygada, L. (2011). *Análisis de estabilidad y deformaciones en el acantilado de la Costa Verde* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Redacción EC. (2012, 05 de marzo). Dos heridos dejó caída de piedras en la Costa Verde. *El Comercio*. <https://archivo.elcomercio.pe/sociedad/lima/dos-heridos-dejo-caida-piedras-costa-verde-noticia-1383215/>
- Redacción EC. (2014, 19 de febrero). Niño herido por roca en Costa Verde dejó cuidados intensivos. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/nino-herido-roca-costa-verde-dejo-cuidados-intensivos-295165-noticia/>
- Redacción EC. (2016, 24 de febrero). Costa Verde: roca que causó vuelco cayó de lugar sin geomallas. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/costa-verde-roca-causo-vuelco-cayo-lugar-geomallas-276619-noticia/?ref=ecr>

- Redacción EC. (2019a, 26 de mayo). Costa Verde: sismo en Loreto causó desprendimiento de piedras. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/costa-verde-sismo-loreto-causo-desprendimiento-piedras-noticia-nndc-638739-noticia/?foto=3>
- Redacción EC. (2019b, 24 de julio). Barranco: piedra cae del acantilado y rompe parabrisas de taxi en la Costa Verde. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/accidentes/barranco-piedra-cae-acantilado-rompe-parabrisas-taxi-costa-verde-nndc-noticia-658402-noticia/>
- Redacción EC. (2021, 18 de septiembre). Costa Verde: derrumbe en la playa Los Yuyos provocó restricción del tránsito vehicular. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/lima/costa-verde-reportan-derrumbe-en-la-playa-los-yuyos-que-provoca-restriccion-del-transito-vehicular-barranco-centro-de-operaciones-de-emergencia-nacional-nndc-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2011, 02 de diciembre). Queda grave por la caída de una piedra en la Costa Verde. *Perú 21*. <https://peru21.pe/lima/queda-grave-caida-piedra-costa-verde-5944-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2013, 25 de noviembre). Un fuerte sismo de 5.6 grados remeció Lima y desata pánico en el sur chico. *Perú 21*. <https://peru21.pe/lima/fuerte-sismo-5-6-grados-remecio-lima-desata-panico-sur-chico-134014-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2014a, 15 de febrero). Roca cae en la Costa Verde y deja heridos. *Perú 21*. <https://peru21.pe/opinion/roca-cae-costa-verde-deja-heridos-145030-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2014b, 31 de julio). Costa Verde: Se restableció tránsito tras cierre por deslizamiento. *Perú 21*. <https://peru21.pe/lima/costa-verde-restablecio-transito-cierre-deslizamiento-177028-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2015, 31 de enero). Costa Verde: Piedras cayeron sobre bus del Ministerio de Salud y otro carro. *Perú 21*. <https://peru21.pe/lima/costa-verde-piedras-cayeron-bus-ministerio-salud-carro-164730-noticia/>
- Redacción Perú 21. (2016, 20 de enero). Costa Verde: Piedra destroza parabrisas de taxi en Magdalena. *Perú 21*. <https://peru21.pe/lima/costa-verde-piedra-destroza-parabrisas-taxi-magdalena-208963-noticia/>

- Redacción RPP. (2014, 30 de junio). Taxista herido al desprenderse roca de acantilado de la Costa Verde. *RPP Noticias*. <https://rpp.pe/lima/actualidad/taxista-herido-al-desprenderse-roca-de-acantilado-de-la-costa-verde-noticia-704151>
- Rocscience. (2021). *Probabilistic analysis tutorial*. Rocscience. <https://www.rocscience.com/help/slide2/tutorials/tutorials-overview/probabilistic-analysis-tutorial>
- Schnaid, F., Mello, L. G., & Dzialoszynski, B. (2020). Guidelines and recommendations on minimum factors of safety for slope stability of tailings dams. *Soils and Rocks*, 43(3), 369-395. <https://doi.org/10.28927/SR.433369>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi]. (s. f.). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional - Estación: Campo de Marte*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Sharma, M., Samanta, M., & Sarkar, S. (2019). Soil Nailing: An effective slope stabilization technique. En S. P. Pradhan, V. Vishal, & T. N. Singh (Eds.), *Landslides: Theory, practice and modelling. Advances in natural and technological hazards research* (Vol. 50, pp. 173-199). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77377-3_9
- Silva, F., Lambe, T. W., & Marr, W. A. (2008). Probability and risk of slope failure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(12), 1691-1699. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:12\(1691\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:12(1691))
- Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, 17(1), 11-26.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de suelos.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología* (AMR Traducciones científicas (trad.); 8va ed.). Pearson Educación S.A. (Obra original publicada en 2005).
- Tavera, H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].
- Tavera, H. (2019). *Sismo de Lagunas del 26 de mayo del 2019 (M 8.0): Aspectos sismológicos*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].

- Tavera, H., Bernal, I., & Salas, H. (2007). *El sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9 Mw) Departamento de Ica - Perú (Informe Preliminar)*. Instituto Geofísico del Perú [IGP].
- Teves, N. (2015). Vulnerabilidad en la Costa Verde. *El Ingeniero de Lima. Revista del Colegio de Ingenieros del Perú - CD Lima*, 75, 7-8.
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, & U.S. Army Corps of Engineers. (2019). *Best Practices in dam and levee safety risk analysis. Part I - Risk Analysis Basics*. Versión 4.1.
- Universidad Nacional de Ingeniería [UNI], & Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID]. (2010). *Apéndice B - Características geotécnicas del distrito de Chorrillos*.
- Vargas, A. (2008). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Miraflores* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Villacorta, S., Núñez, S., Vásquez, J., Pari, W., Ochoa, M., Benavente, C., Tatard, L., Luque, G., Rosado, M., Fidel, L., & Úbeda, J. (2015). *Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 59* (1era ed.). INGEMMET.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (L. Pineda (trad.); Novena ed.). Pearson Educación (Obra original publicada en 2012).
- Watkins, A. T., & Powell, G. E. (1992). Soil nailing to existing slopes as landslide preventive works. *Hong Kong Eng.*, 20(3), 20-27.
- Zhu, D. Y., Lee, C. F., & Jiang, H. D. (2003). Generalised framework of limit equilibrium methods for slope stability analysis. *Géotechnique*, 53(4), 377-395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/geot.2003.53.4.377>
- Zúñiga, F. (2004). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Miguel* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

ANEXOS

TABLA DE CONTENIDOS

ANEXO A: Planos

- Lámina A-01: Ubicación de secciones
- Lámina A-02: Ubicación de secciones en el distrito de San Miguel
- Lámina A-03: Ubicación de secciones en el distrito de Magdalena del Mar
- Lámina A-04: Ubicación de secciones en el distrito de san isidro
- Lámina A-05: Ubicación de secciones en el distrito de Miraflores
- Lámina A-06: Ubicación de secciones en el distrito de Barranco
- Lámina A-07: Ubicación de secciones en el distrito de Chorrillos
- Lámina A-08: Secciones en el distrito de San Miguel
- Lámina A-09: Secciones en el distrito de Magdalena del Mar
- Lámina A-10: Secciones en el distrito de San Isidro
- Lámina A-11: Secciones en el distrito de Miraflores
- Lámina A-12: Secciones en el distrito de Barranco
- Lámina A-13: Secciones en el distrito de Barranco
- Lámina A-14: Secciones en el distrito de Chorrillos
- Lámina A-15: Banqueteo en el distrito de San Miguel
- Lámina A-16: Banqueteo en el distrito de Magdalena del Mar
- Lámina A-17: Banqueteo en el distrito de Miraflores
- Lámina A-18: Banqueteo en el distrito de Barranco
- Lámina A-19: Banqueteo en el distrito de Barranco
- Lámina A-20: Banqueteo en el distrito de Chorrillos

ANEXO B: Registro de incidentes

ANEXO C: Matriz de secciones

ANEXO D: Matriz de clasificación de estructuras por el método de Silva et al. (2008)

ANEXO E: Salidas del programa Slide - talud en condiciones naturales

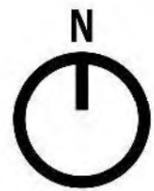
ANEXO F: Salidas del programa Slide - talud banqueteadado

ANEXO G: Resultados obtenidos del factor de seguridad y probabilidad de falla

ANEXO H: Costo del riesgo, matriz de riesgo y matriz del nivel de pérdida de vidas

ANEXO I: Resultados de las secciones SM_1 y SM_2 al variar parámetros

ANEXO A:
PLANOS



UBICACIÓN CASOS DE ESTUDIO

SAN MIGUEL

- 1 SM_1
- 2 SM_2
- 3 SM_3

MAGDALENA

- 4 M_1
- 5 M_2
- 6 M_3
- 7 M_4

SAN ISIDRO

- 8 SI_1
- 9 SI_2

MIRAFLORES

- 10 Mi_1
- 11 Mi_2
- 12 Mi_3
- 13 Mi_4

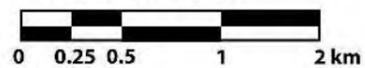
BARRANCO

- 14 B_1
- 15 B_2
- 16 B_3
- 17 B_4
- 18 B_5
- 19 B_6
- 20 B_7

CHORRILLOS

- 21 C_1
- 22 C_2
- 23 C_3

ESCALA GRÁFICA



PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES

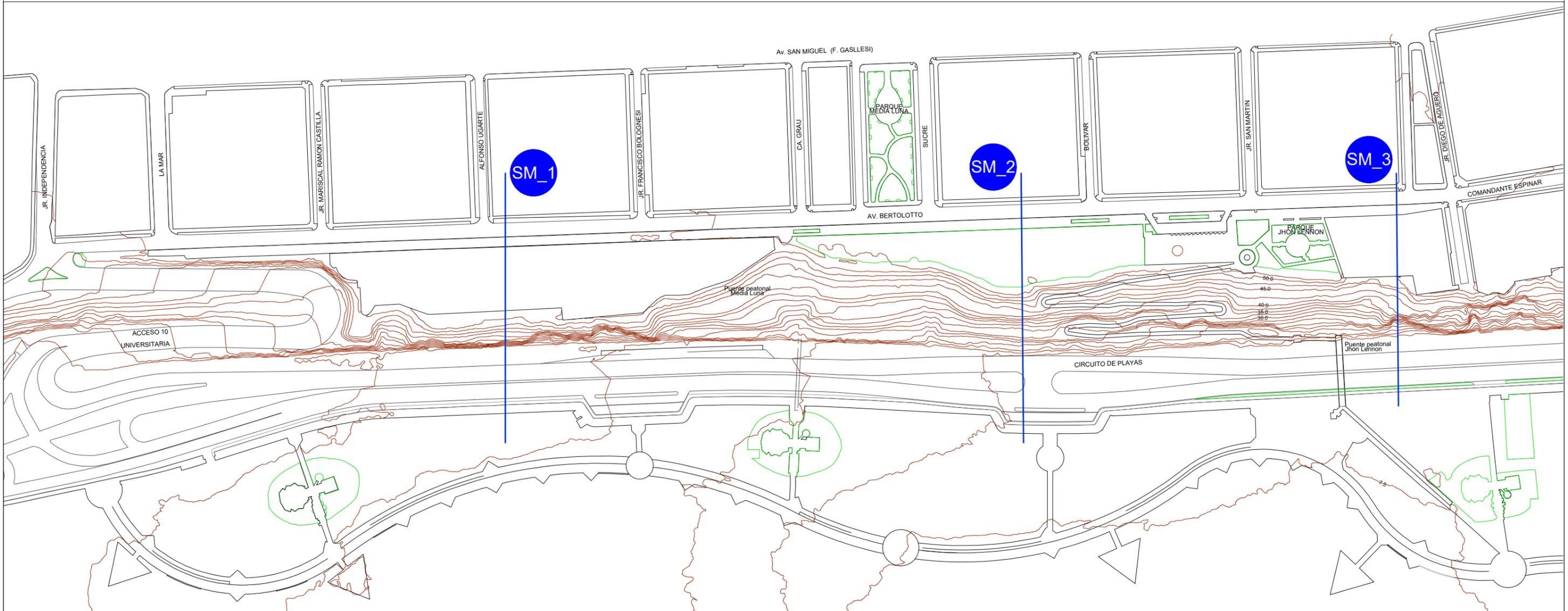
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY

ESCALA: INDICADA
FECHA: ENE. 2022

LÁMINA

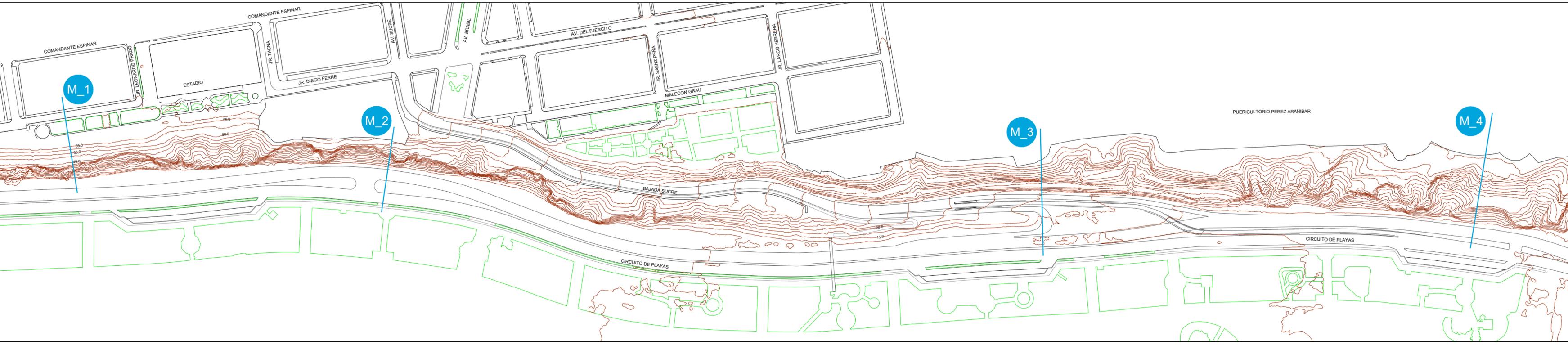
A-01



LEYENDA	
SM_1:	SECCIÓN 1 EN SAN MIGUEL
SM_2:	SECCIÓN 2 EN SAN MIGUEL
SM_3:	SECCIÓN 3 EN SAN MIGUEL
(VER A-08)	

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL	
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a)	ESCALA: 1/2500
	FECHA: ENE. 2022

LÁMINA
A-02

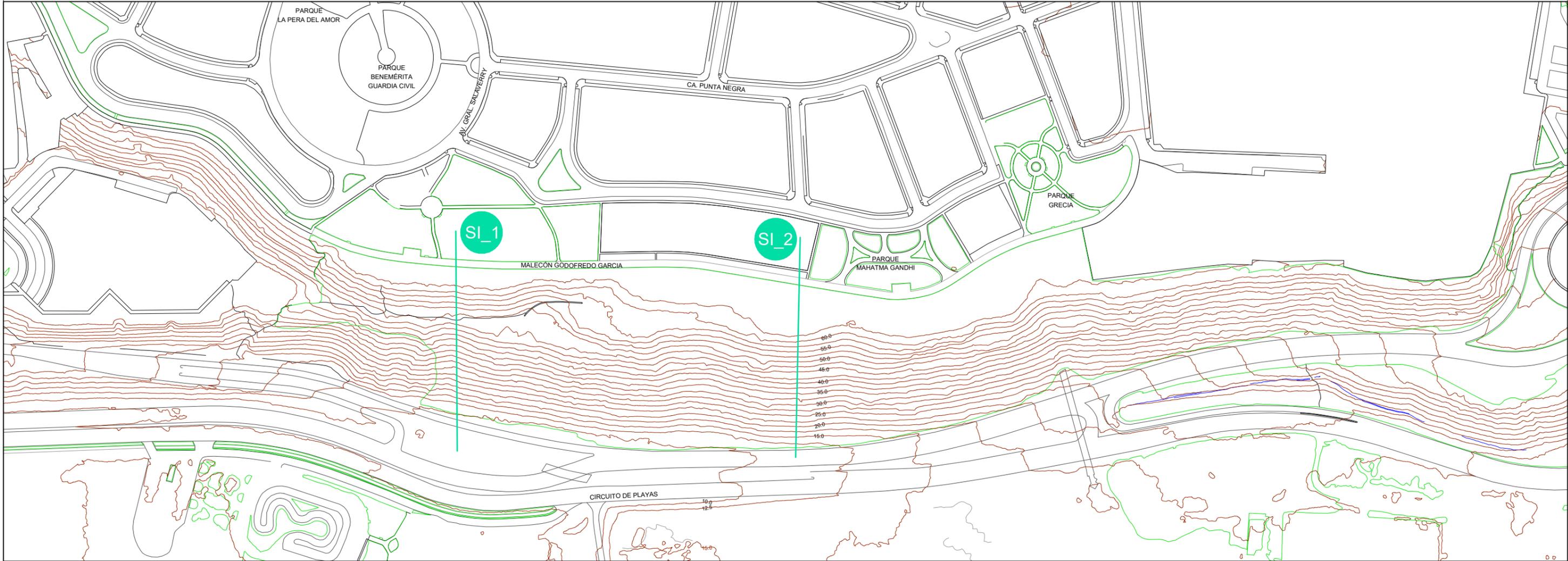
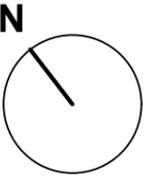


LEYENDA

- M_1:** SECCIÓN 1 EN MAGDALENA
- M_2:** SECCIÓN 2 EN MAGDALENA
- M_3:** SECCIÓN 3 EN MAGDALENA
- M_4:** SECCIÓN 4 EN MAGDALENA
(VER A-09)

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR	
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a, 2016c, 2018d)	ESCALA: 1/2500 FECHA: ENE. 2022

LÁMINA
A-03



LEYENDA

SI_1: SECCIÓN 1 EN SAN ISIDRO
SI_2: SECCIÓN 2 EN SAN ISIDRO
(VER A-10)

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO

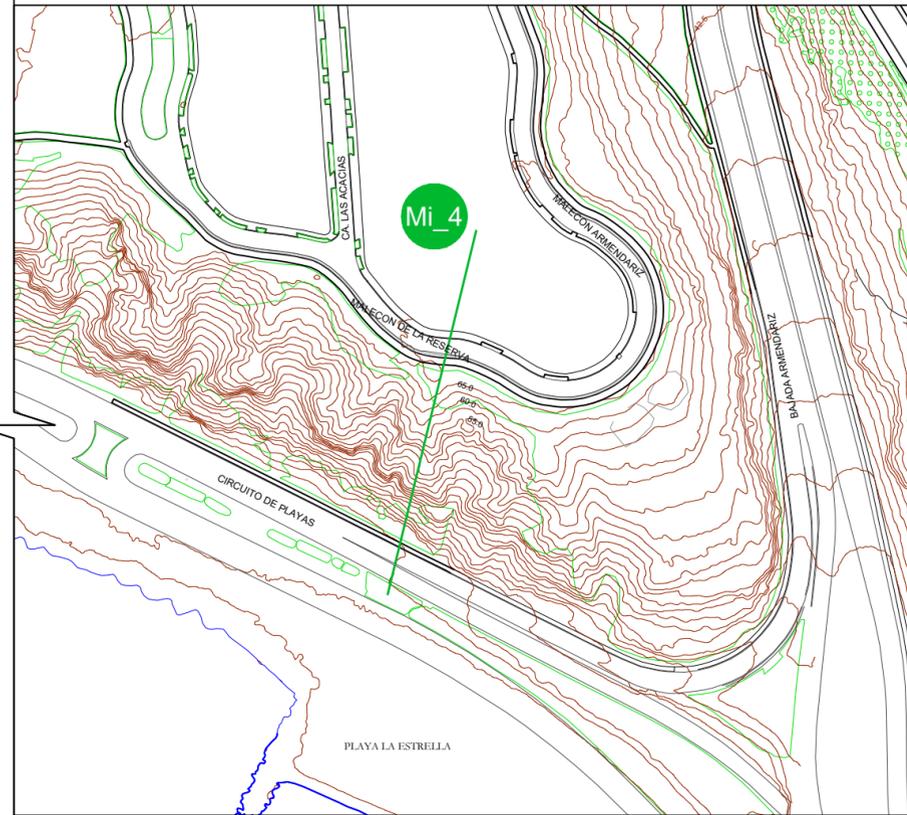
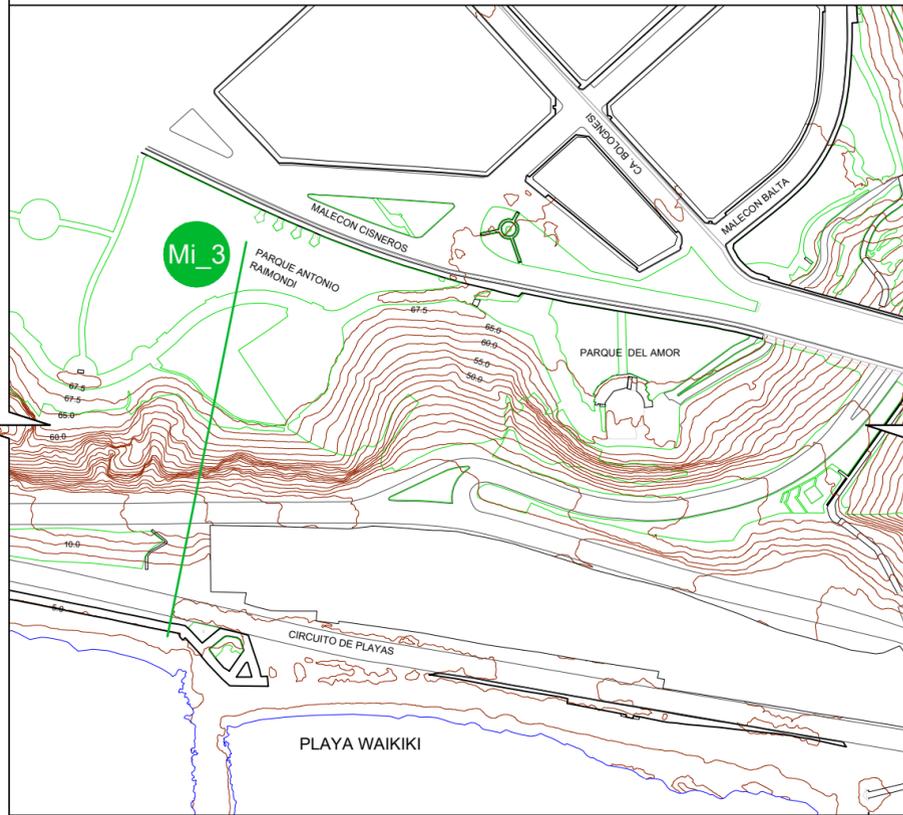
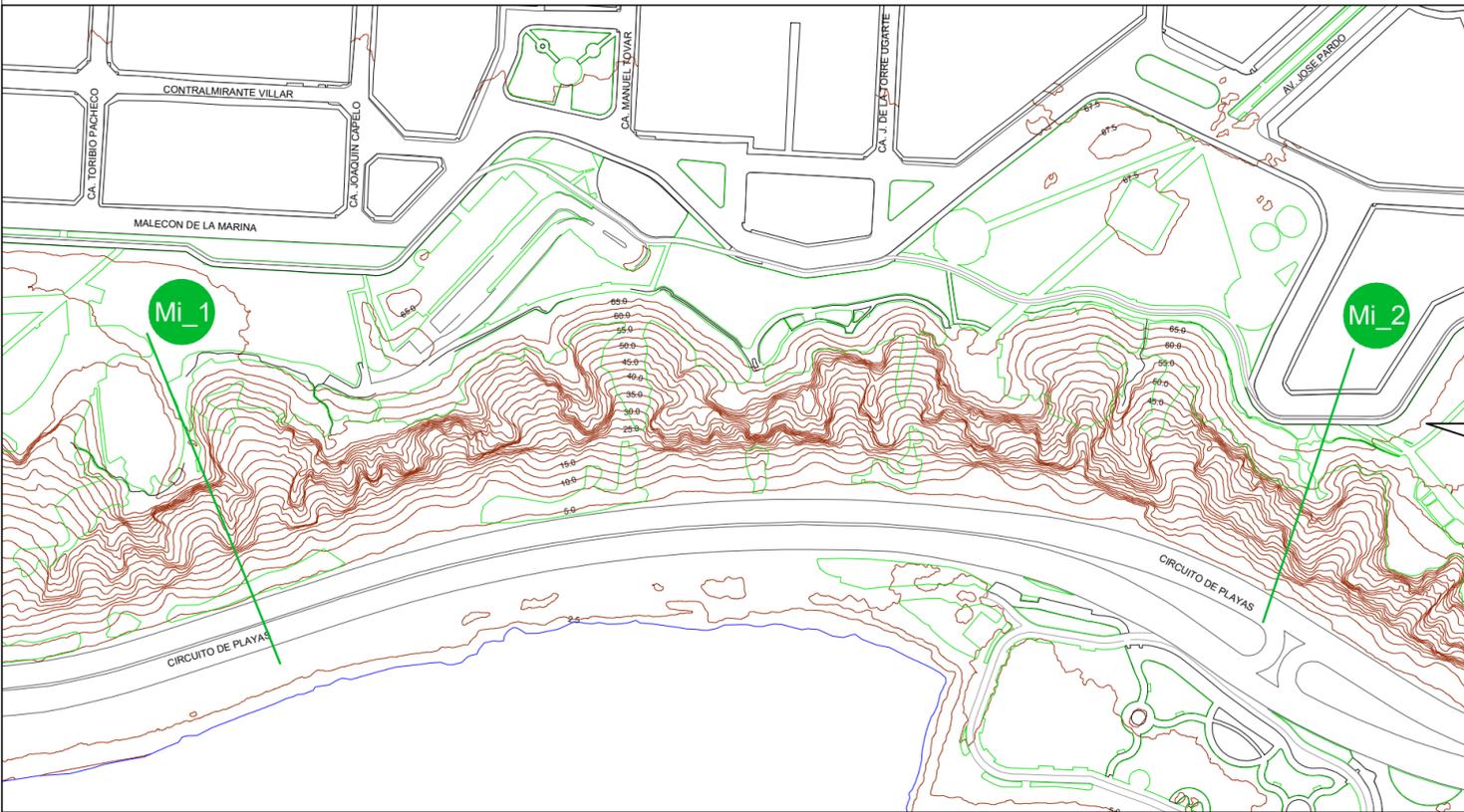
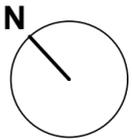
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY

FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2019) **ESCALA:** 1/2500
FECHA: ENE. 2022

LÁMINA

A-04



LEYENDA

- Mi_1:** SECCIÓN 1 EN MIRAFLORES
- Mi_2:** SECCIÓN 2 EN MIRAFLORES
- Mi_3:** SECCIÓN 3 EN MIRAFLORES
- Mi_4:** SECCIÓN 4 EN MIRAFLORES
(VER A-11)

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES

TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

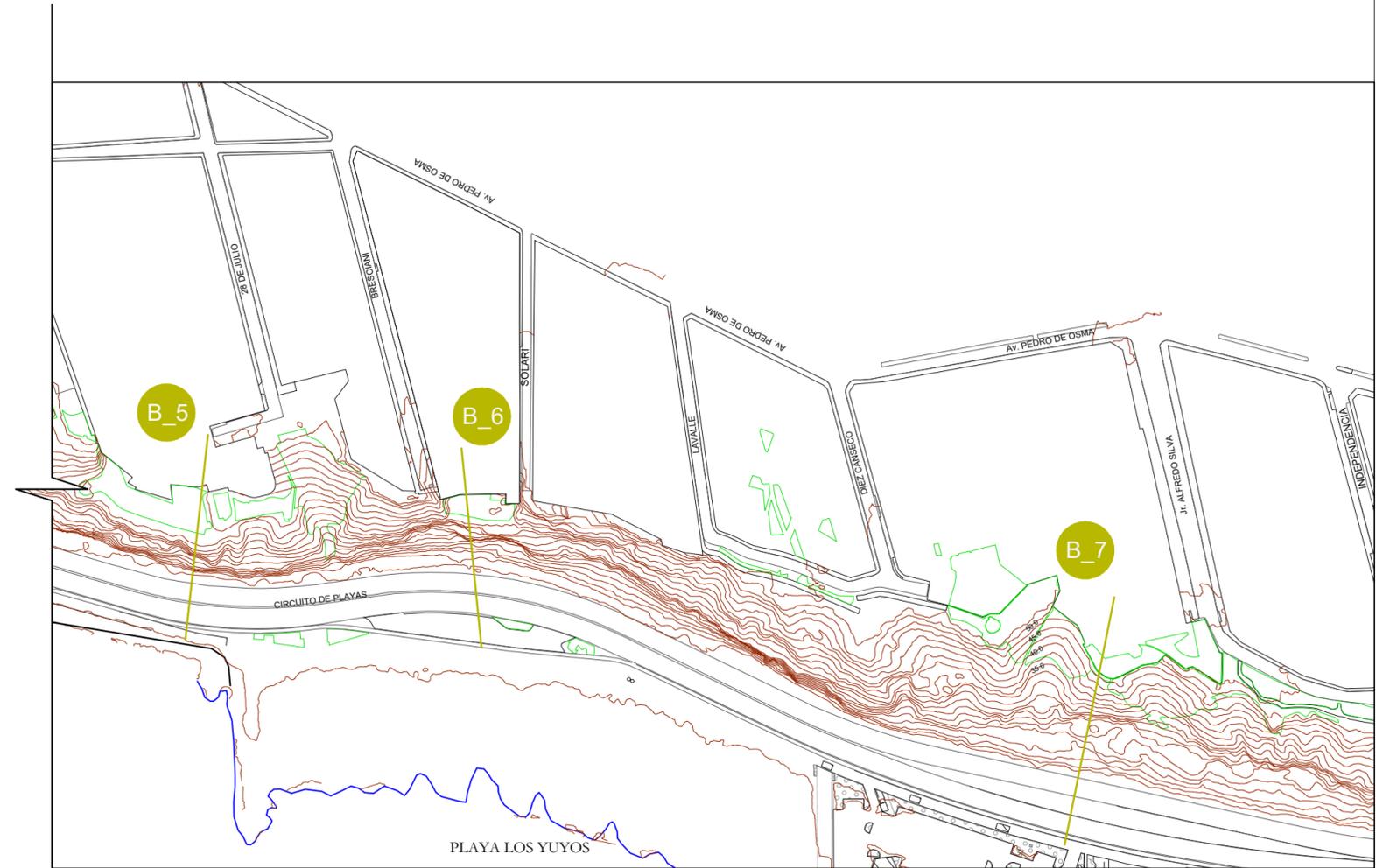
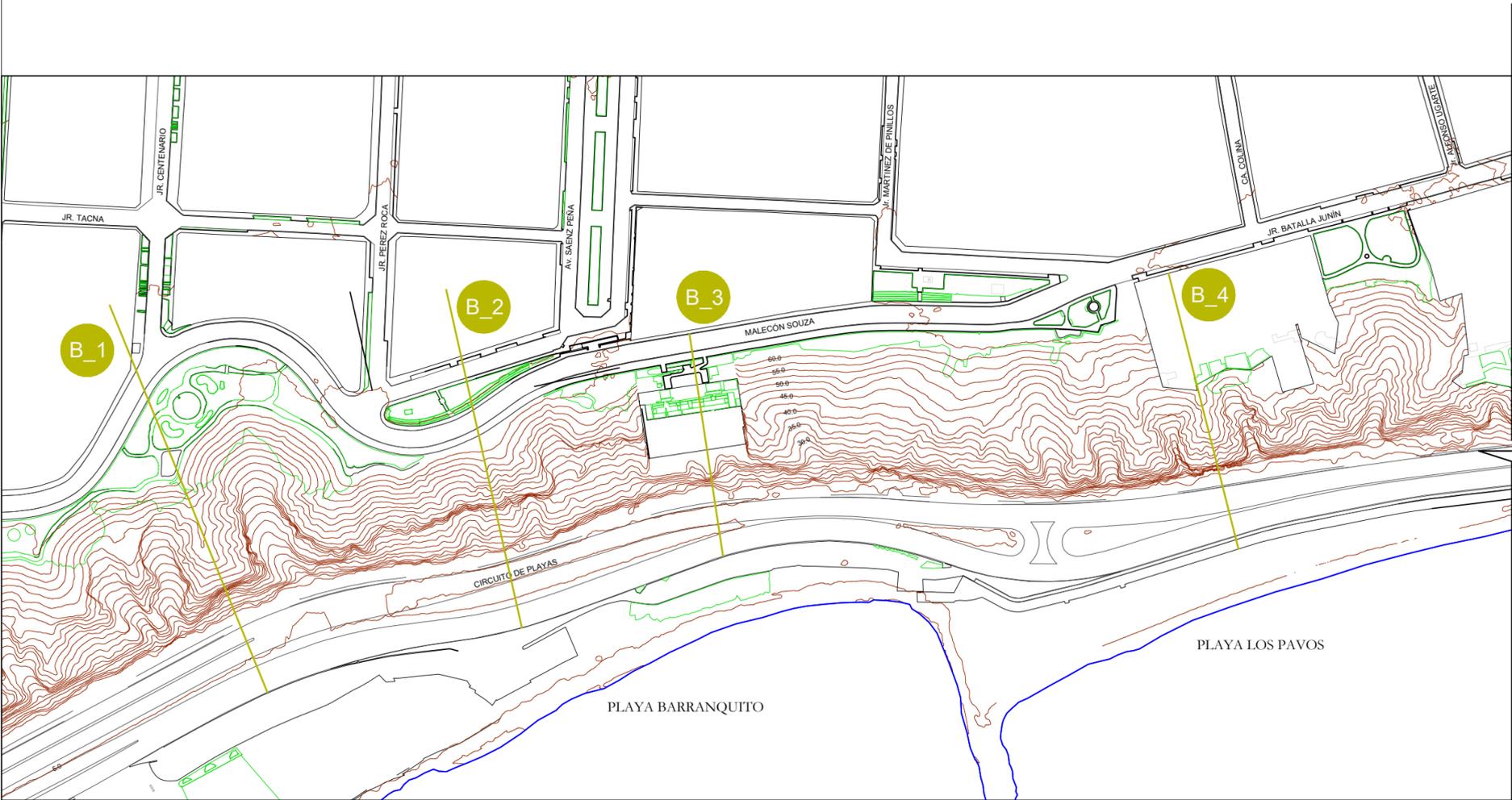
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDROY

FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018b, 2021b, 2021c)

ESCALA: 1/2500
FECHA: ENE. 2022

LÁMINA

A-05



LEYENDA

- B_1:** SECCIÓN 1 EN BARRANCO
- B_2:** SECCIÓN 2 EN BARRANCO
- B_3:** SECCIÓN 3 EN BARRANCO
- B_4:** SECCIÓN 4 EN BARRANCO
- B_5:** SECCIÓN 5 EN BARRANCO
- B_6:** SECCIÓN 6 EN BARRANCO
- B_7:** SECCIÓN 7 EN BARRANCO
(VER A-12 Y A-13)

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE BARRANCO

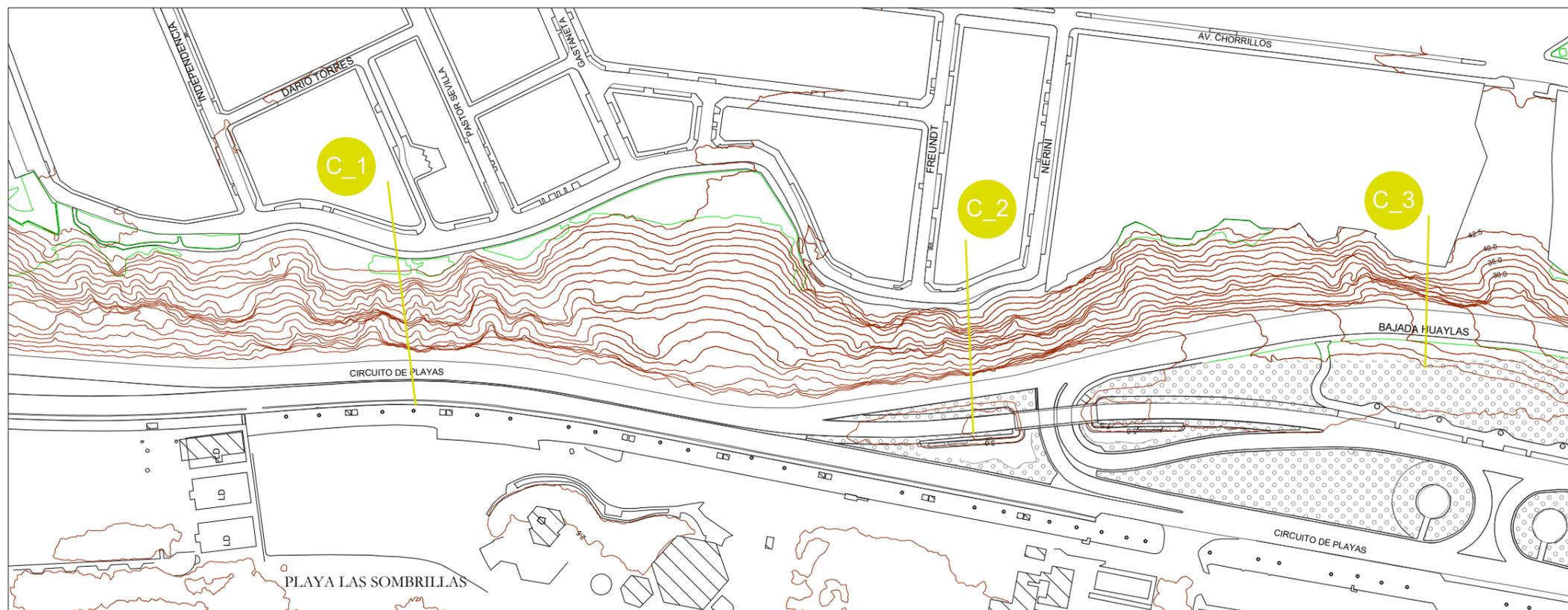
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDÓY

FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016b, 2018c, 2021a) **ESCALA:** 1/2500 **FECHA:** ENE. 2022

LÁMINA

A-06



LEYENDA

- C_1:** SECCIÓN 1 EN CHORRILLOS
- C_2:** SECCIÓN 2 EN CHORRILLOS
- C_3:** SECCIÓN 3 EN CHORRILLOS
(VER A-14)

PLANO: UBICACIÓN DE SECCIONES EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS

TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE

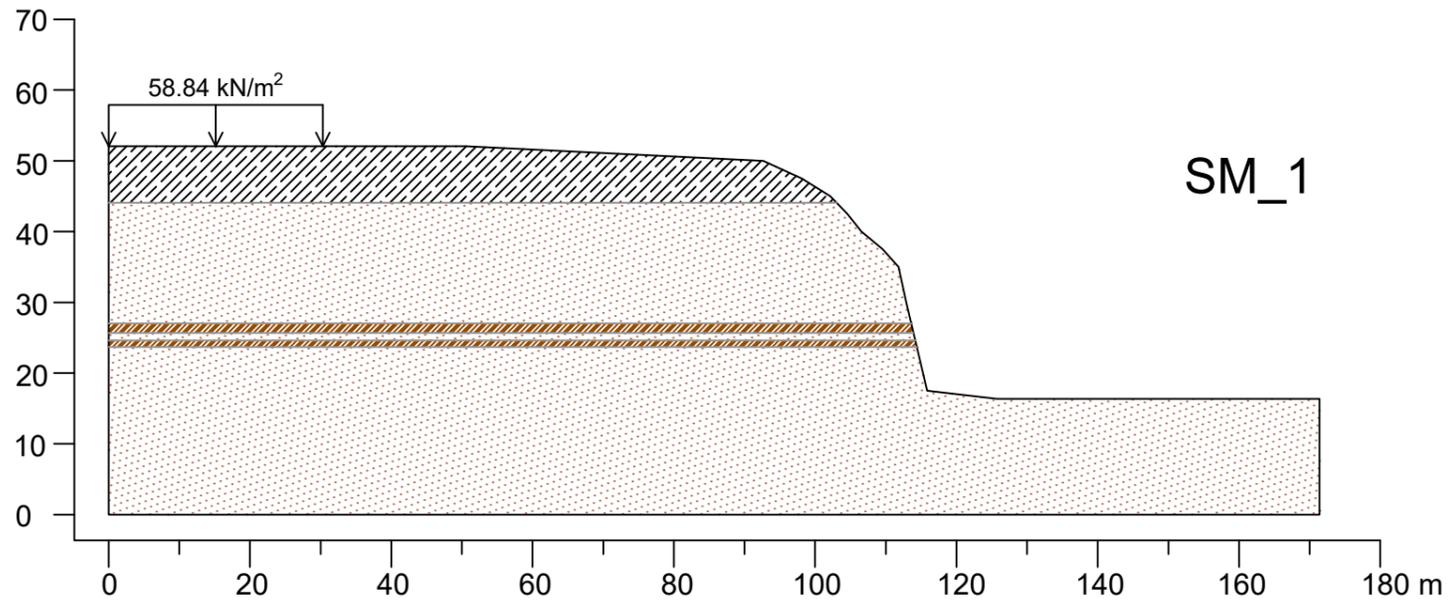
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY

FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018a, 2018c)

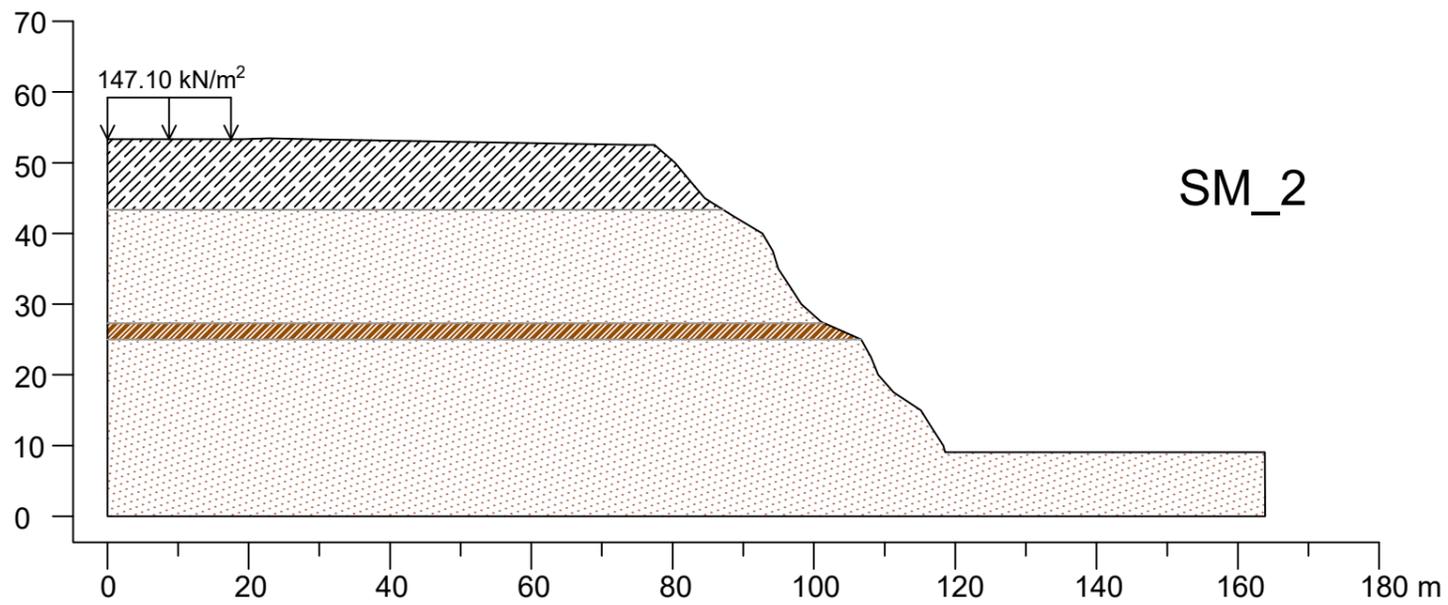
ESCALA: 1/2500
FECHA: ENE. 2022

LÁMINA

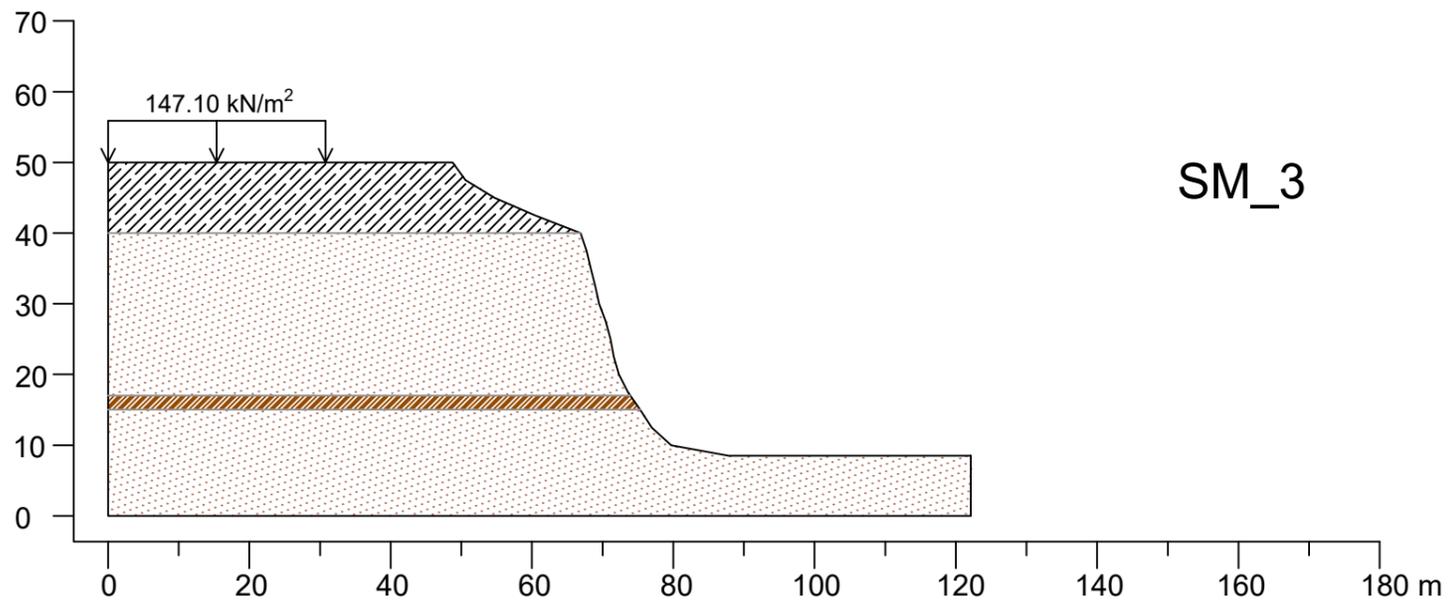
A-07



SM_1



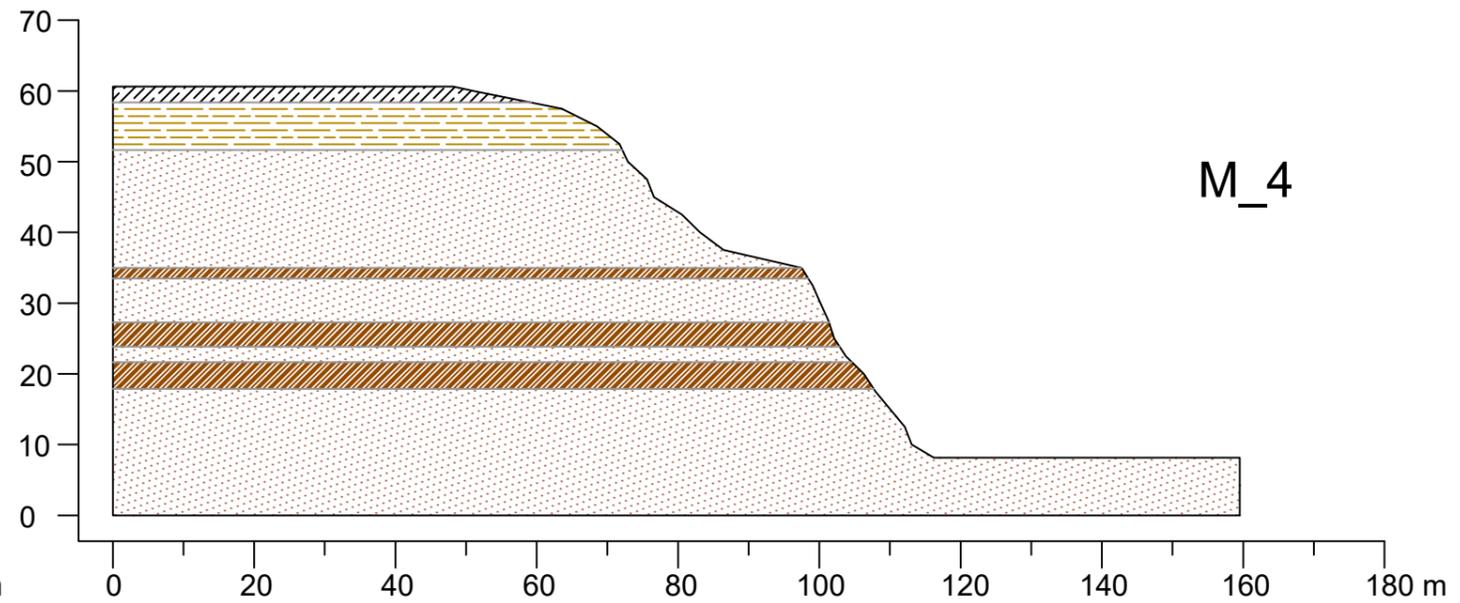
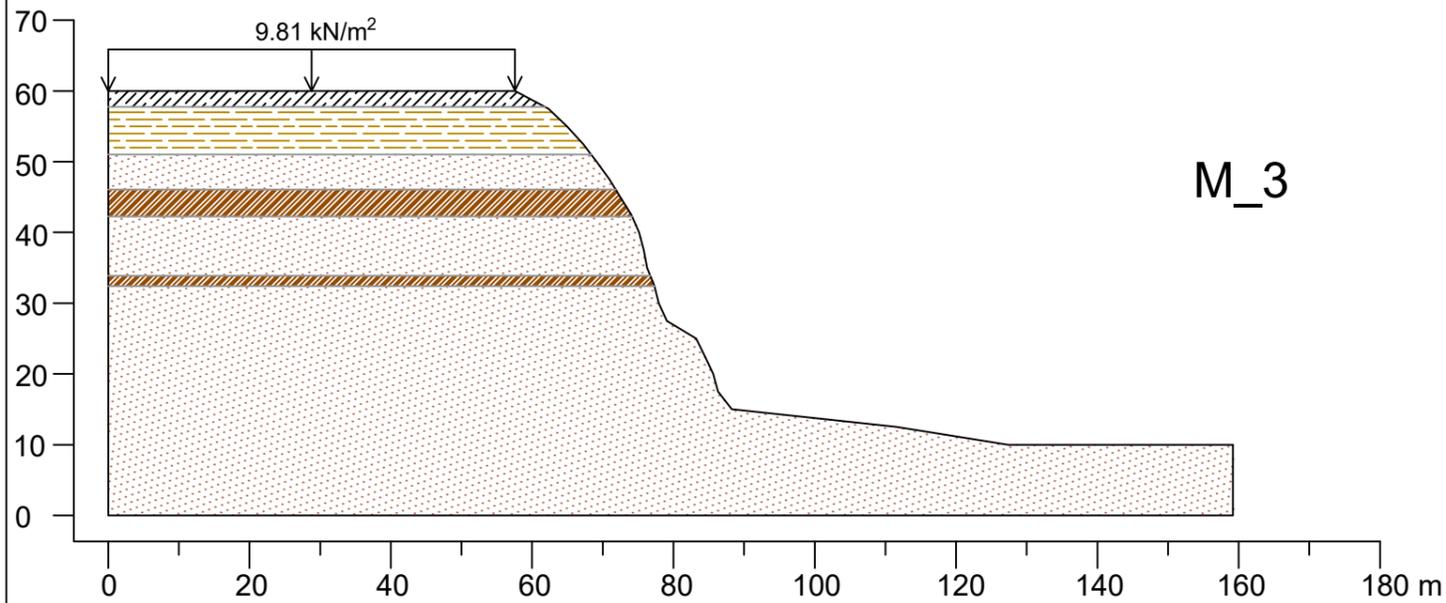
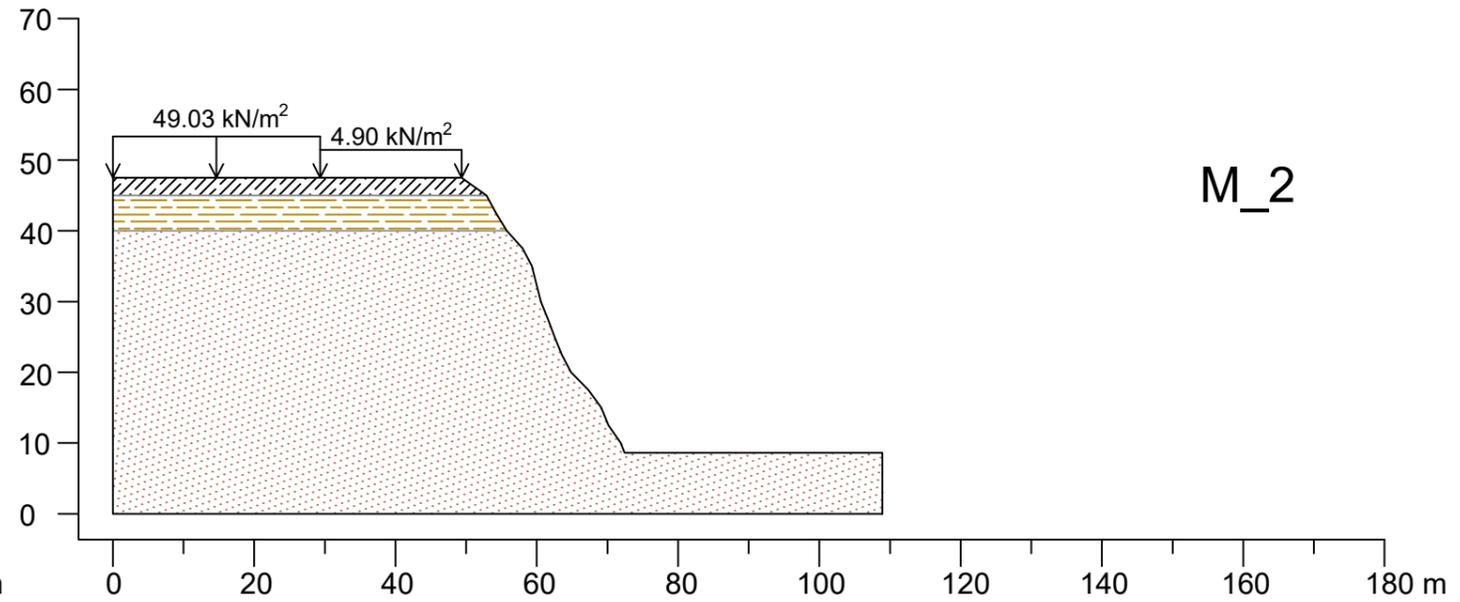
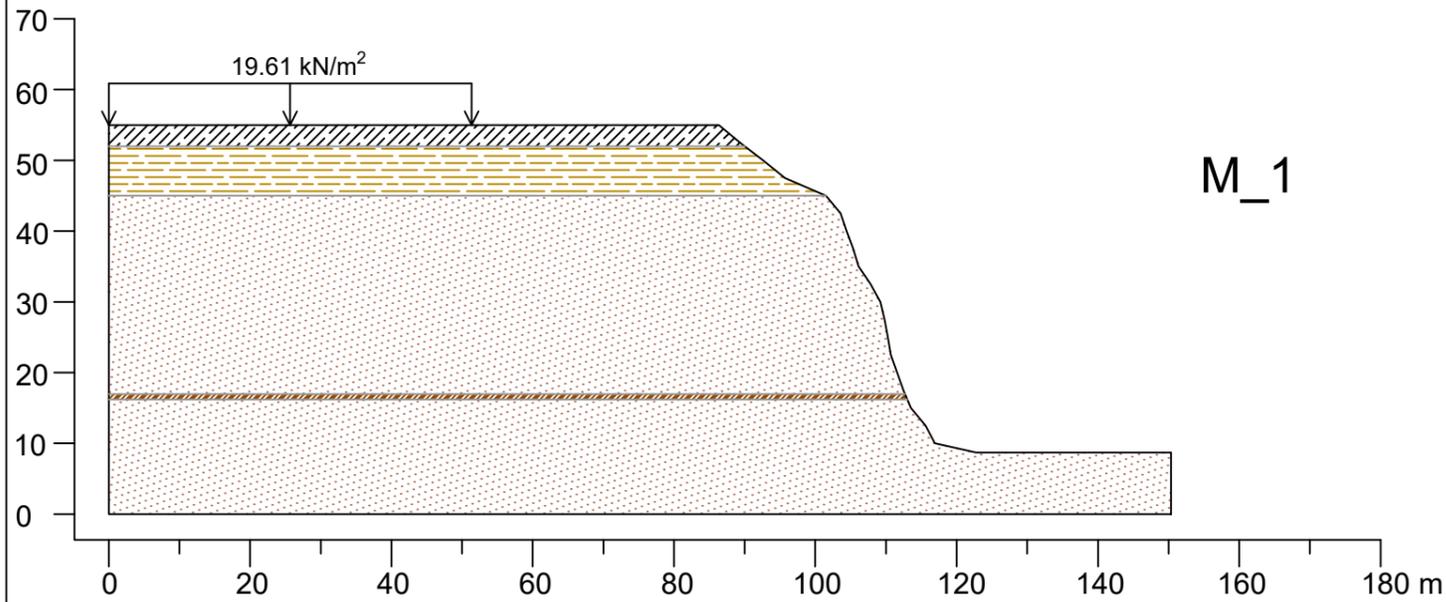
SM_2



SM_3

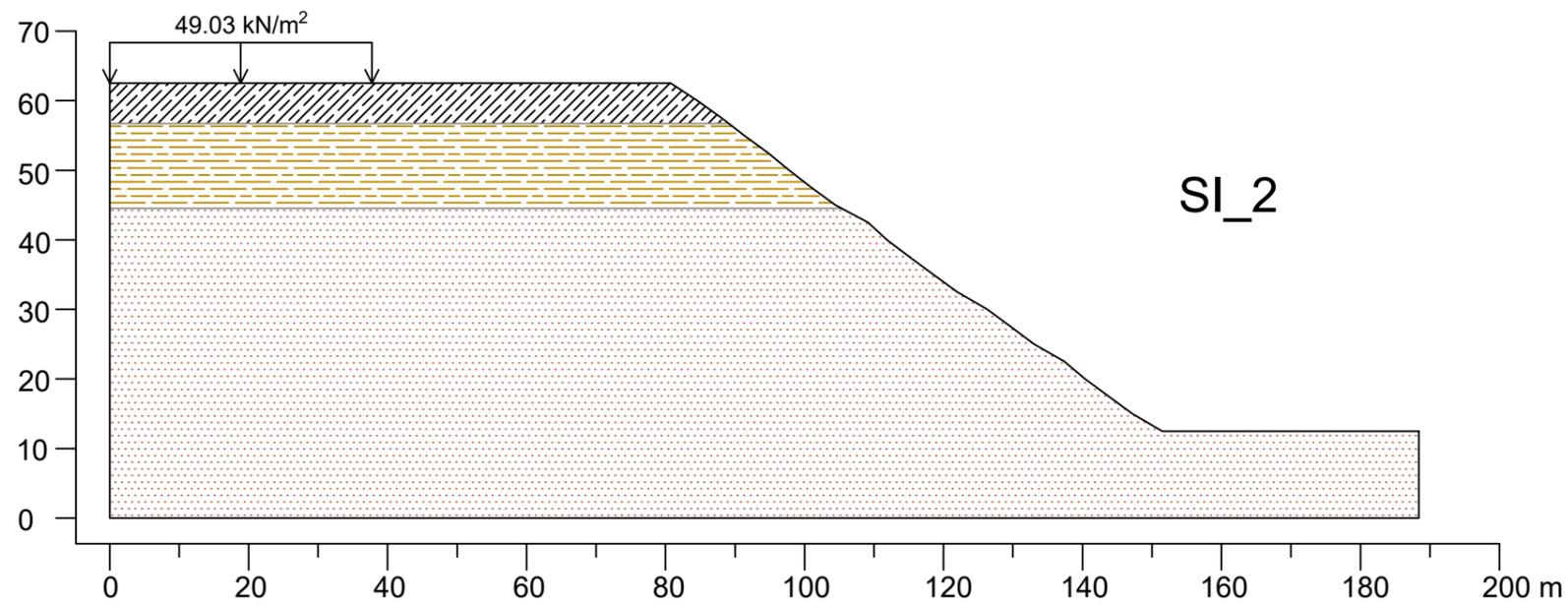
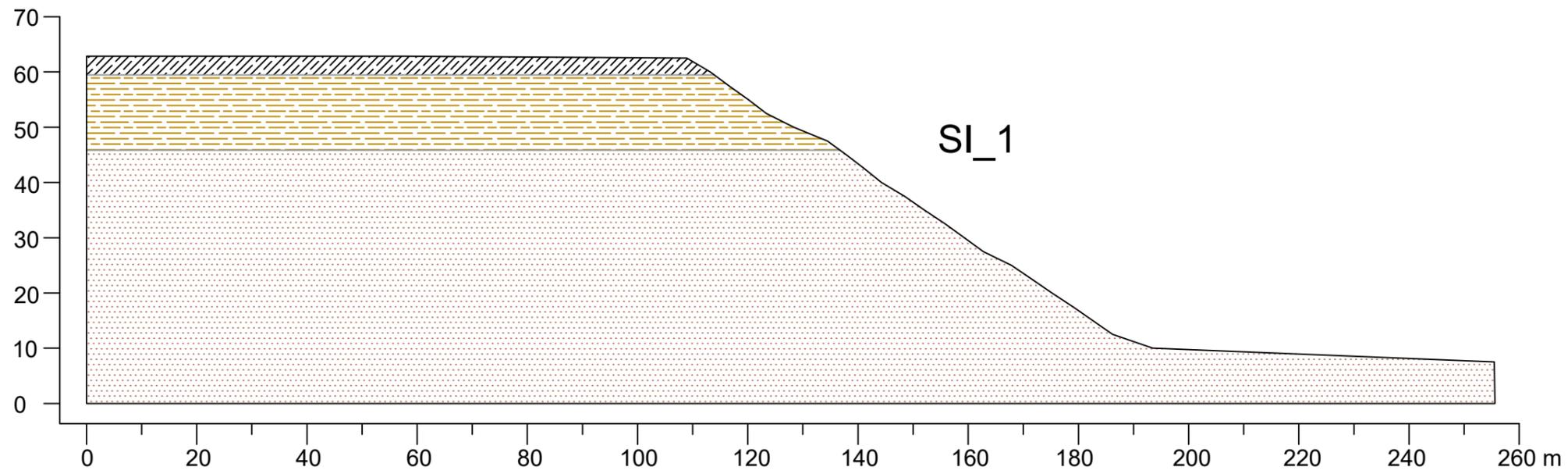
LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO

PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL	LÁMINA A-08
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a)	
ESCALA: 1/1000	FECHA: ENE. 2022



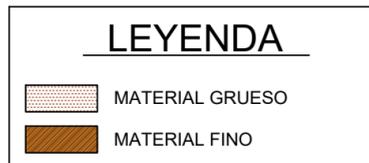
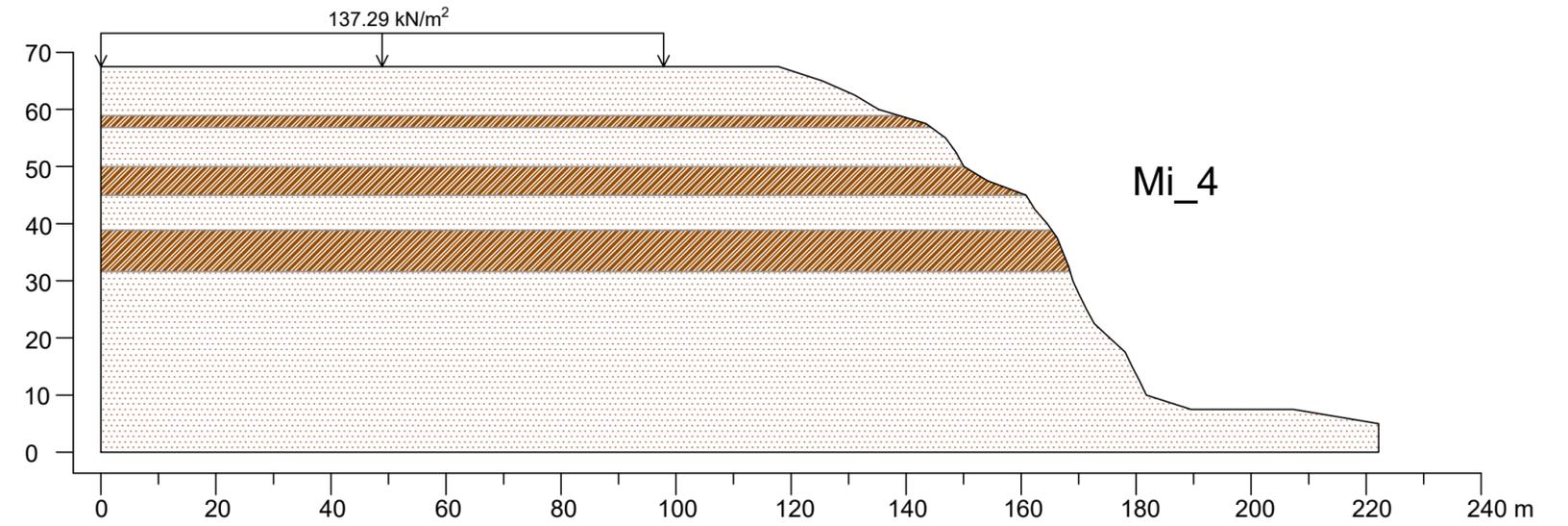
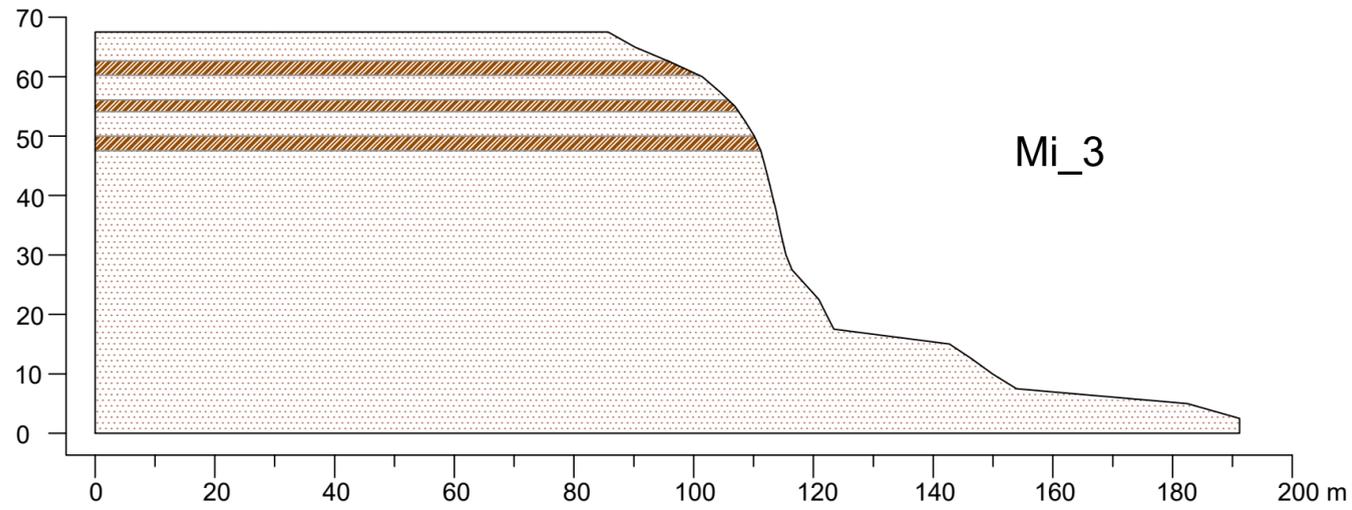
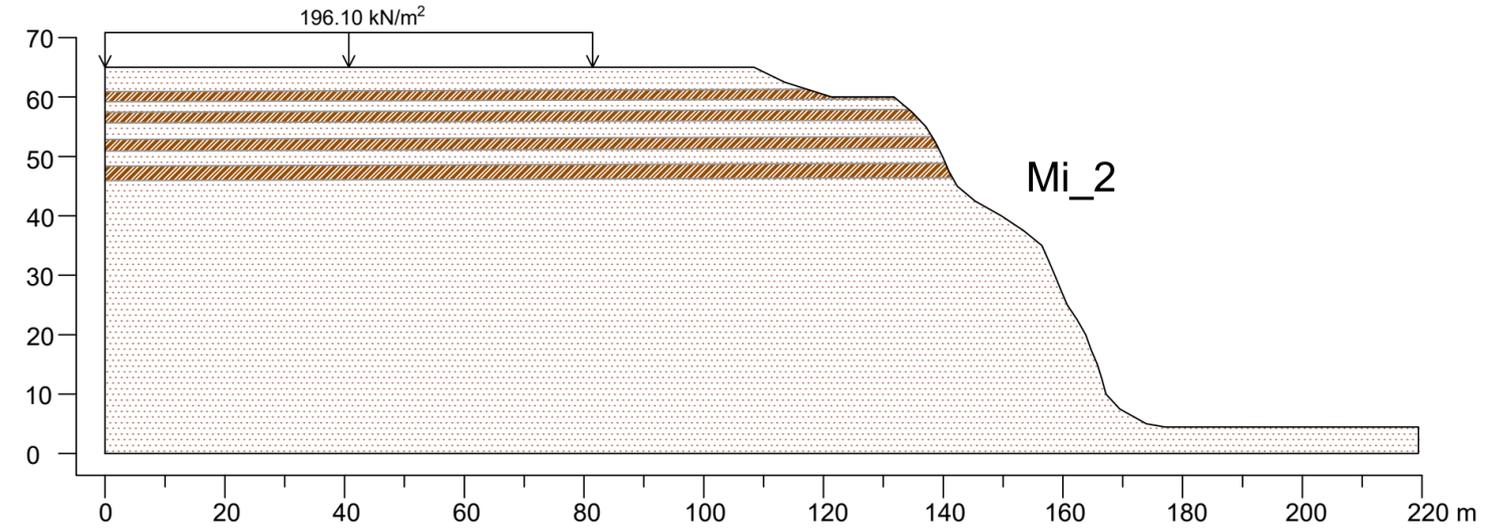
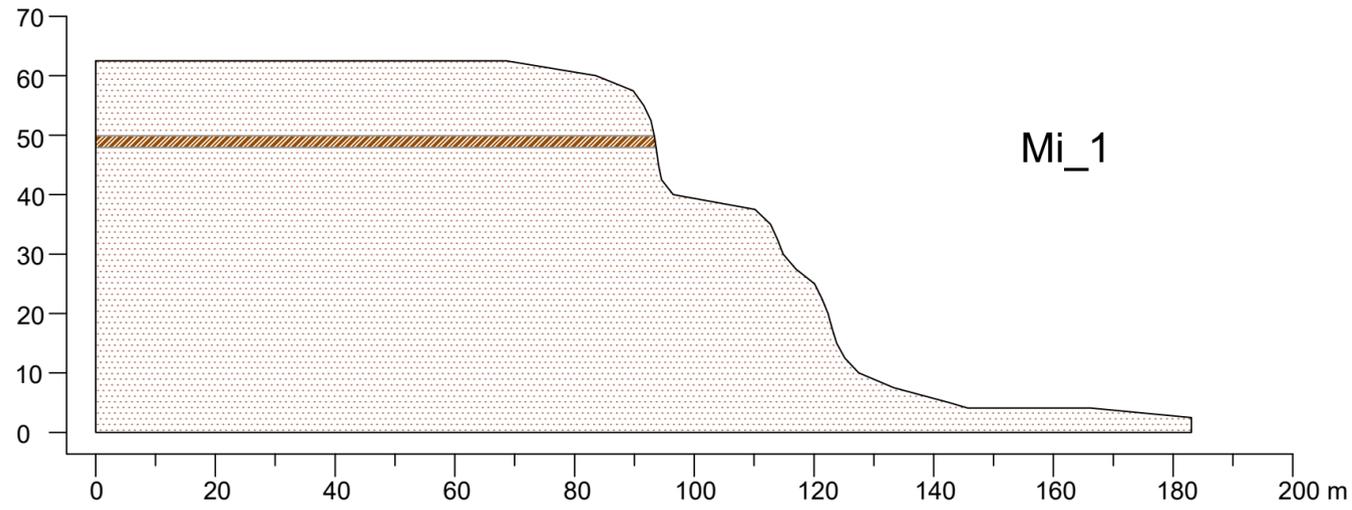
LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO

PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR		LÁMINA A-09
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE		
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY		
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a, 2016c, 2018d)	ESCALA: 1/1000 FECHA: ENE. 2022	



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO

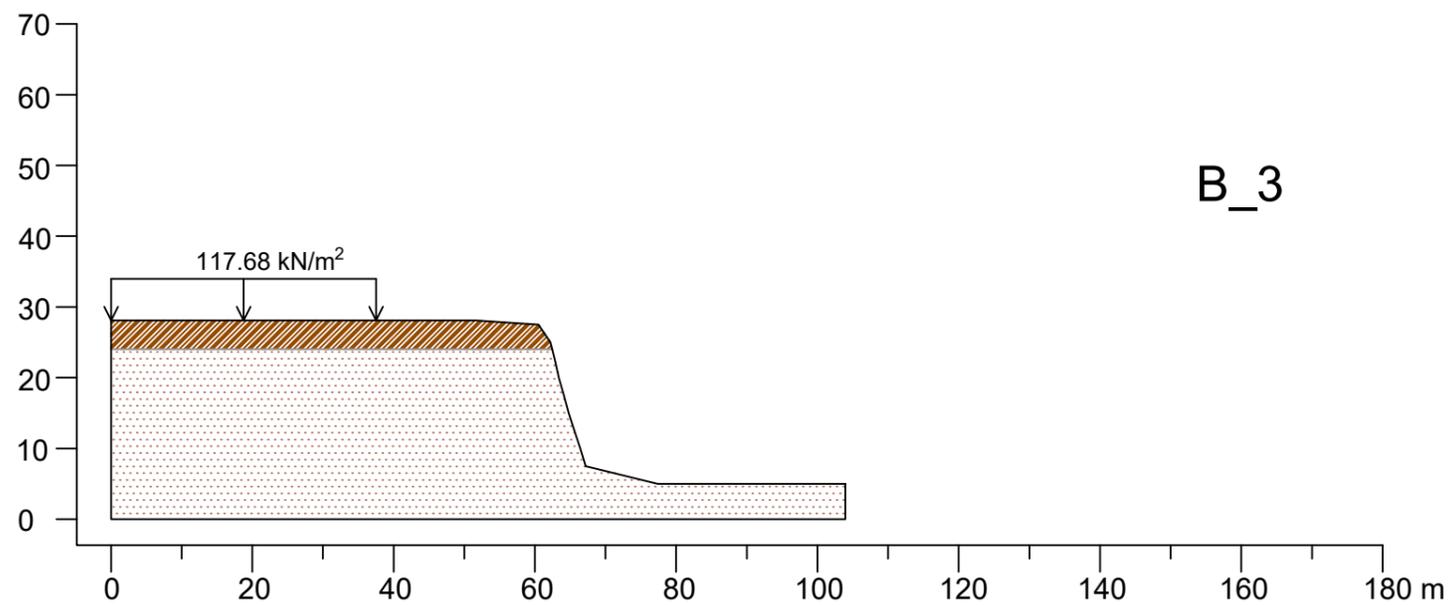
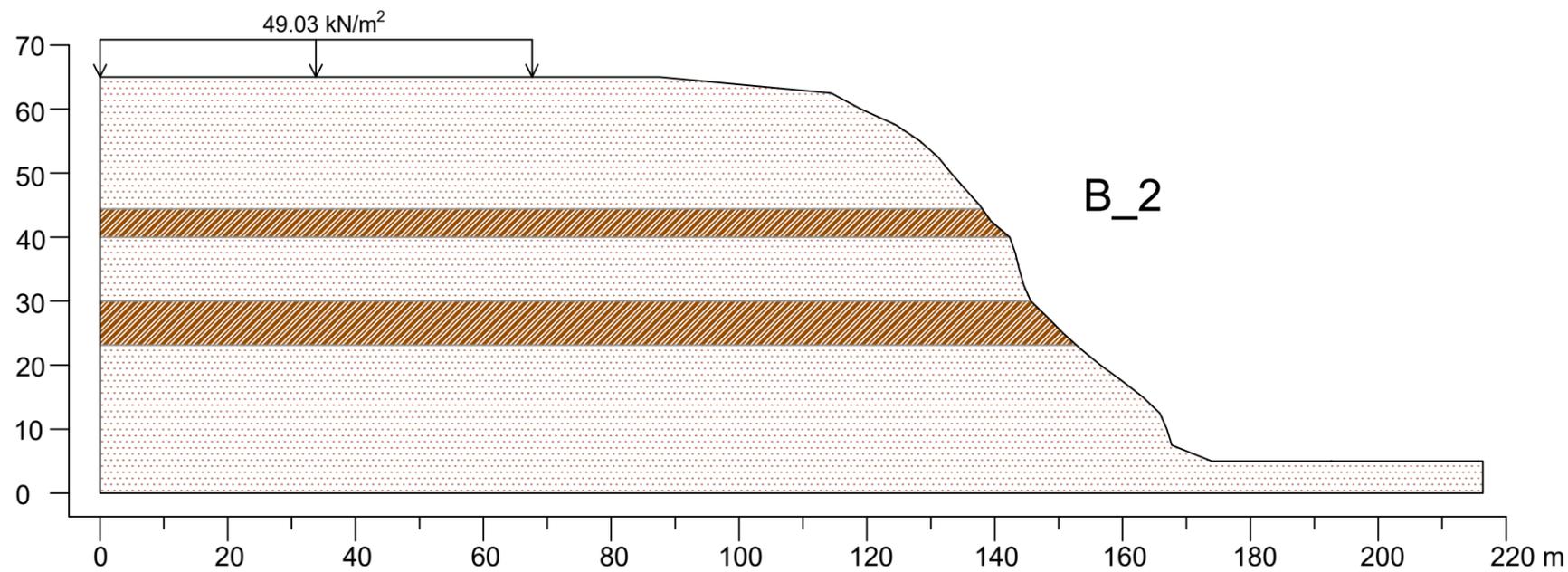
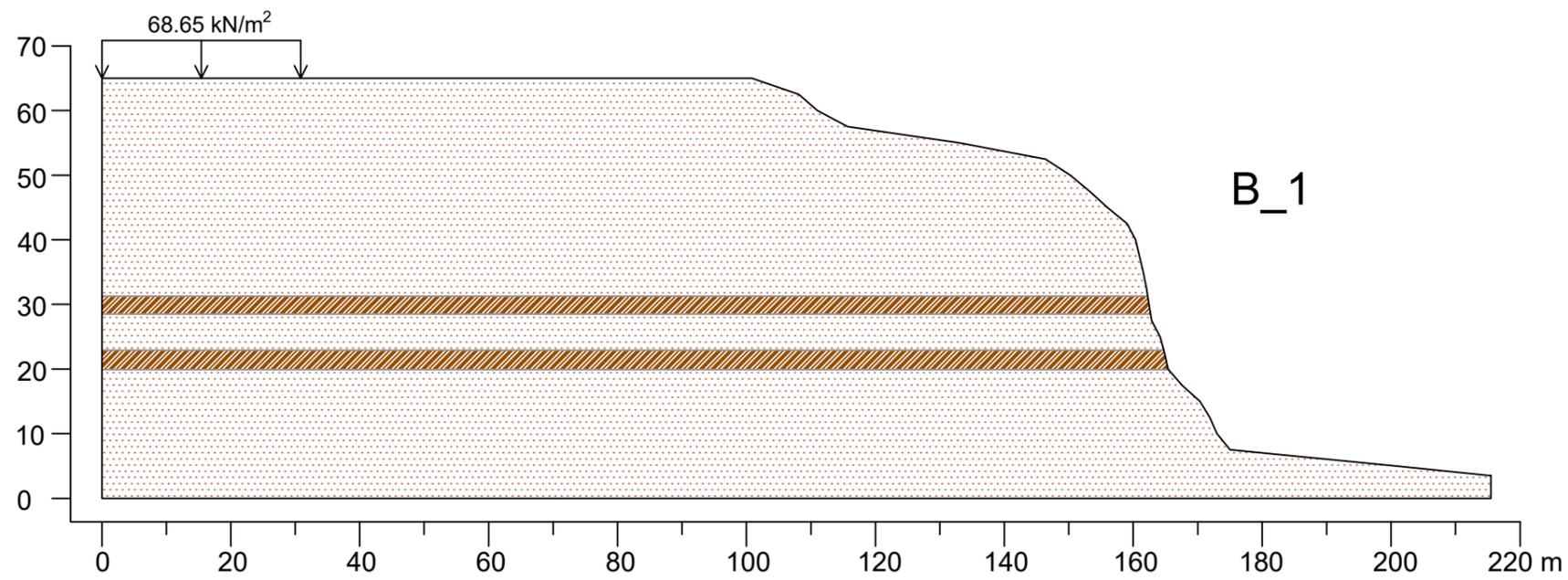
PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE SAN ISIDRO	LÁMINA <h1>A-10</h1>
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2019)	
ESCALA: 1/1000	
FECHA: ENE. 2022	



PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES	
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018b, 2021b, 2021c)	ESCALA: 1/1000
	FECHA: ENE. 2022

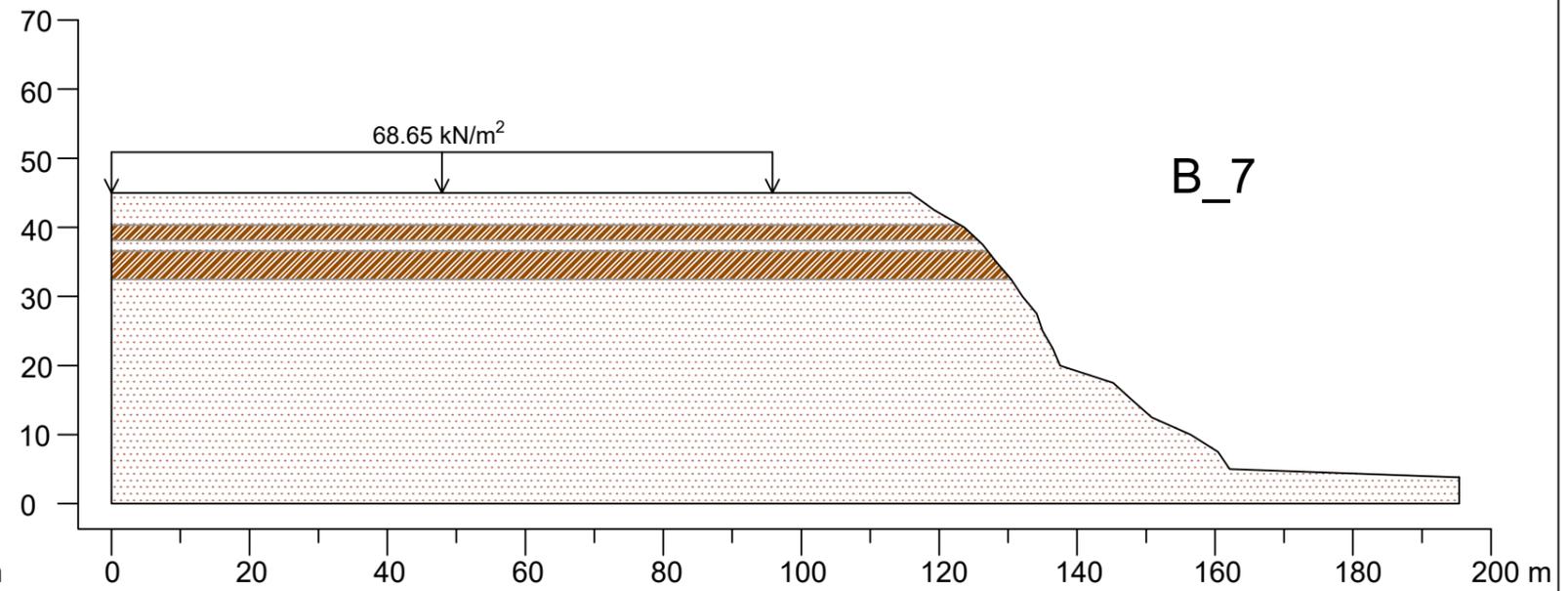
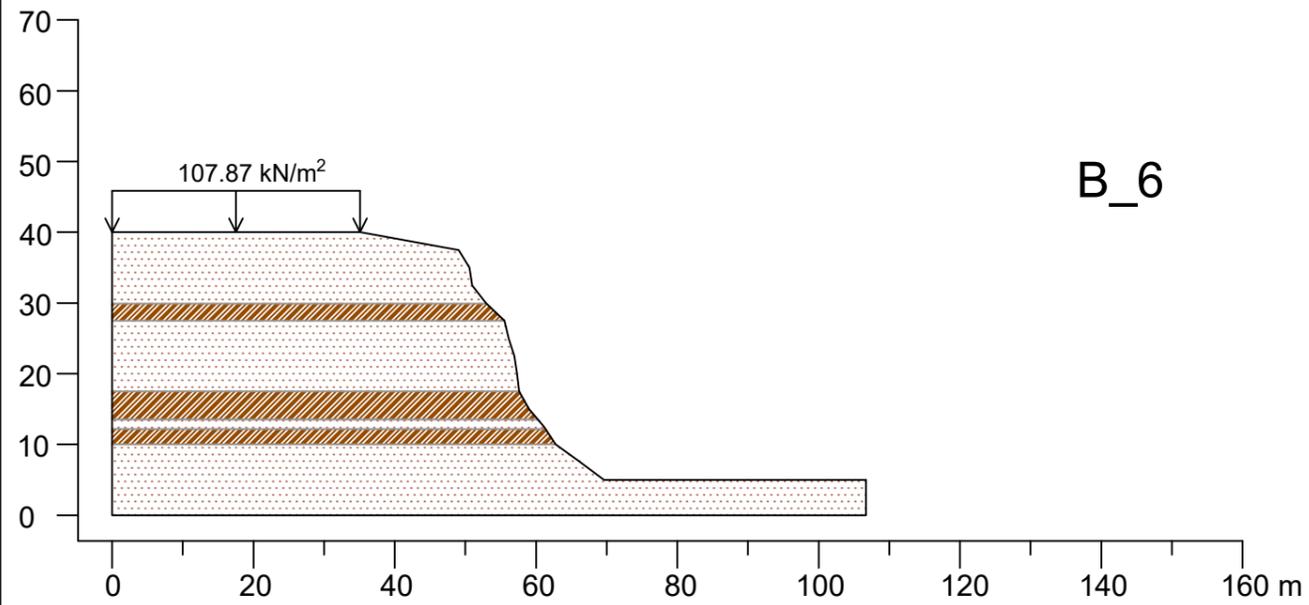
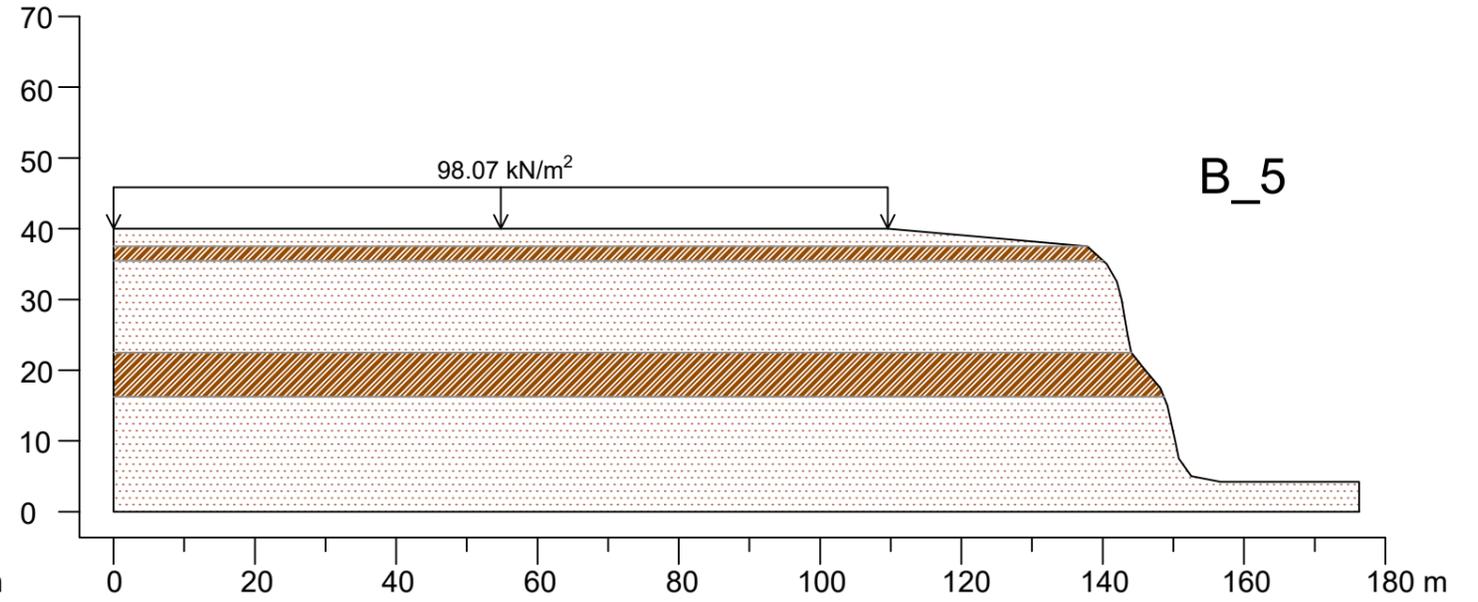
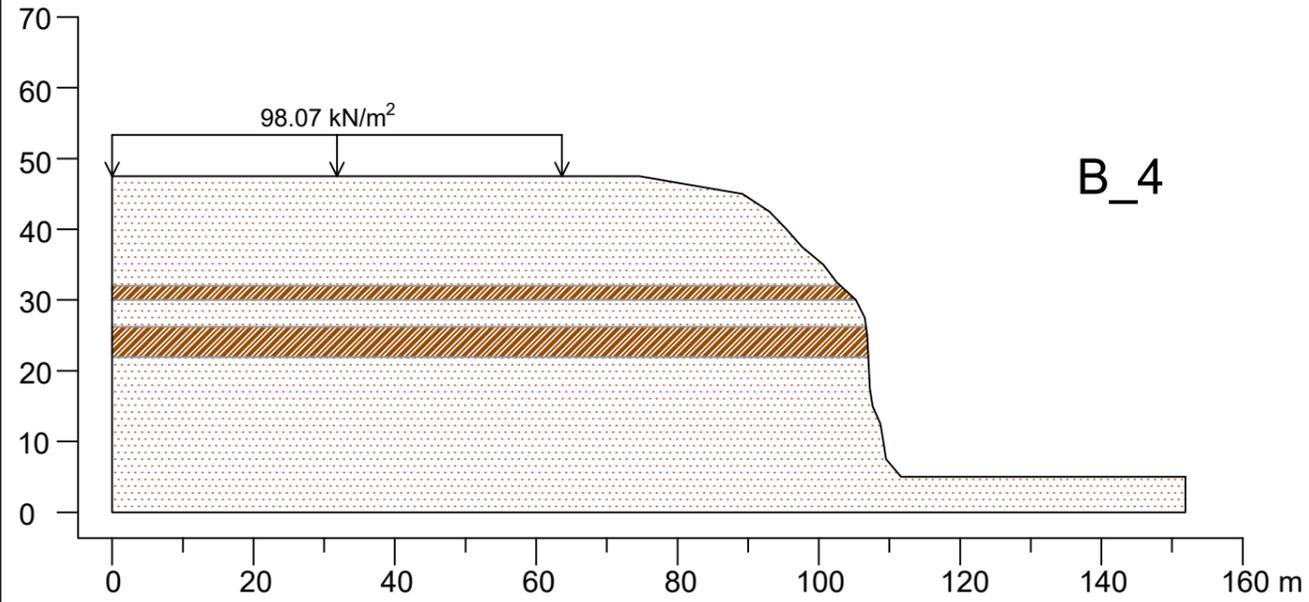
LÁMINA

A-11



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE BARRANCO		LÁMINA A-12
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE		
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY		
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016b, 2018c, 2021a)	ESCALA: 1/1000 FECHA: ENE. 2022	

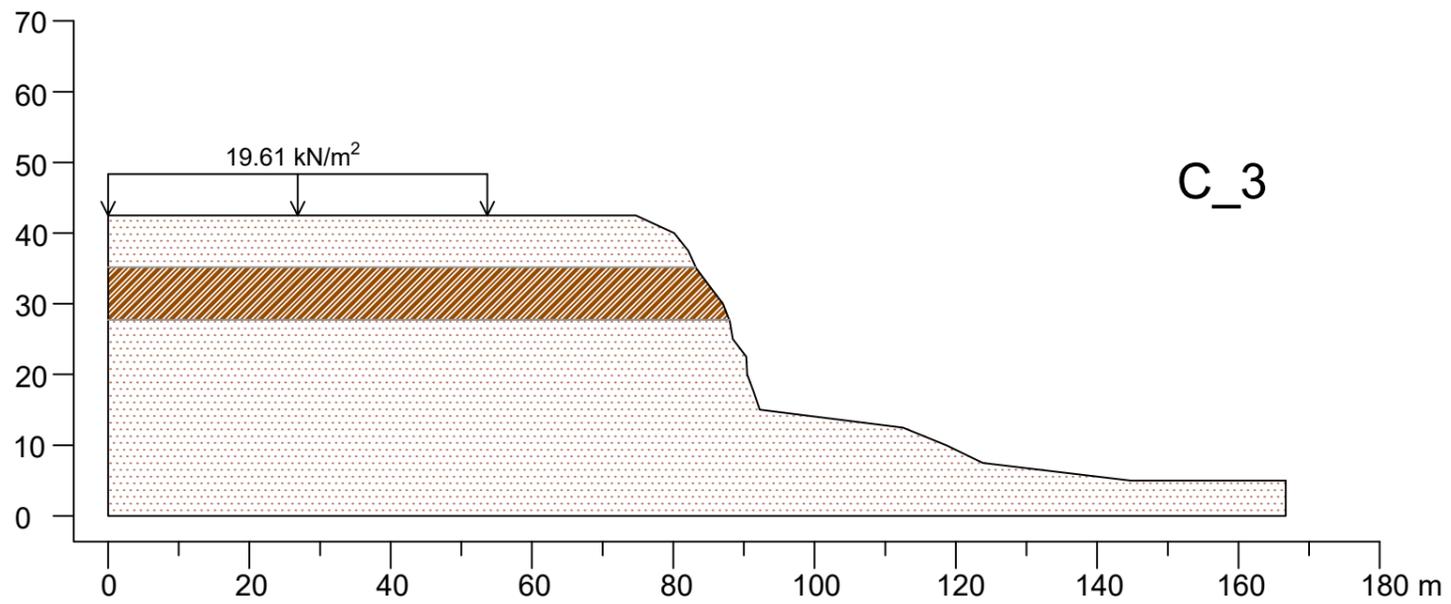
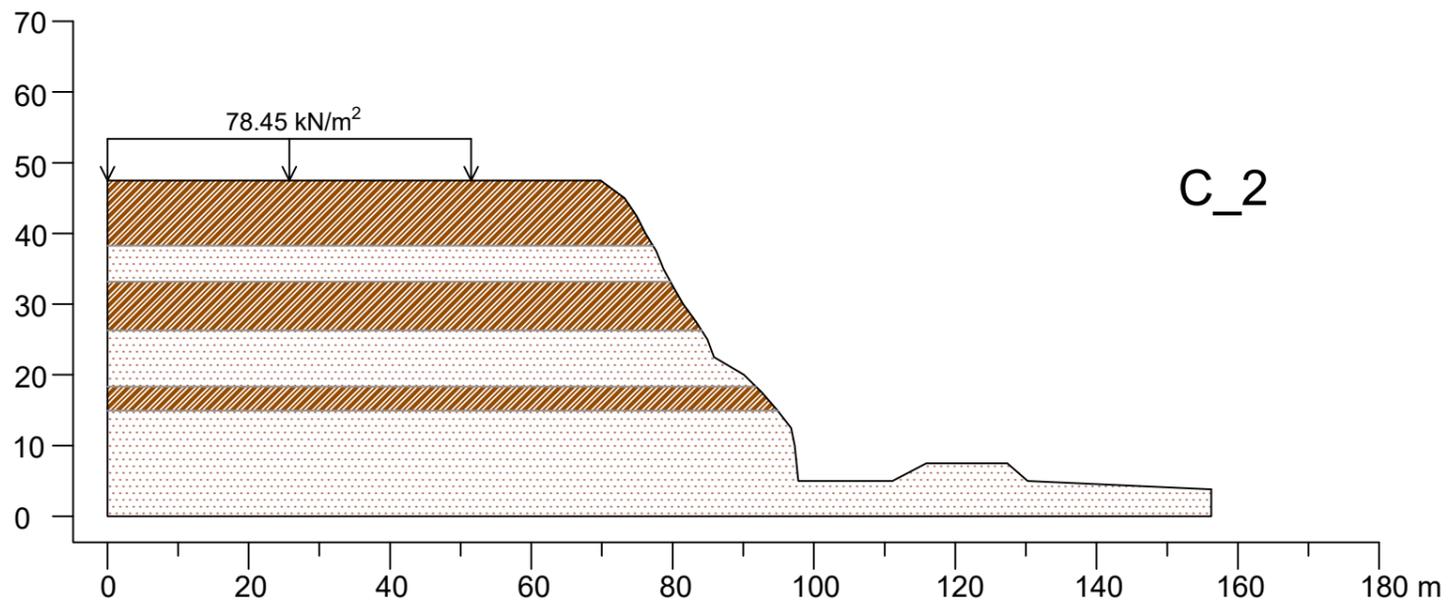
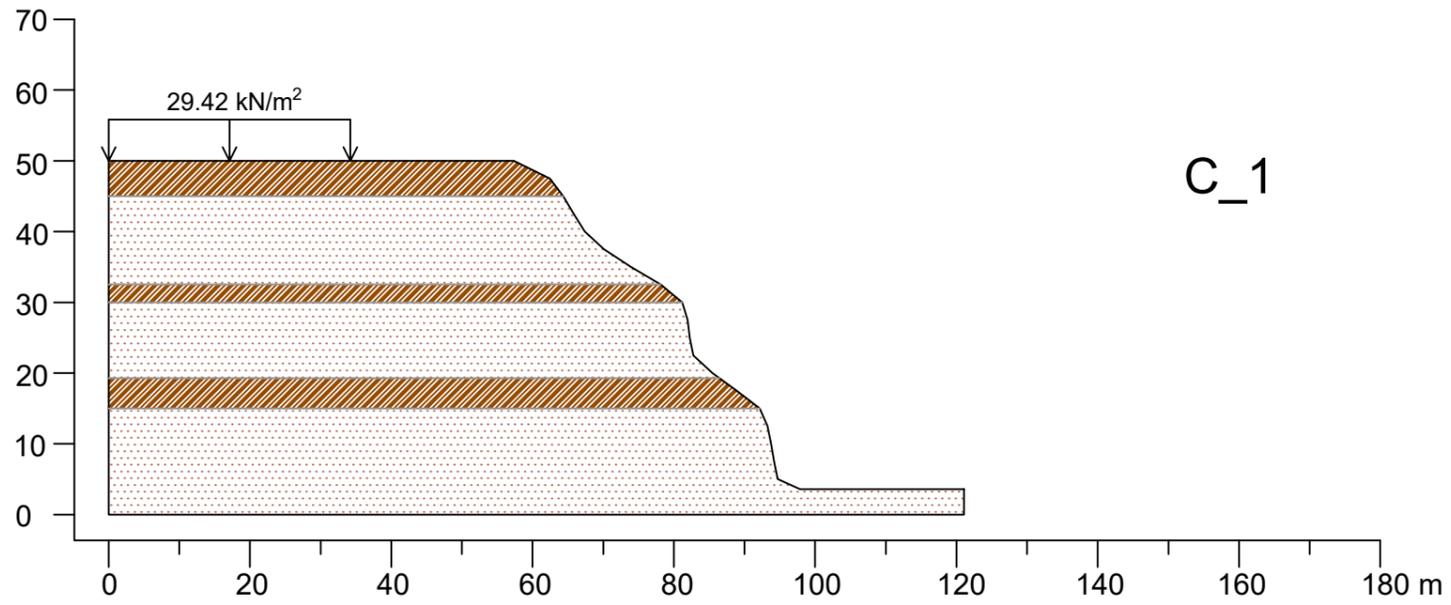


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE BARRANCO		A-13
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE		
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY		
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016b, 2018c, 2021a)	ESCALA: 1/1000 FECHA: ENE. 2022	

LÁMINA

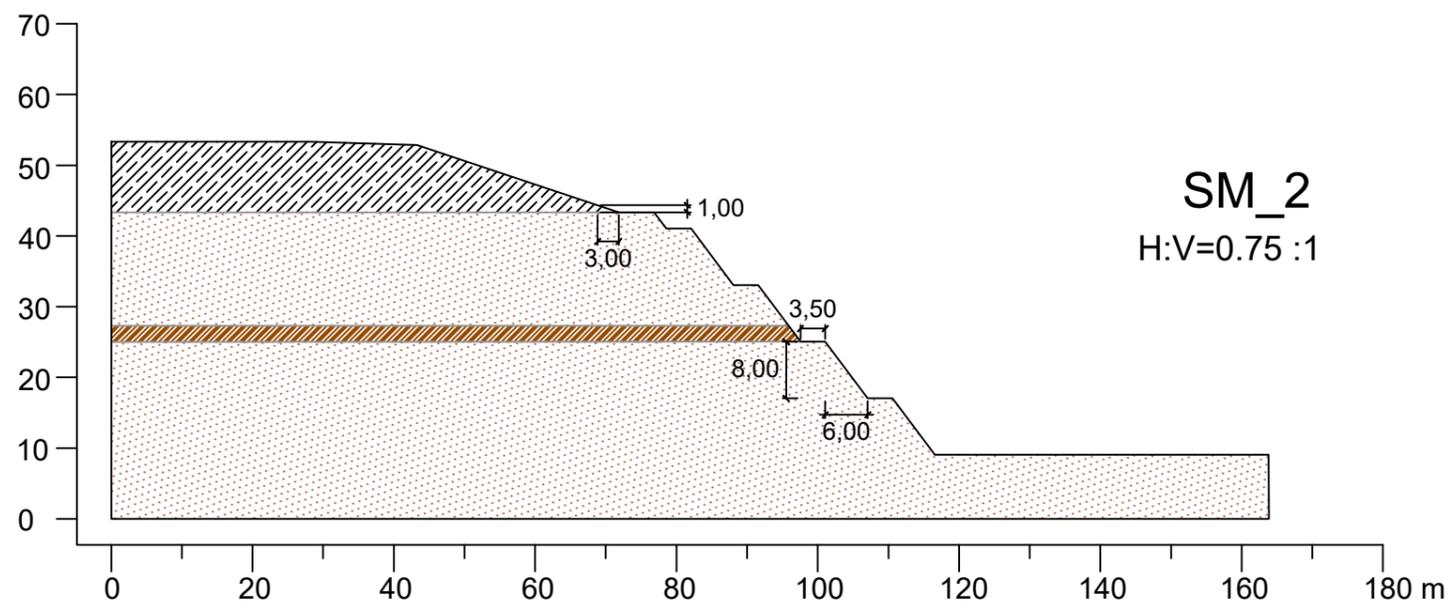
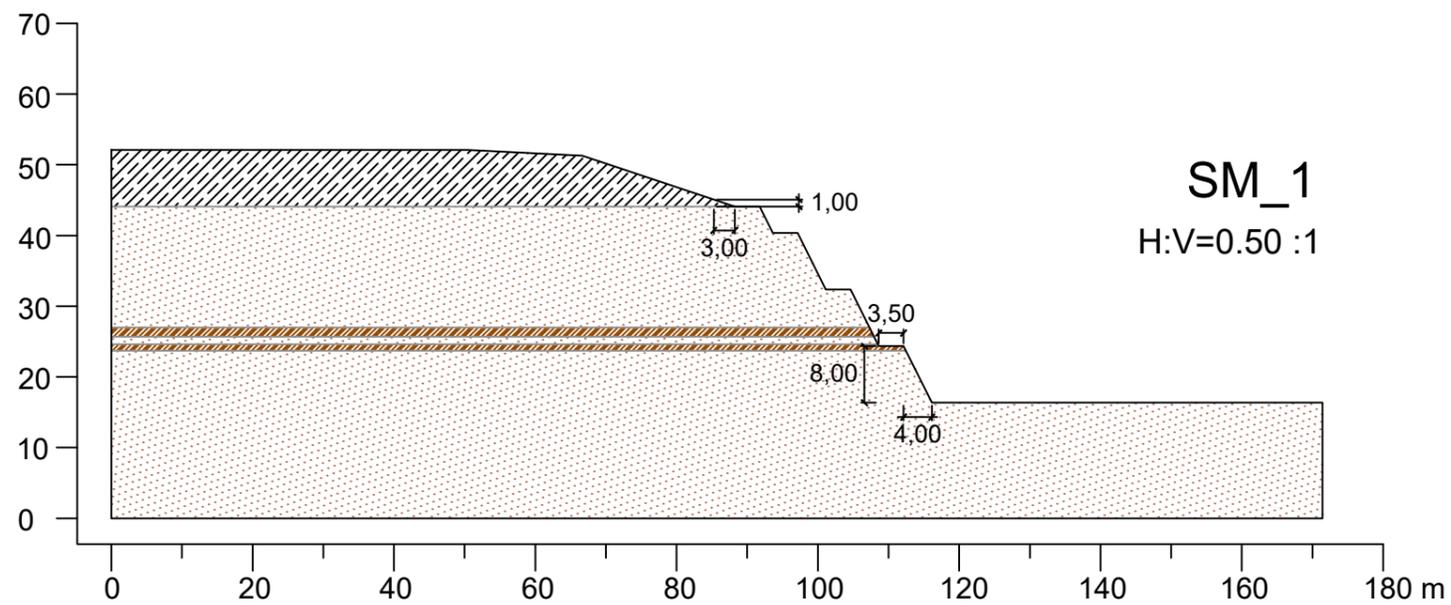
A-13



LEYENDA

- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO

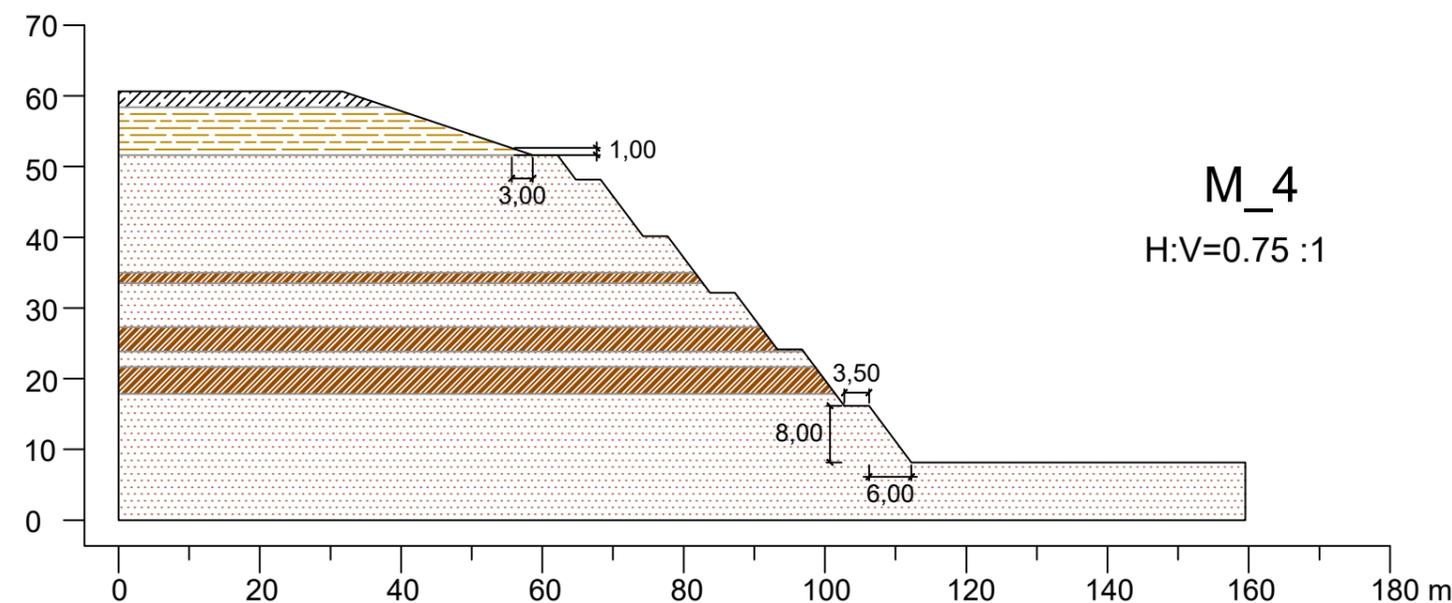
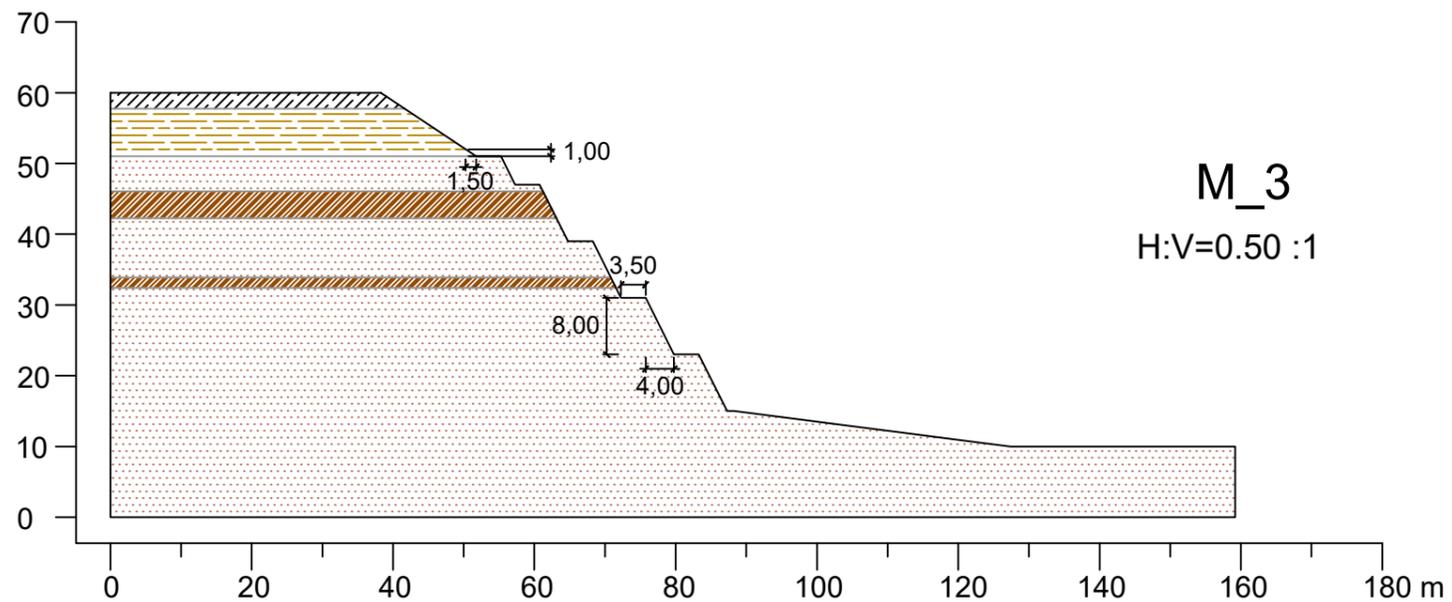
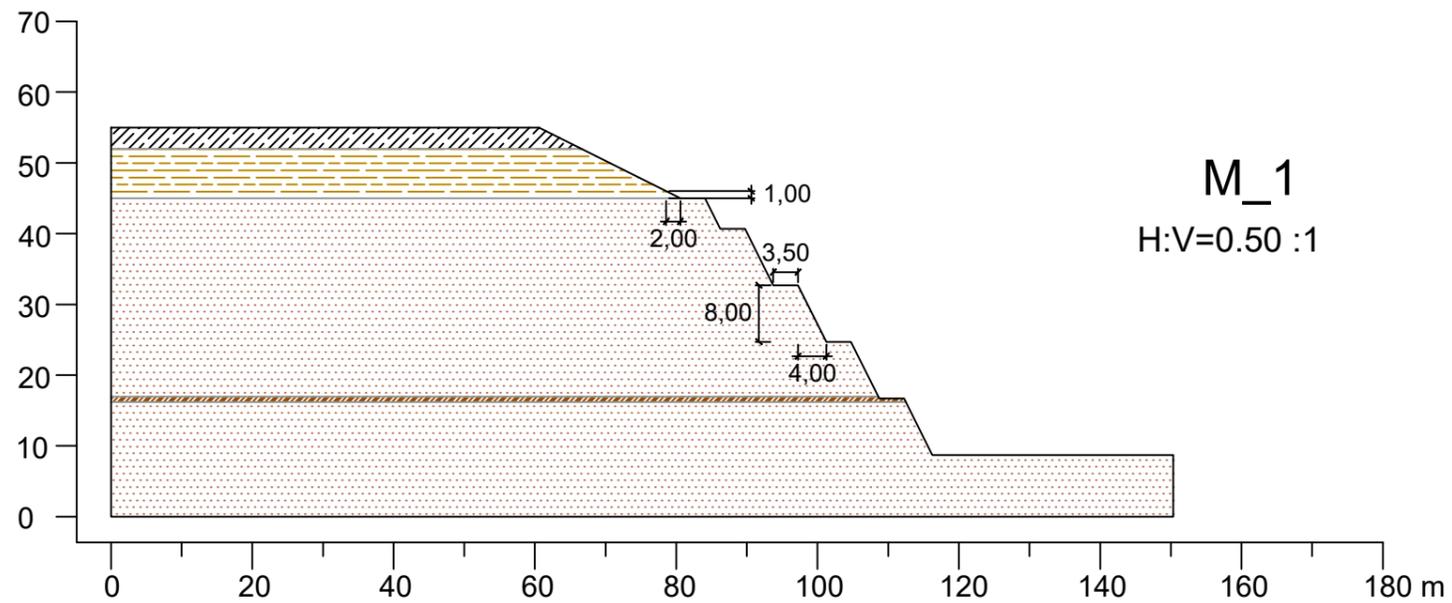
PLANO: SECCIONES EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS	LÁMINA A-14
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018a, 2018c)	
ESCALA: 1/1000	FECHA: ENE. 2022



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO

PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL	LÁMINA A-15
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a)	ESCALA: 1/1000
	FECHA: ENE. 2022

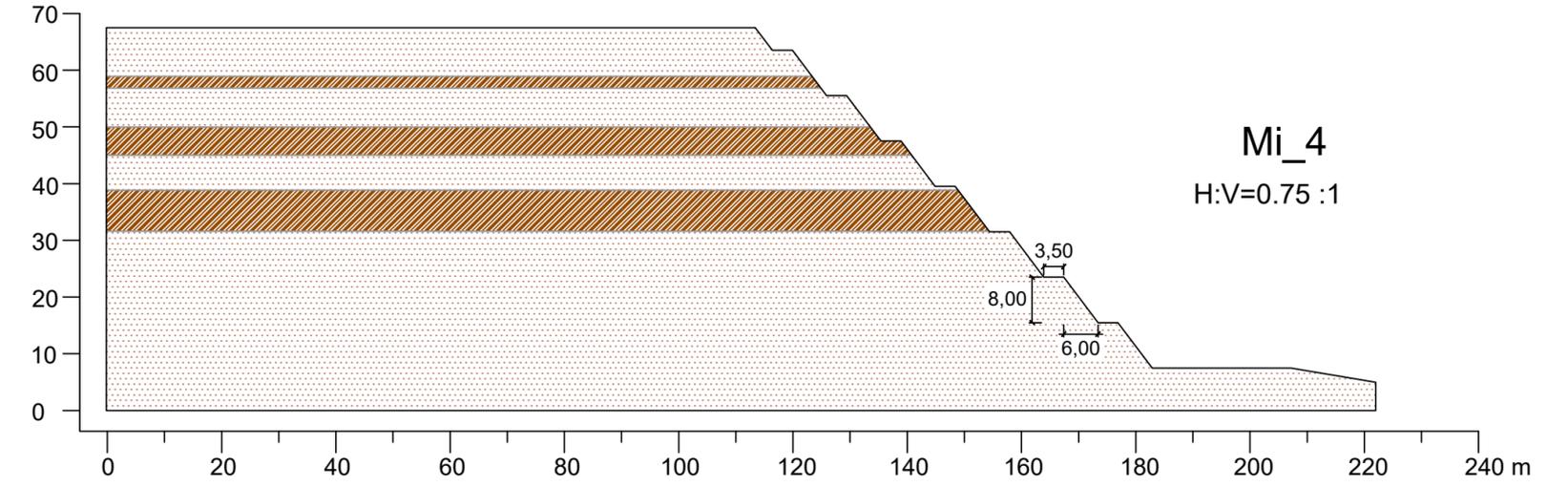
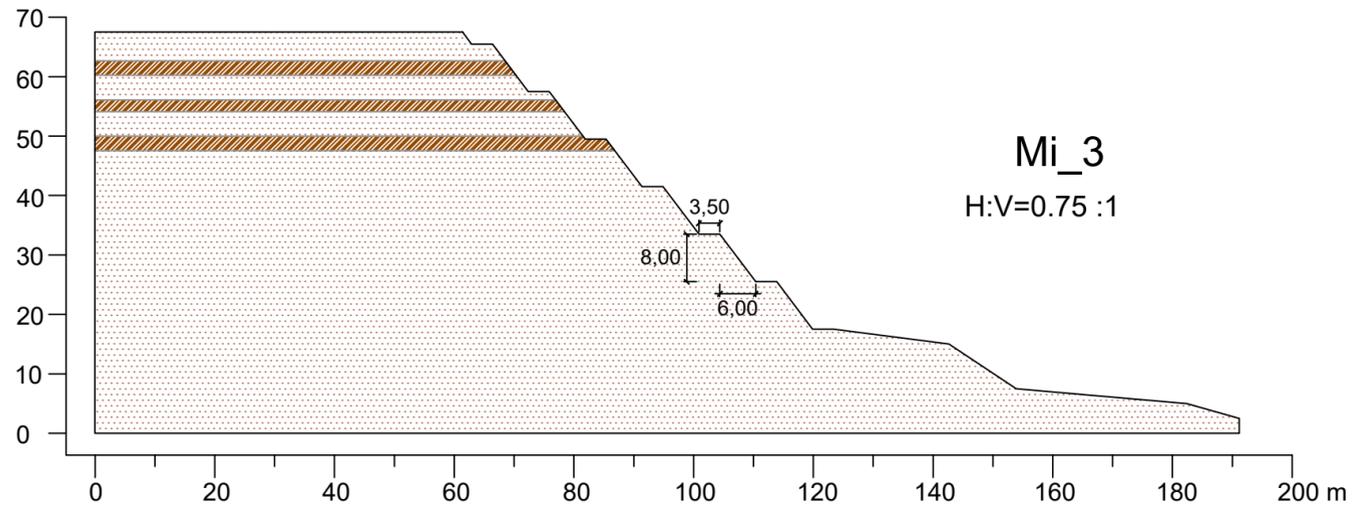
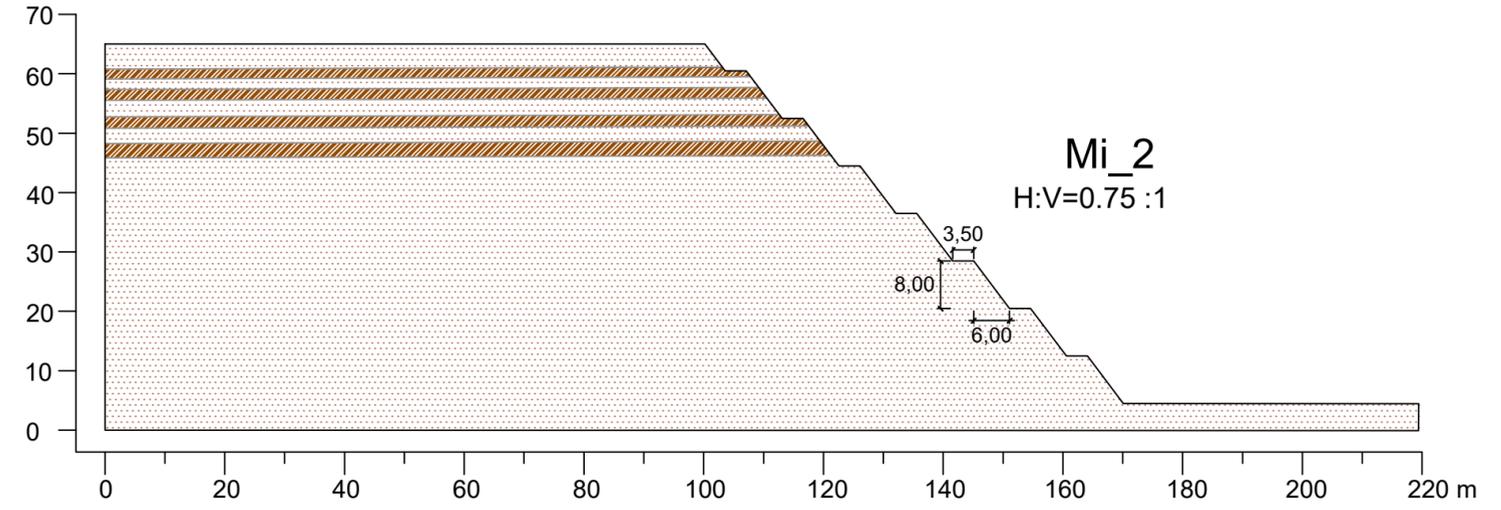
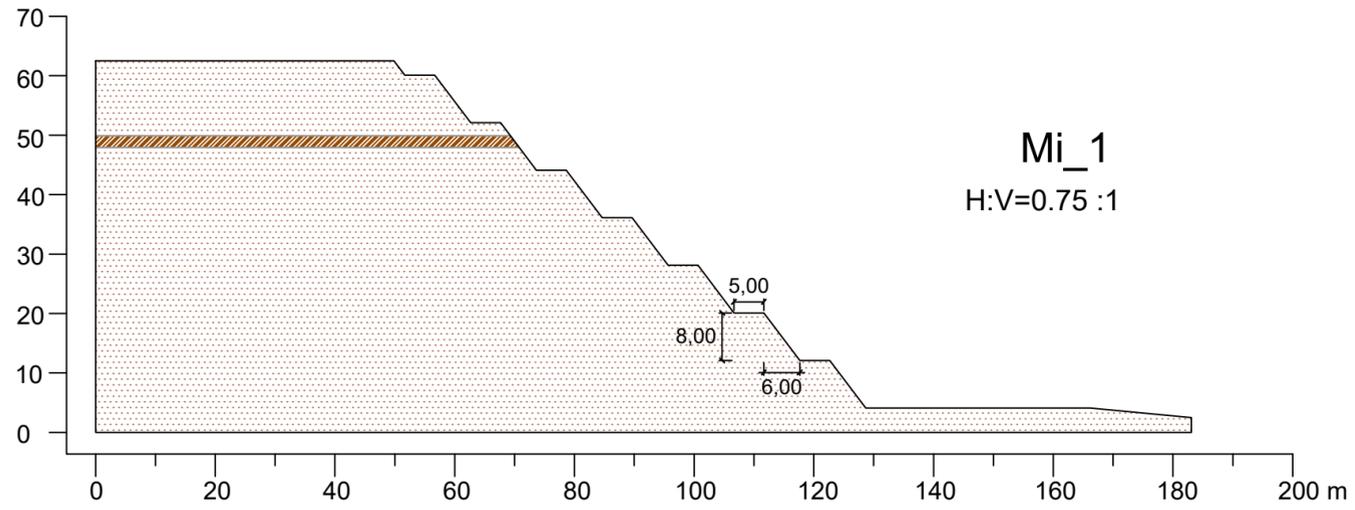
NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-08.



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO

NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-09.

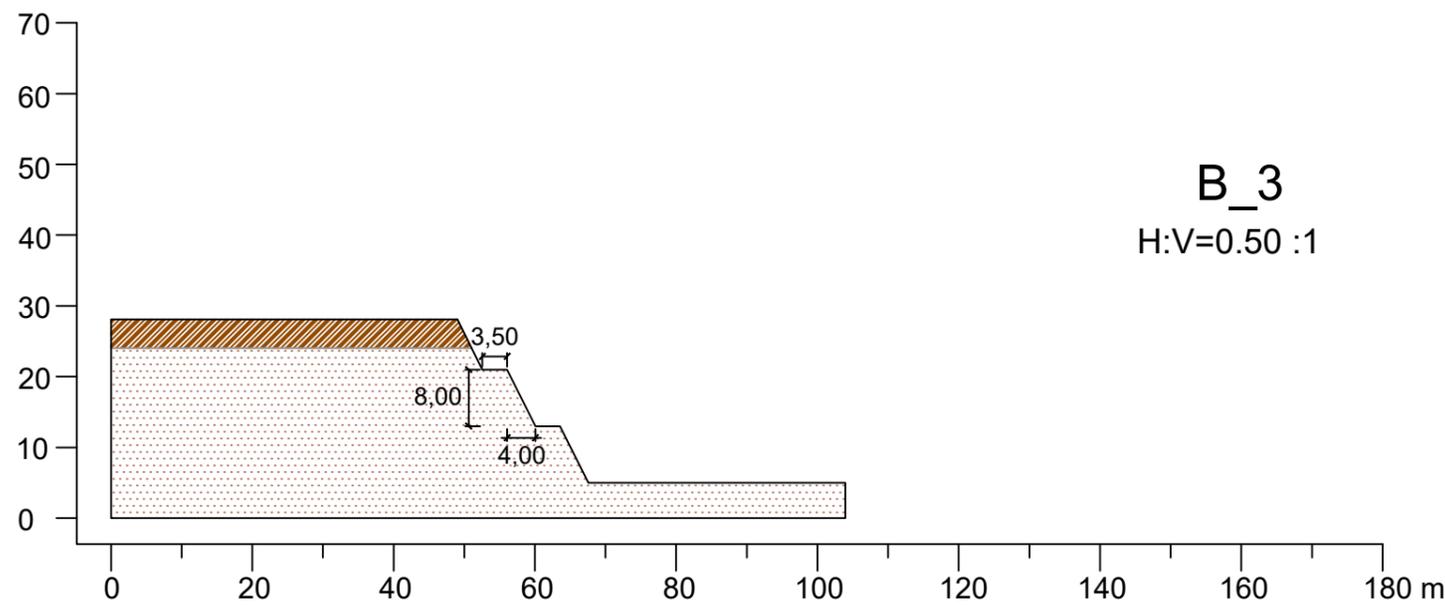
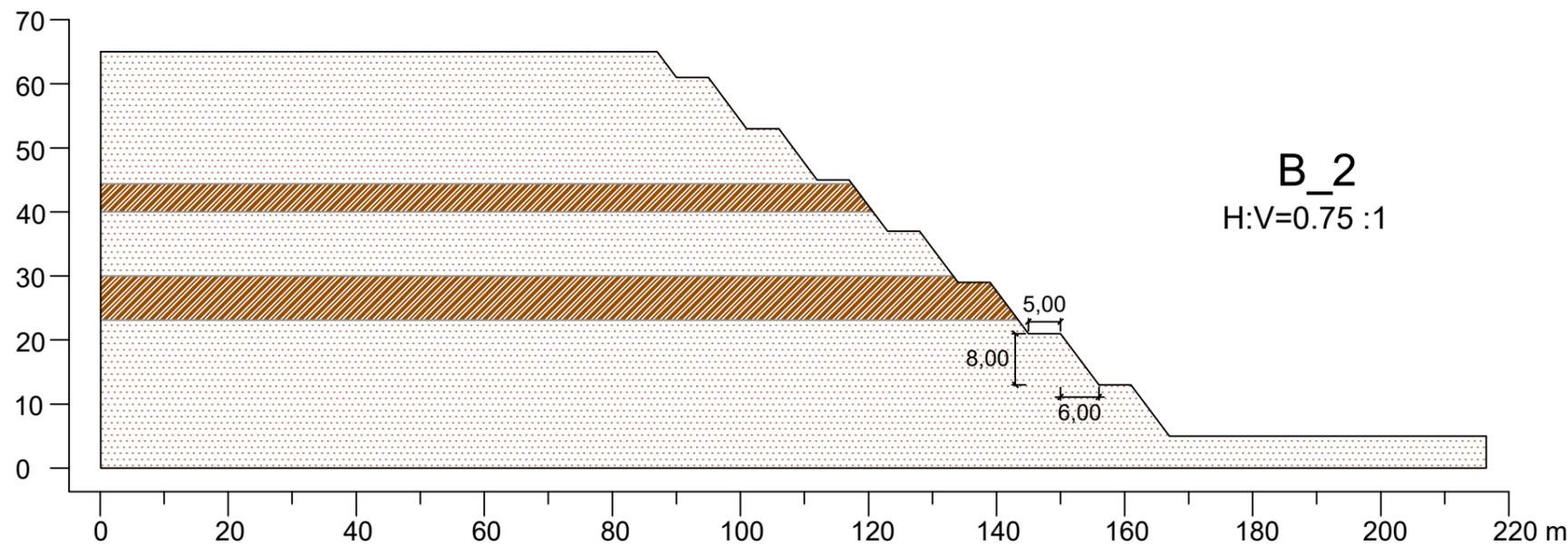
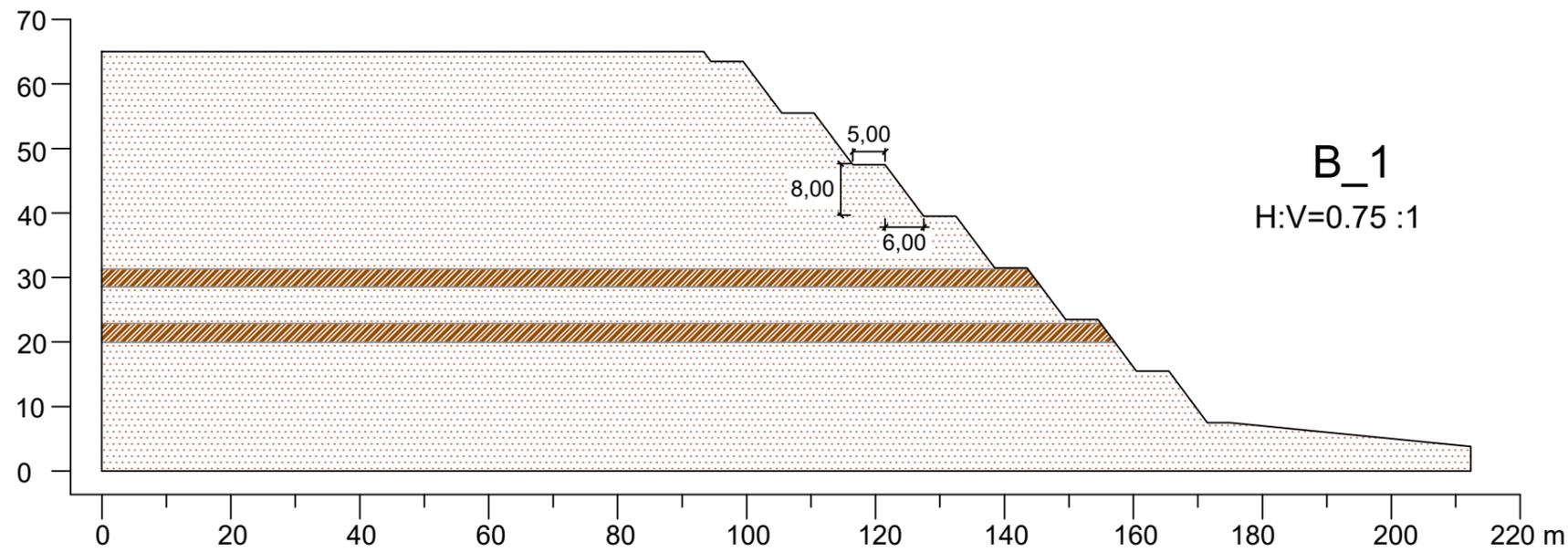
PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR	LÁMINA
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	A-16
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016a, 2016c, 2018d)	ESCALA: 1/1000
	FECHA: ENE. 2022



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-11.

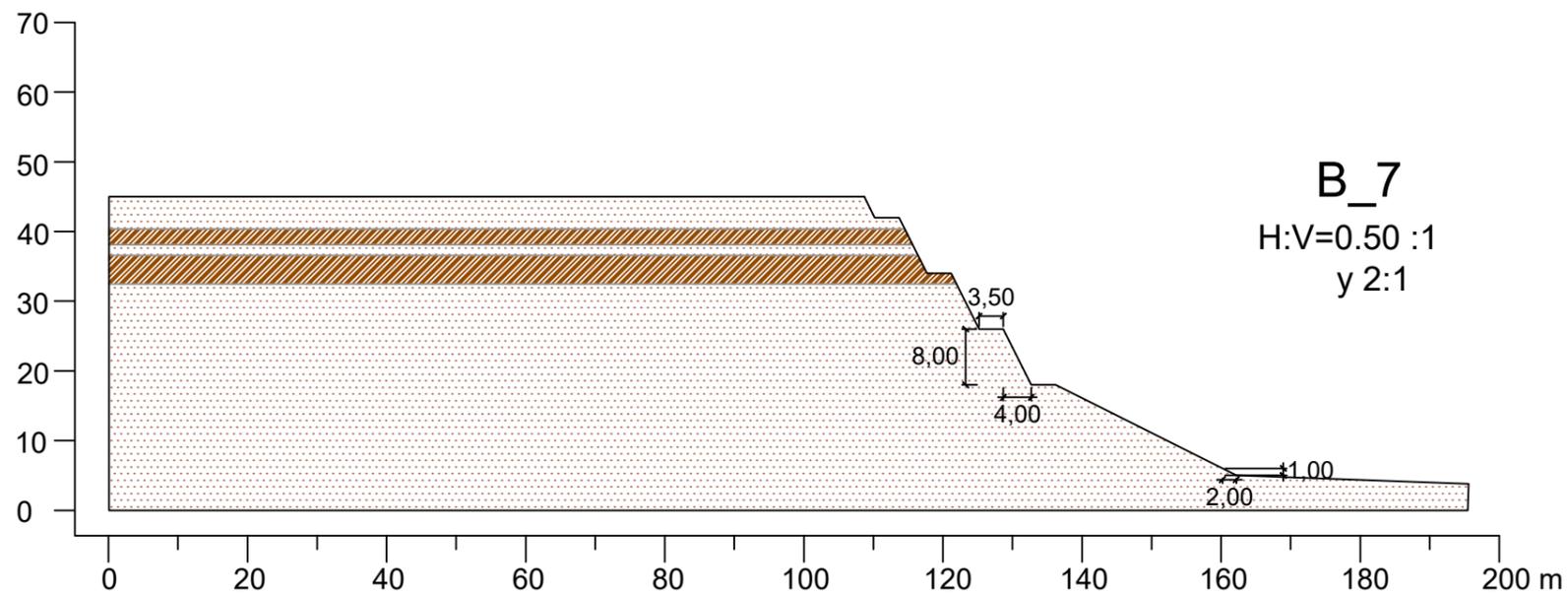
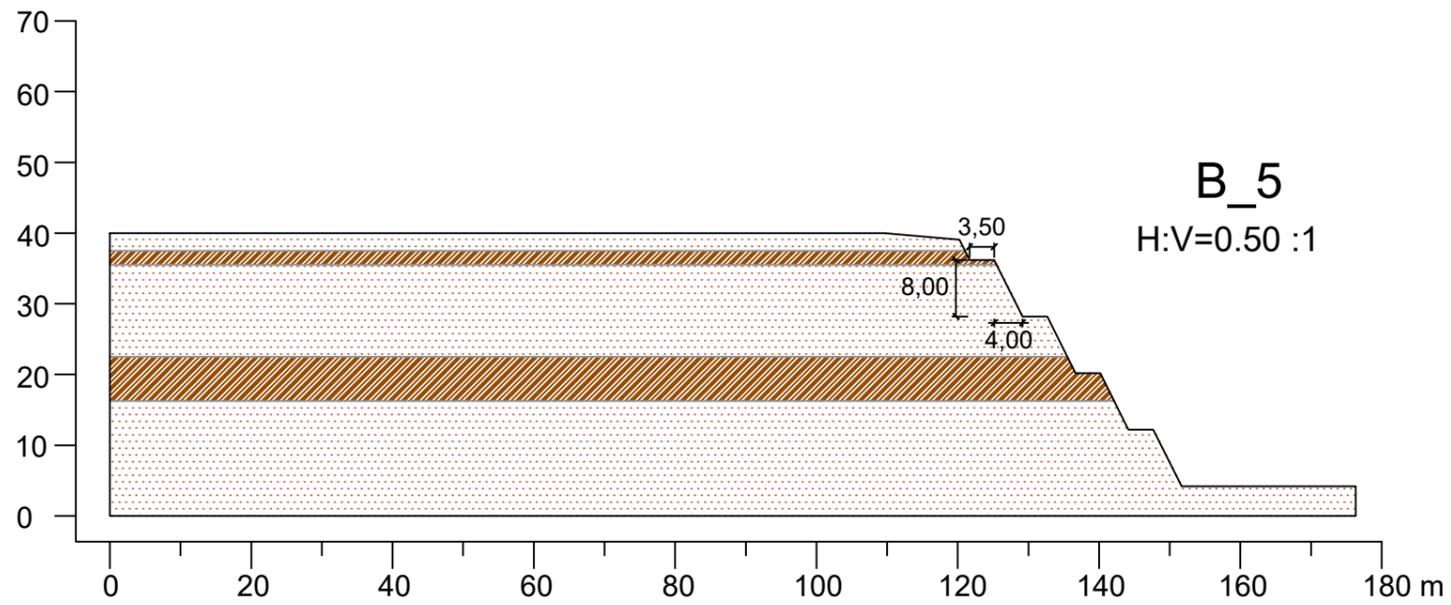
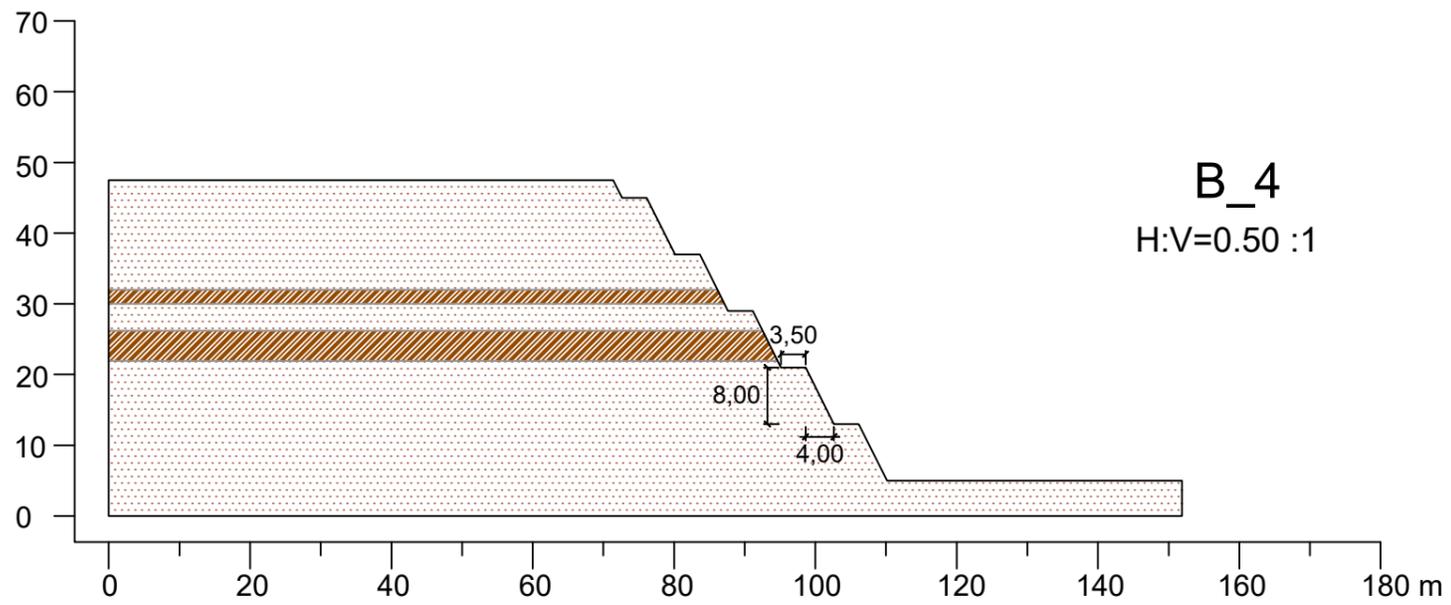
PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES		LÁMINA A-17
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE		
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDROY		
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018b, 2021b, 2021c)	ESCALA: 1/1000 FECHA: ENE. 2022	



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-12.

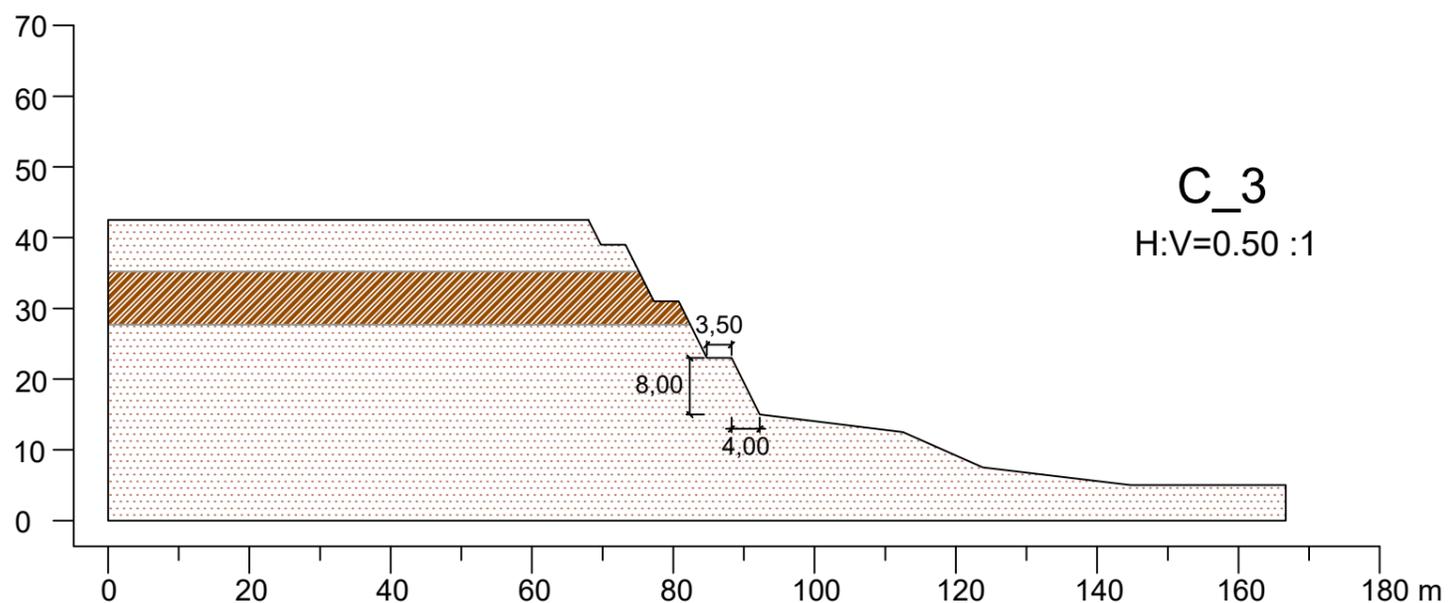
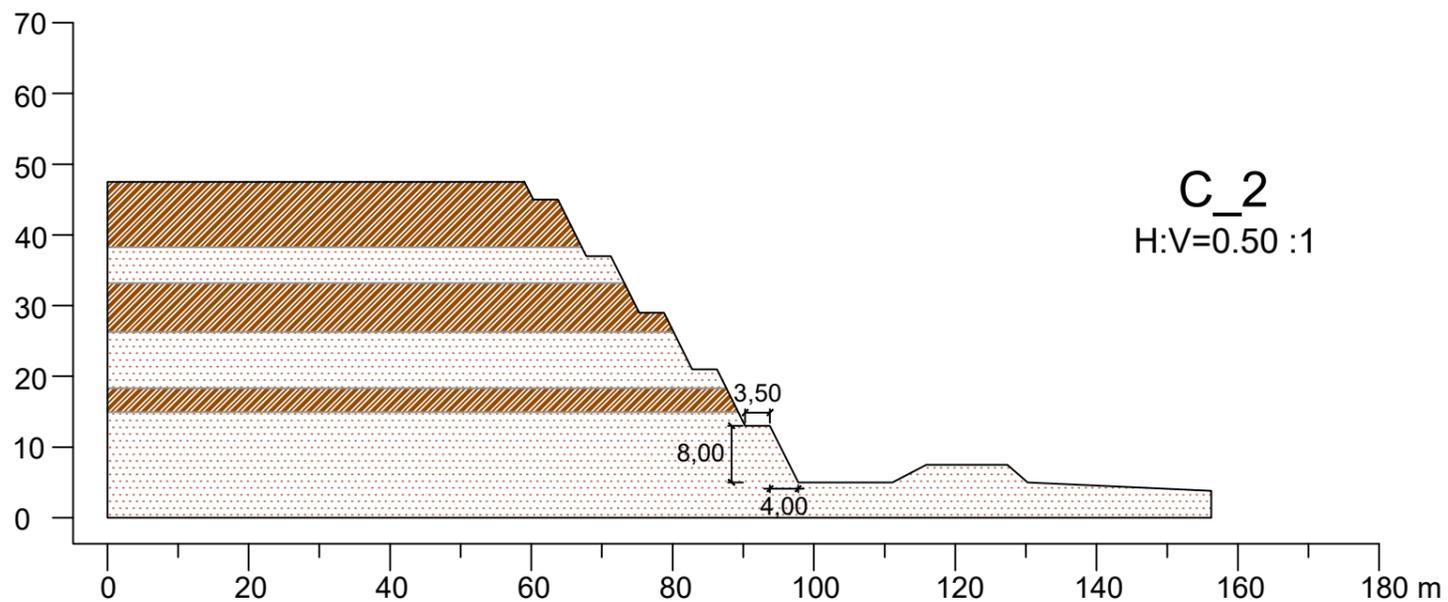
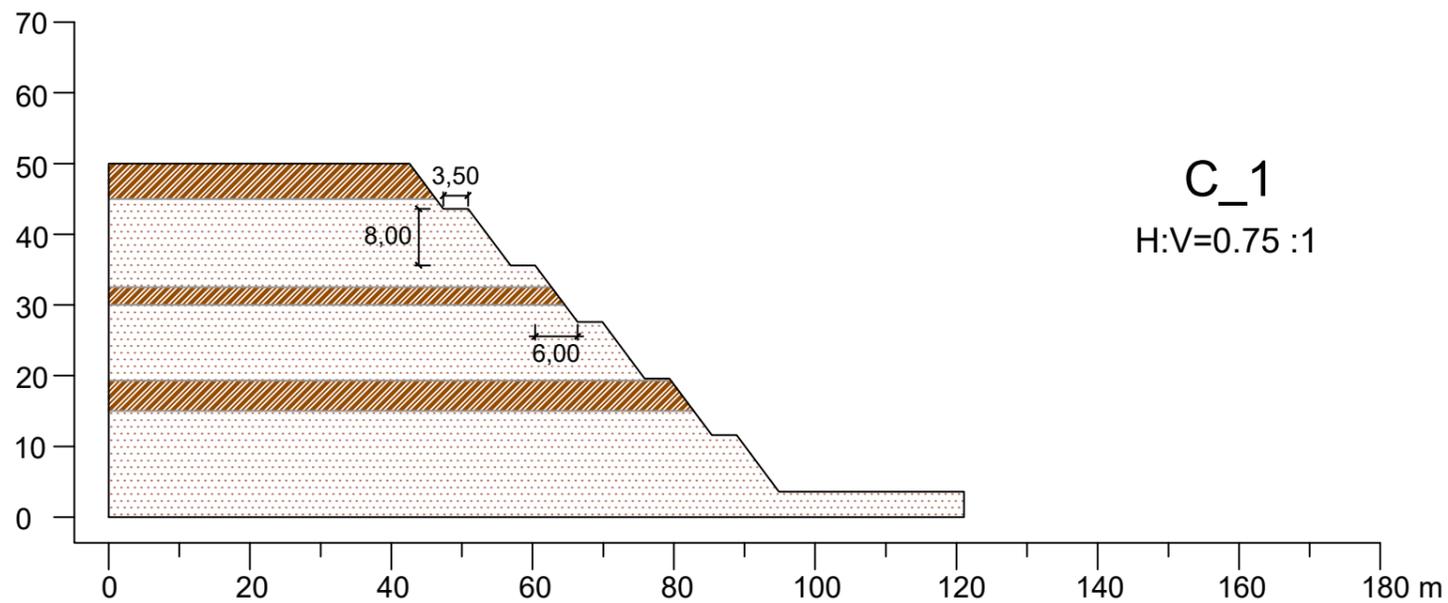
PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE BARRANCO		LÁMINA A-18
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE		
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY		
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016b, 2018c, 2021a)	ESCALA: 1/1000 FECHA: ENE. 2022	



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-13.

PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE BARRANCO	LÁMINA
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	A-19
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2016b, 2018c, 2021a)	
ESCALA: 1/1000	
FECHA: ENE. 2022	



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO

NOTA: Las cargas empleadas se indican en el plano A-14.

PLANO: BANQUETEO EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS	LÁMINA A-20
TESIS: EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA COSTA VERDE	
ELABORADO POR: RITA CLARA MORENO RONDOY	
FUENTE: MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA [MML] (2018a, 2018c)	
ESCALA: 1/1000	FECHA: ENE. 2022

ANEXO B:
REGISTRO DE INCIDENTES

Registro de incidentes

#	Fuente	Fecha	Distrito	Ubicación	Descripción
1	Arana (2014) Villacorta et al. (2015)	21/06/1995			A causa de un sismo de 4.9 grados en la costa central, se produjo un desprendimiento en la Costa Verde. La caída de una roca ocasionó la muerte de un periodista.
2	Arana (2014) Villacorta et al. (2015)	01/03/2002	Magdalena		En el distrito de Magdalena, ocurrió un desprendimiento de una roca, lo cual causó la muerte de una persona que transitaba en su vehículo por el circuito de playas.
3	Villacorta et al. (2015)	15/08/2007			El sismo de Pisco ocasionó deslizamientos en los taludes de la Costa Verde.
4	Arana (2014) Villacorta et al. (2015)	07/05/2009	Barranco	Altura playa Barranquito	Tras la caída de una roca, una persona que se encontraba en su vehículo quedó herida.
5	Villacorta et al. (2015)	18/06/2009	Barranco	Altura playa Los Yuyos	Después de un deslizamiento en el distrito de Barranco, un taxista resultó herido.
6	Arana (2014) Villacorta et al. (2015)	10/12/2010	Miraflores/ Barranco	Altura playa Waikiki	Un deslizamiento, en el límite de Miraflores y Barranco, produjo la volcadura de un auto.
7	Redacción Perú 21 (2011)	02/12/2011	Barranco	Altura playa Barranquito	La caída de una piedra ocasiona heridas en una persona que se trasladaba por el circuito de playas.
8	Redacción EC (2012)	05/03/2012	Miraflores	Altura bajada Balta	Se produjo una caída de rocas en Miraflores, lo que dejó a dos personas heridas quienes viajaban en sus vehículos por el circuito de playas.
9	Villacorta et al. (2015)	19/06/2012	Miraflores	Altura bajada Balta	Se derrumbó un muro de contención a la altura de la bajada Balta.
10	Redacción Perú 21 (2013)	25/11/2013	Barranco	Altura playa Los Yuyos	Después de un sismo de 5.8 grados en Cañete, se produjeron deslizamientos en el distrito de Barranco.
11	Arana (2014) Redacción EC (2014) Villacorta et al. (2015)	20/01/2014	Miraflores	Altura playa Waikiki	La caída de una piedra ocasionó que un niño quedara en estado de coma. Esta situación provocó que los trabajos de colocación de geomallas se realicen con mayor rapidez.
12	Redacción Perú 21 (2014a)	15/02/2014	Barranco	Altura playa Las Cascadas	Una piedra cayó del acantilado y rompió el vidrio de un auto, lo cual dejó a una persona herida.
13	Redacción RPP (2014)	30/06/2014	Barranco	Altura playa Las Sombrillas	La caída de una piedra dejó herido a un taxista.
14	Redacción Perú 21 (2014b)	31/07/2014	Barranco	Altura playa Los Yuyos	En la madrugada, se produjo un deslizamiento que dañó unas barreras de madera ubicadas en la parte inferior del talud y bloqueó parte de los carriles del circuito de playas.
15	Redacción Perú 21 (2015)	31/01/2015	Barranco	Altura playa Las Sombrillas	En Barranco, varias piedras cayeron sobre un autobús y un auto. Un adolescente resultó herido.
16	Redacción Perú 21 (2016)	20/01/2016	Magdalena	Bajada de Sucre	La caída de una piedra provocó que el parabrisas de un taxista se rompiera.
17	Redacción EC (2016)	24/02/2016	Barranco	Altura playa Los Yuyos	La caída de una roca provocó la volcadura de un auto. En el lugar, no había geomalla.
18	Redacción EC (2019a)	26/05/2019	Miraflores		Debido al sismo de 7.5 Mw ocurrido en la selva, ocurrió la caída de algunas piedras.
19	Redacción EC (2019b)	24/07/2019	Barranco	Altura playa Barranquito	La caída de una piedra rompió el parabrisas de un taxista.
20	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET] & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo (2019)	08/08/2019	Magdalena	Bajada de Sucre	Se produjeron varios deslizamientos desde la parte superior del talud, donde el principal material fue relleno. La geomalla no contuvo el deslizamiento.
21	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET] & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo (2020)	18/12/2019	Barranco	Altura playa Los Yuyos	Se produjo un deslizamiento de material grueso lo cual ocasionó la rotura de la geomalla.
22	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET] & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo (2021)	22/06/2021	Miraflores, Barranco y Chorrillos		A causa de un sismo de 6.0 Mw en Mala, se produjeron deslizamientos en diferentes distritos. Incluso en Miraflores se derrumbó una parte de un muro de contención.
23	Redacción EC (2021)	17/09/2021	Barranco	Altura playa Los Yuyos	Se produjo un deslizamiento en el distrito de Barranco.

ANEXO C:
MATRIZ DE SECCIONES

Matrices para elección de secciones

SAN MIGUEL

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
SM_1		X					0.23:1
SM_2		X	X			60	0.95:1
SM_3		X	X			18	0.27:1

MAGDALENA

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
M_1		X	X			35	0.44:1
M_2		X	X			0	0.54:1
M_3		X	X			0	0.25:1
M_4	X	X					0.65:1

SAN ISIDRO

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
SI_1		X		X	X		1.54:1
SI_2		X	X	X	X	43	1.41:1

MIRAFLORES

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
Mi_1				X			0.61:1
Mi_2			X	X		27	0.43:1
Mi_3				X			0.26:1
Mi_4			X			20	0.58:1

BARRANCO

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
B_1				X		70	0.28:1
B_2	X		X			20	1.14:1
B_3			X			12	0.31:1
B_4	X		X			11	0.10:1
B_5			X	X		0	0.20:1
B_6			X			0	0.49:1
B_7			X	X	1/2	20	0.81:1

CHORRILLOS

Sección	Acumulación de material en la parte baja	Relleno	Carga	Jardines	Con vegetación	Distancia al borde libre (m)	Pendiente (H:V)
C_1			X			16	0.90:1
C_2			X			17	0.61:1
C_3			X	X		21	0.45:1

ANEXO D:

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS POR EL MÉTODO DE
SILVA et al. (2008)

Distrito de San Miguel

SM_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción	Sin mediciones de campo
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

SM_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.20	0.65	0.45	0.40	0.30	0.40

SM_3					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
				Mantenimiento de rutina.	
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.30	0.65	0.45	0.40	0.30	0.50

Distrito de Magdalena

M_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.45	0.55	0.40	0.40	0.50	0.60

M_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción	Sin mediciones de campo.
2.45	0.55	0.40	0.40	0.50	0.60

M_3					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción	Sin mediciones de campo.
2.45	0.55	0.40	0.40	0.50	0.60

M_4					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

Distrito de San Isidro

SI_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
				Mantenimiento de rutina.	
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.00	0.60	0.50	0.40	0.25	0.25

SI_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.			
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.00	0.60	0.50	0.40	0.25	0.25

Distrito de Miraflores

Mi_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.50	0.65	0.35	0.40	0.50	0.60

MI_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.50	0.65	0.35	0.40	0.50	0.60

MI_3					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.50	0.65	0.35	0.40	0.50	0.60

MI_4					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.			
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.35	0.40	0.50	0.70

Distrito de Barranco

B_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

B_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

B_3					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción	Sin mediciones de campo.
2.30	0.65	0.45	0.40	0.30	0.50

B_4					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.30	0.65	0.45	0.40	0.30	0.50

B_5					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

B_6					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas. Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.30	0.65	0.45	0.40	0.30	0.50

B_7					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
	Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.		
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
					Mantenimiento de rutina.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.60	0.65	0.45	0.40	0.50	0.60

Distrito de Chorrillos

C_1					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.			
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.70	0.70	0.50	0.40	0.50	0.60

C_2					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.			
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.70	0.70	0.50	0.40	0.50	0.60

C_3					
Nivel de ingeniería	Diseño			Construcción	Operación y monitoreo
	Investigación	Pruebas	Análisis y documentación		
I (lo mejor) Estructuras con altas consecuencias de falla (0.20)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio en especímenes inalterados con condiciones de campo.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzo efectivo basados en los datos medidos (geometría, resistencia, presión de poros) para el sitio.	Supervisión a tiempo completo por un ingeniero calificado.	Programa de desempeño completo que incluye comparación entre rendimiento previsto y medido (por ejemplo, presión de poro, resistencia, deformaciones).
	Analizar fotografías aéreas históricas.	Realizar ensayos de resistencia a lo largo de las trayectorias de esfuerzo total y efectivo de campo.	Considerar la trayectoria de esfuerzos de campo en la determinación de la estabilidad.	Ensayos de control de construcción por ingenieros y técnicos calificados.	Ningún mal funcionamiento (deslizamientos, fisuras, etc).
	Localizar todas las irregularidades (zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad).	Realizar ensayos de campo (por ejemplo, veleta, penetración de cono) para detectar todas las zonas blandas, húmedas, sueltas, de alta o baja permeabilidad.	Preparar la red de flujo para secciones instrumentadas.	No errores u omisiones.	Mantenimiento continuo por personal capacitado.
	Determinar la historia geológica del sitio.	Calibrar equipos y sensores antes del programa de ensayos.	Predecir la presión de poros y otros parámetros de rendimiento relevantes (deformación, esfuerzo, flujos) para las secciones instrumentadas.	El informe de construcción documenta, claramente, las actividades de construcción.	
	Determinar el perfil del subsuelo mediante muestreo continuo.		Tener un informe de diseño que documente claramente los parámetros y análisis usados para el diseño.		
	Obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio del suelo de cimentación.		No tener errores u omisiones.		
Determinar la presión de poros de campo.		Revisión de un colega.			
II (encima del promedio) Estructuras ordinarias (0.40)	Evaluar el diseño y desempeño de estructuras cercanas.	Realizar ensayos de laboratorio estándar en especímenes inalterados.	Determinar el FS usando parámetros de esfuerzos efectivos y presión de poros.	Supervisión a tiempo parcial por un ingeniero calificado.	Inspecciones periódicas por un ingeniero calificado.
	Programa de exploración adaptado a las condiciones del proyecto por un ingeniero calificado.	Medir la presión de poros en ensayos de resistencia.	Ajustar las diferencias significativas entre las trayectorias de tensión de campo y la trayectoria de tensión implícita en el análisis que podrían afectar el diseño.	No errores u omisiones.	Ningún fallo de funcionamiento no corregido.
		Evaluar las diferencias entre las condiciones de laboratorio y las de campo.			Medidas de campo seleccionadas.
III (promedio) Estructuras poco importantes o temporales con bajas consecuencias de fallas (0.60)	Evaluar el desempeño de estructuras cercanas.	Pruebas índice en muestras del sitio.	Realizar análisis racionales usando parámetros inferidos de ensayos índice.	Supervisión informal de la construcción.	Inspección anual por ingeniero calificado.
	Estimar el perfil del suelo a partir de datos y perforaciones existentes.				Sin mediciones de campo.
					Mantenimiento limitado a reparaciones de emergencia.
IV (pobre) Pobre o nada de ingeniería (0.80)	Sin investigación de campo.	No hay ensayos de laboratorio en muestras obtenidas del sitio.	Realizar análisis aproximados usando parámetros asumidos.	Sin supervisión de construcción por un ingeniero calificado.	Inspecciones ocasionales por personal no calificado.
				Sin ensayos de control de construcción.	Sin mediciones de campo.
2.70	0.70	0.50	0.40	0.50	0.60

ANEXO E:

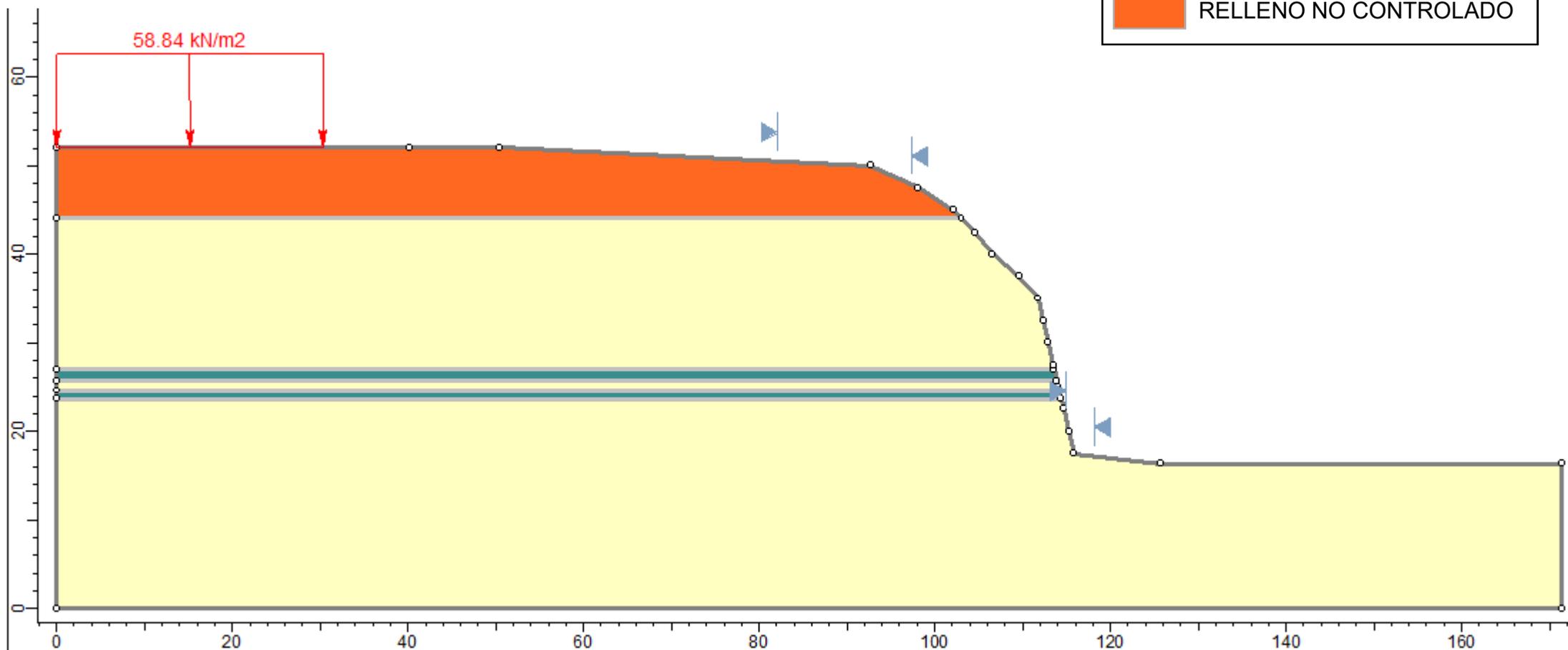
SALIDAS DEL PROGRAMA SLIDE - TALUD EN CONDICIONES
NATURALES

SAN MIGUEL

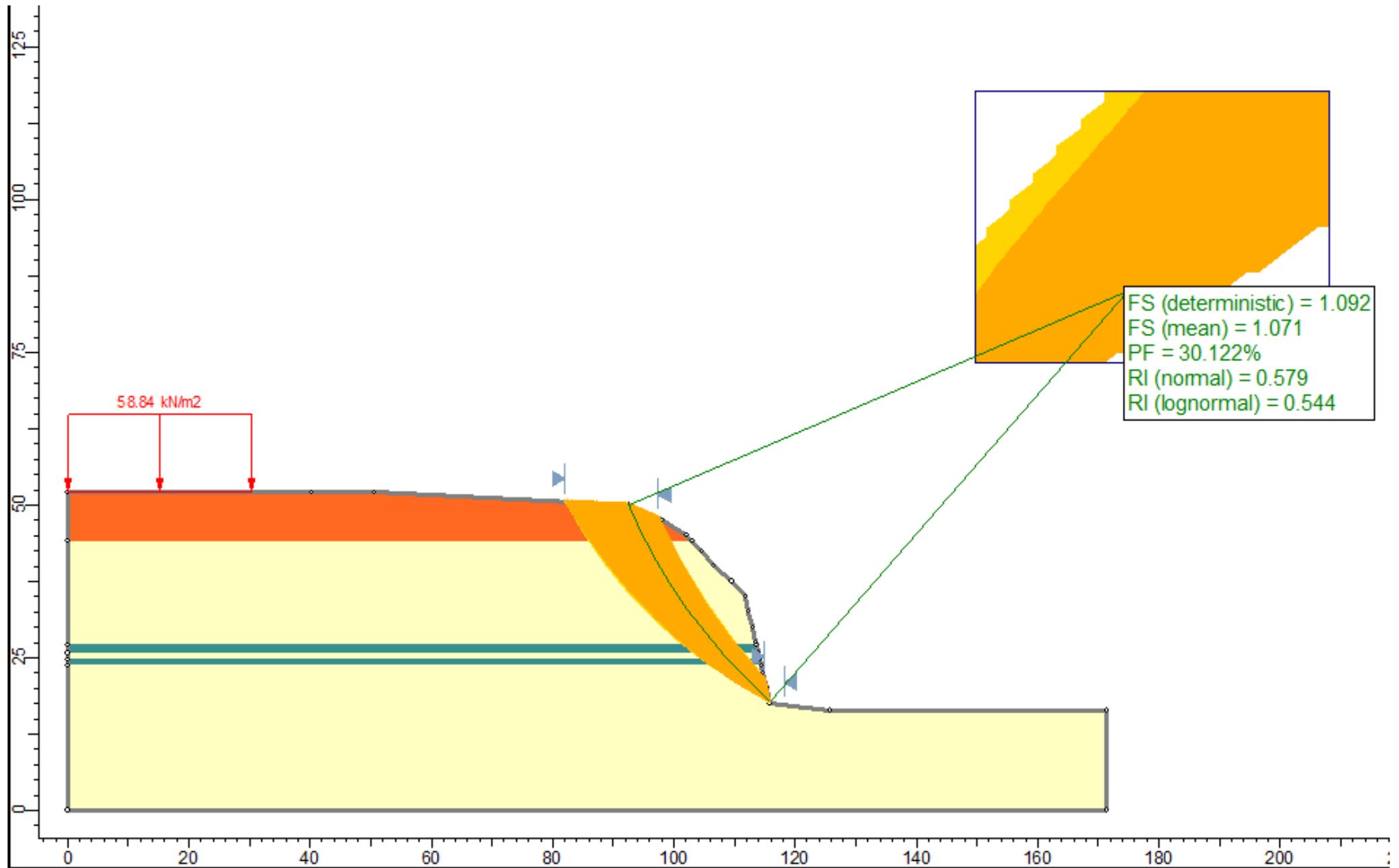
SM_1

LEYENDA

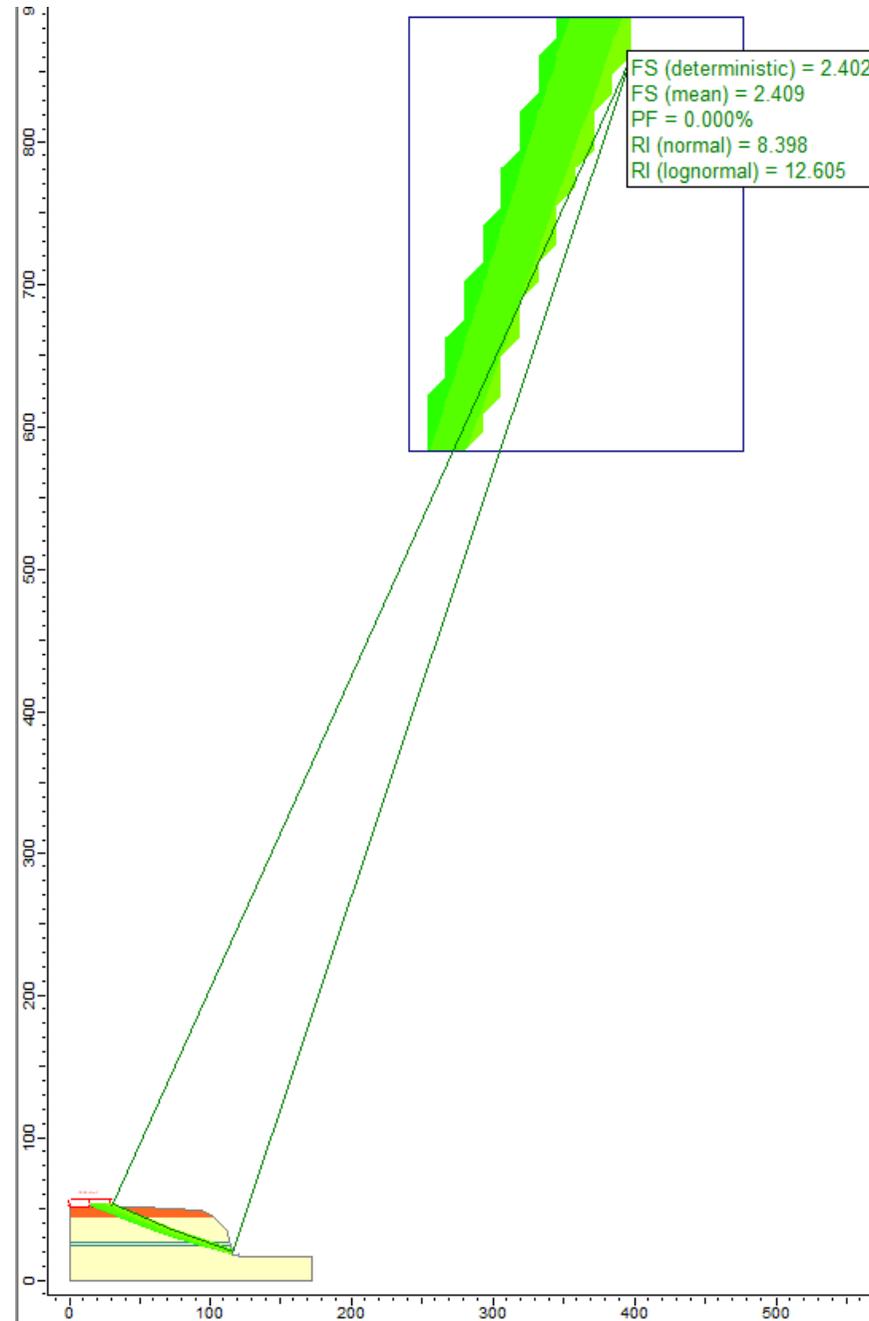
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO



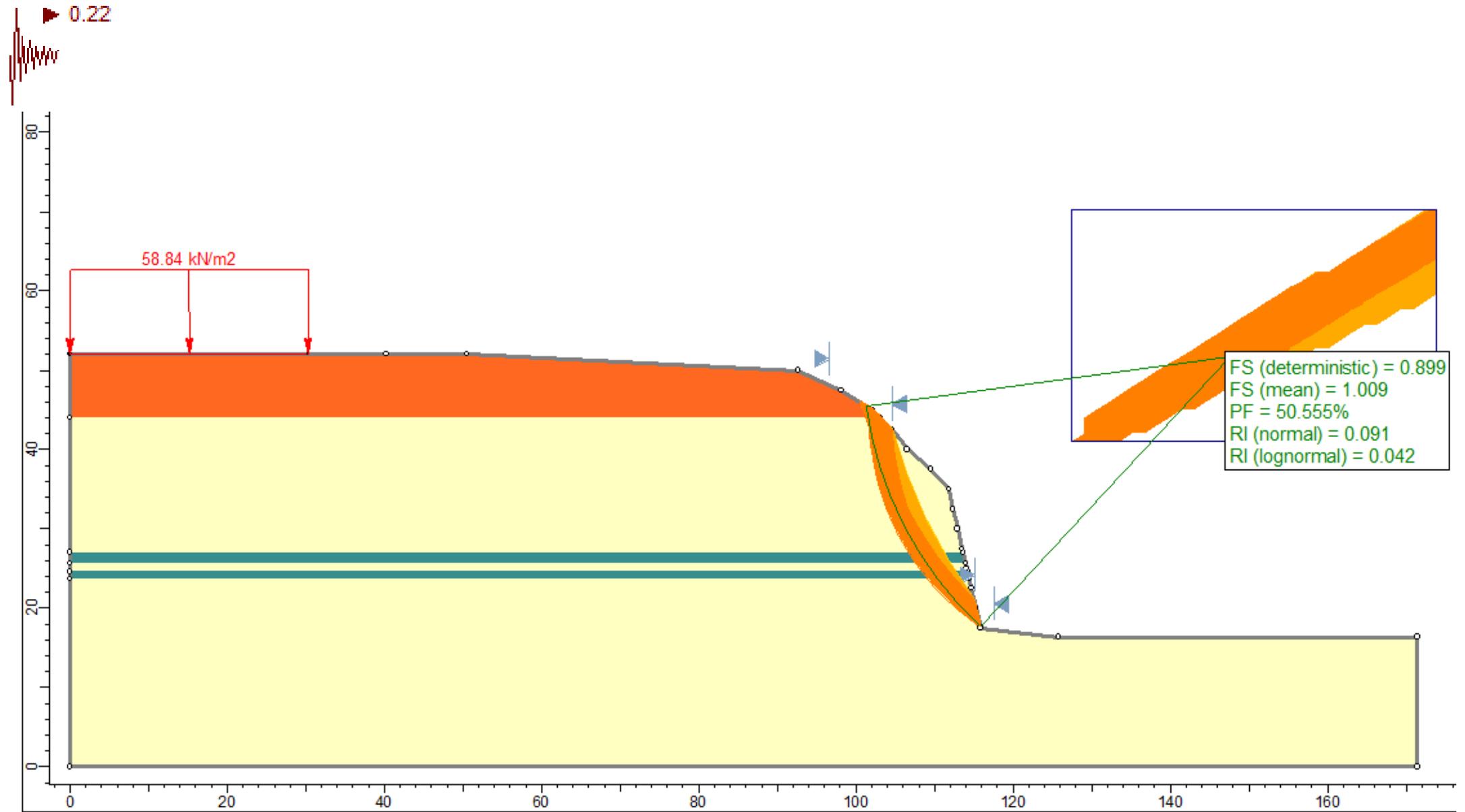
Falla circular – caso estático



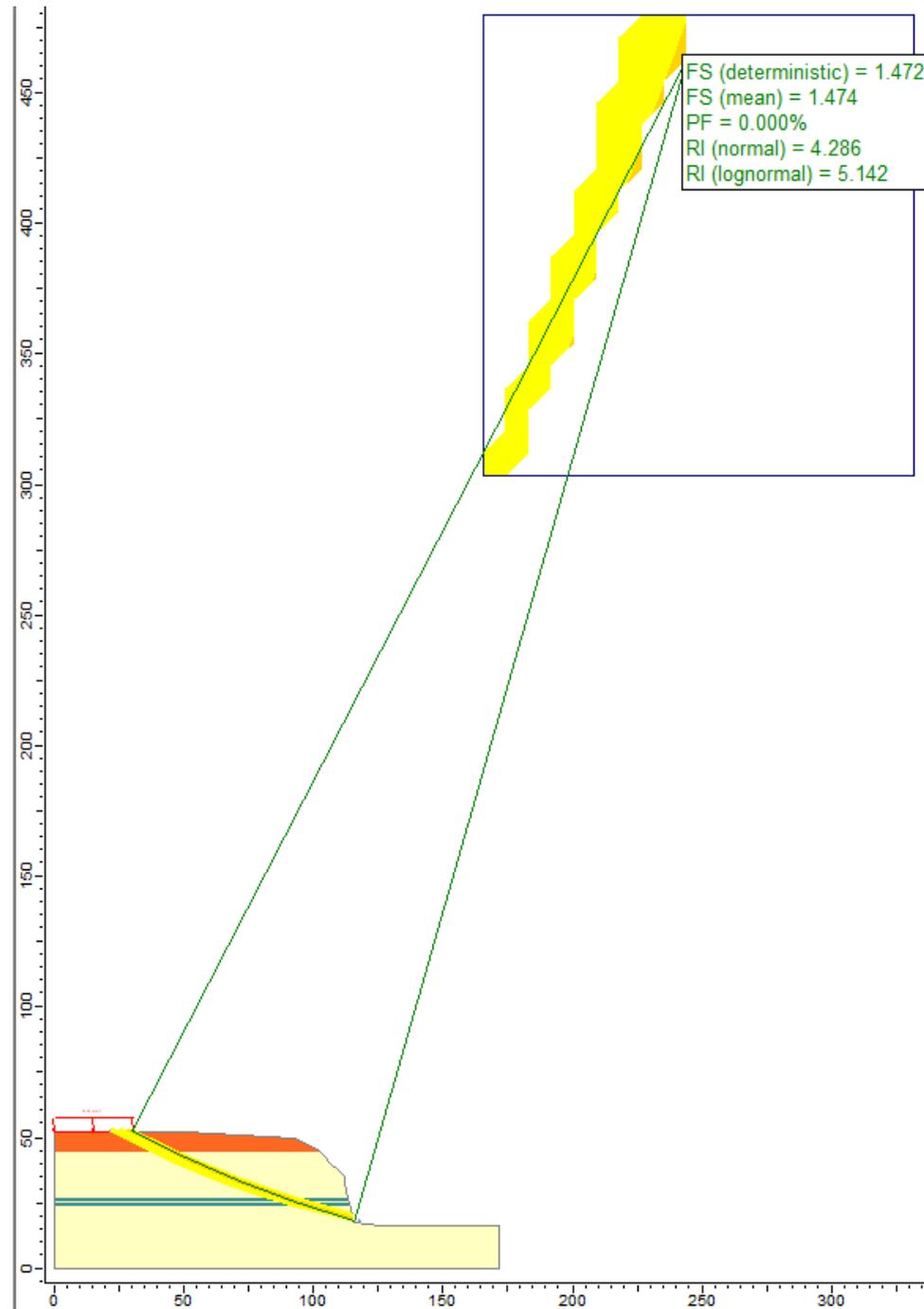
Falla circular – caso estático



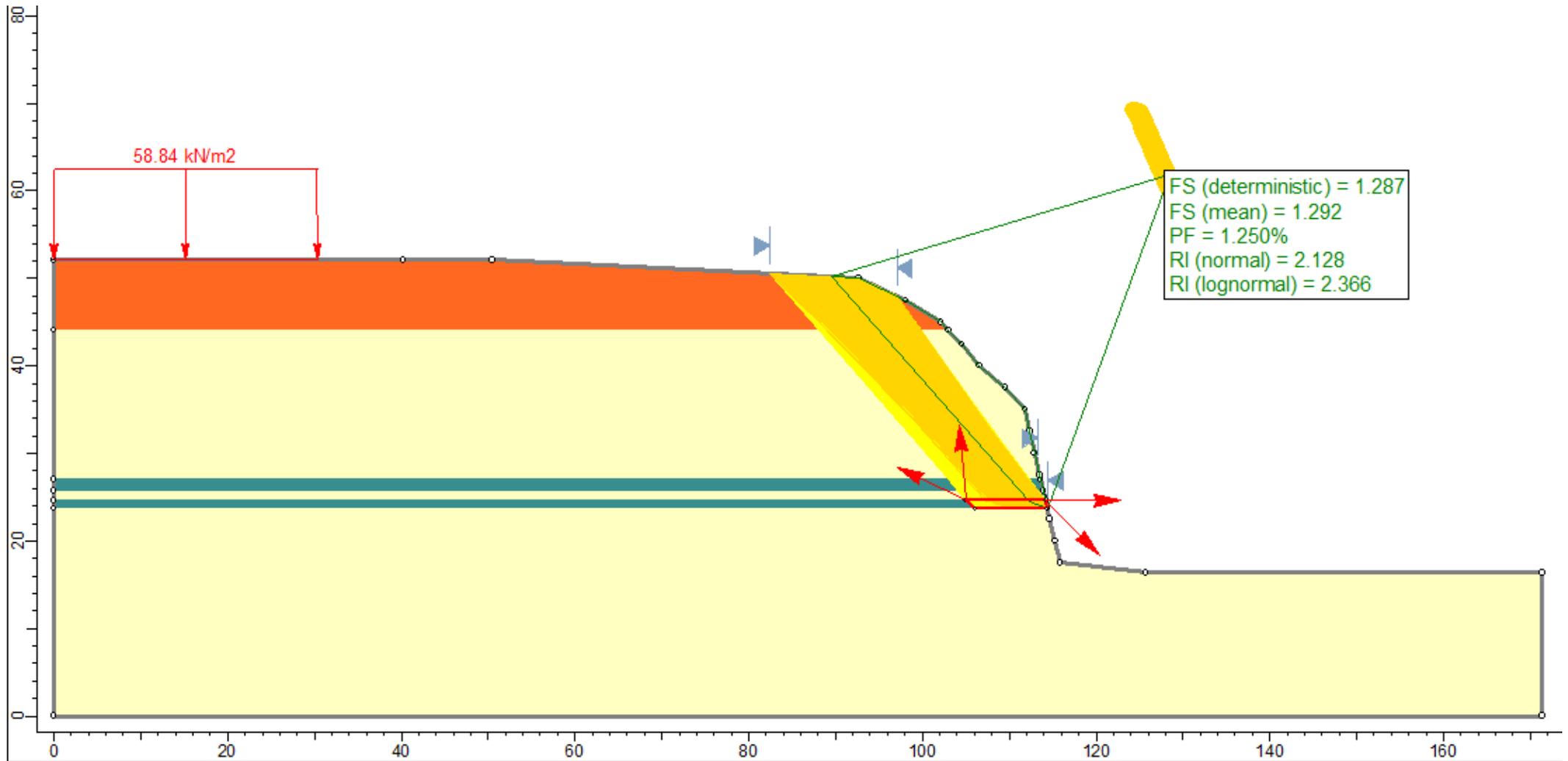
Falla circular – caso pseudo estático



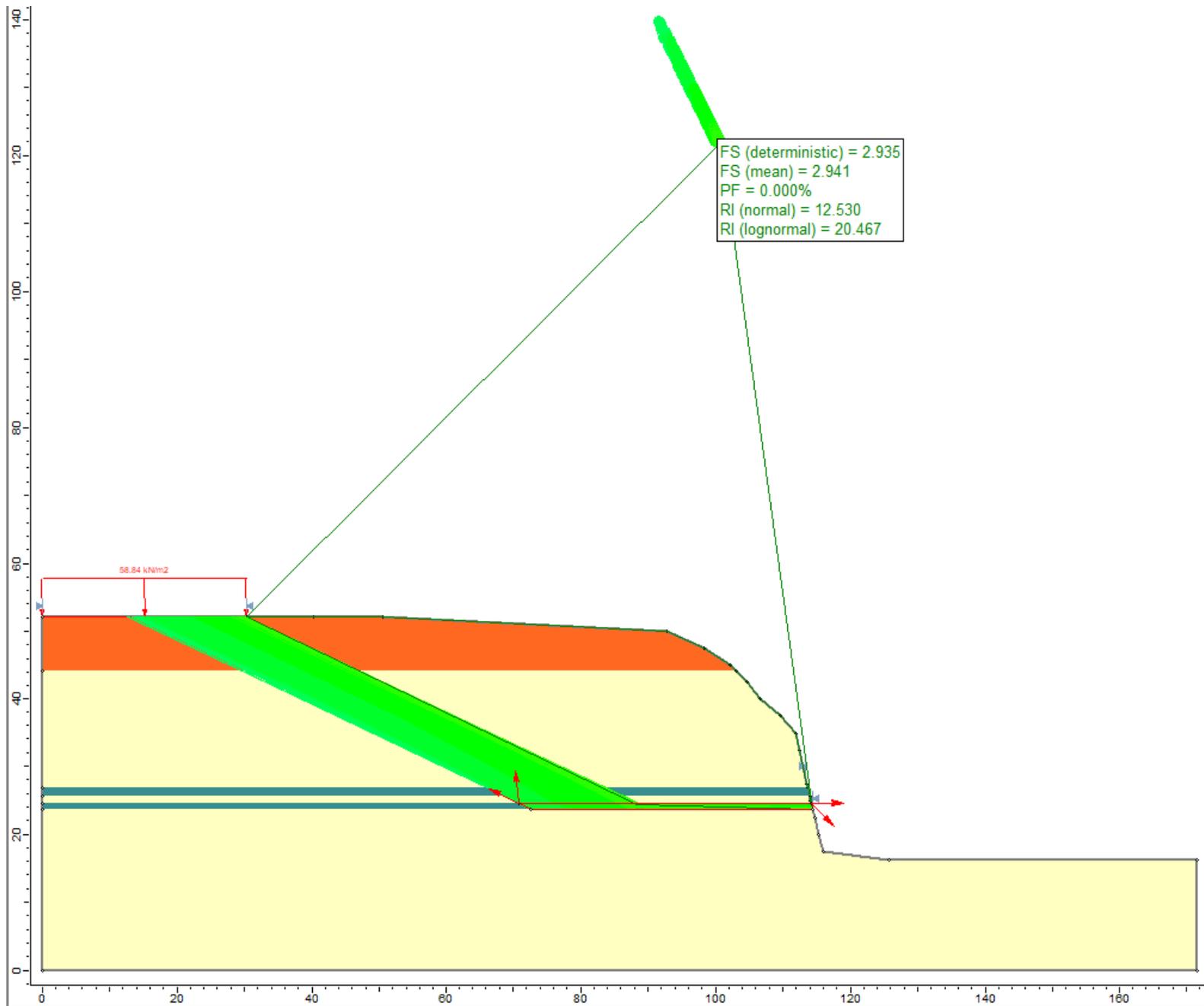
Falla circular – caso pseudo estático



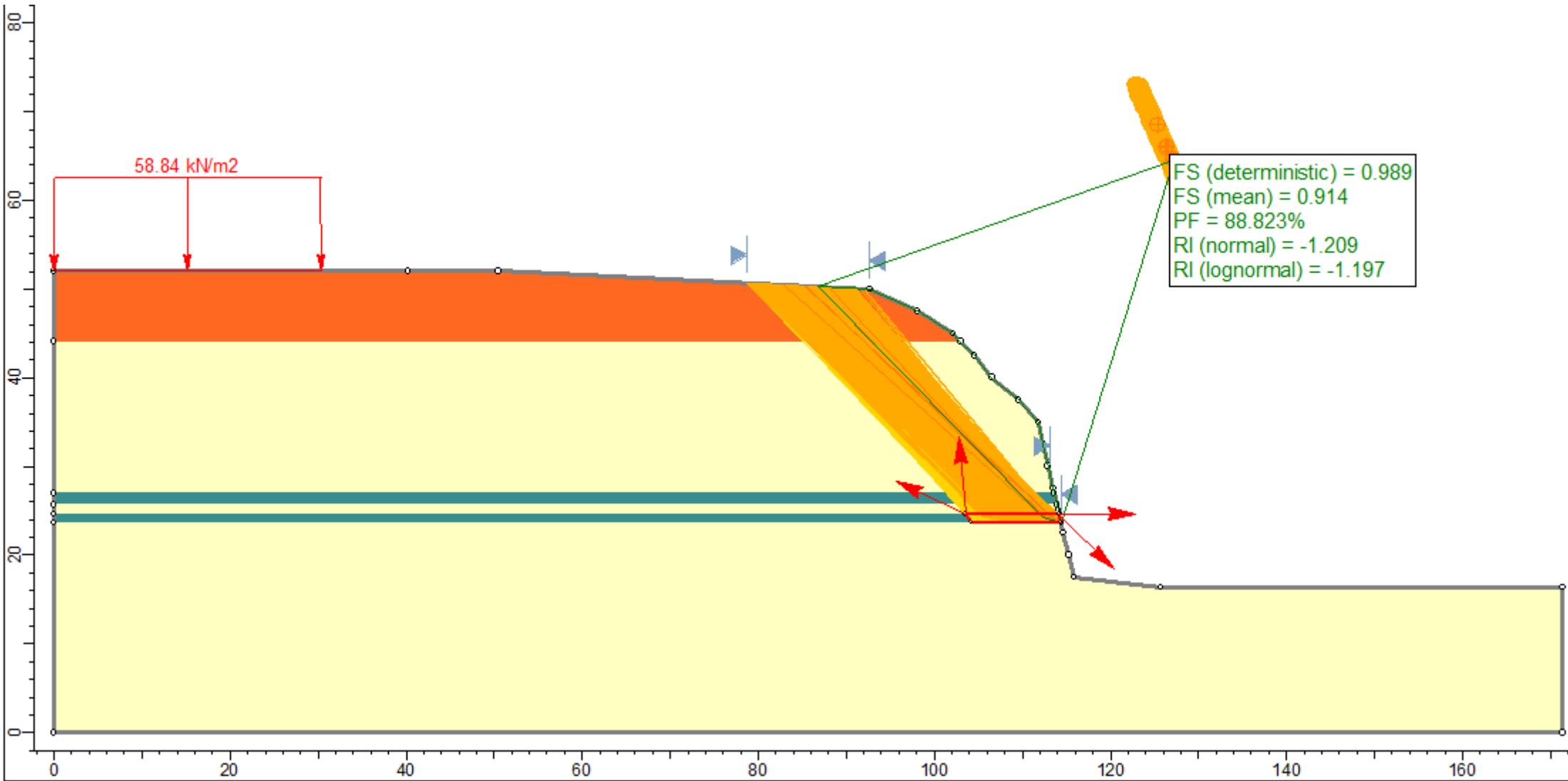
Falla en bloque – caso estático



Falla en bloque – caso estático

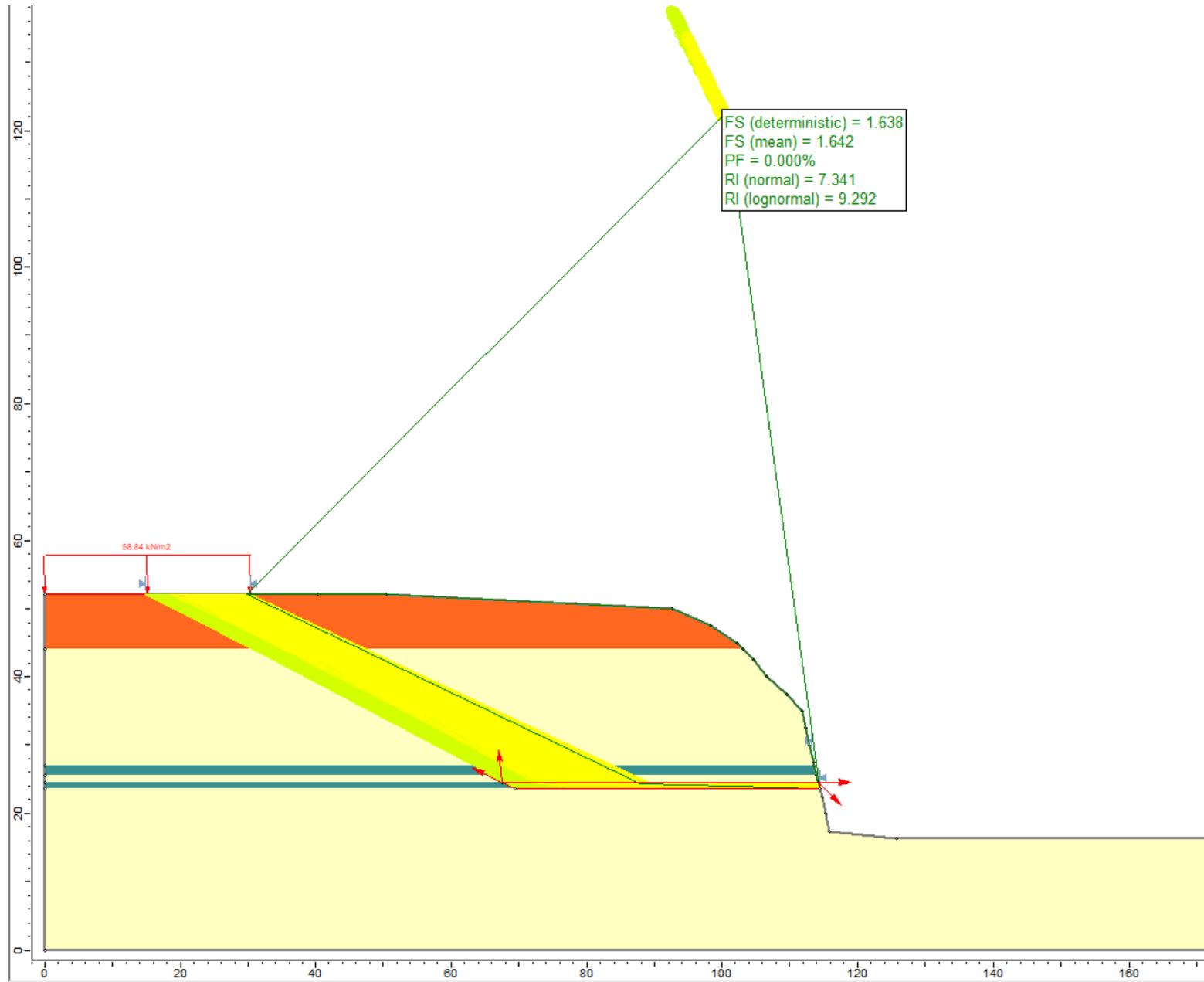


Falla en bloque – caso pseudo estático



Falla en bloque – caso pseudo estático

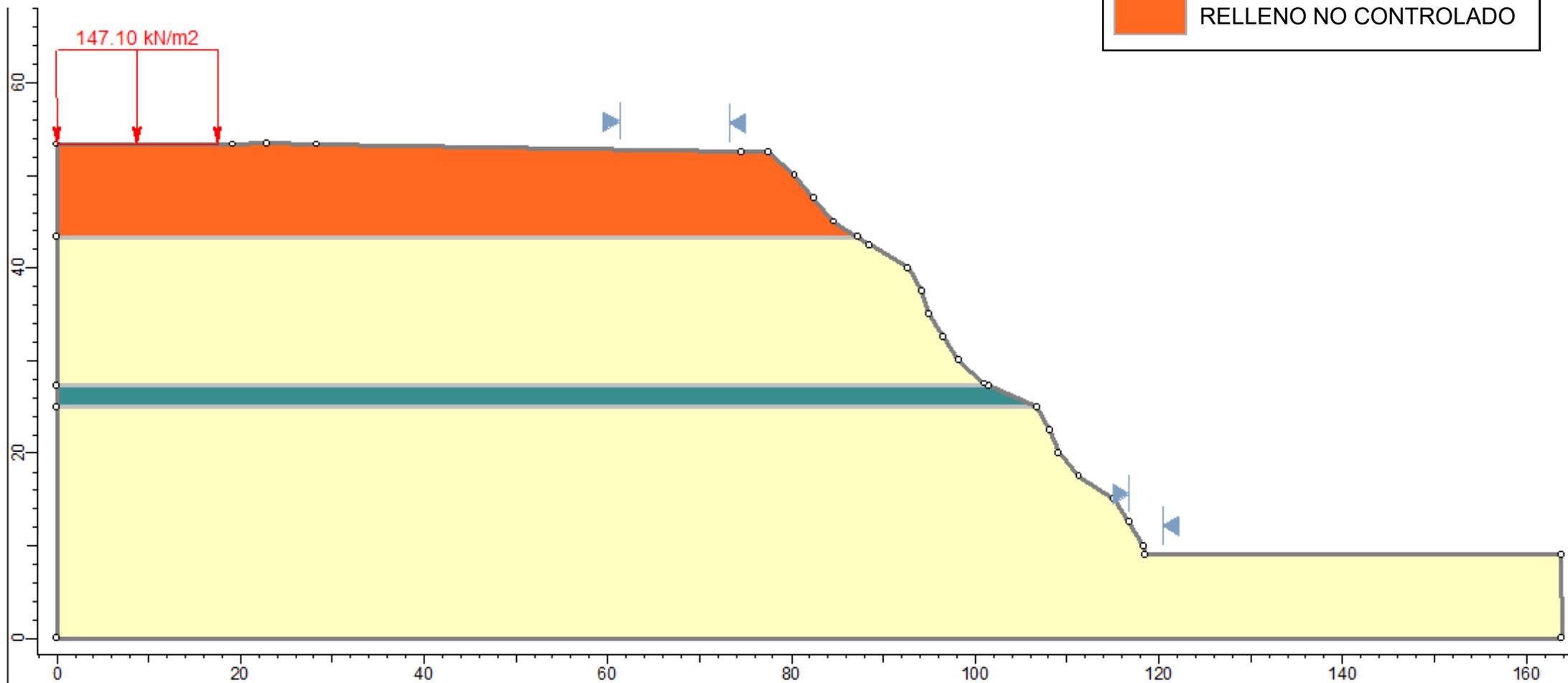
0.22



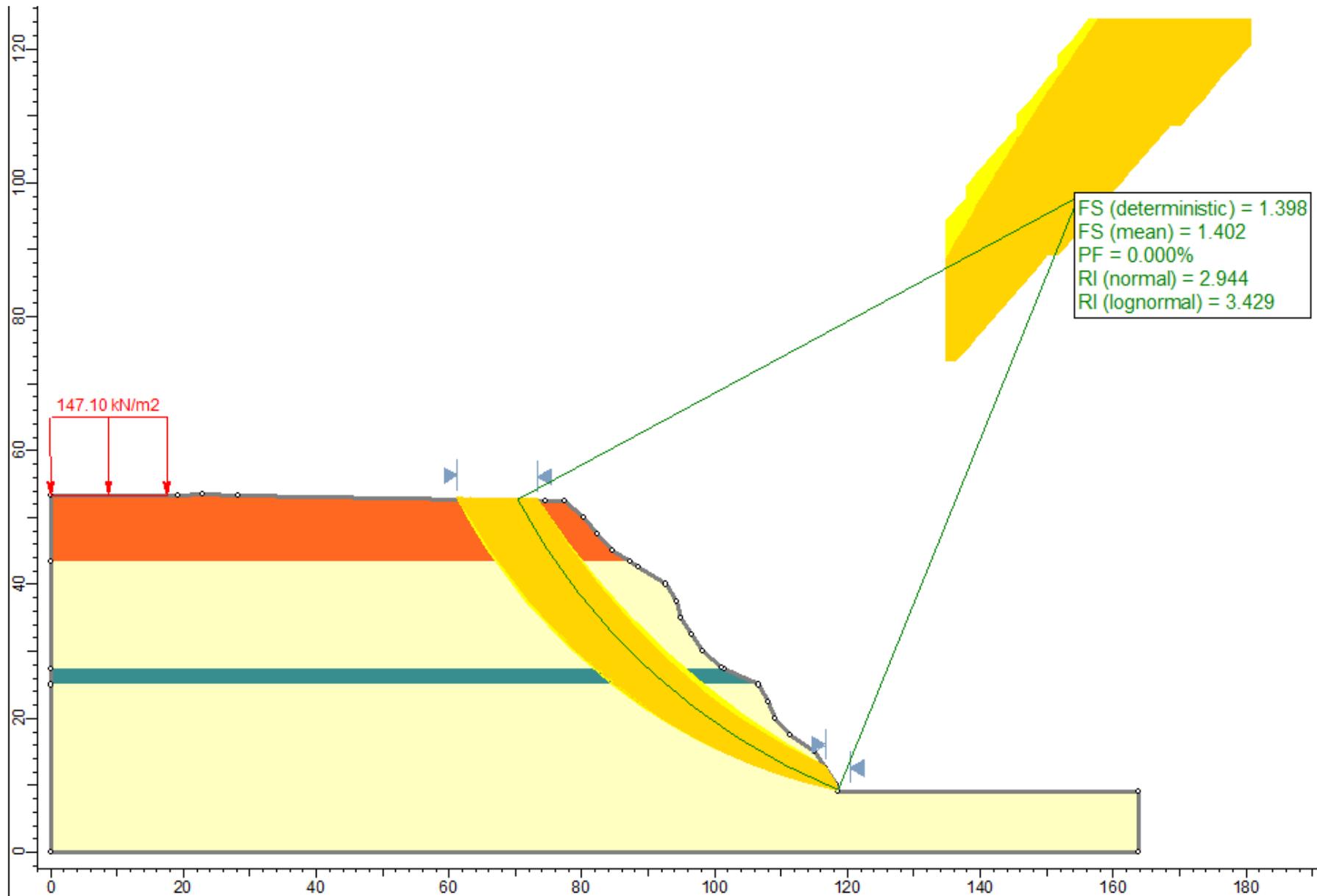
SM_2

LEYENDA

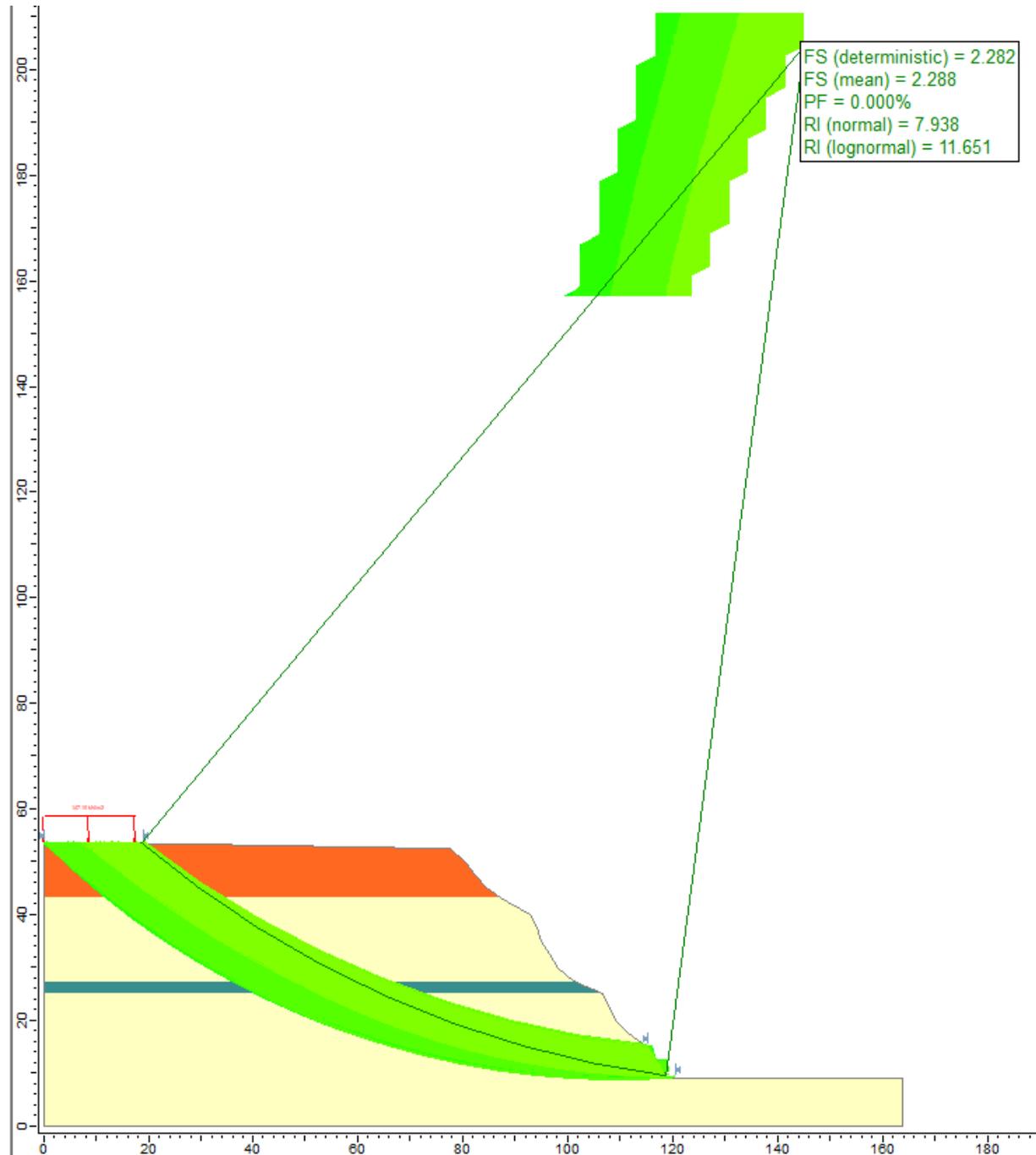
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO



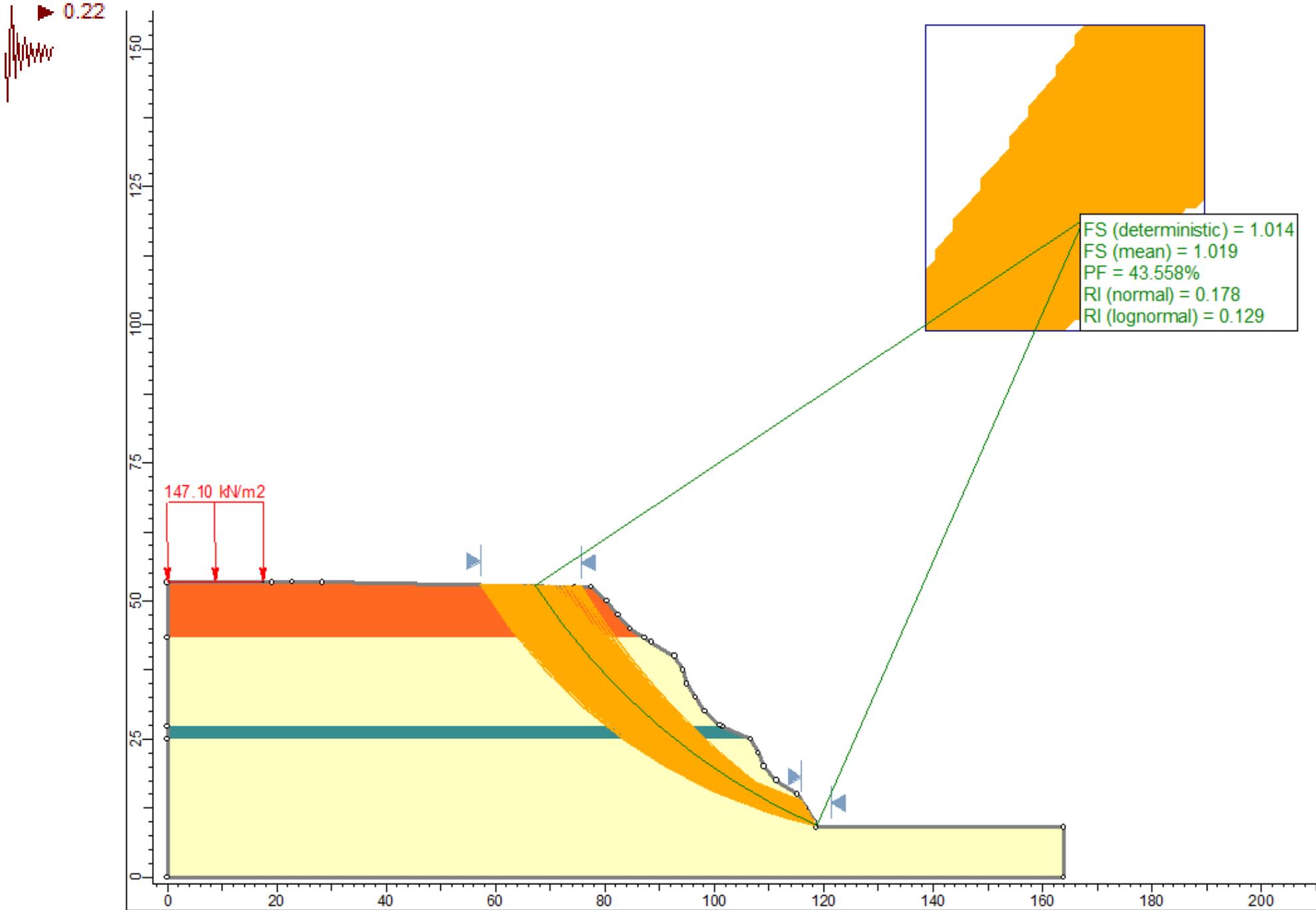
Falla circular – caso estático



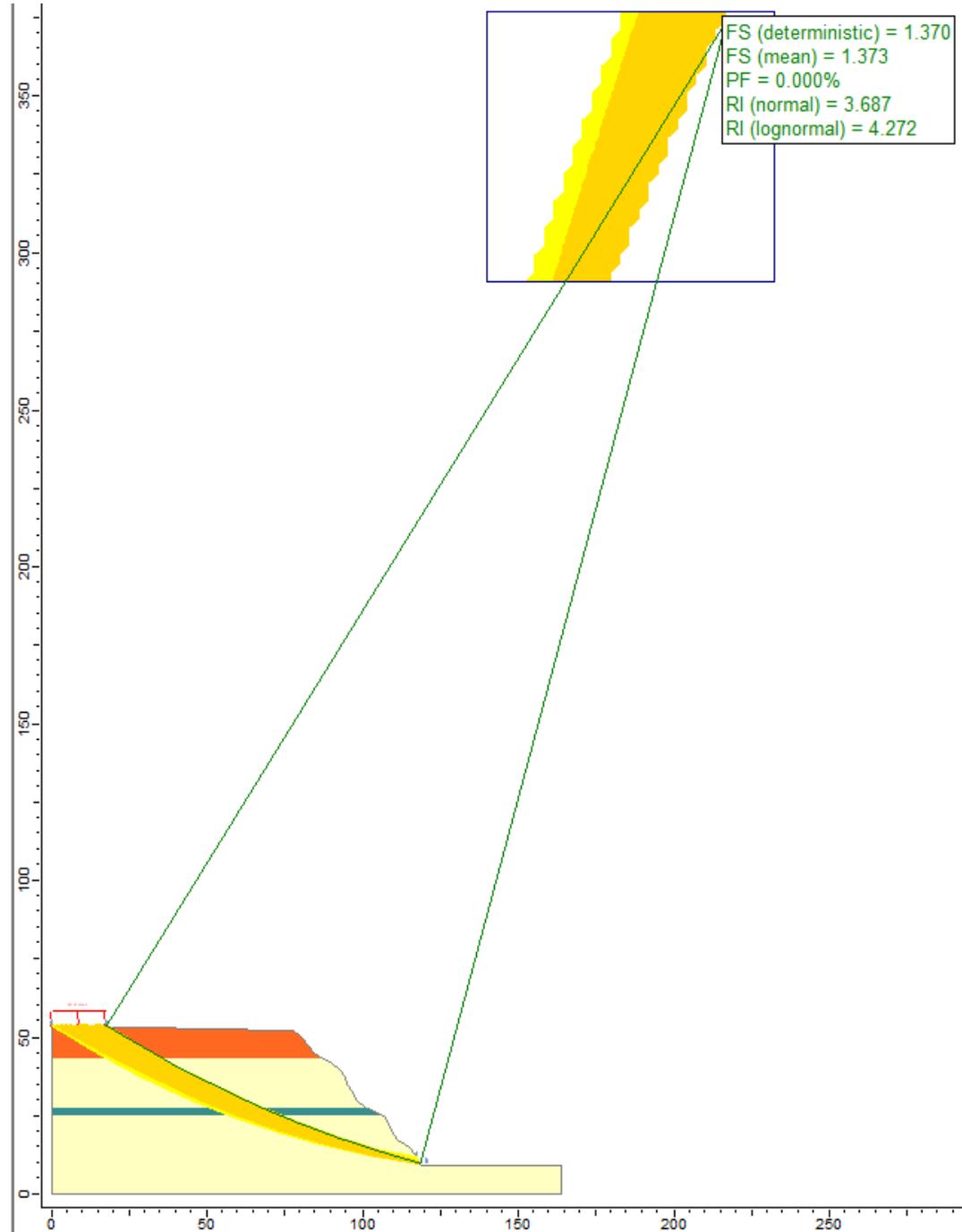
Falla circular – caso estático



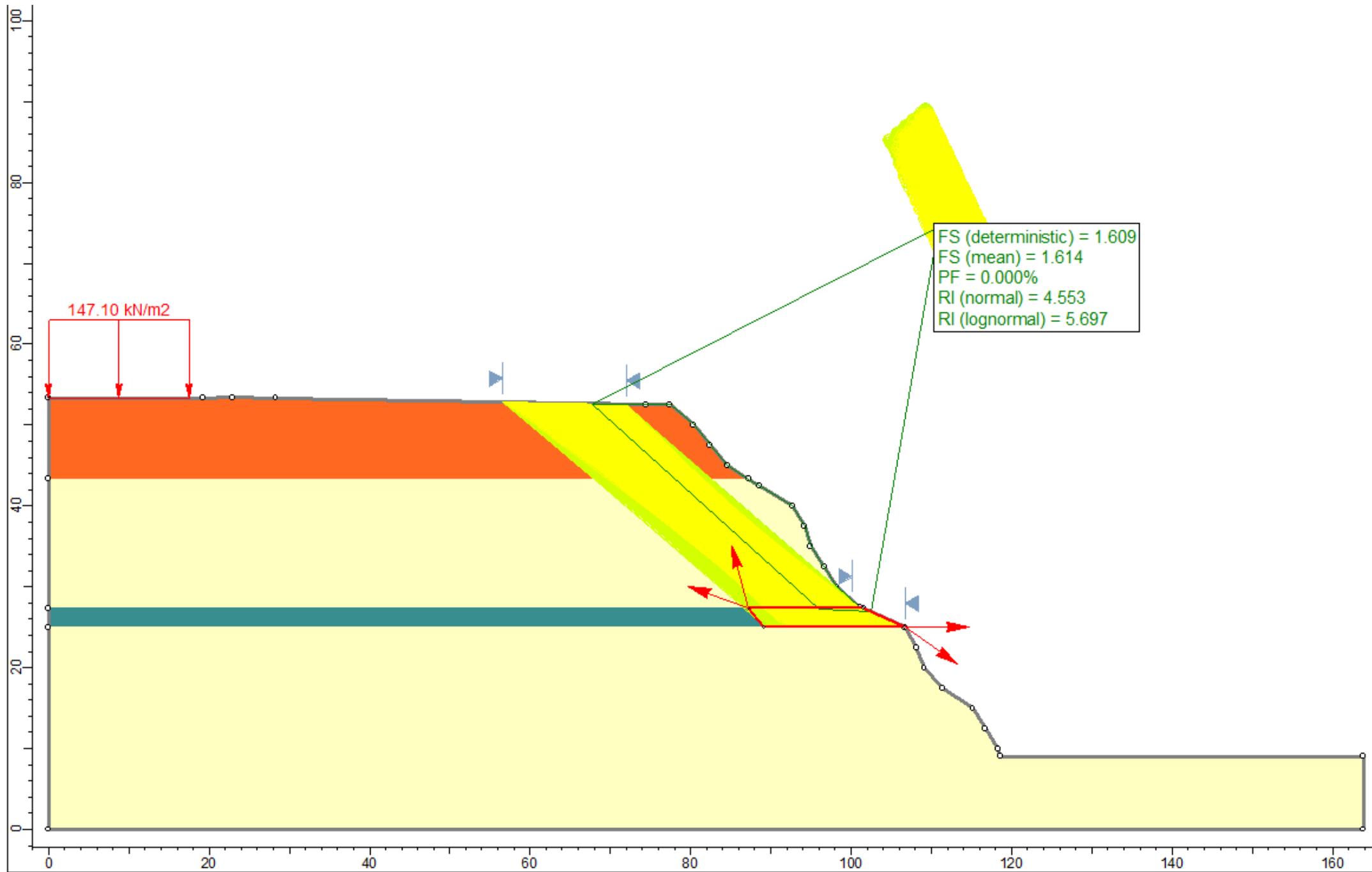
Falla circular – caso pseudo estático



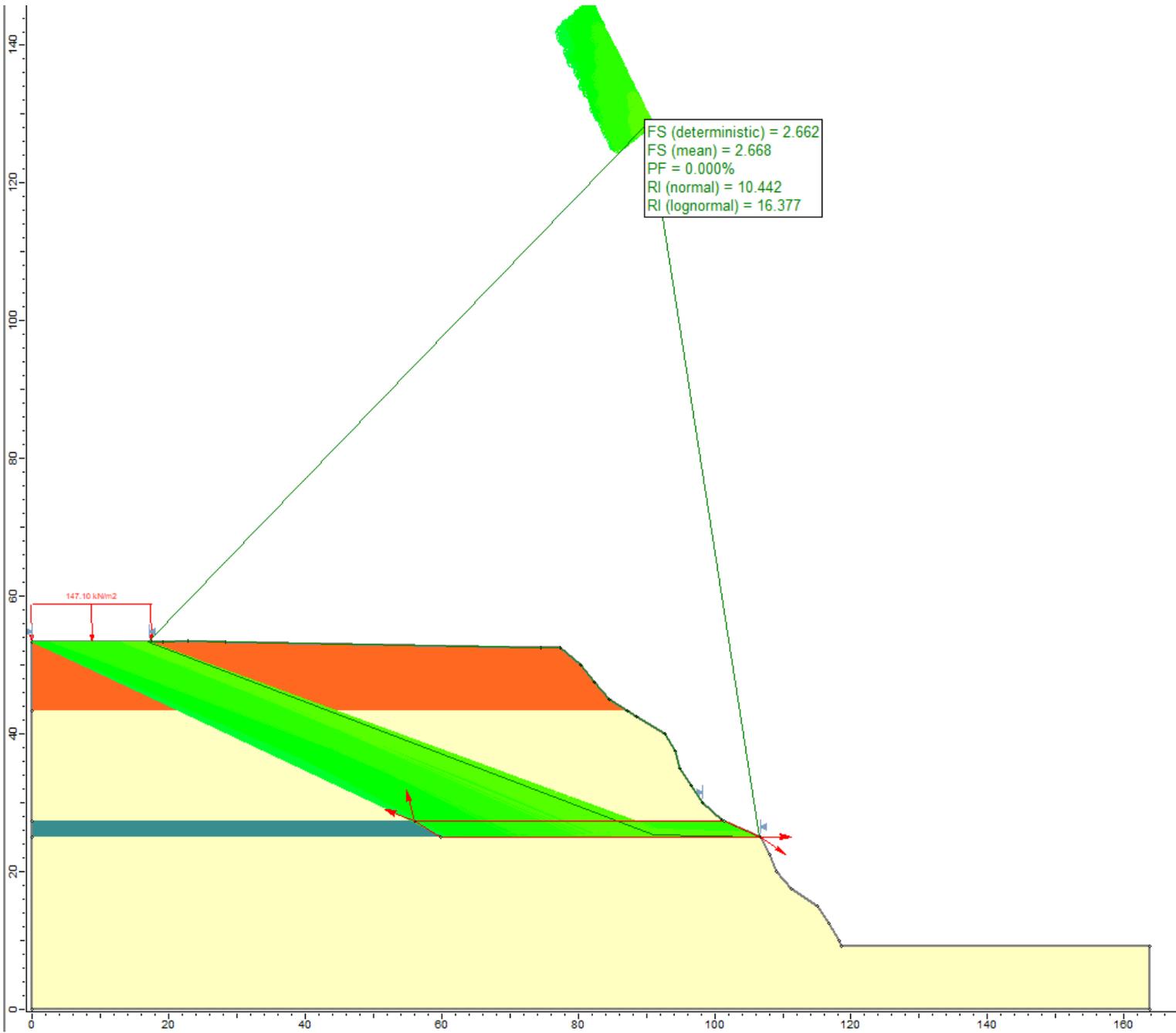
Falla circular – caso pseudo estático



Falla en bloque – caso estático

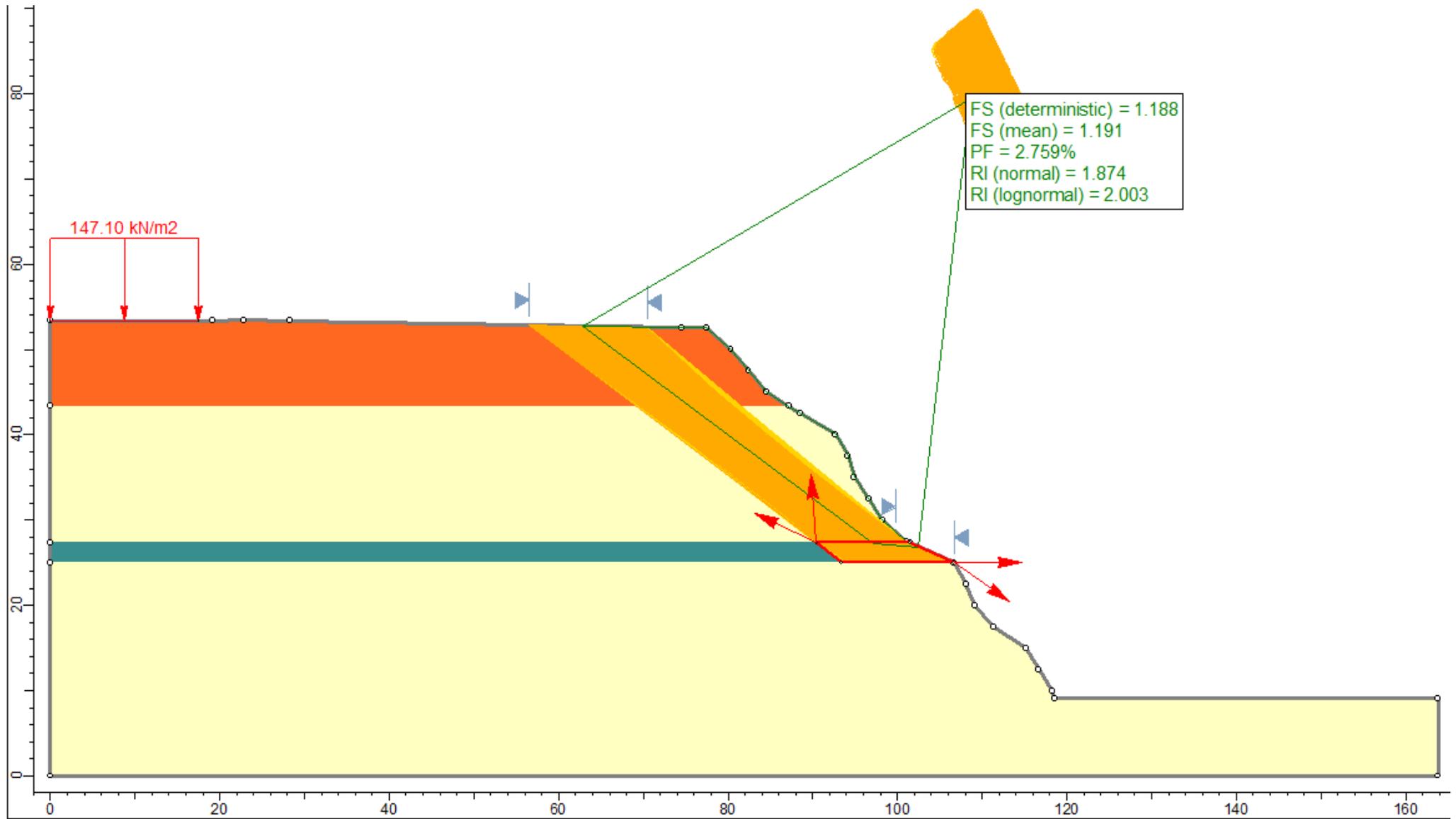


Falla en bloque – caso estático



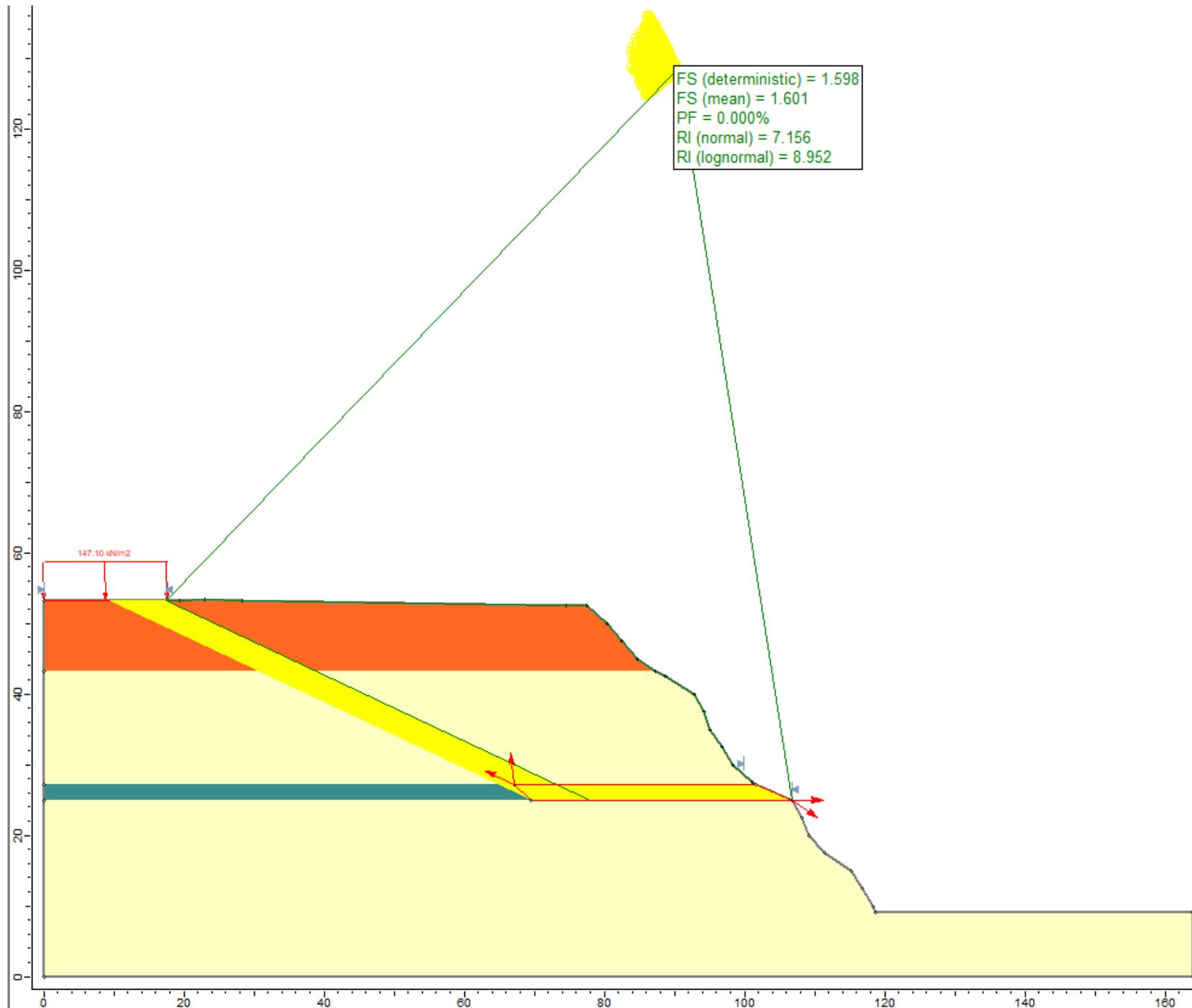
Falla en bloque – caso pseudo estático

0.22



FS (deterministic) = 1.188
FS (mean) = 1.191
PF = 2.759%
RI (normal) = 1.874
RI (lognormal) = 2.003

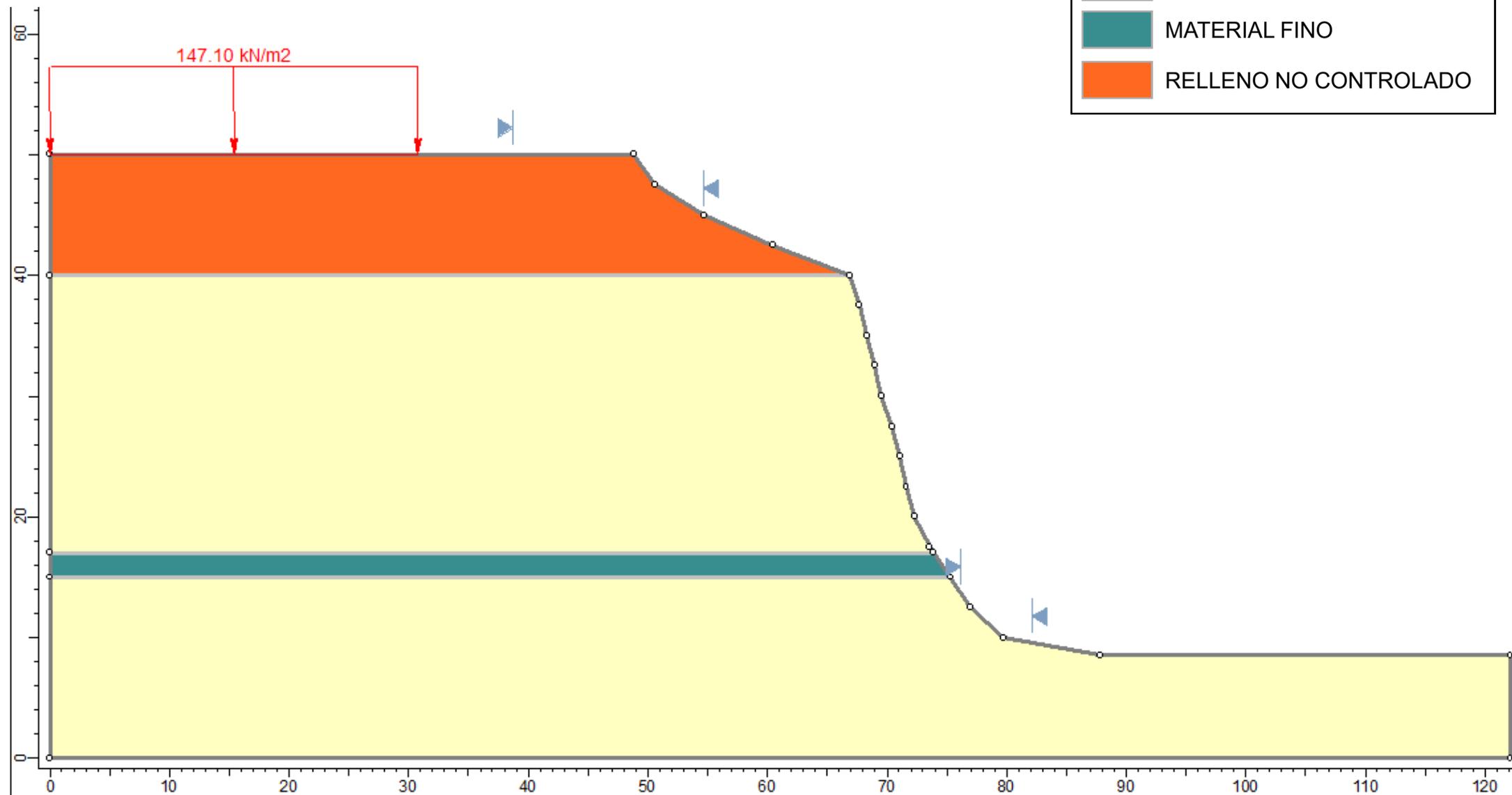
Falla en bloque – caso pseudo estático



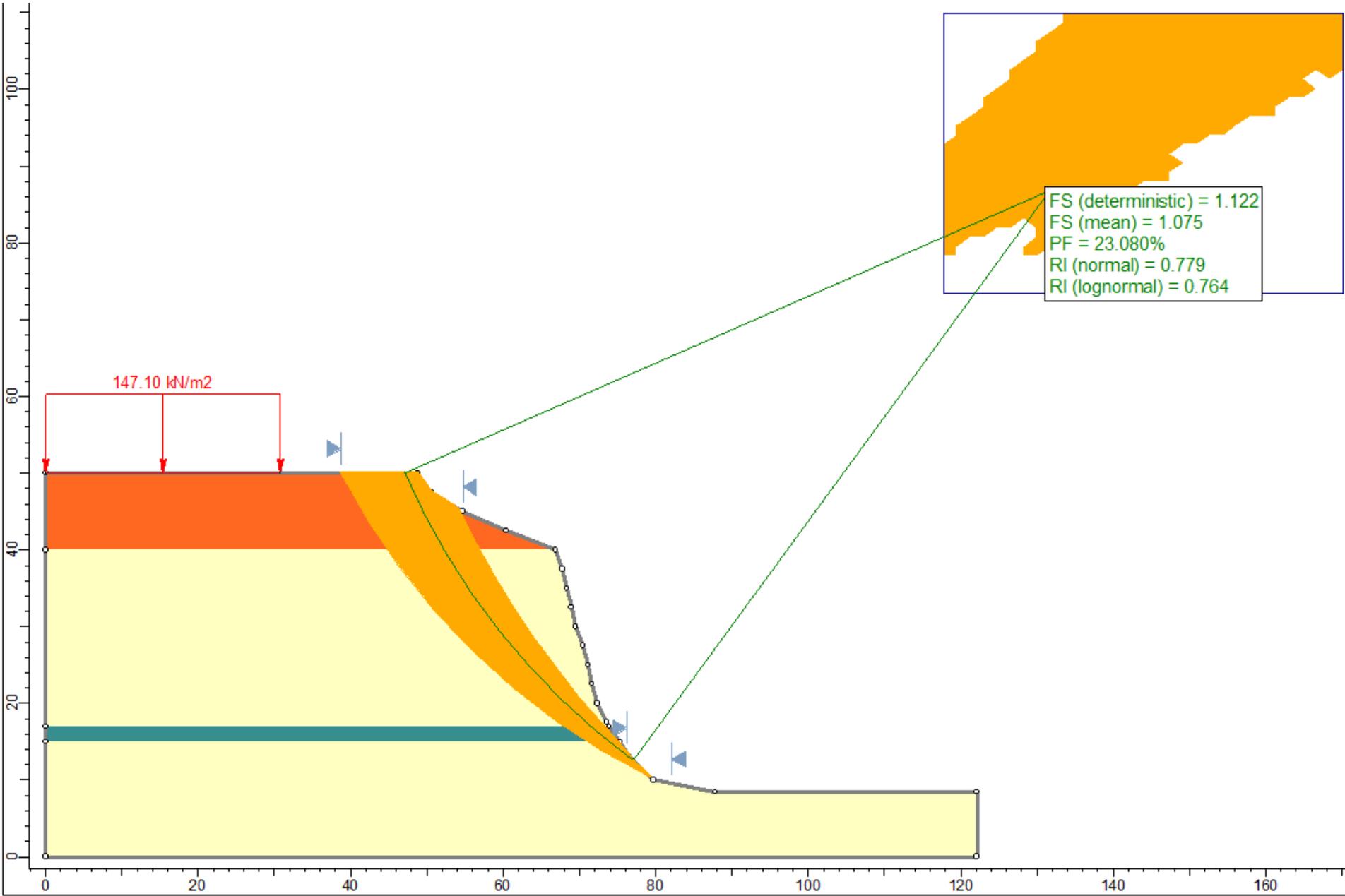
SM_3

LEYENDA

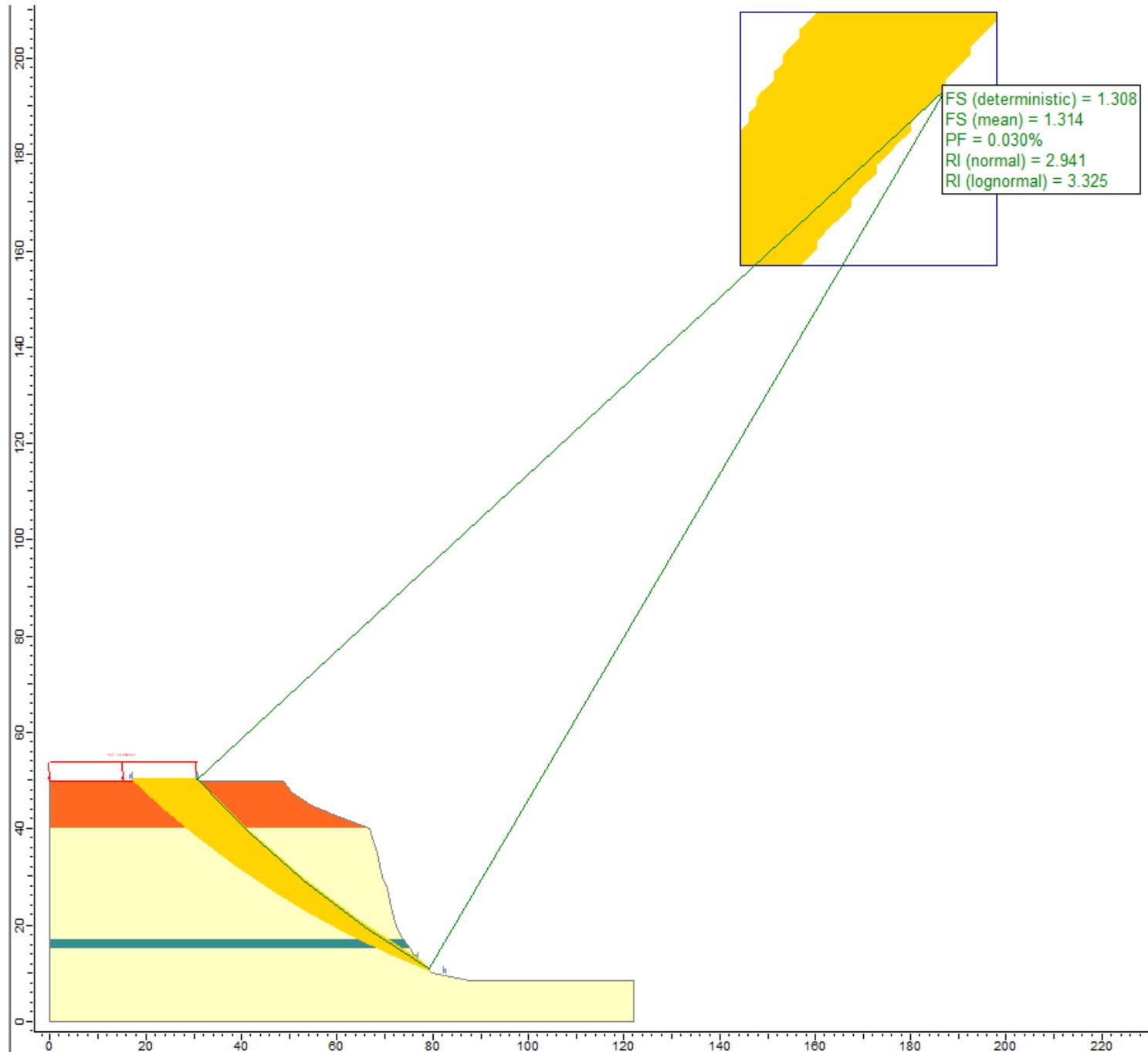
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO



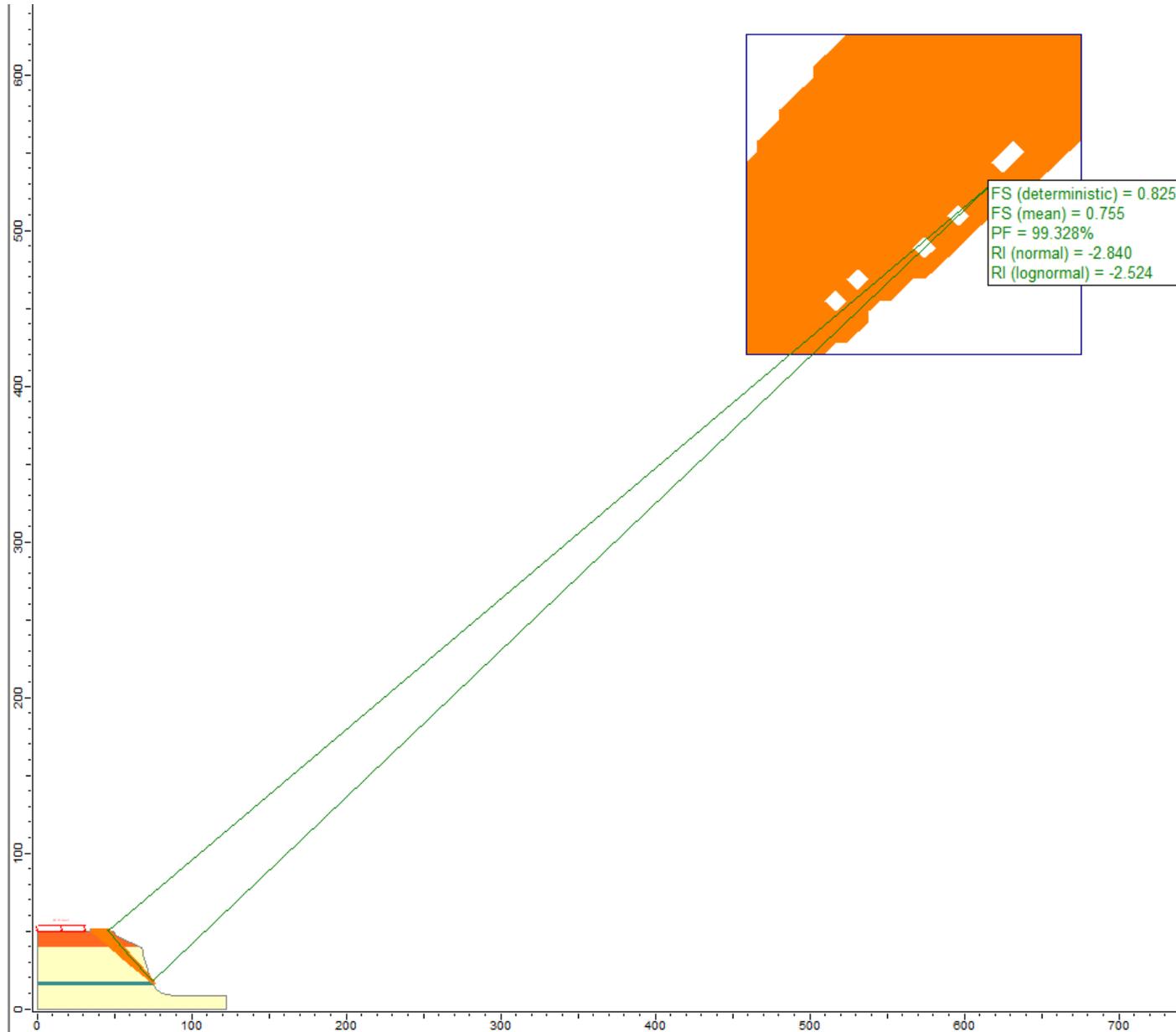
Falla circular - caso estático



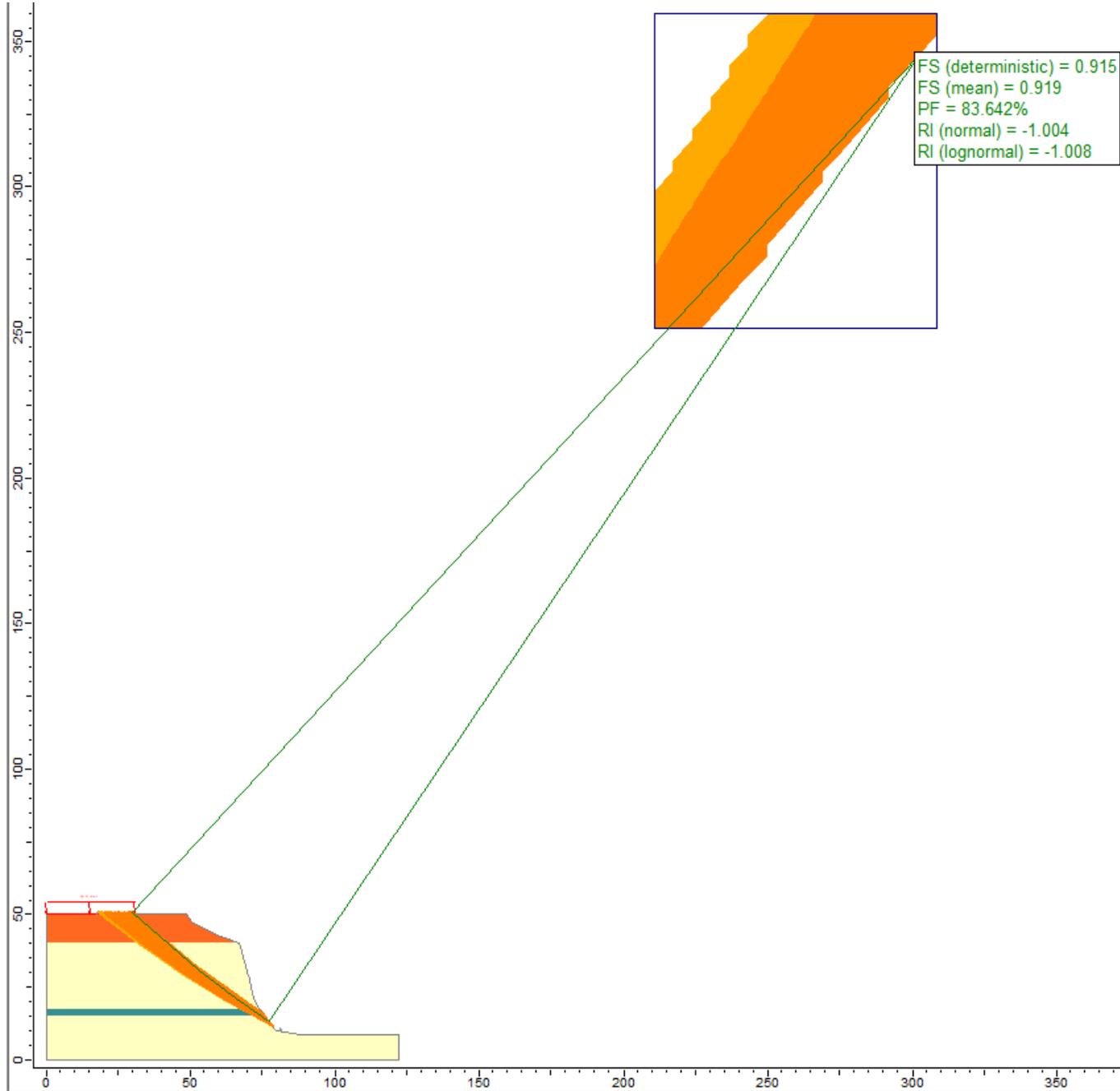
Falla circular - caso estático



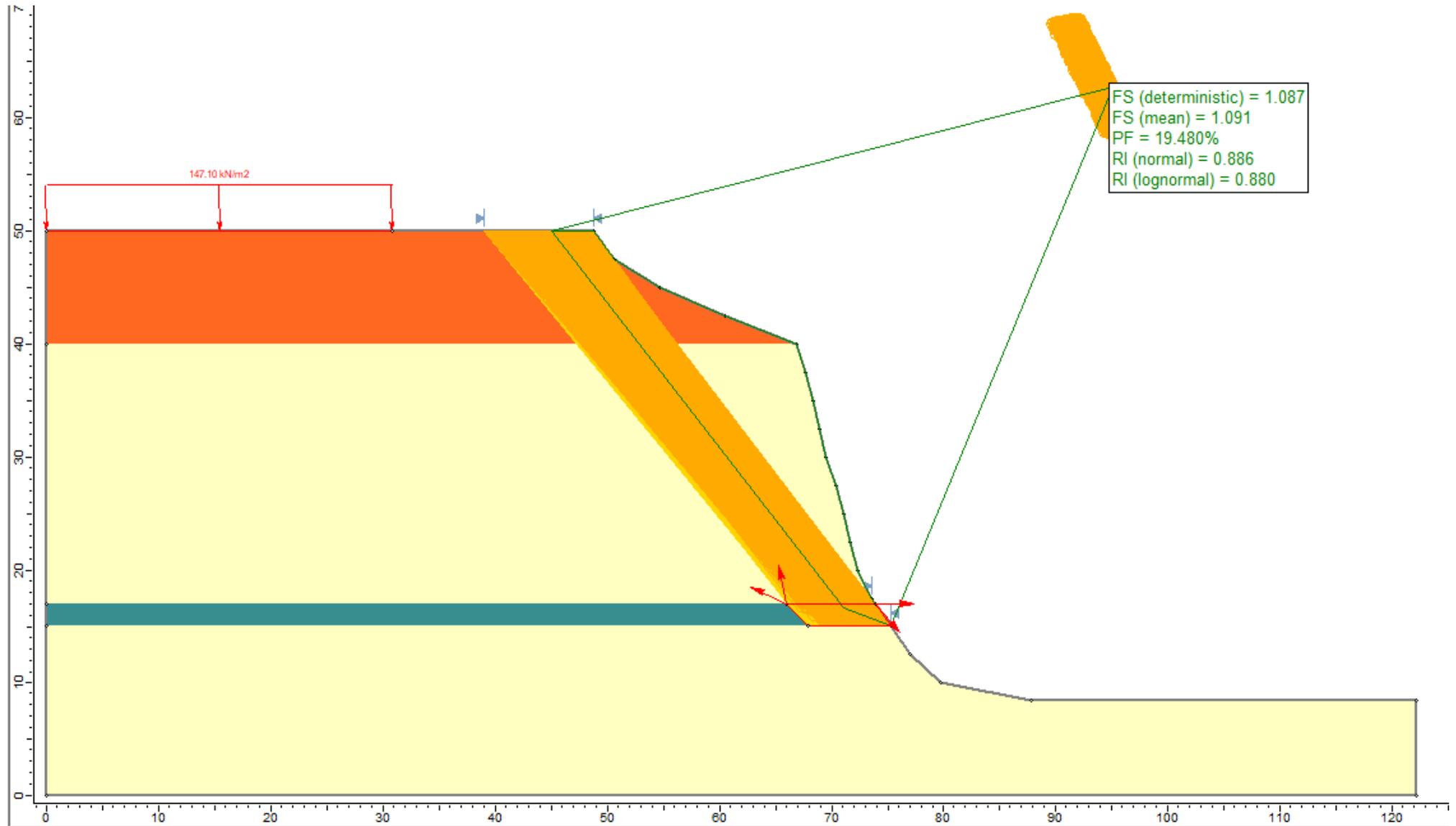
Falla circular - caso pseudo estático



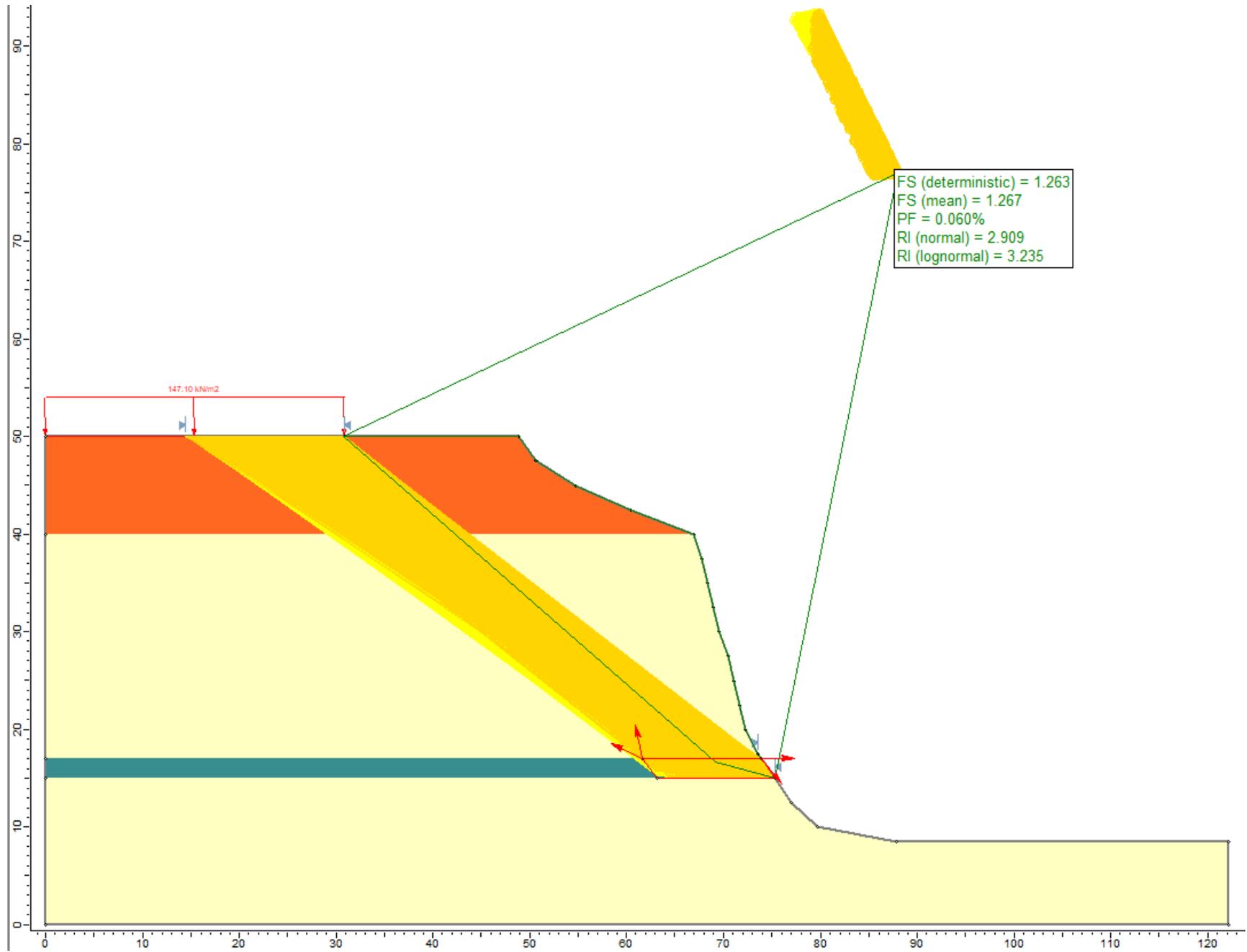
Falla circular - caso pseudo estático



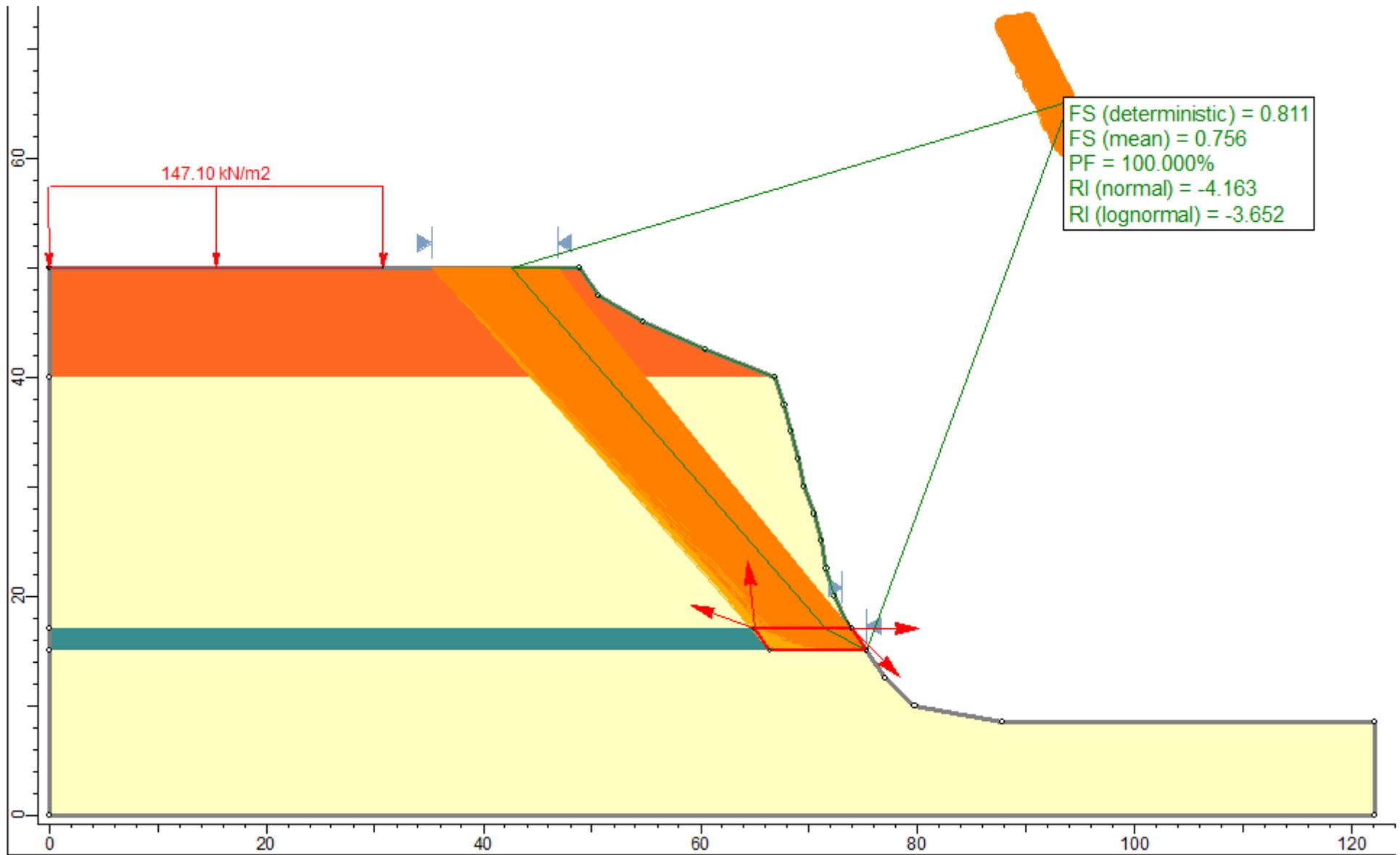
Falla en bloque - caso estático



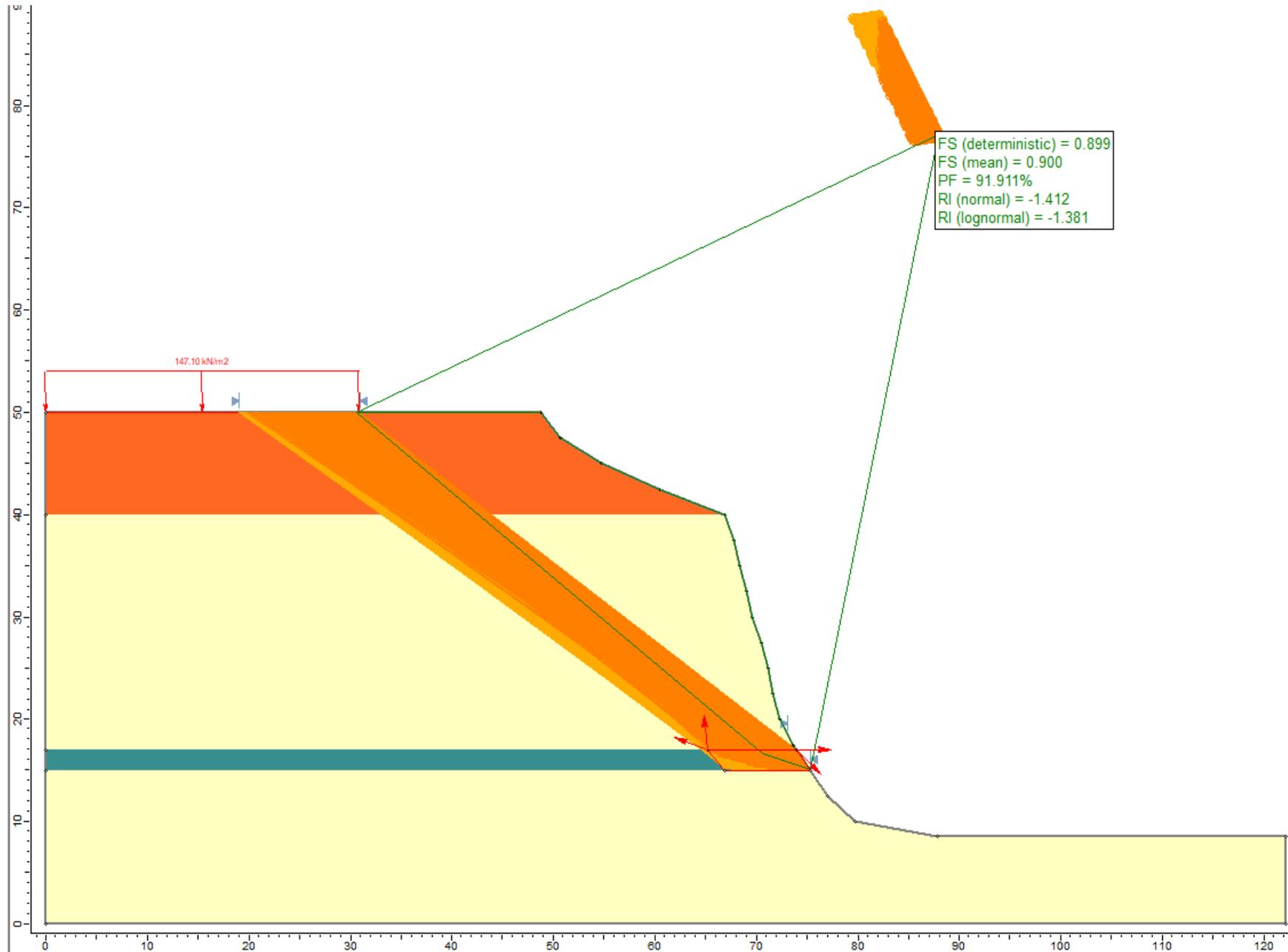
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso pseudo estático

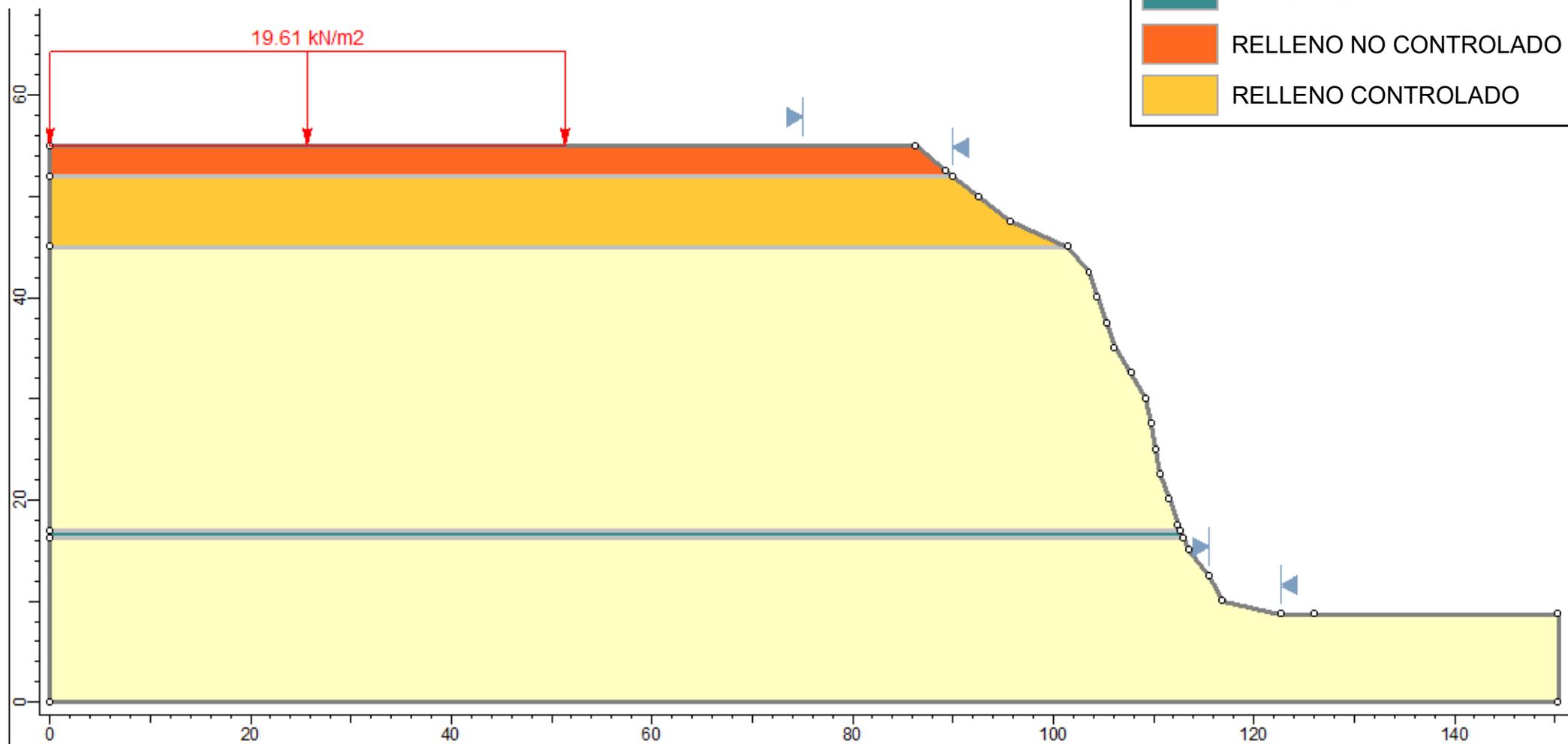


MAGDALENA

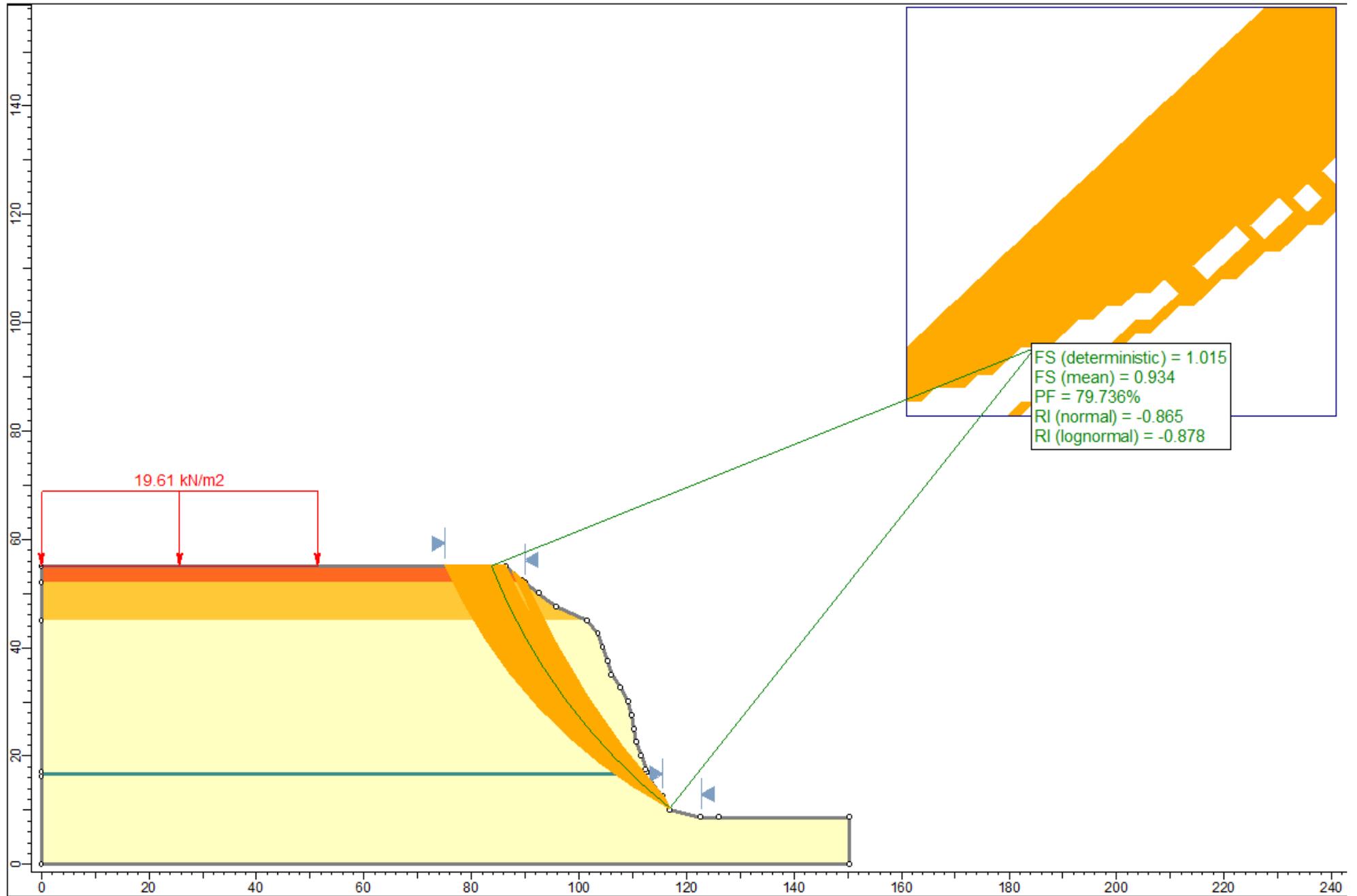
M_1

LEYENDA

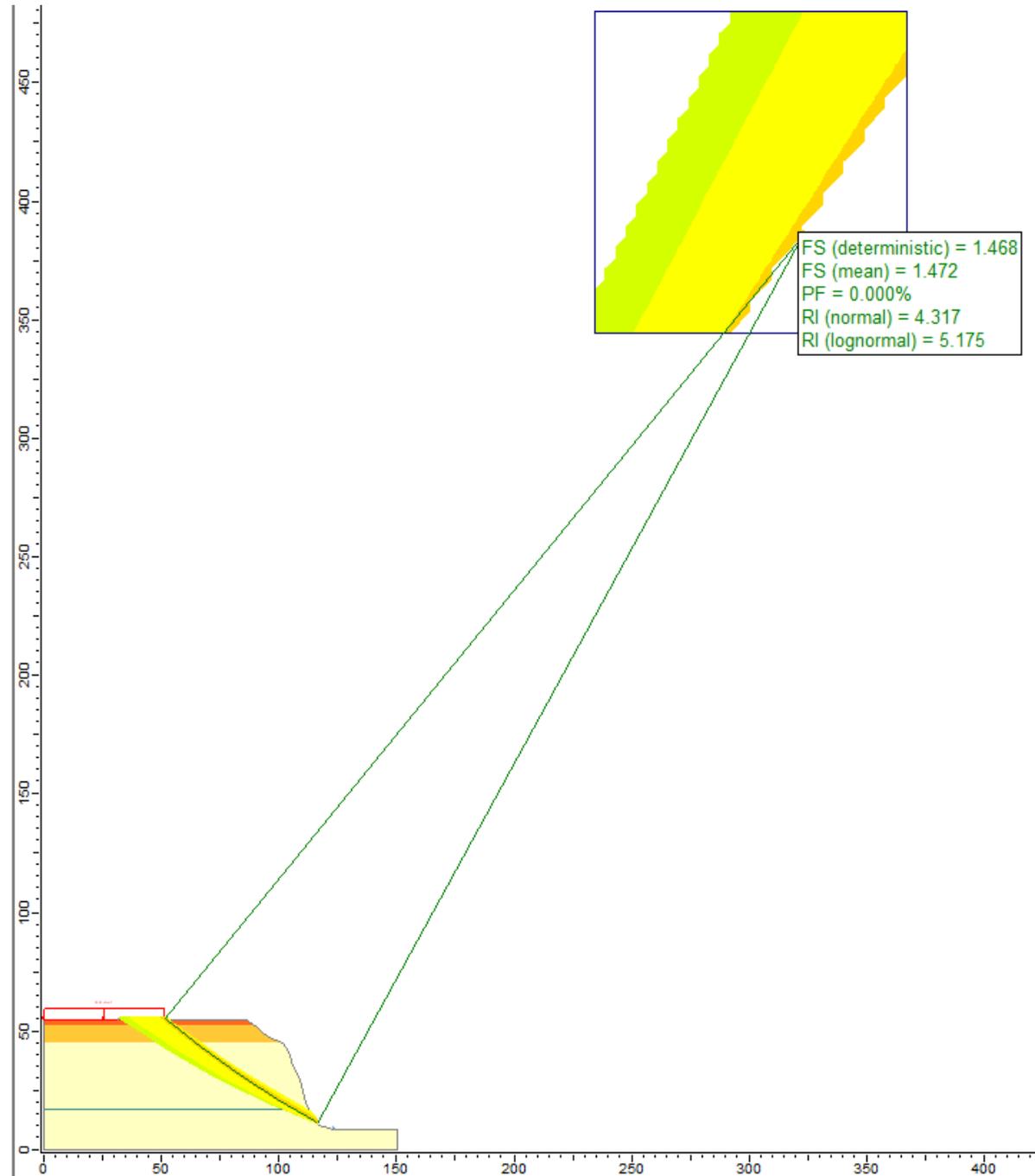
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



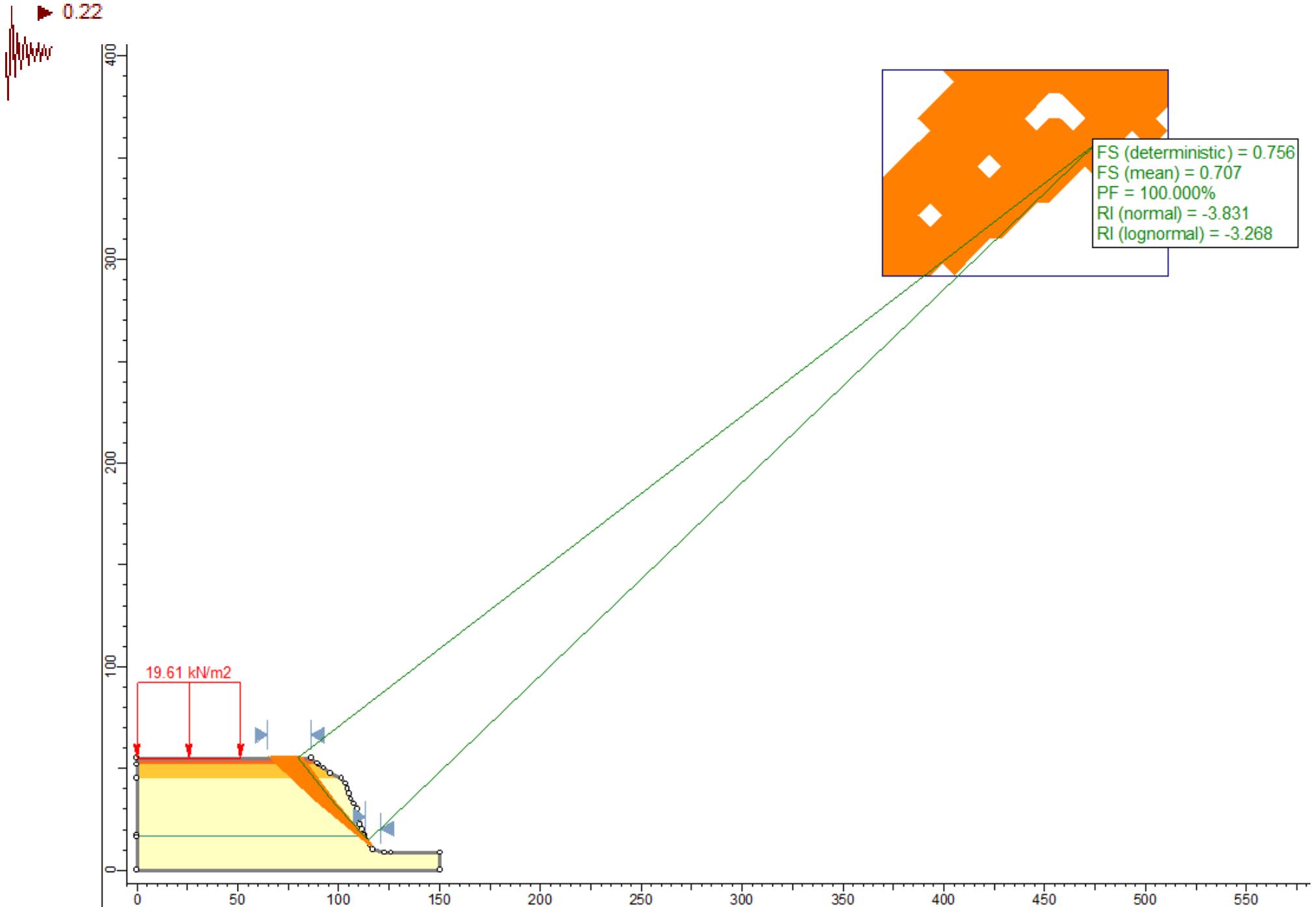
Falla circular - caso estático



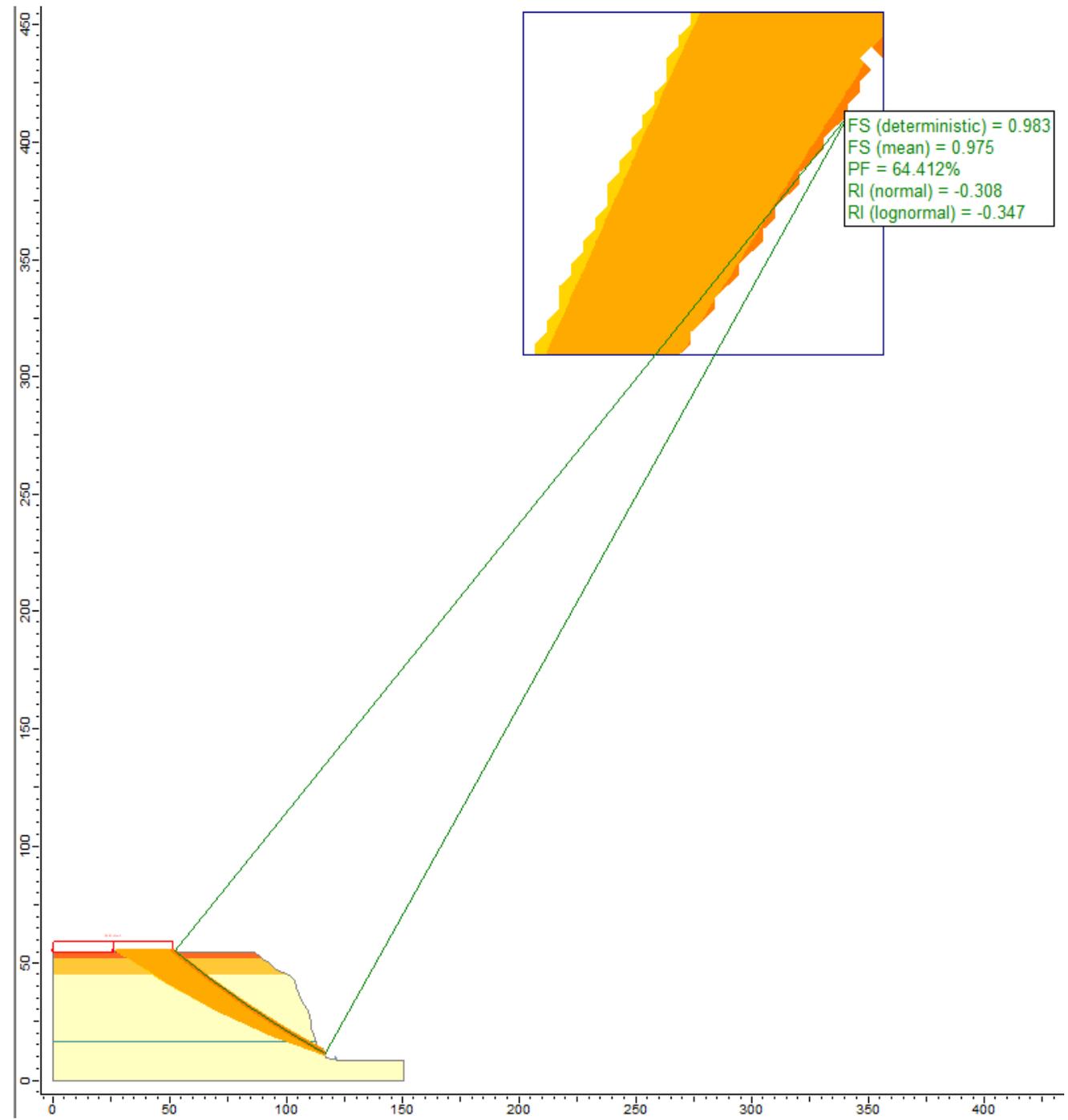
Falla circular - caso estático



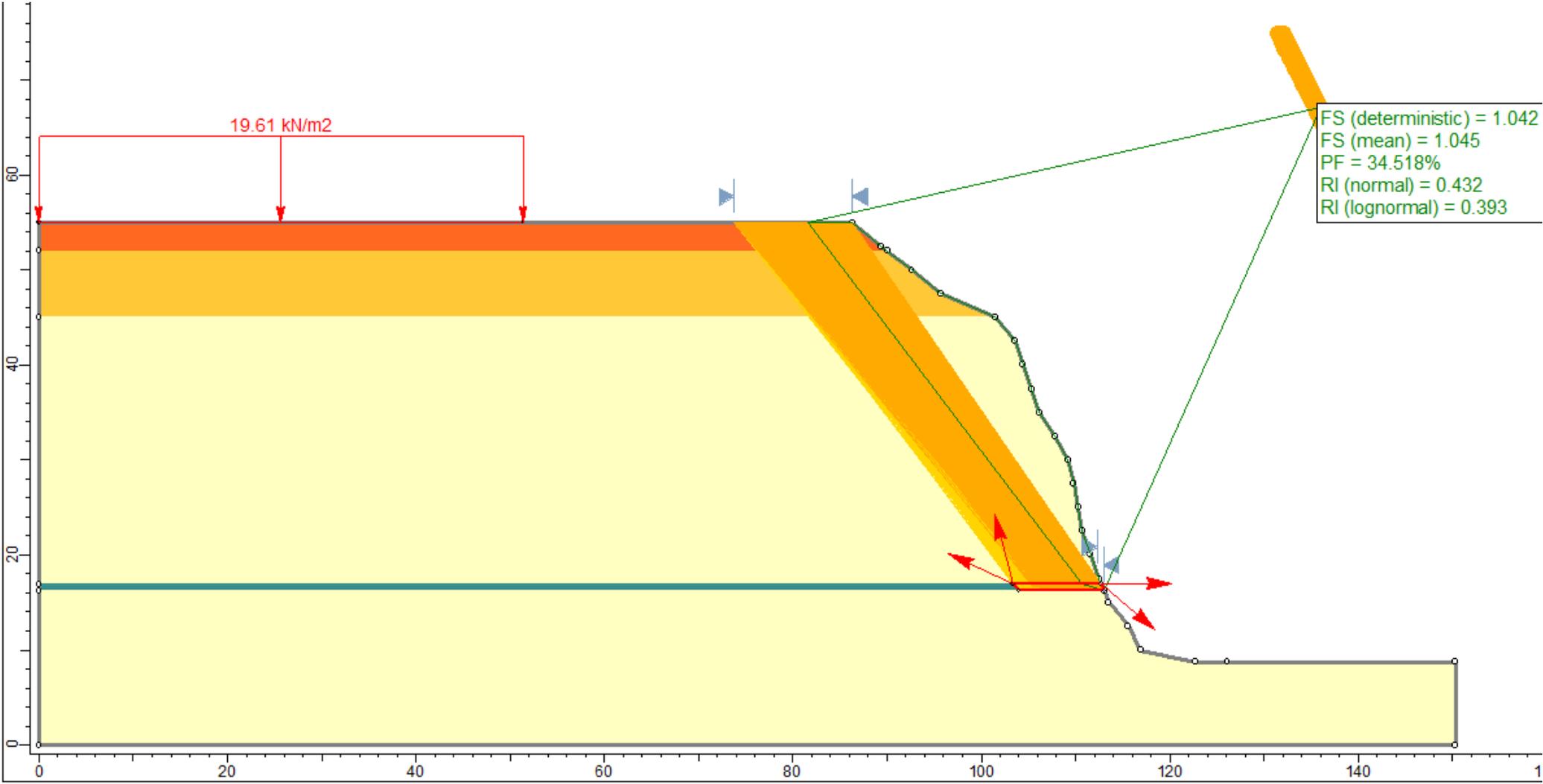
Falla circular - caso pseudo estático



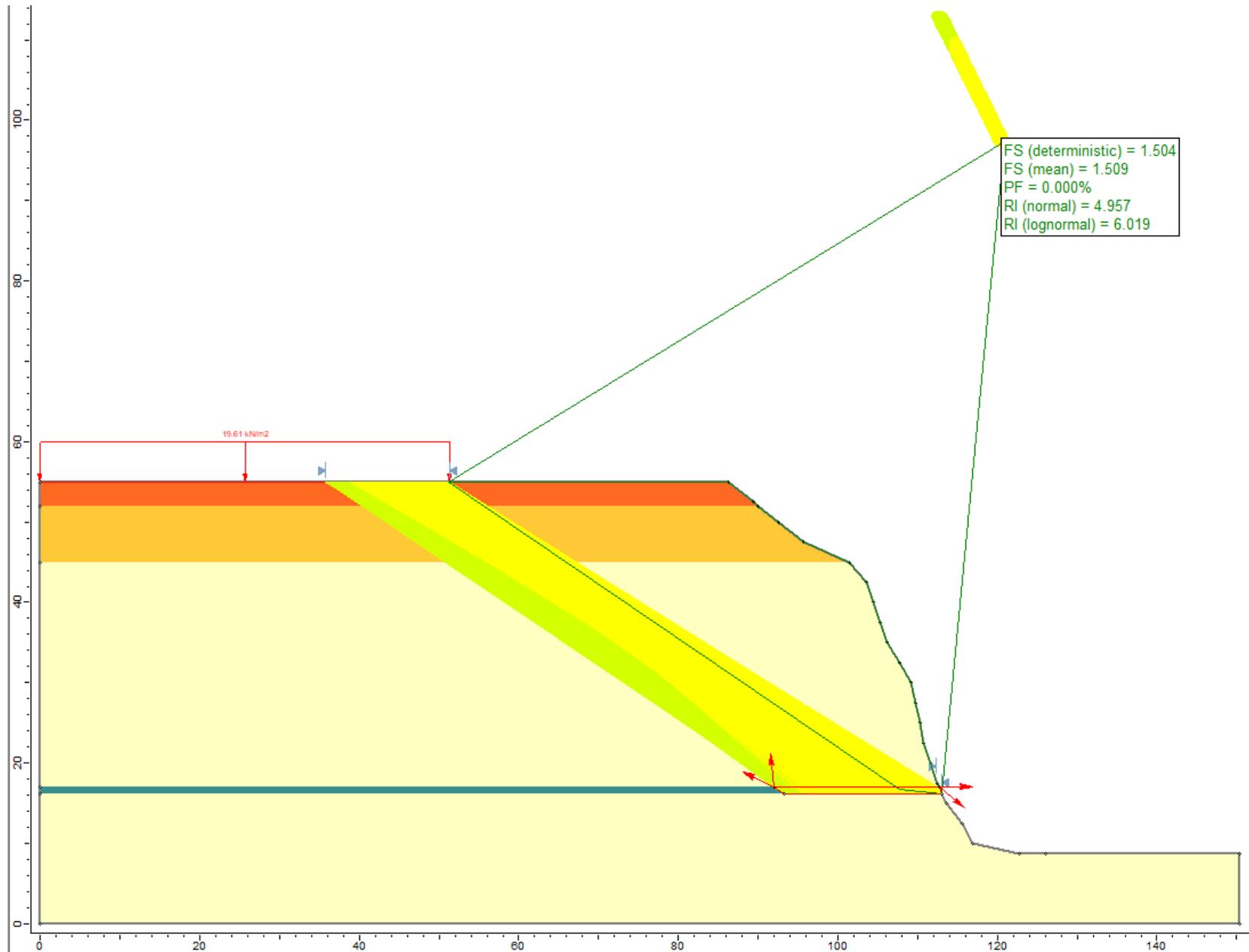
Falla circular - caso pseudo estático



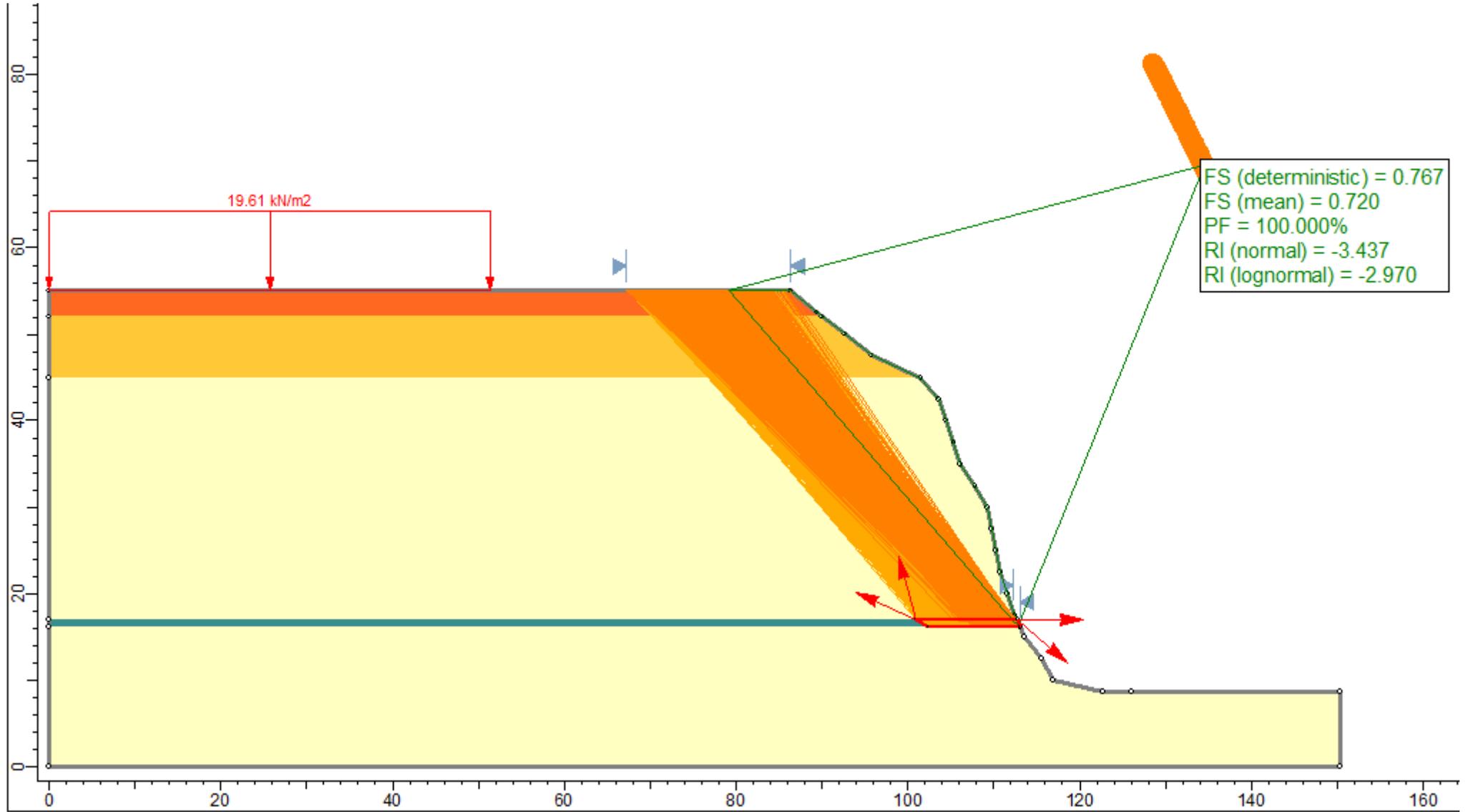
Falla en bloque - caso estático



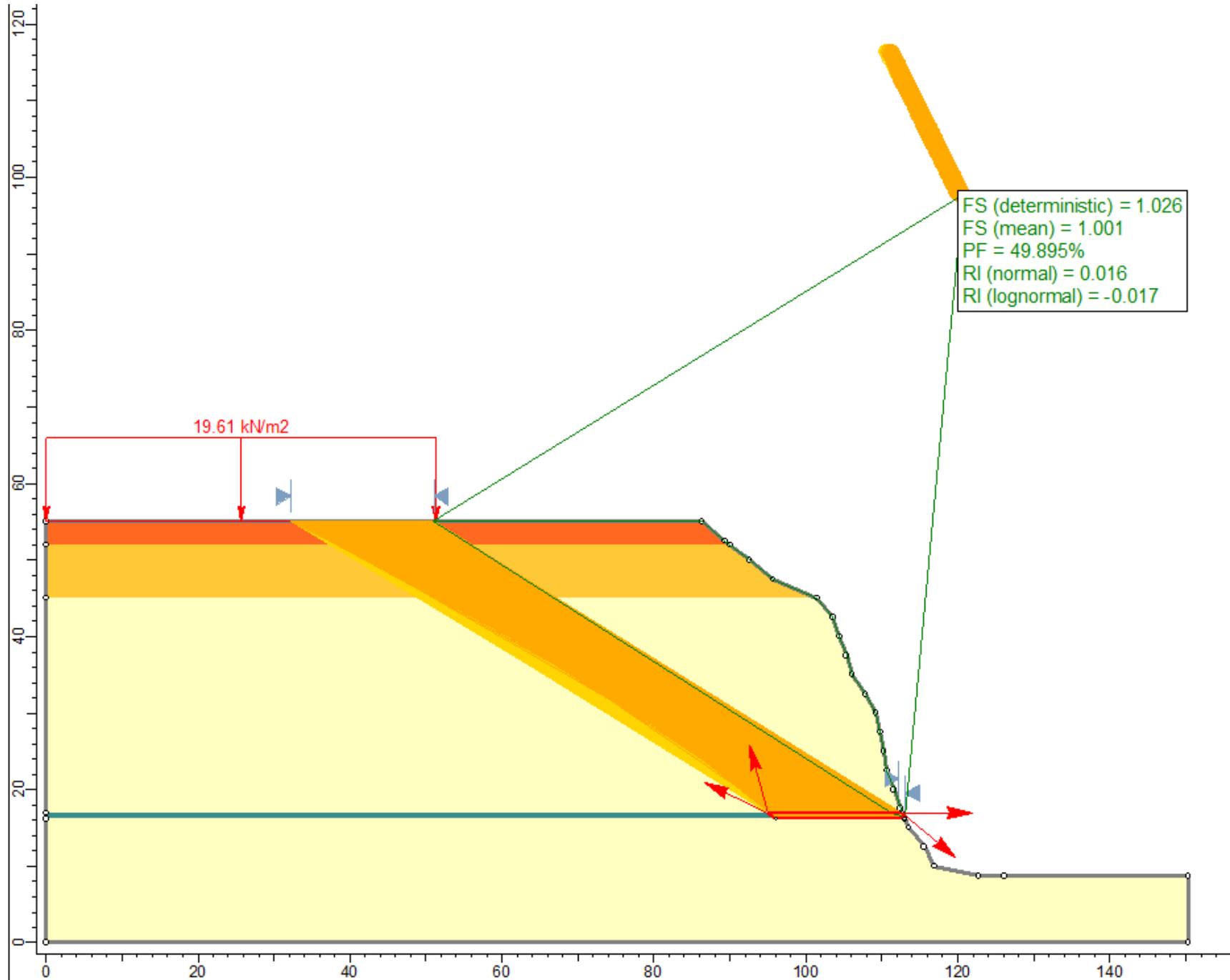
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



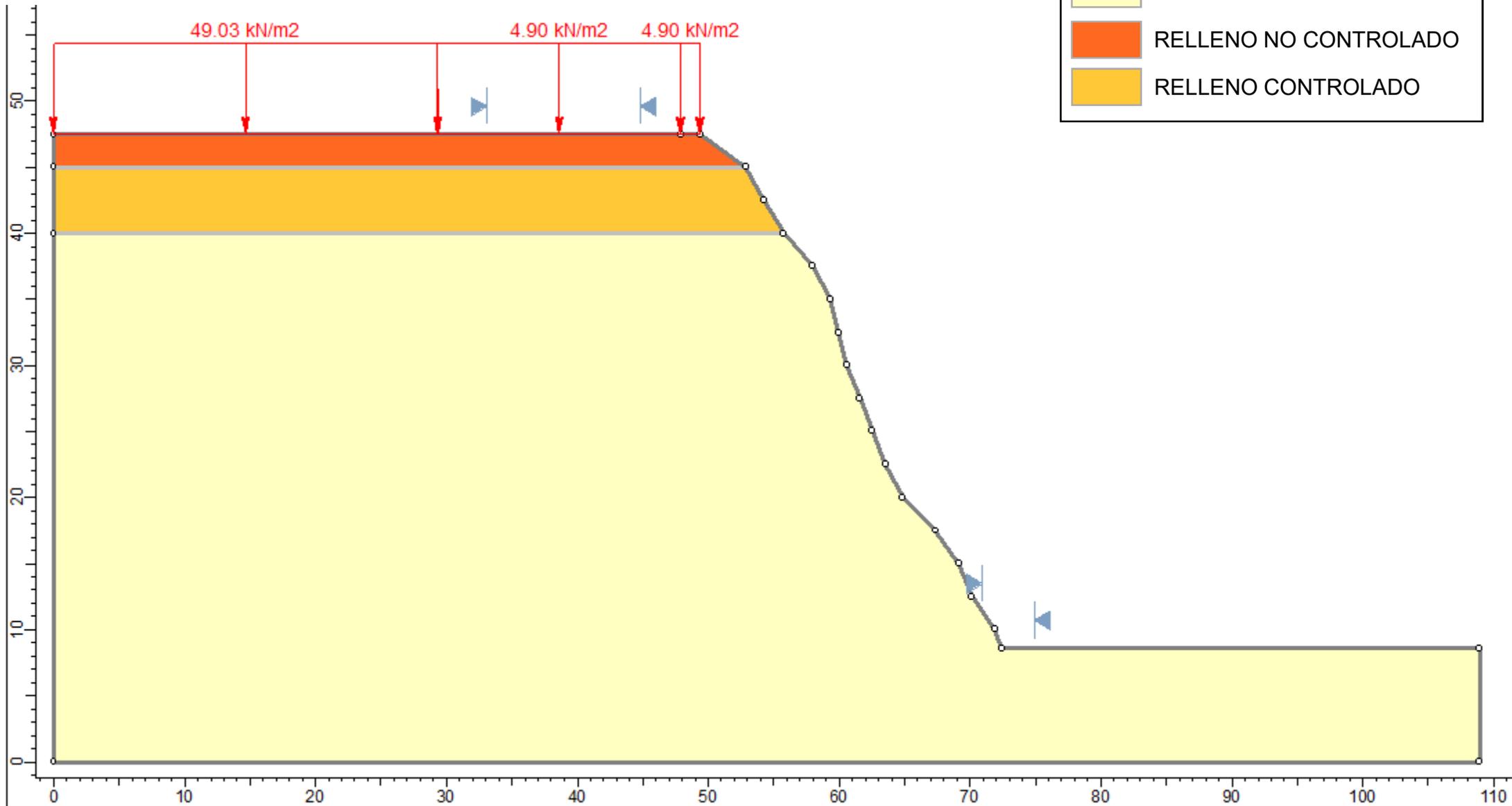
Falla en bloque - caso pseudo estático



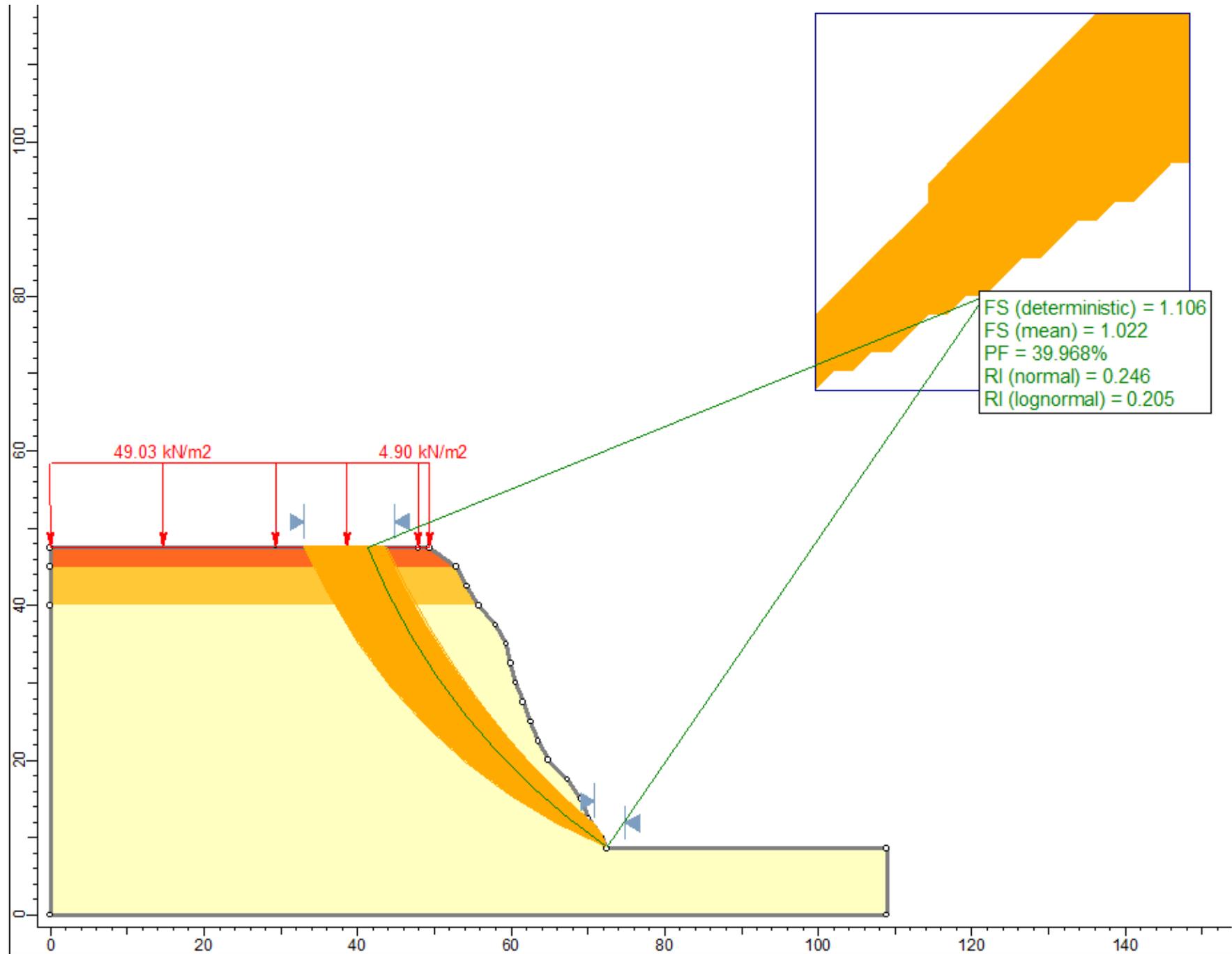
M_2

LEYENDA

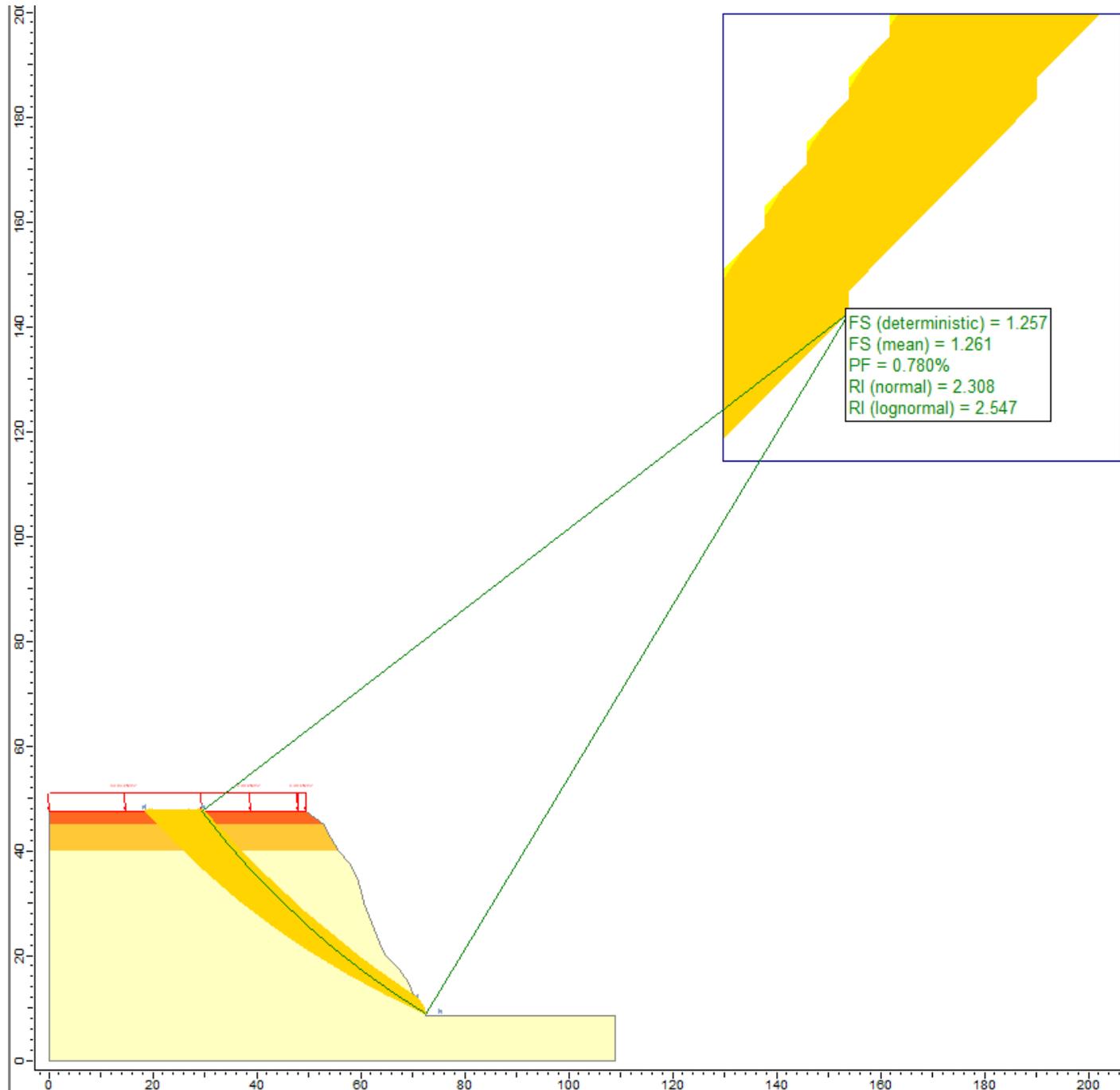
- MATERIAL GRUESO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



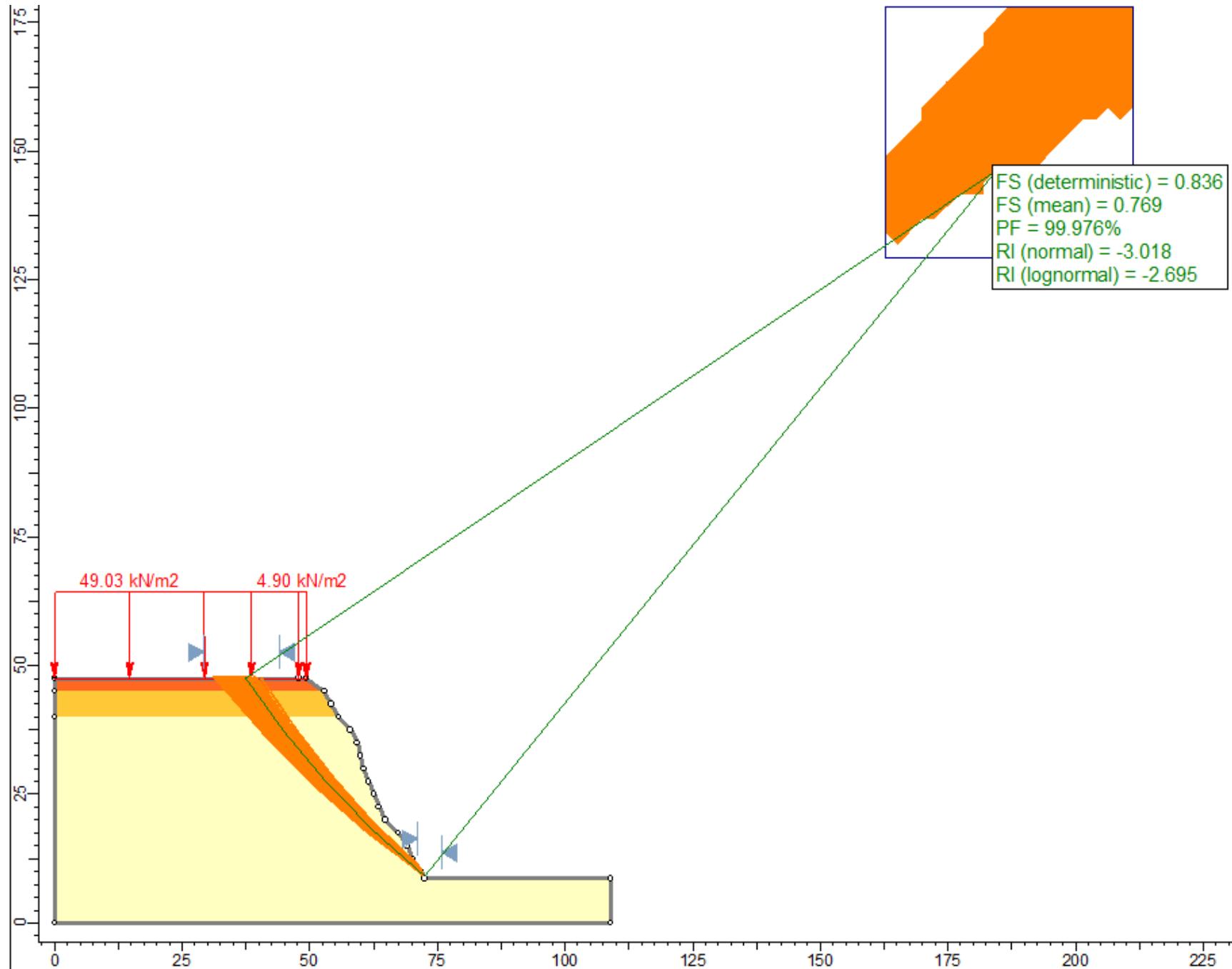
Falla circular - caso estático



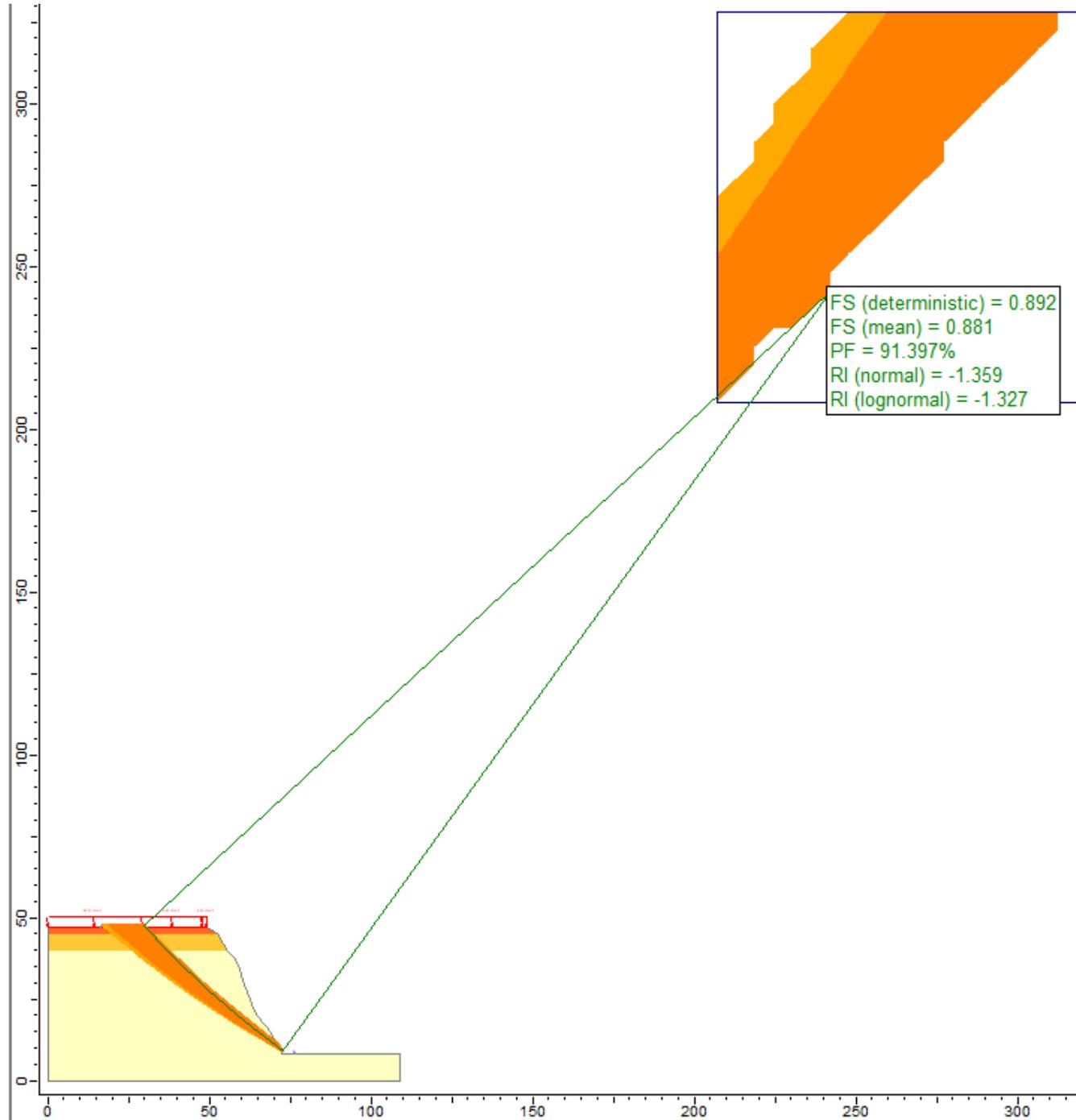
Falla circular - caso estático



Falla circular - caso pseudo estático



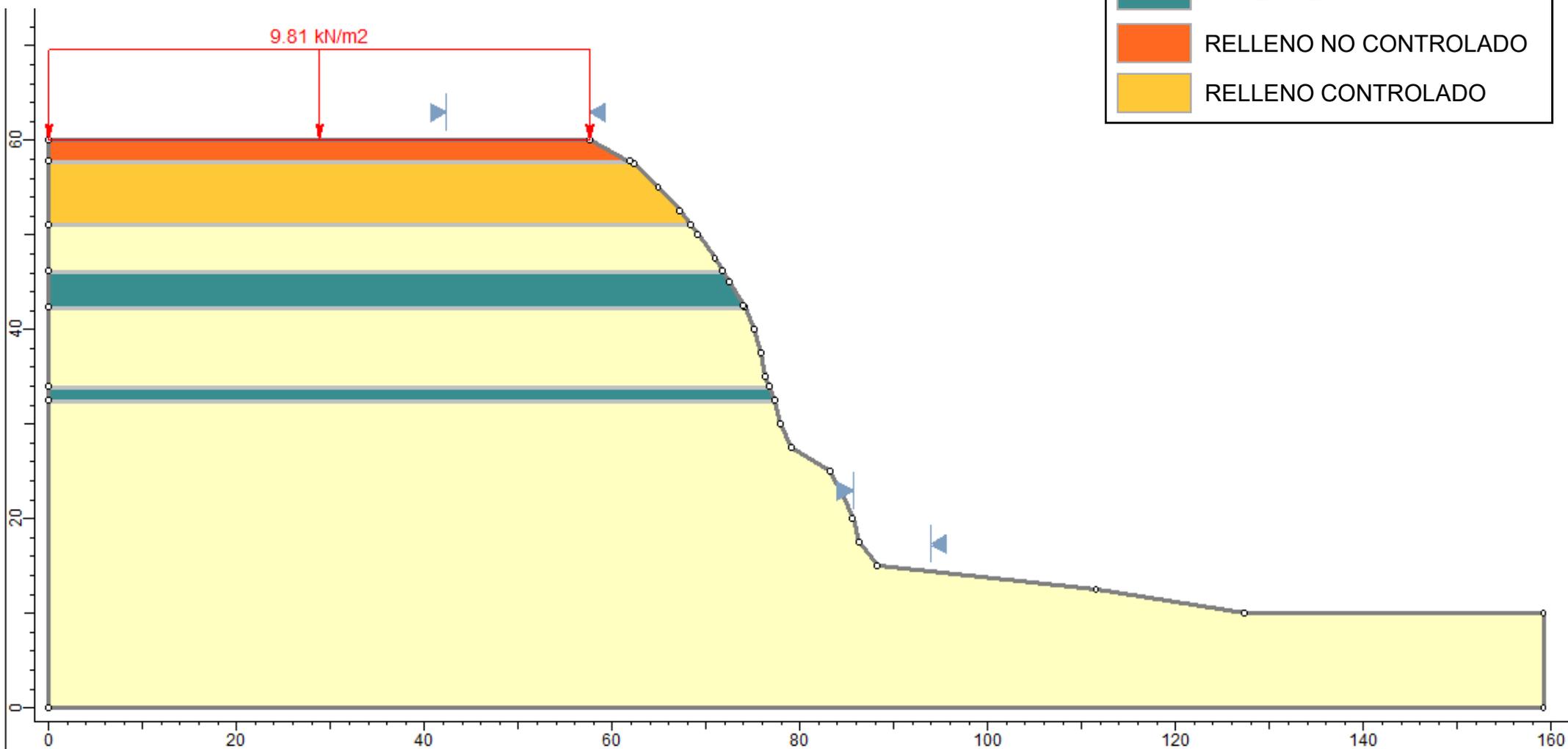
Falla circular - caso pseudo estático



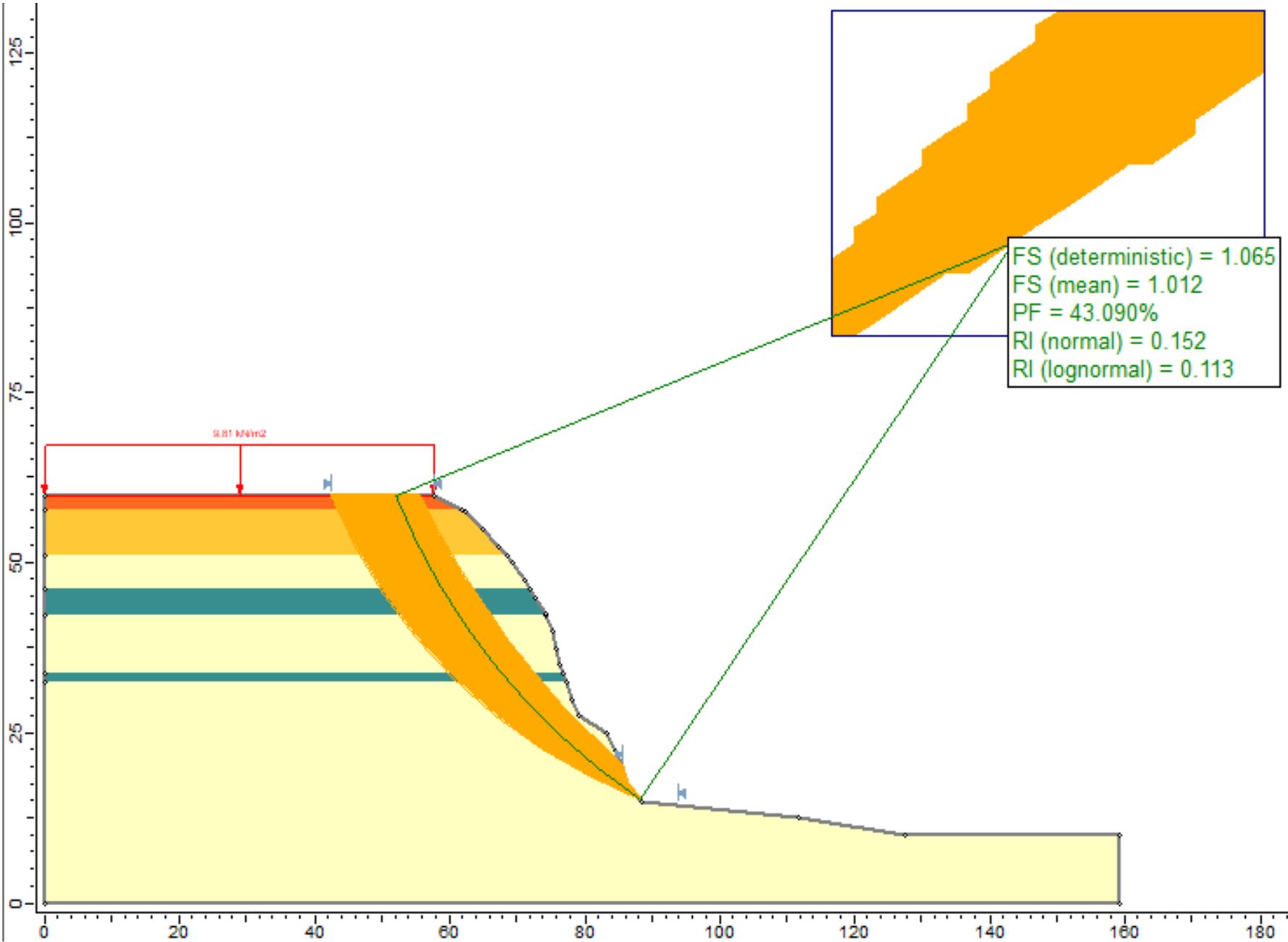
M_3

LEYENDA

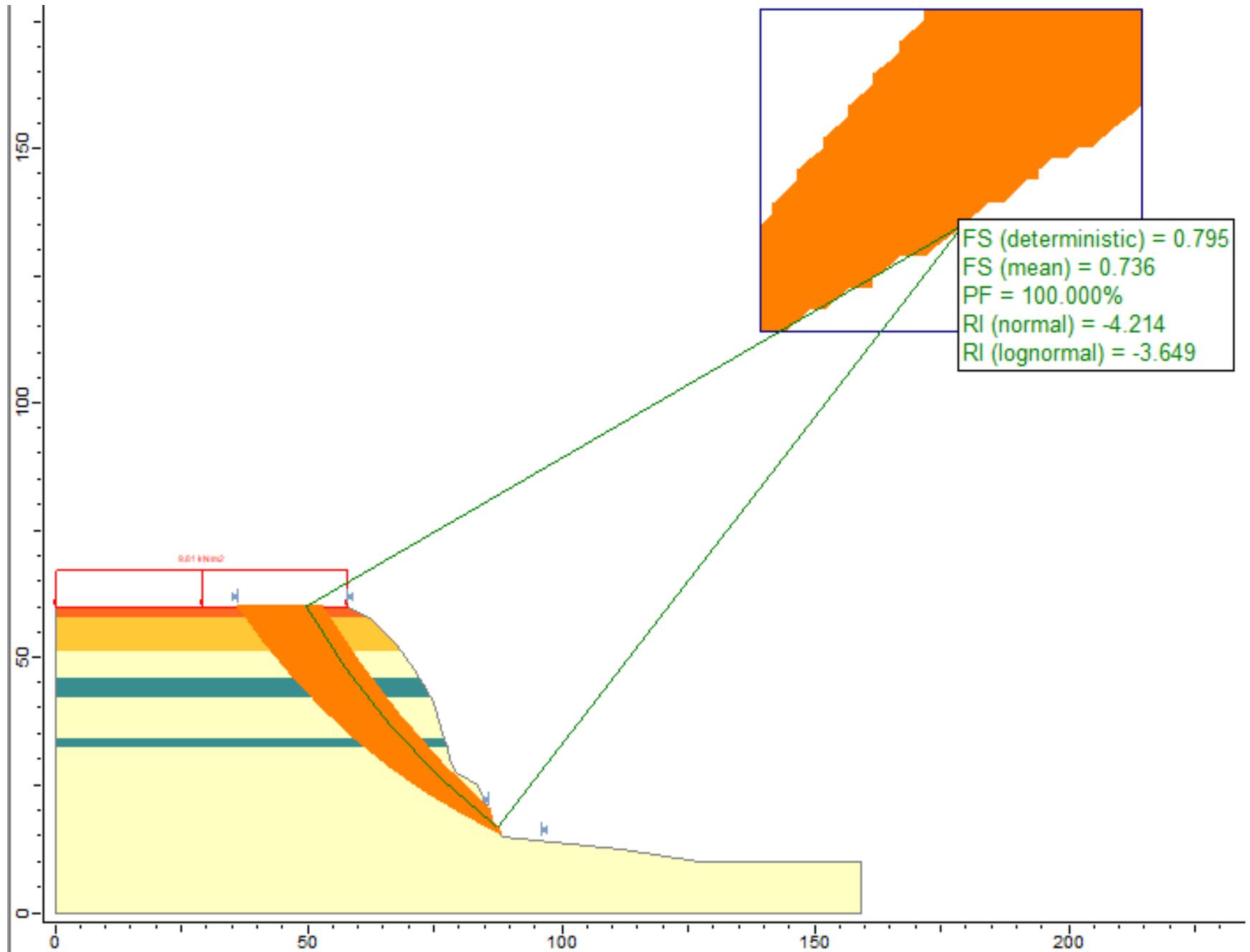
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



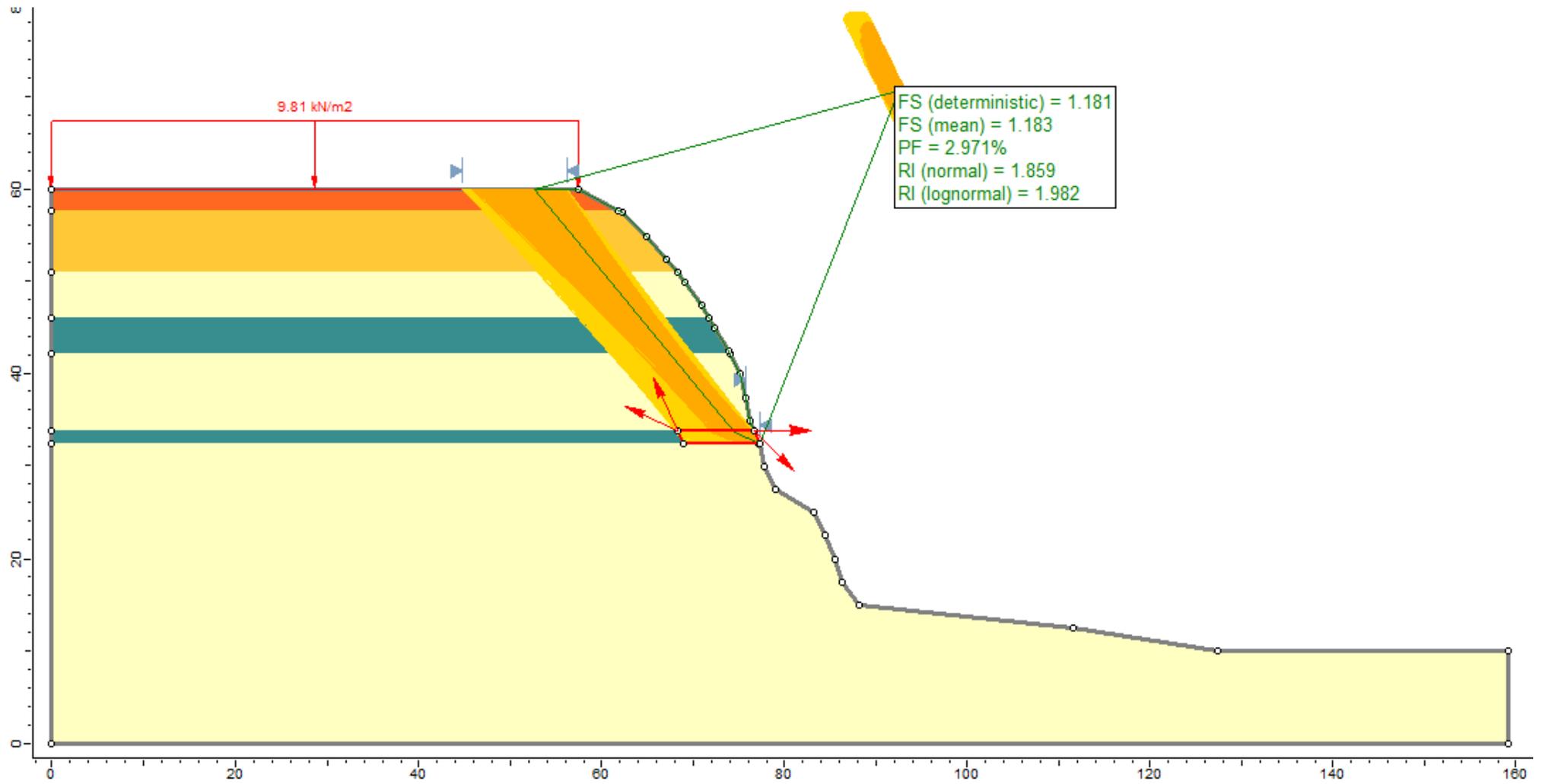
Falla circular - caso estático



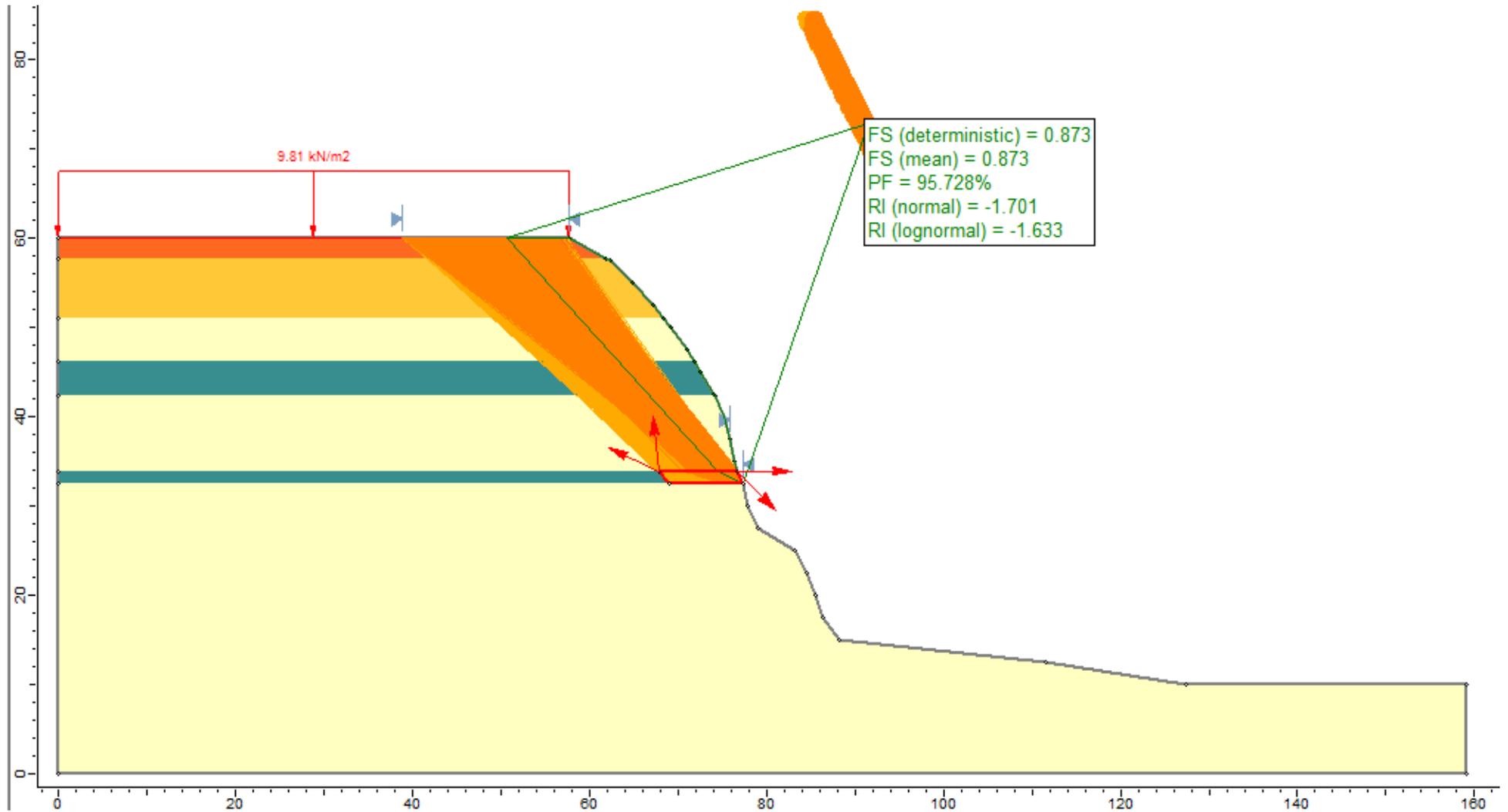
Falla circular - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático



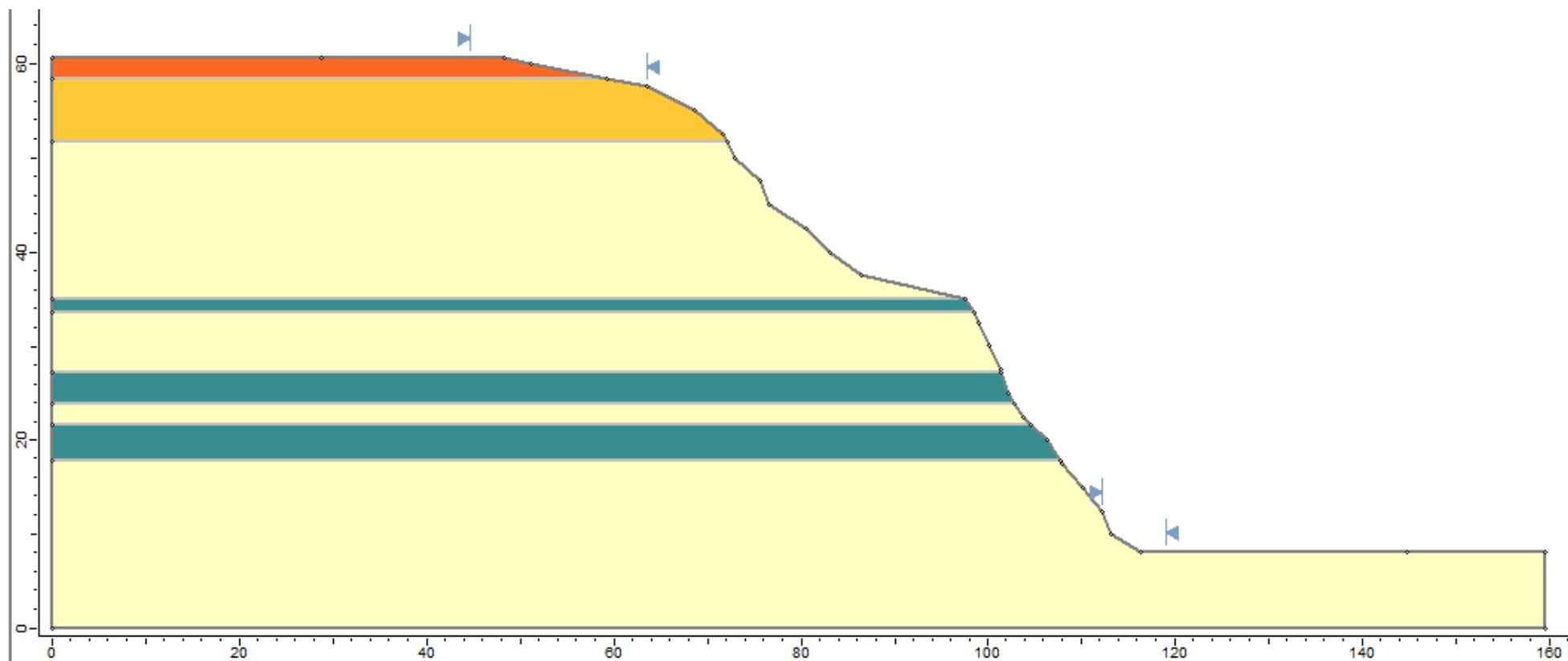
Falla en bloque - caso pseudo estático



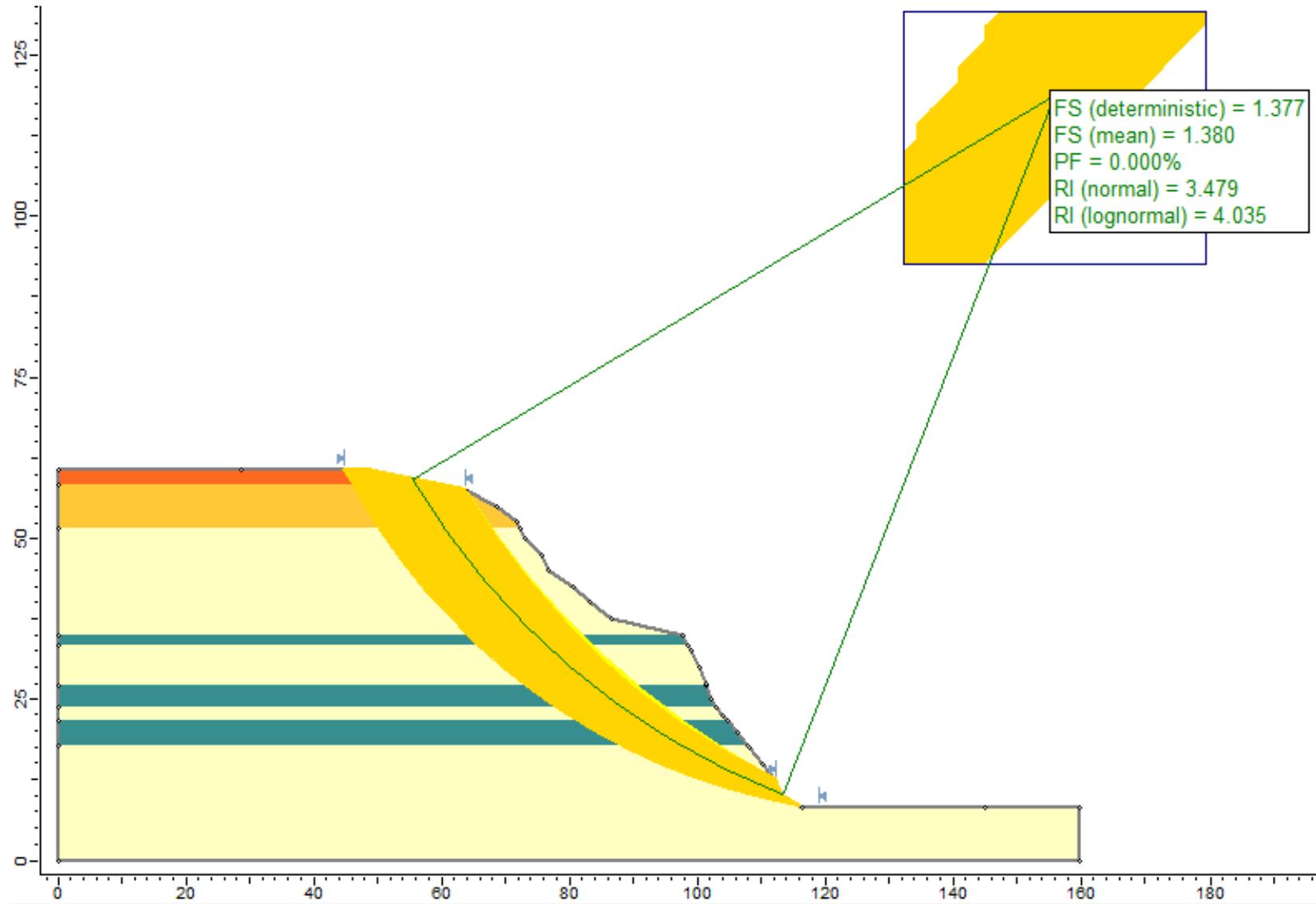
M_4

LEYENDA

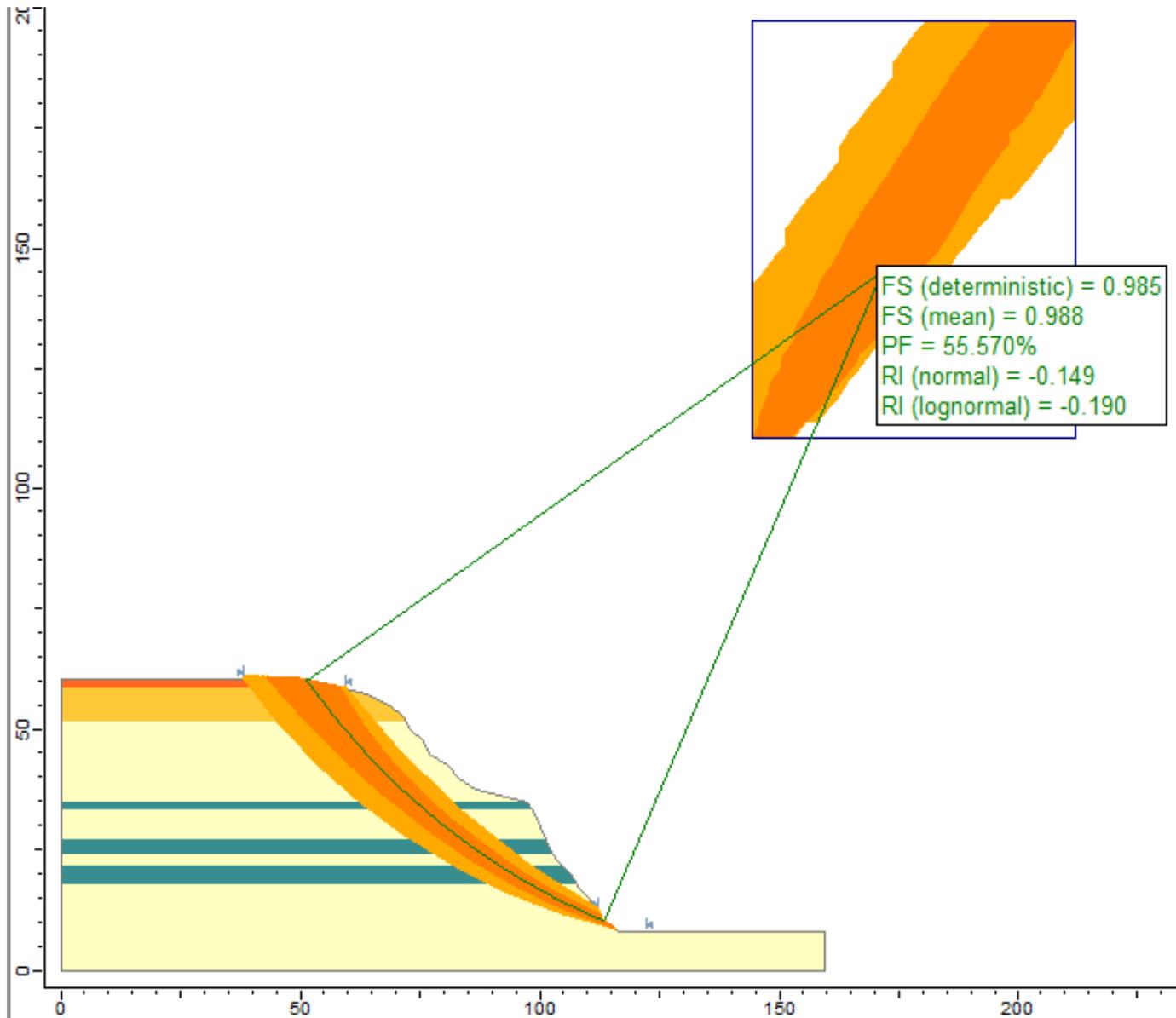
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



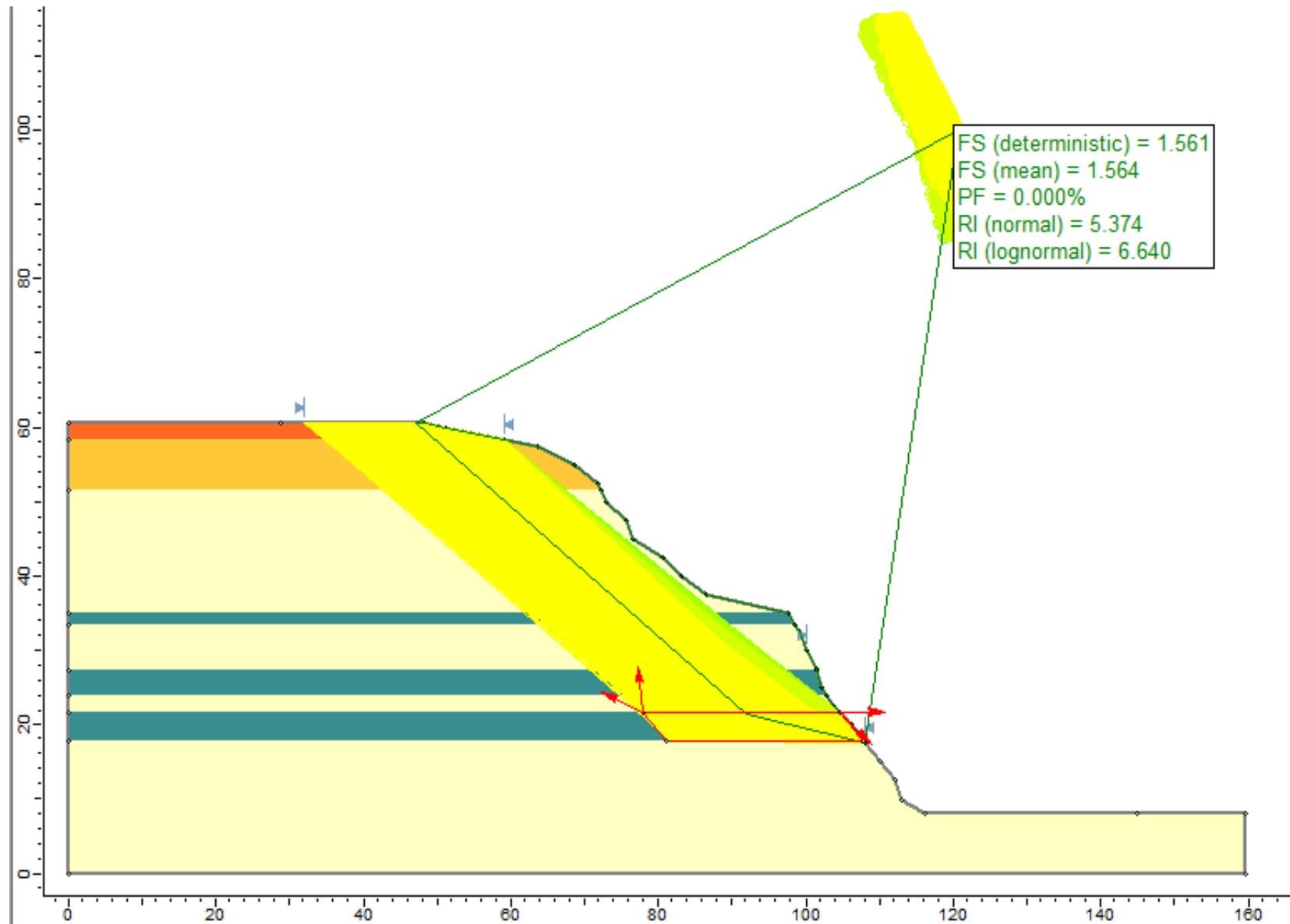
Falla circular - caso estático



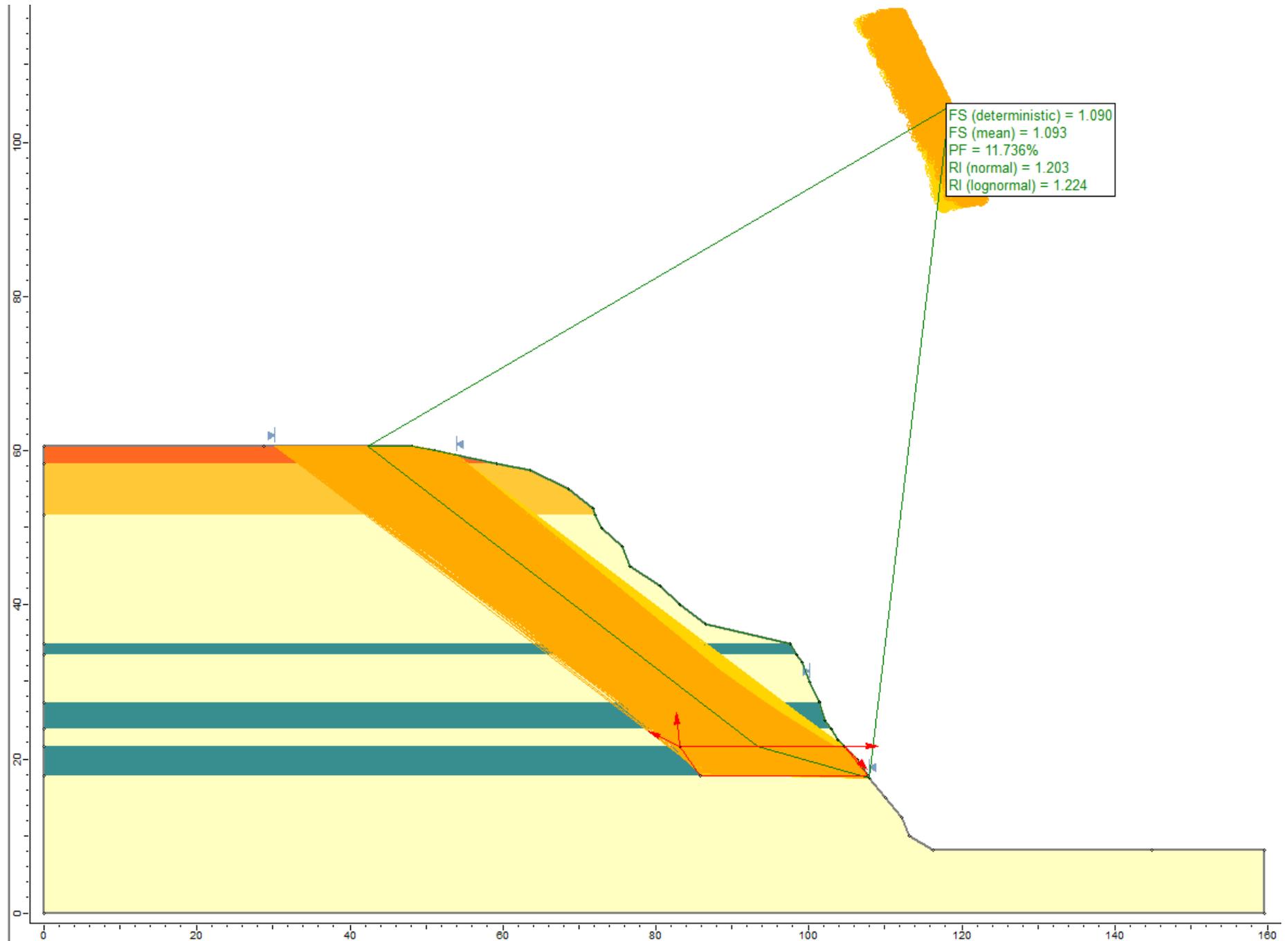
Falla circular - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático

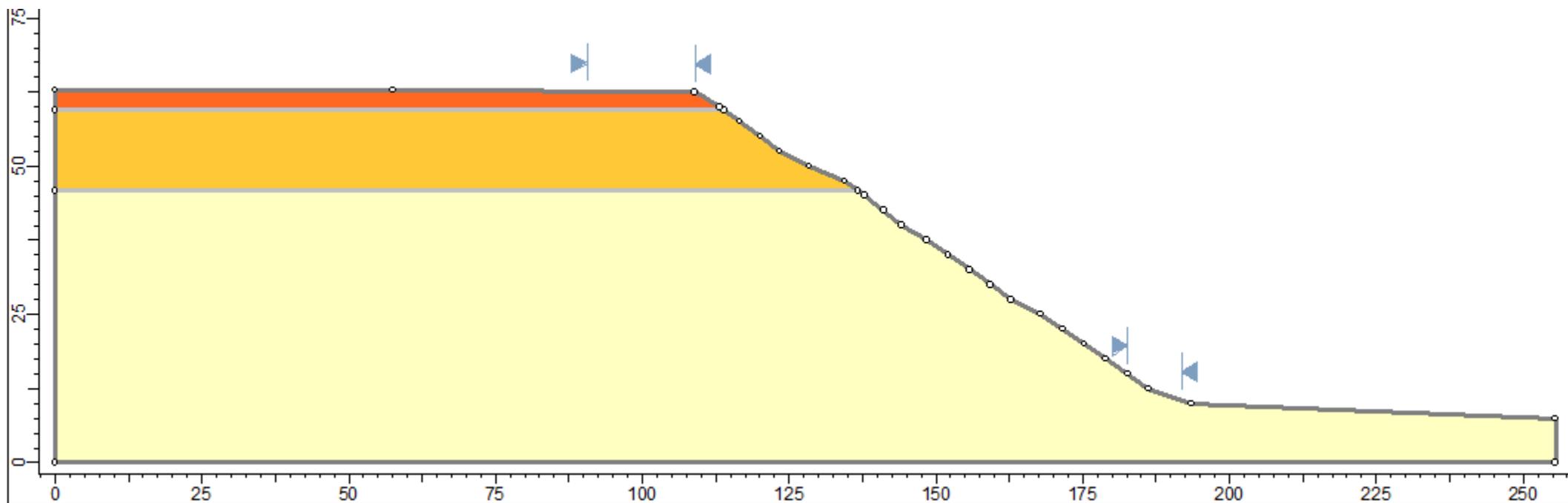


SAN ISIDRO

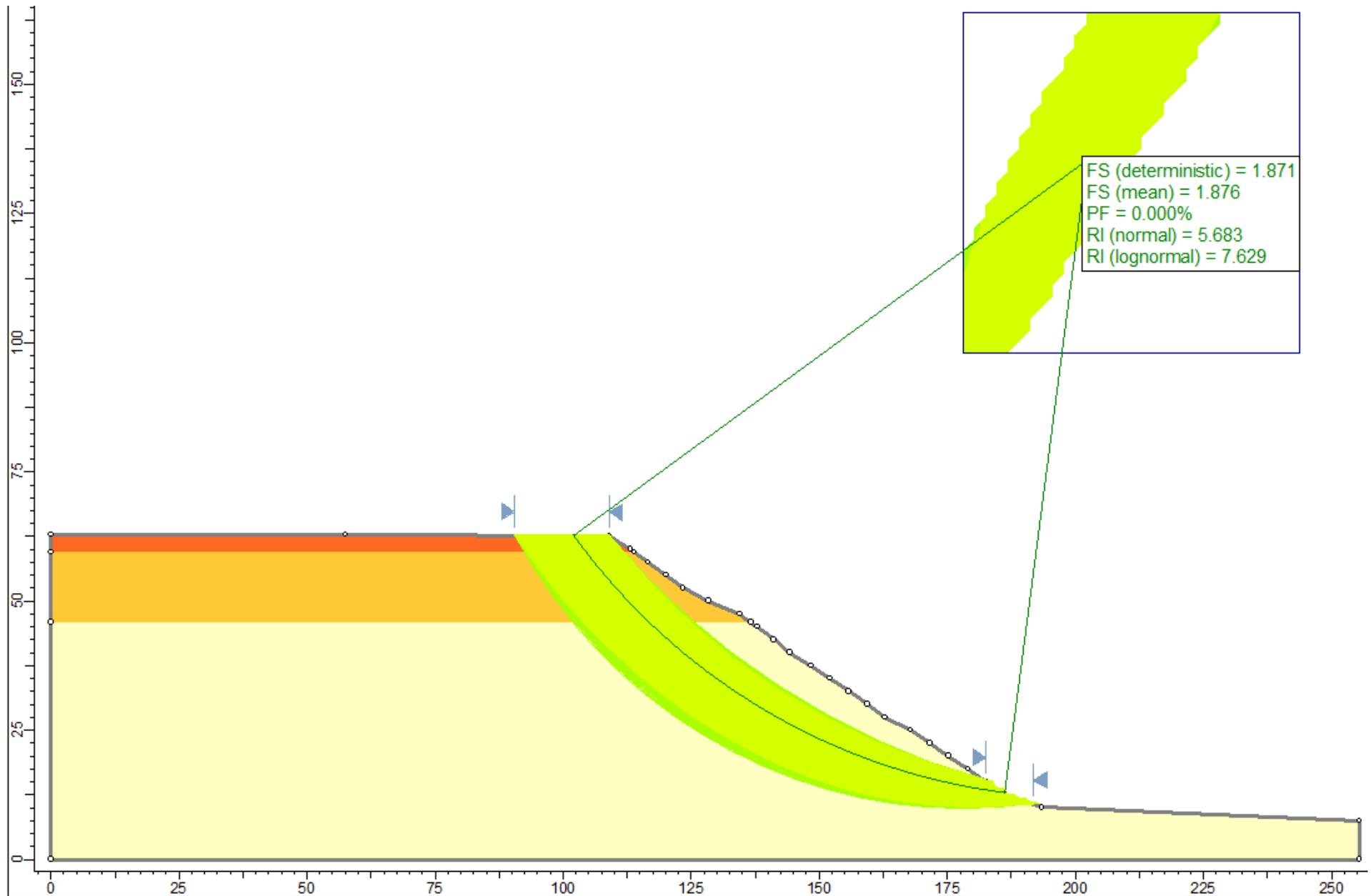
SI_1

LEYENDA

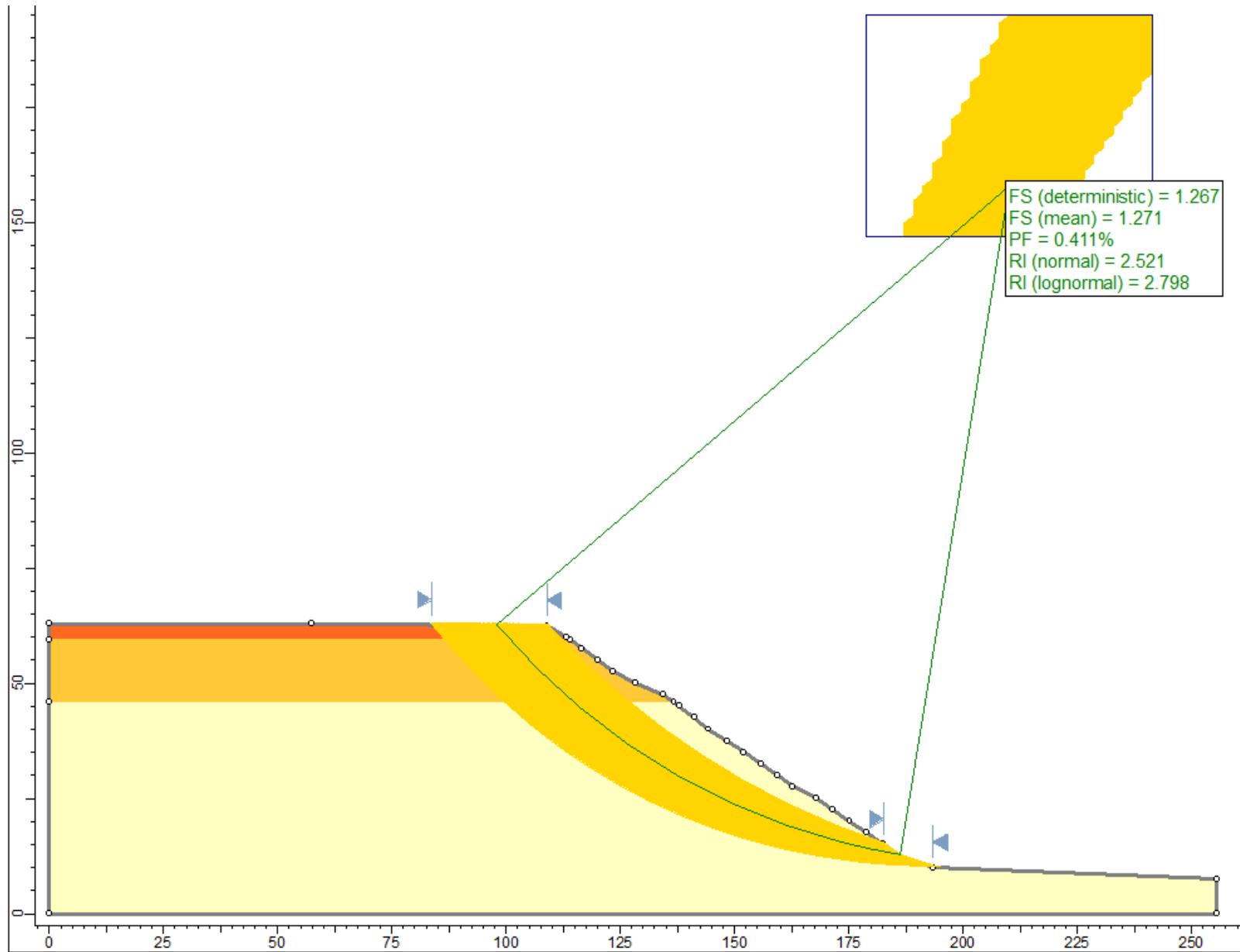
- MATERIAL GRUESO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



Falla circular - caso estático



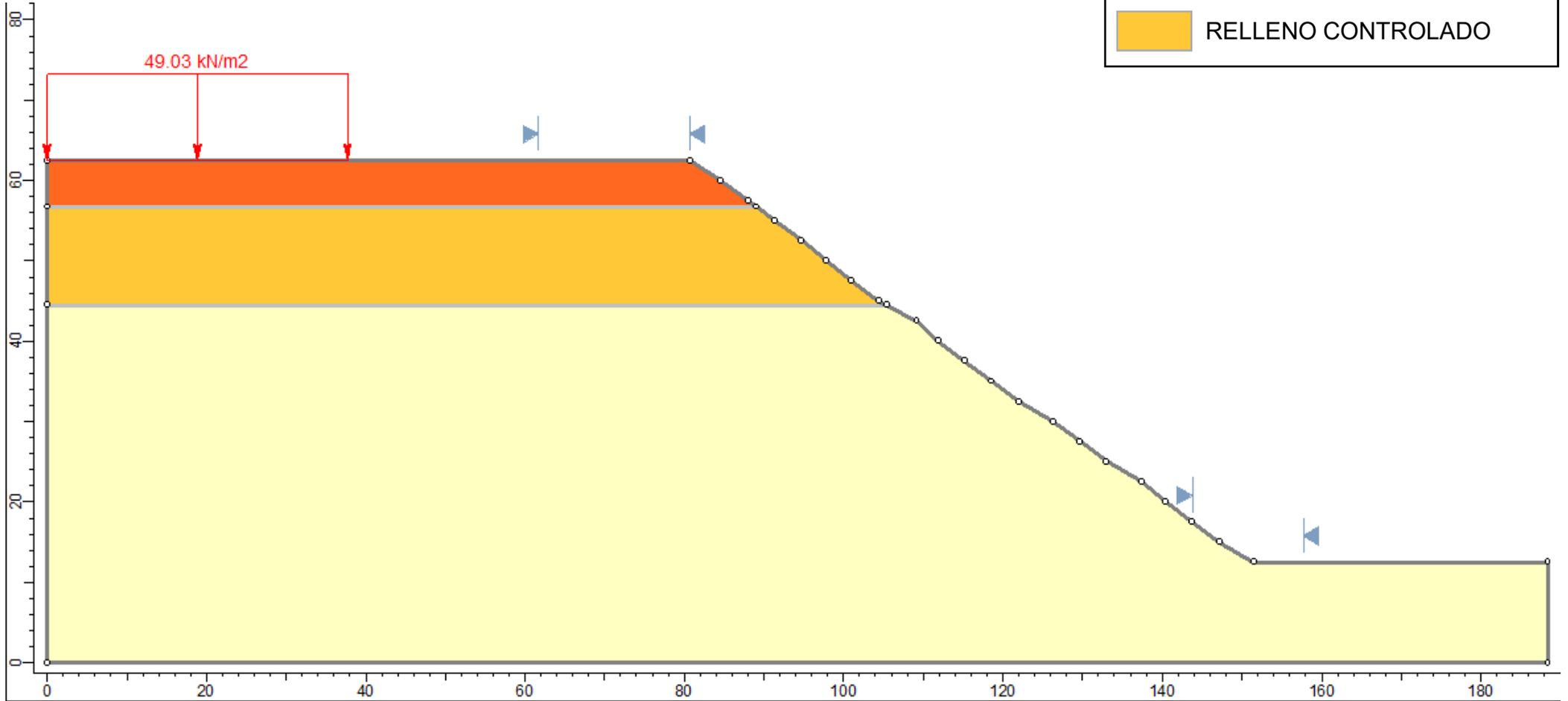
Falla circular - caso pseudo estático



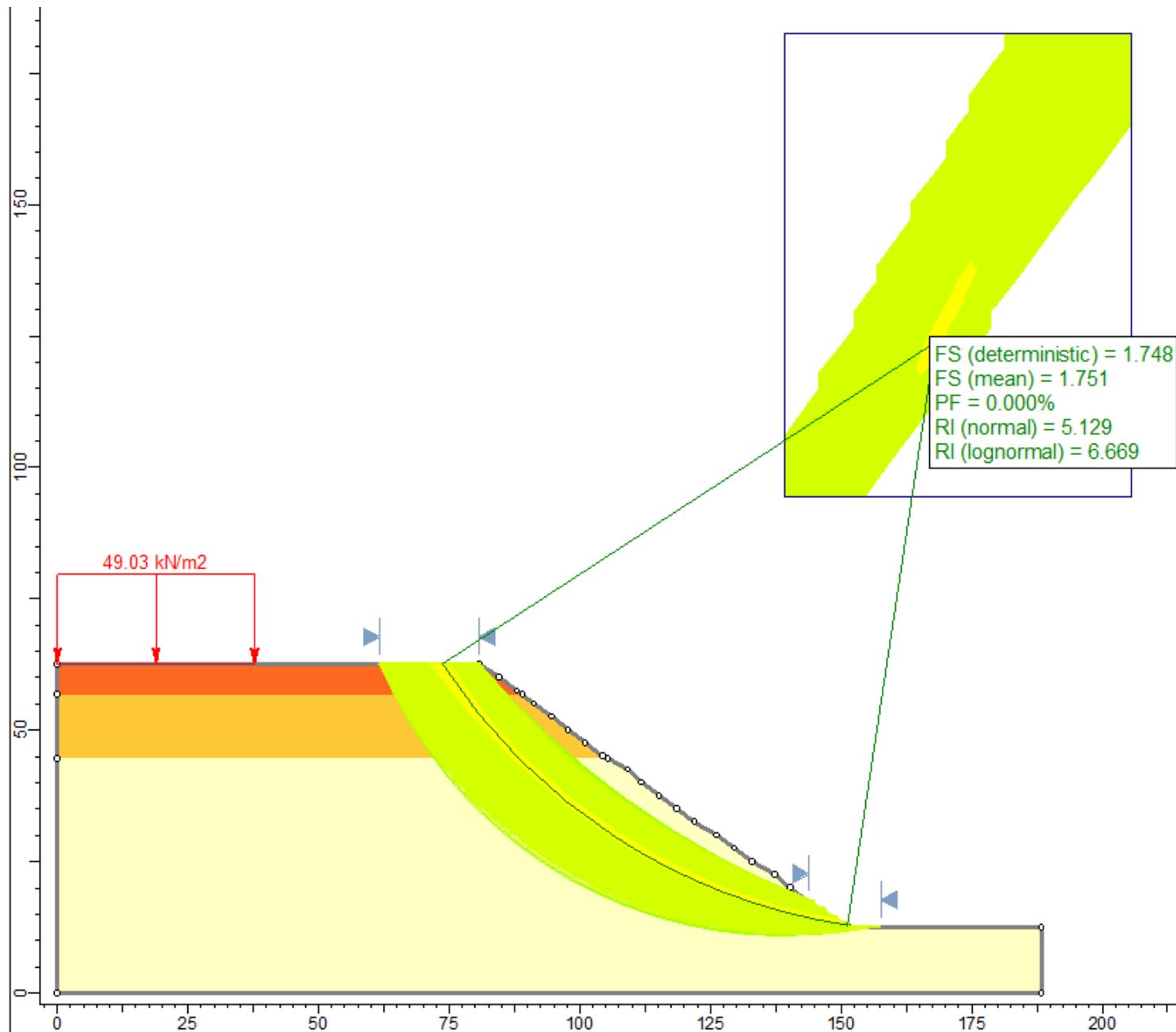
SI_2

LEYENDA

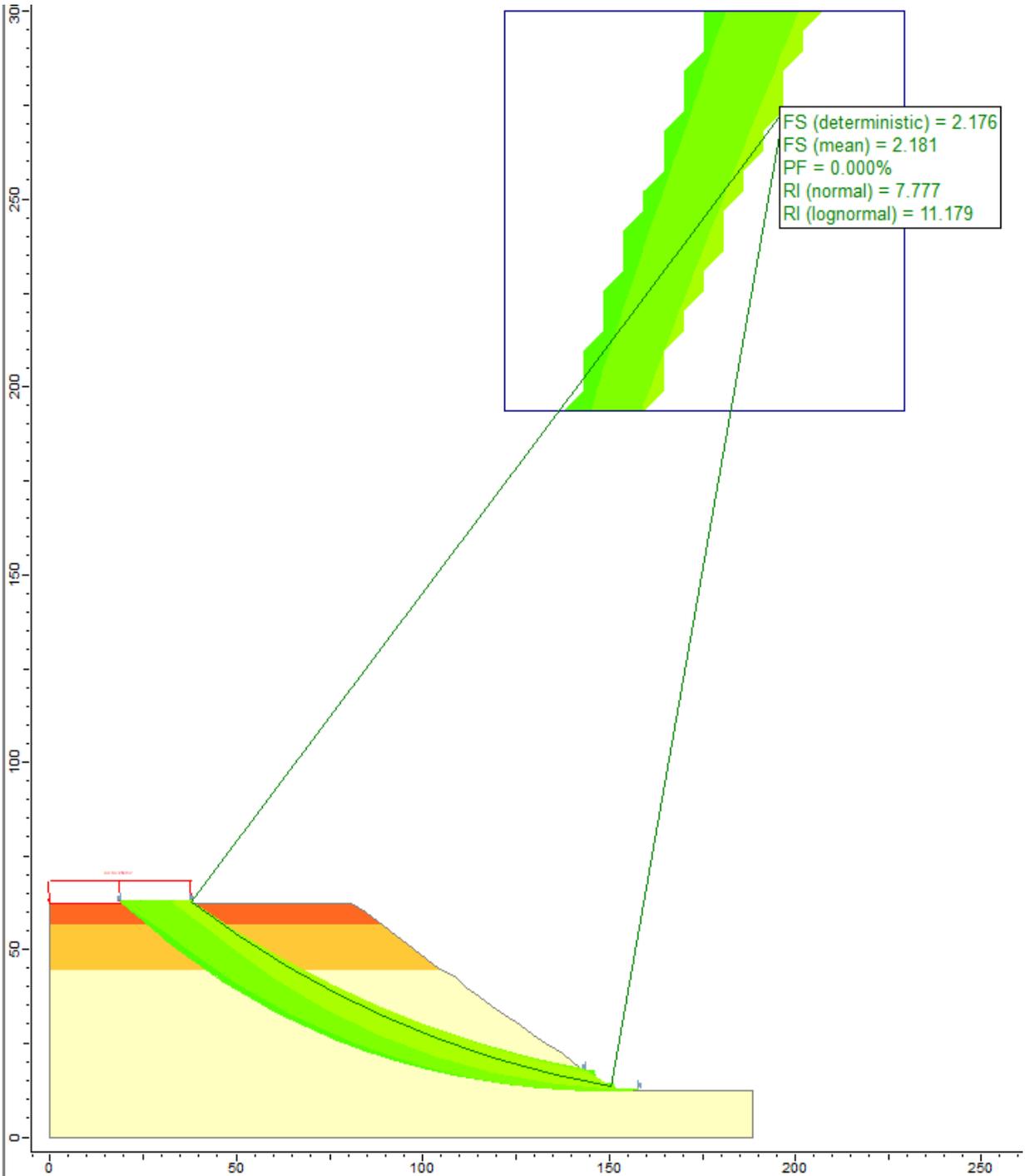
- MATERIAL GRUESO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO



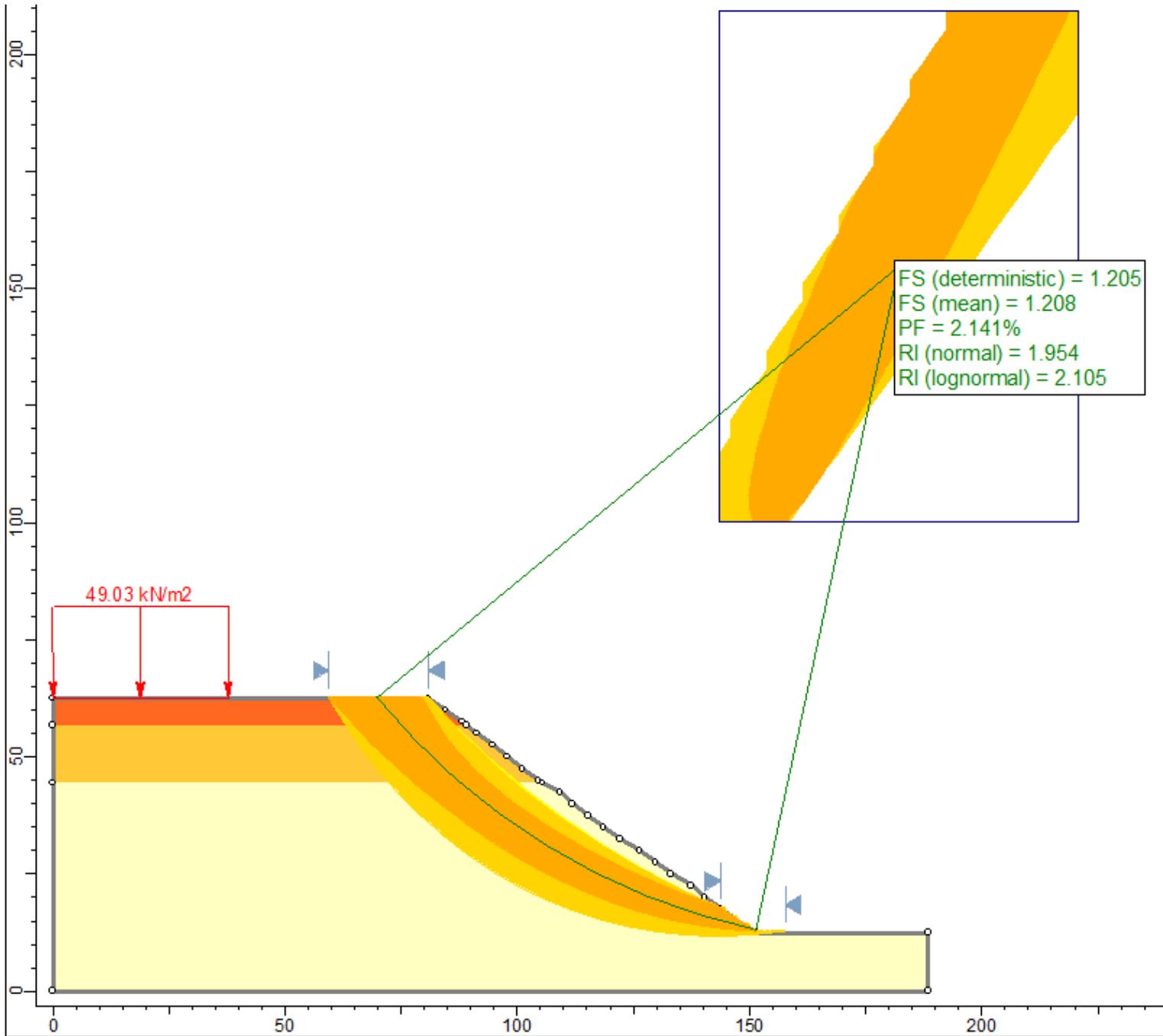
Falla circular - caso estático



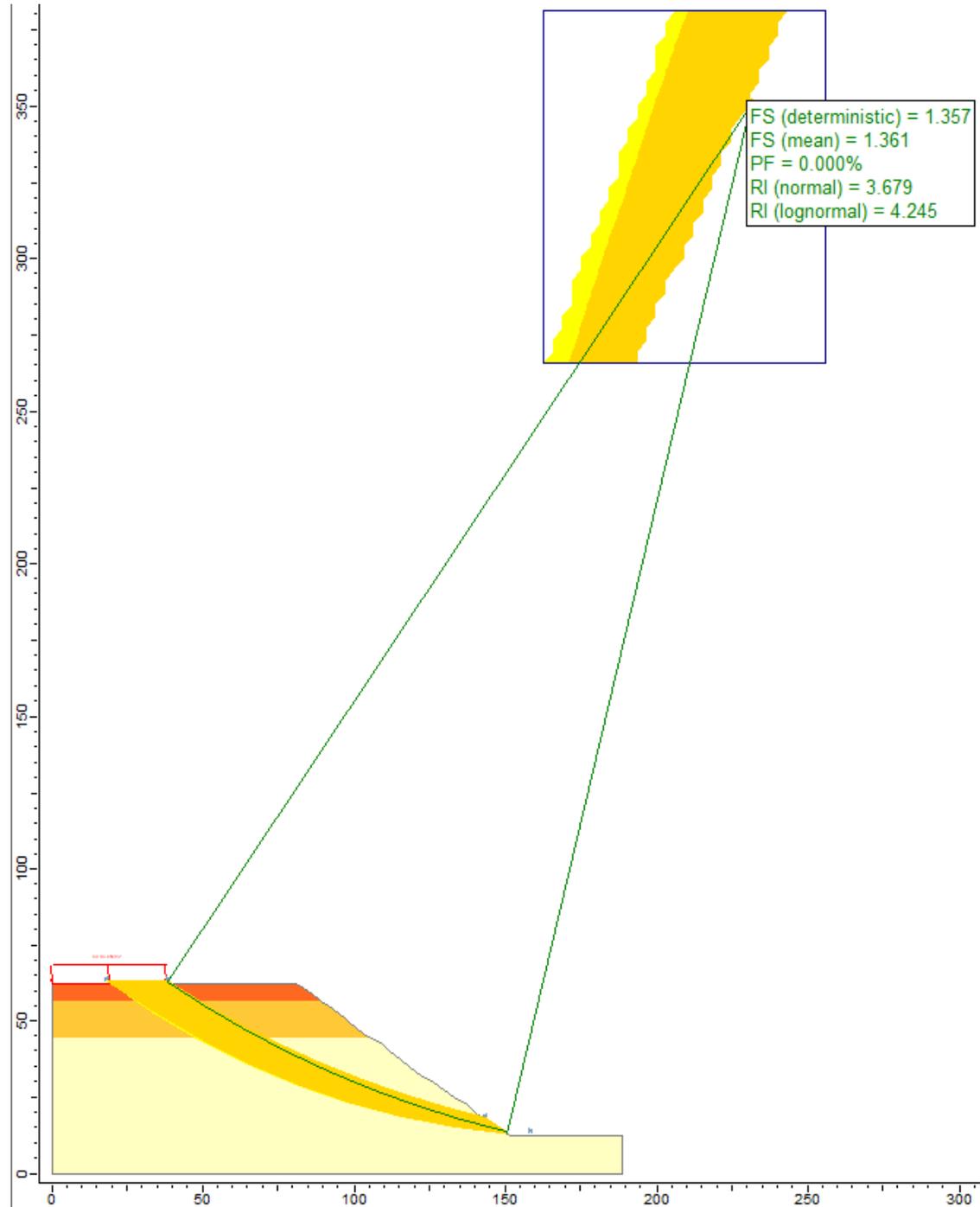
Falla circular - caso estático



Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

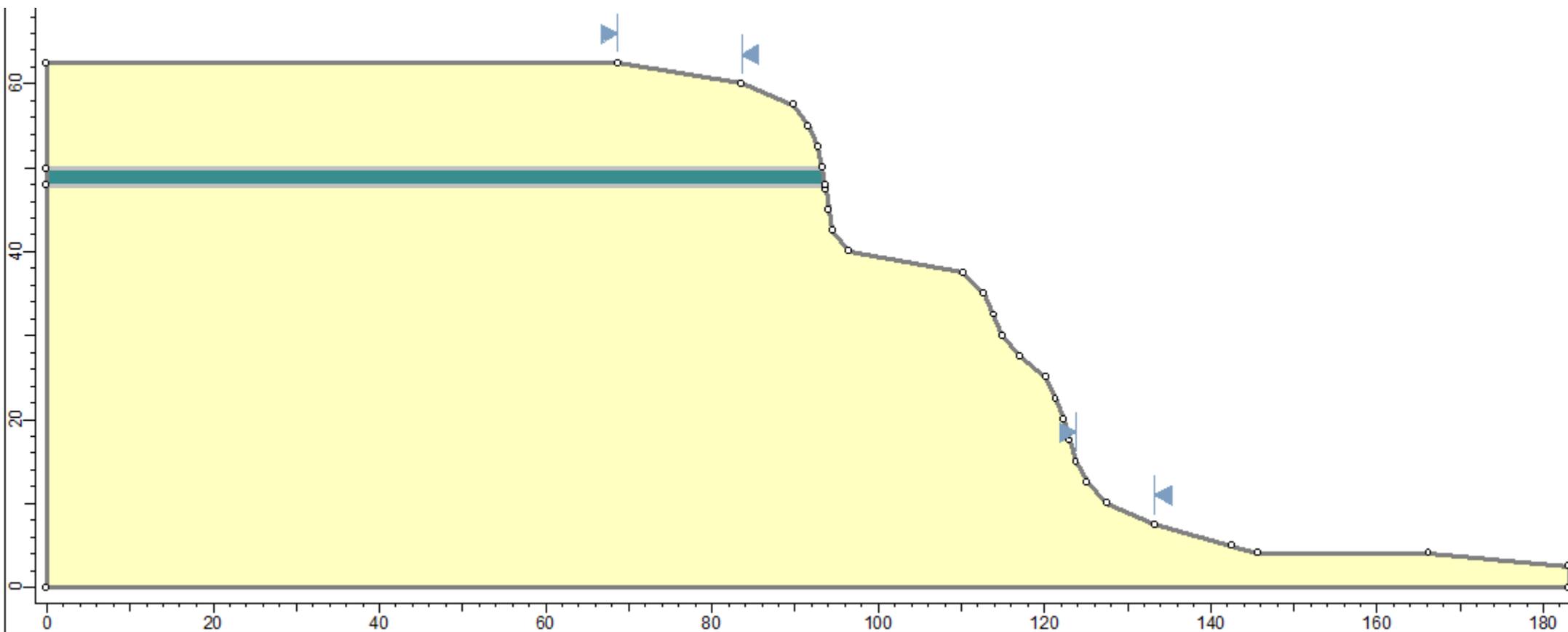


MIRAFLORES

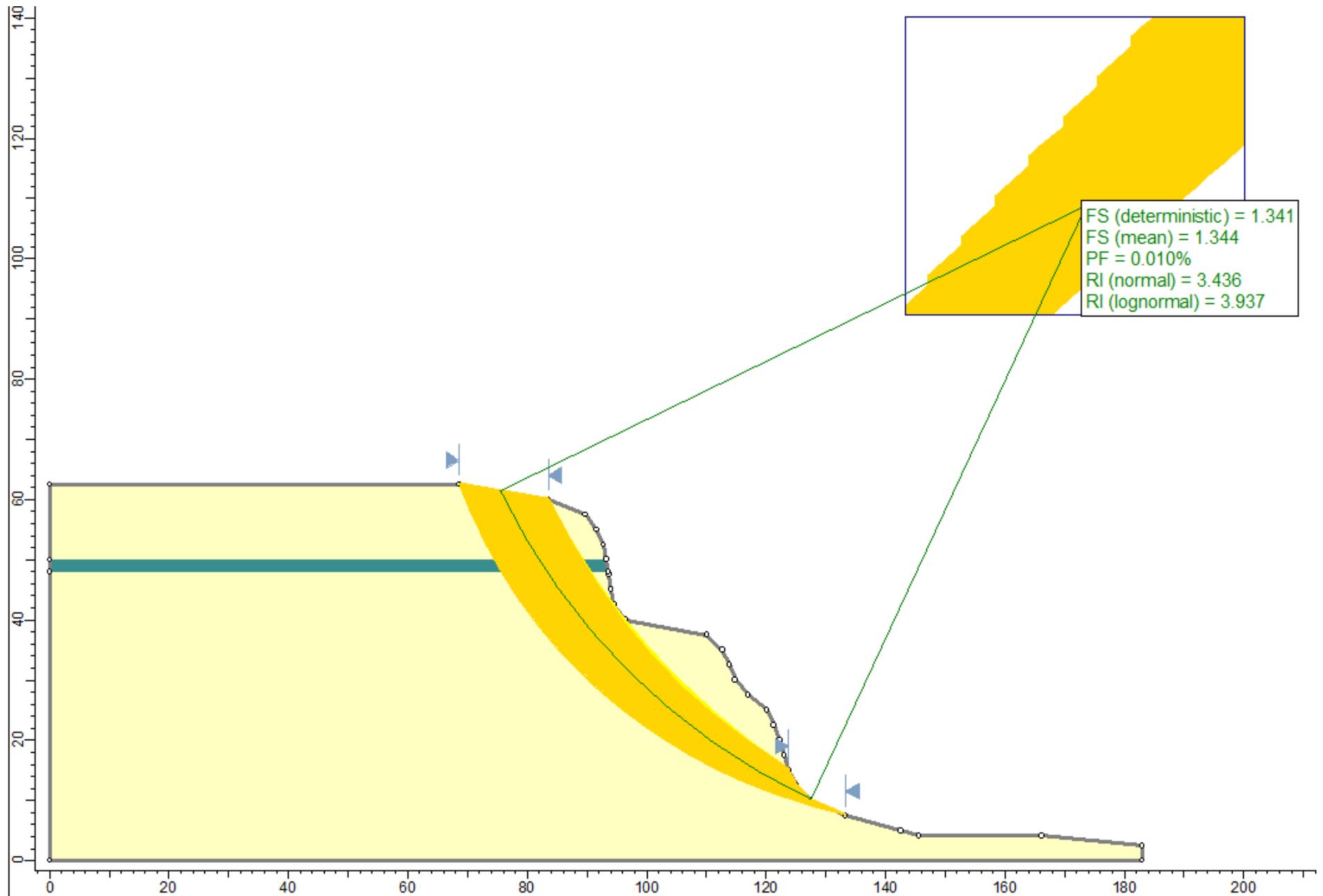
Mi_1

LEYENDA

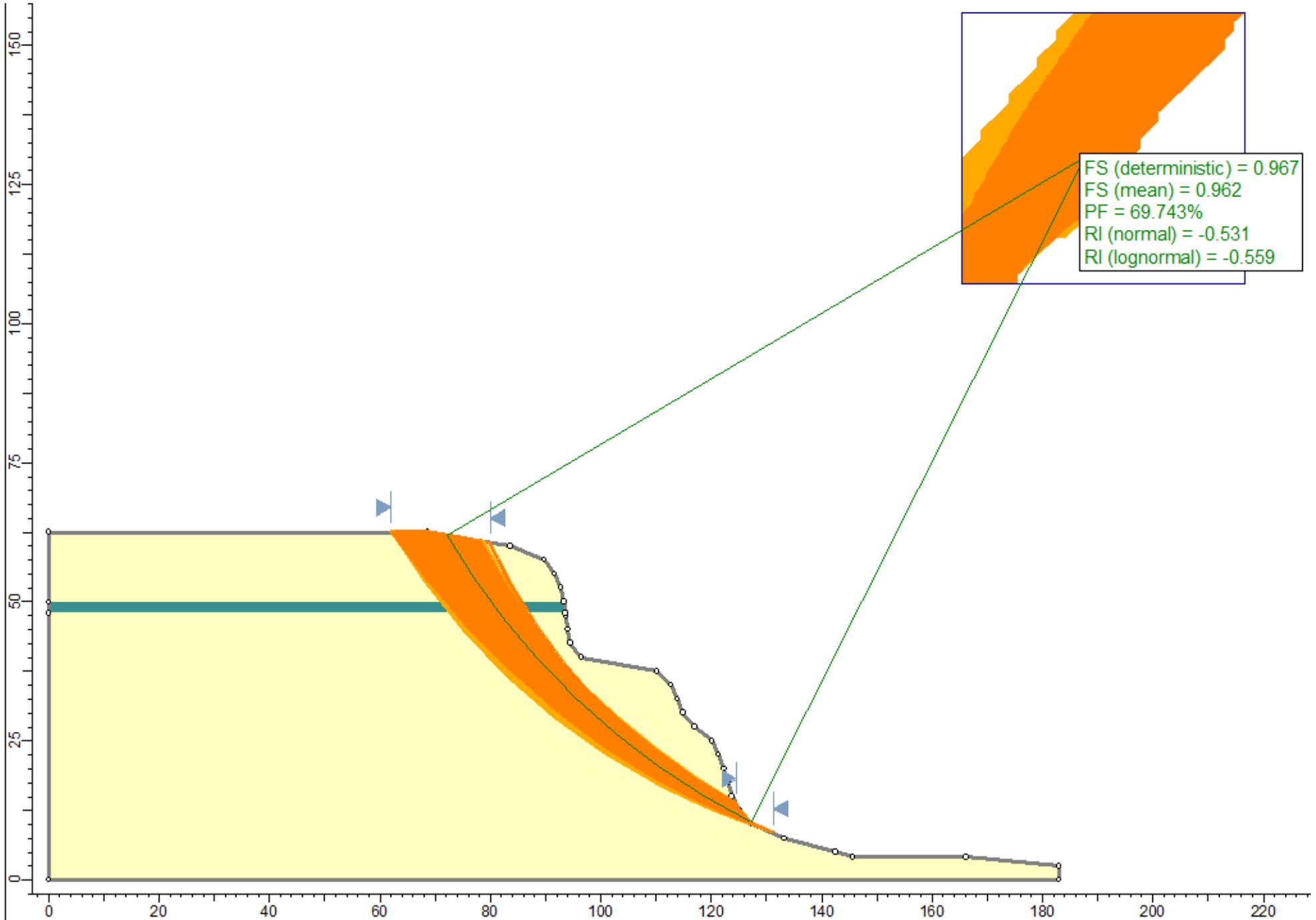
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



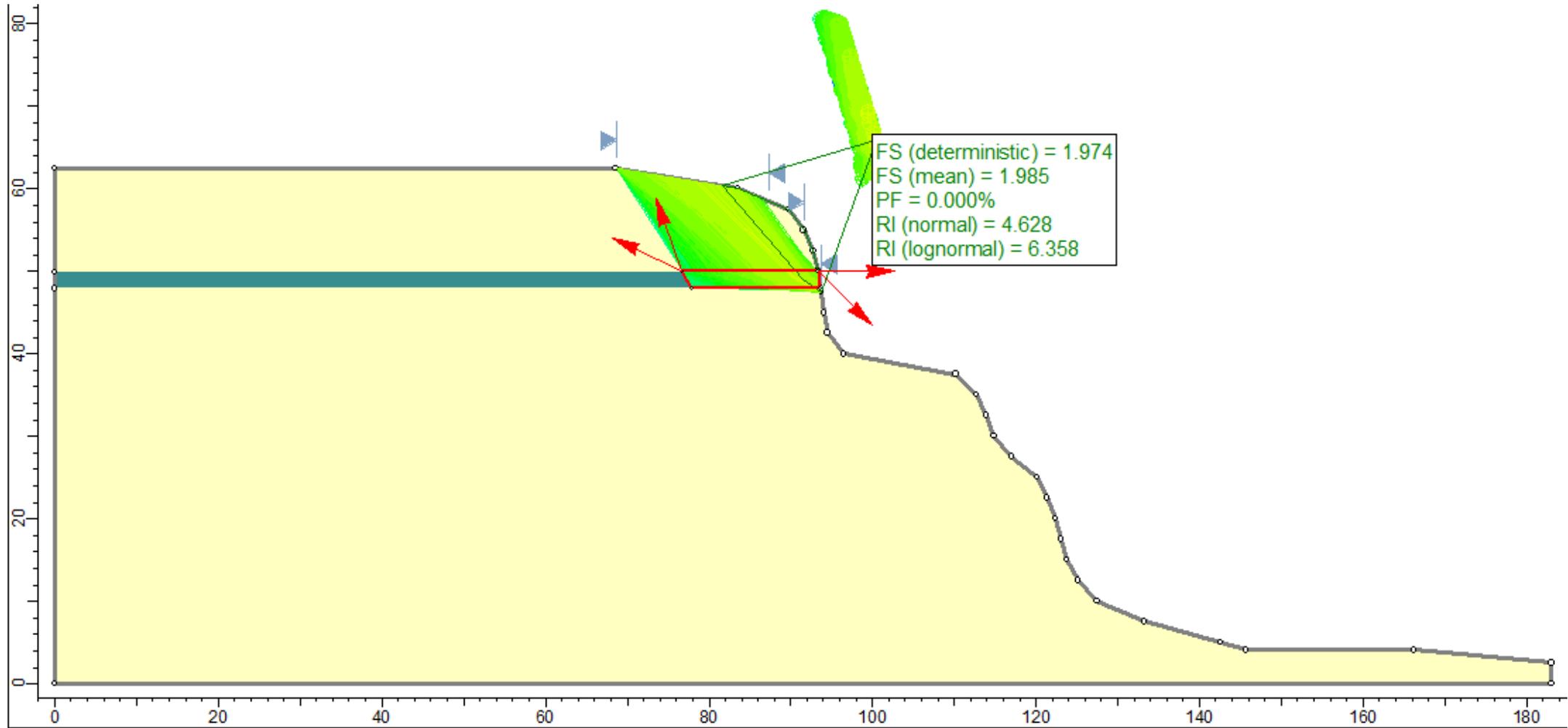
Falla circular - caso estático



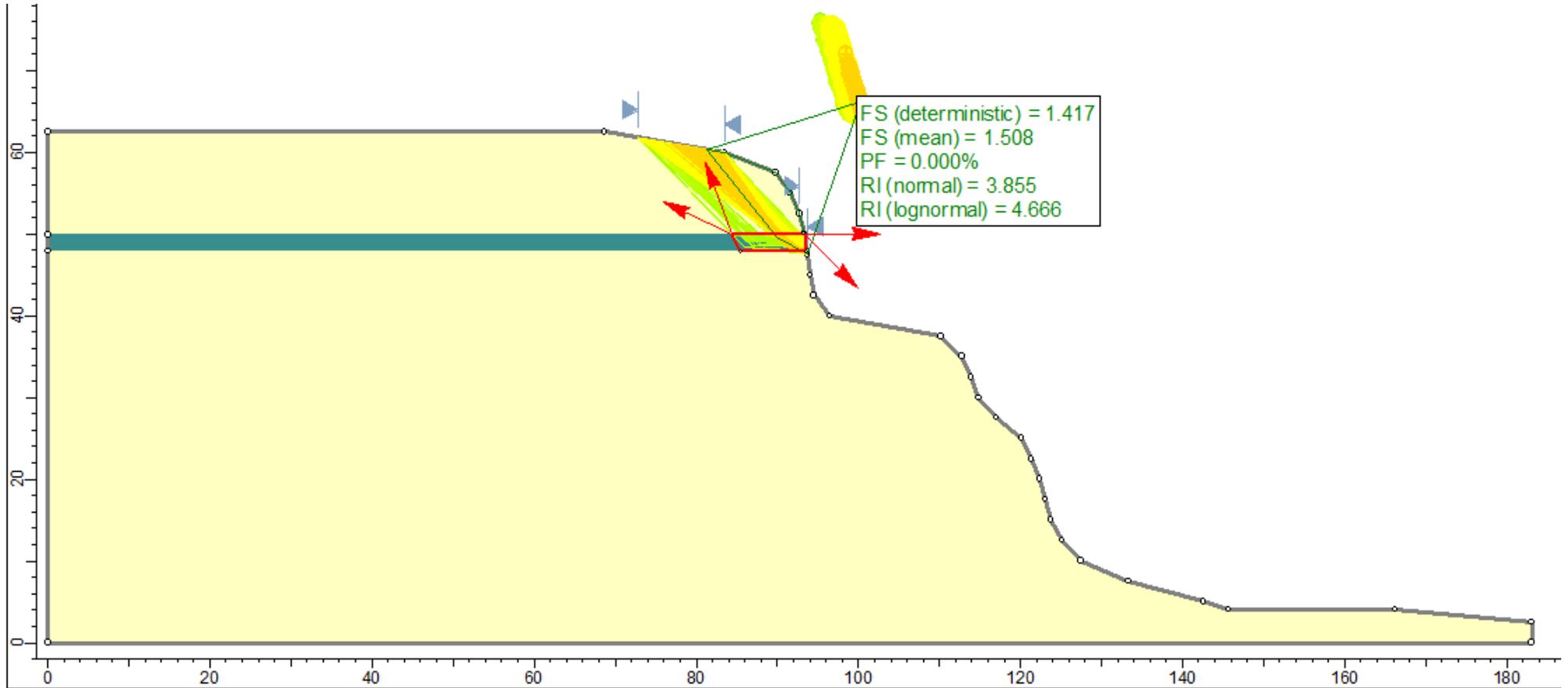
Falla circular - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático



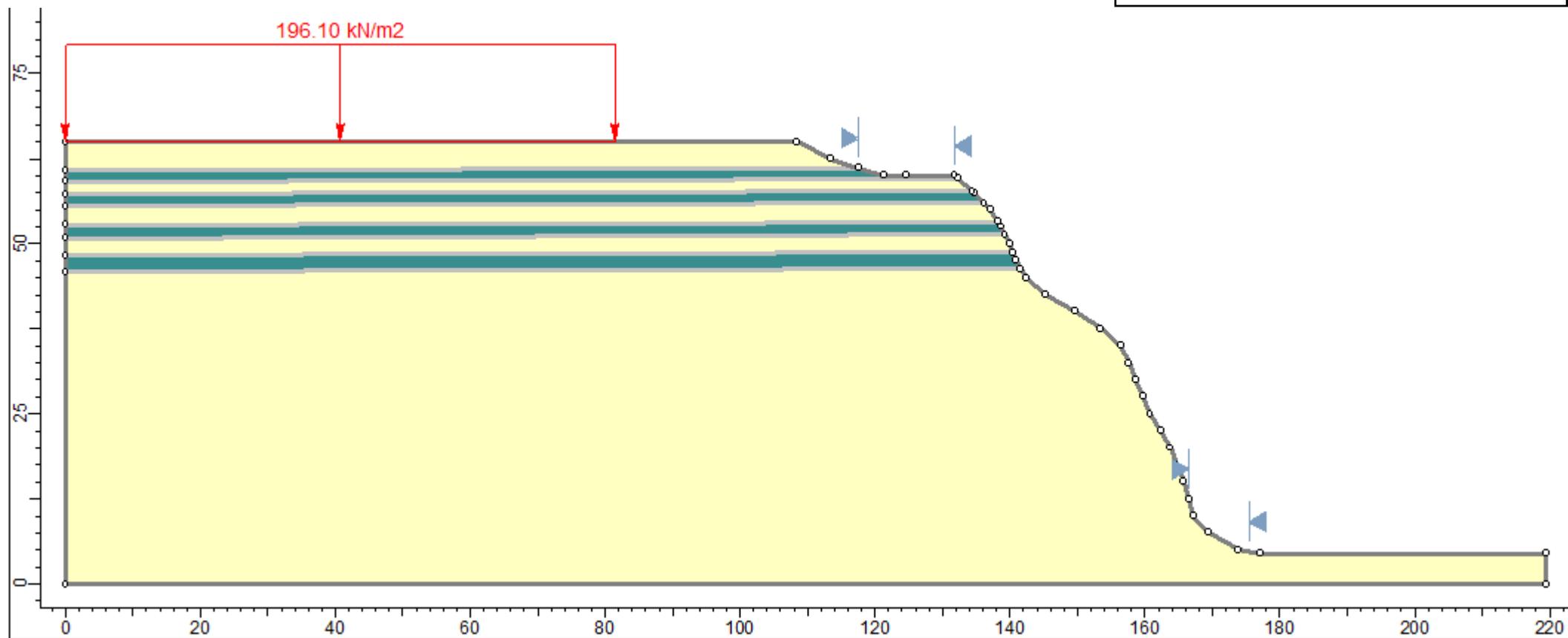
Falla en bloque - caso pseudo estático



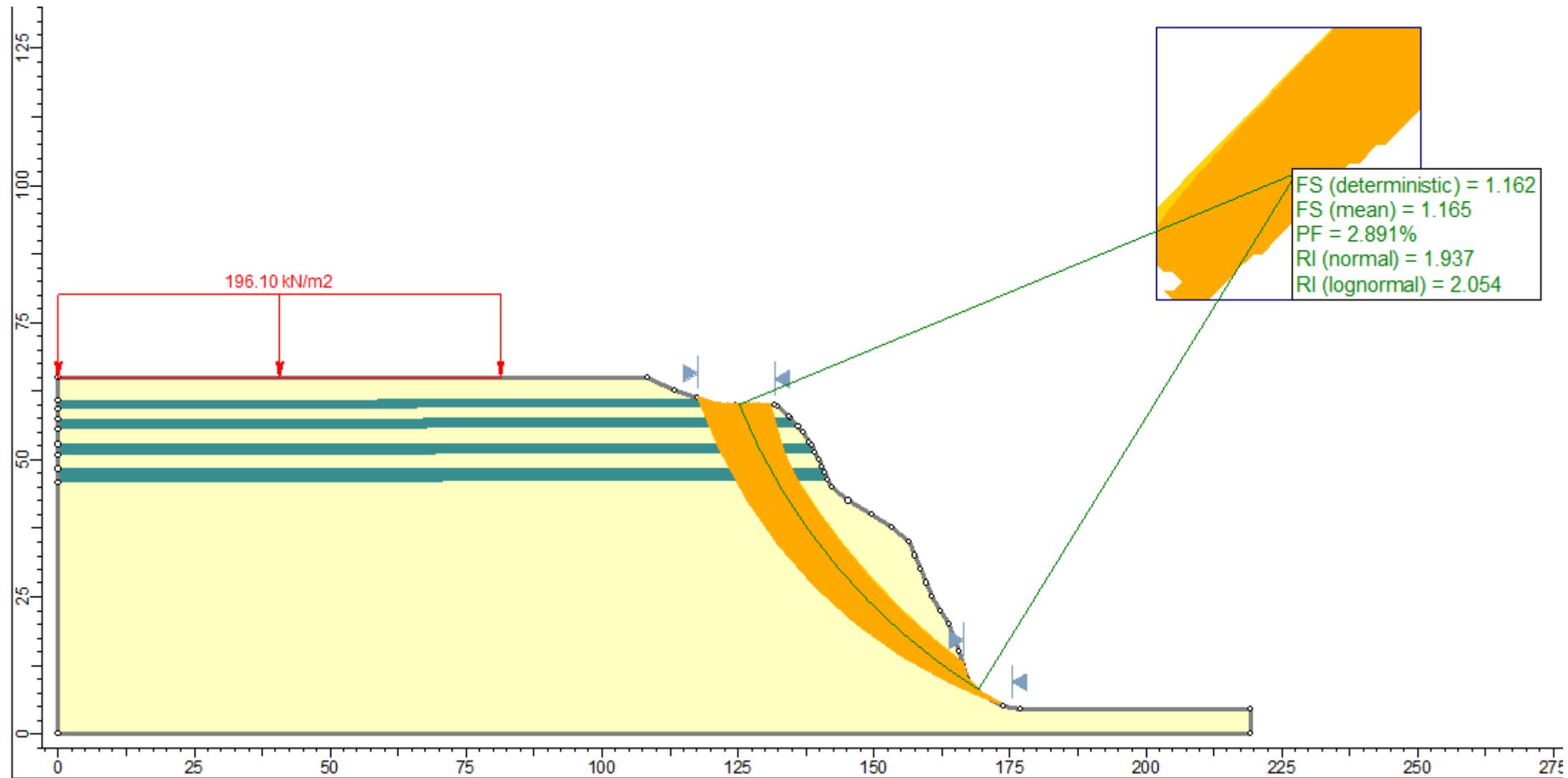
Mi_2

LEYENDA

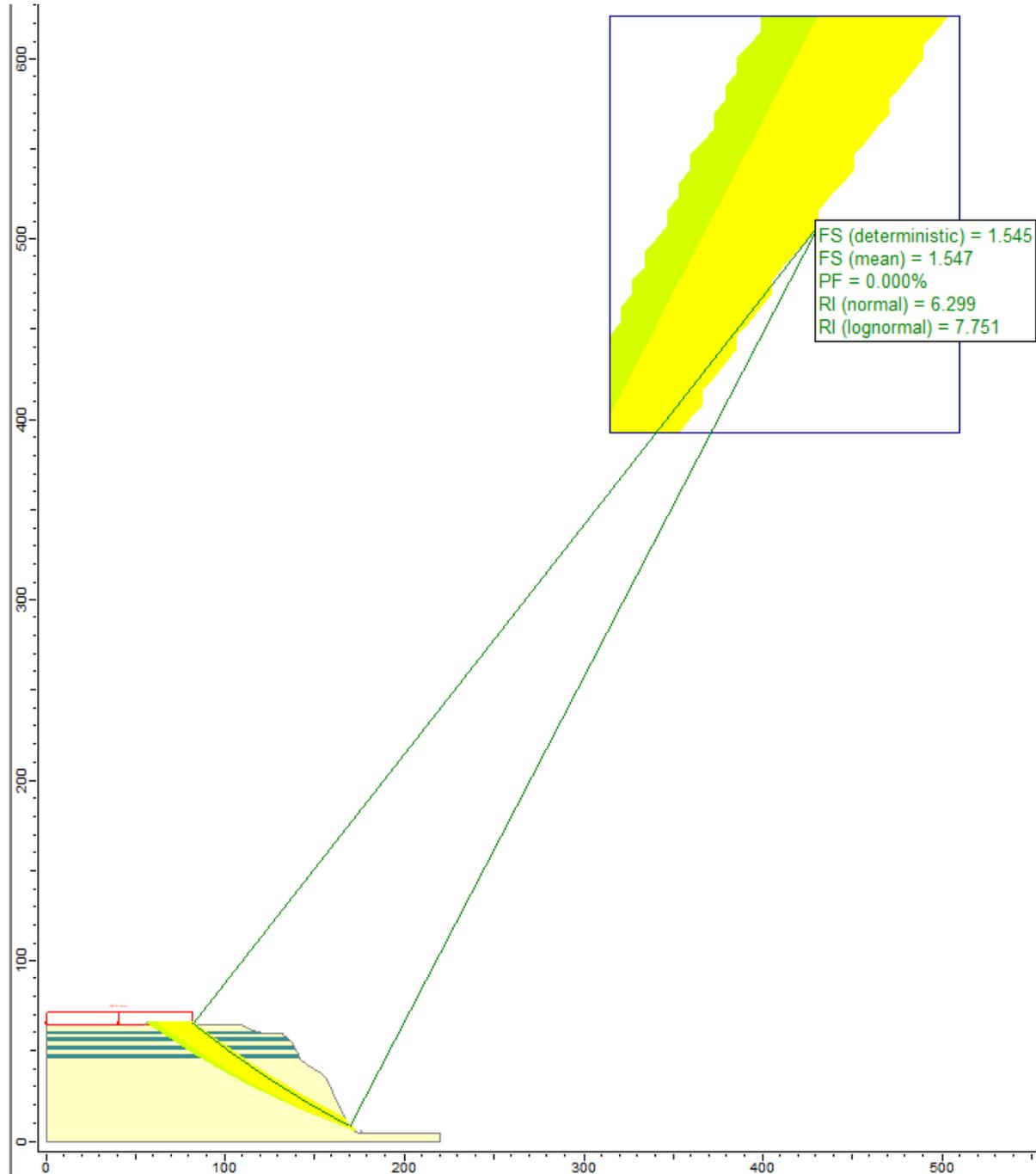
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



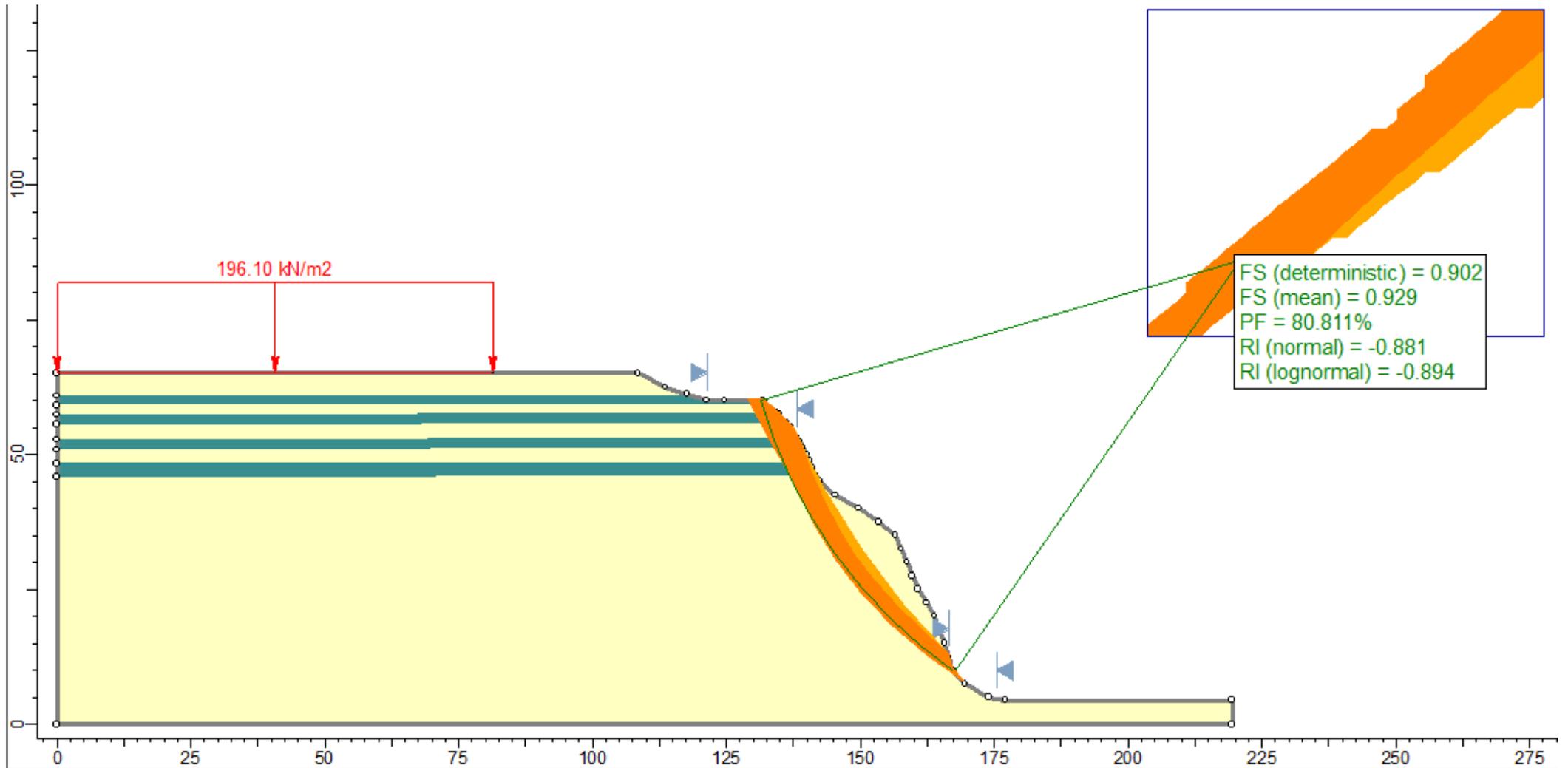
Falla circular - caso estático



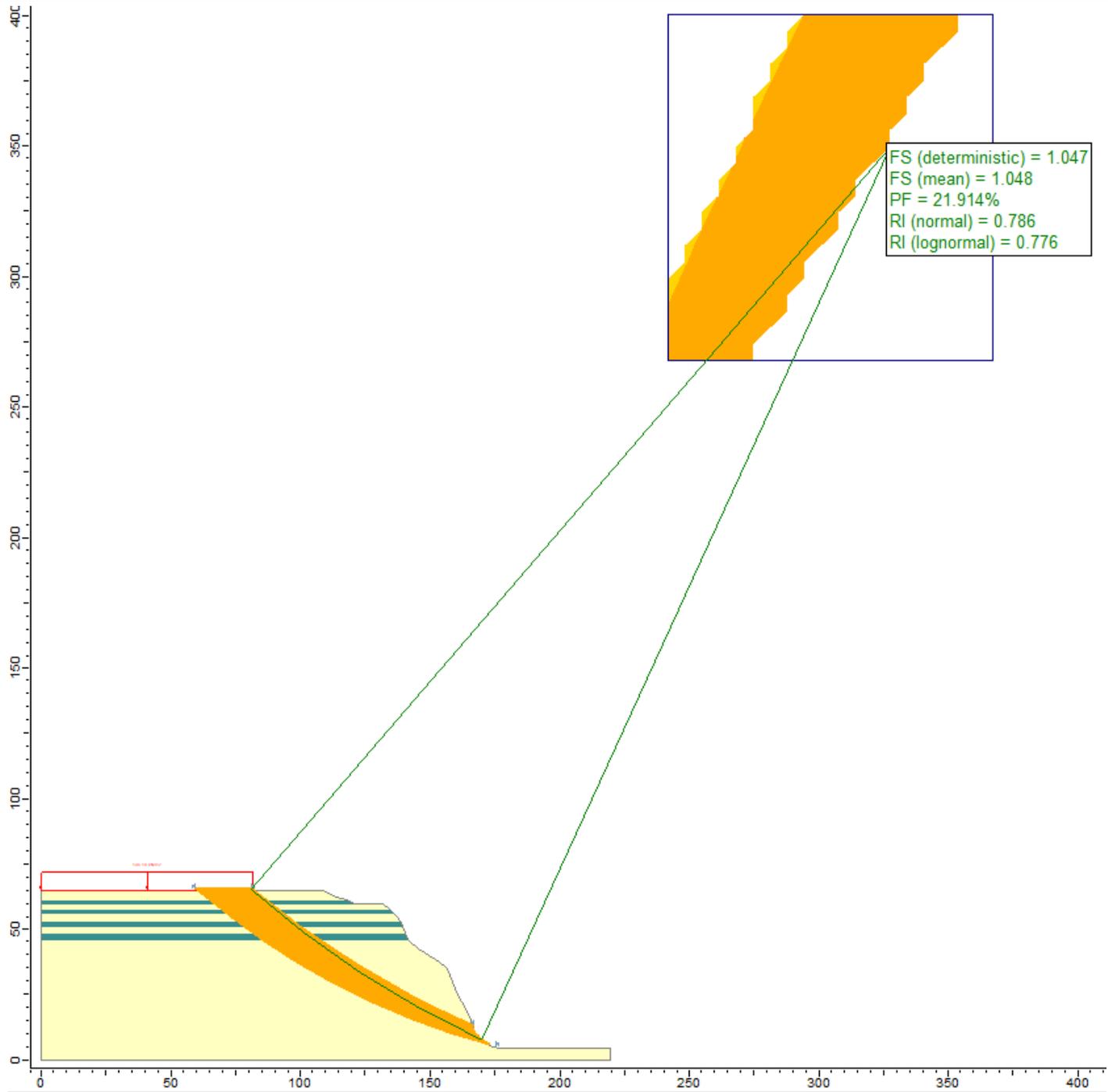
Falla circular - caso estático



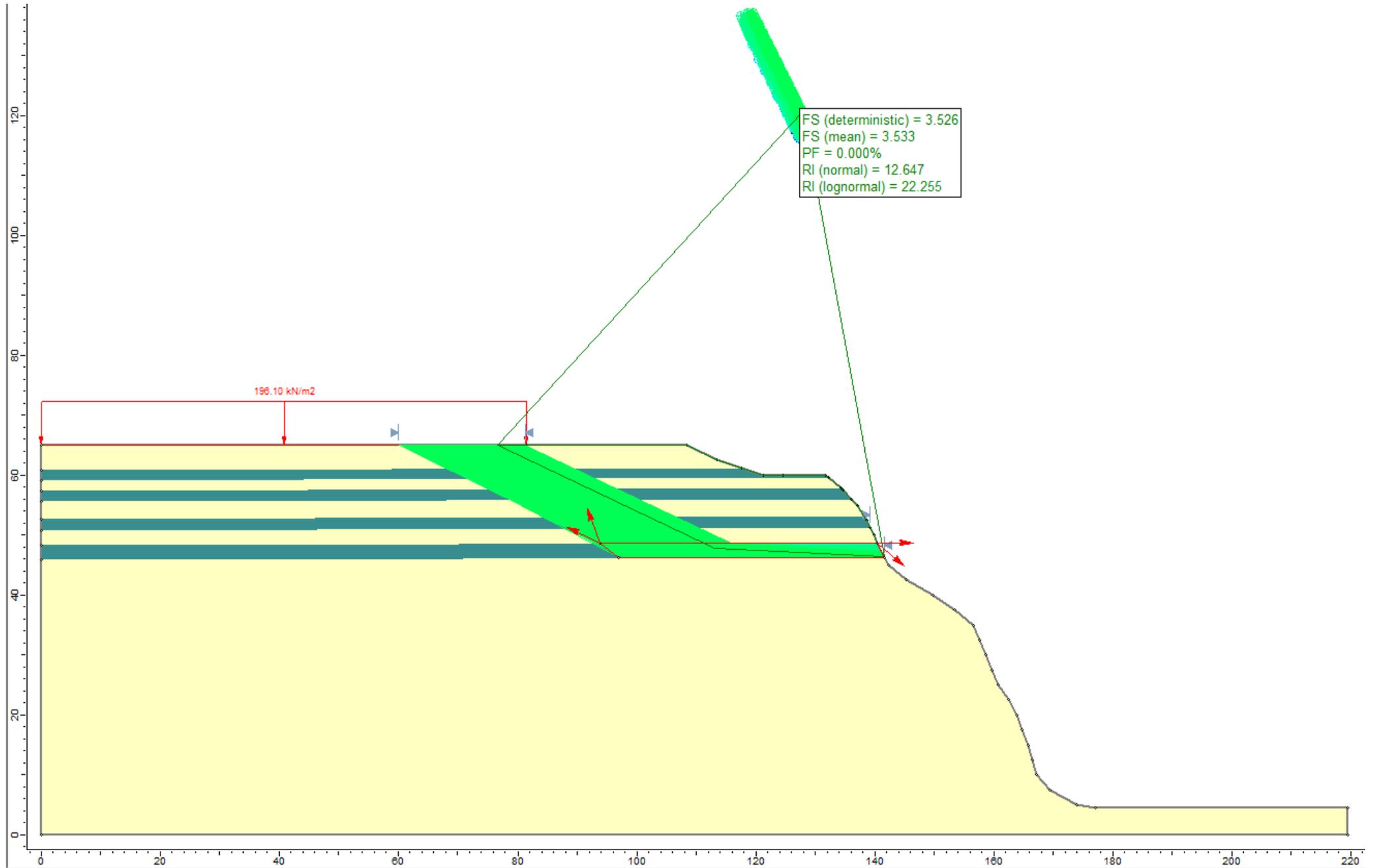
Falla circular - caso pseudo estático



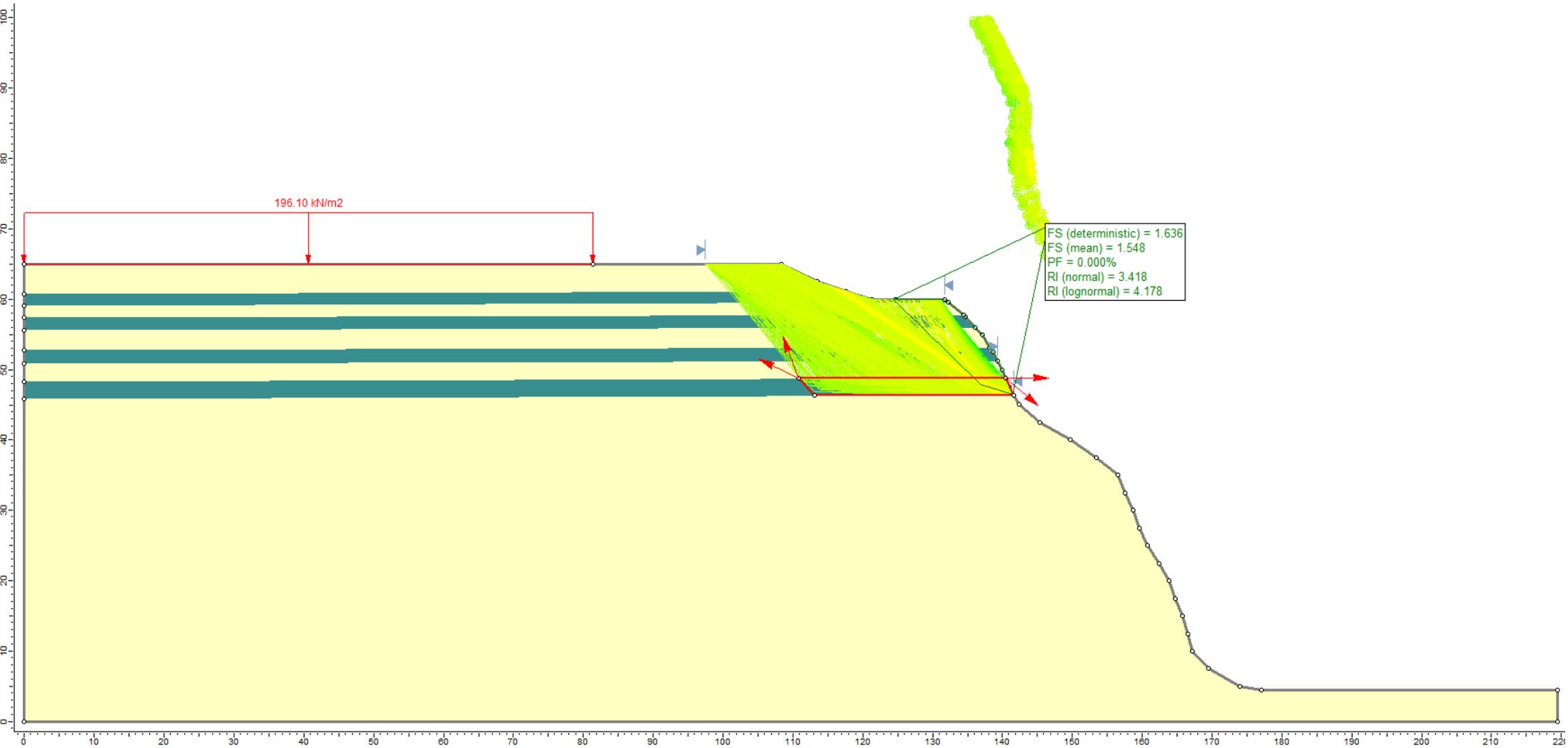
Falla circular - caso pseudo estático



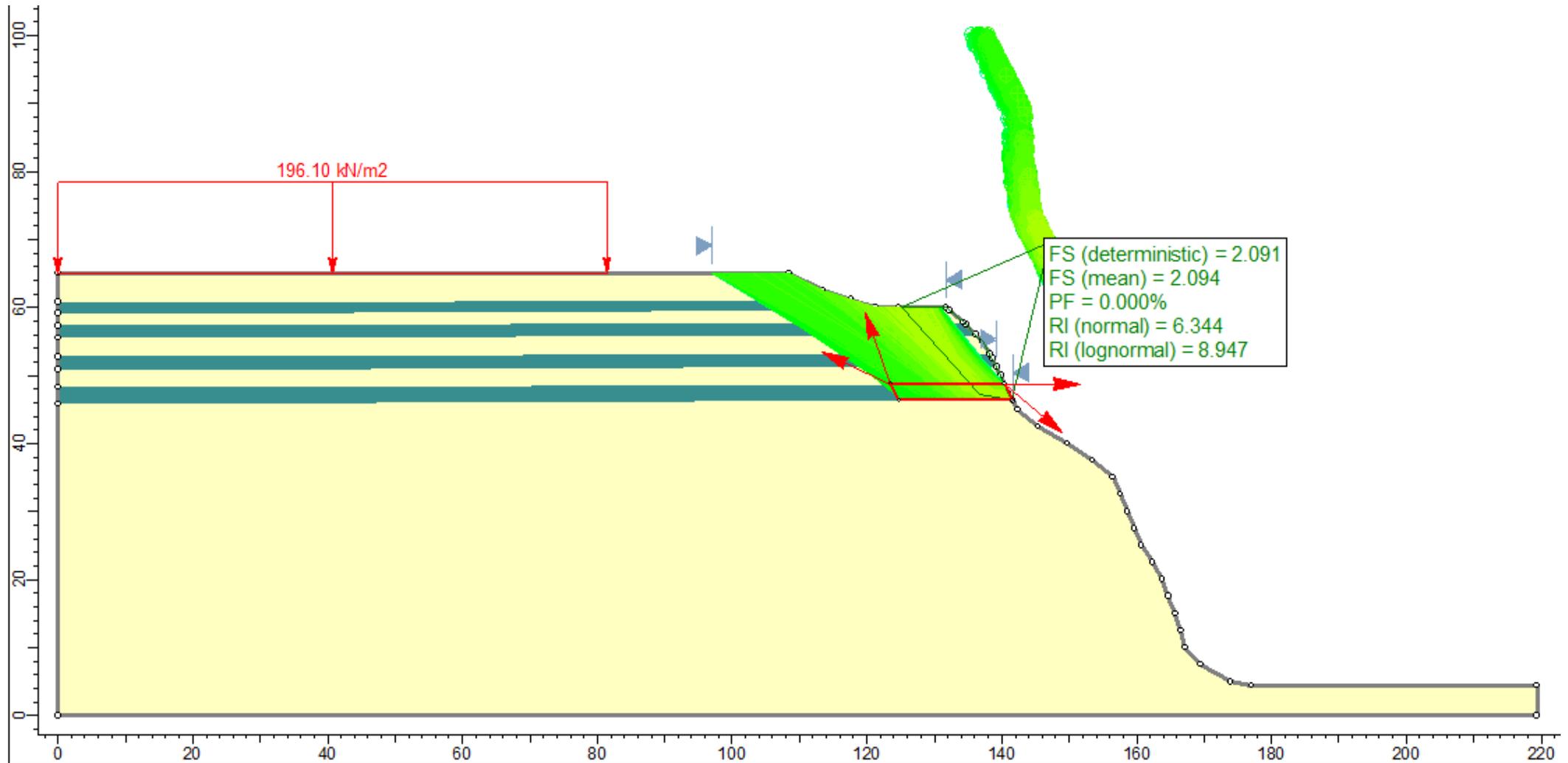
Falla en bloque - caso estático



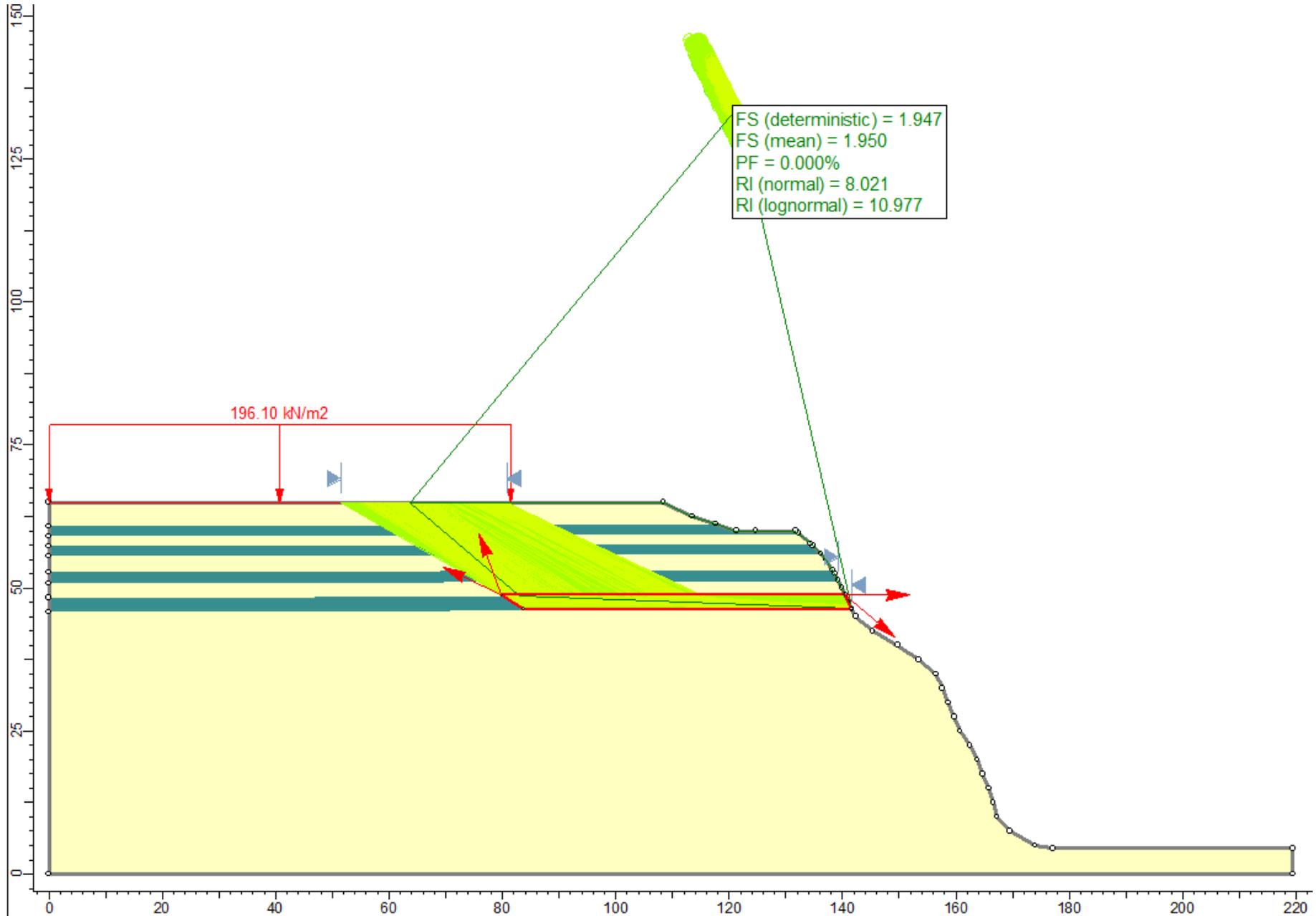
Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático



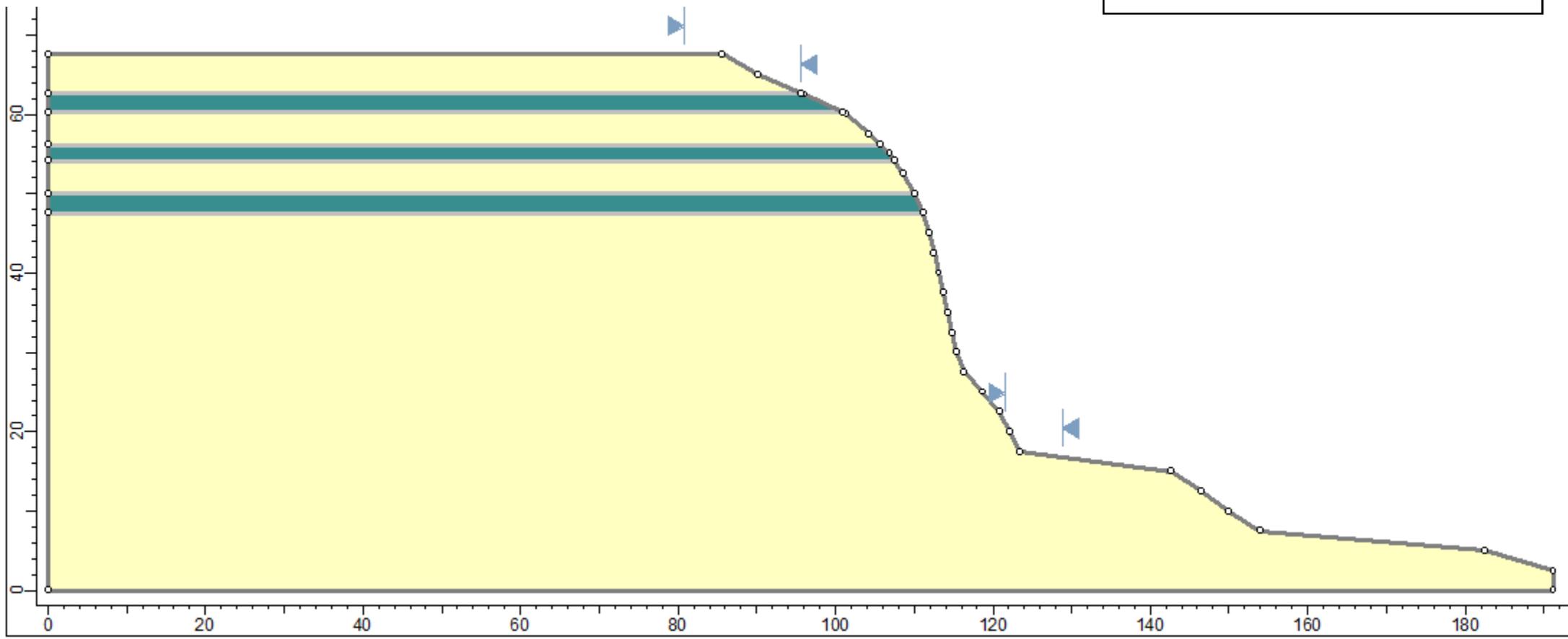
Falla en bloque - caso pseudo estático



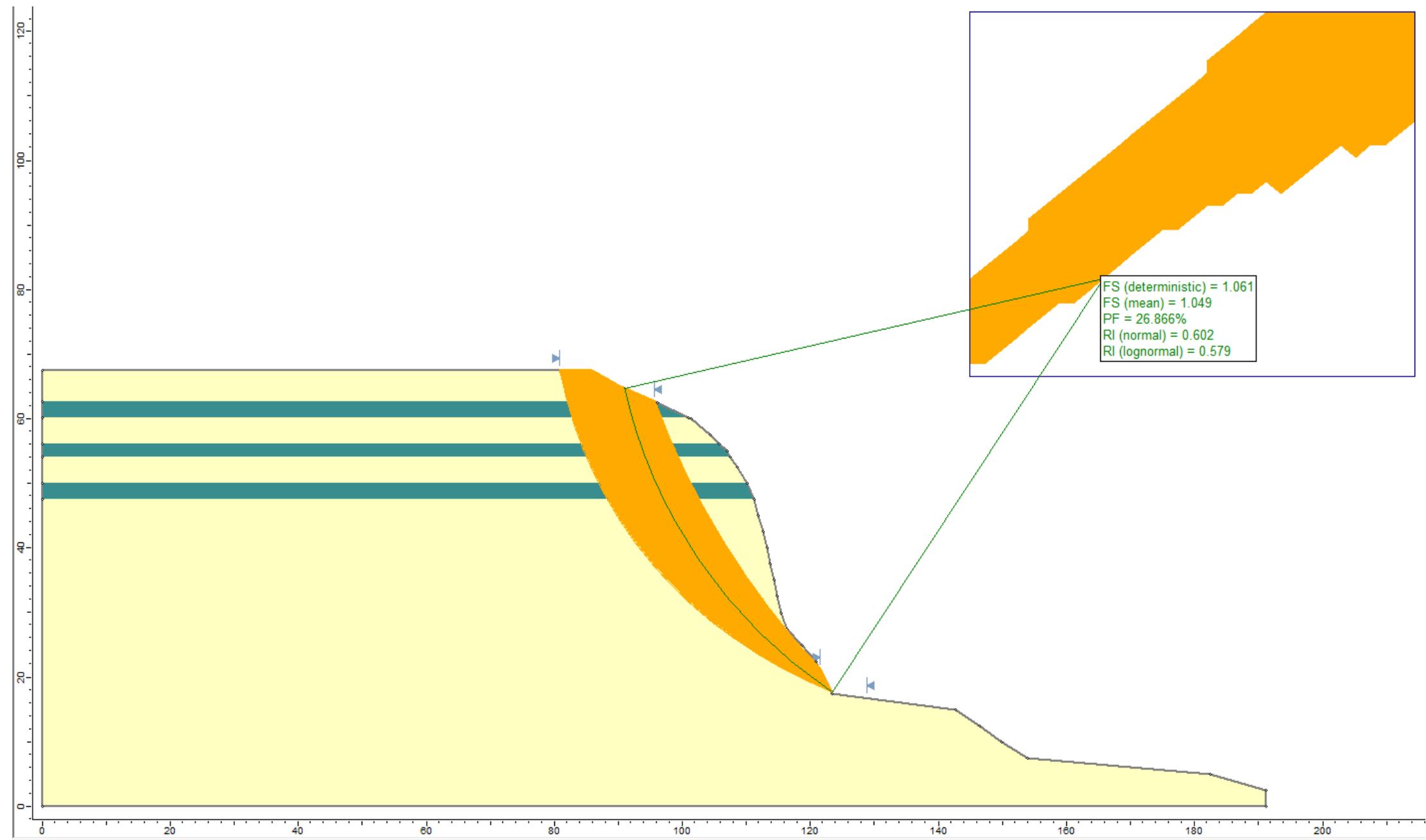
Mi_3

LEYENDA

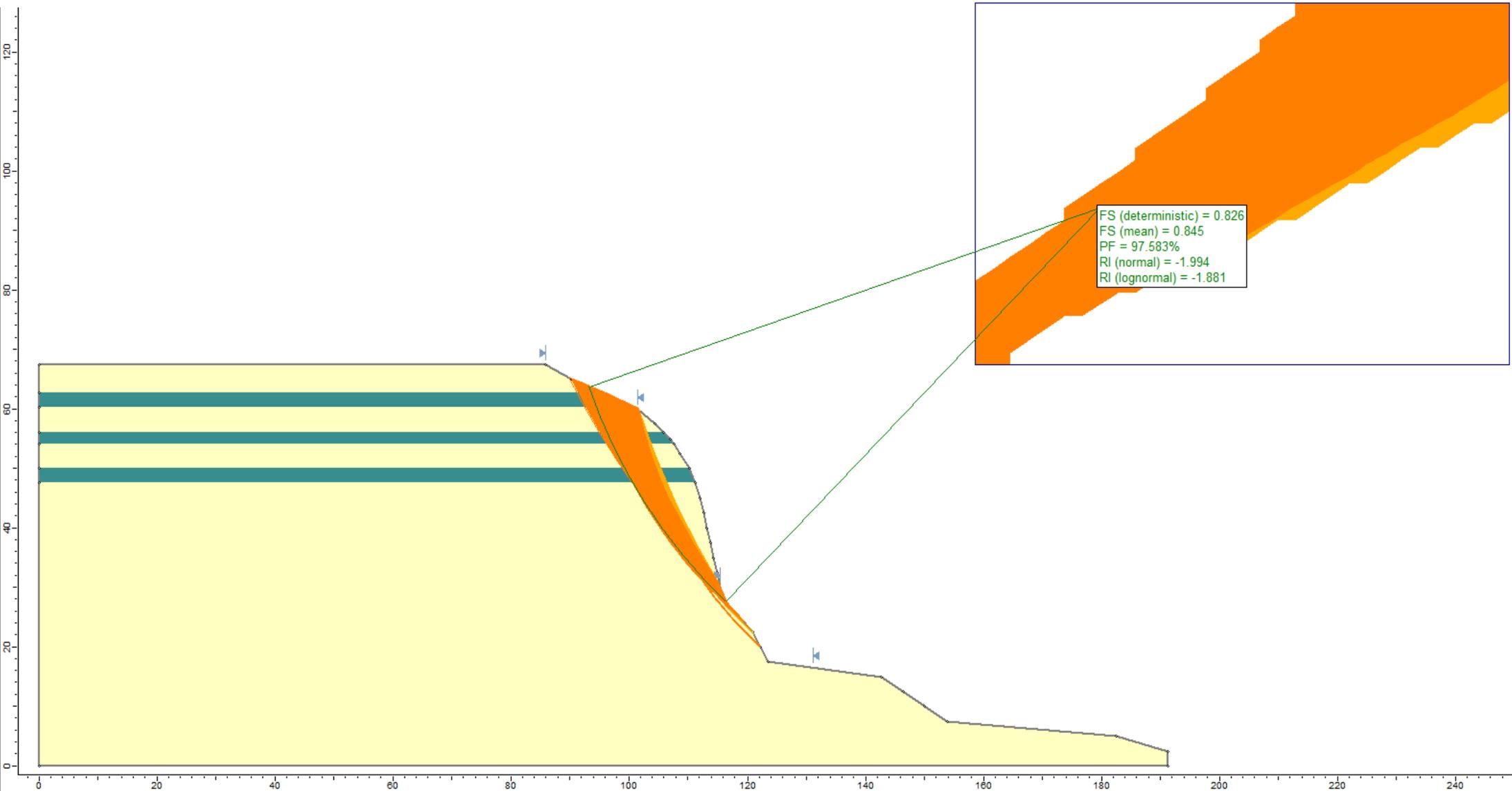
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



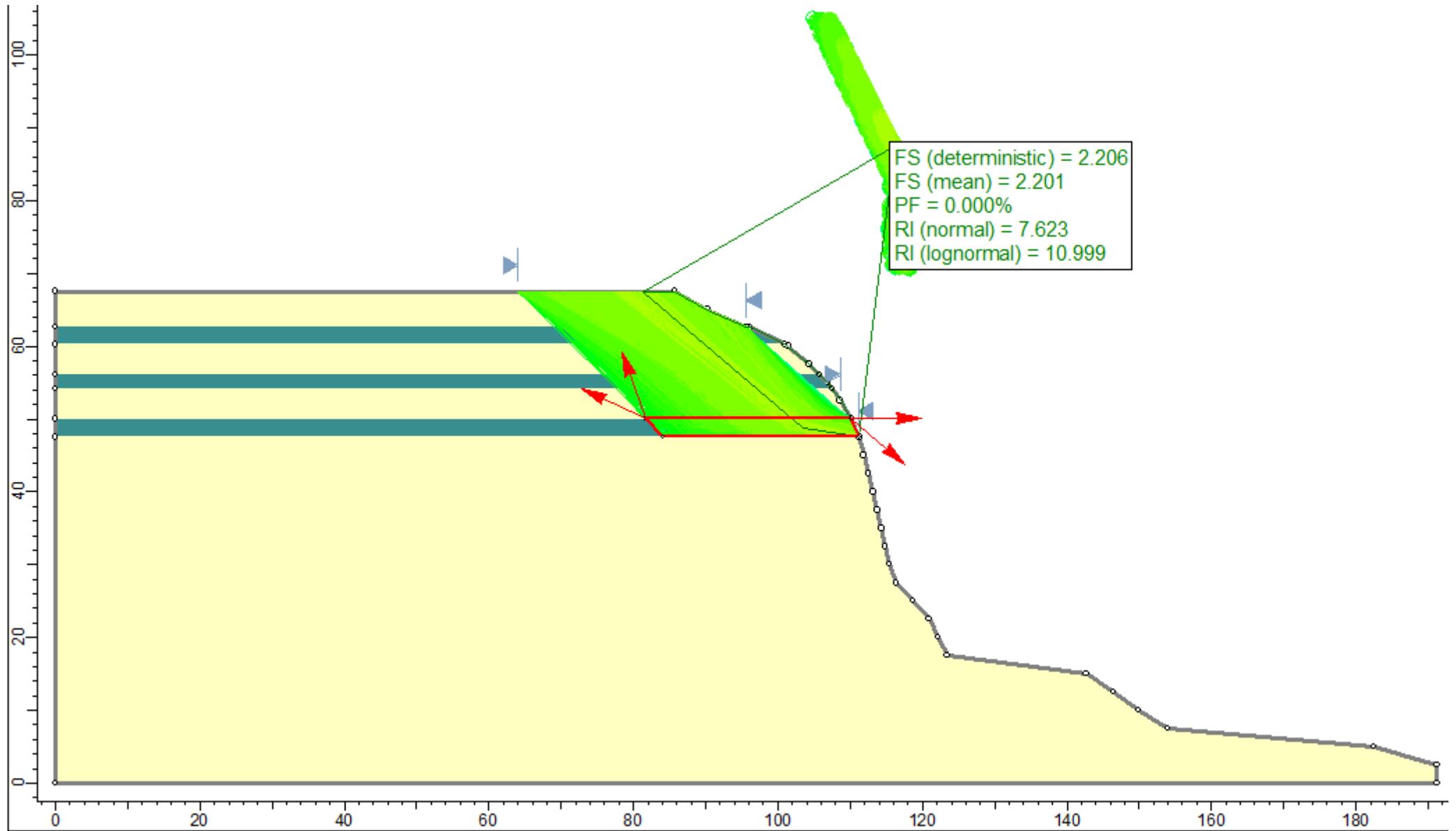
Falla circular - caso estático



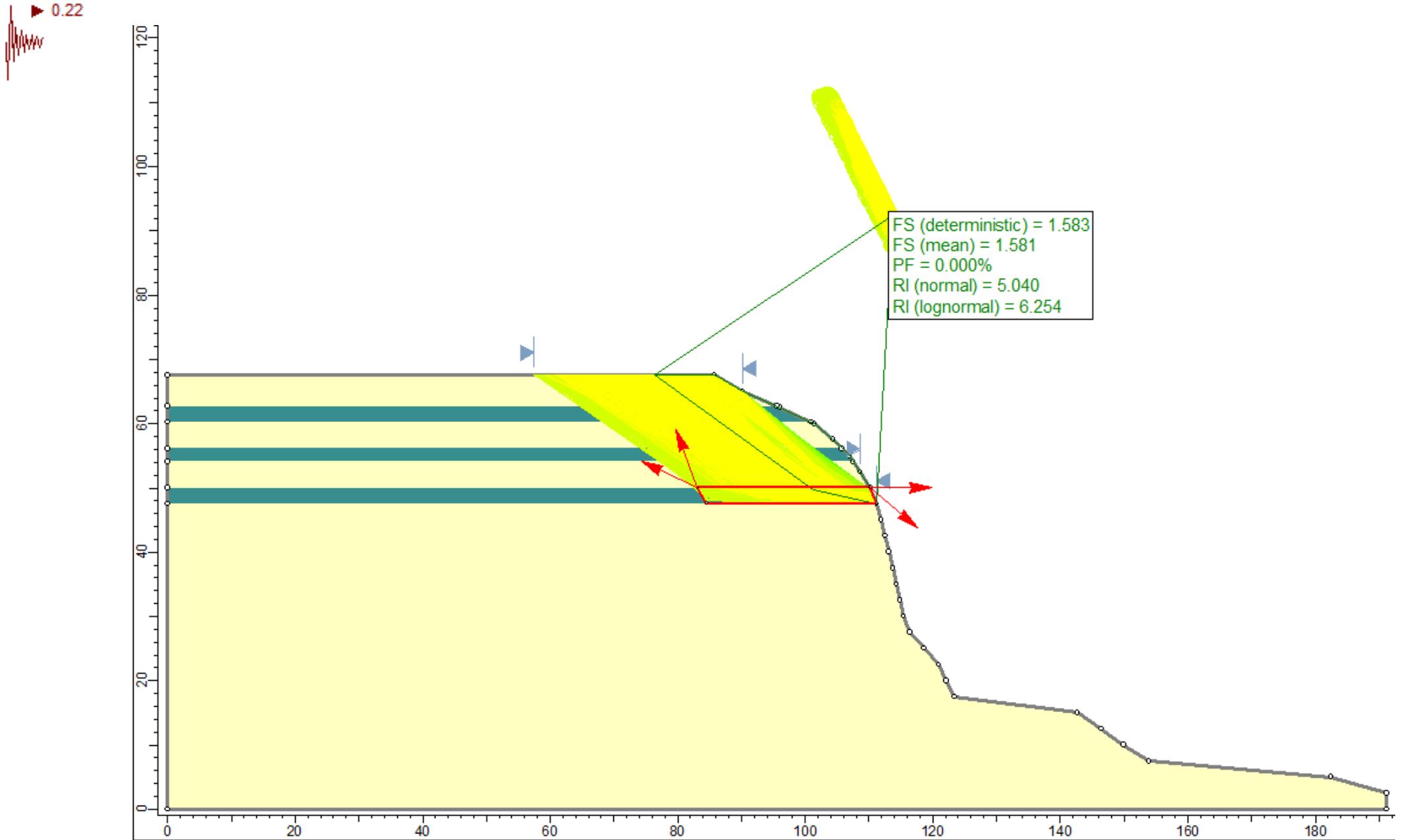
Falla circular - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático



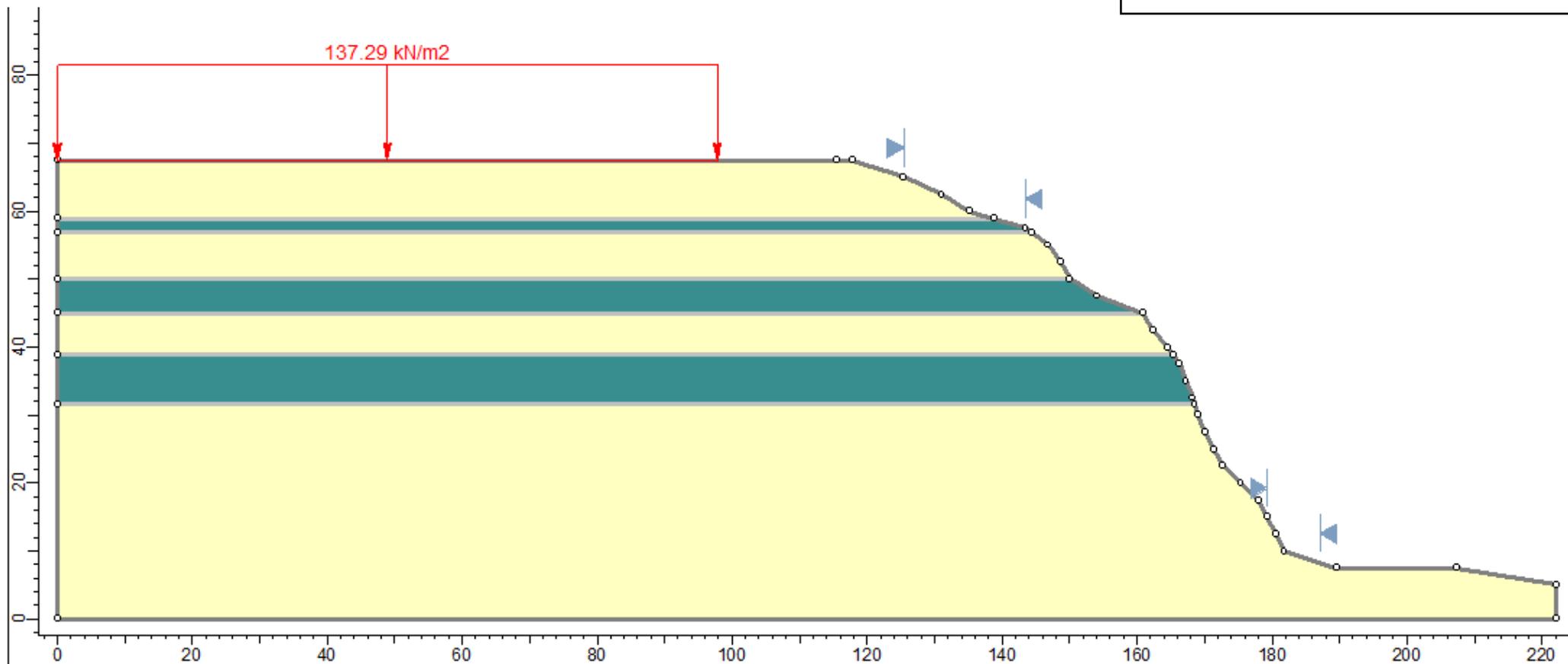
Falla en bloque - caso pseudo estático



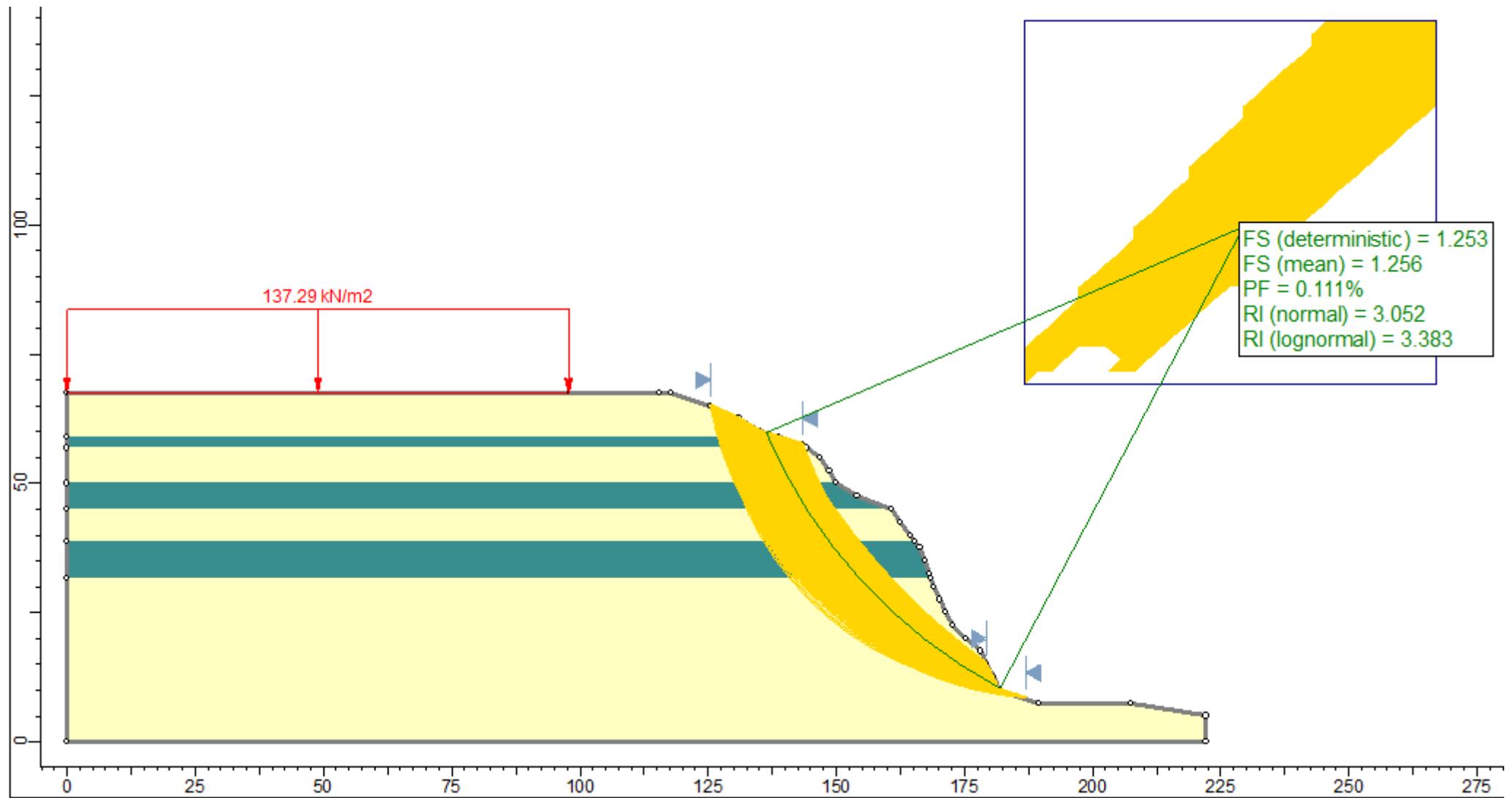
Mi_4

LEYENDA

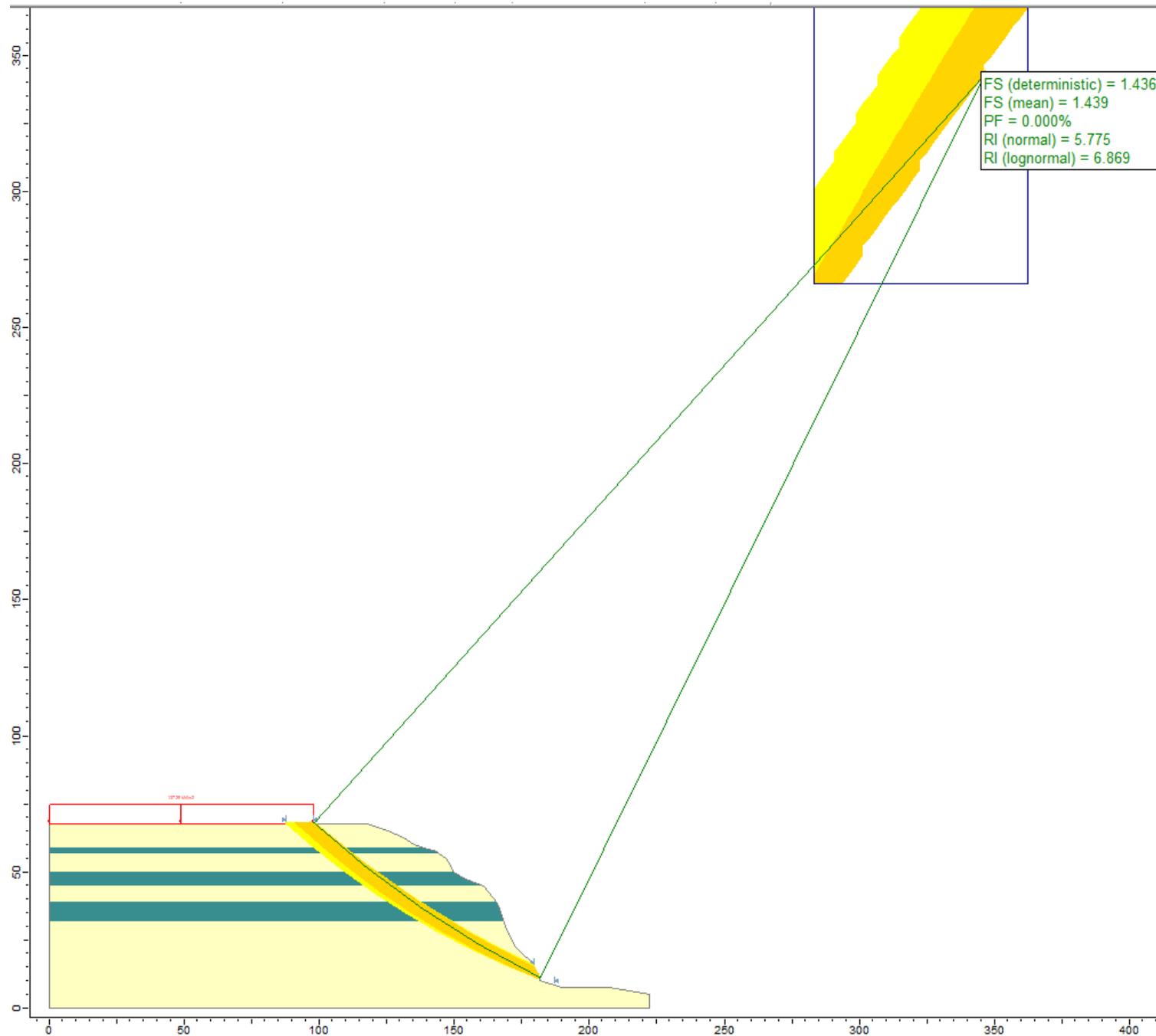
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



Falla circular - caso estático

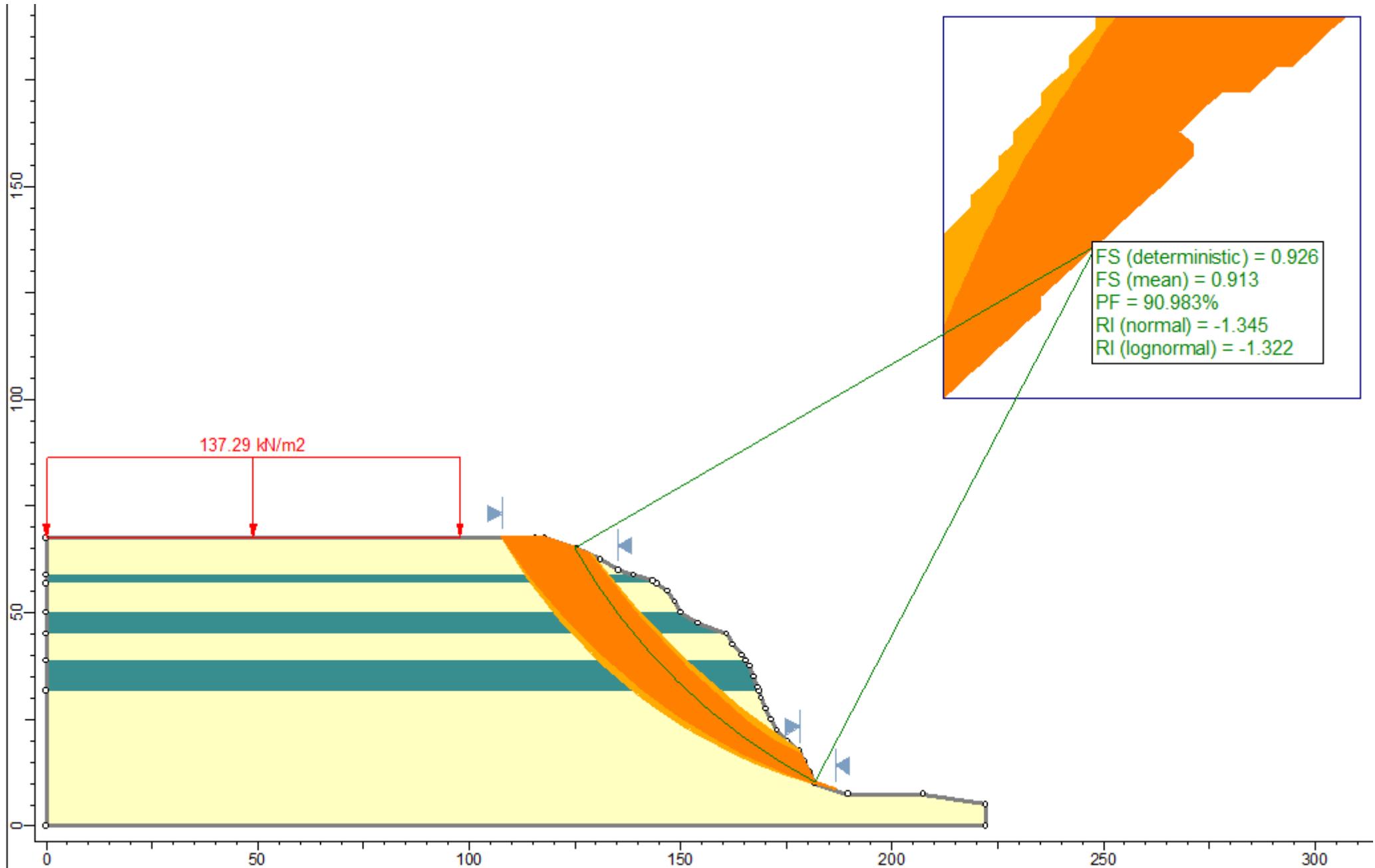


Falla circular - caso estático

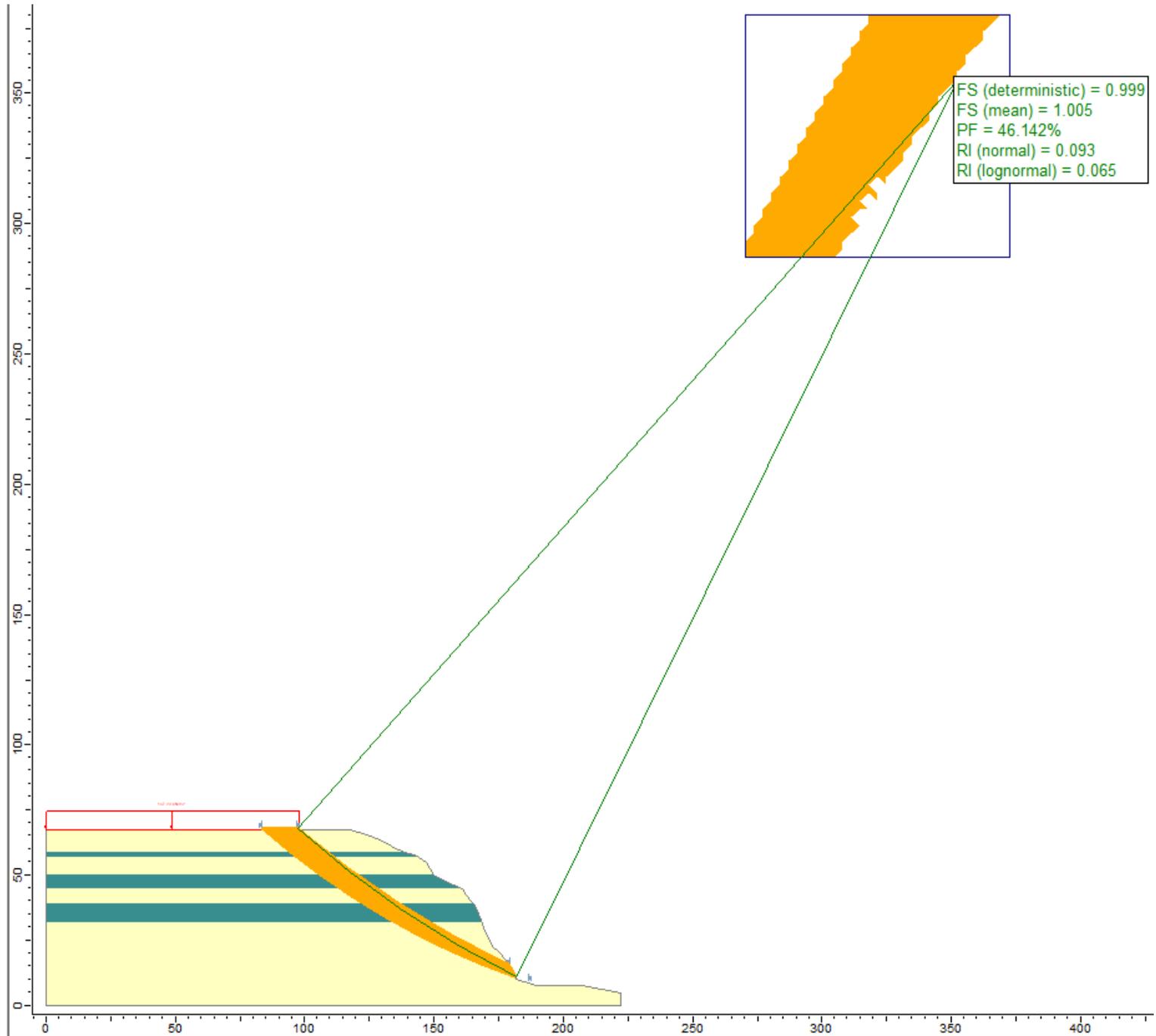


Falla circular - caso pseudo estático

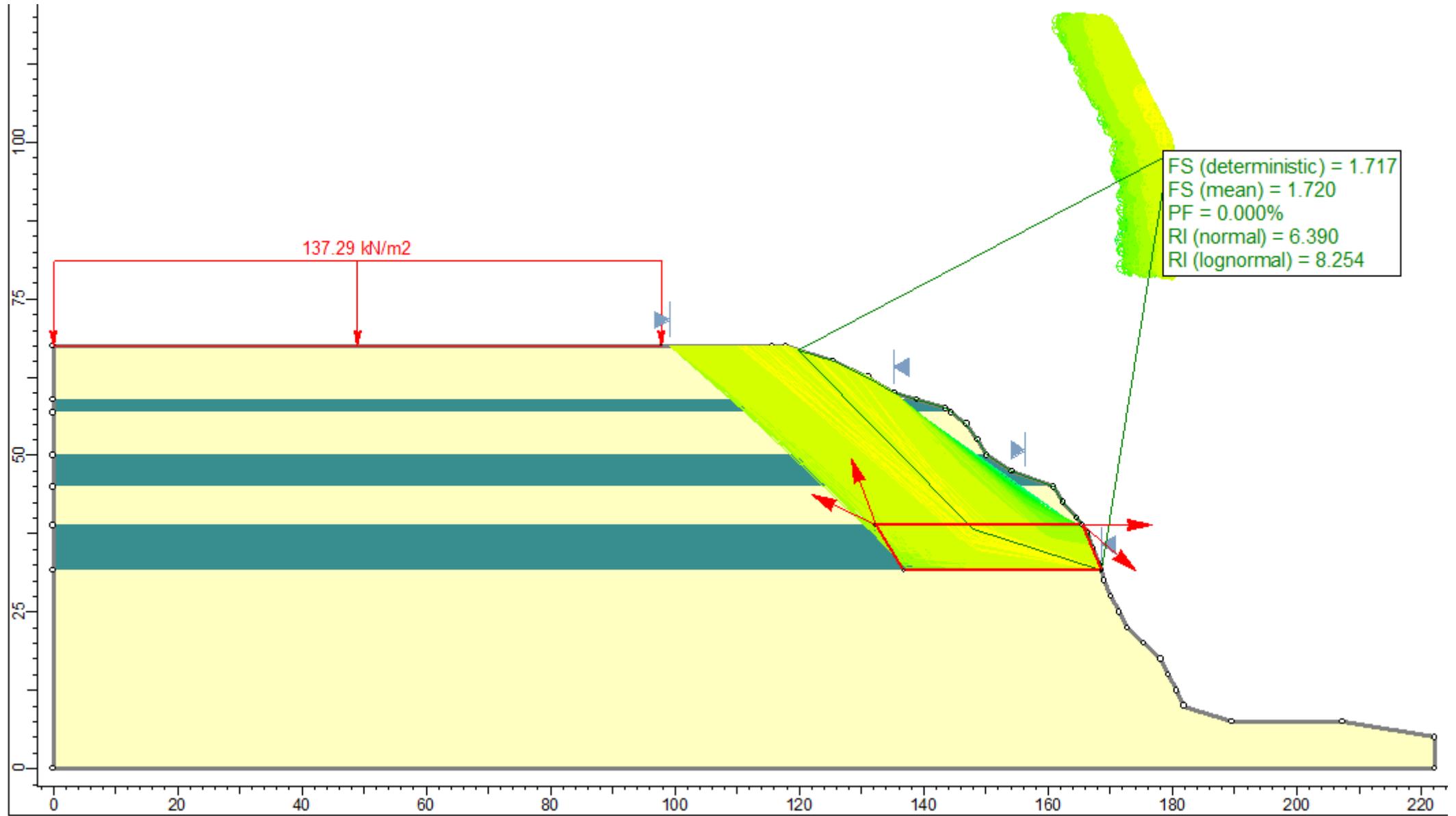
▶ 0.22



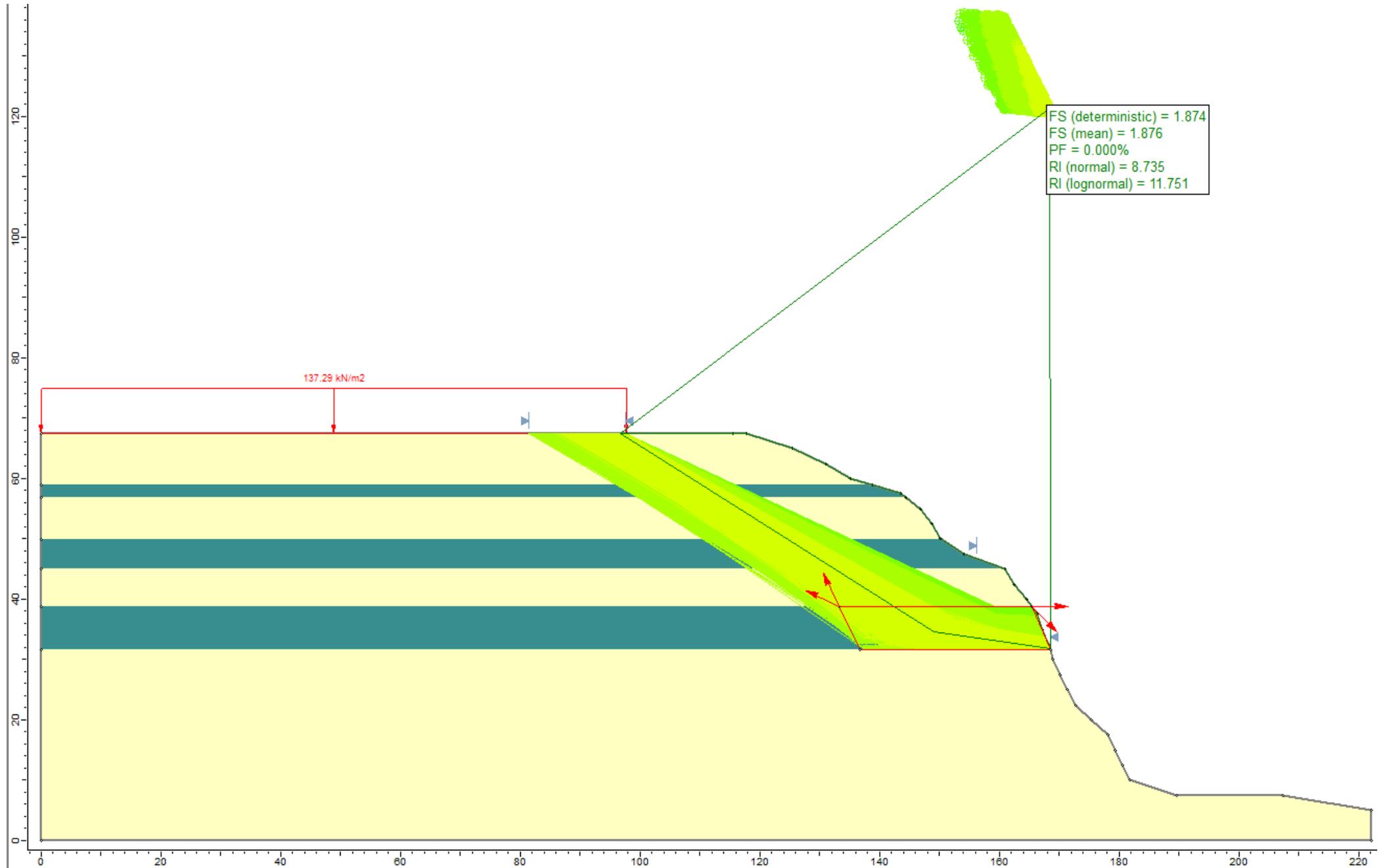
Falla circular - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso estático

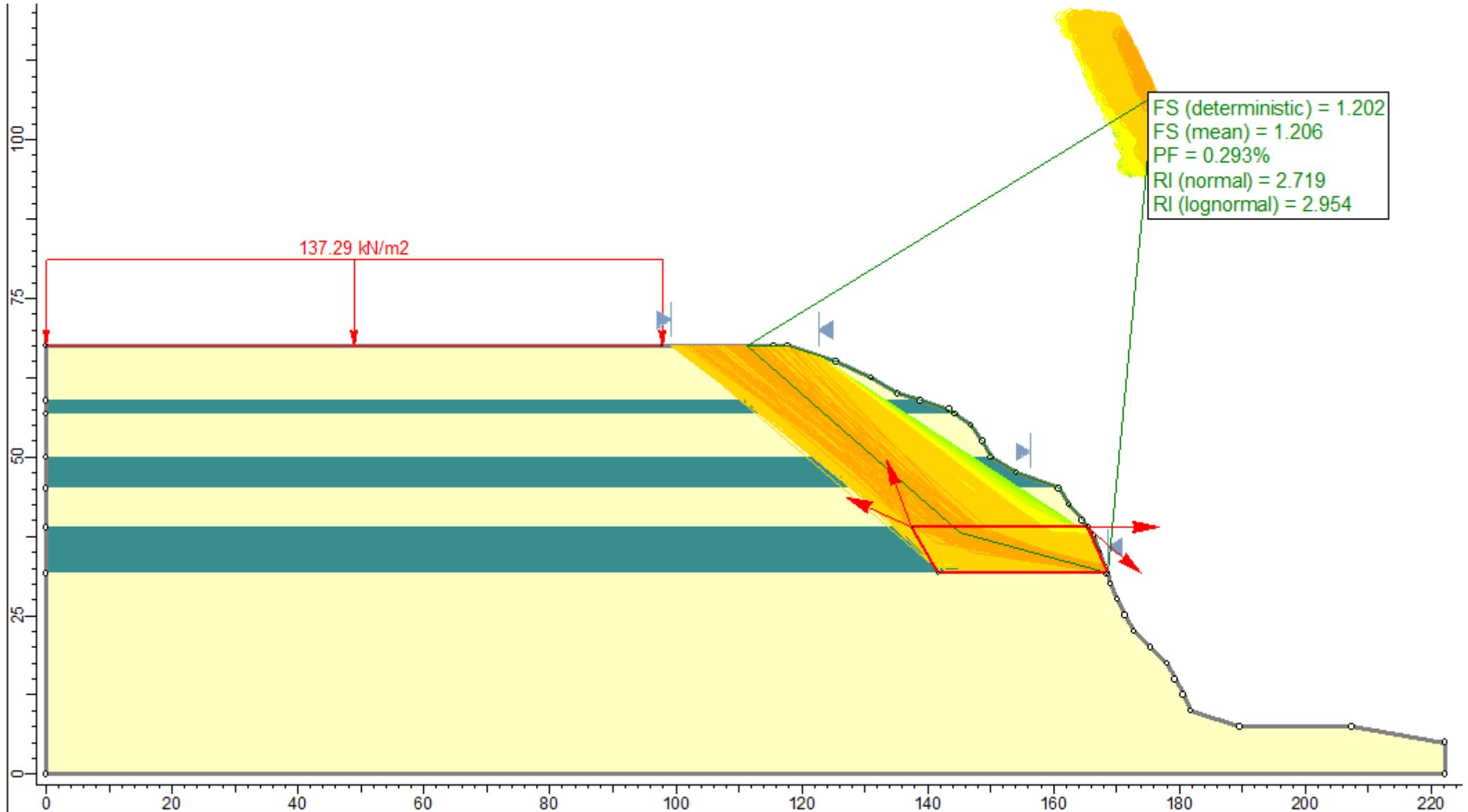


Falla en bloque - caso estático

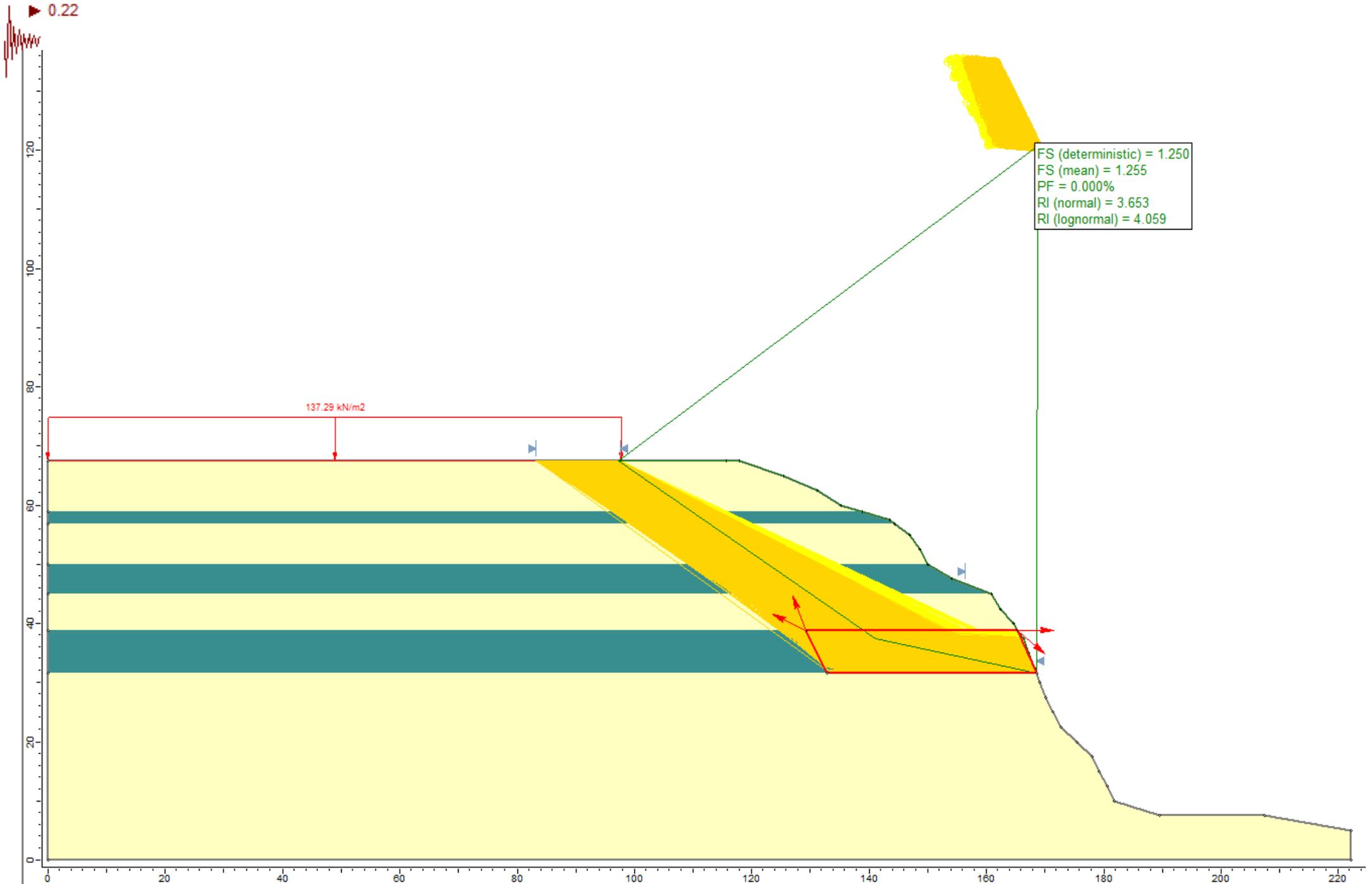


Falla en bloque - caso pseudo estático

▶ 0.22



Falla en bloque - caso pseudo estático

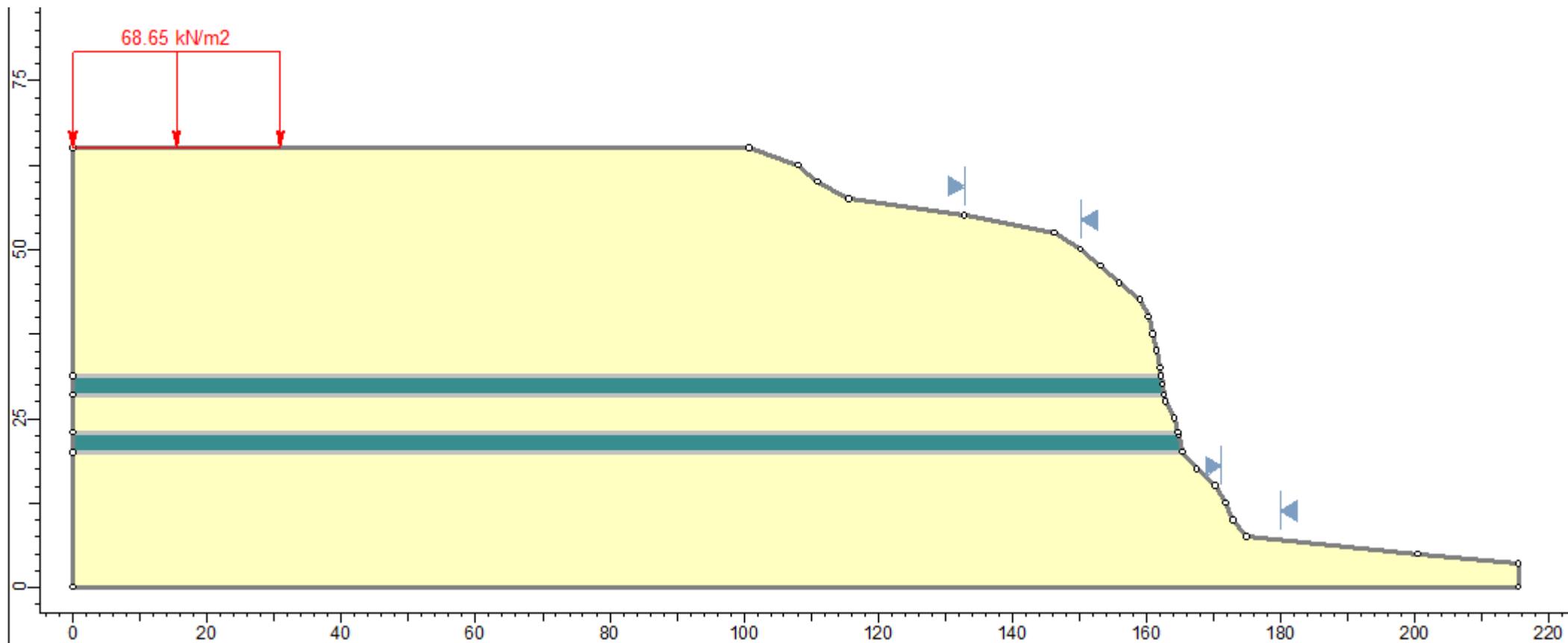


BARRANCO

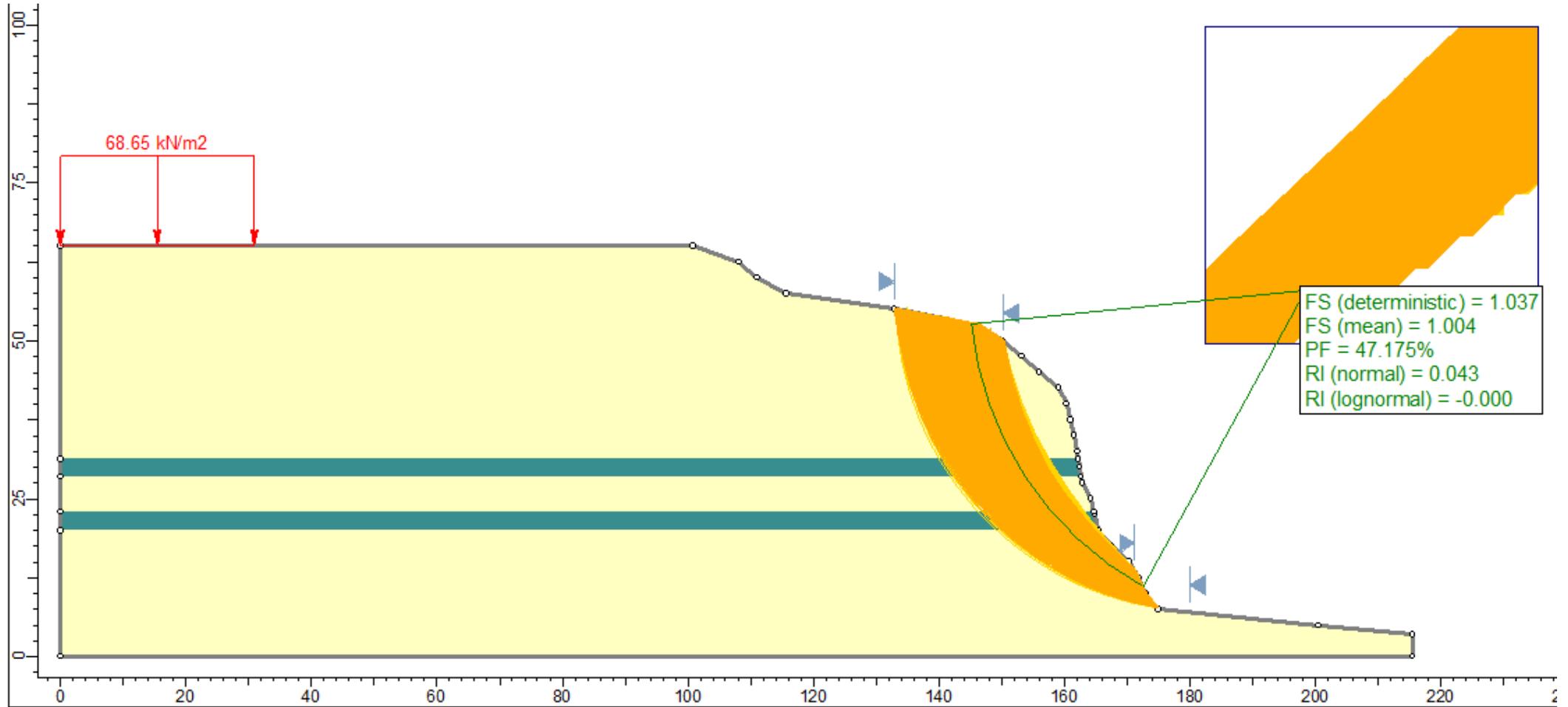
B_1

LEYENDA

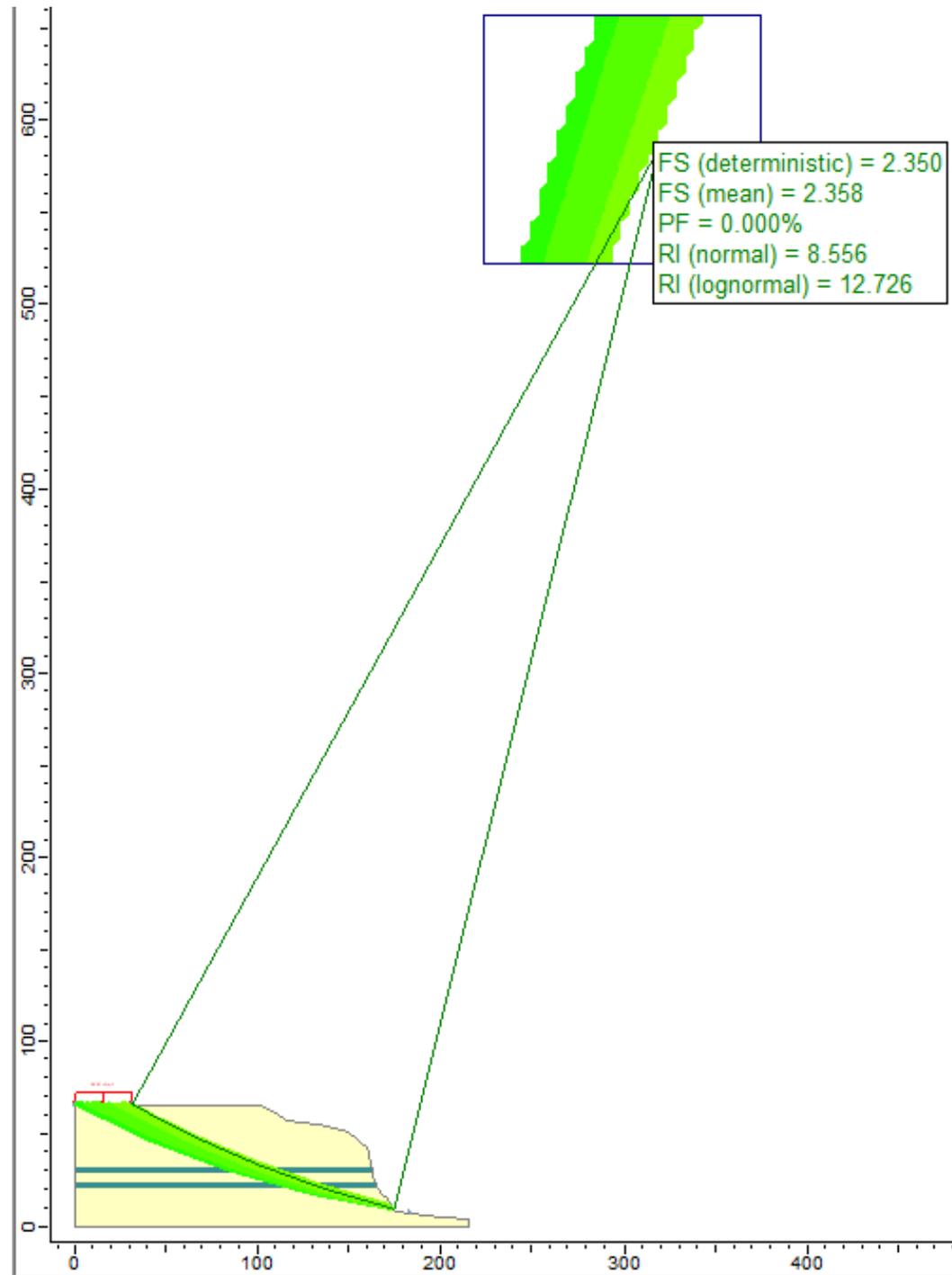
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



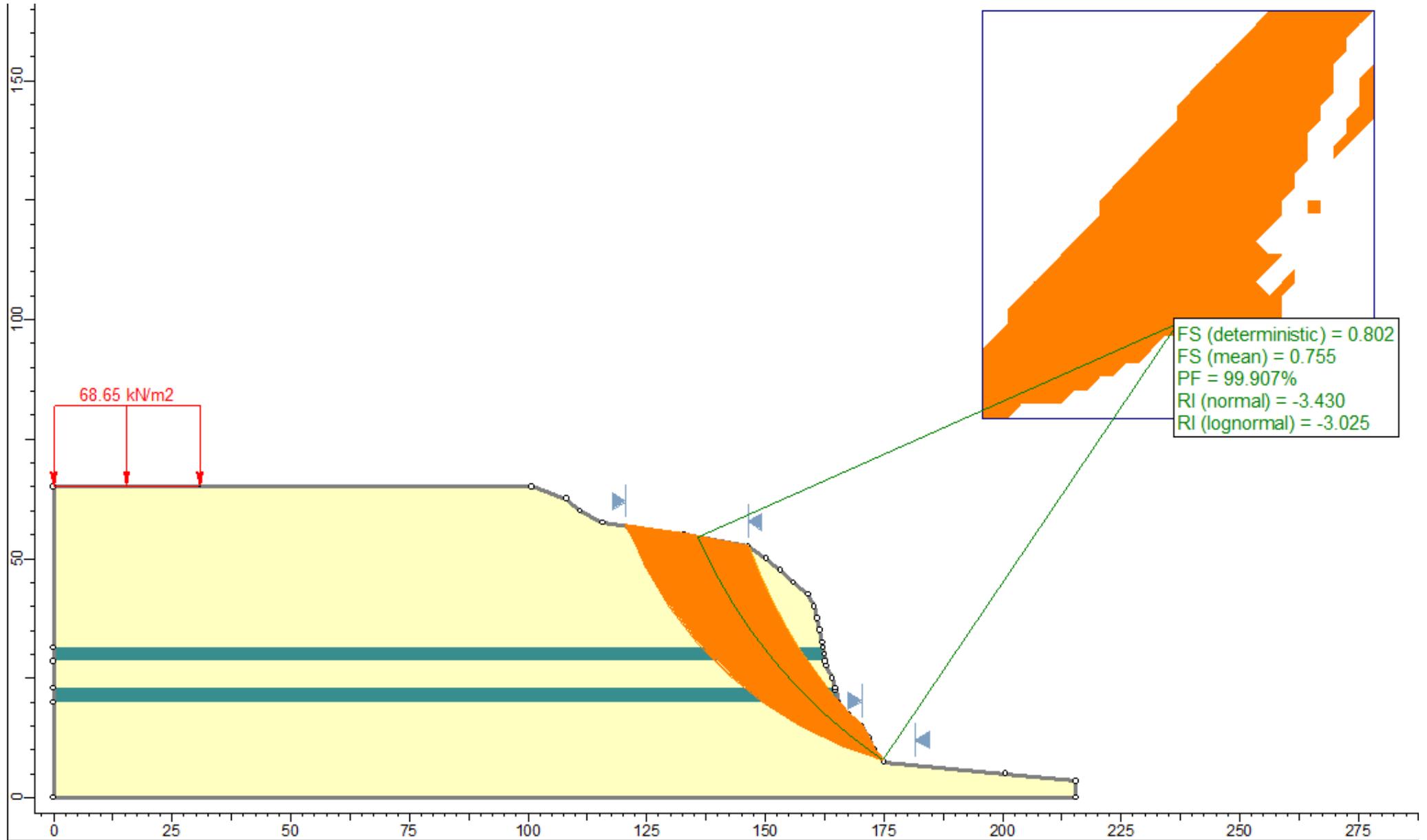
Falla circular - caso estático



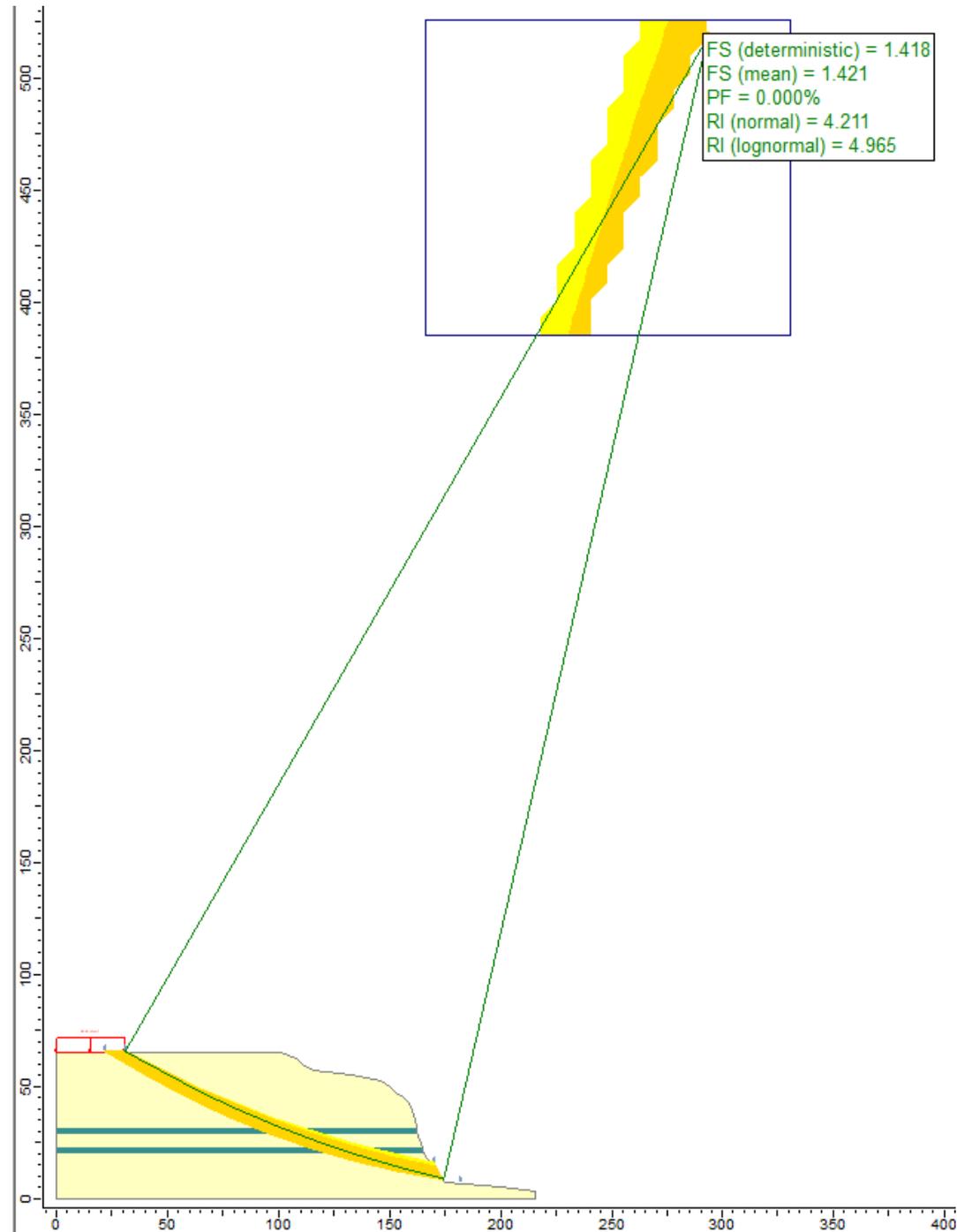
Falla circular - caso estático



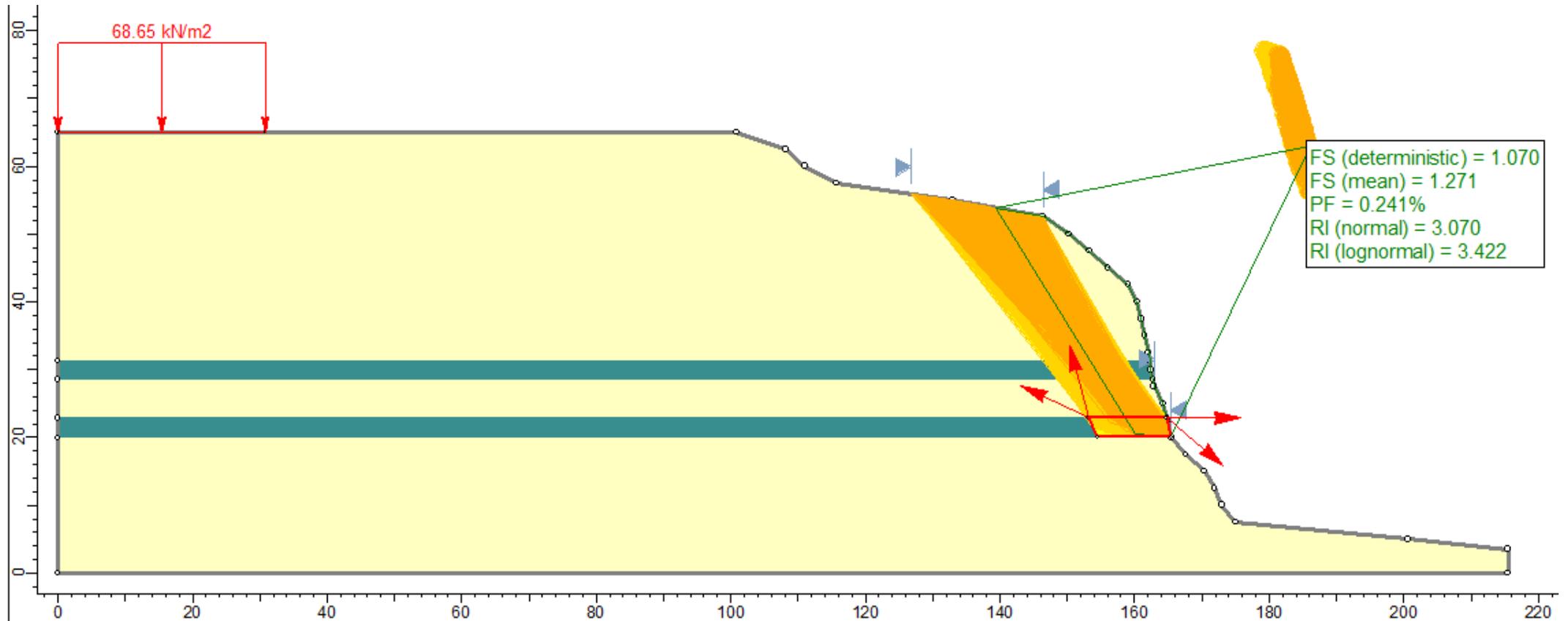
Falla circular - caso pseudo estático



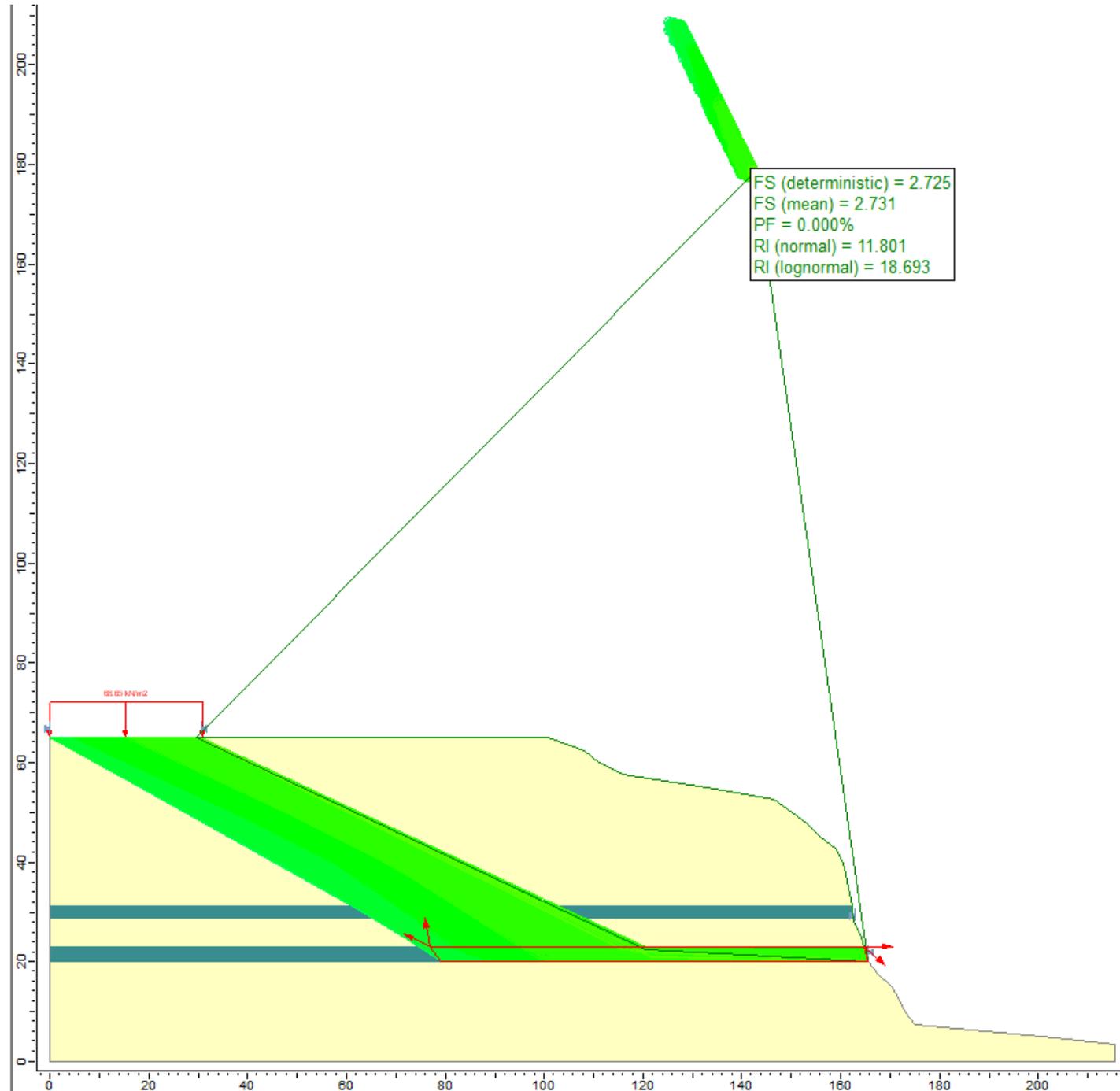
Falla circular - caso pseudo estático



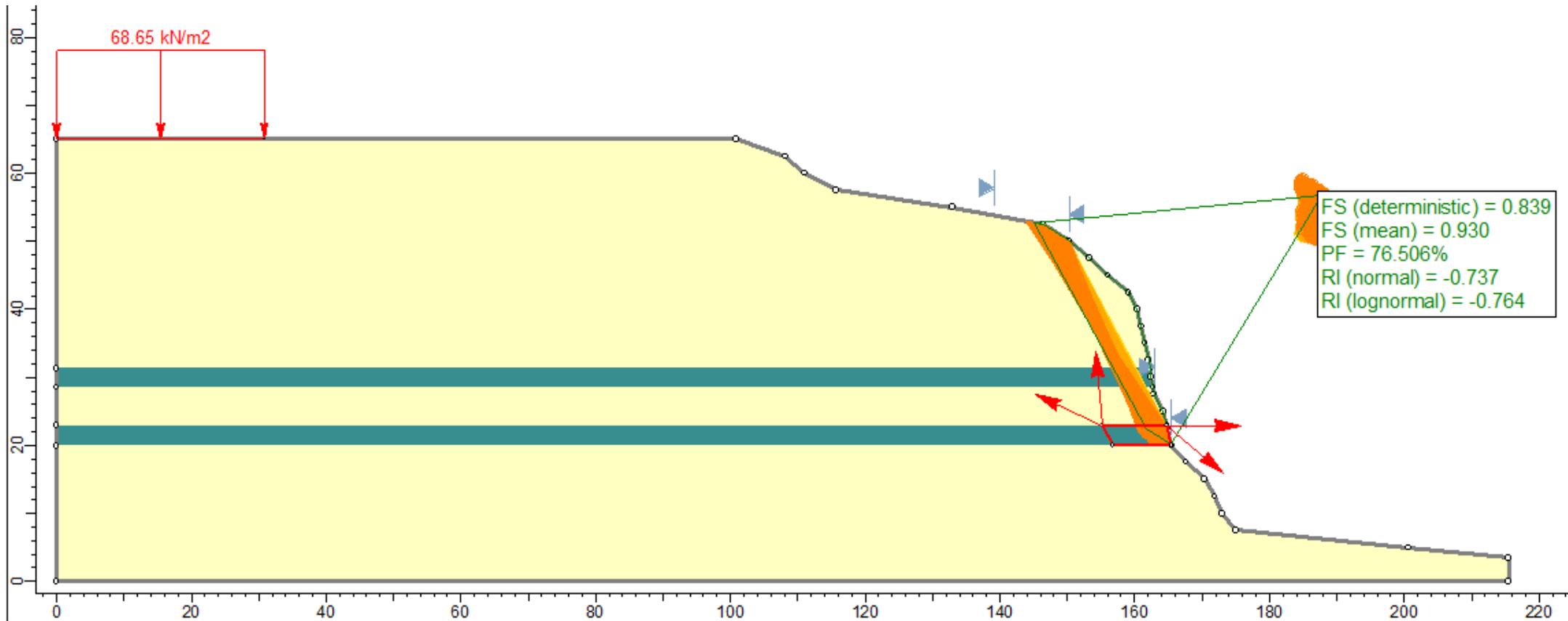
Falla en bloque - caso estático



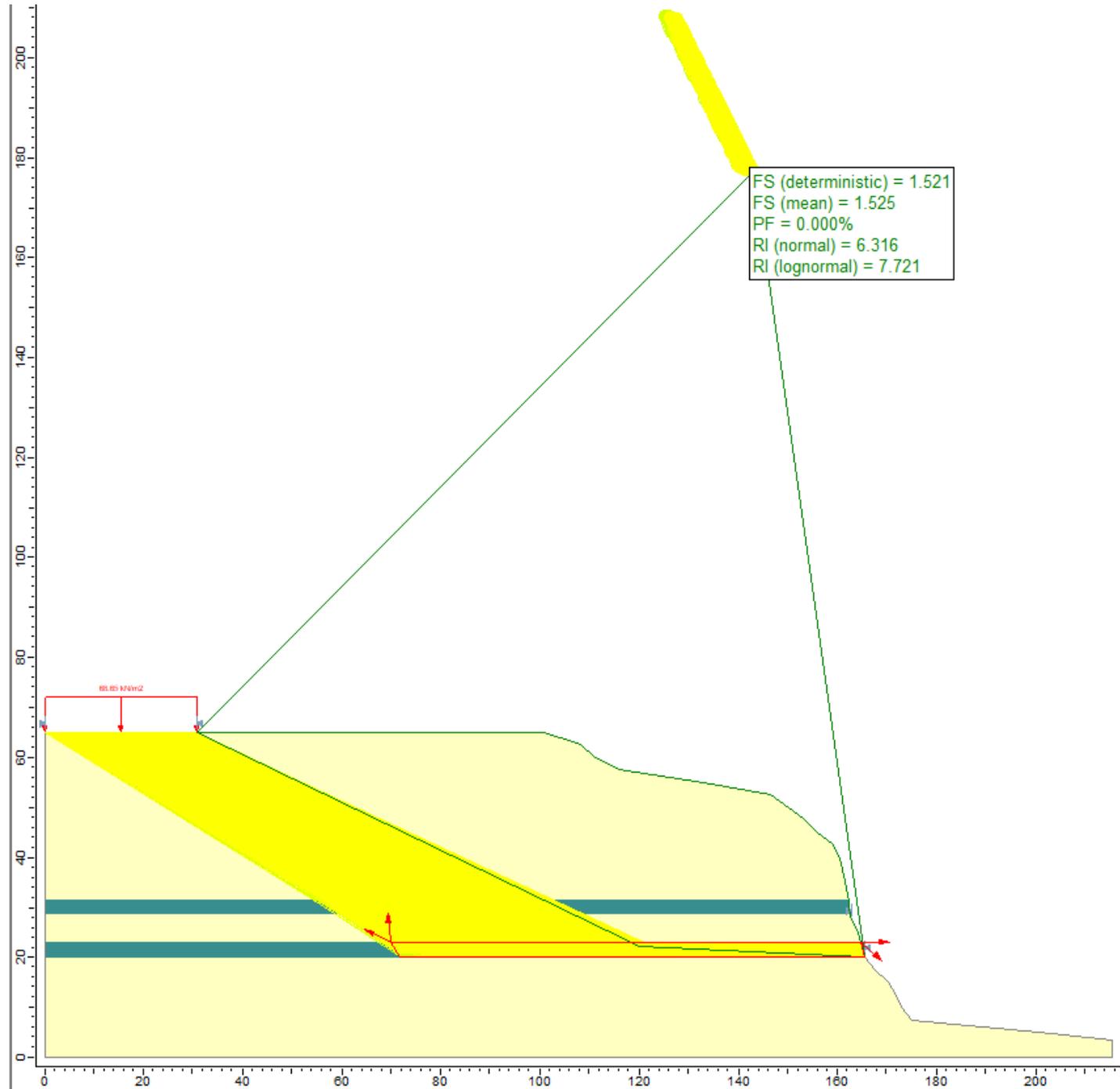
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



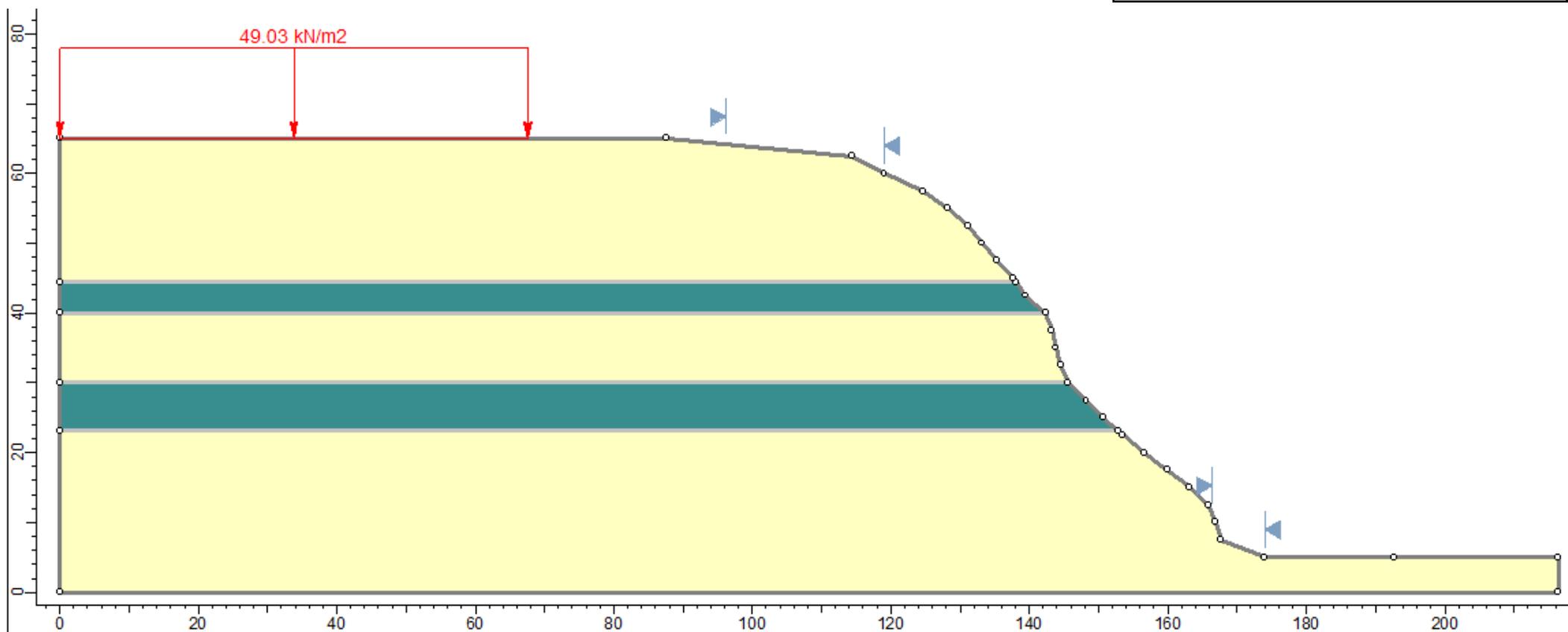
Falla en bloque - caso pseudo estático



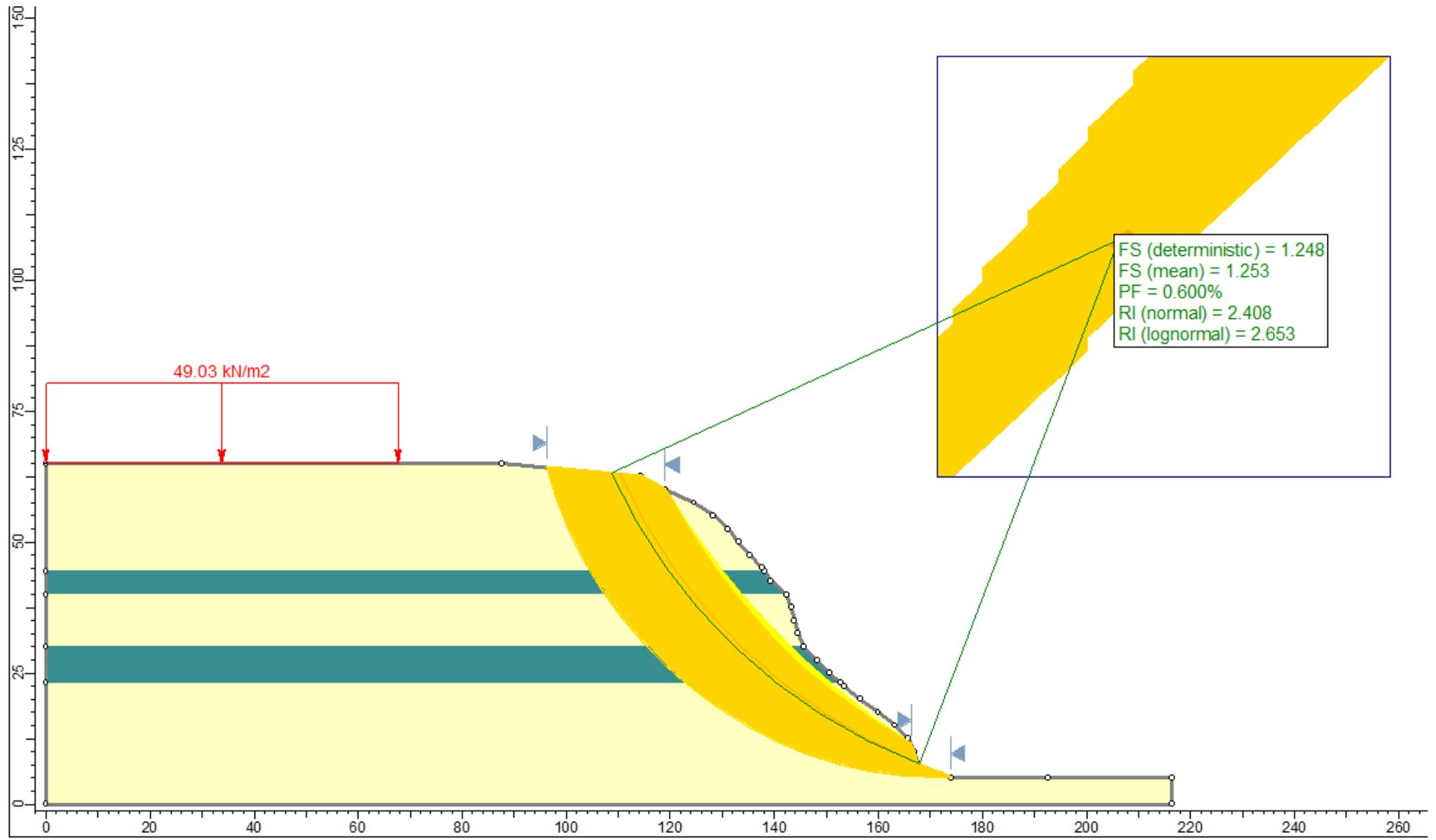
B_2

LEYENDA

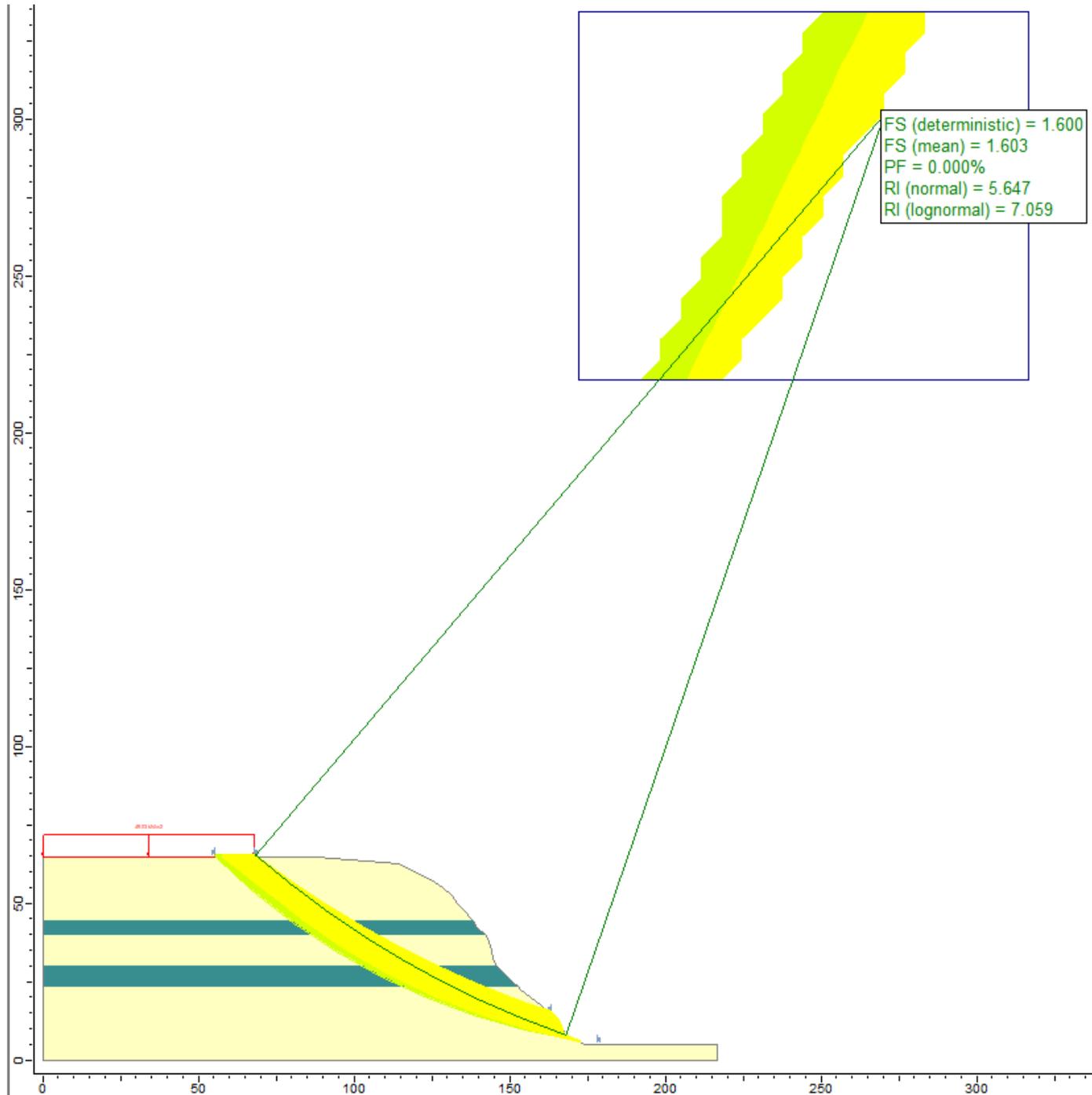
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



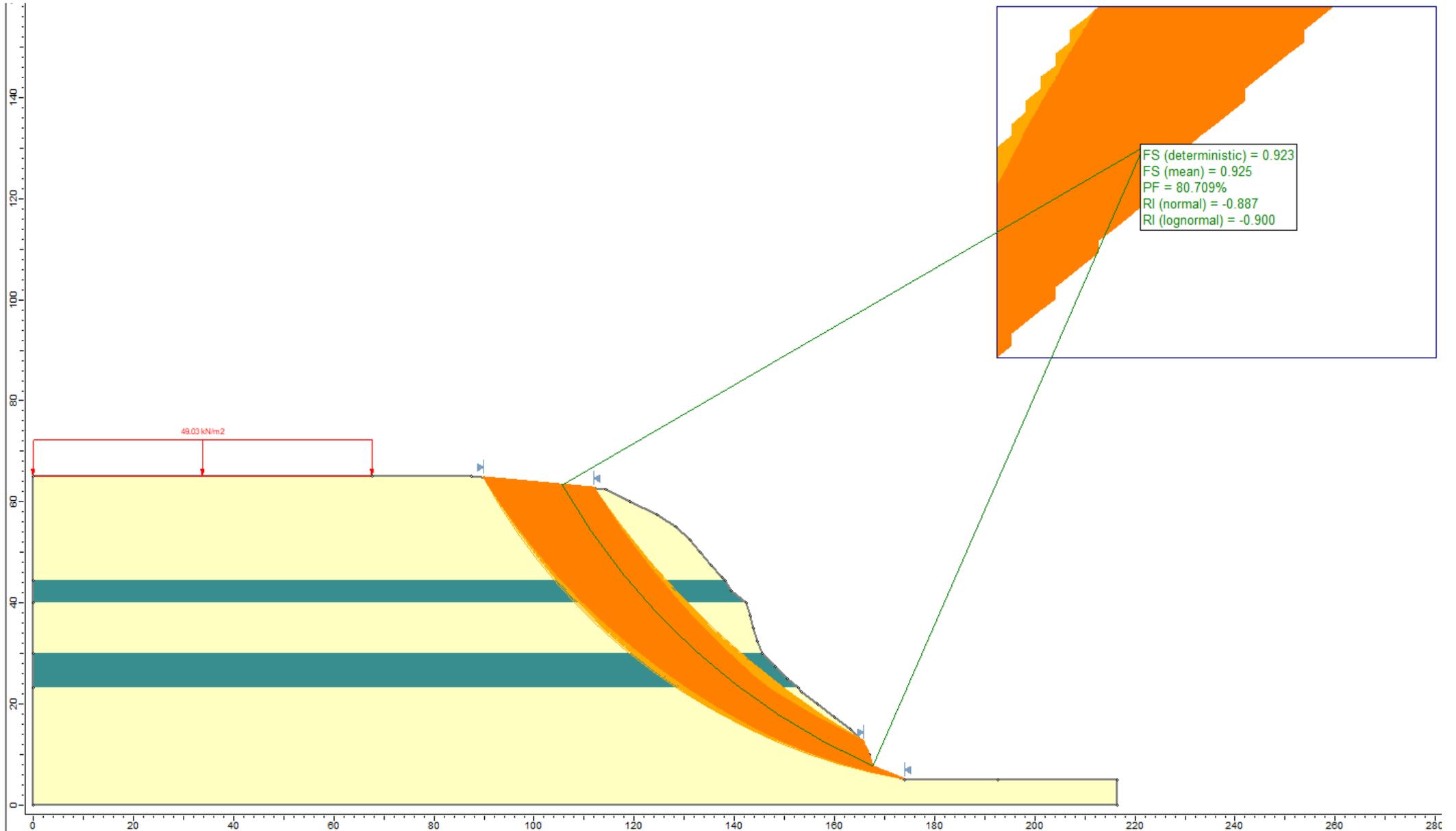
Falla circular - caso estático



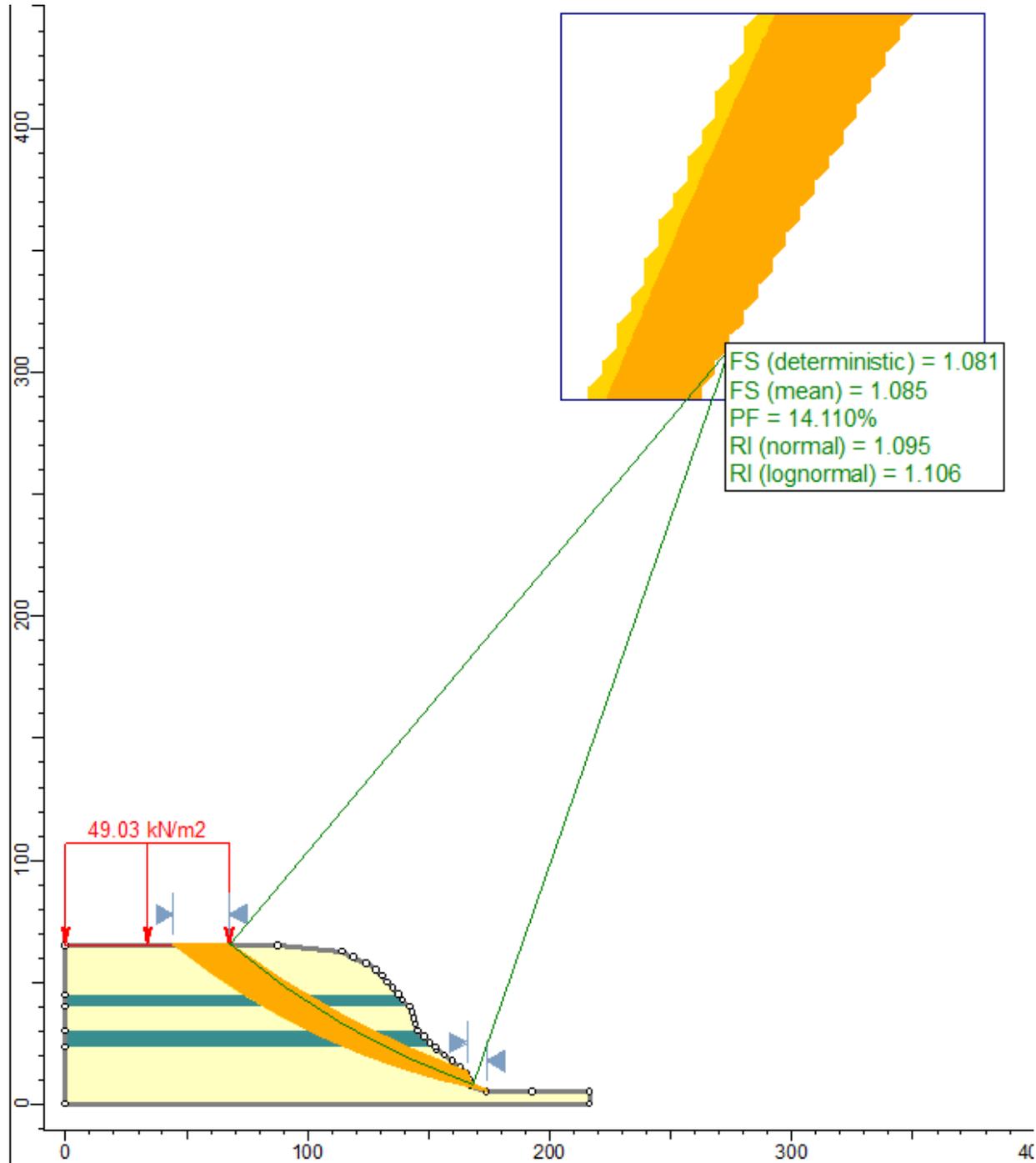
Falla circular - caso estático



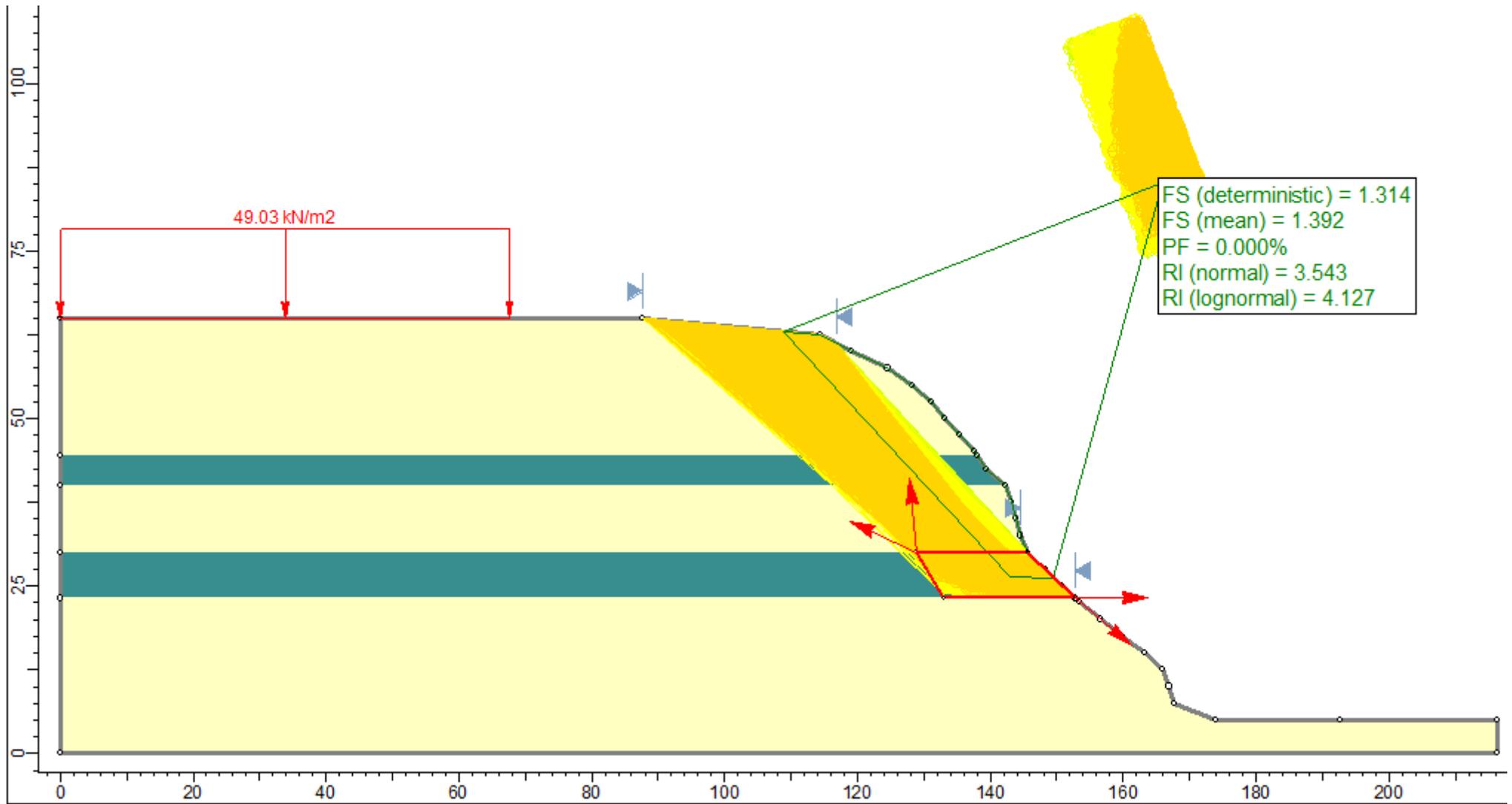
Falla circular - caso pseudo estático



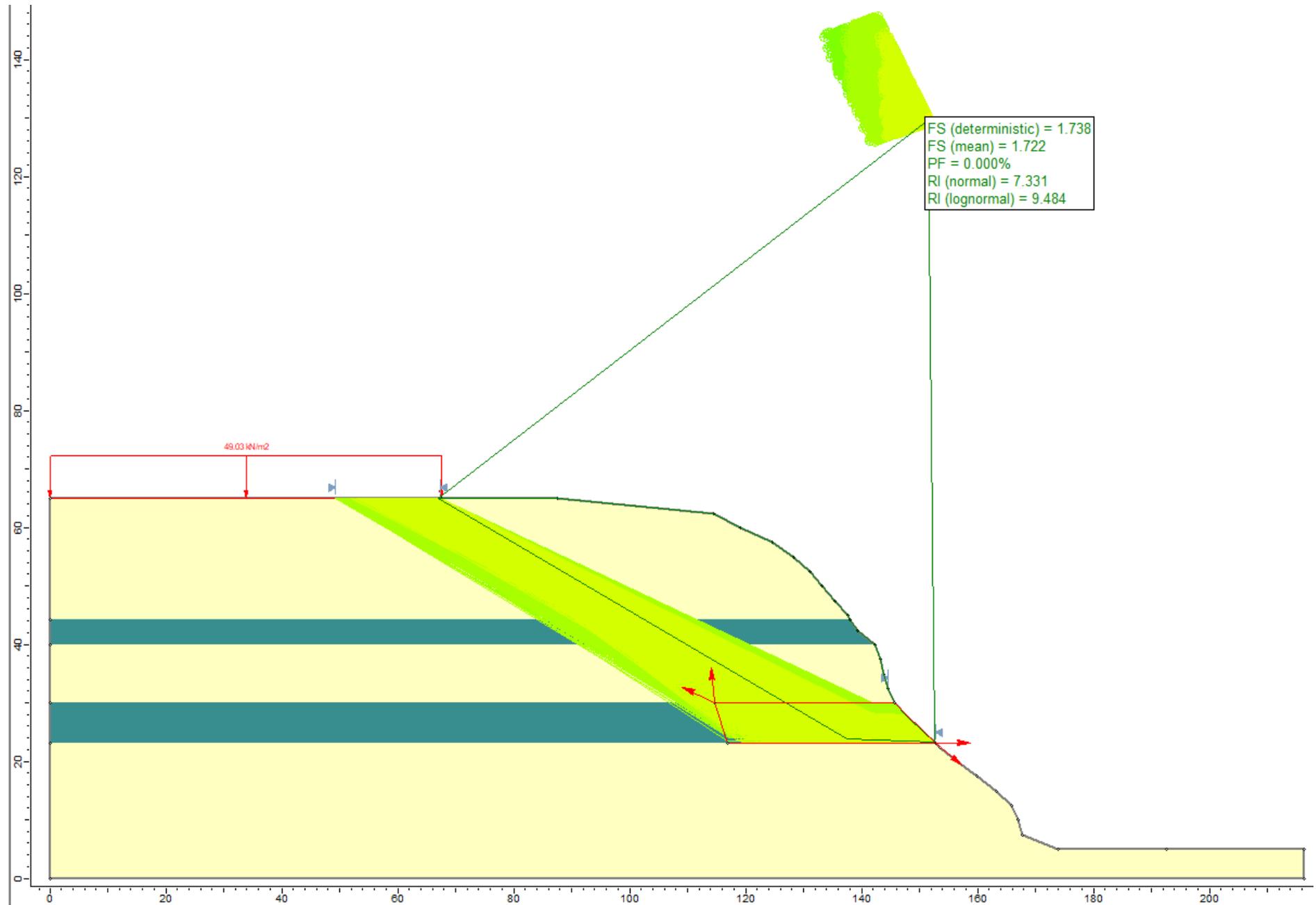
Falla circular - caso pseudo estático



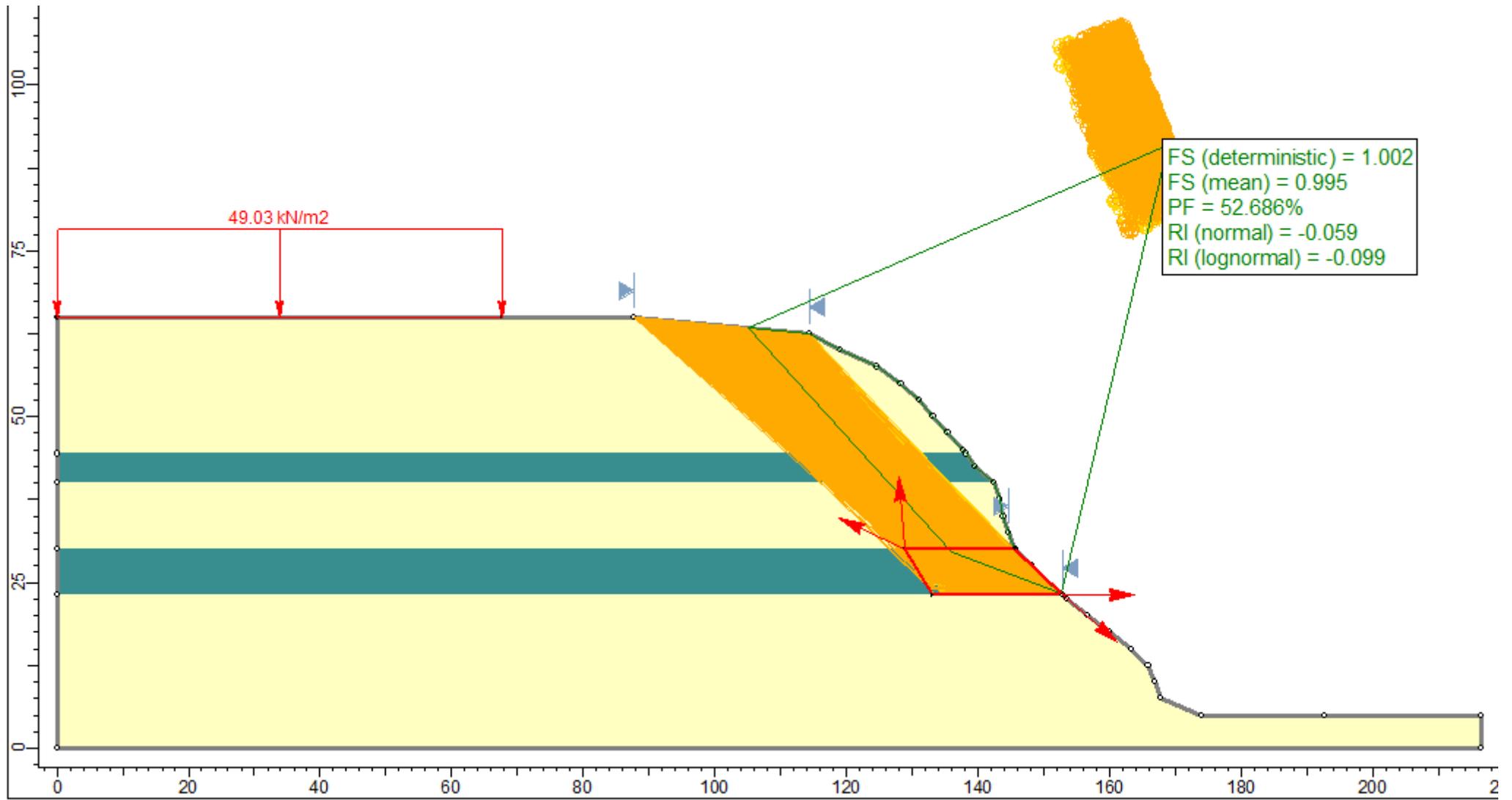
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso estático

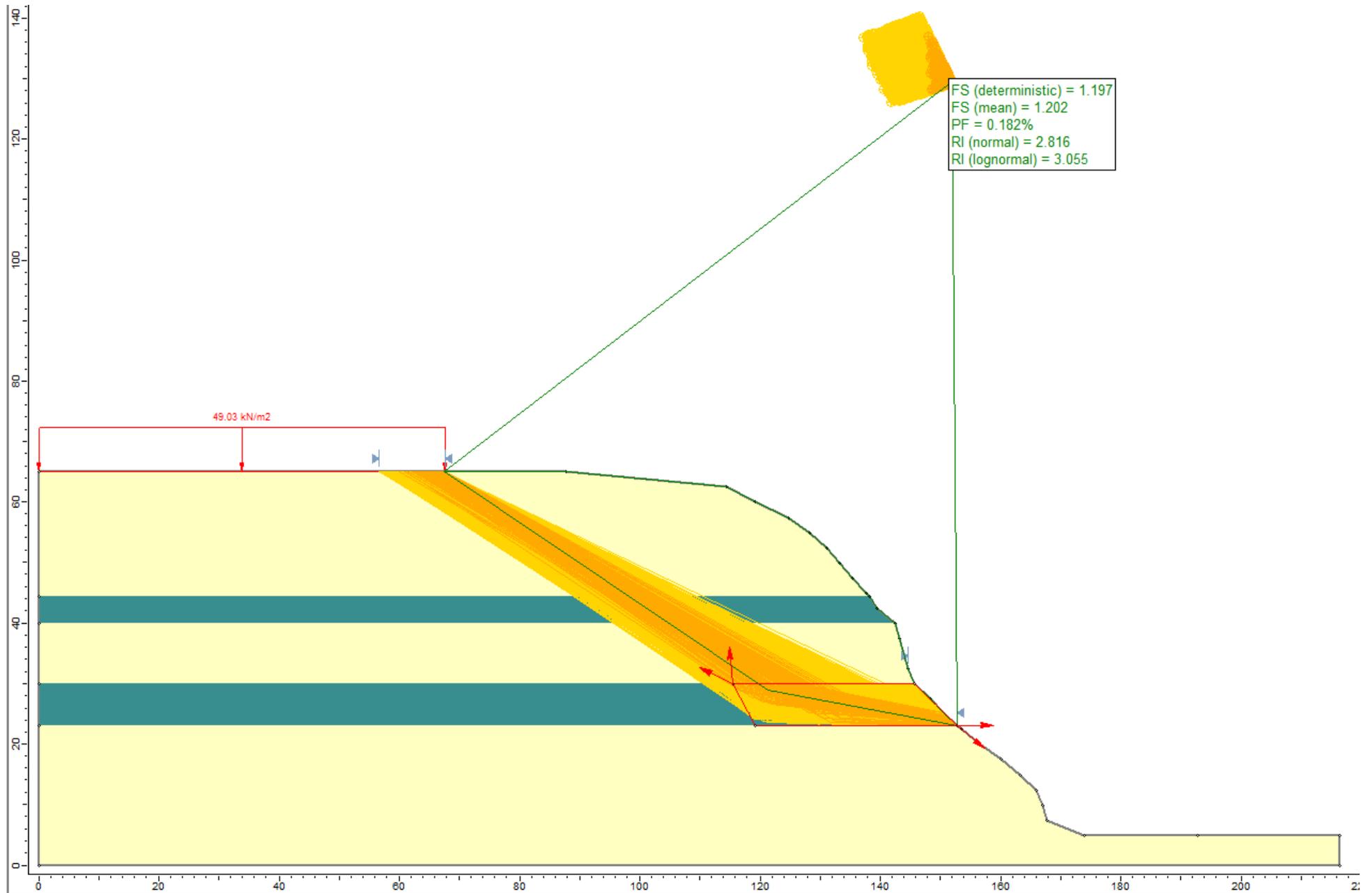


Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso pseudo estático

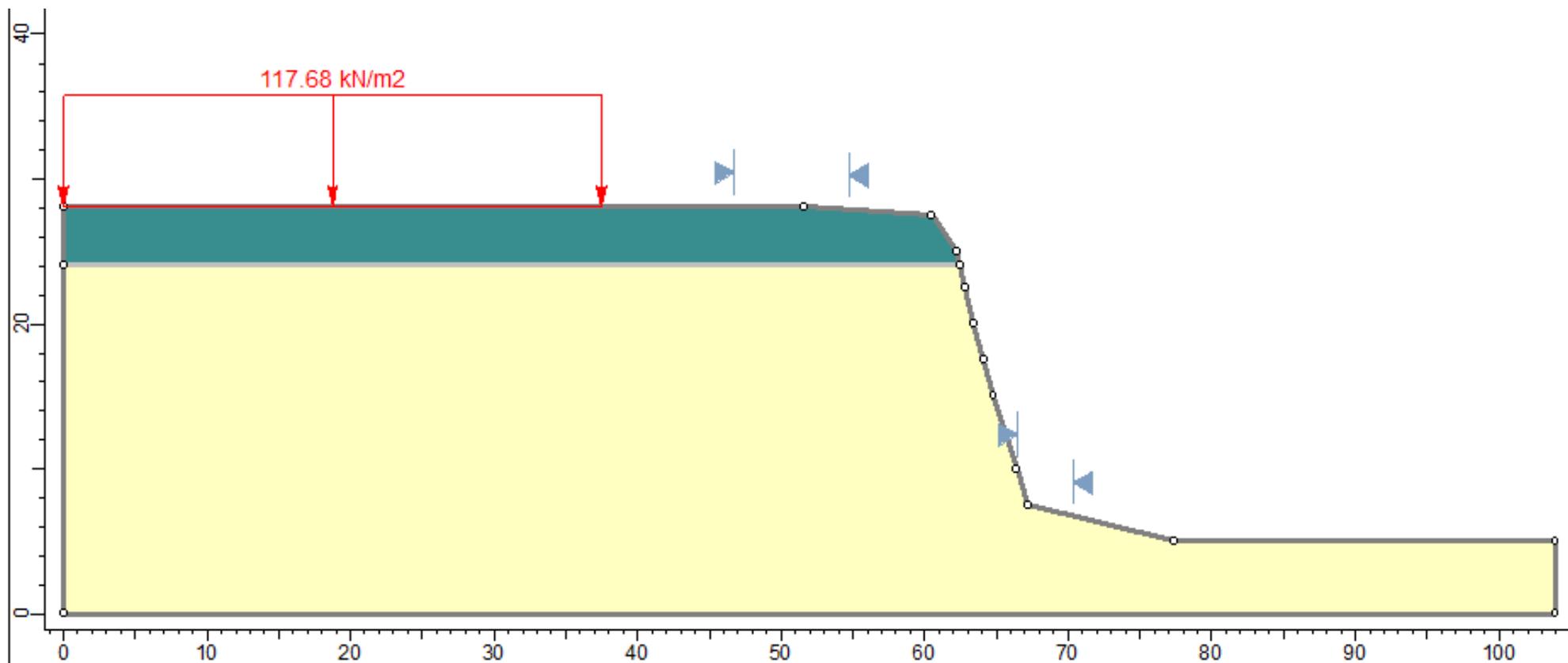
0.22



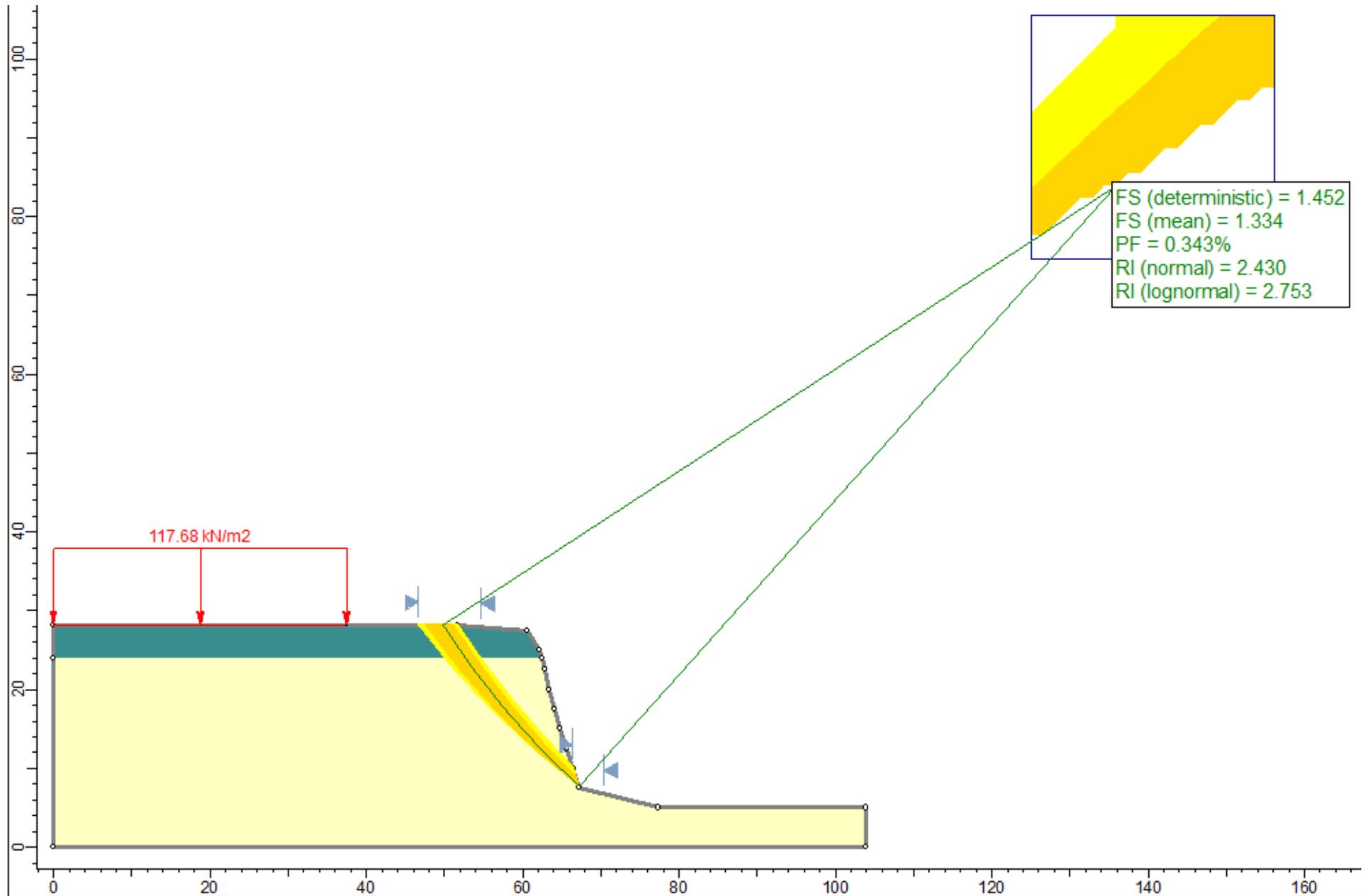
B_3

LEYENDA

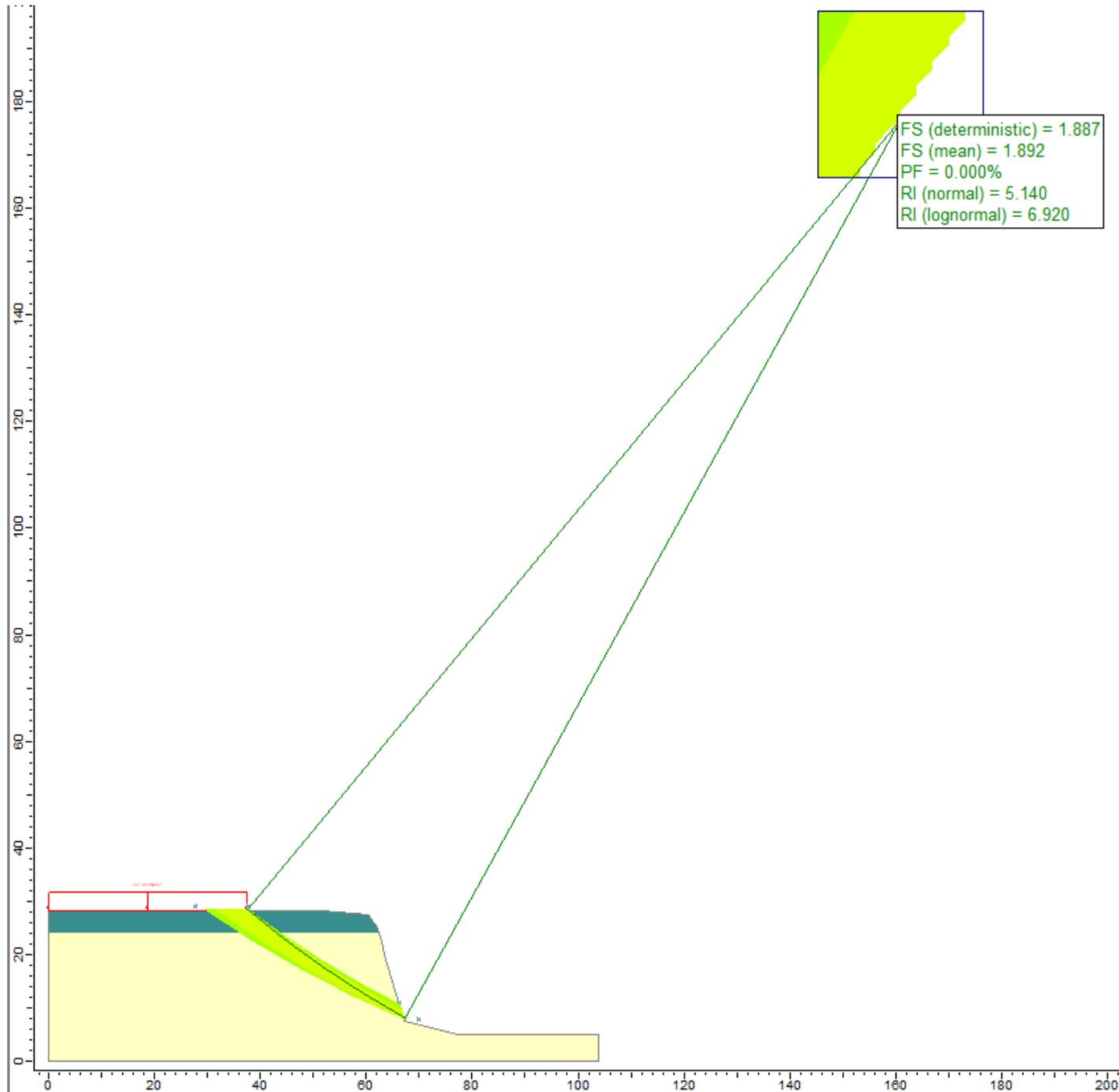
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



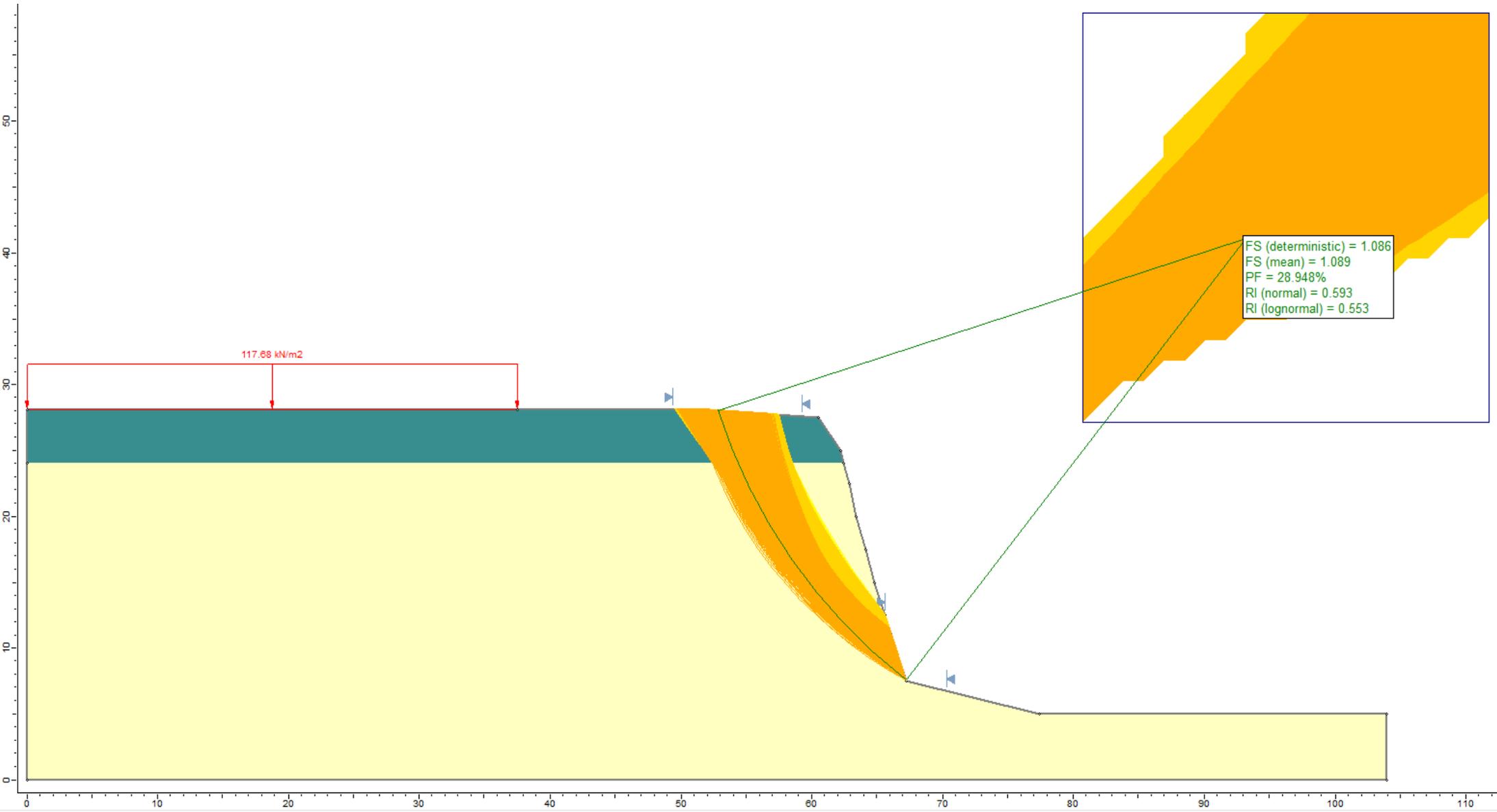
Falla circular - caso estático



Falla circular - caso estático

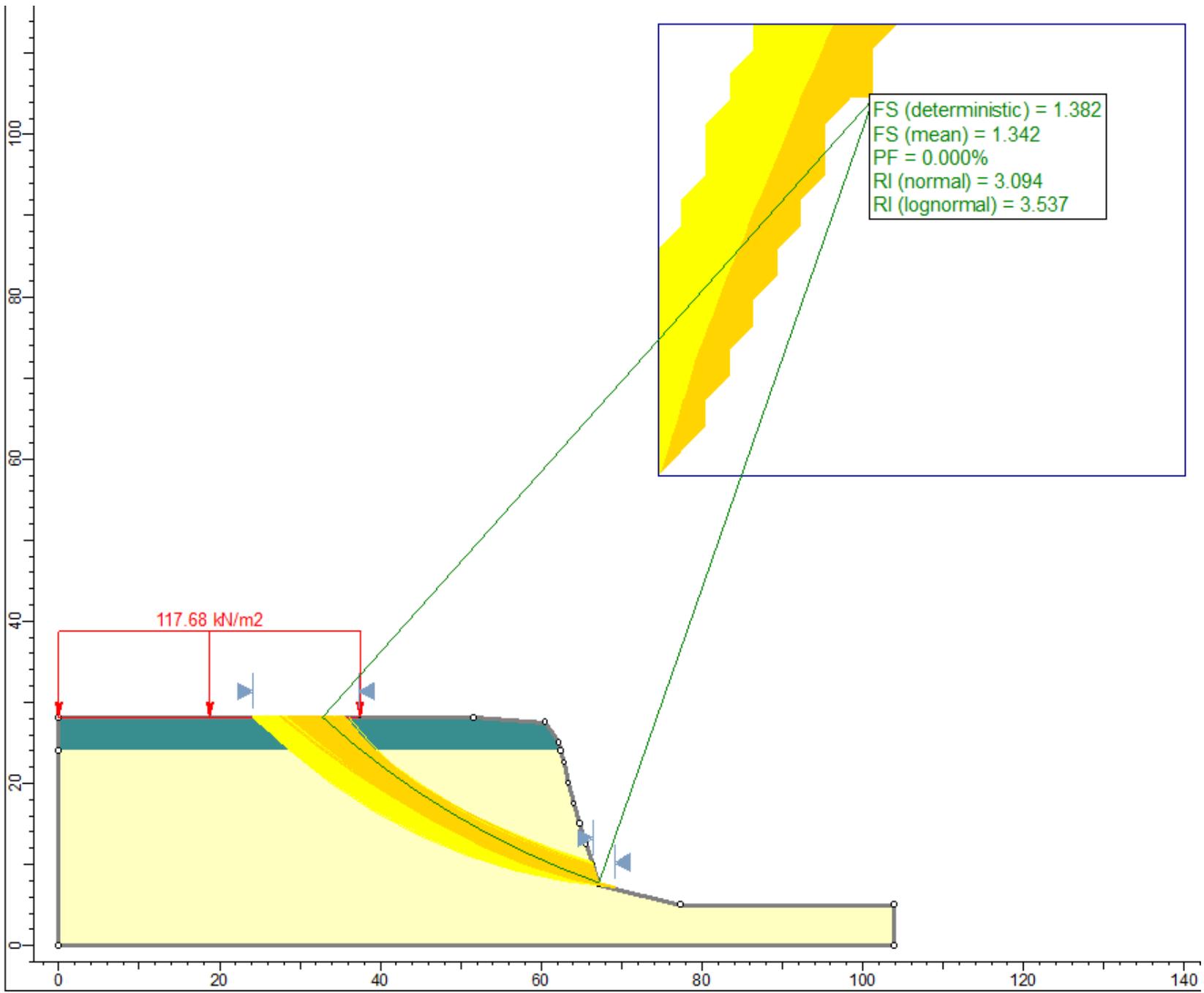


Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

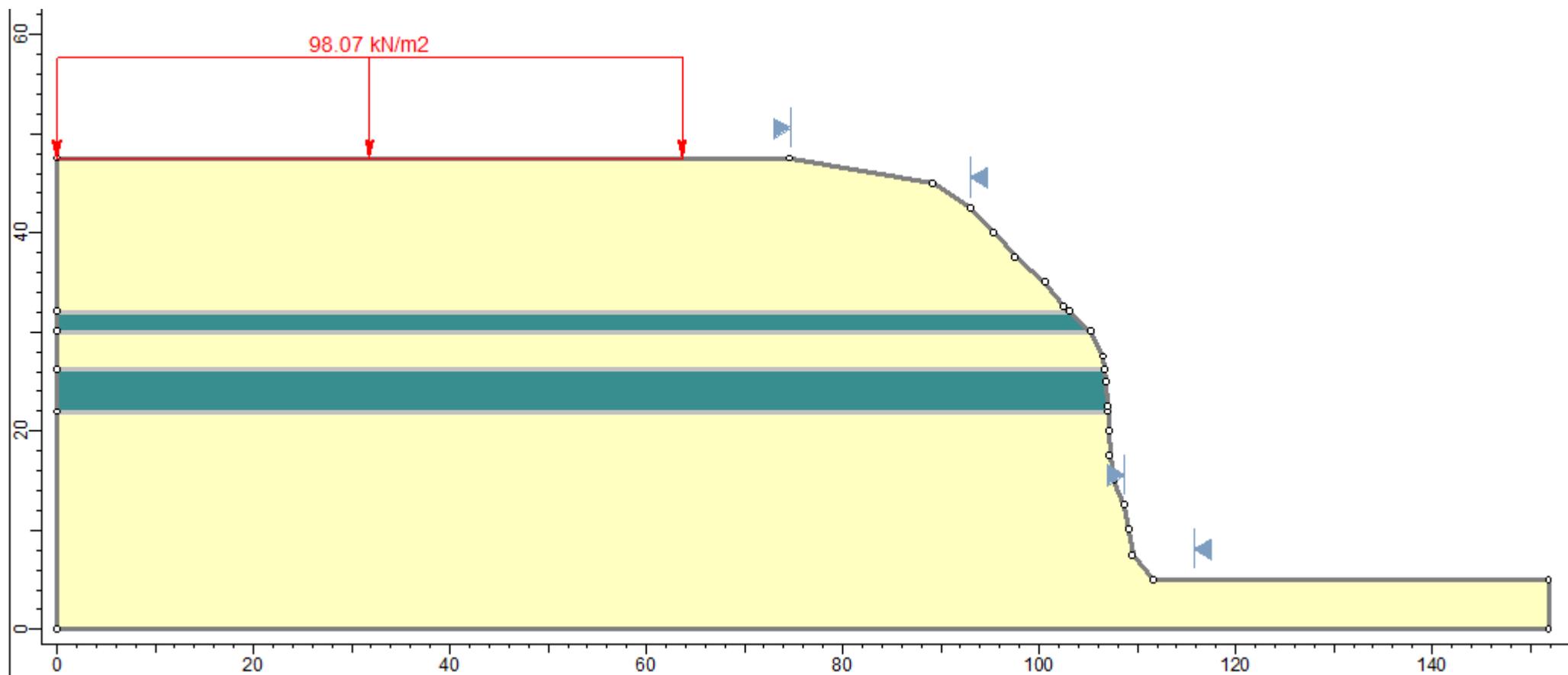
▶ 0.22



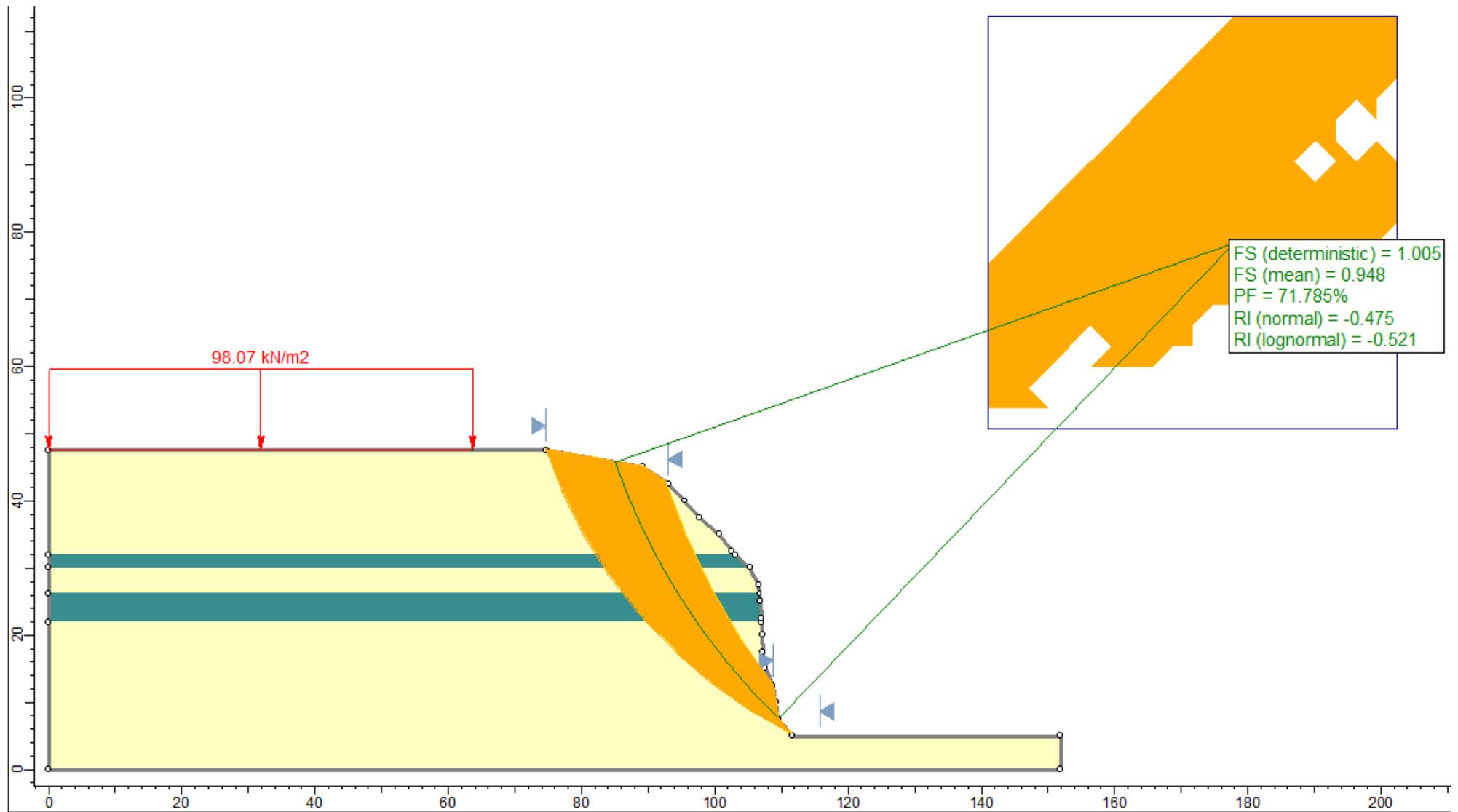
B_4

LEYENDA

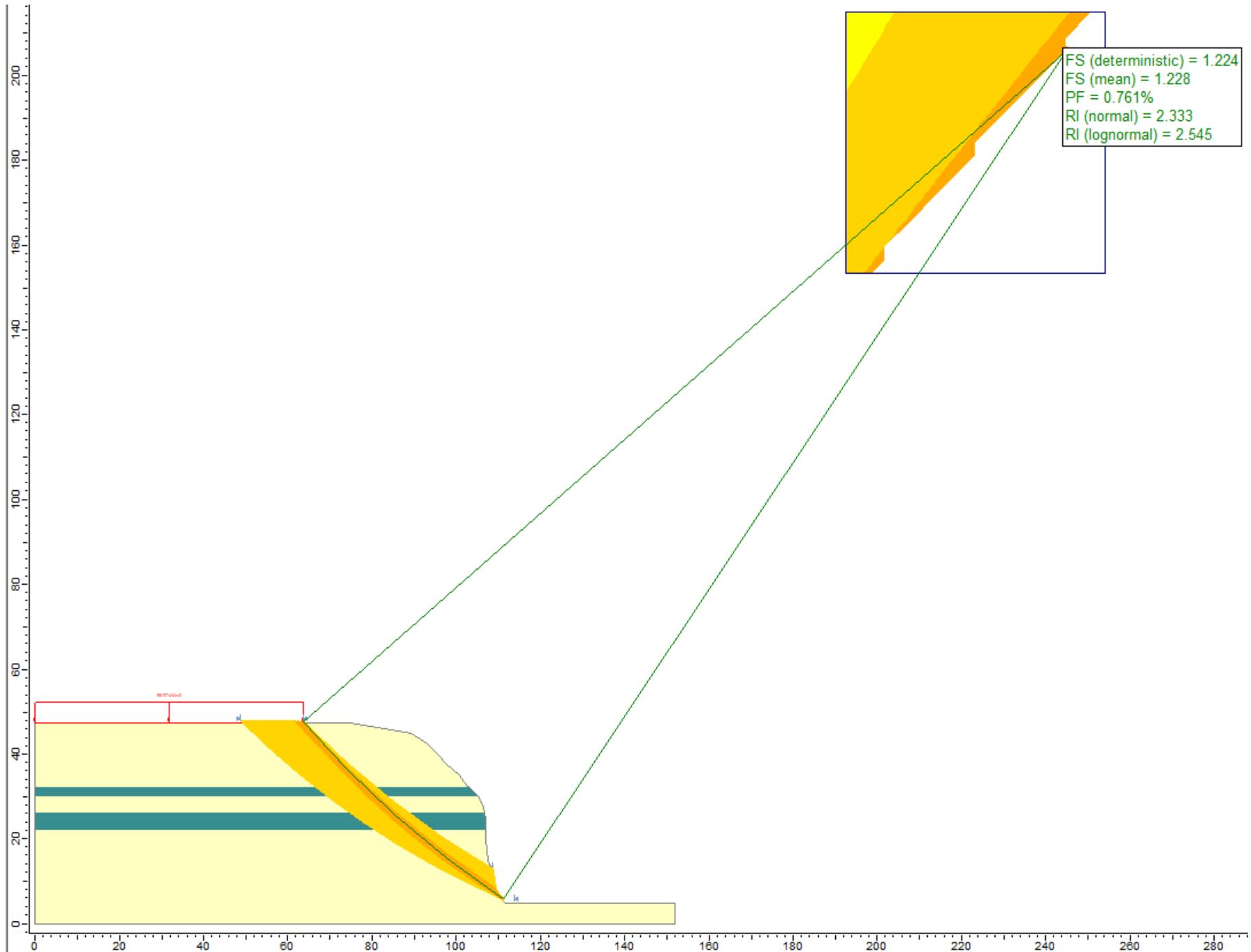
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



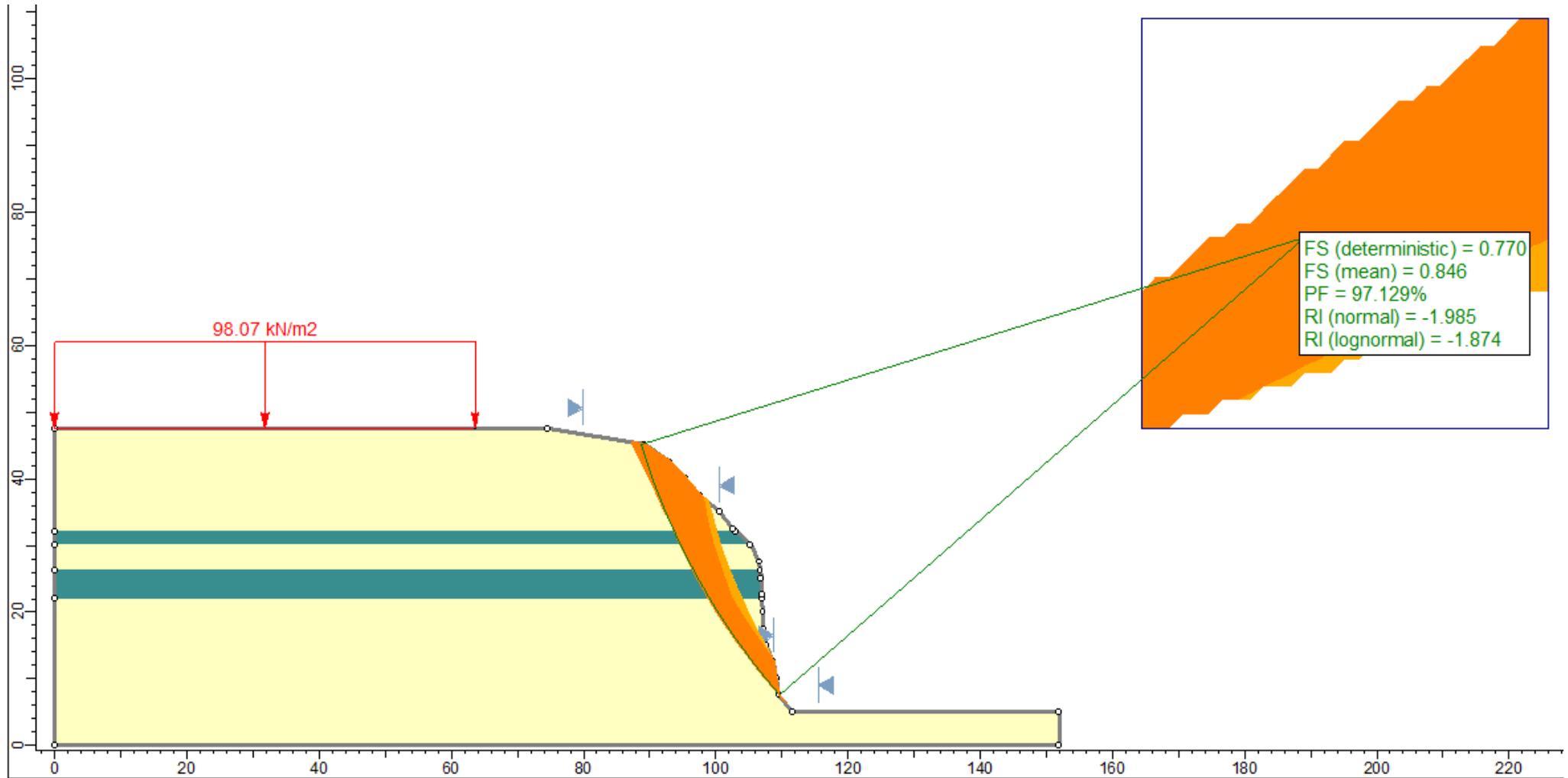
Falla circular - caso estático



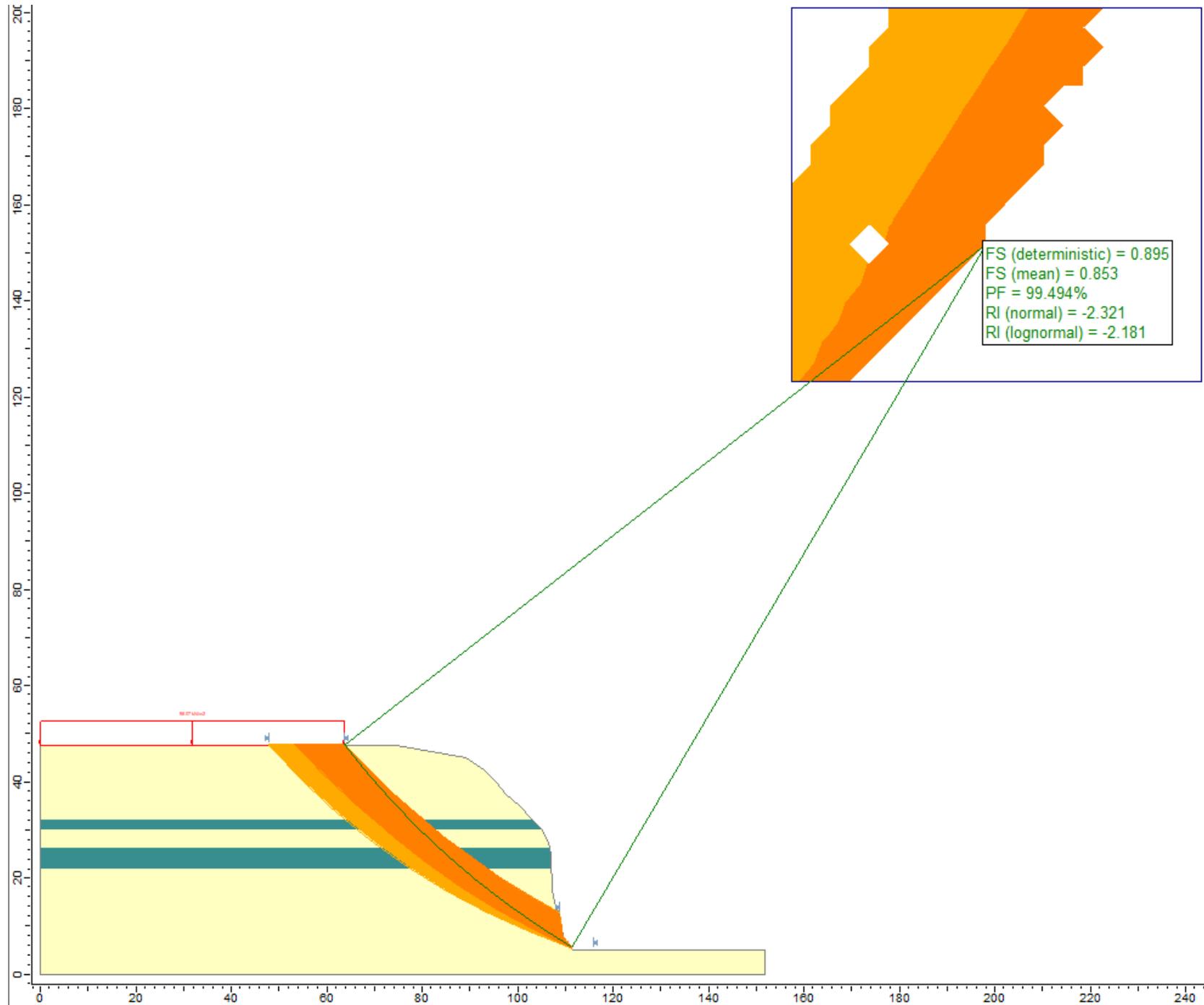
Falla circular - caso estático



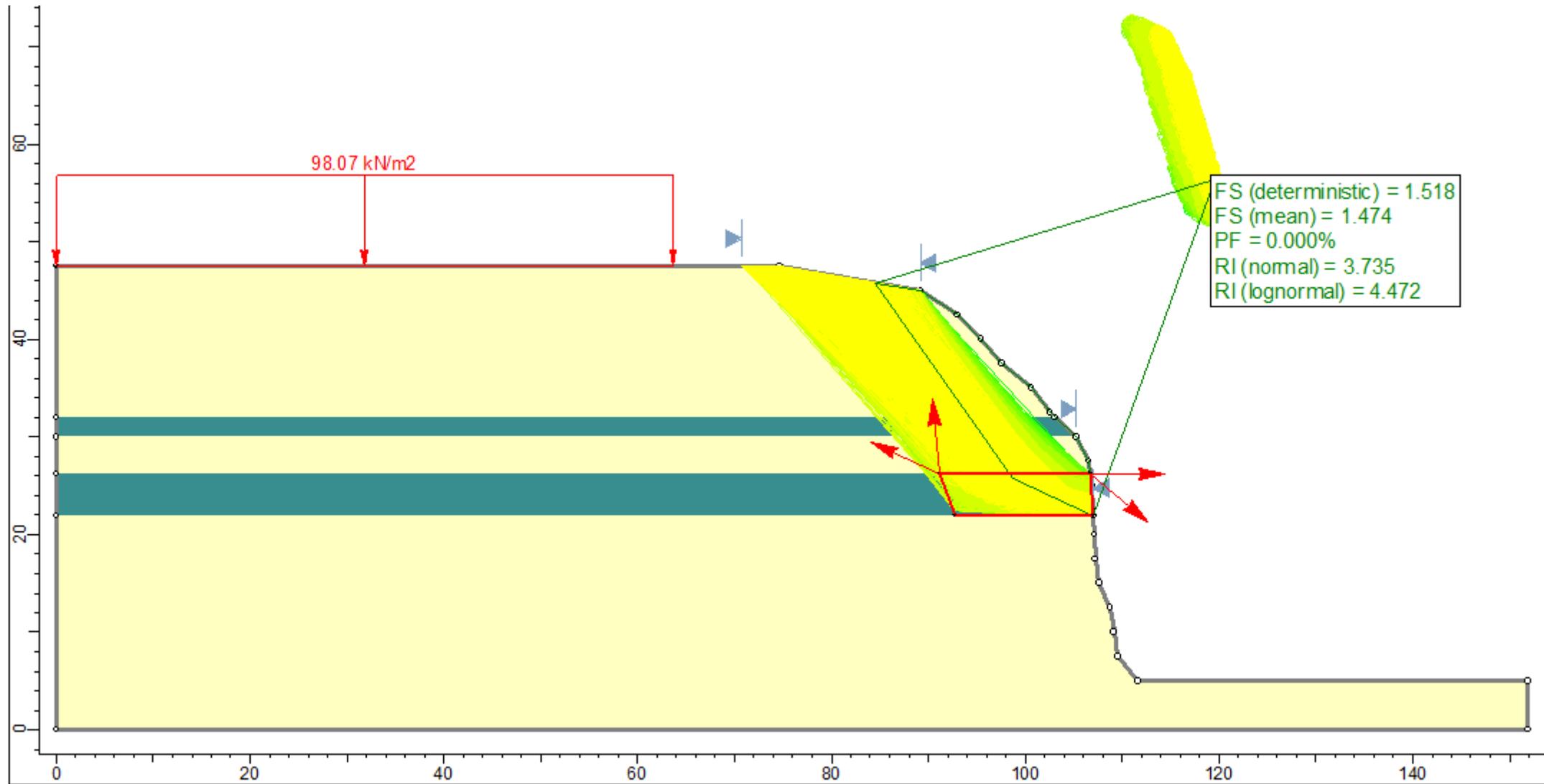
Falla circular - caso pseudo estático



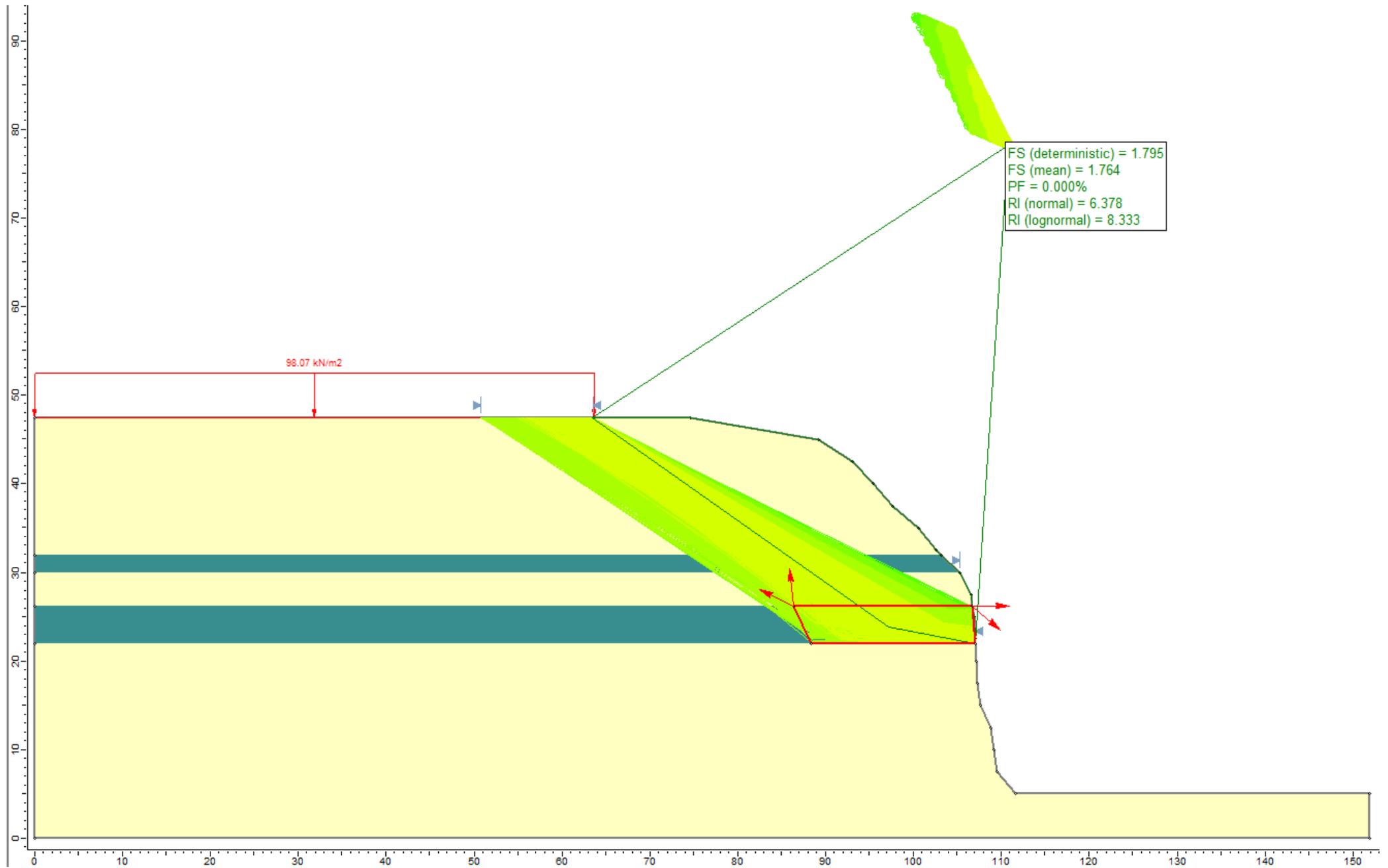
Falla circular - caso pseudo estático



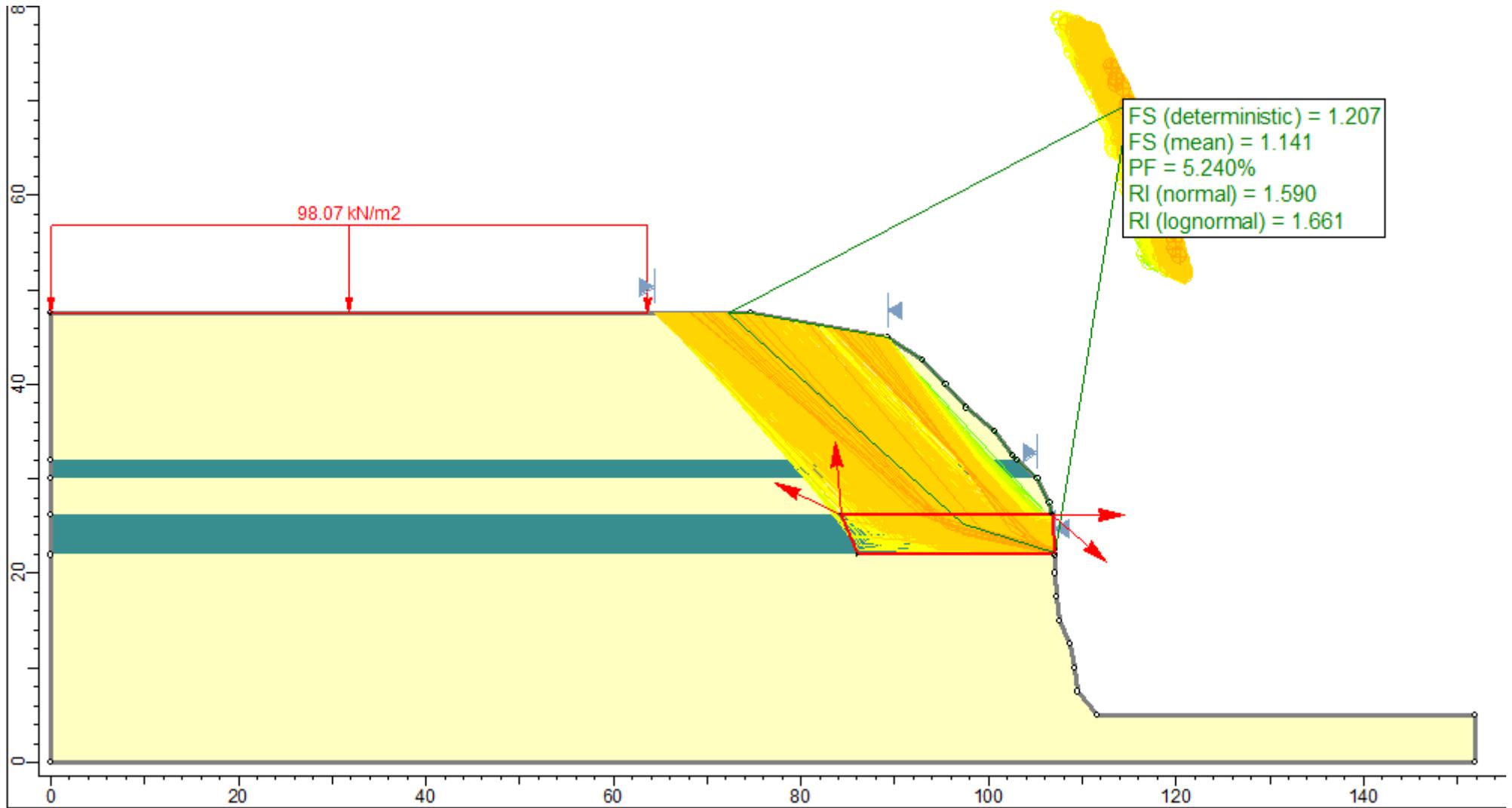
Falla en bloque - caso estático



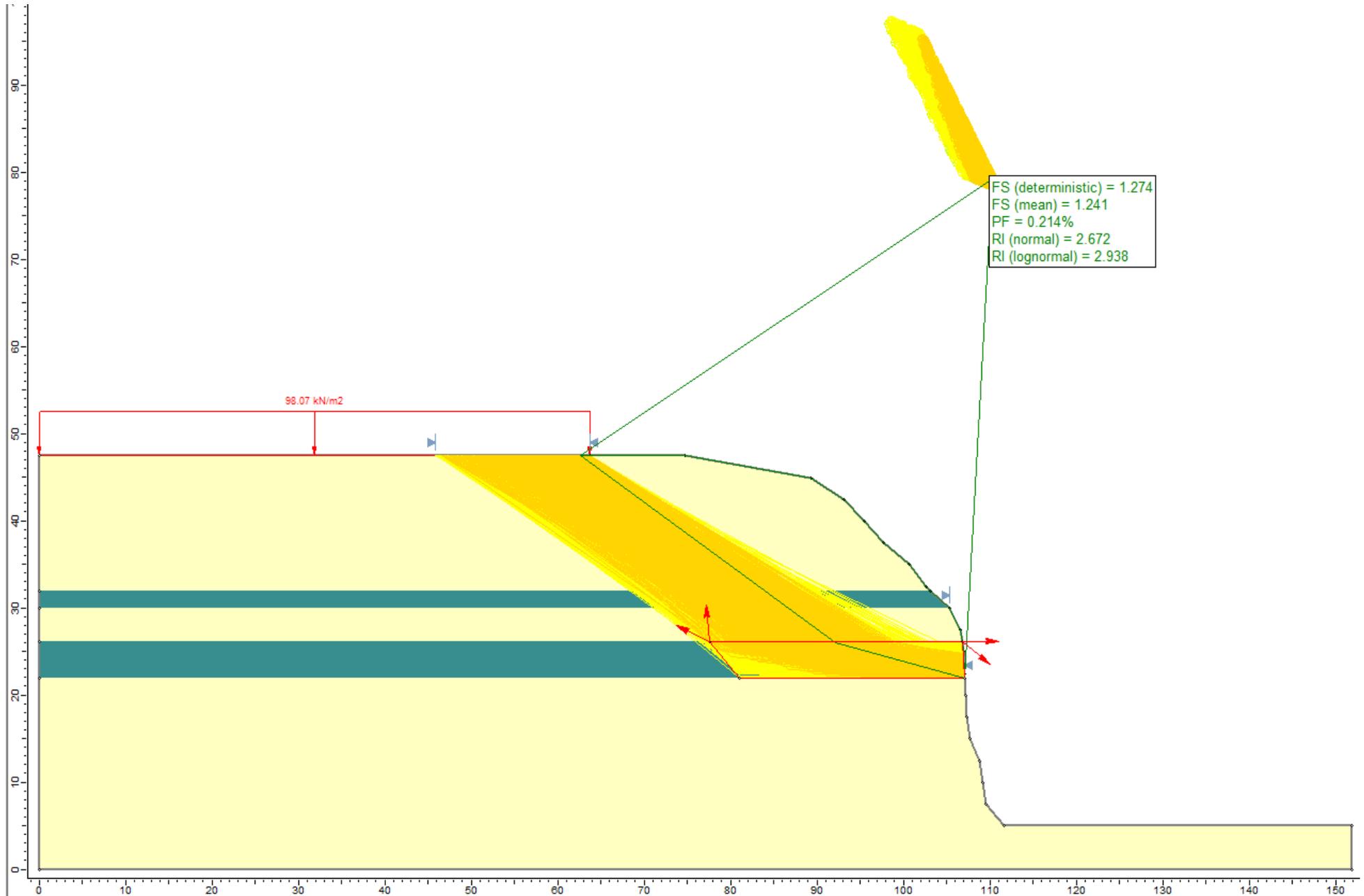
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



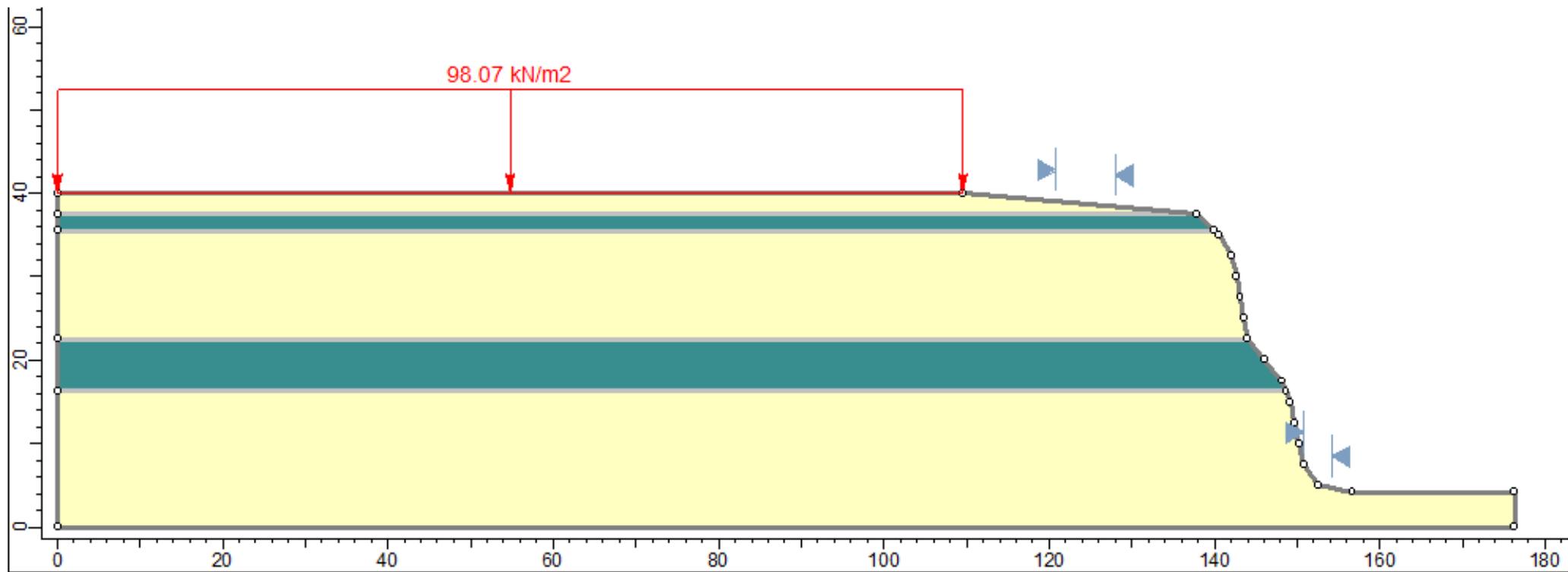
Falla en bloque - caso pseudo estático



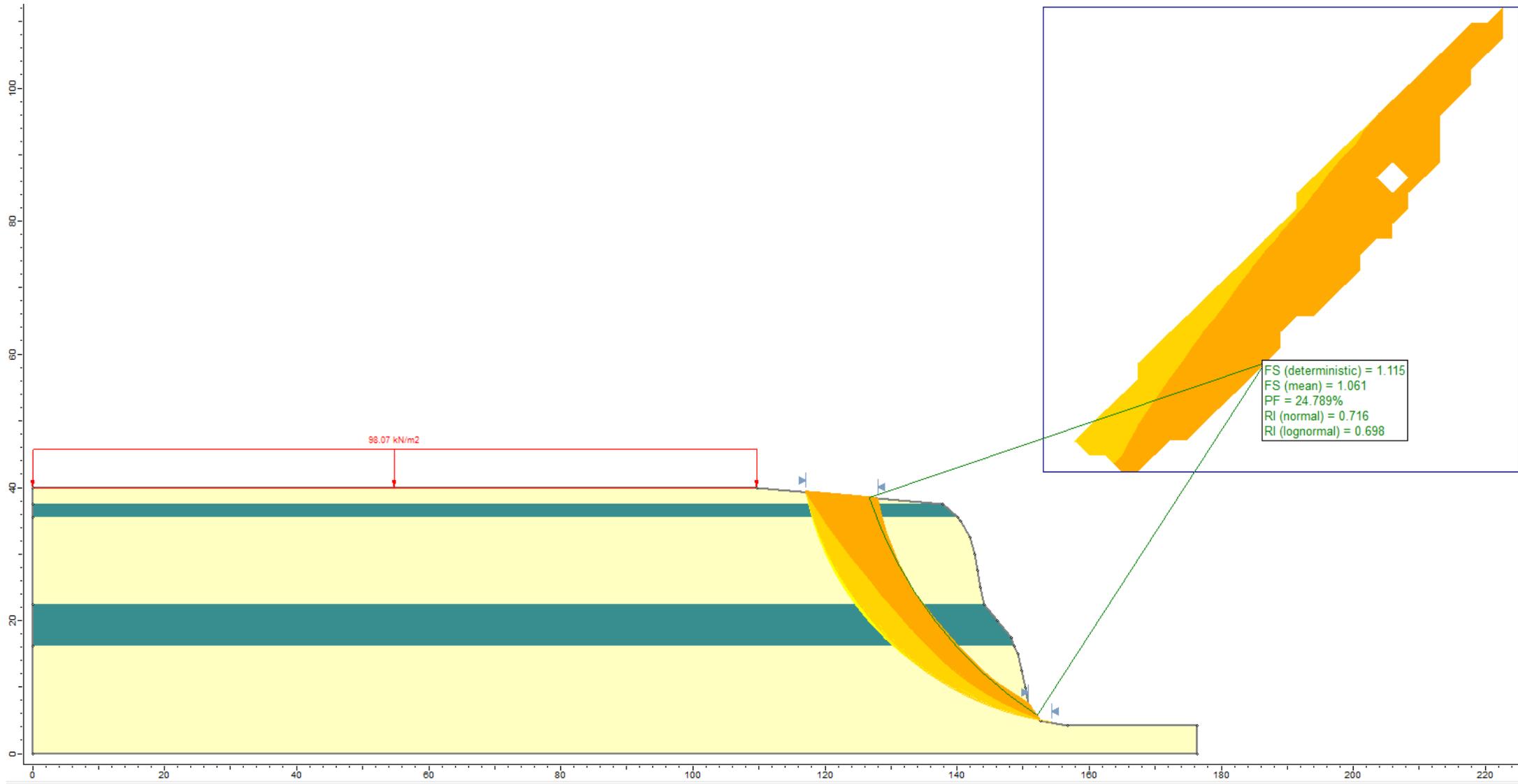
B_5

LEYENDA

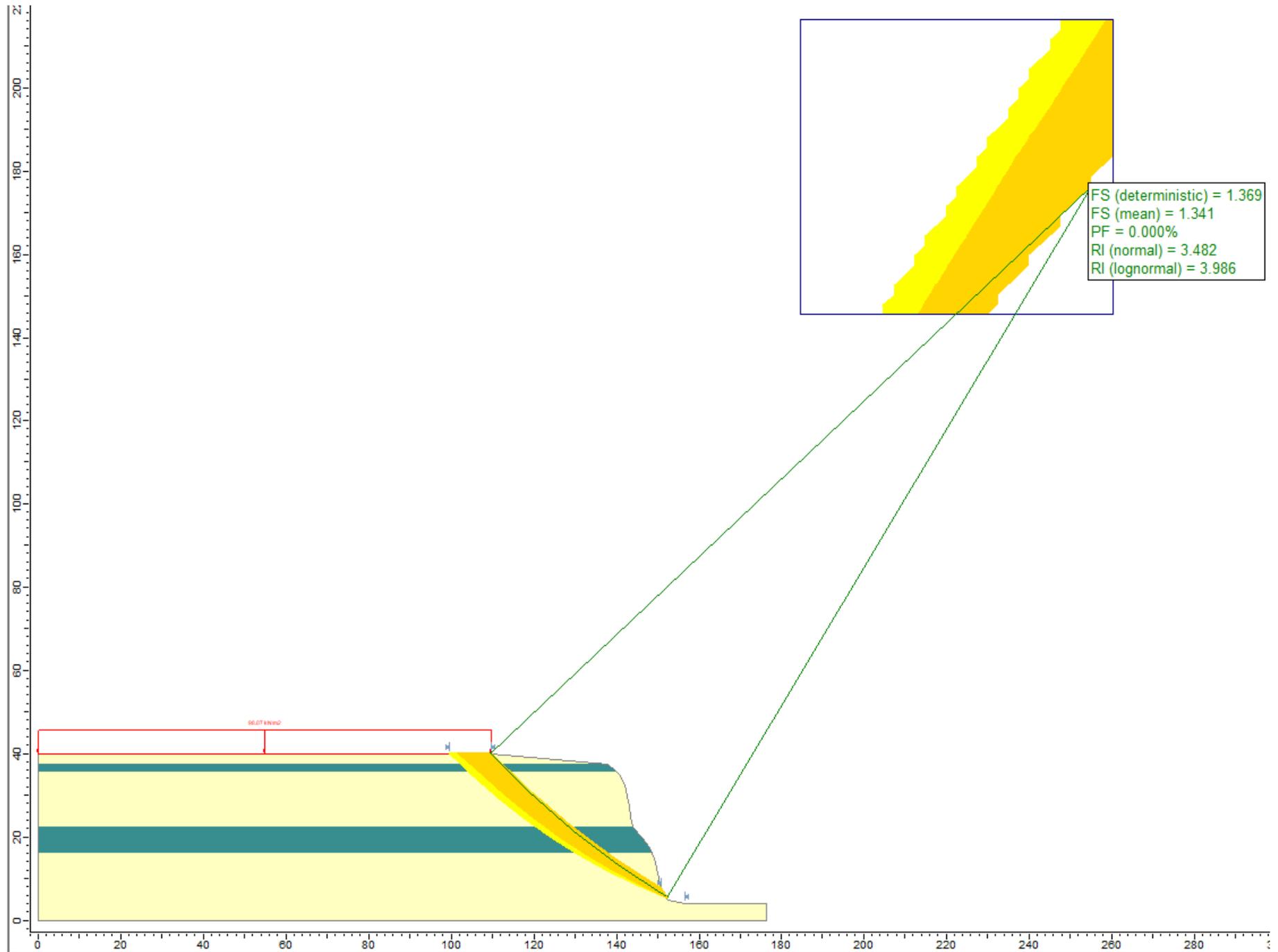
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



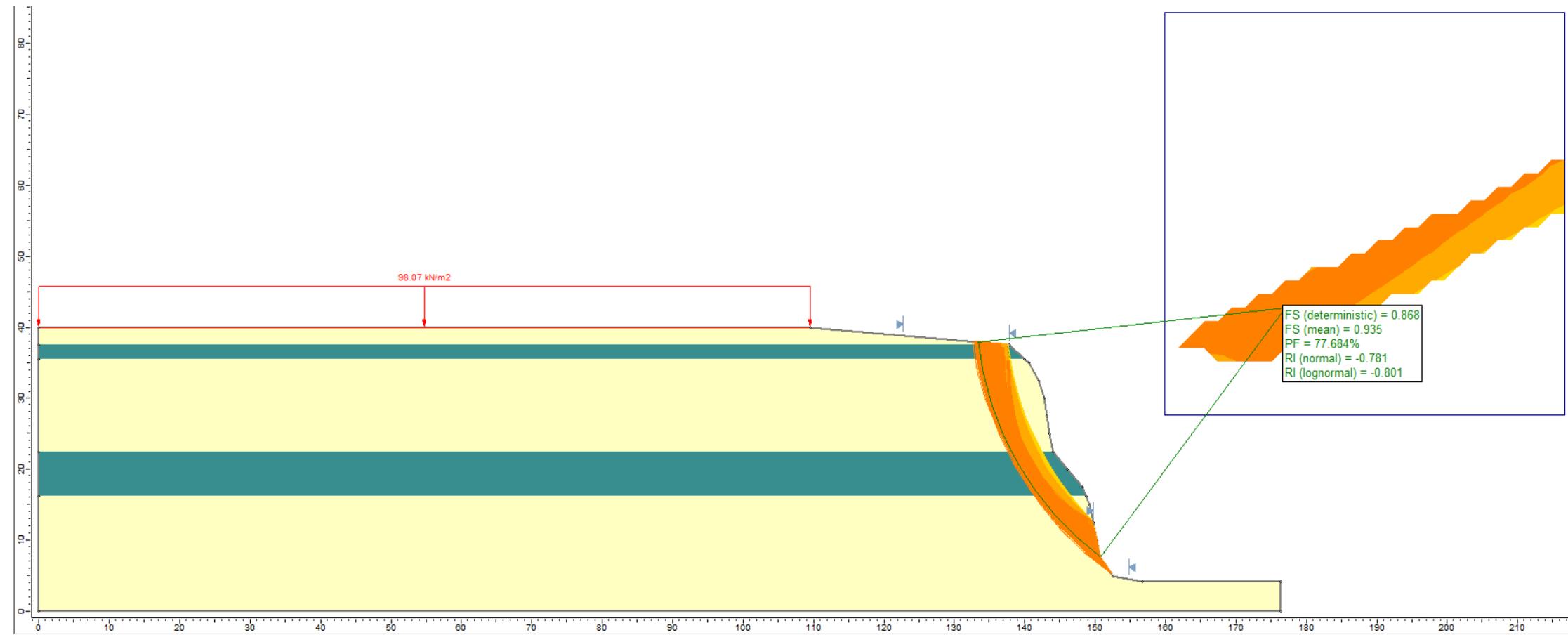
Falla circular - caso estático



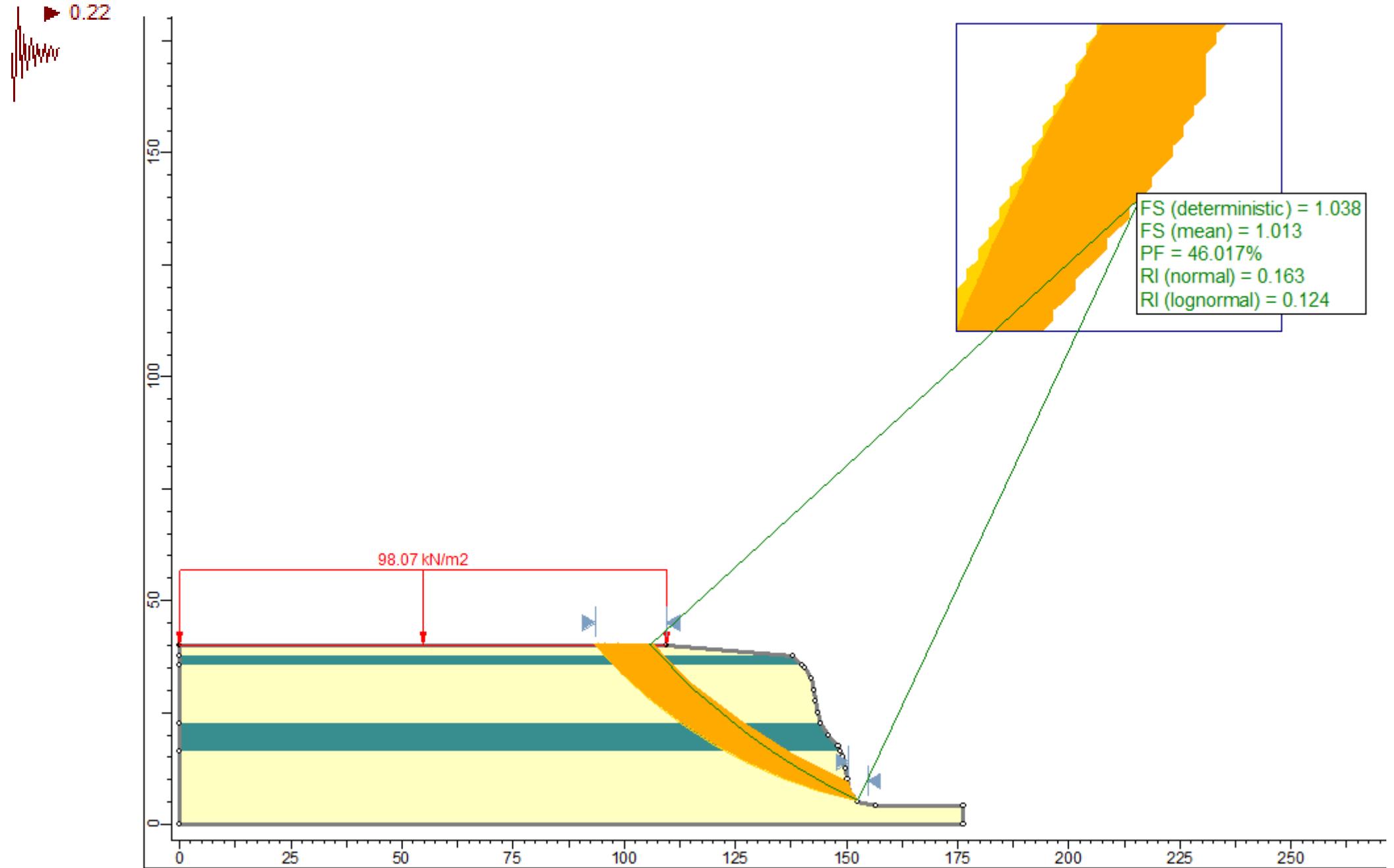
Falla circular - caso estático



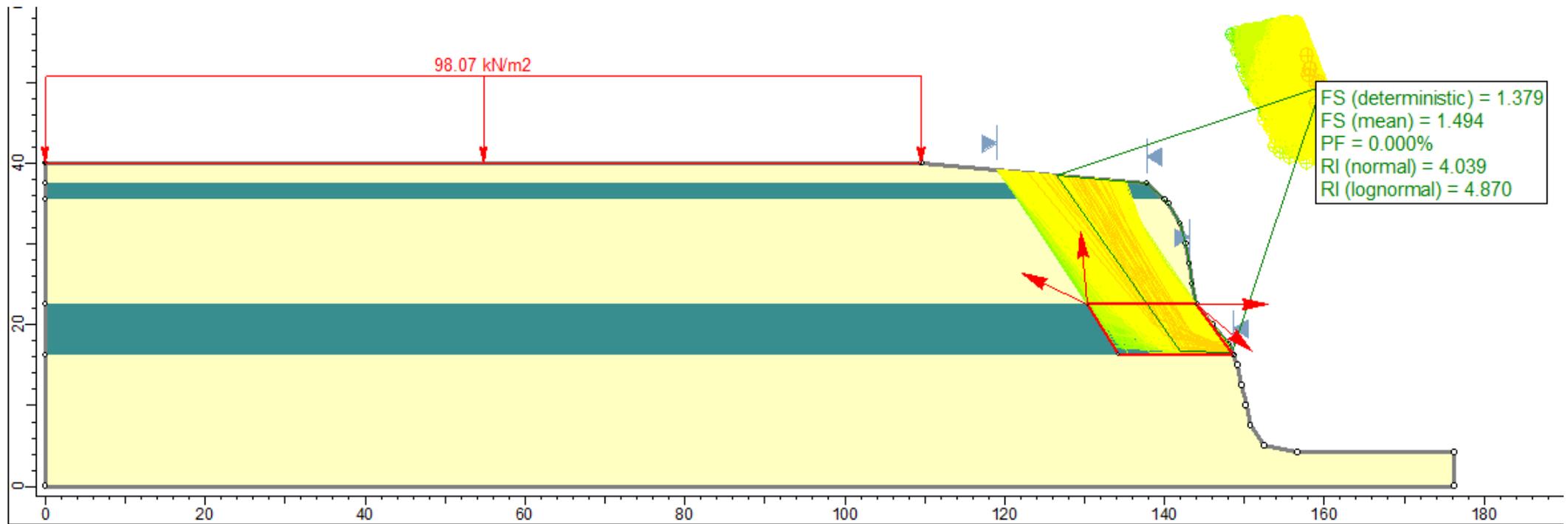
Falla circular - caso pseudo estático



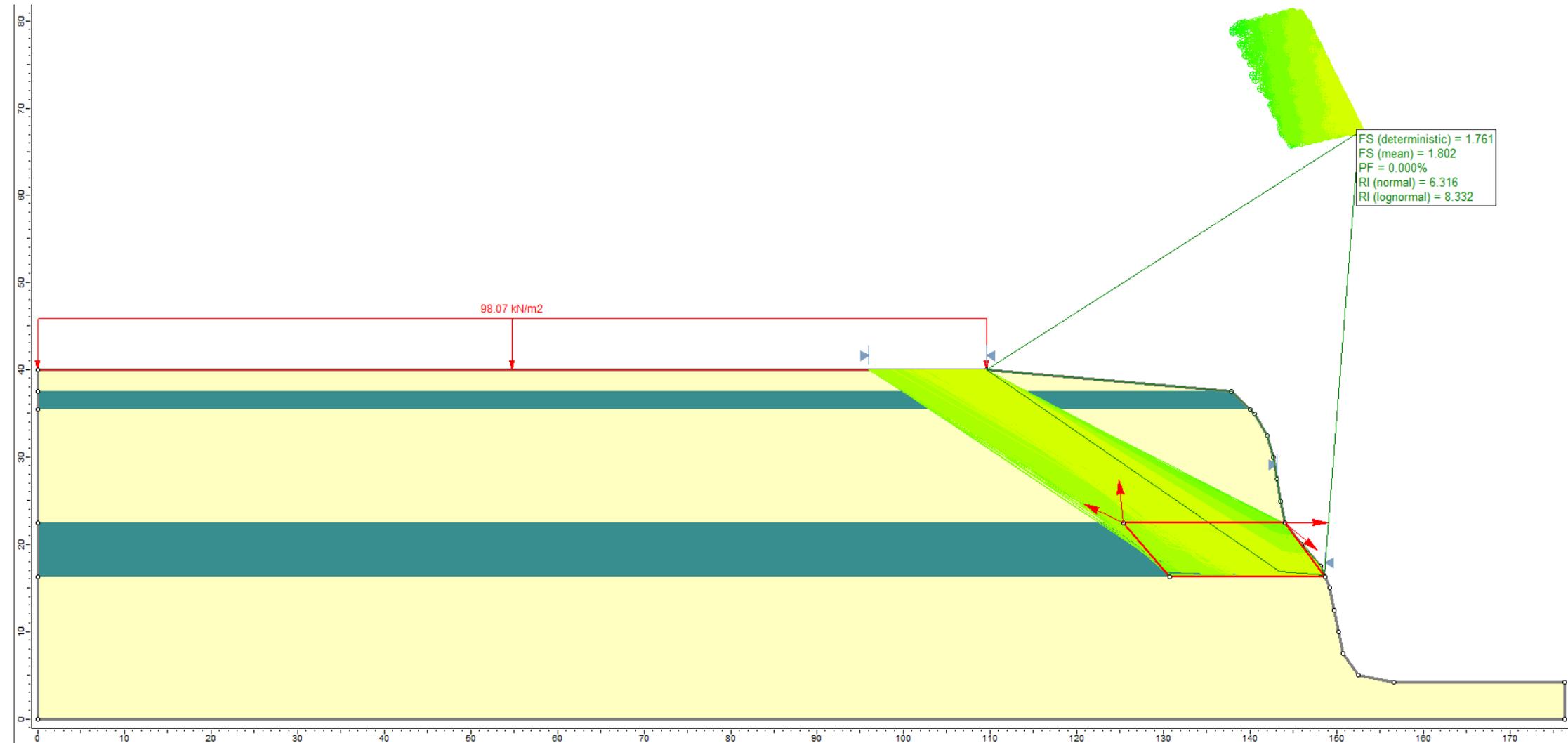
Falla circular - caso pseudo estático



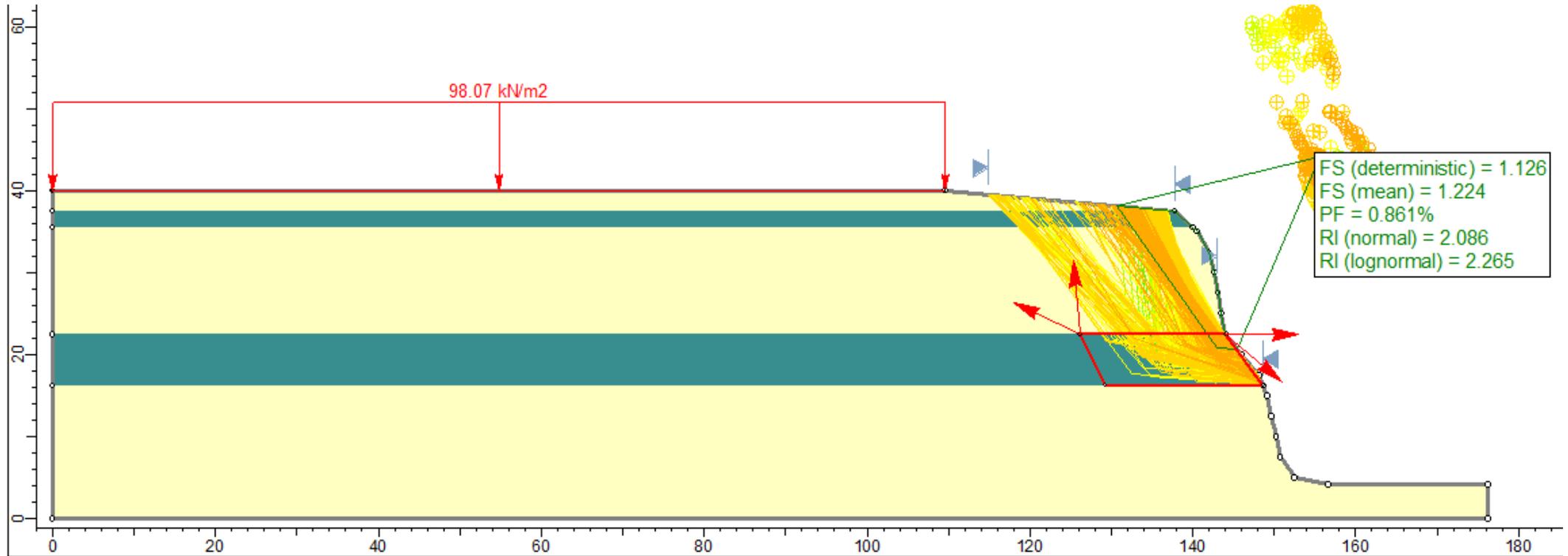
Falla en bloque - caso estático



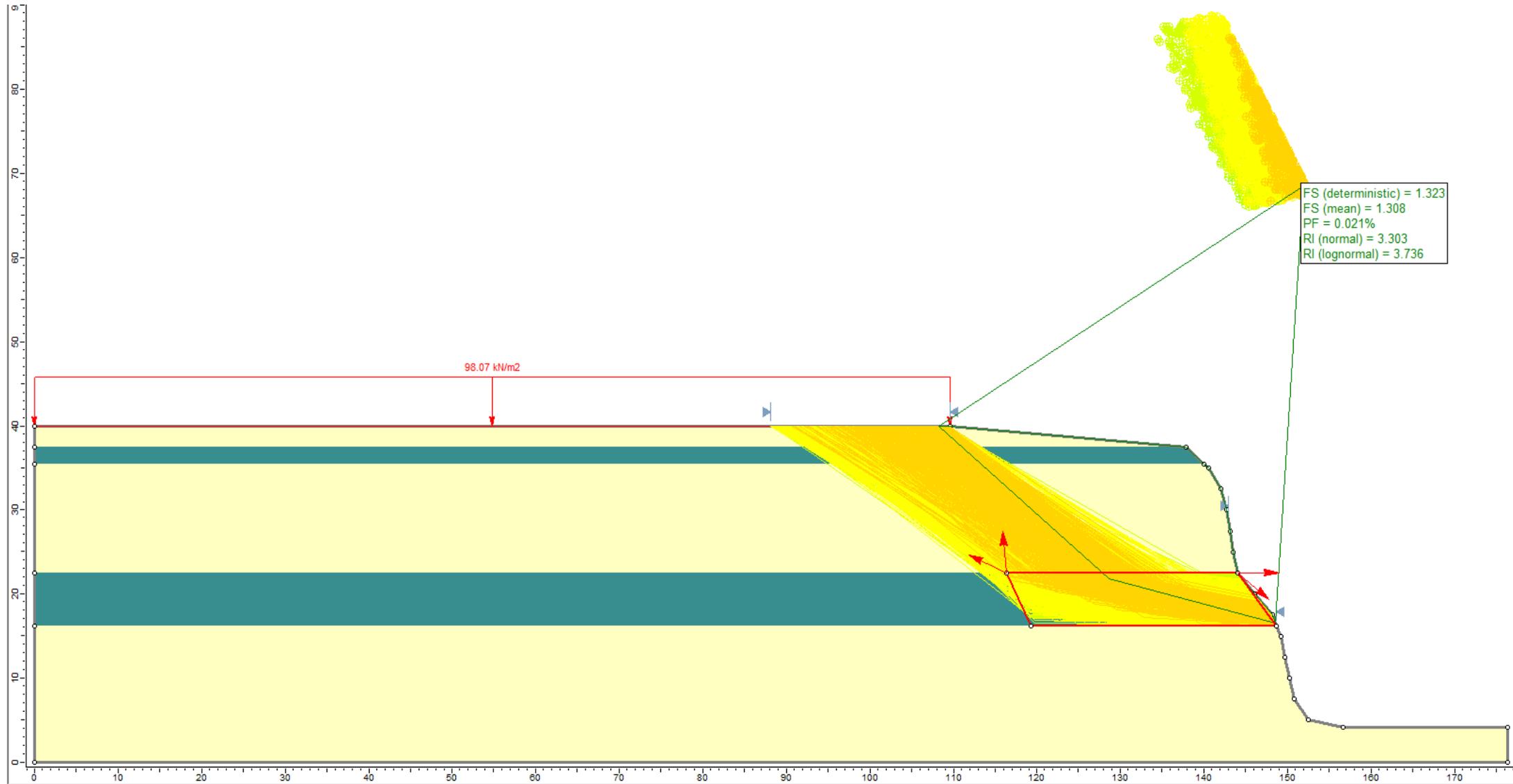
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



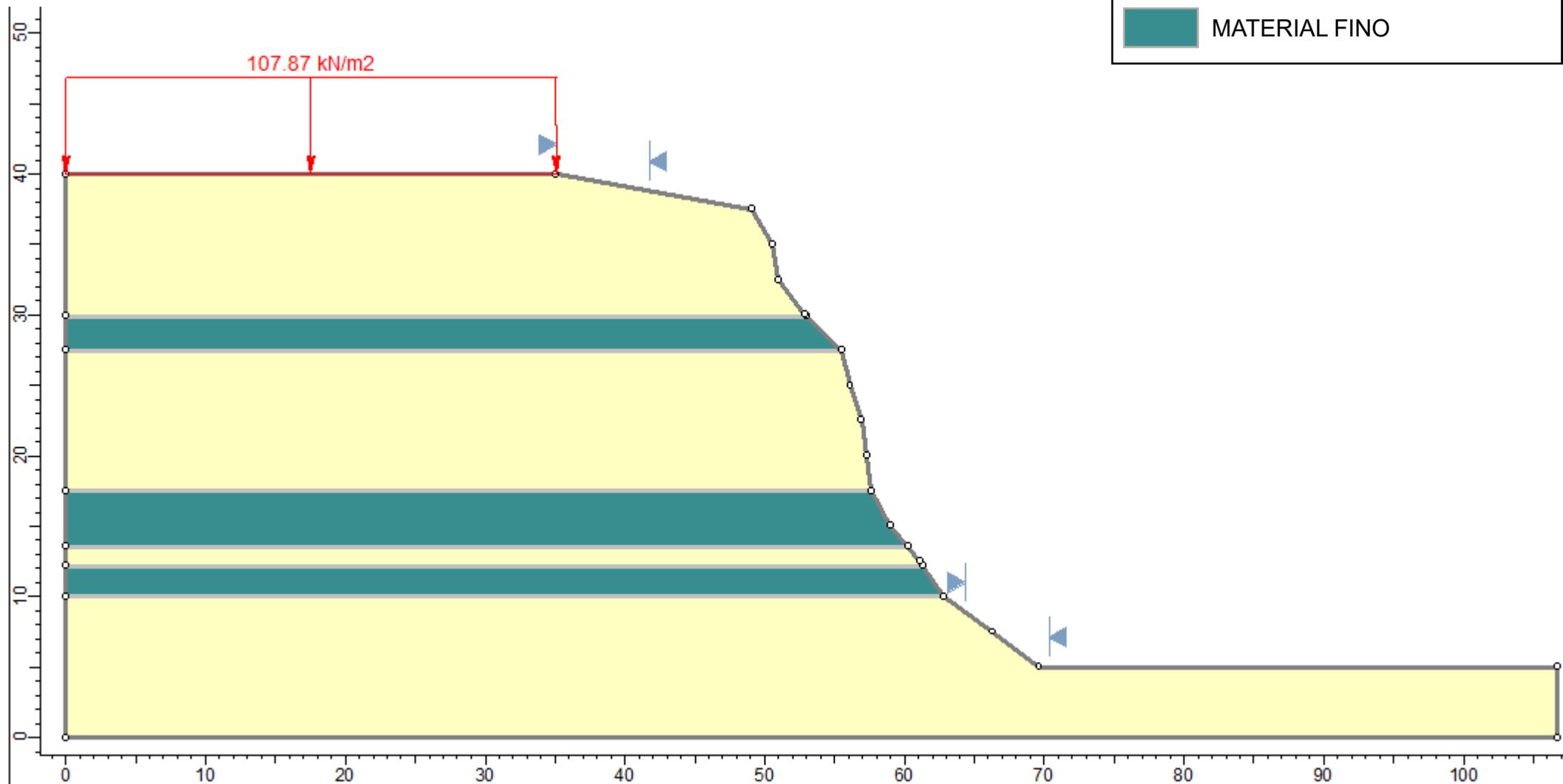
Falla en bloque - caso pseudo estático



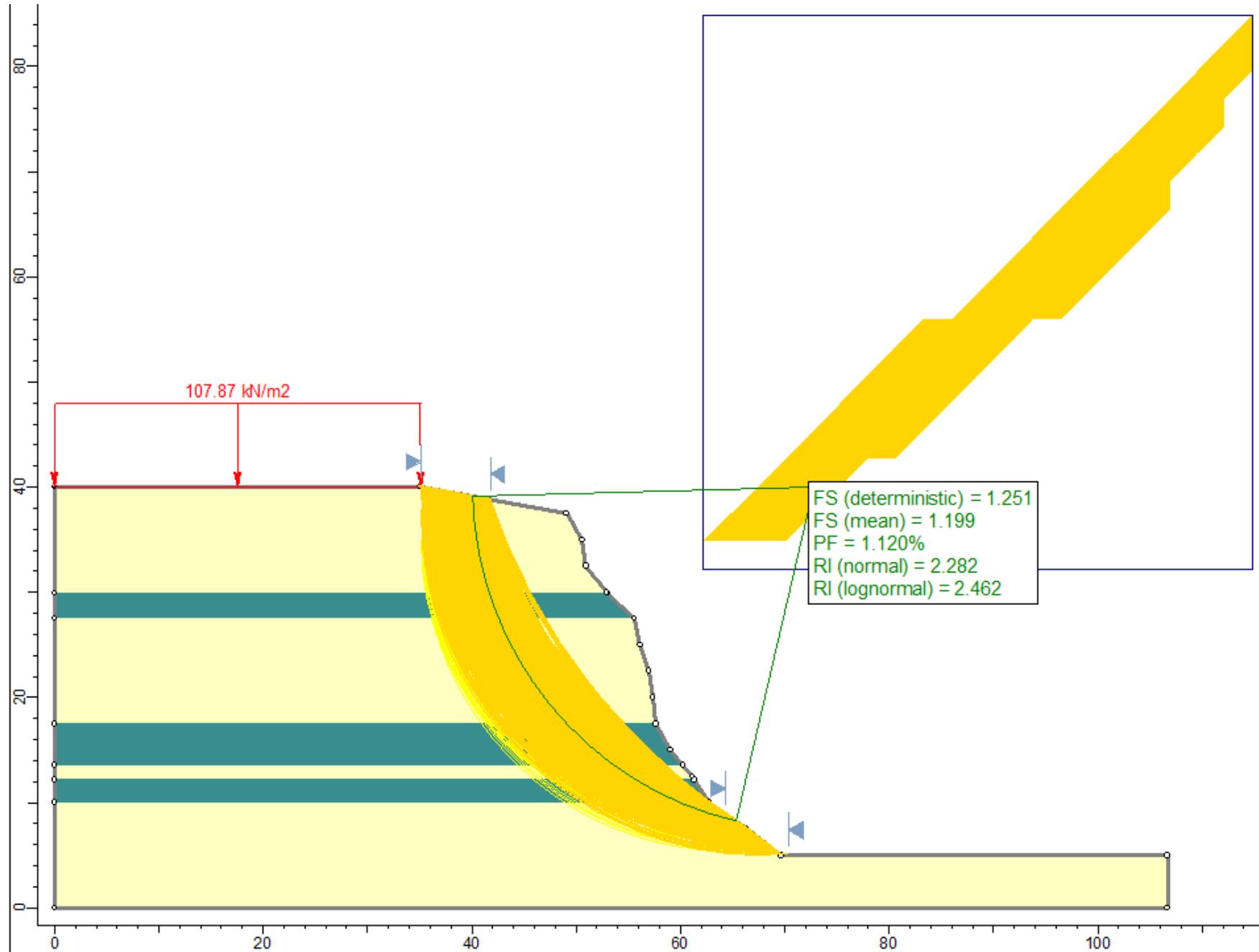
B_6

LEYENDA

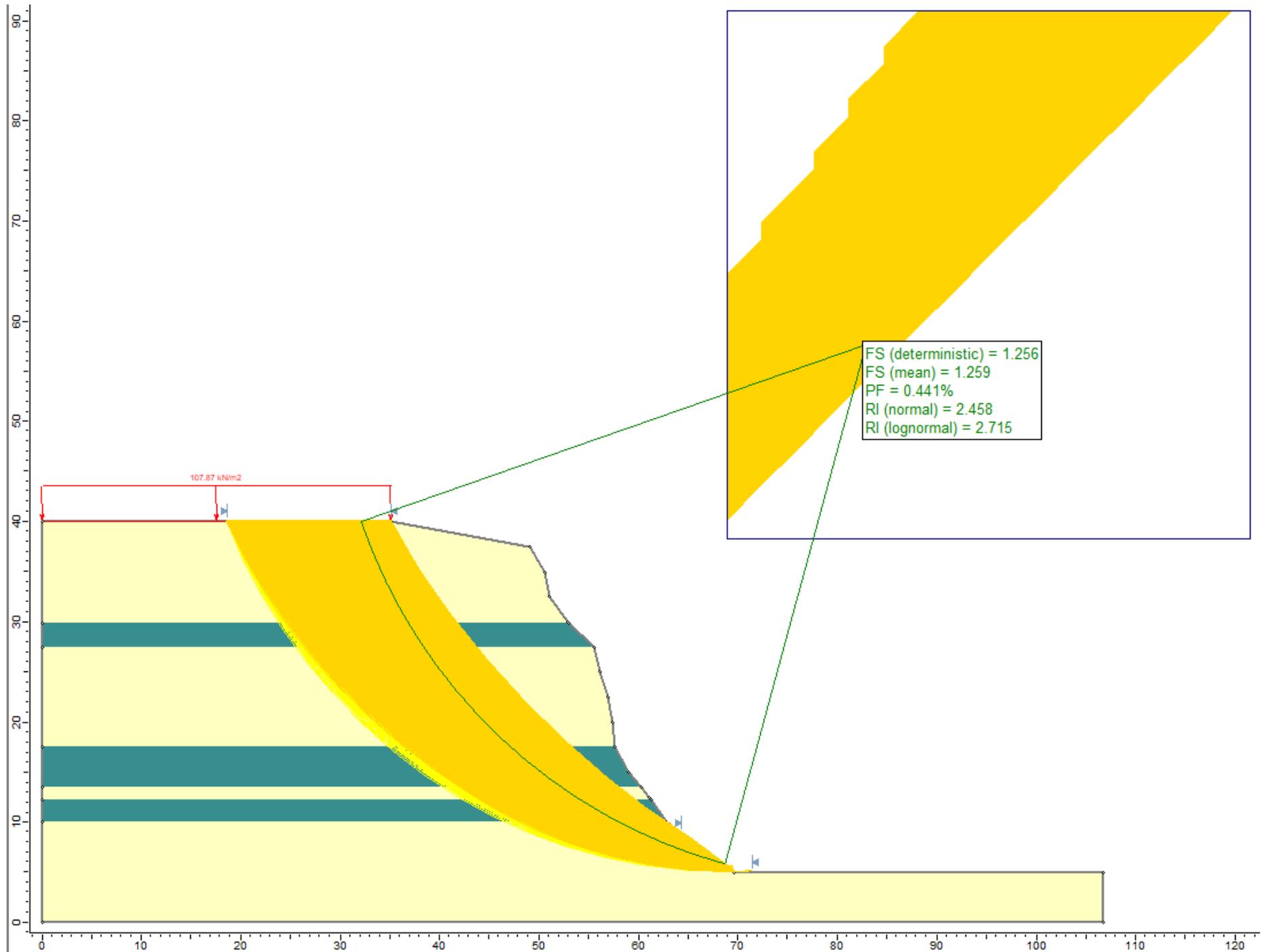
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



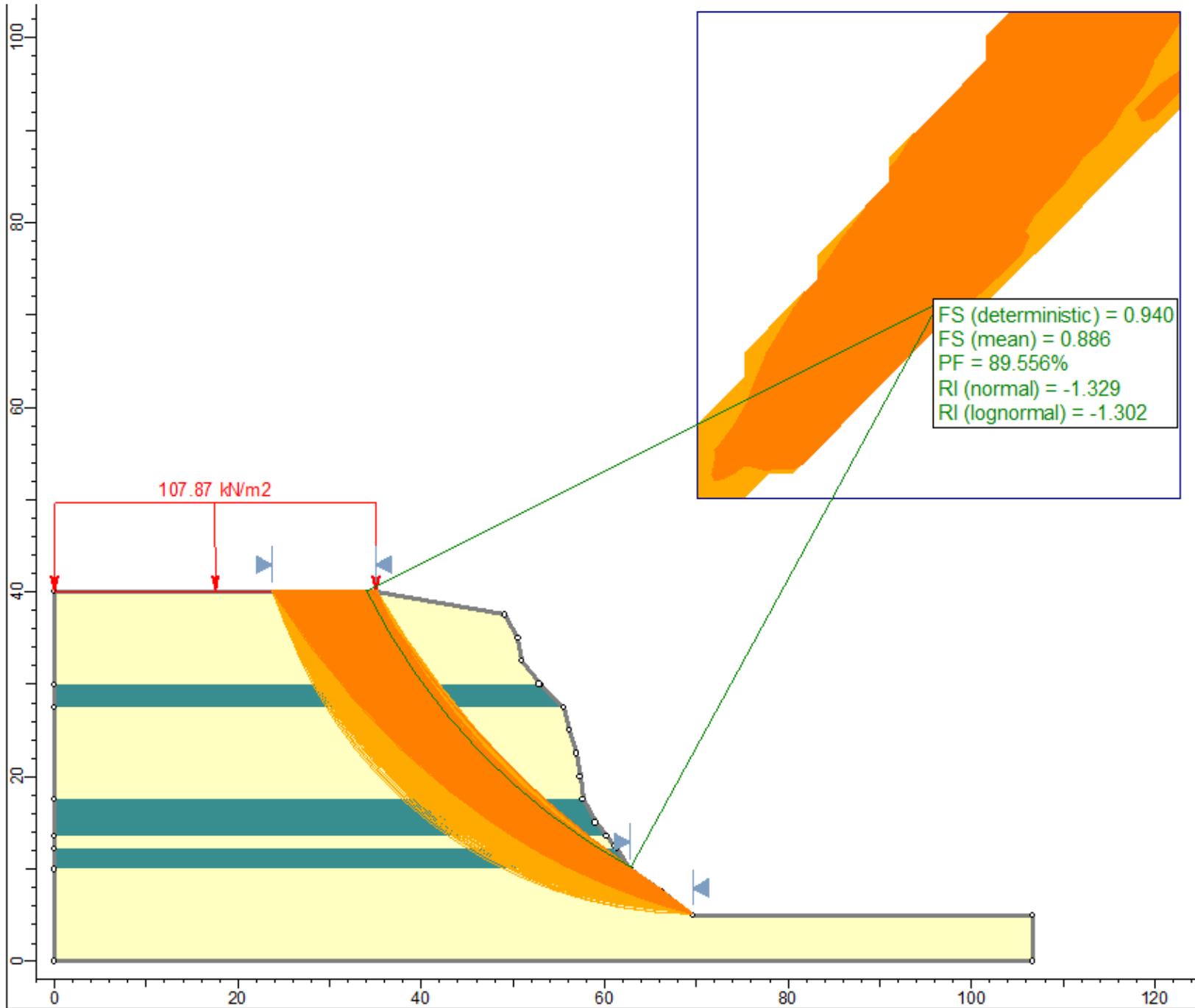
Falla circular - caso estático



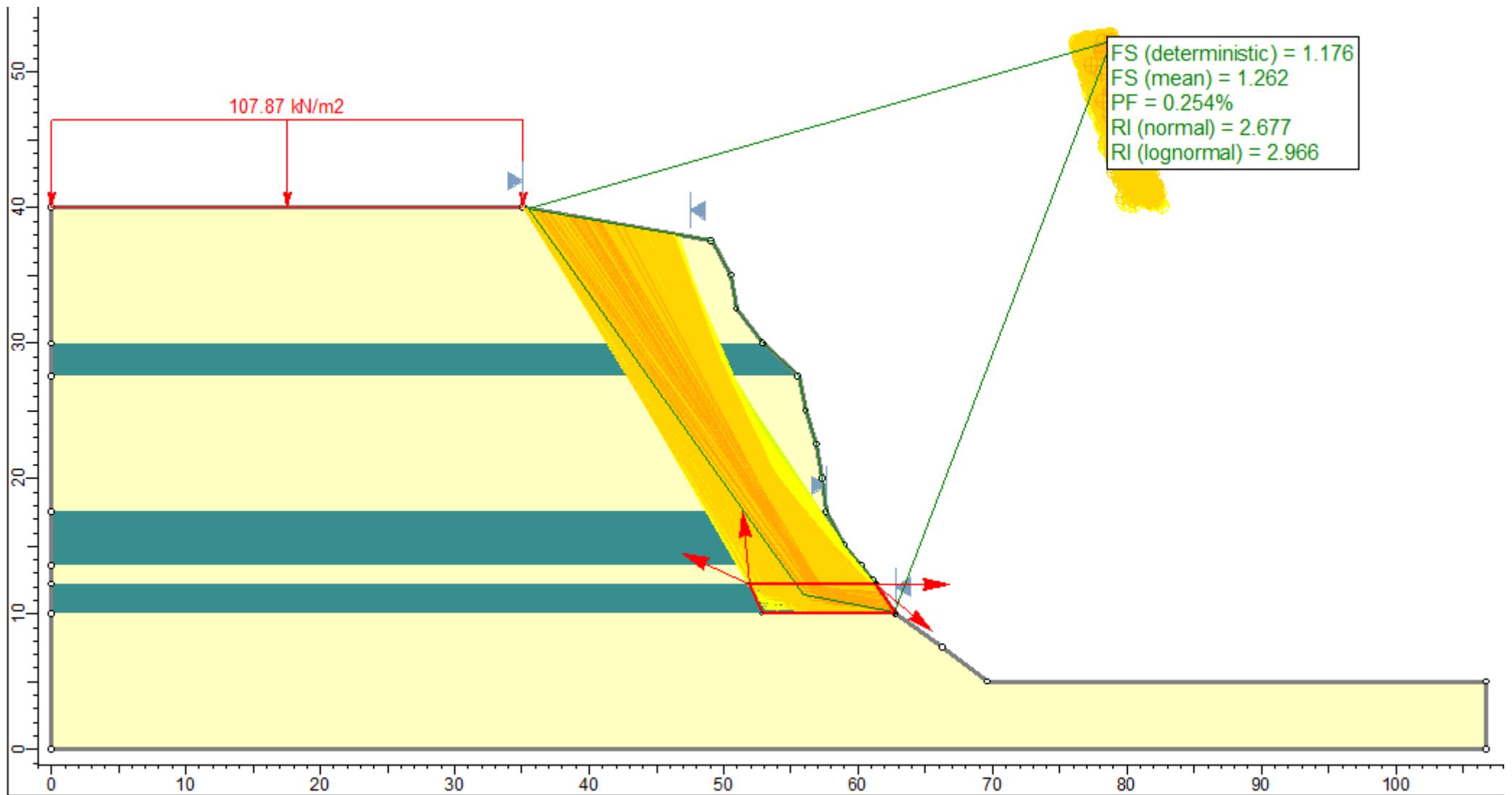
Falla circular - caso estático



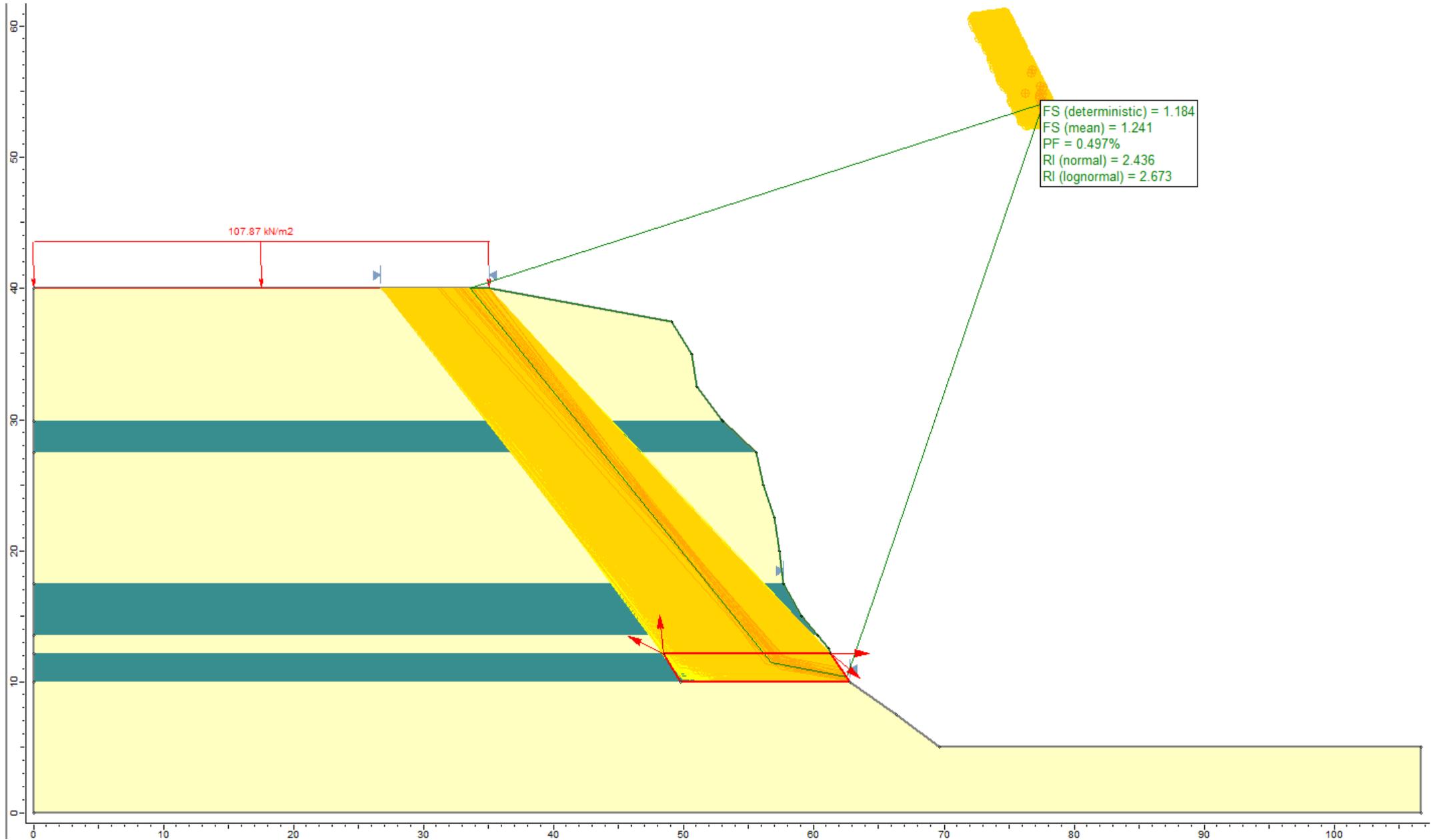
Falla circular - caso pseudo estático



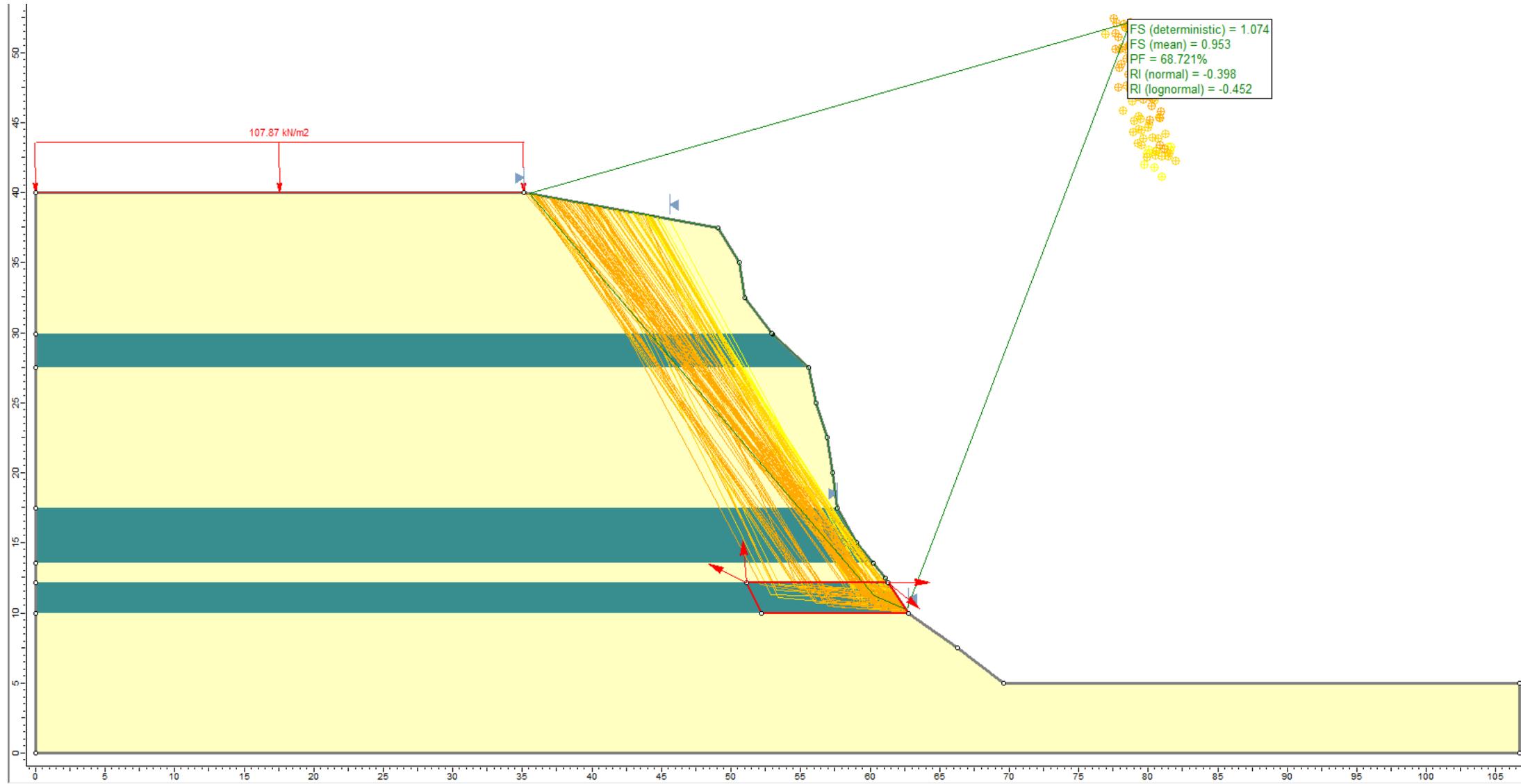
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso estático

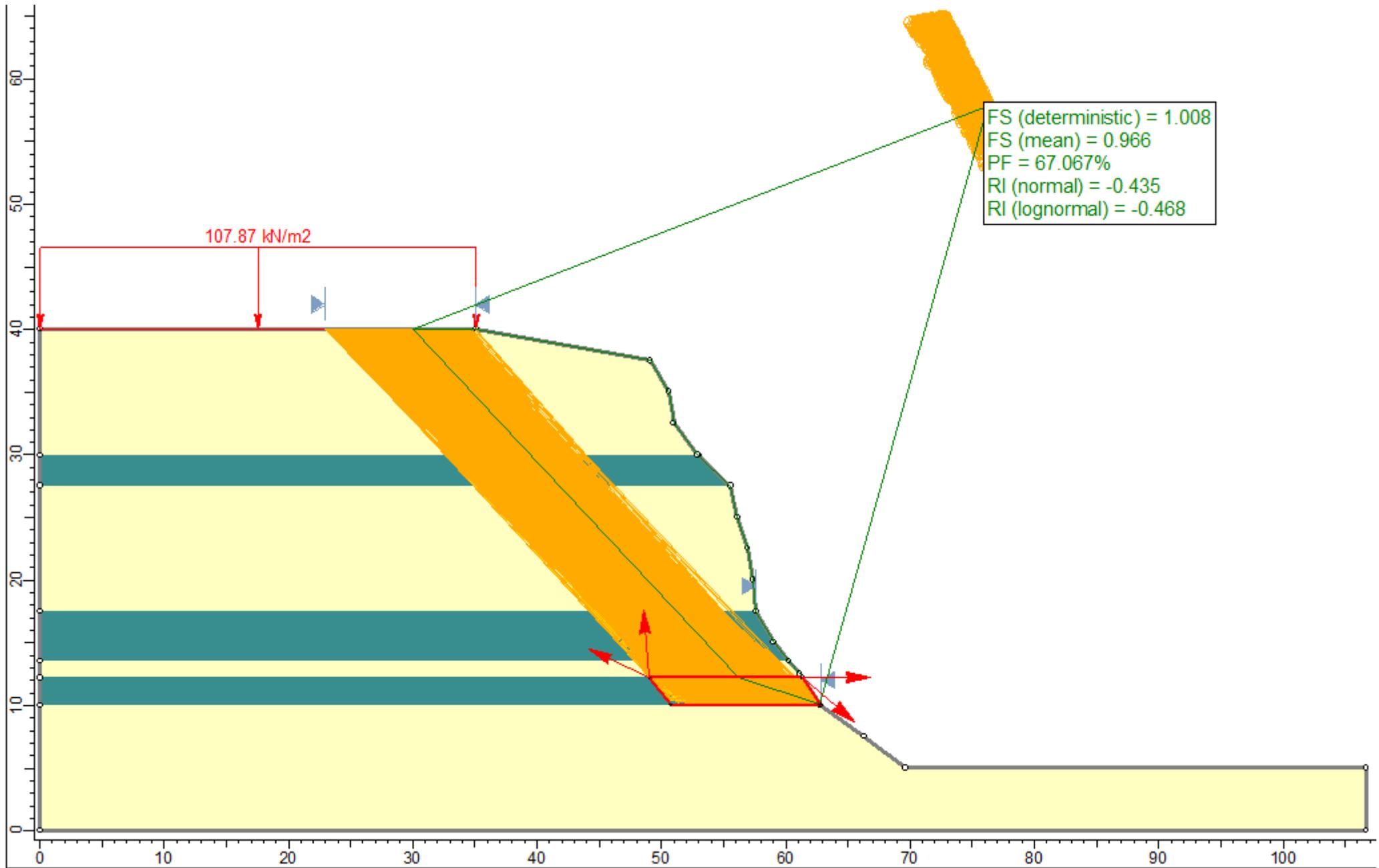


Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso pseudo estático

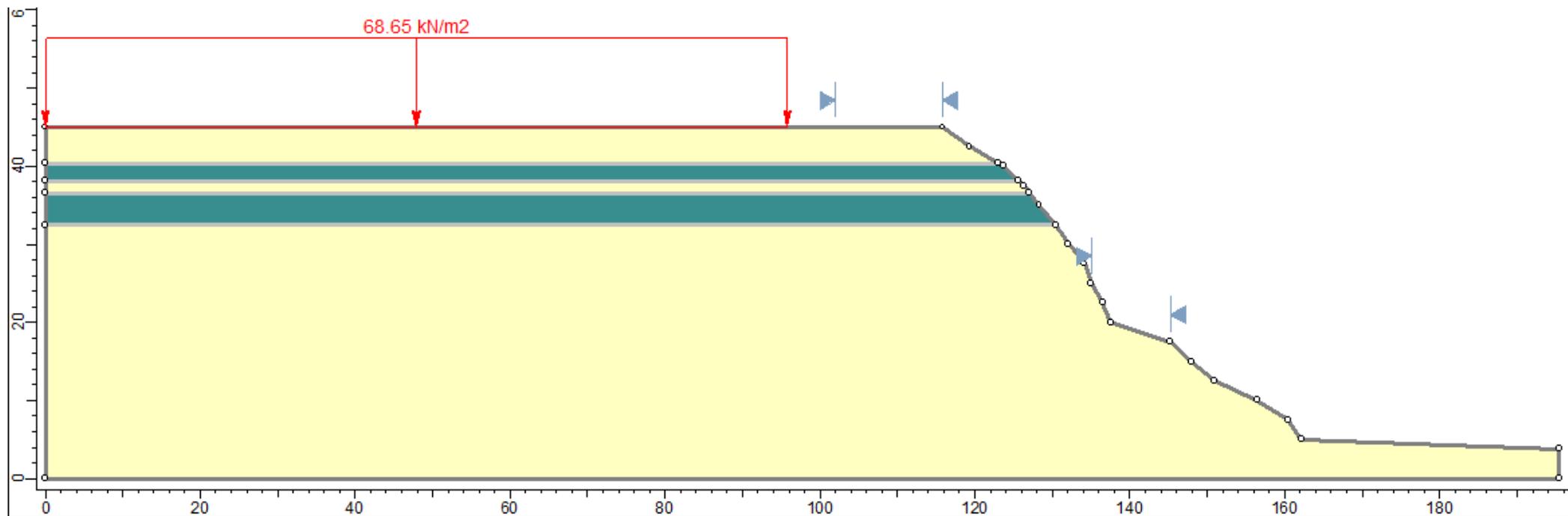
▶ 0.22



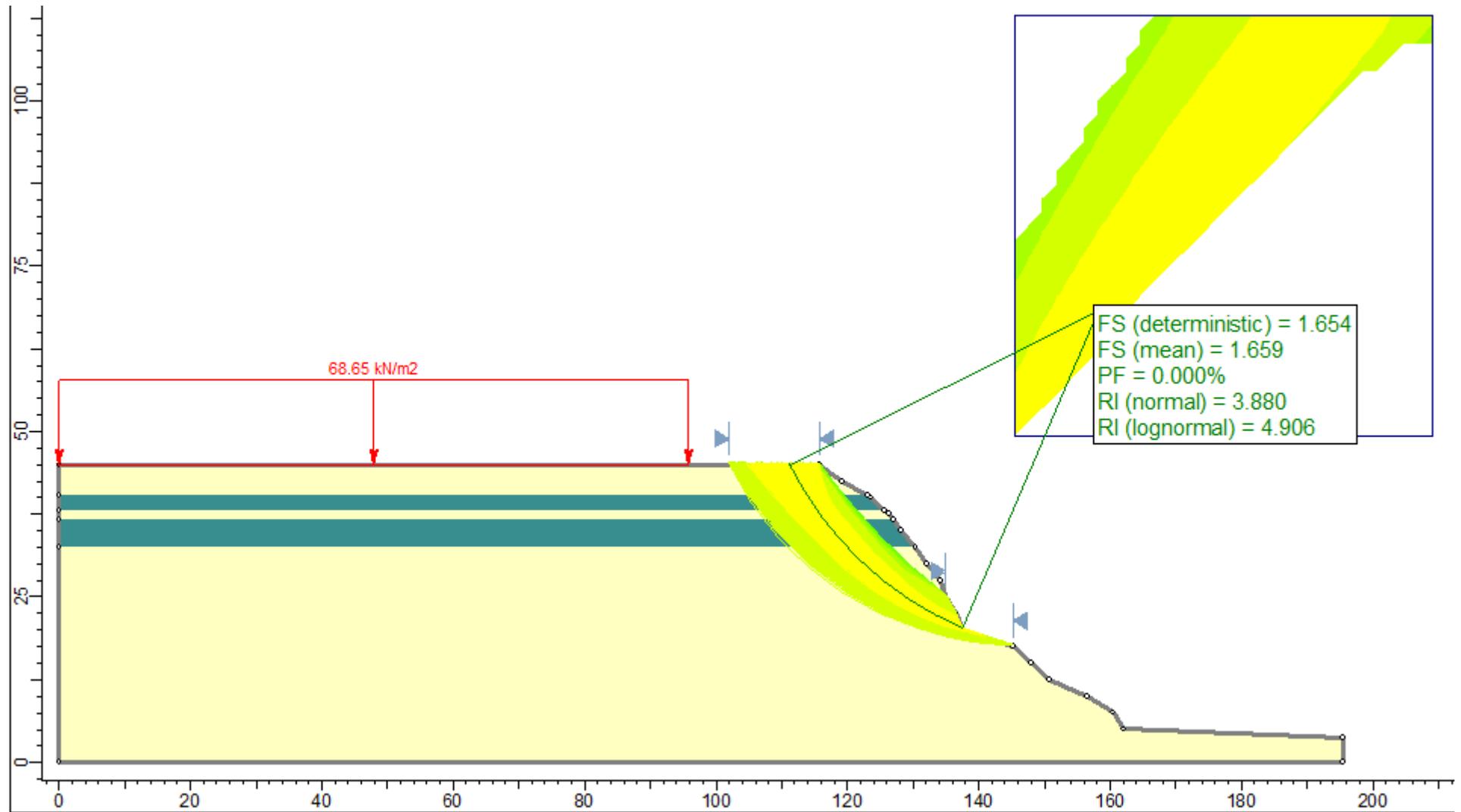
B_7

LEYENDA

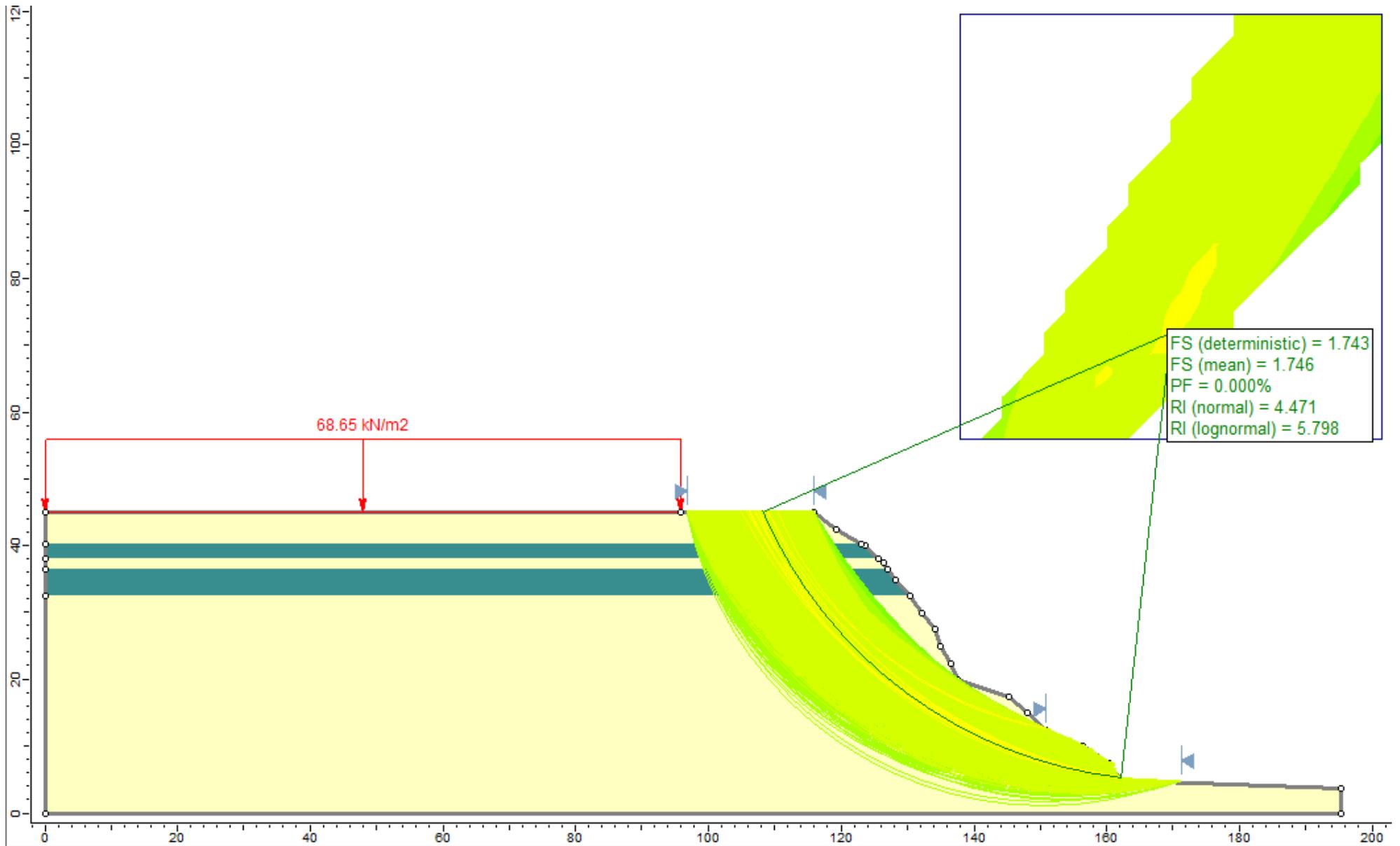
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



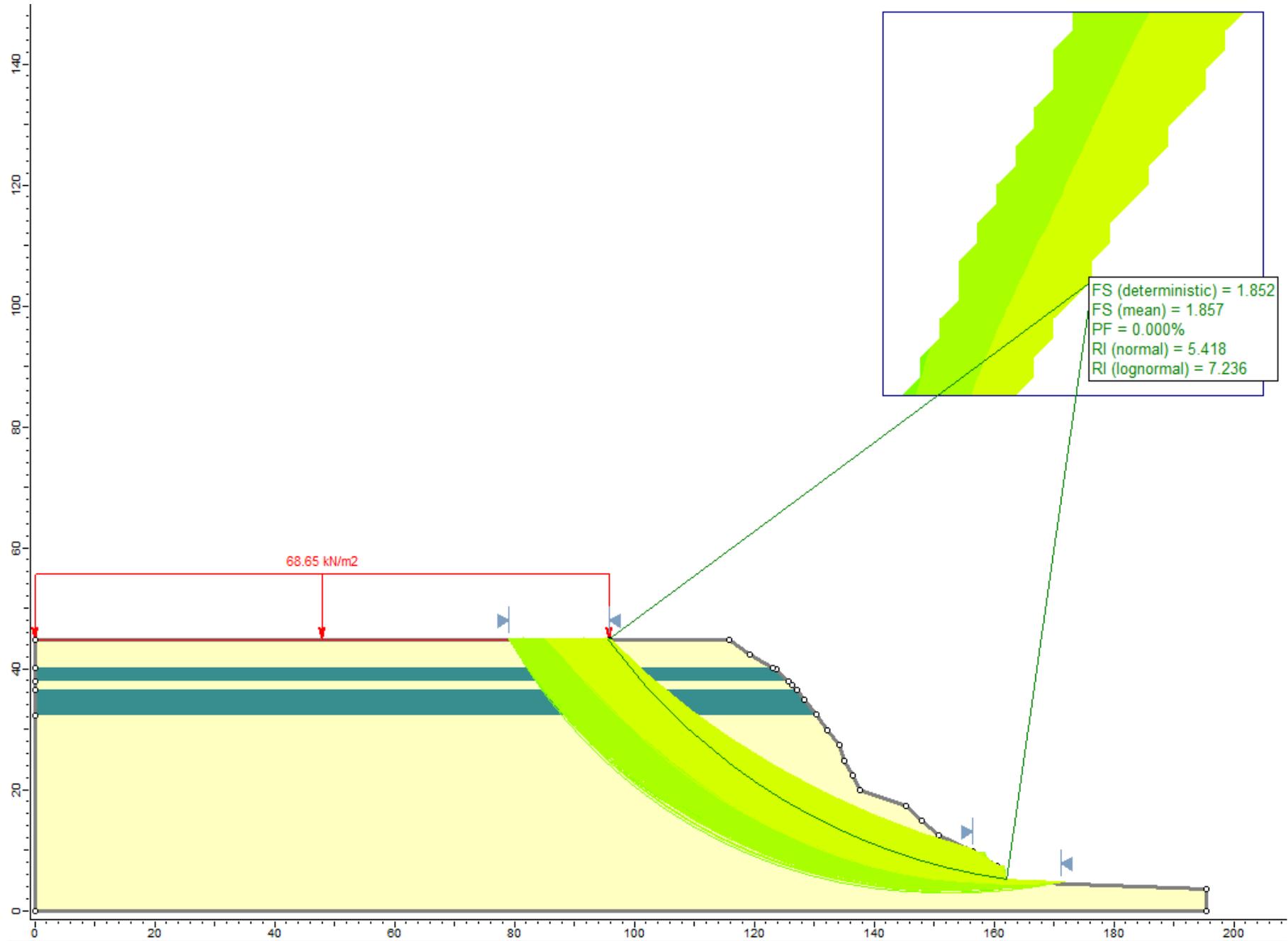
Falla circular - caso estático



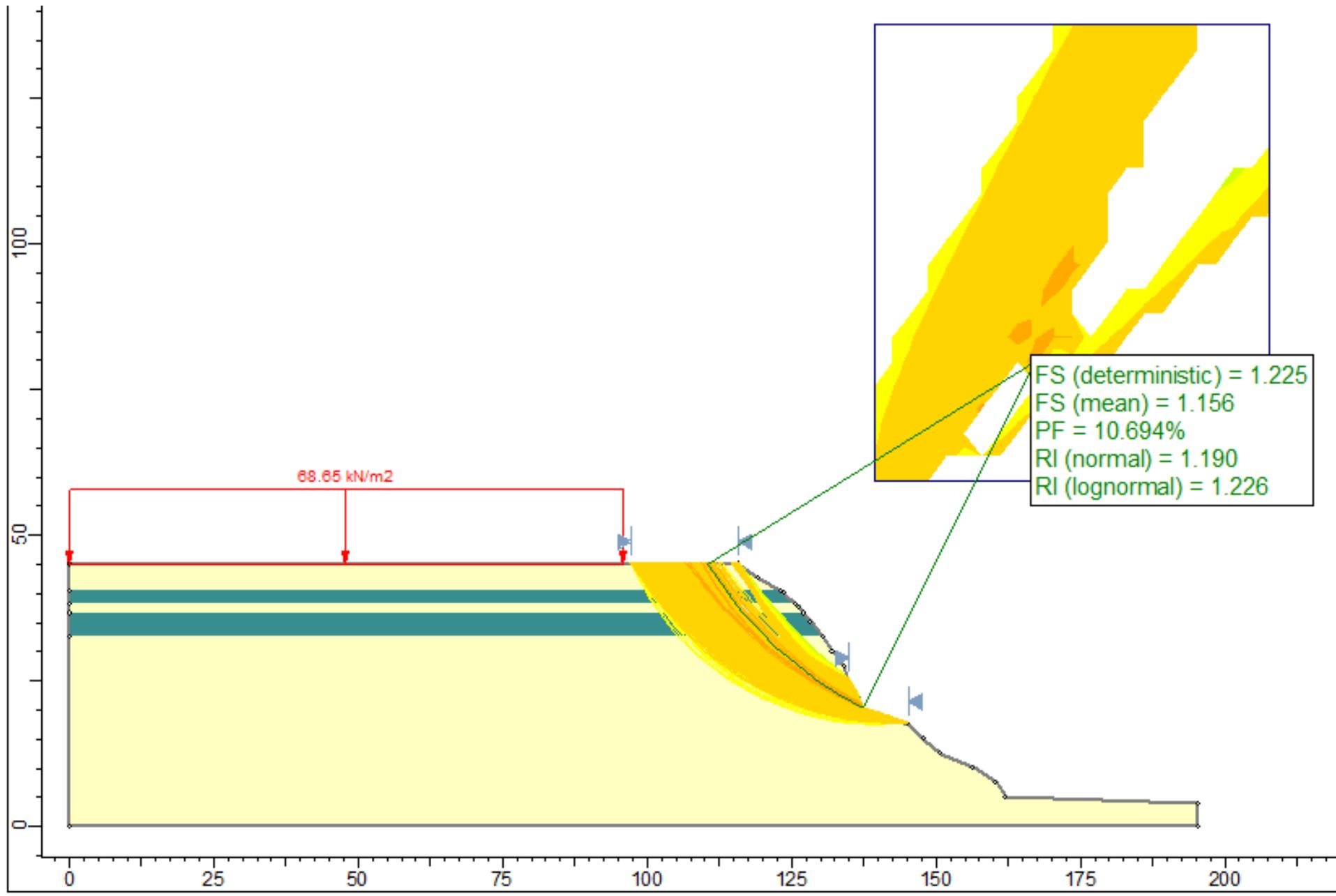
Falla circular - caso estático



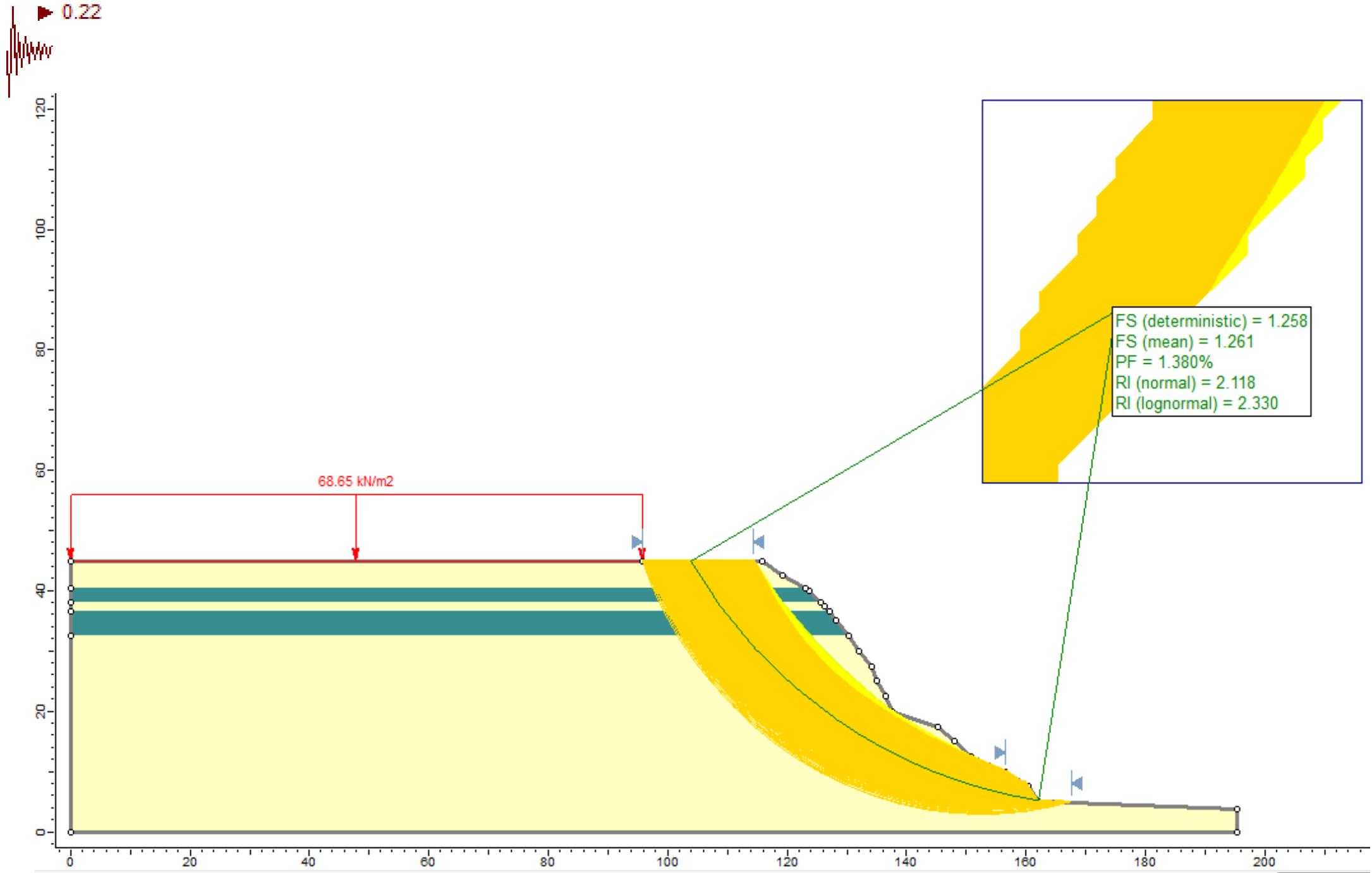
Falla circular - caso estático



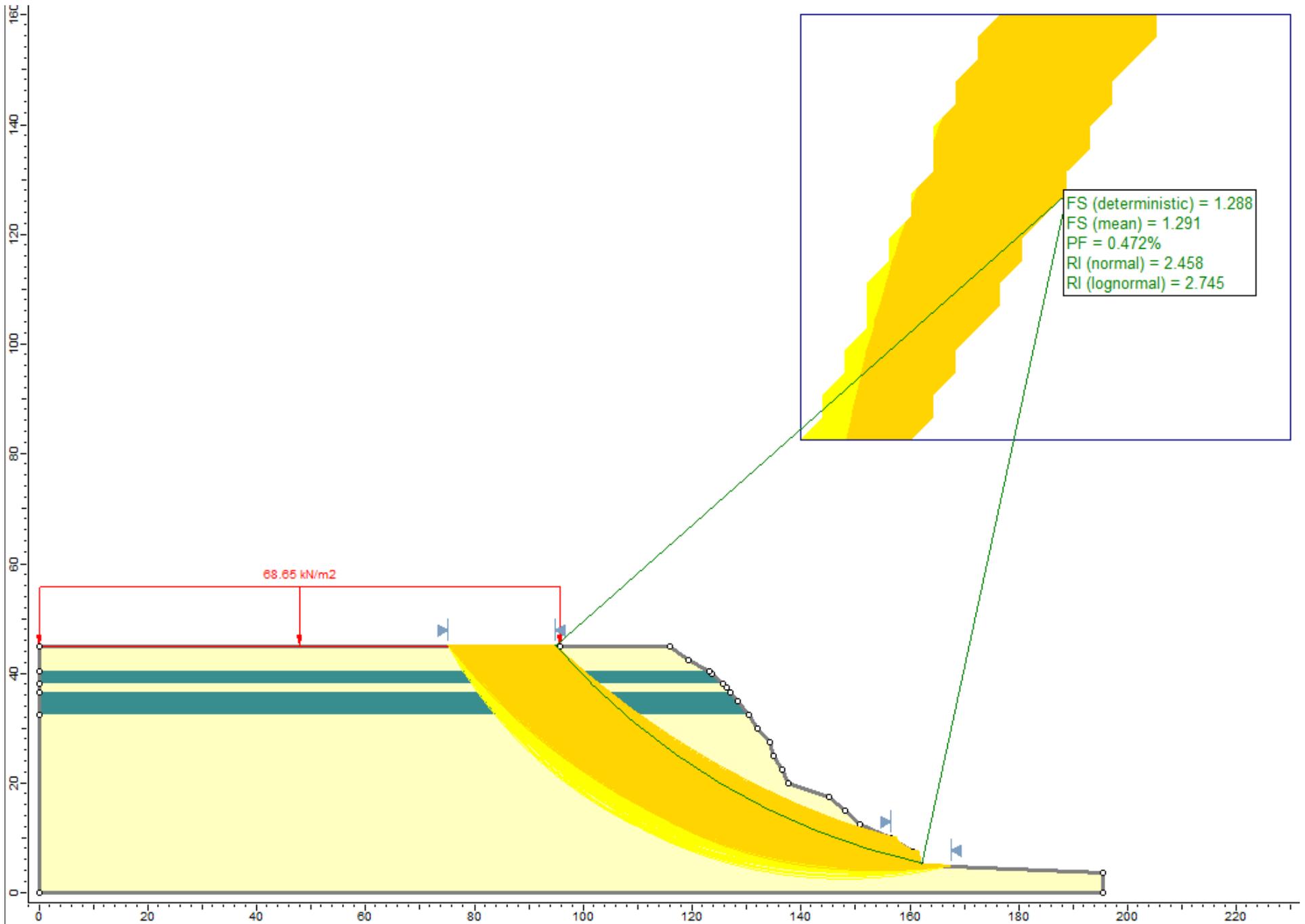
Falla circular - caso pseudo estático



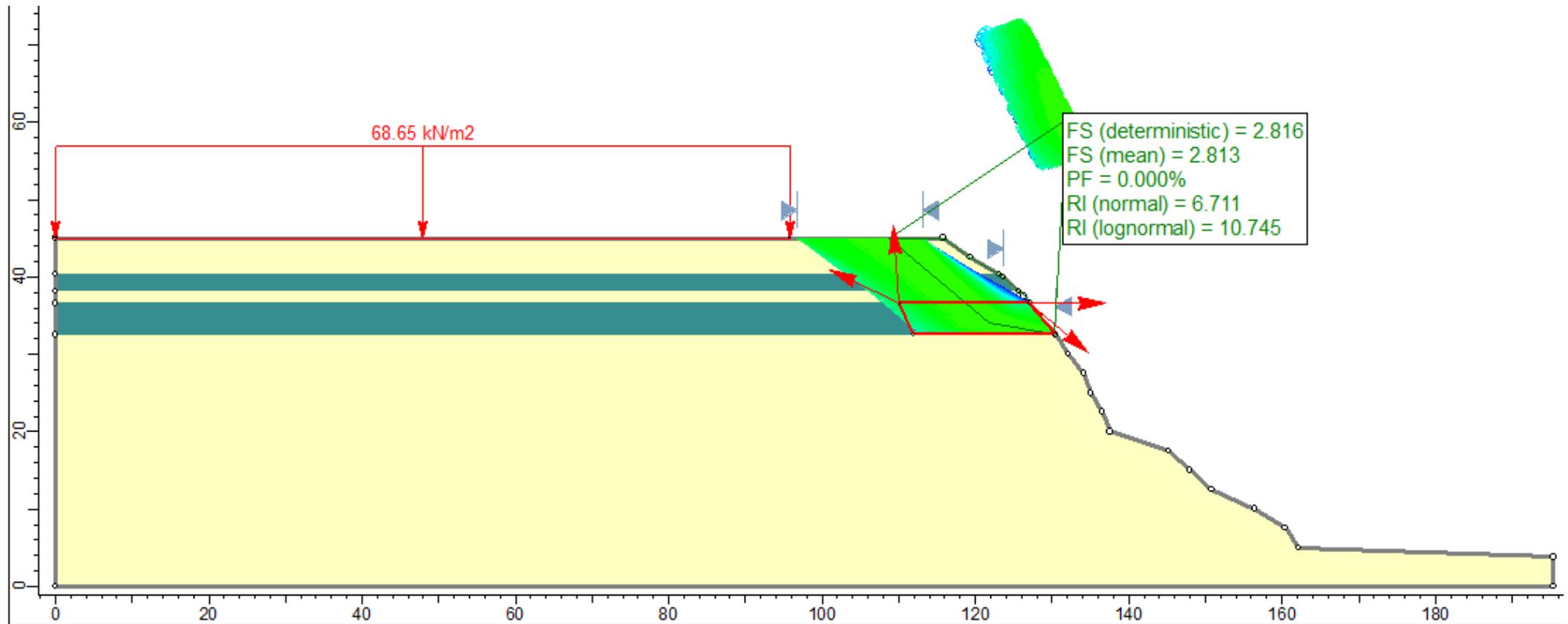
Falla circular - caso pseudo estático



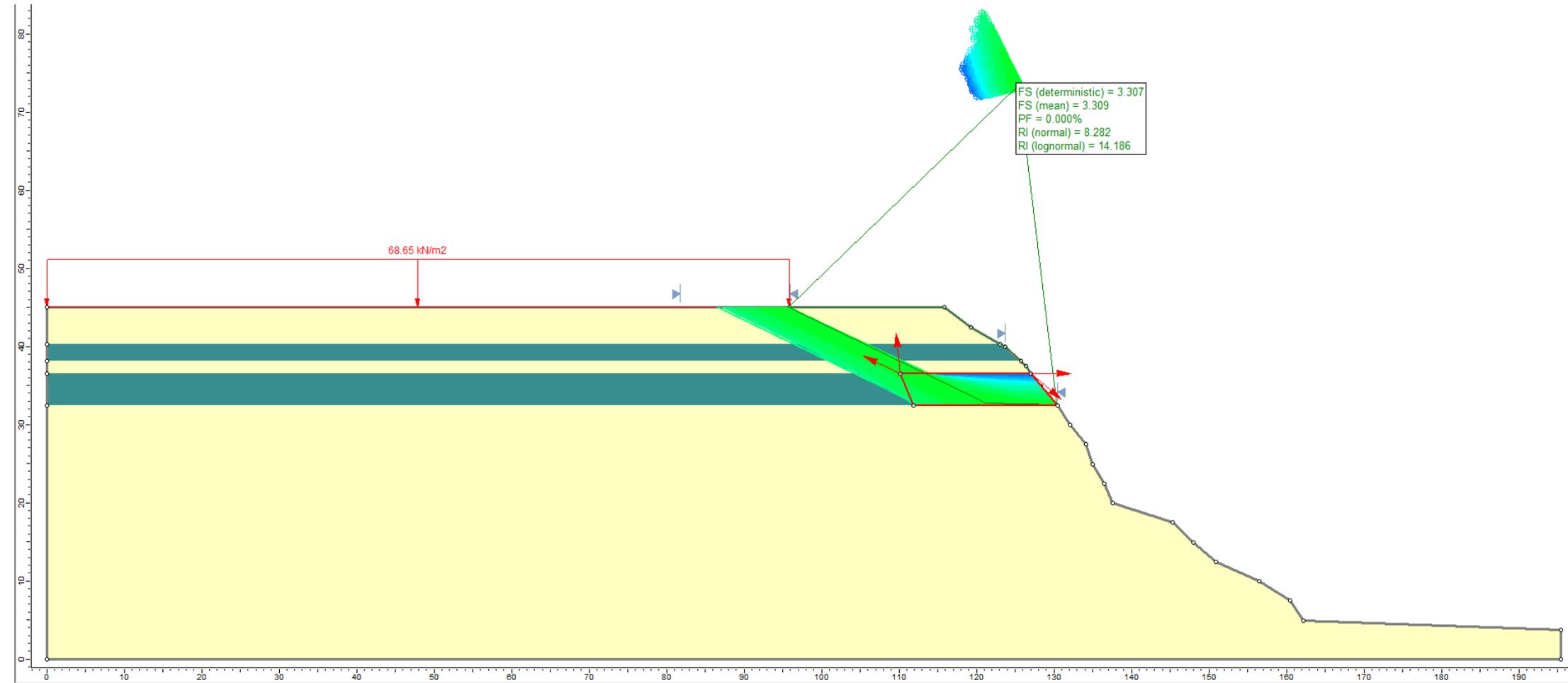
Falla circular - caso pseudo estático



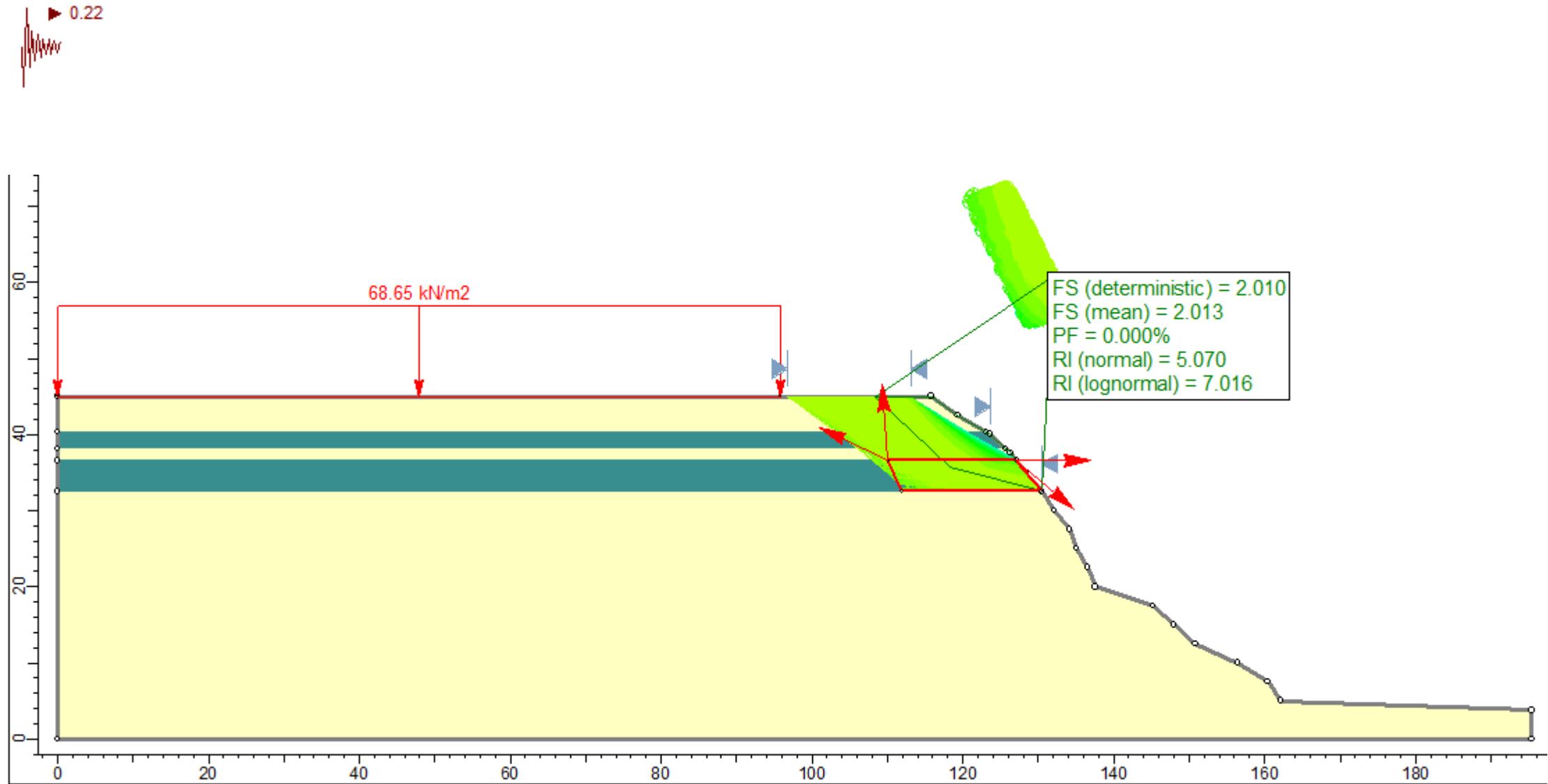
Falla en bloque - caso estático



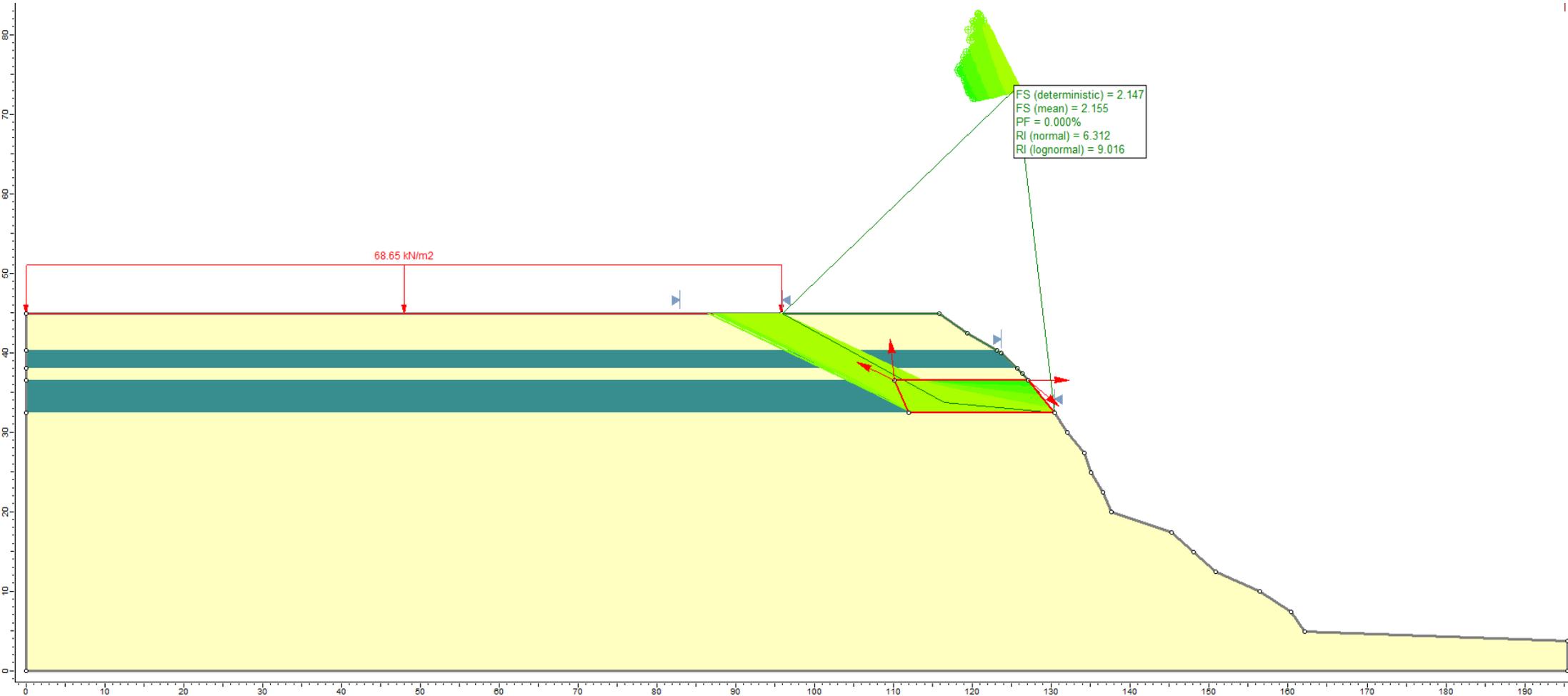
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso pseudo estático

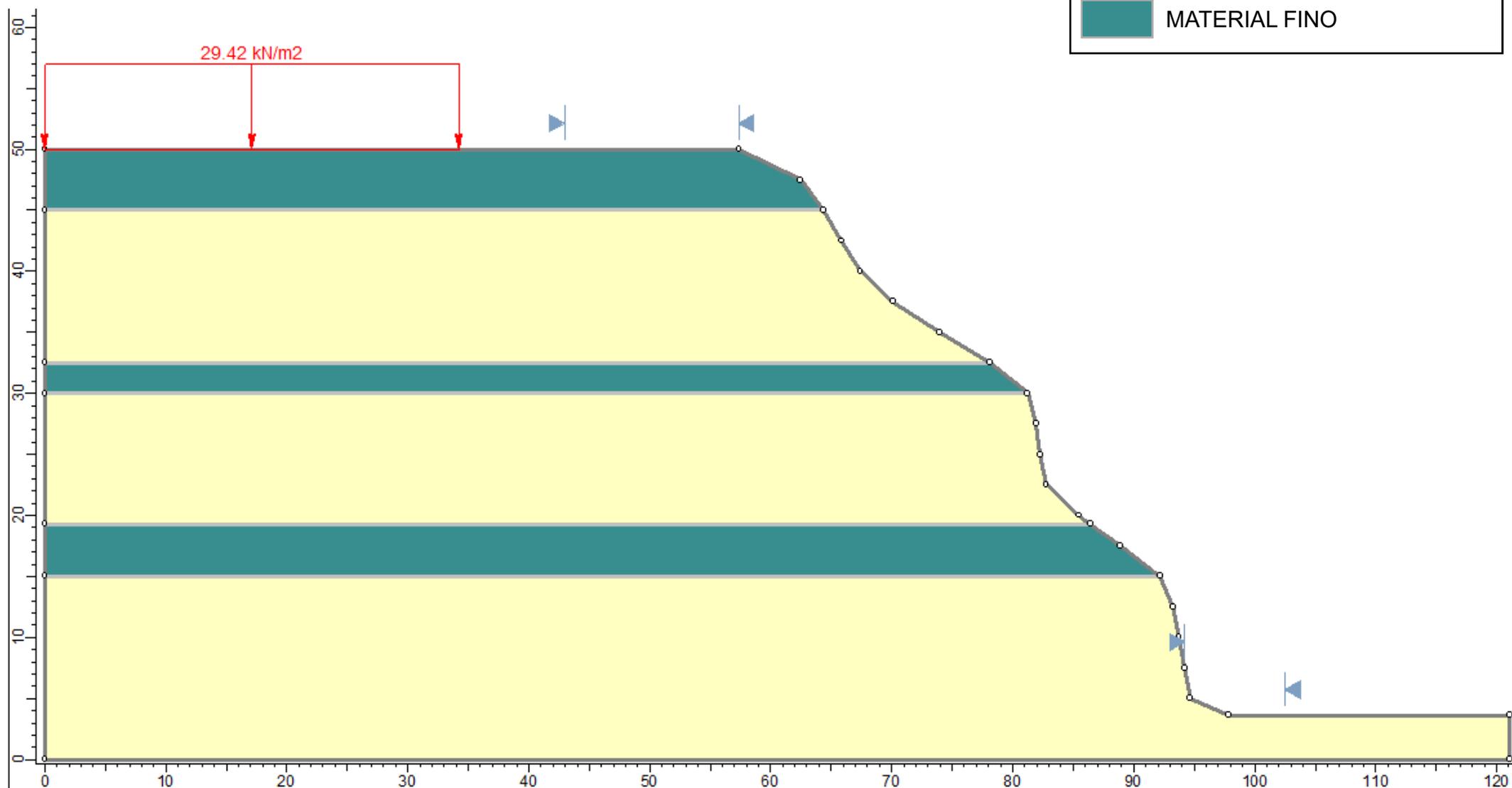


CHORRILLOS

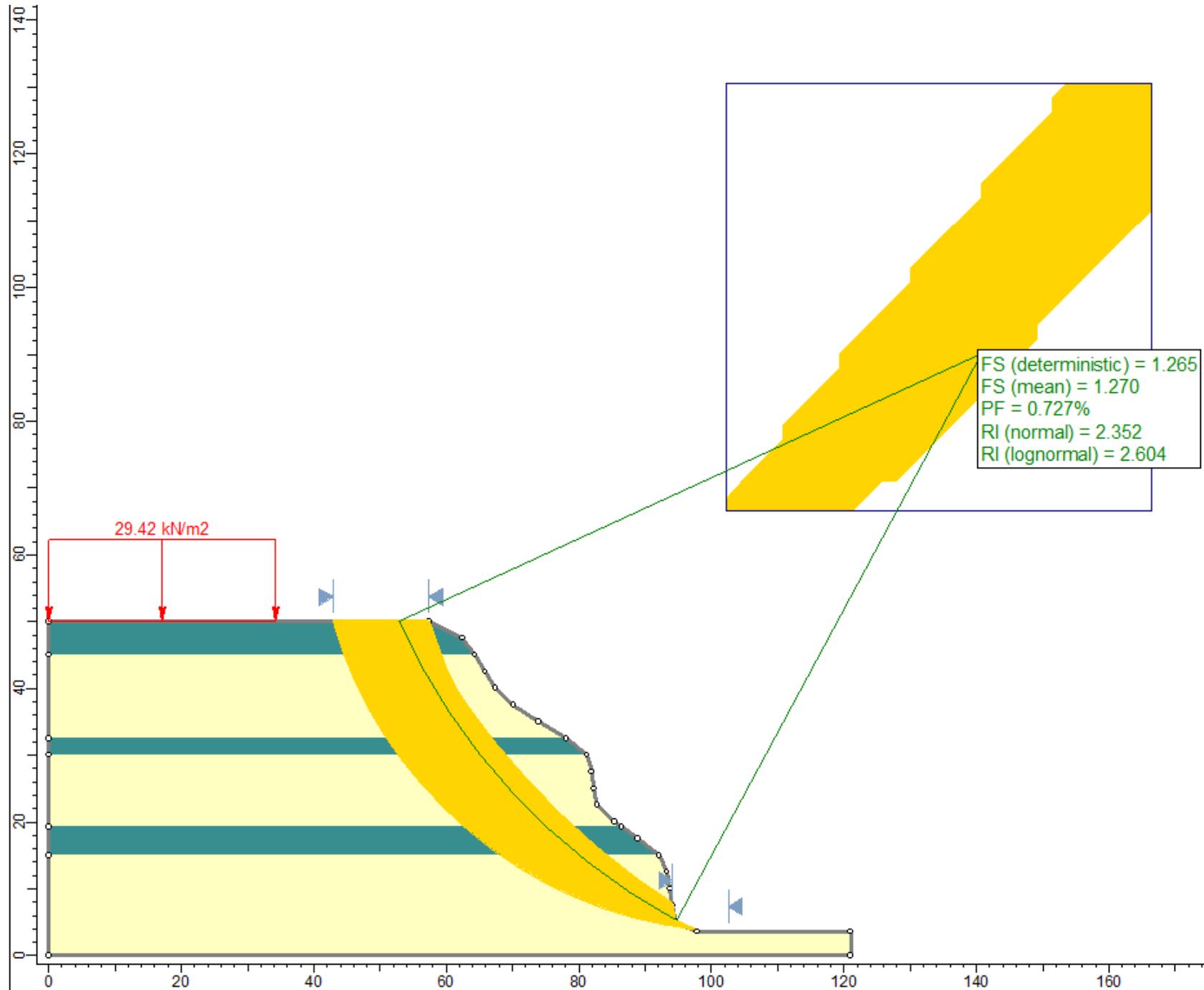
C_1

LEYENDA

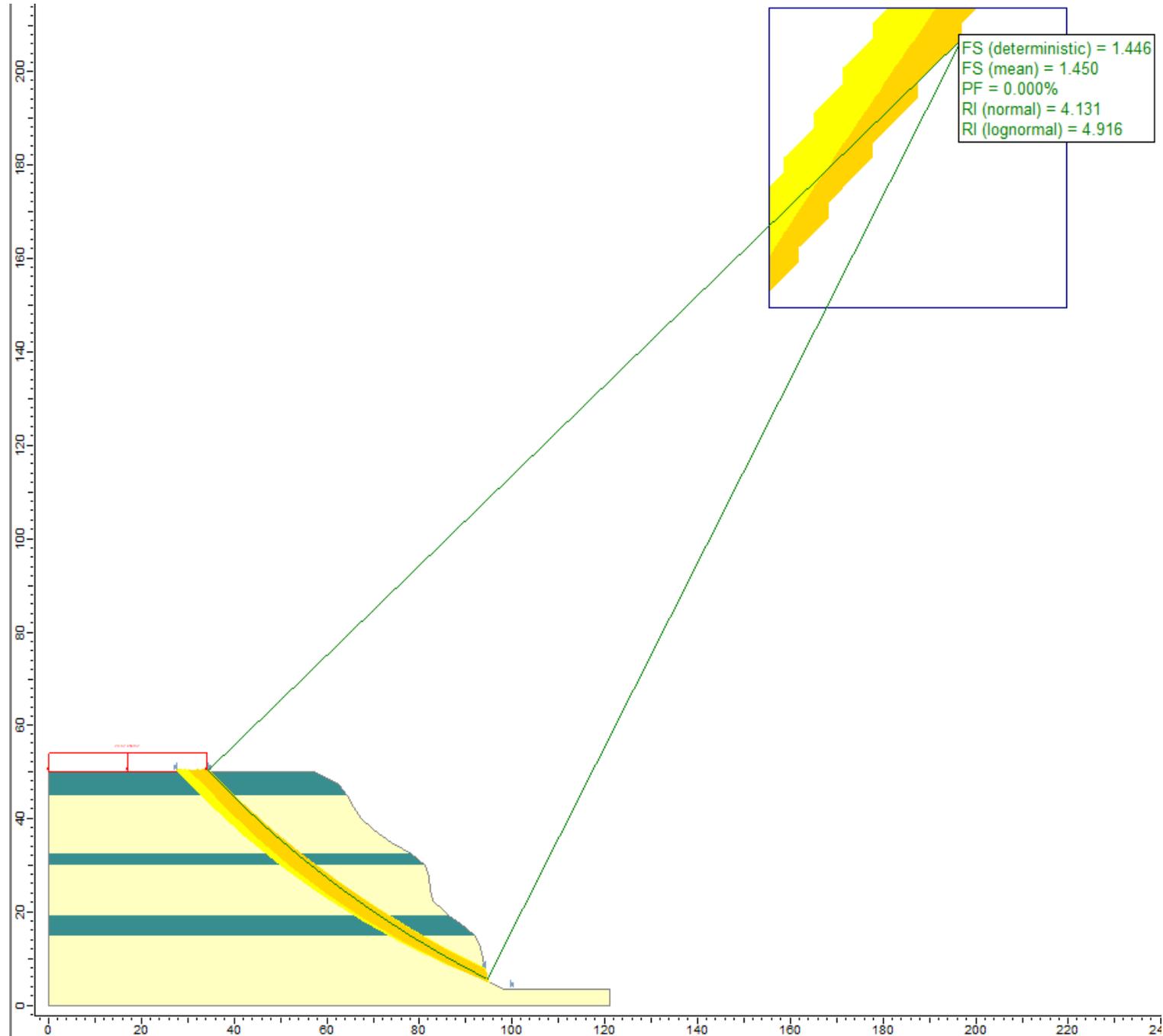
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



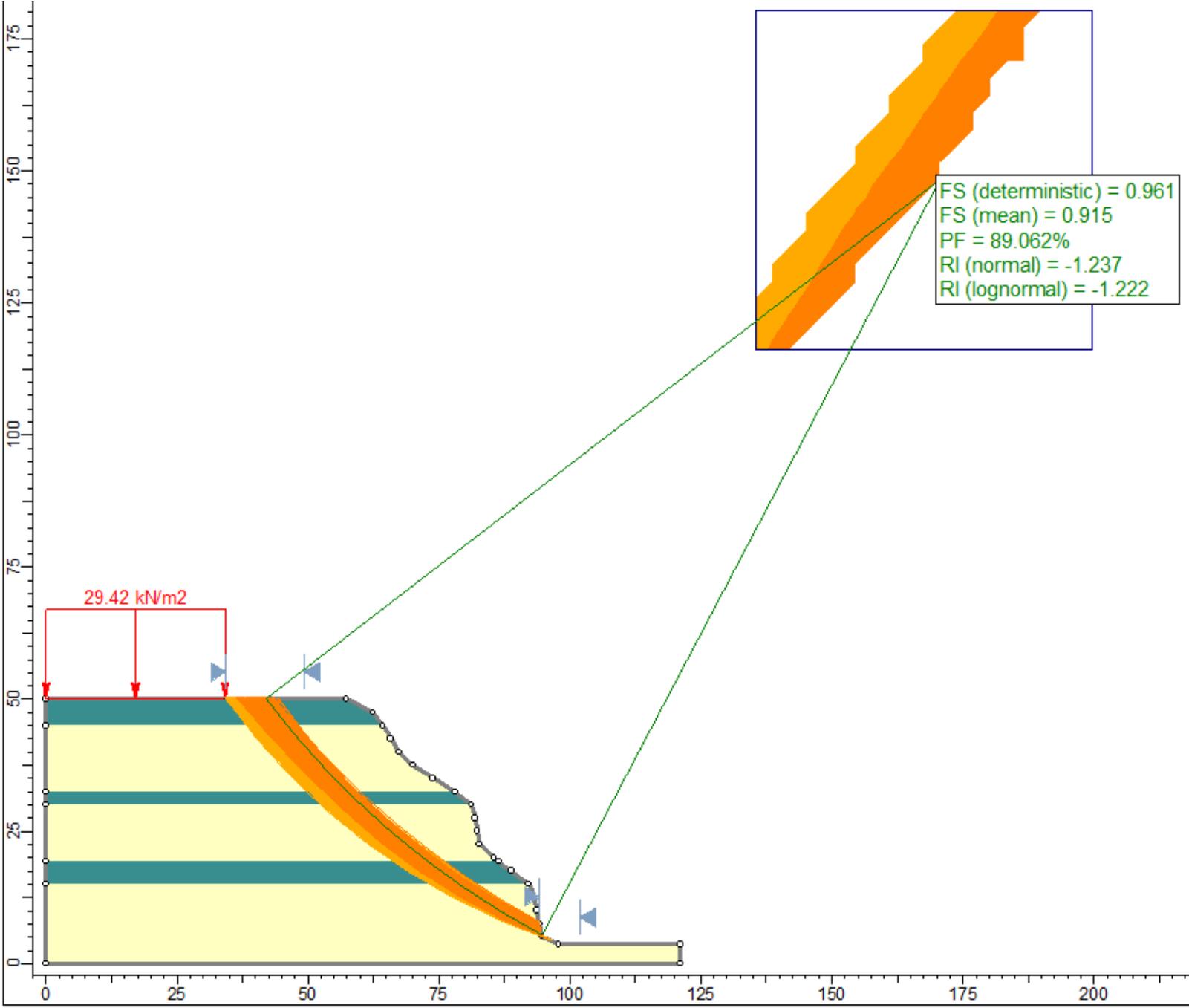
Falla circular - caso estático



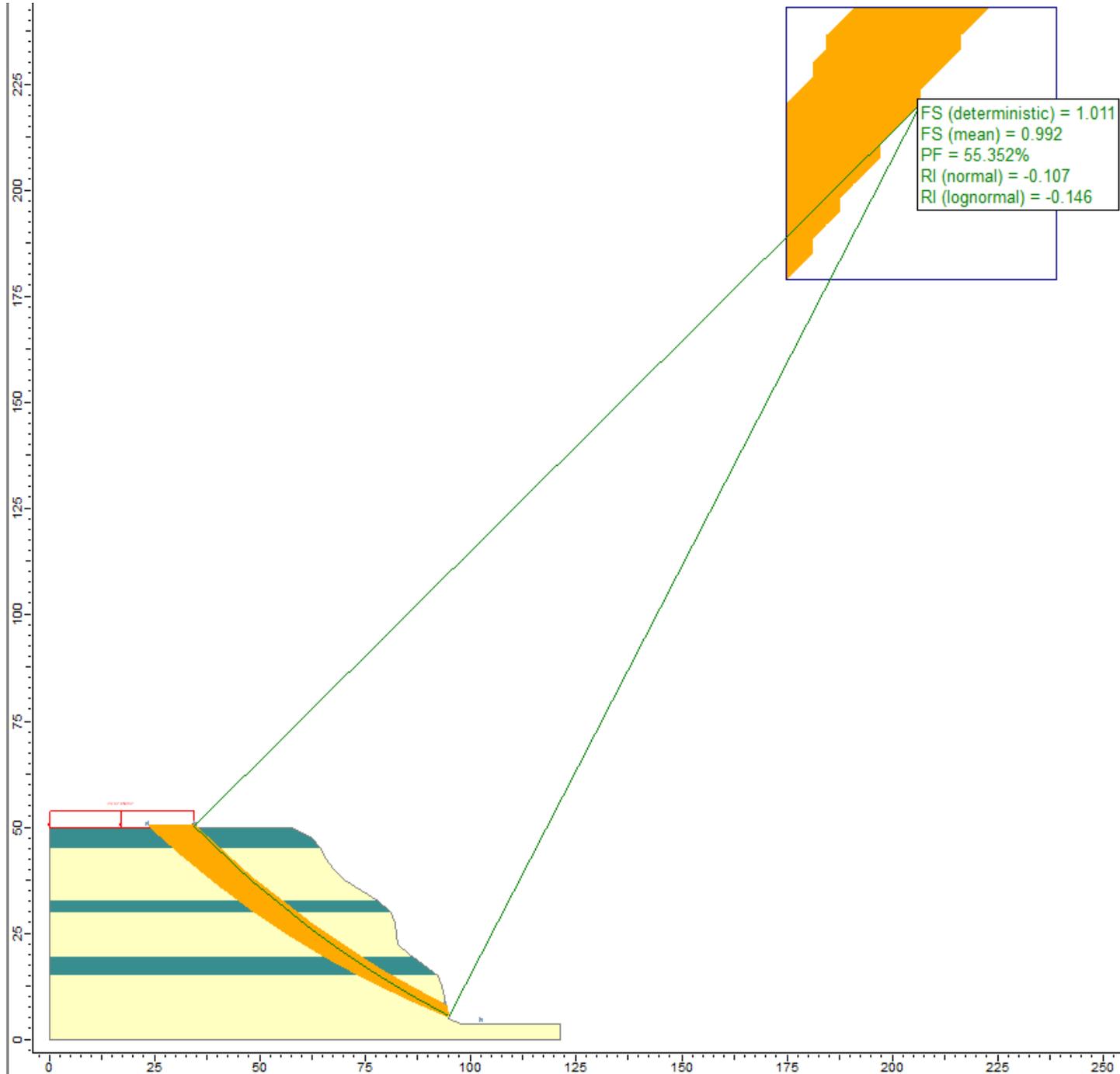
Falla circular - caso estático



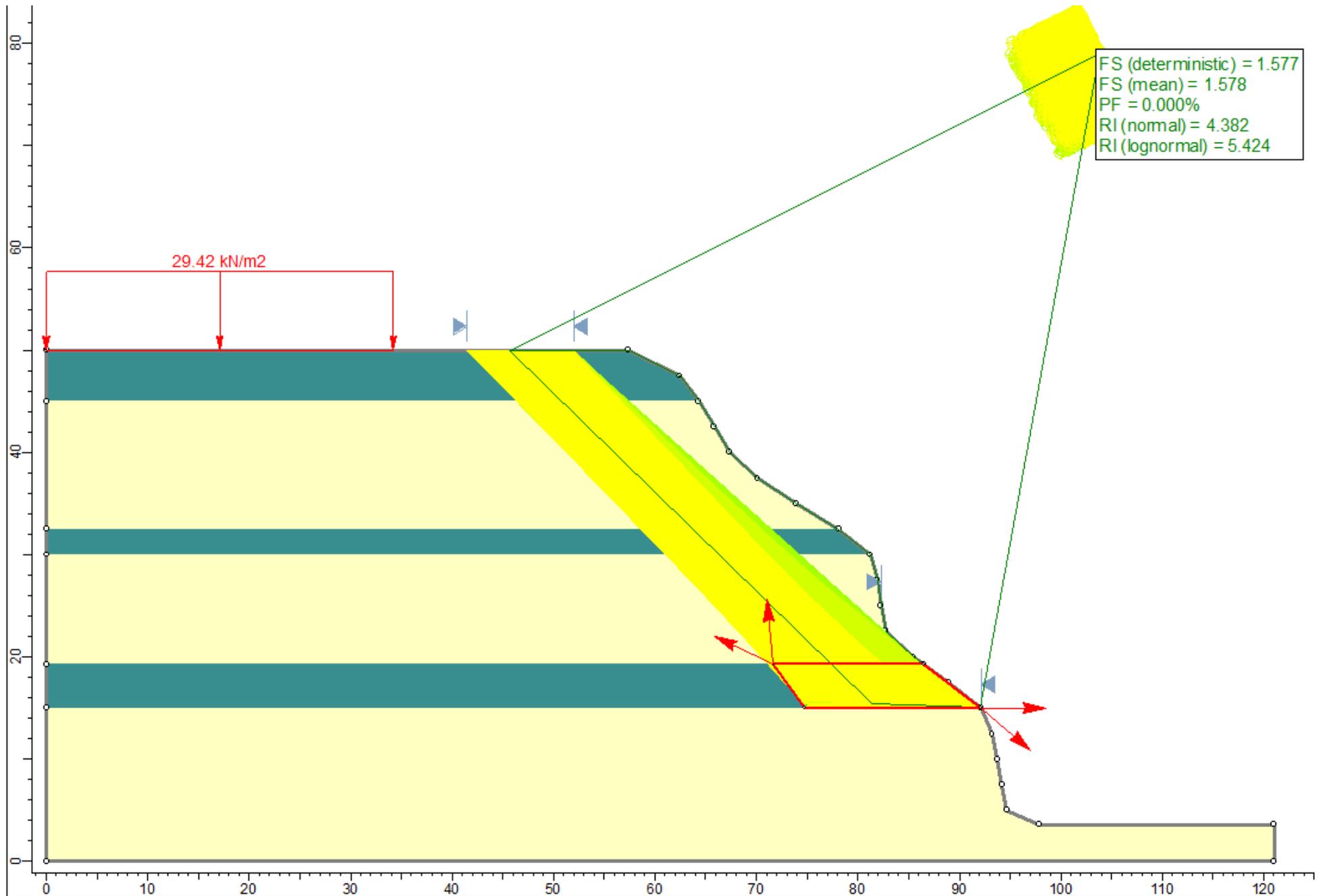
Falla circular - caso pseudo estático



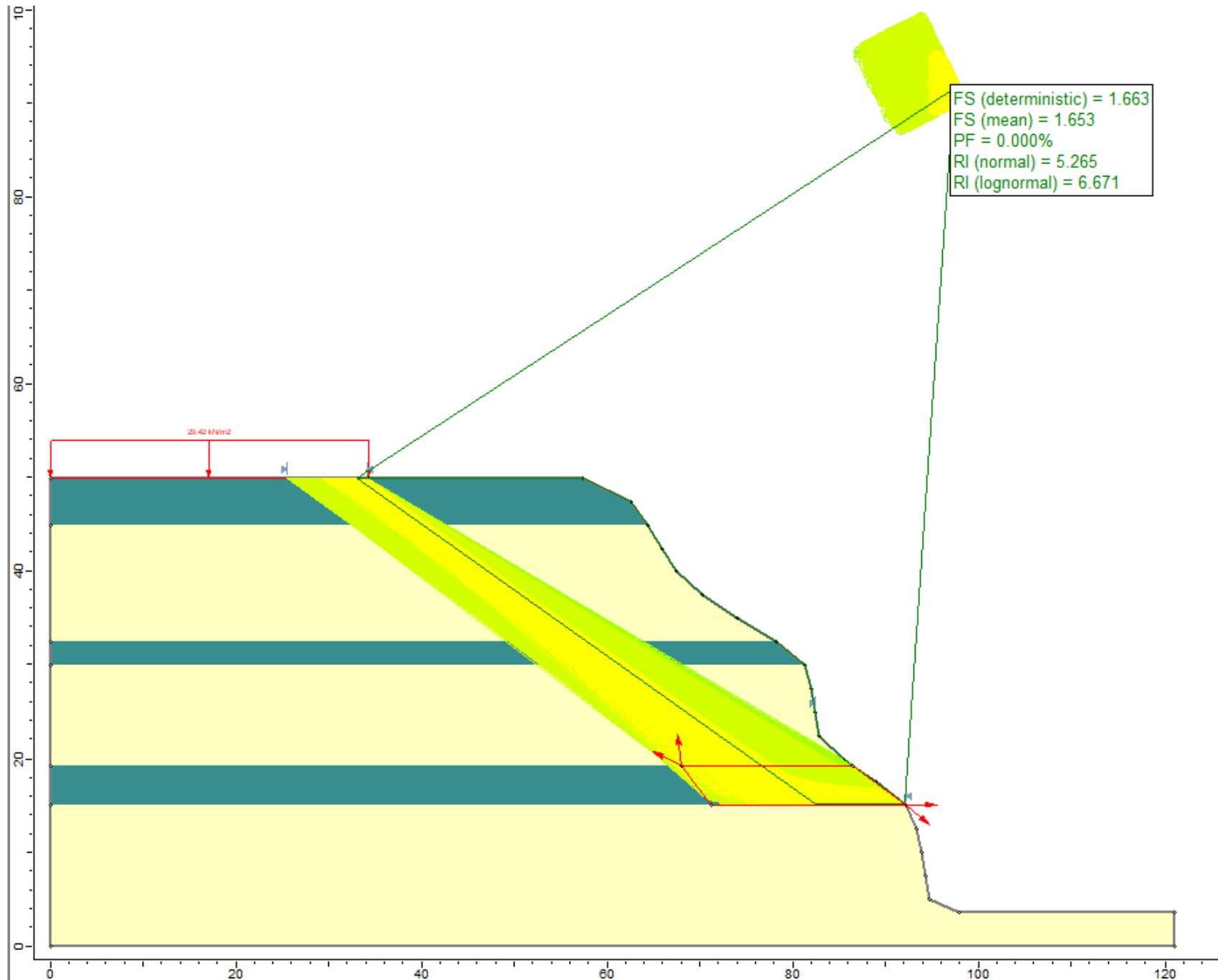
Falla circular - caso pseudo estático



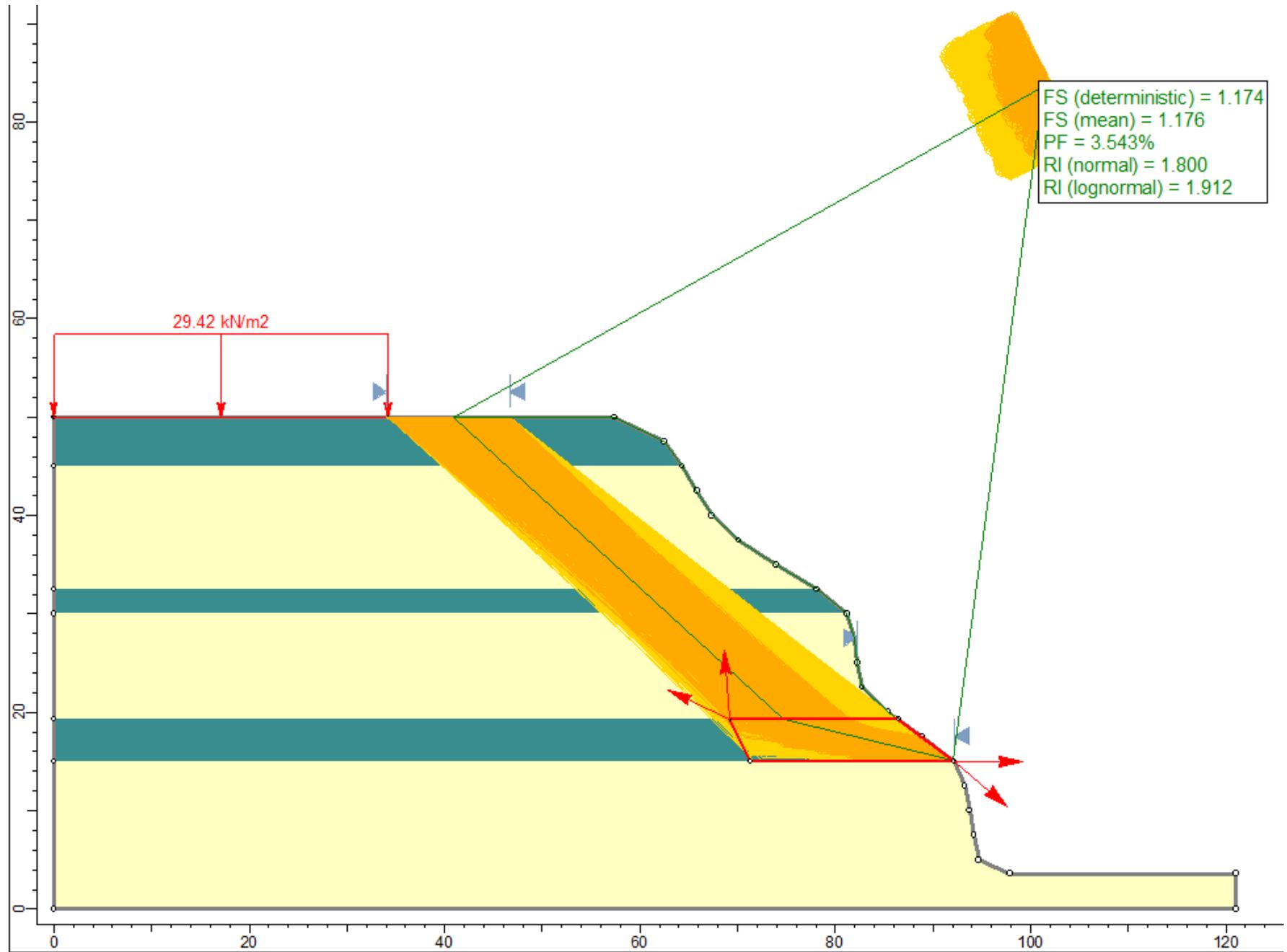
Falla en bloque - caso estático



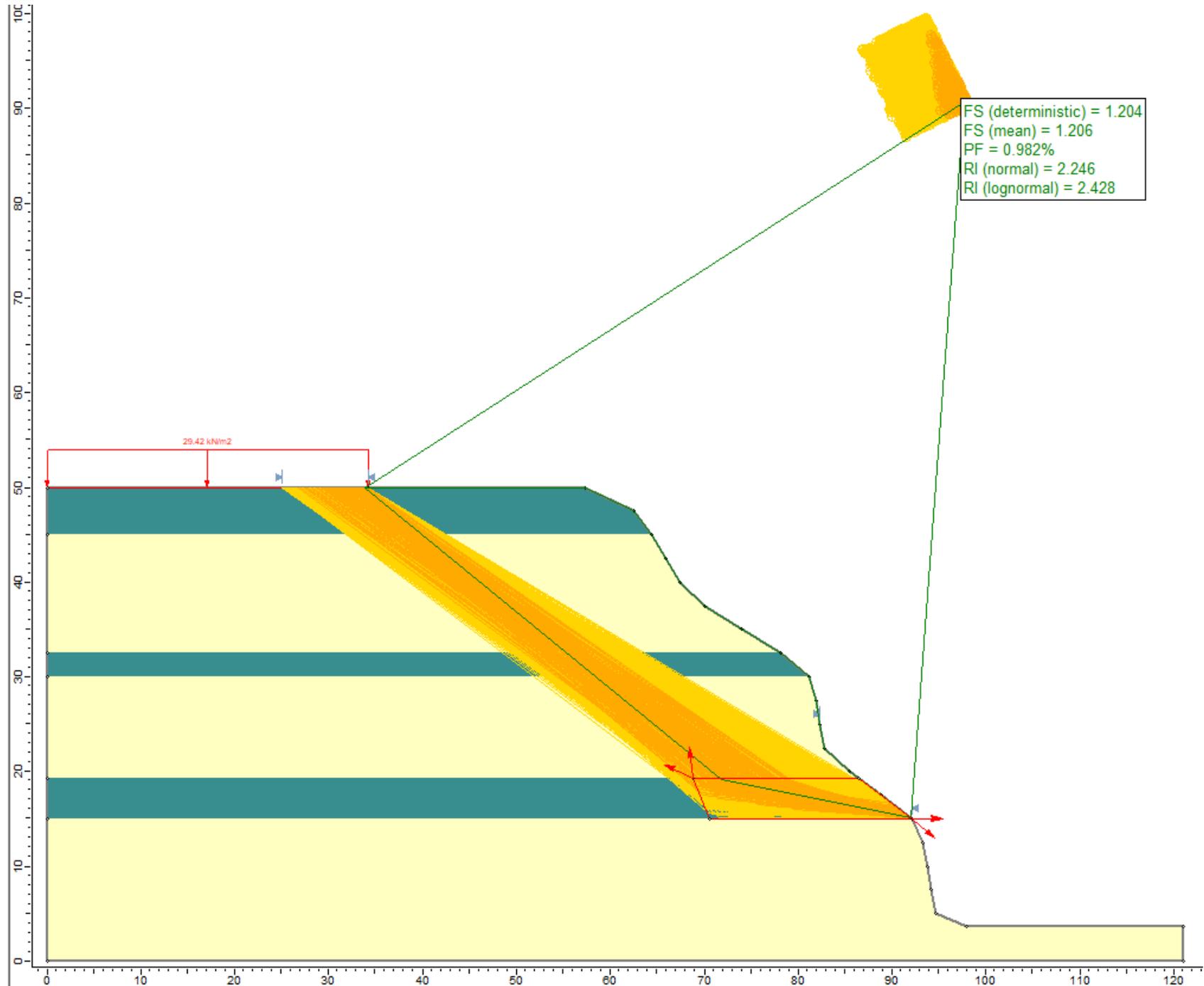
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



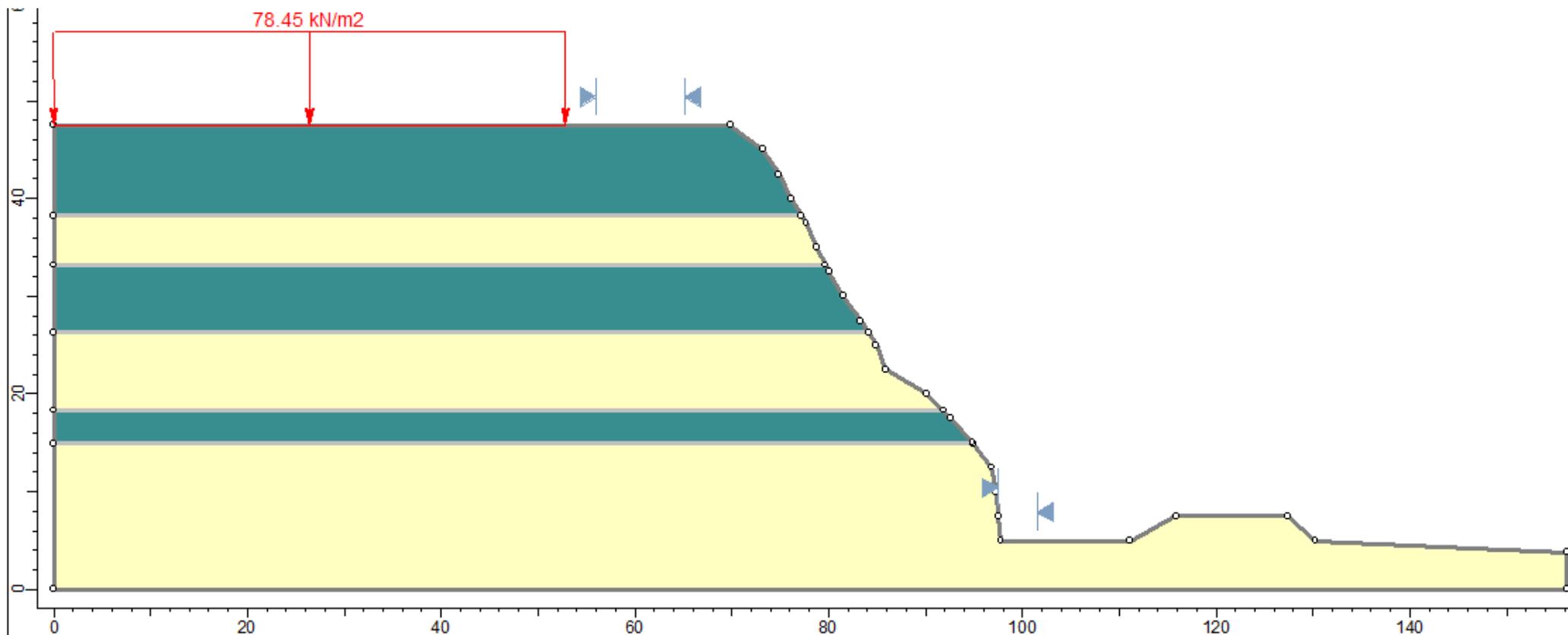
Falla en bloque - caso pseudo estático



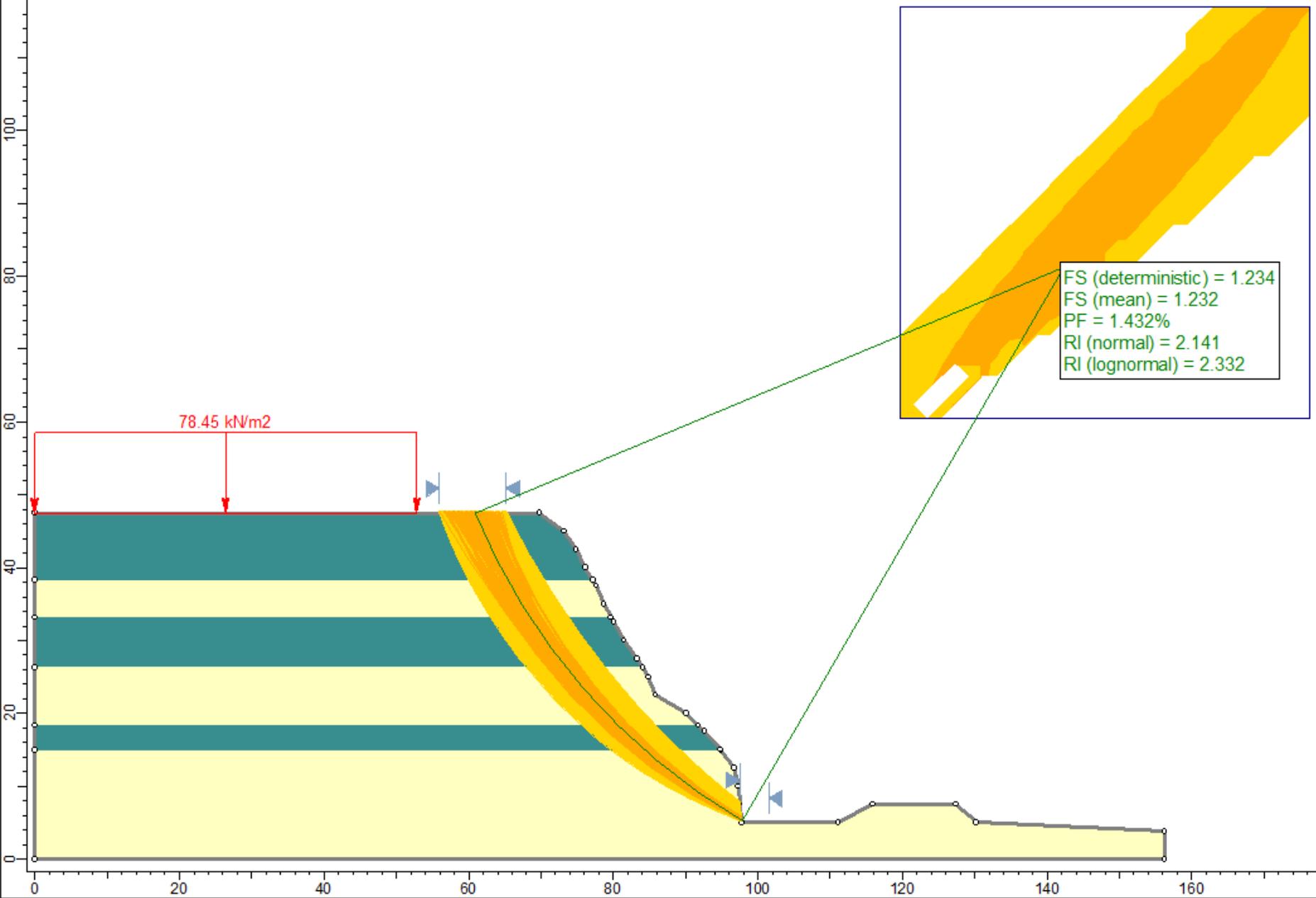
C_2

LEYENDA

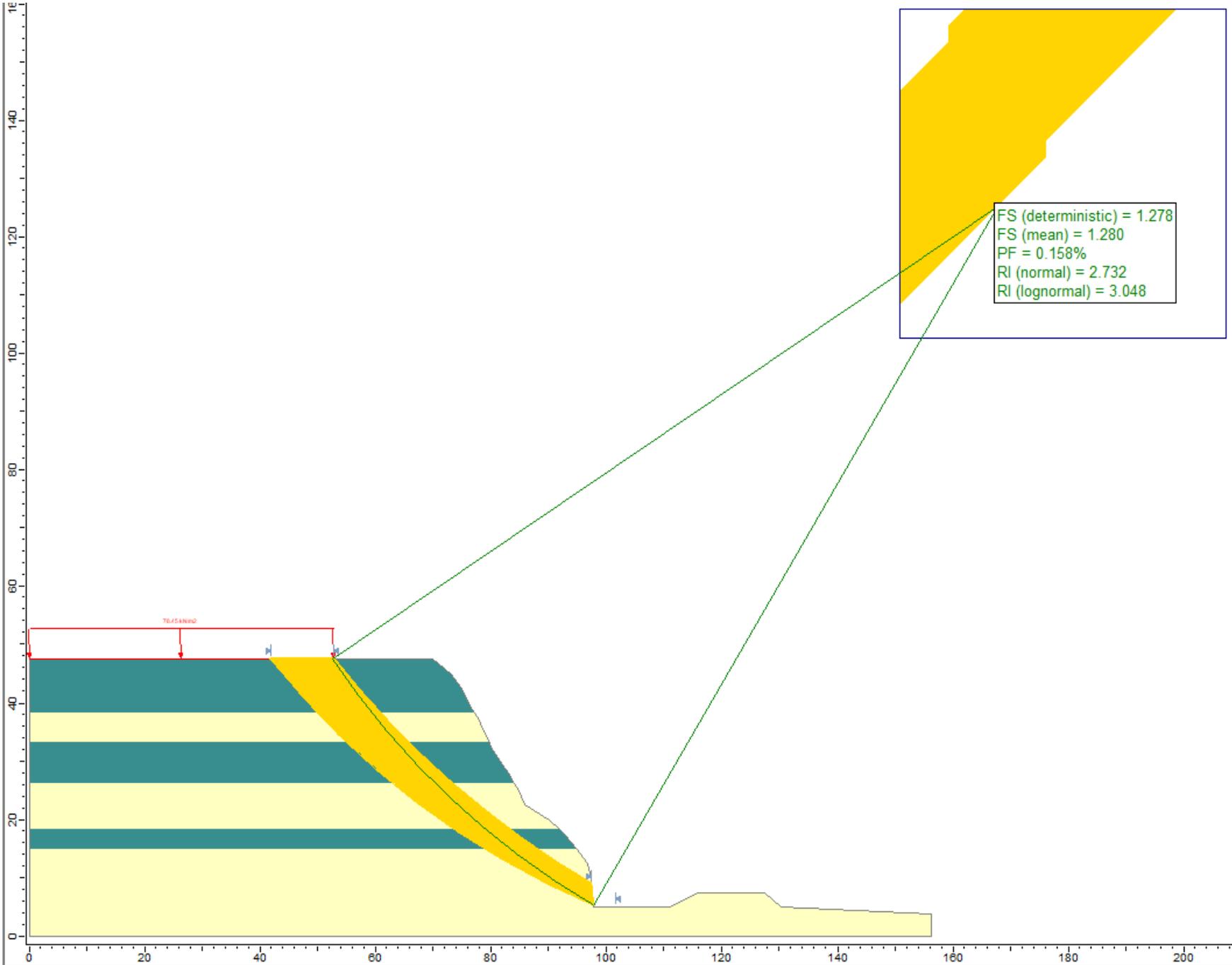
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



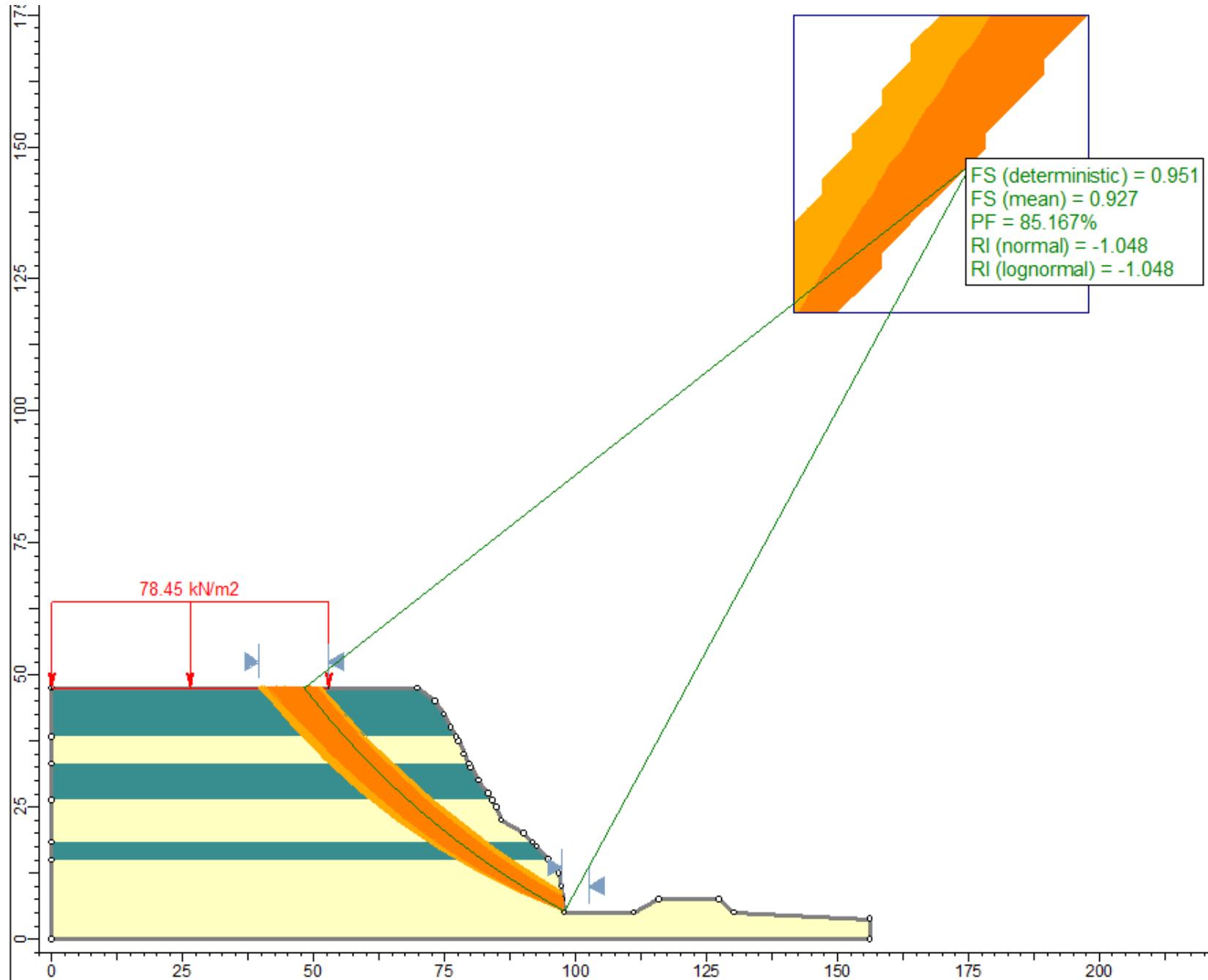
Falla circular - caso estático



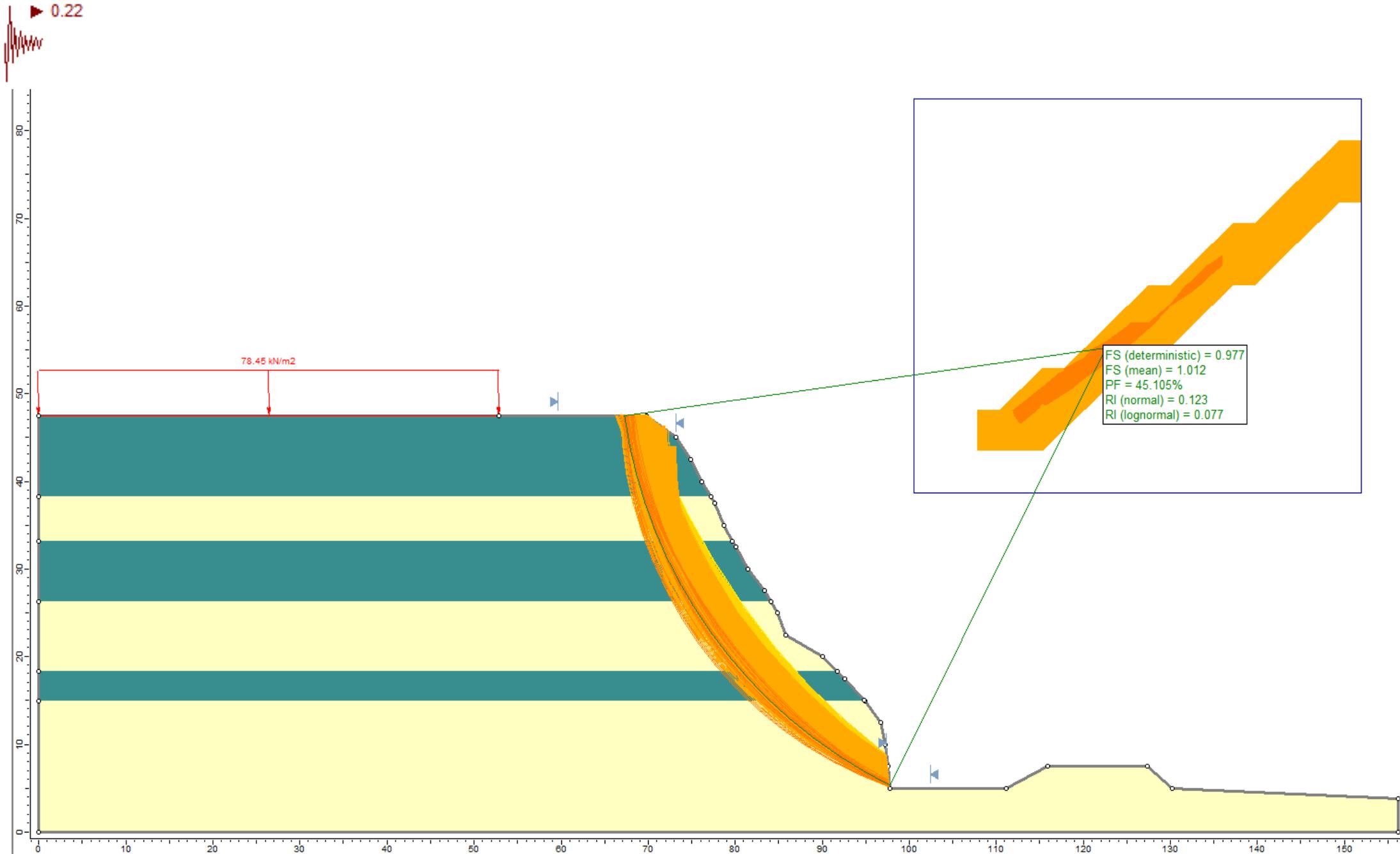
Falla circular - caso estático



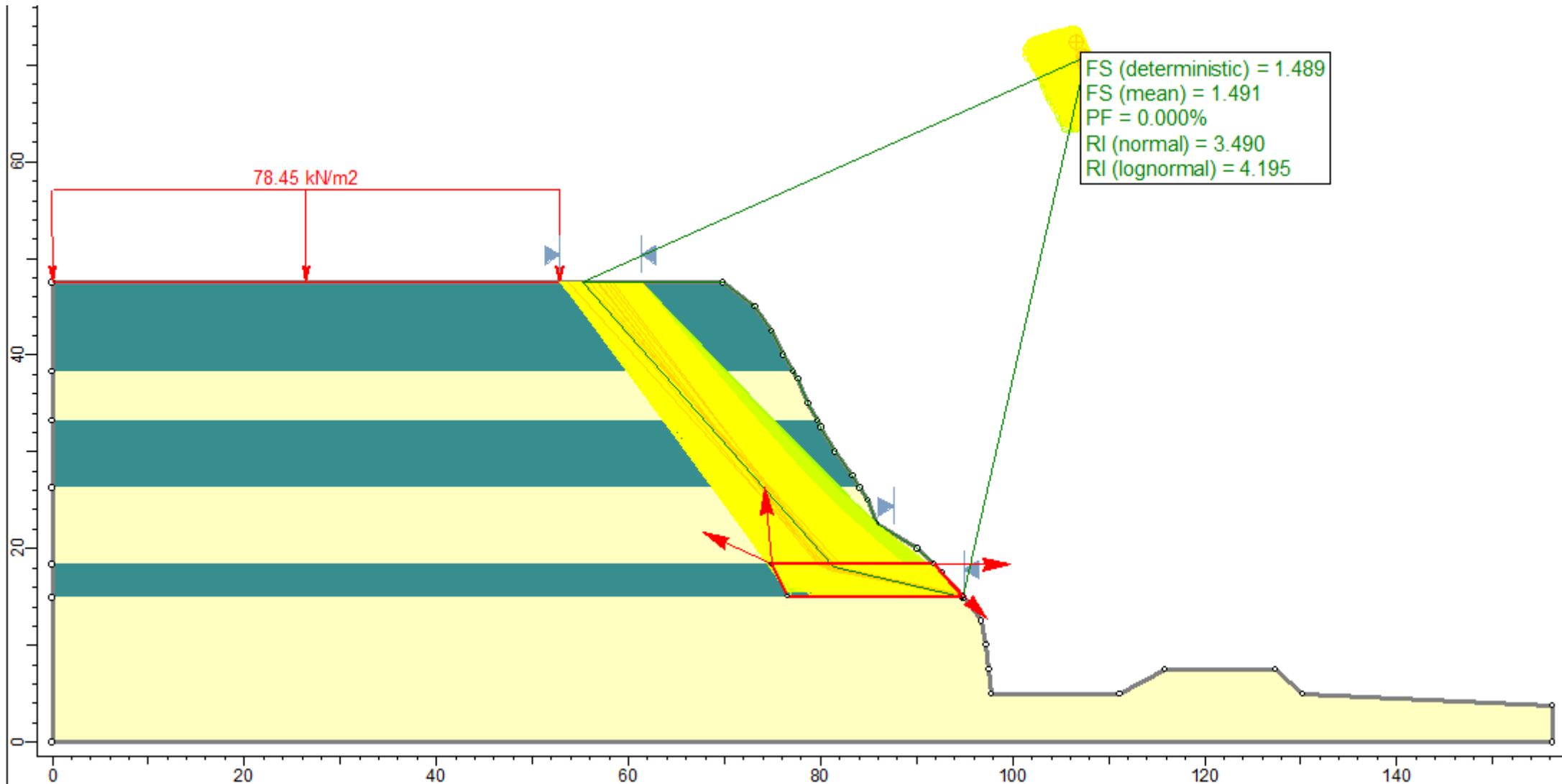
Falla circular - caso pseudo estático



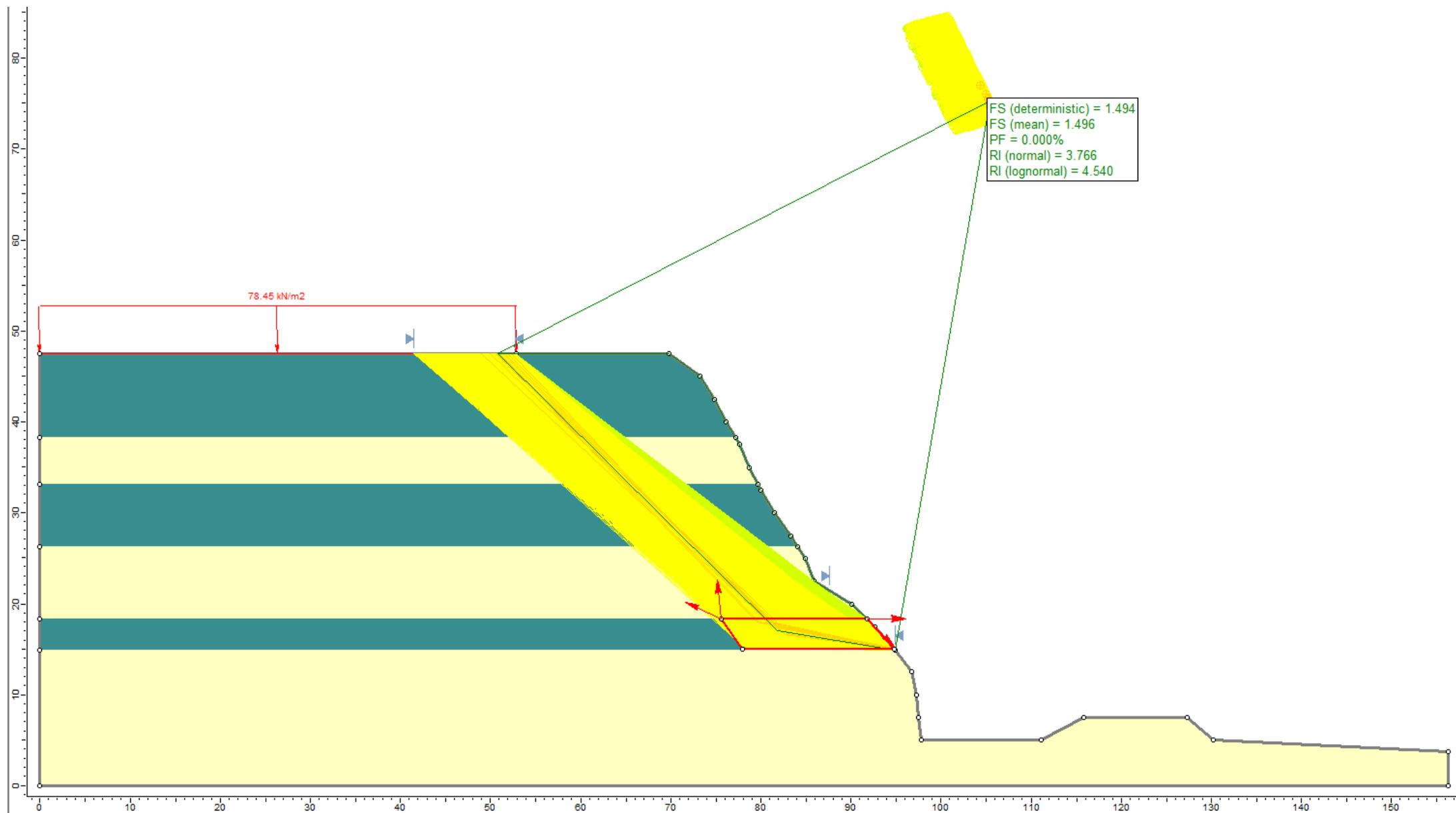
Falla circular - caso pseudo estático



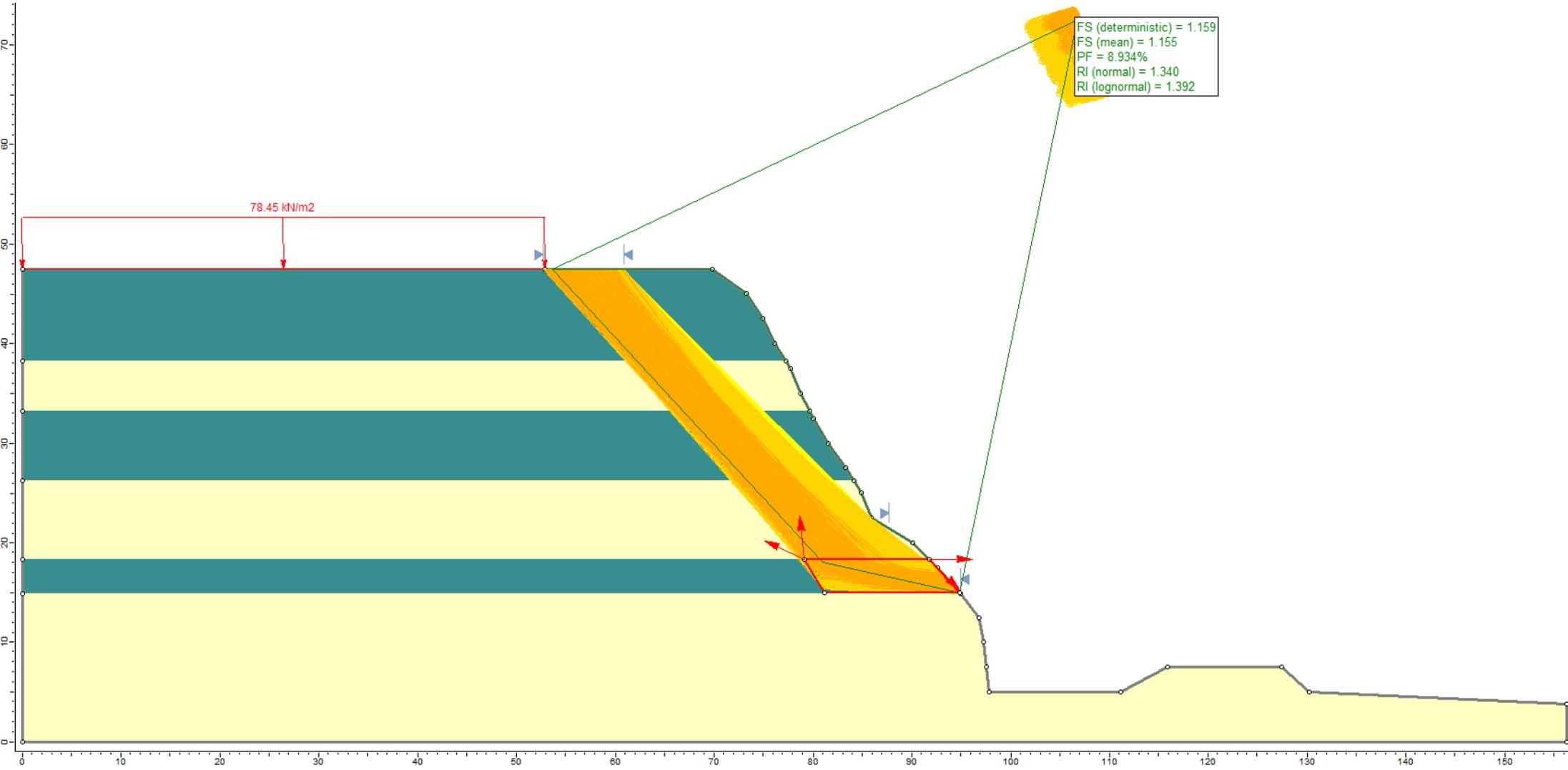
Falla en bloque - caso estático



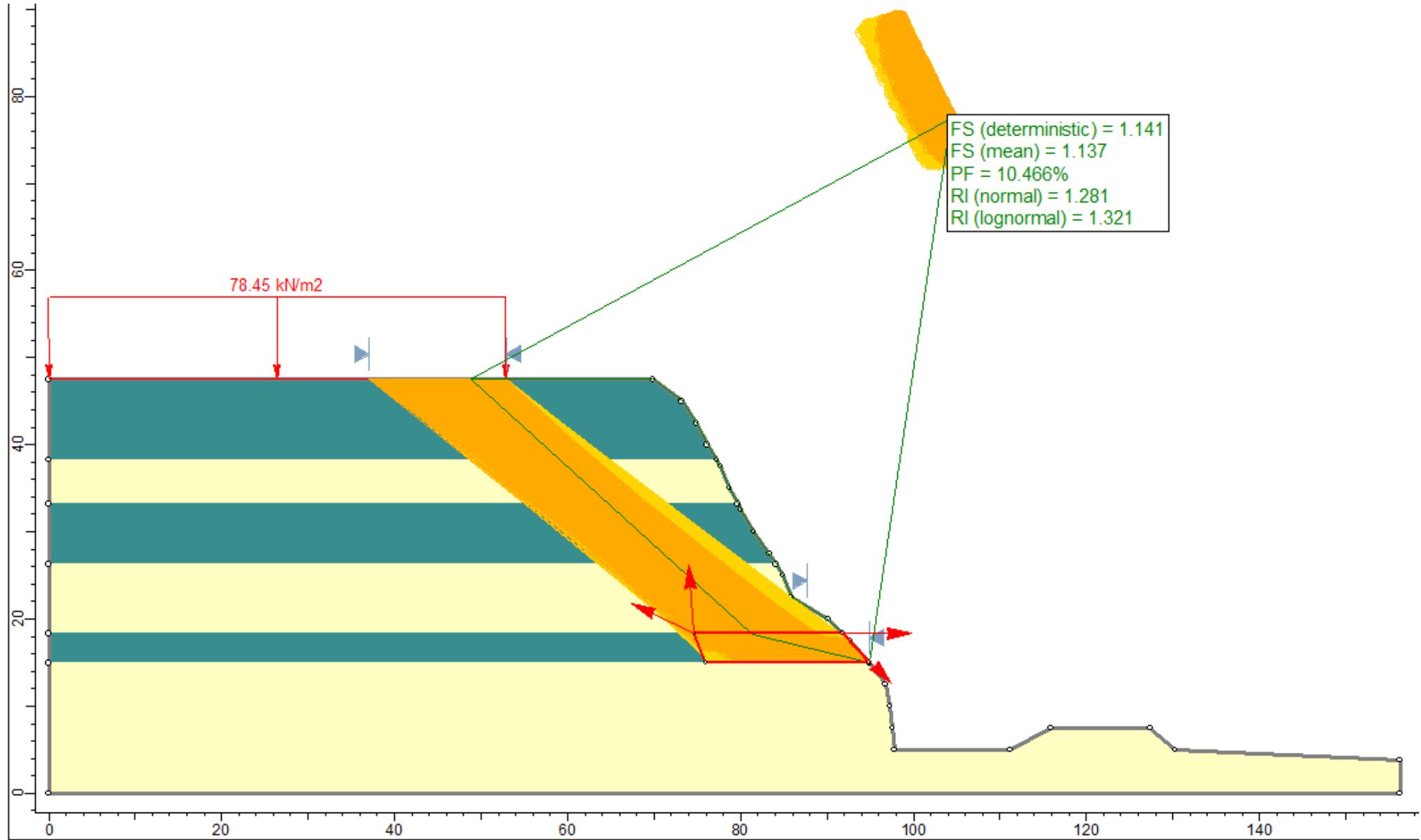
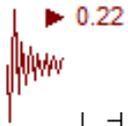
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



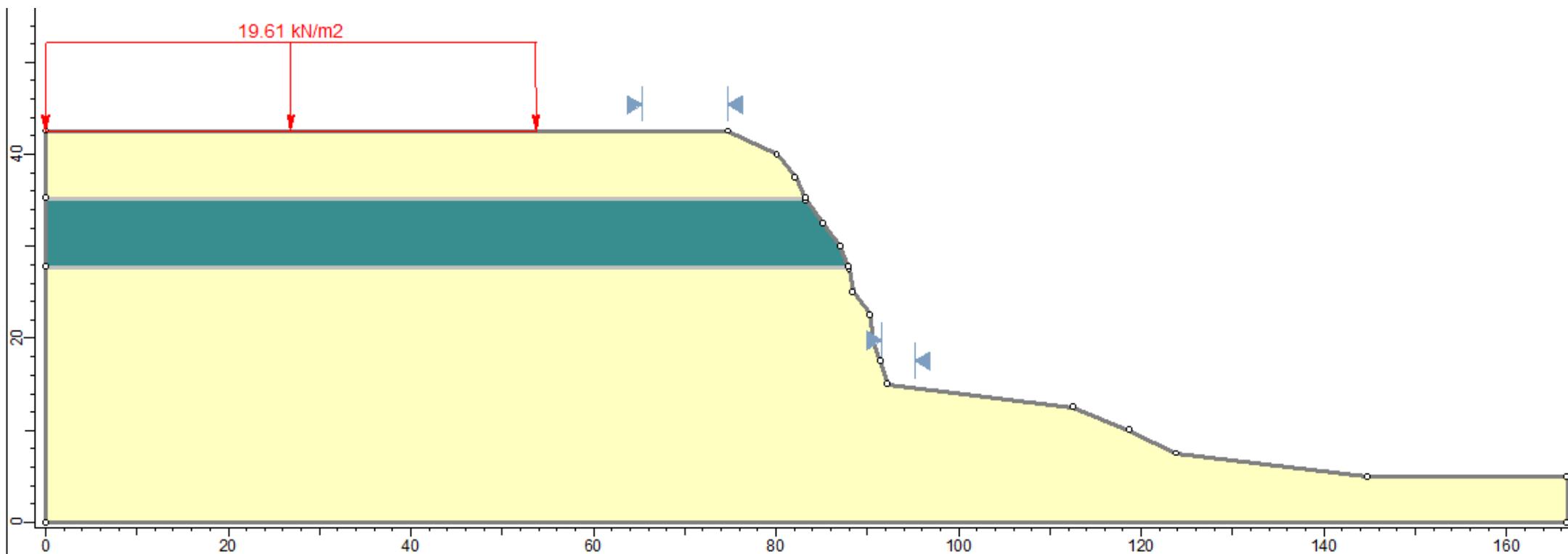
Falla en bloque - caso pseudo estático



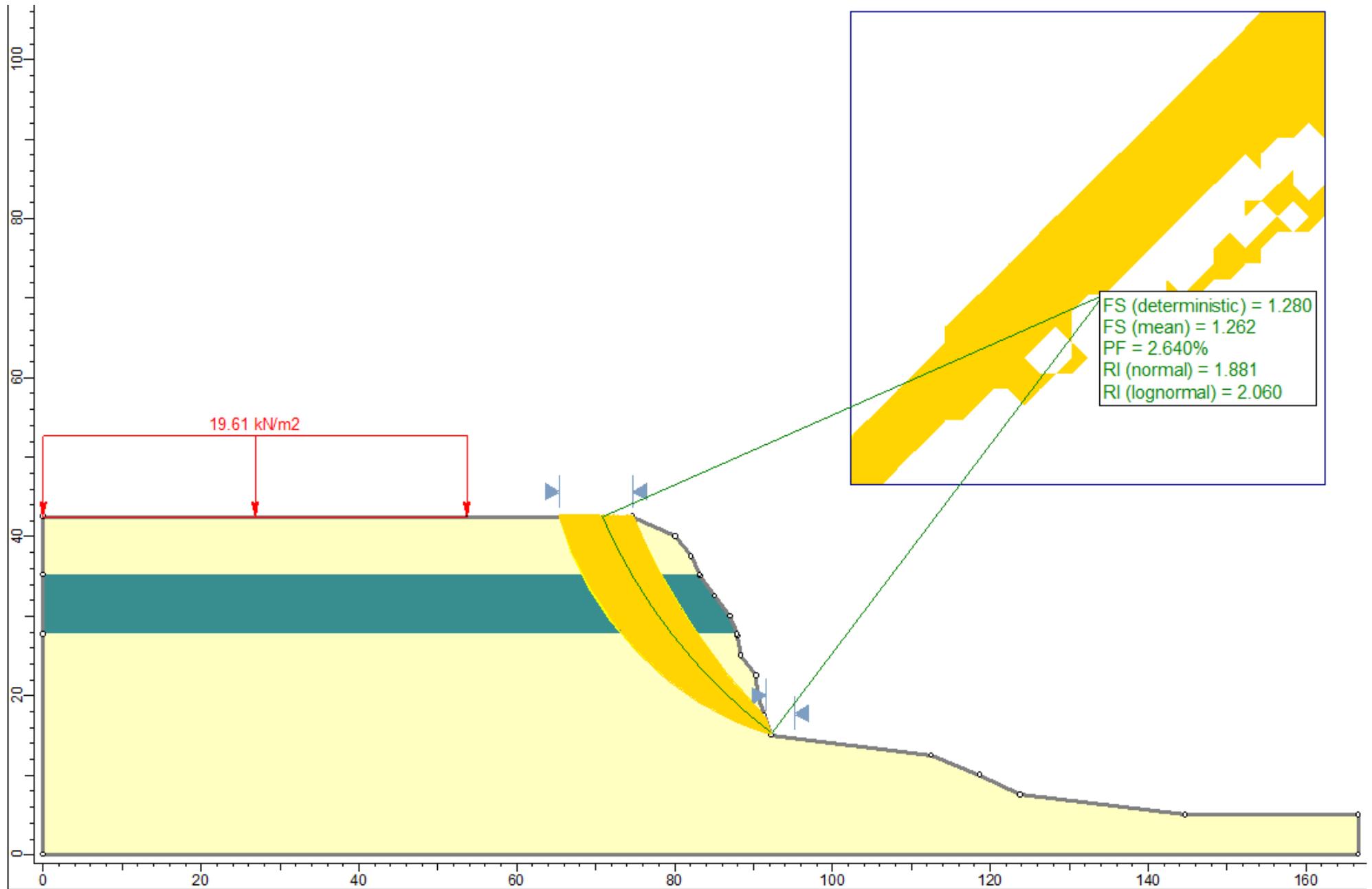
C_3

LEYENDA

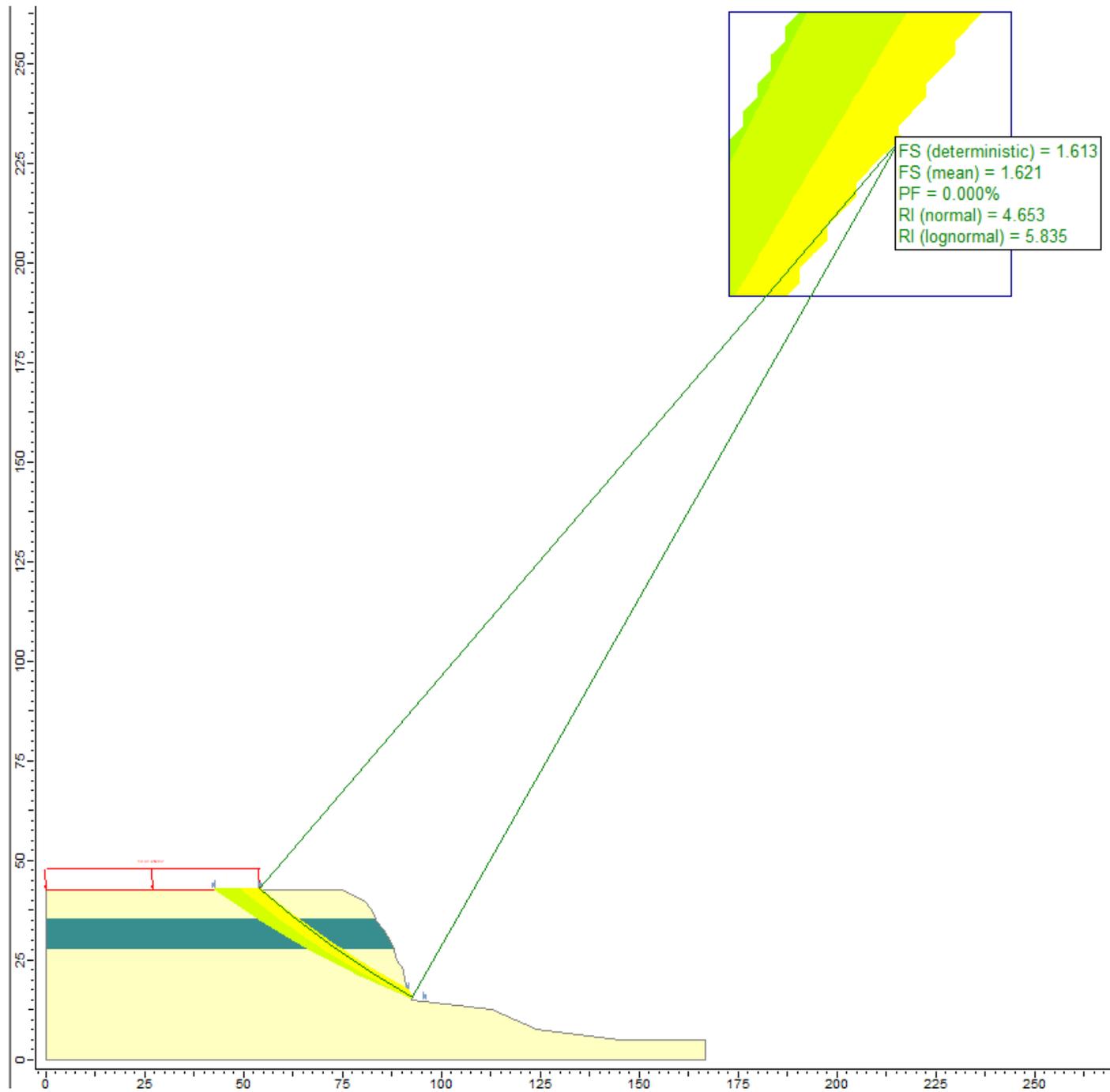
- MATERIAL GRUESO
- MATERIAL FINO



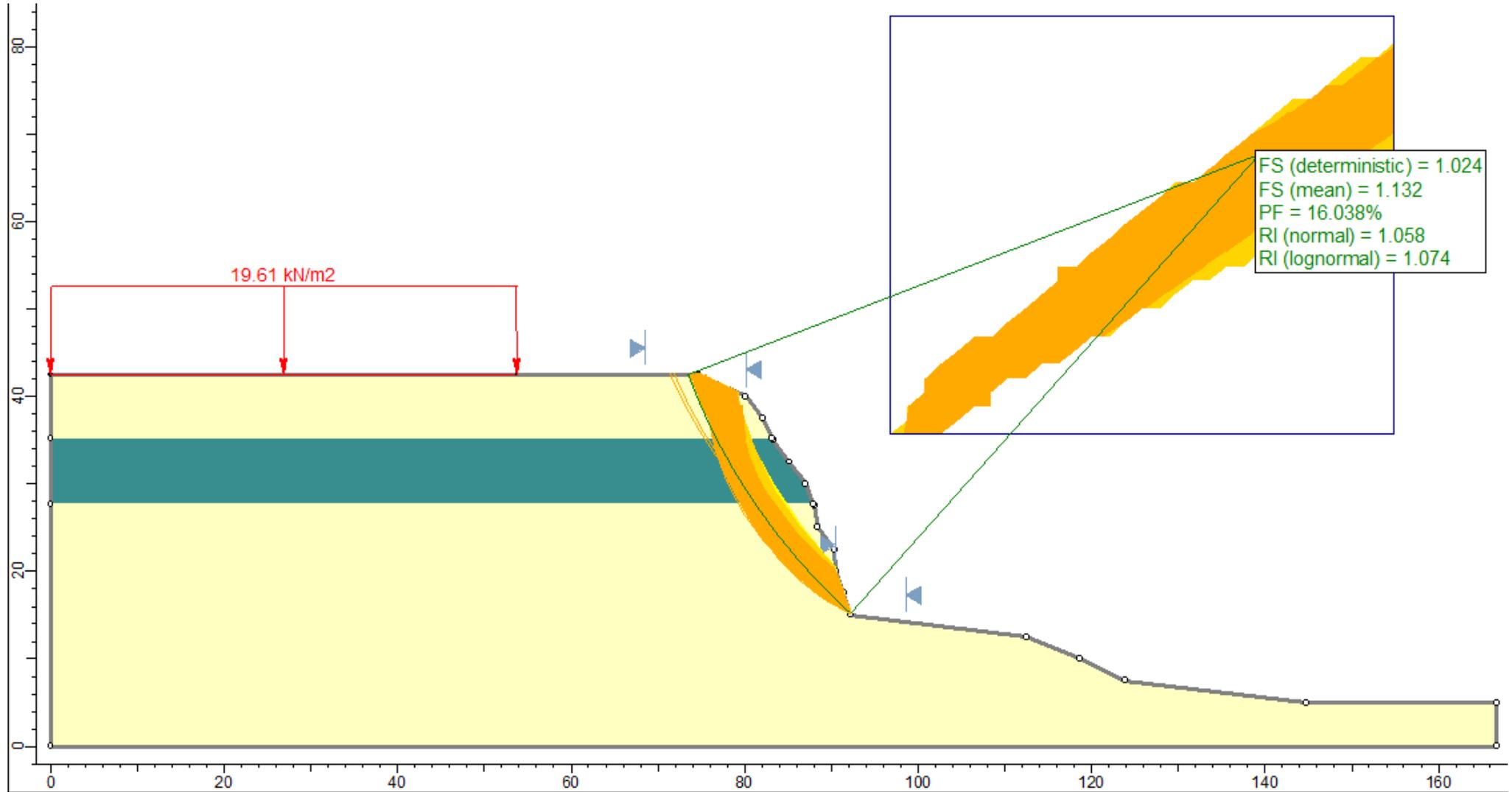
Falla circular - caso estático



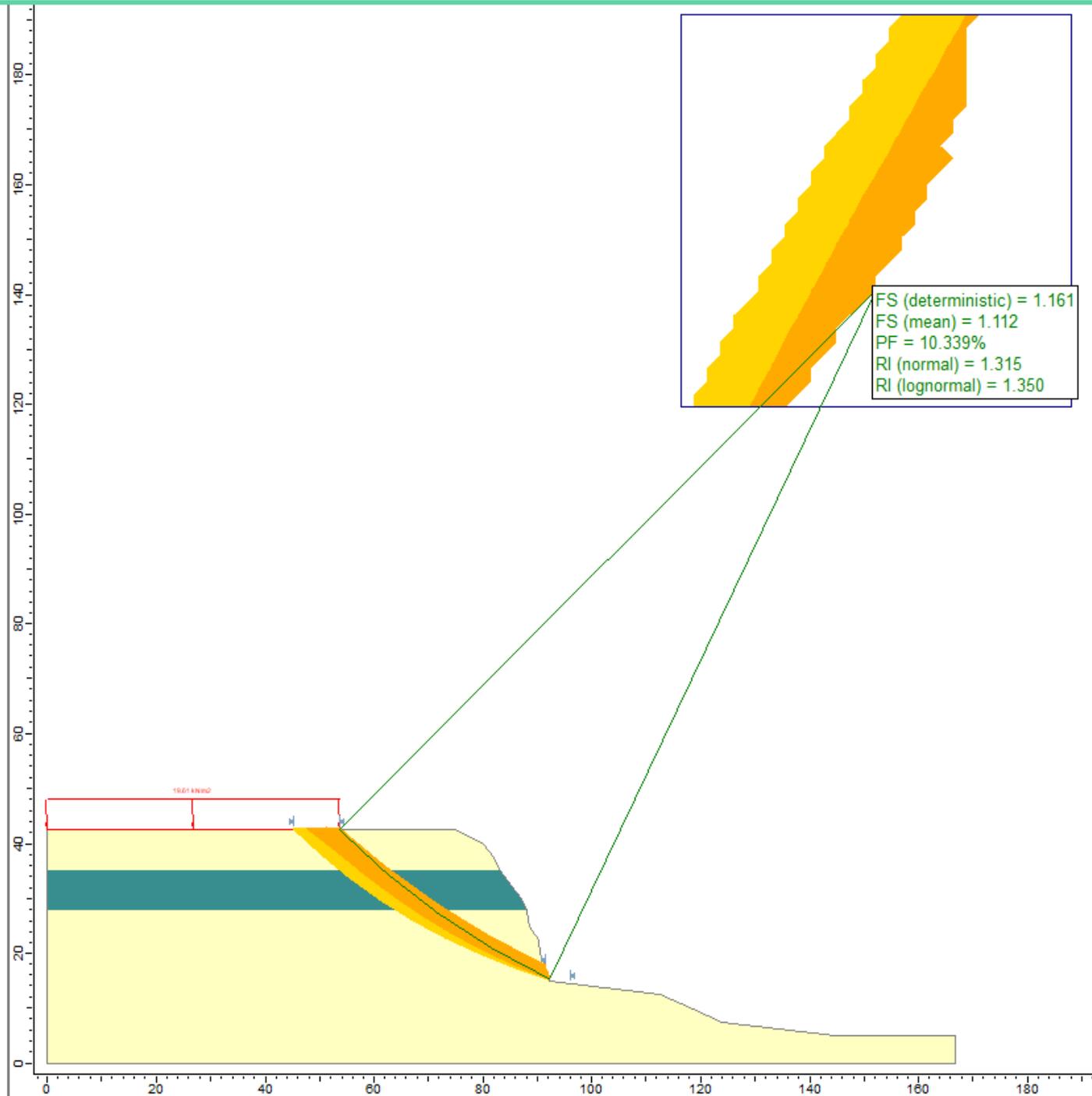
Falla circular - caso estático



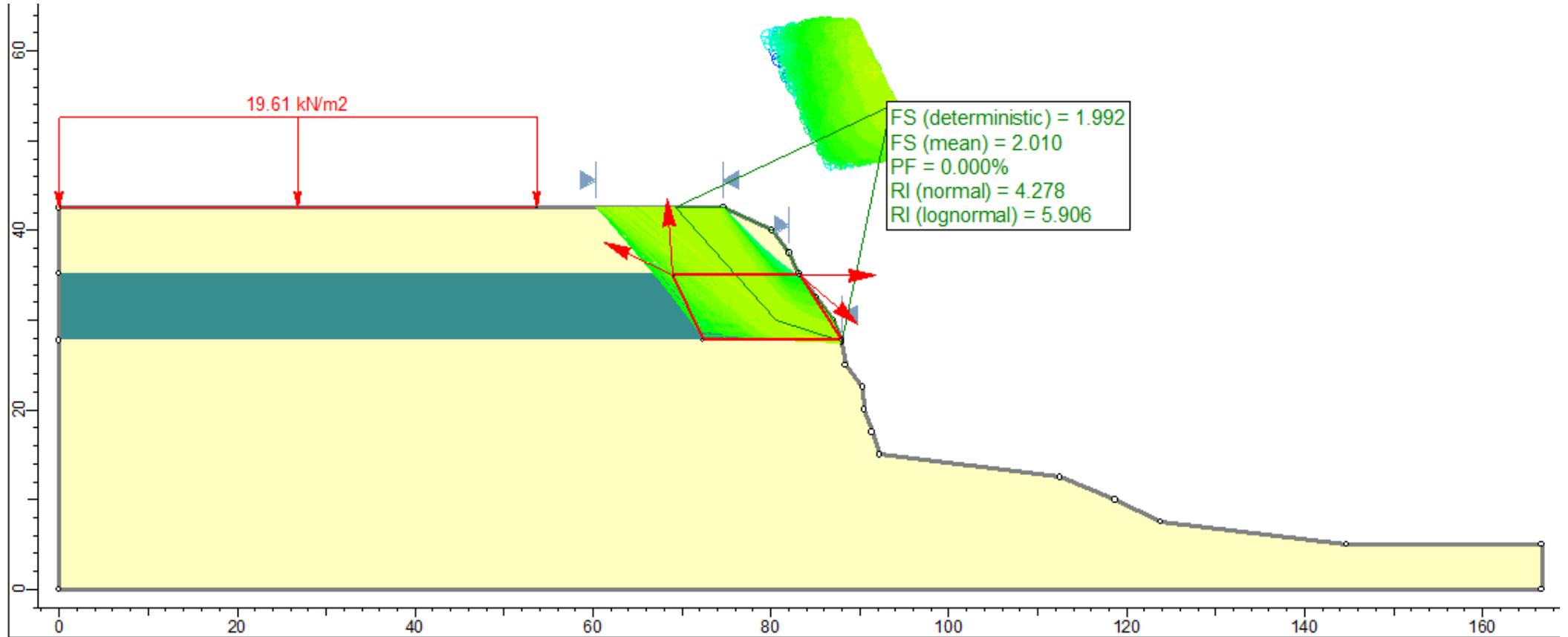
Falla circular - caso pseudo estático



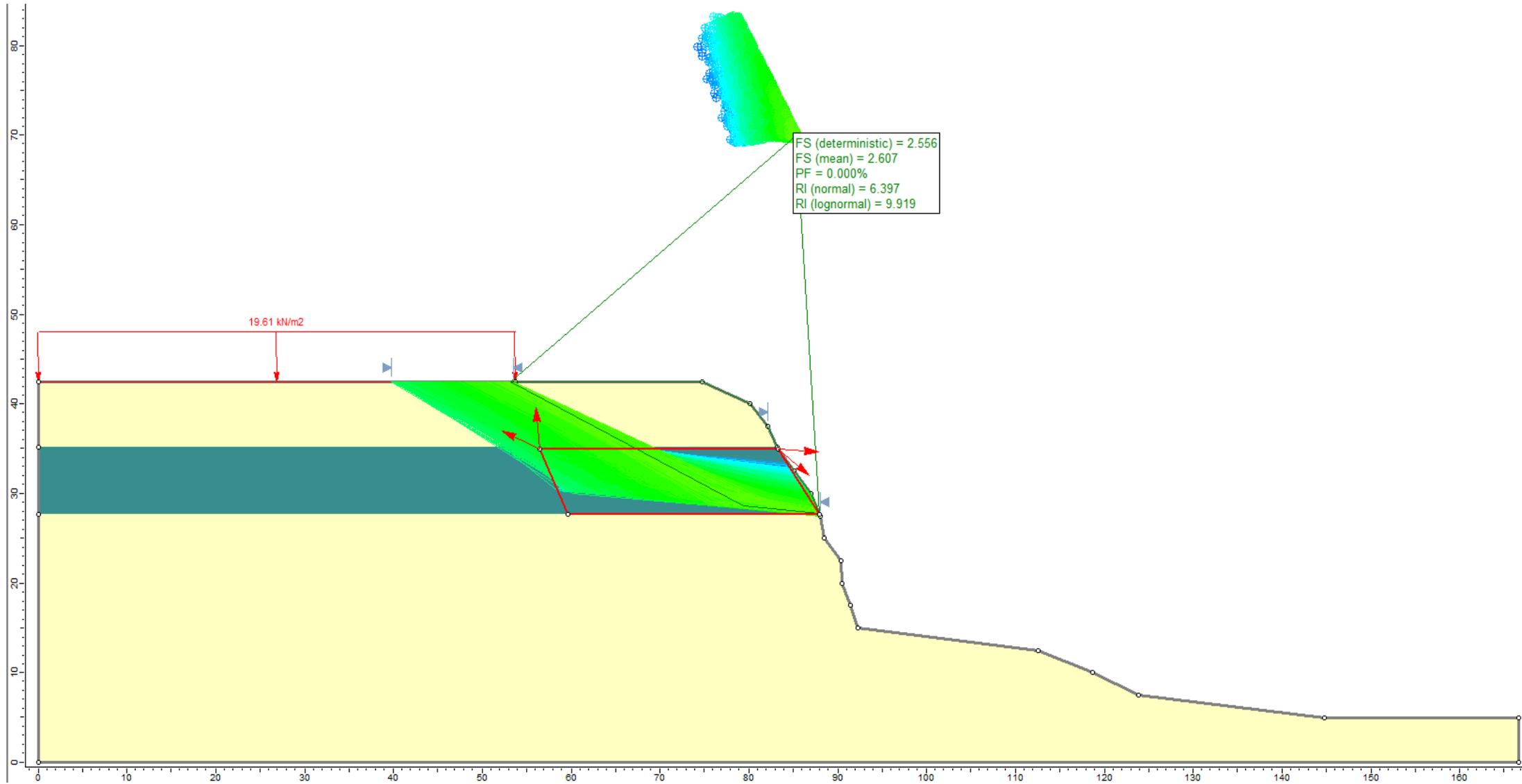
Falla circular - caso pseudo estático



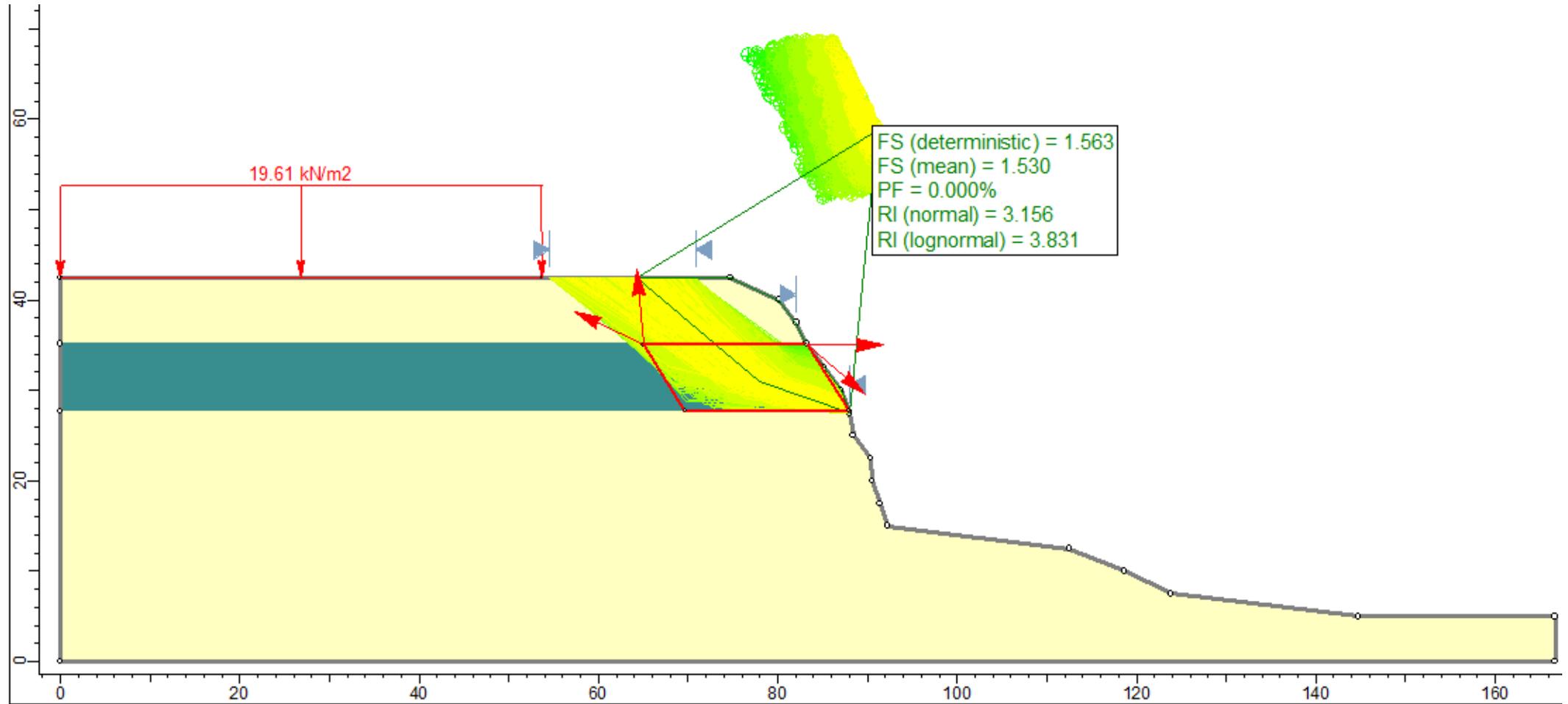
Falla en bloque - caso estático



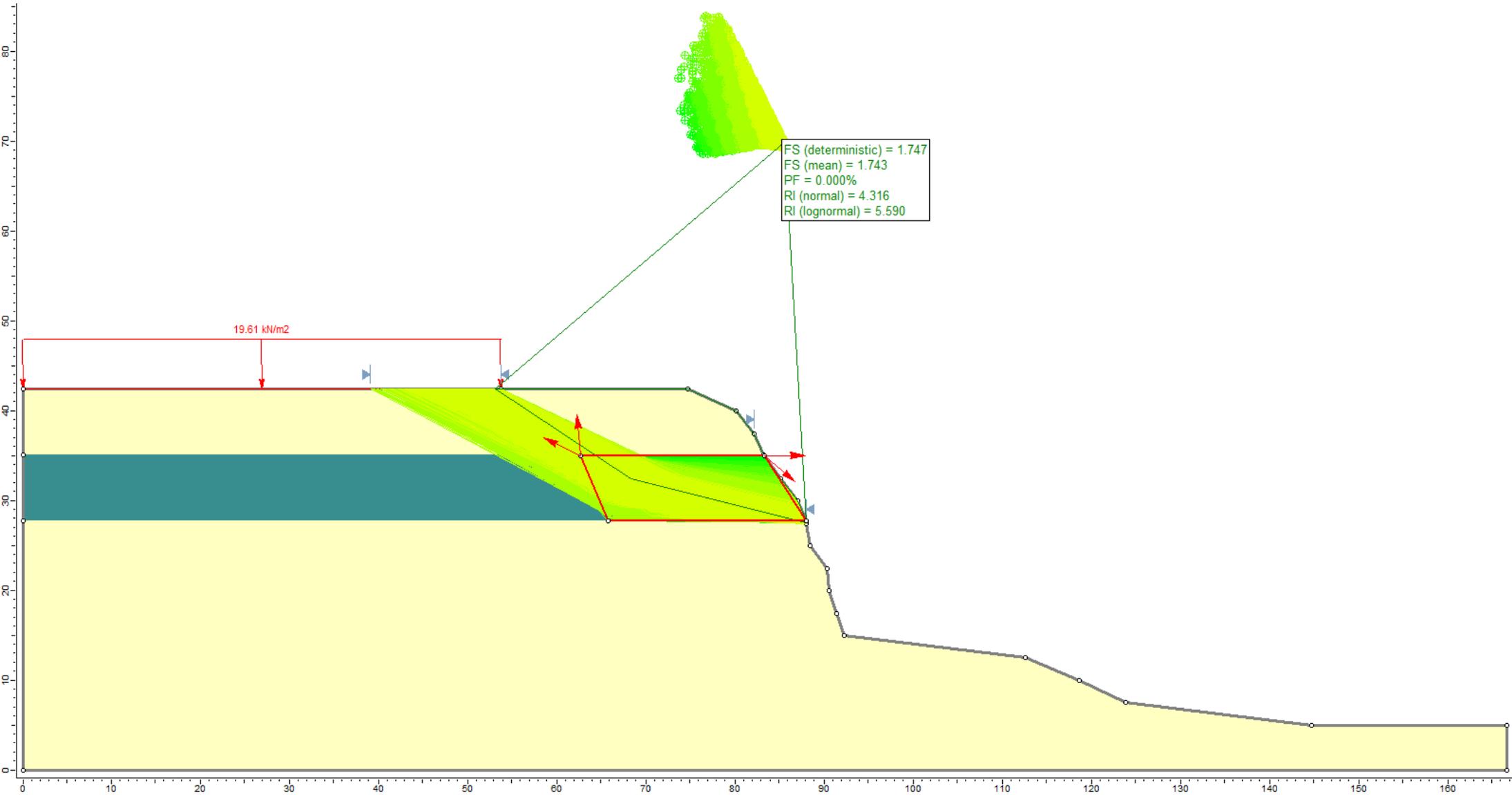
Falla en bloque - caso estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



Falla en bloque - caso pseudo estático



ANEXO F:

SALIDAS DEL PROGRAMA SLIDE - TALUD BANQUETEADO

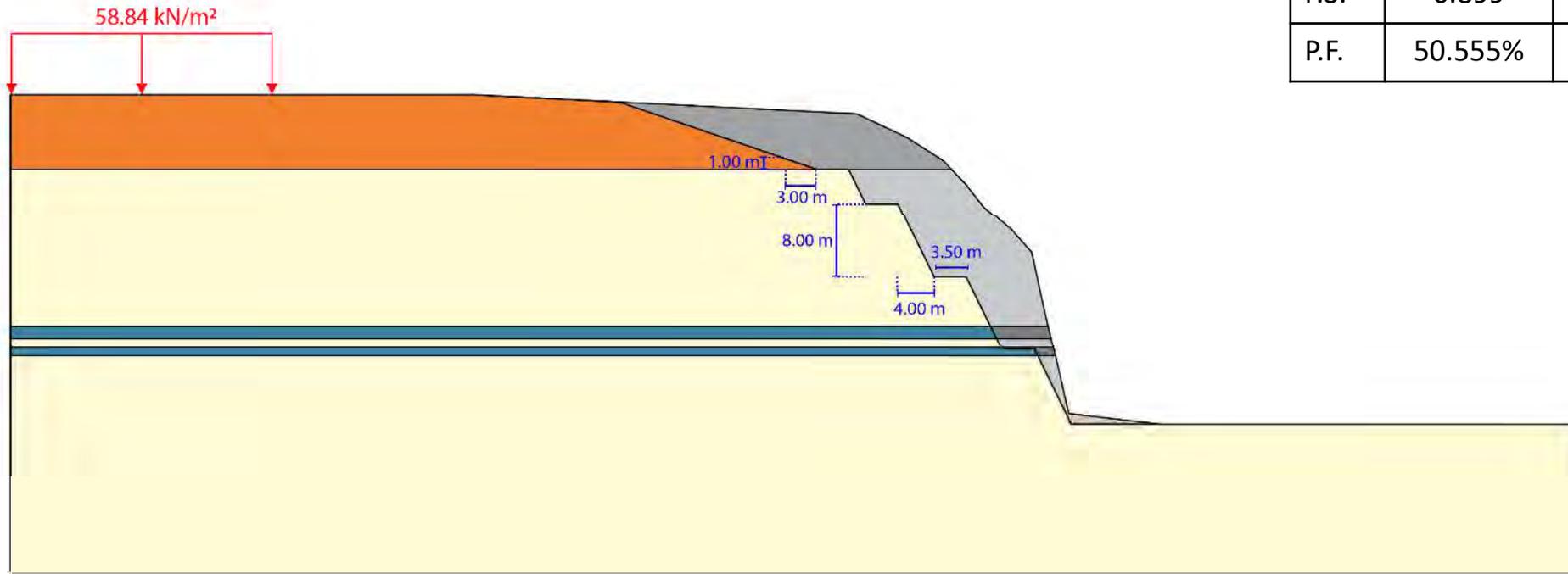
SAN MIGUEL

SM_1

H:V = 0.50 : 1

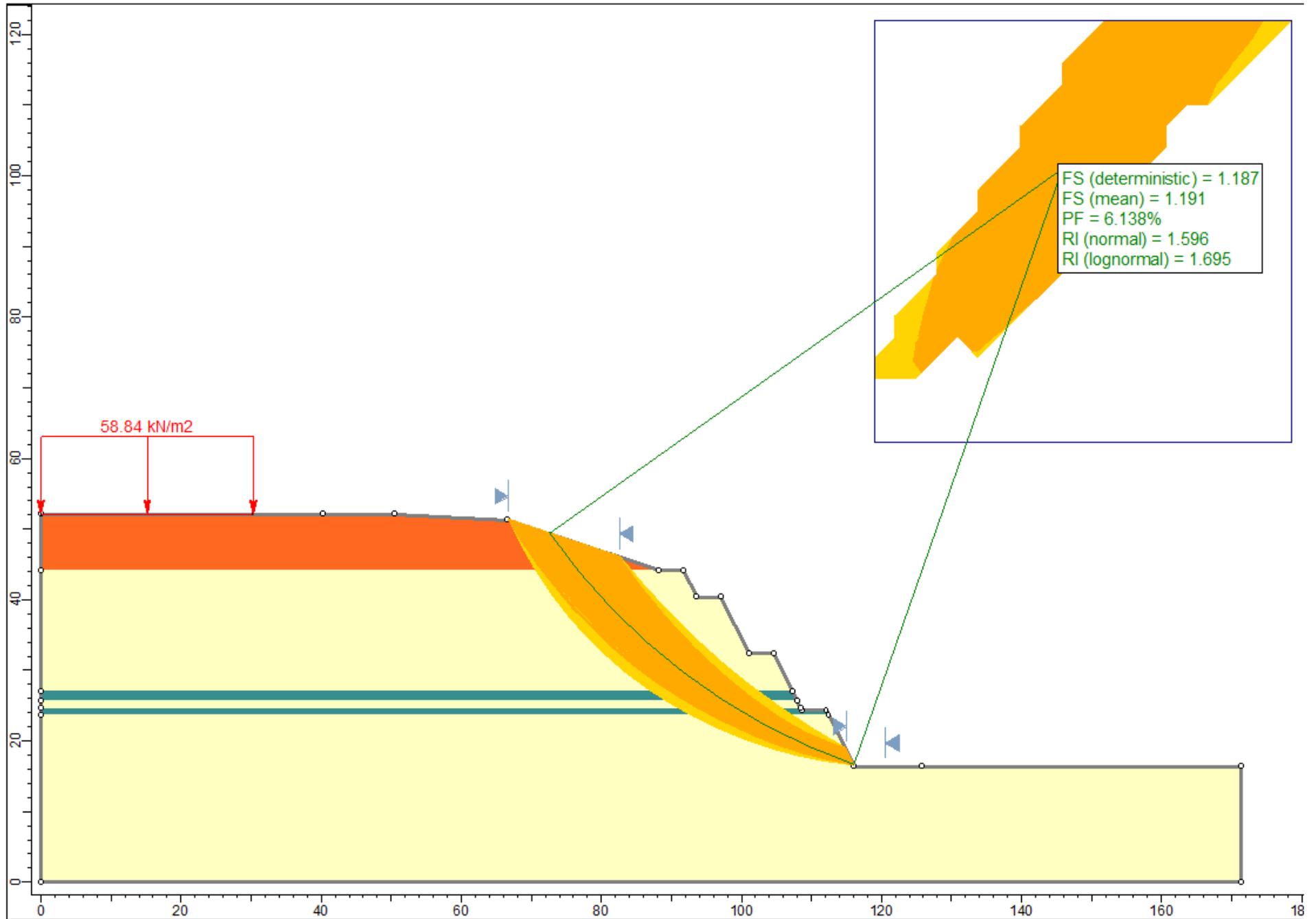
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.899	1.187
P.F.	50.555%	6.138%

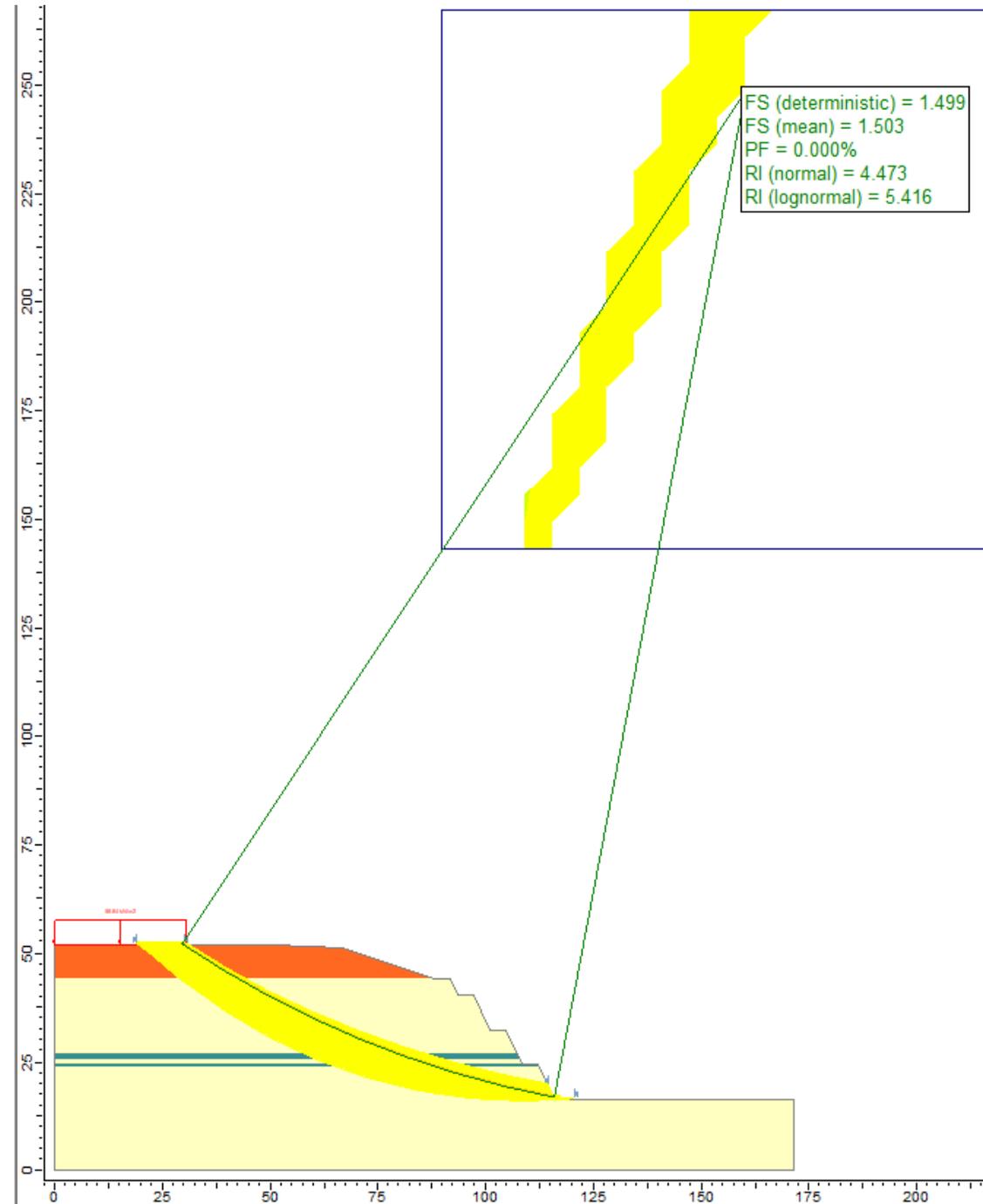


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

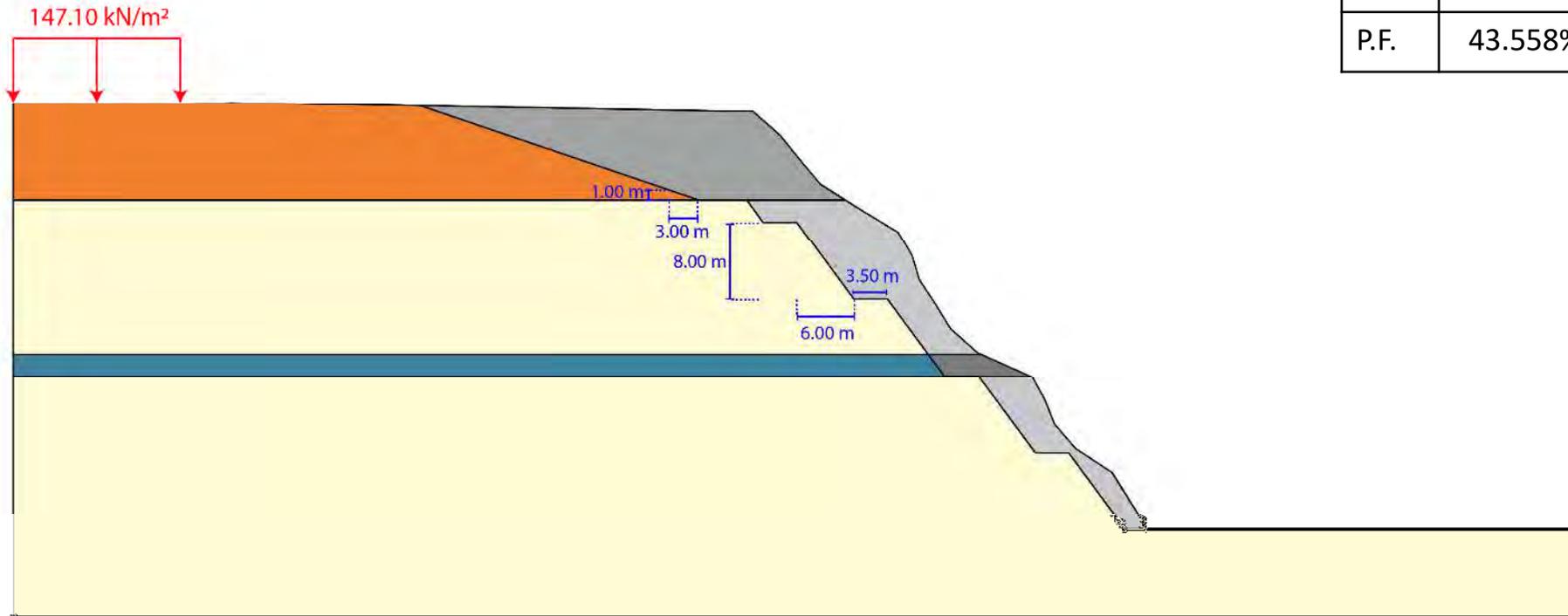


SM_2

H:V = 0.75 : 1

Condiciones pseudo – estáticas:

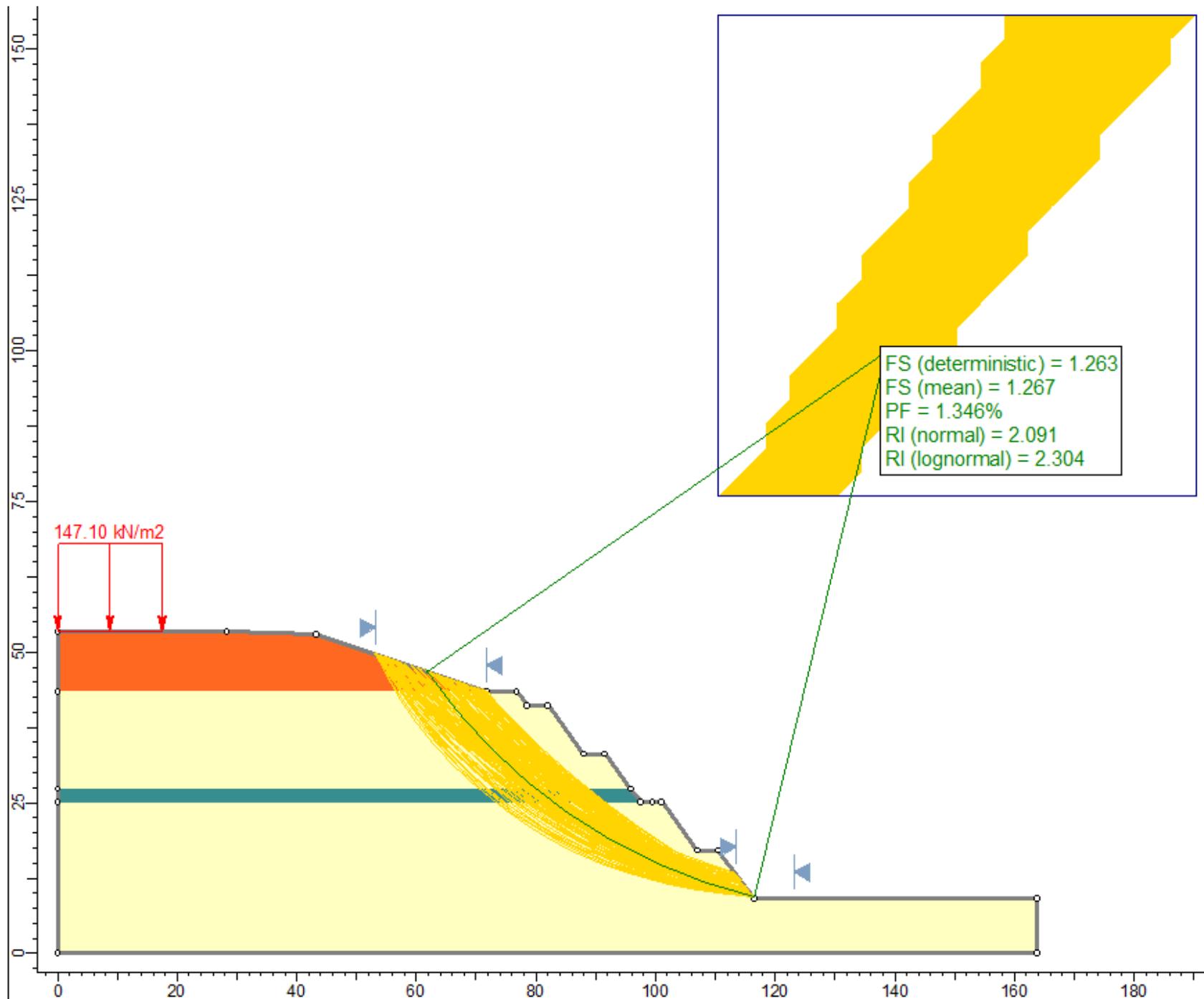
	Real	Banqueteado
F.S.	1.014	1.263
P.F.	43.558%	1.346%



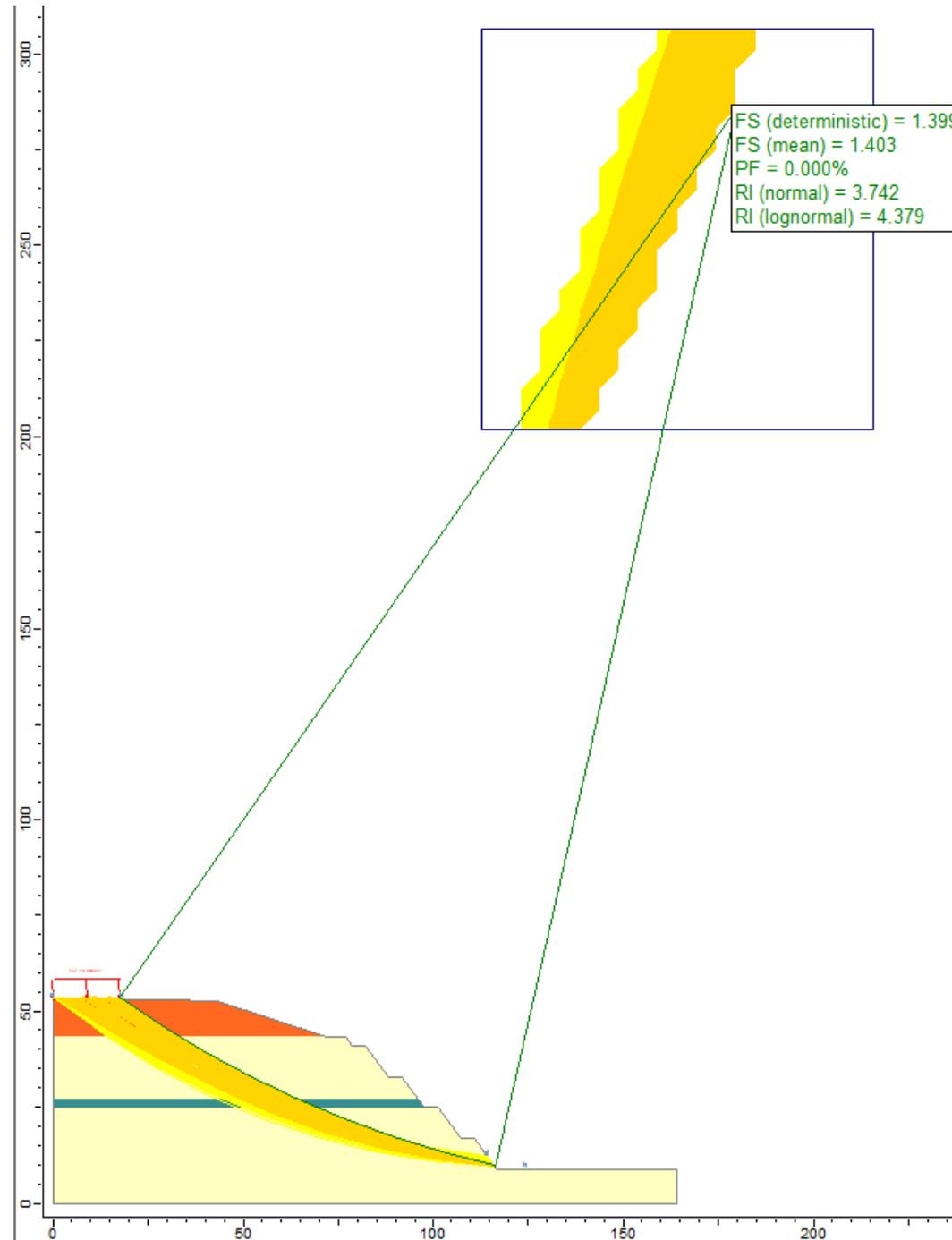
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  RELLENO NO CONTROLADO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



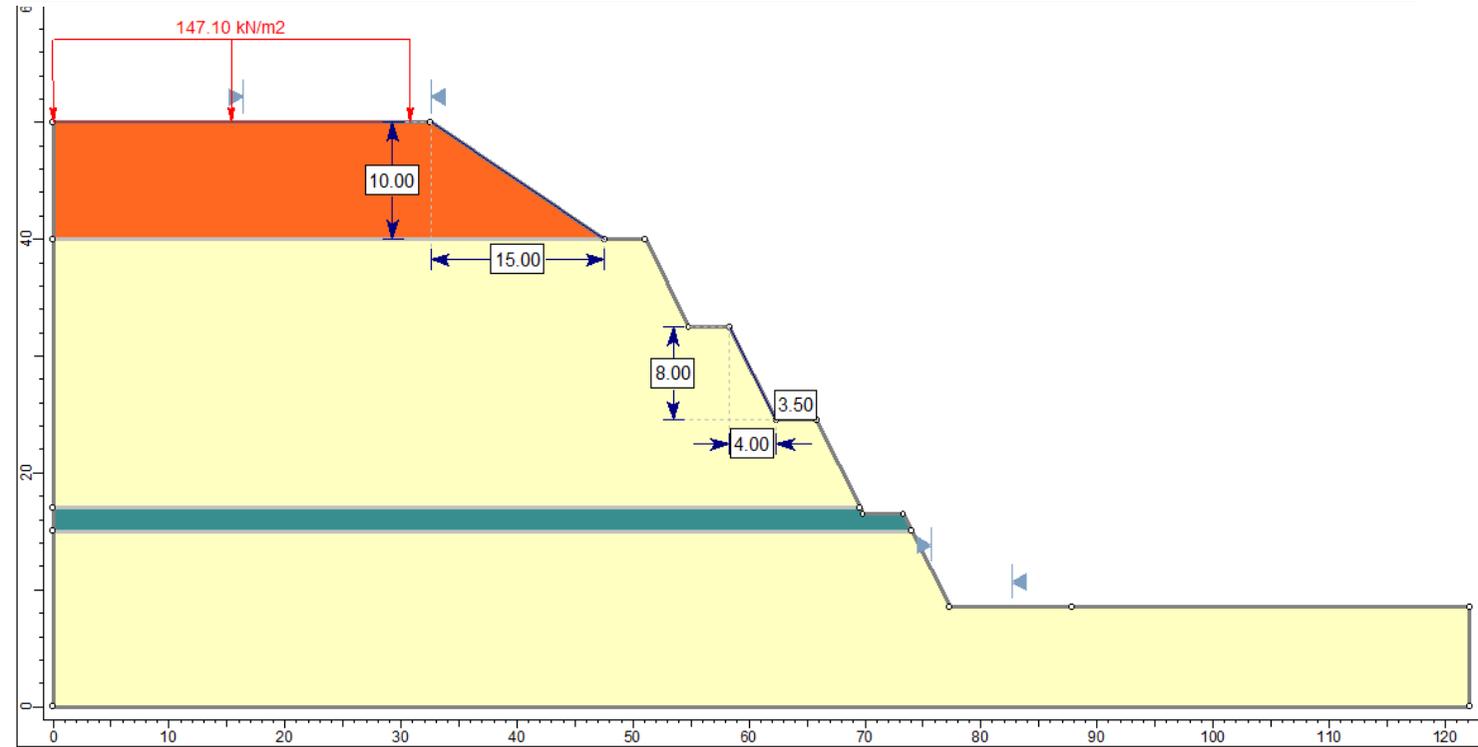
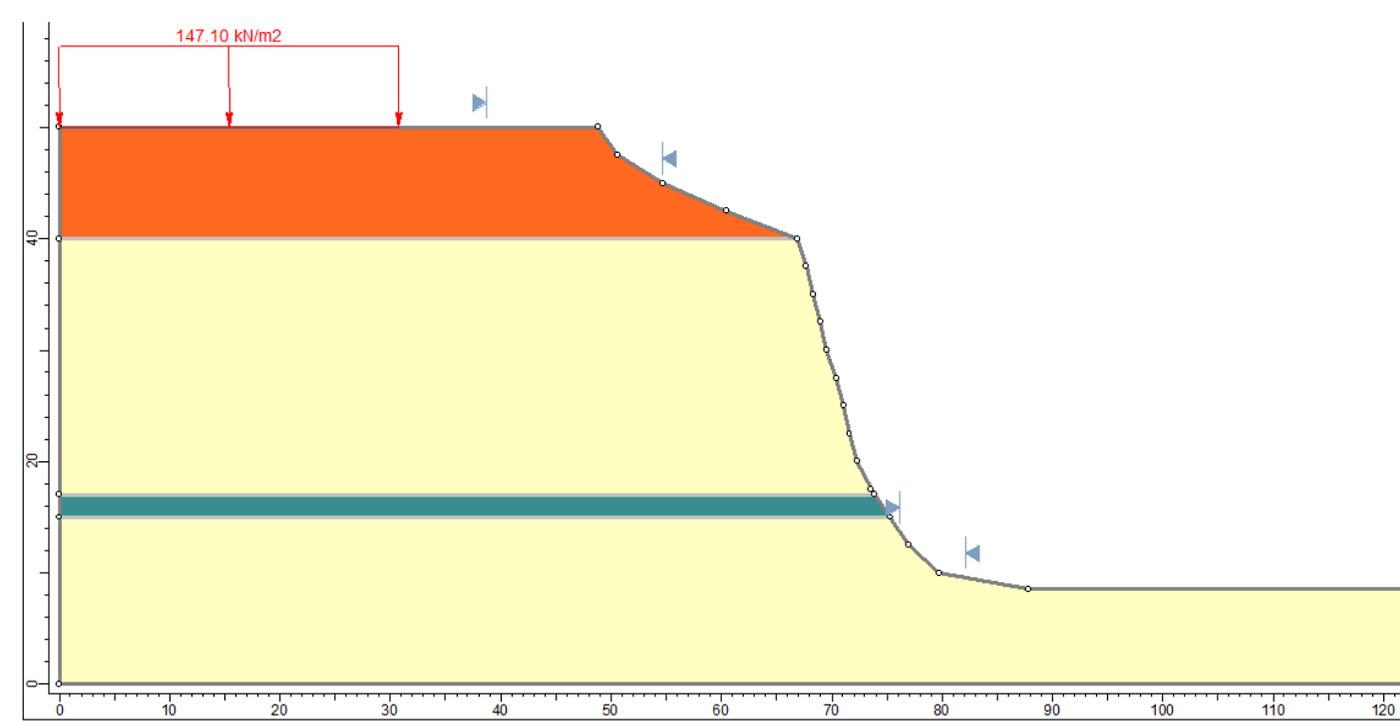
Falla circular - caso pseudo estático



SM_3

Condiciones pseudo – estáticas:

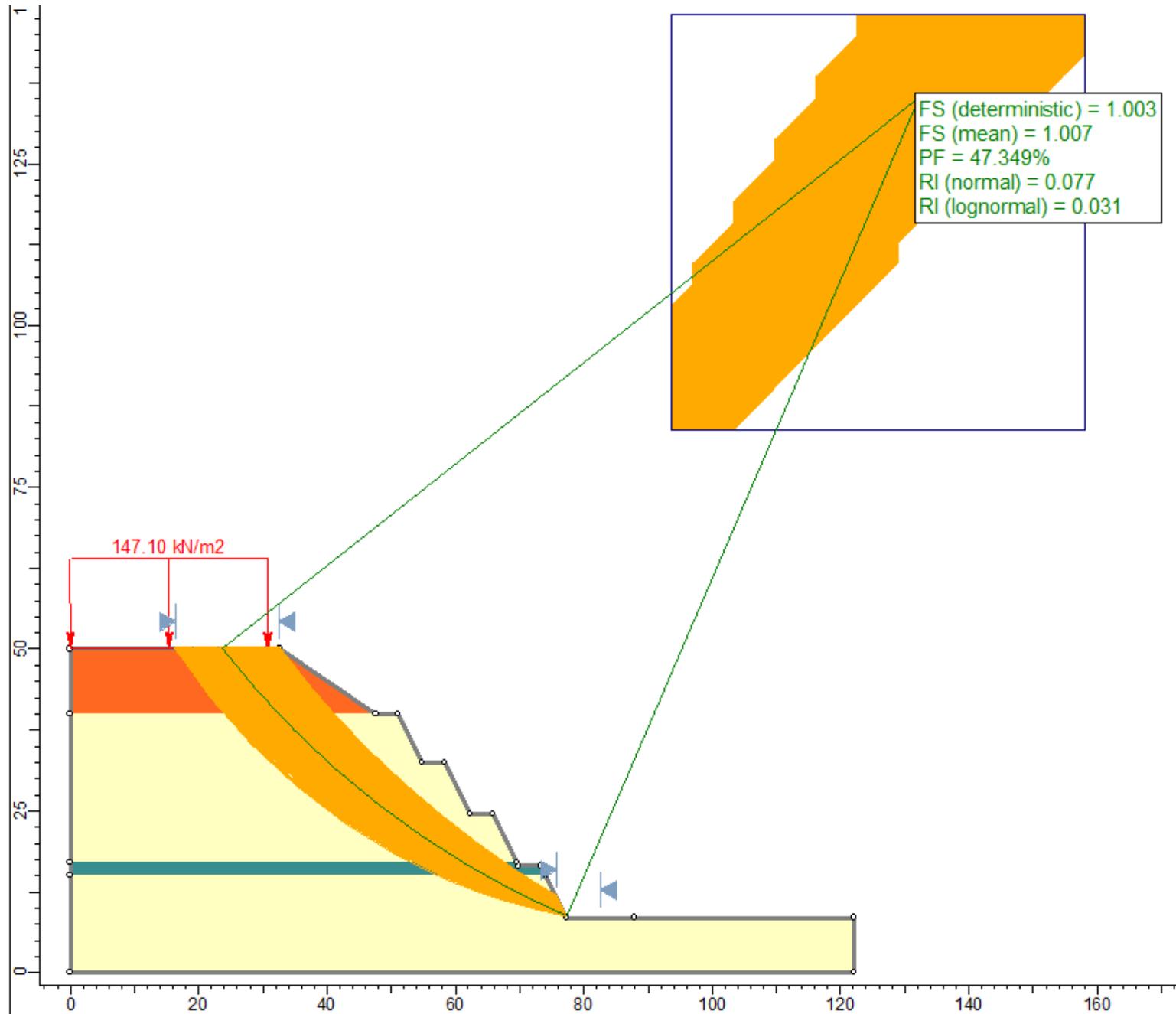
	Real	Banqueteado
F.S.	0.825	1.003
P.F.	99.328%	47.349%



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

*No hay suficiente espacio para banquetear.

Falla circular - caso pseudo estático



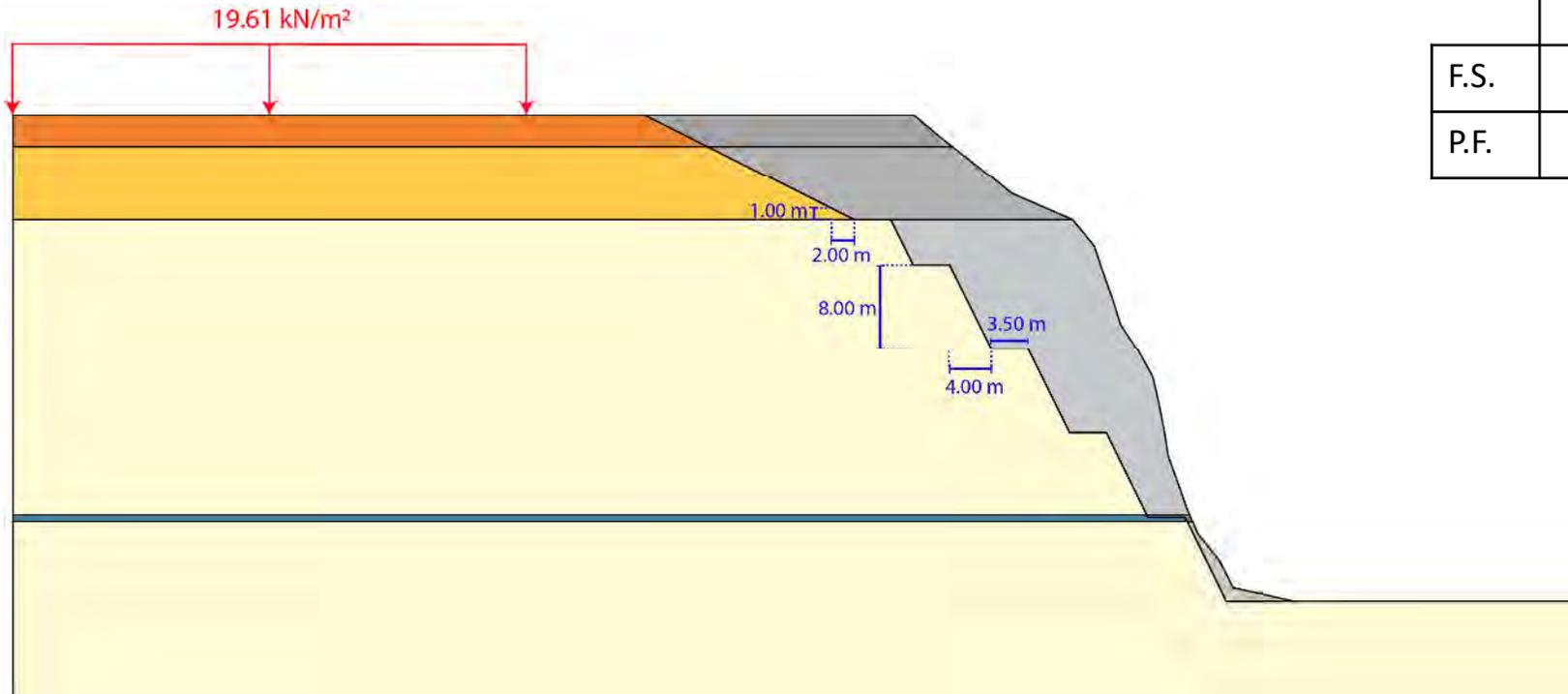
*No hay suficiente espacio para banquetear.

MAGDALENA

M_1

H:V = 0.50:1

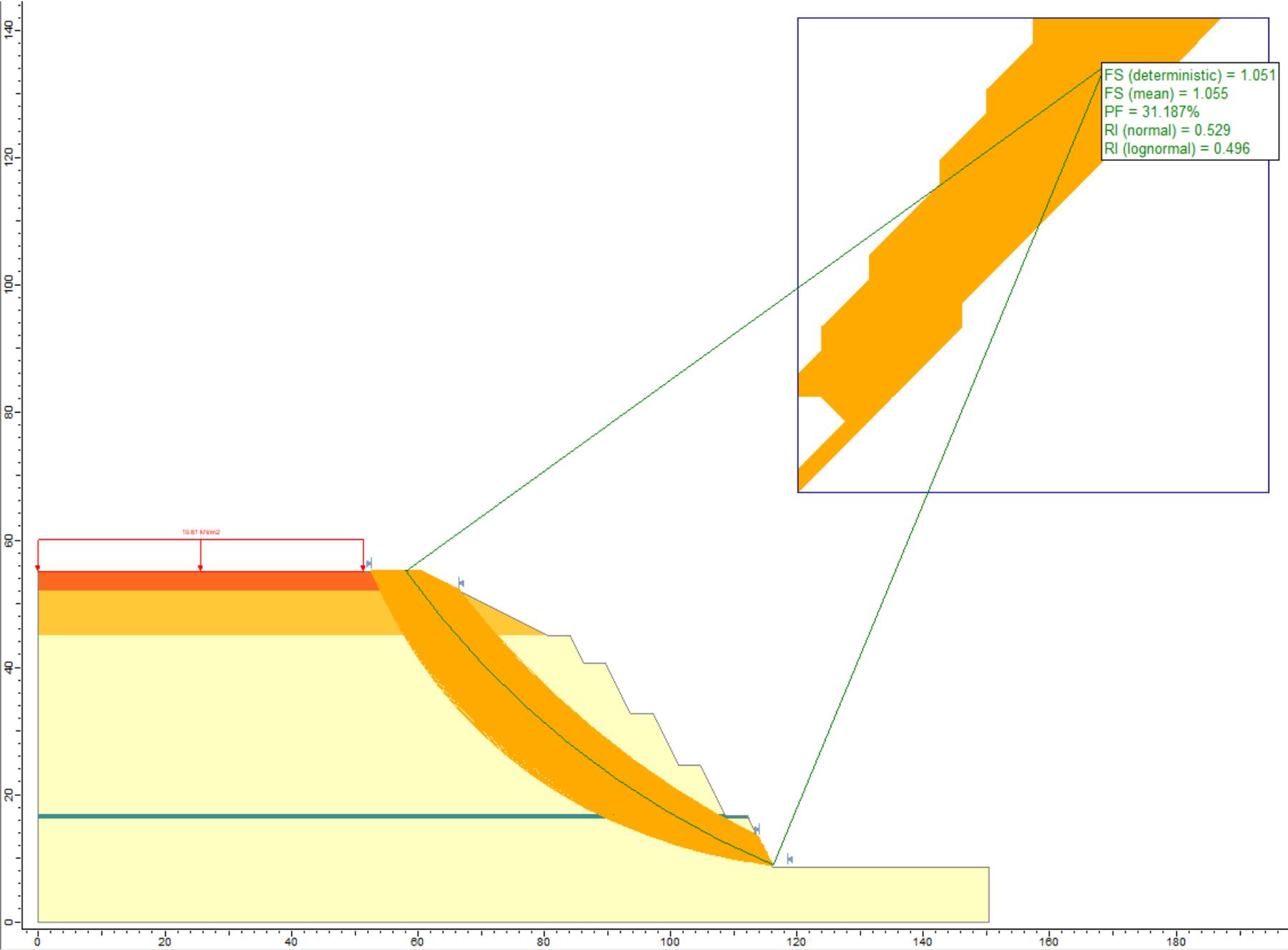
Condiciones pseudo – estáticas:



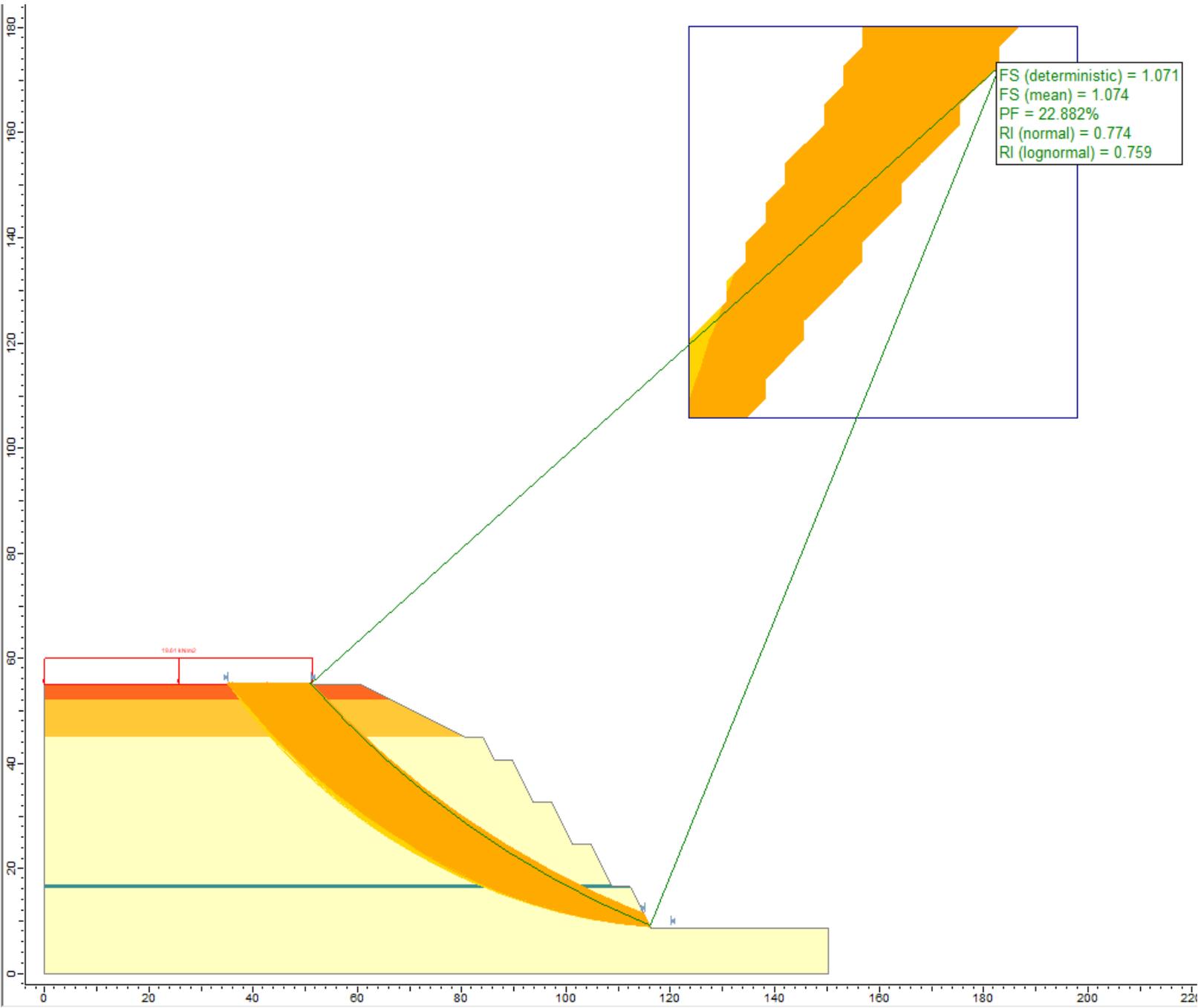
	Real	Banqueteado
F.S.	0.756	1.051
P.F.	100%	31.187%

LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

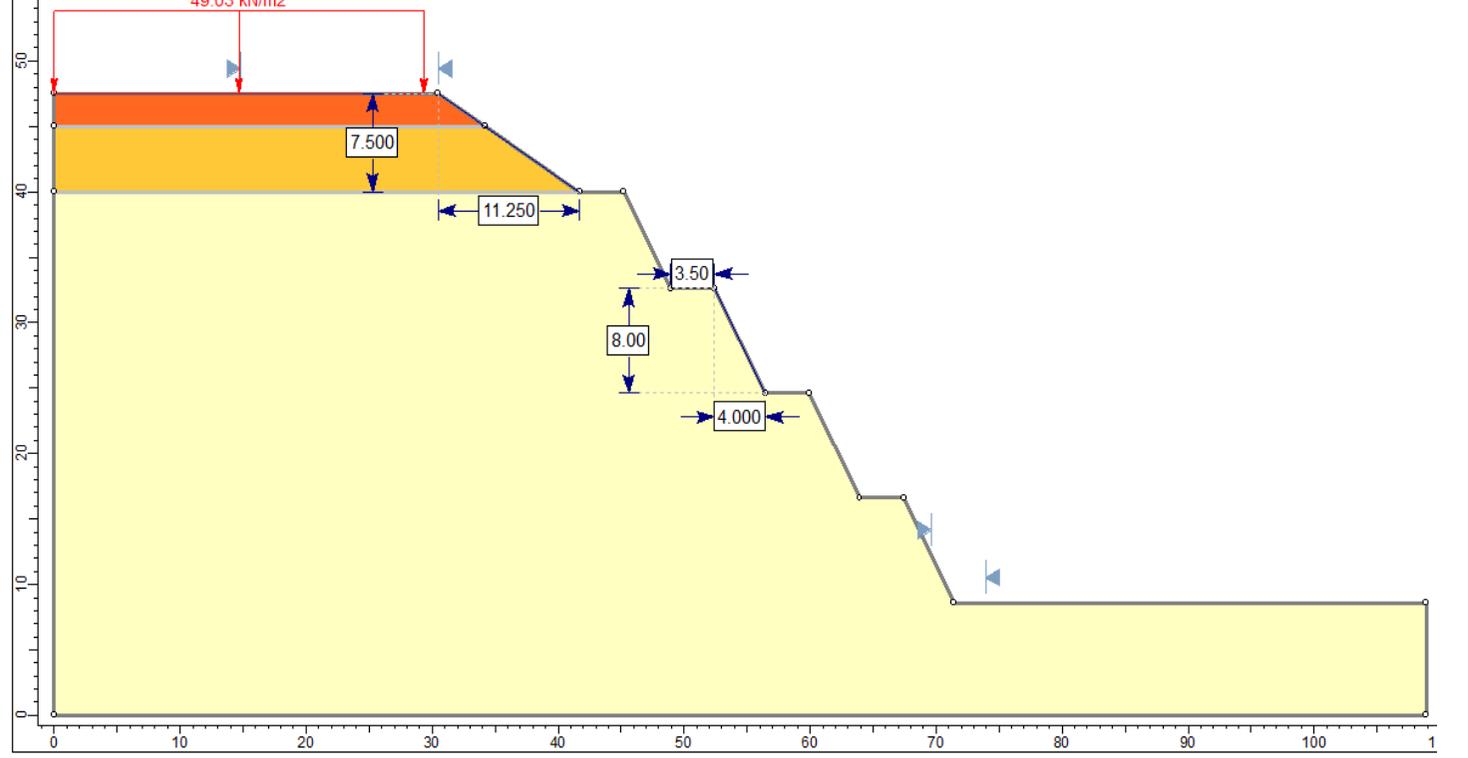
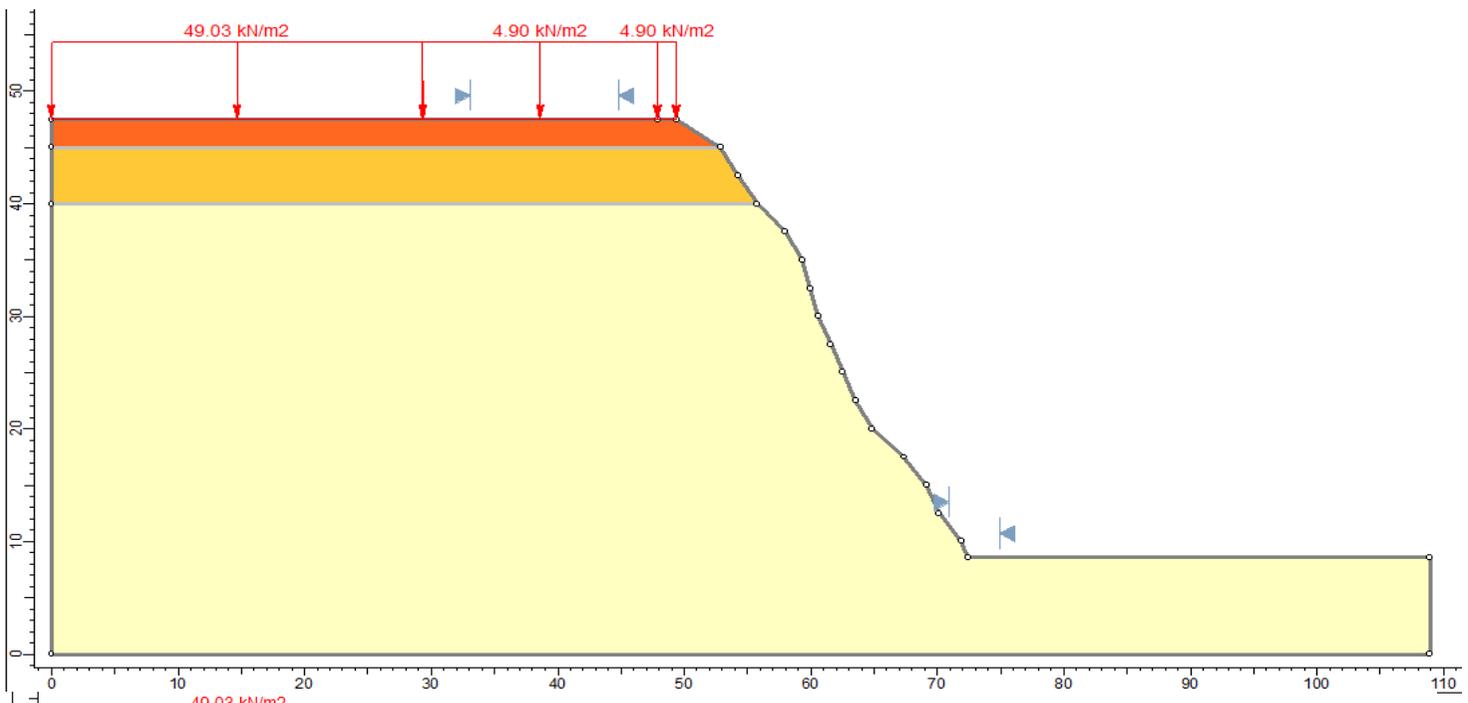
Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático



M_2



LEYENDA

- MATERIAL GRUESO
- RELLENO NO CONTROLADO
- RELLENO CONTROLADO
- FORMA NATURAL DEL TALUD

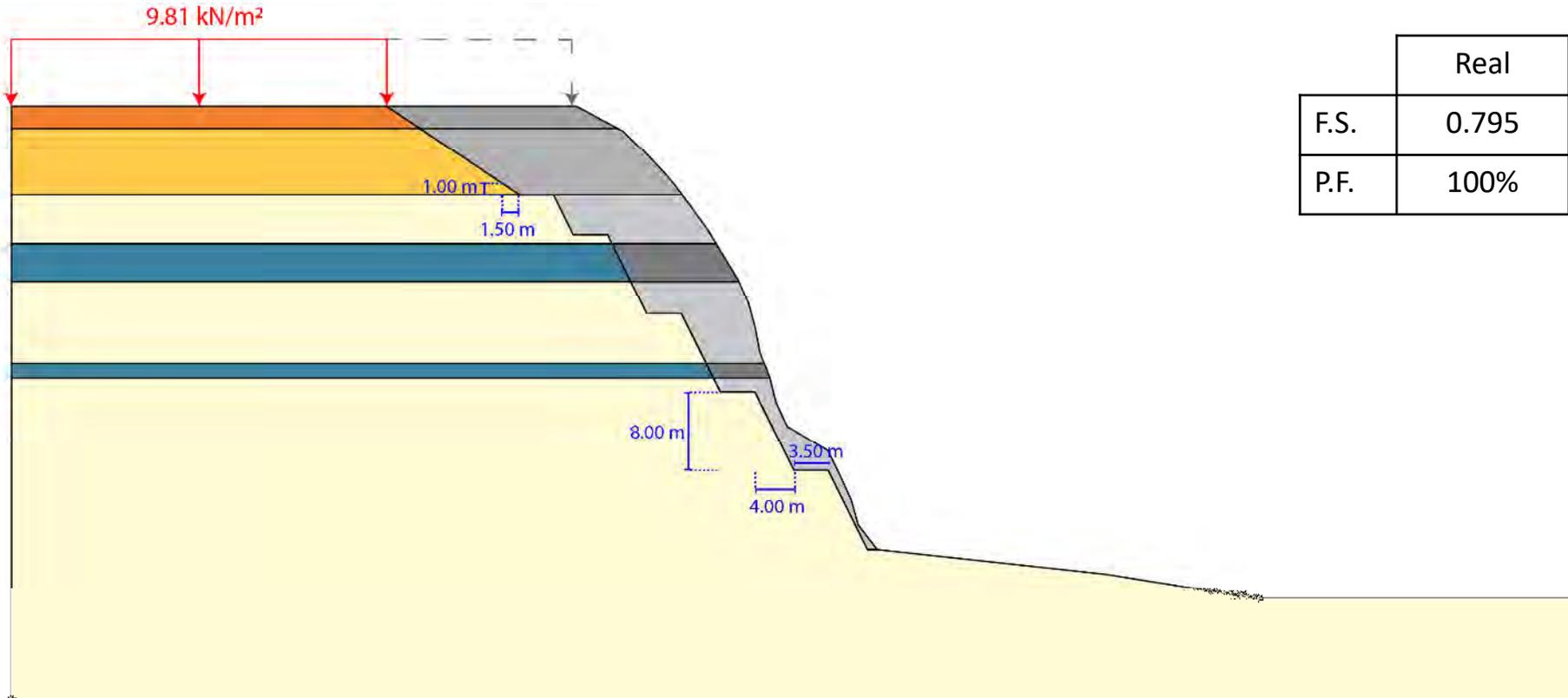
***No hay suficiente espacio para banquetear.**

M_3

H:V = 0.50:1

Condiciones pseudo – estáticas:

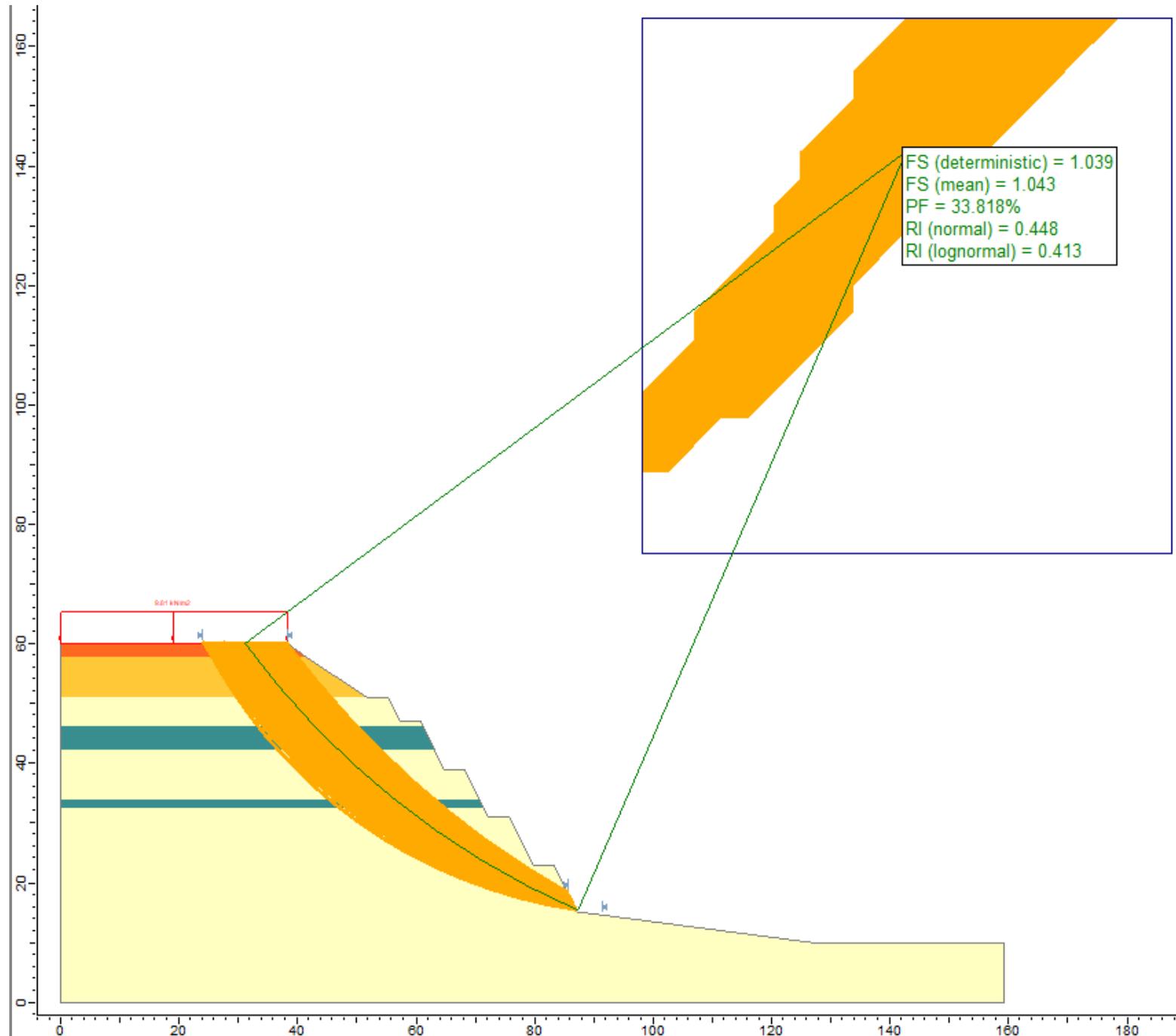
	Real	Banqueteado
F.S.	0.795	1.039
P.F.	100%	33.818%



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

*En la parte superior hay almacenes, para el banqueteo, se ha considerado el retiro de los mismos.

Falla circular - caso pseudo estático

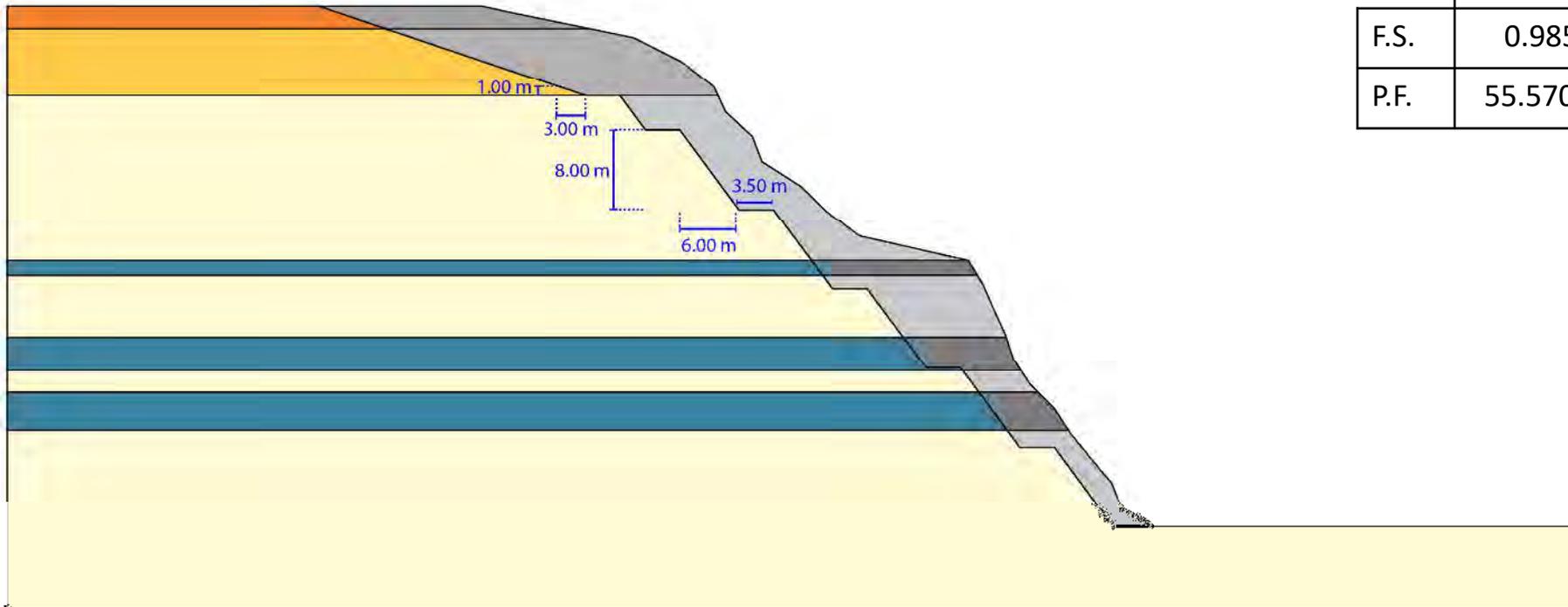


M_4

H:V = 0.75:1

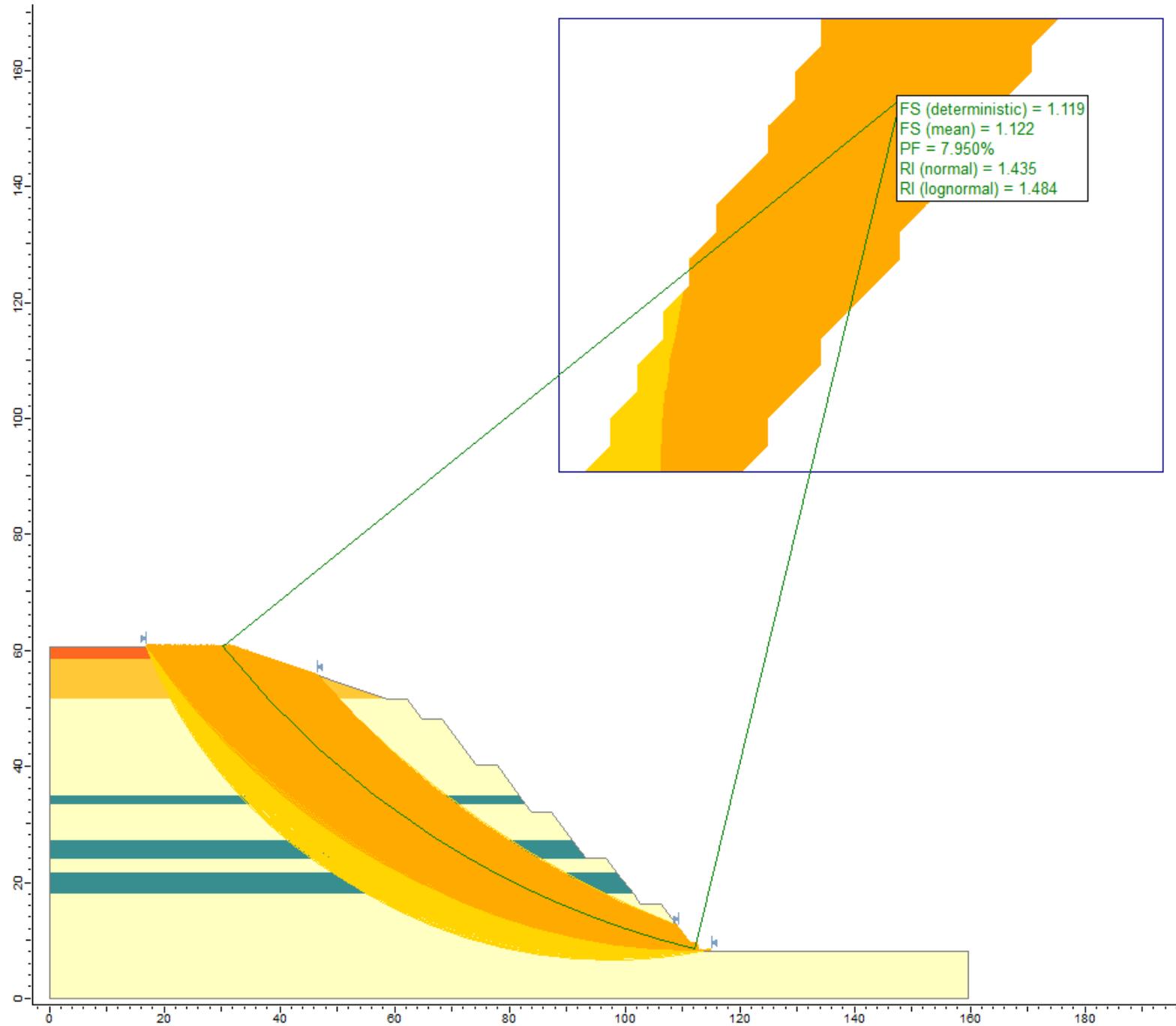
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.985	1.119
P.F.	55.570%	7.950%



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	RELLENO NO CONTROLADO
	RELLENO CONTROLADO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



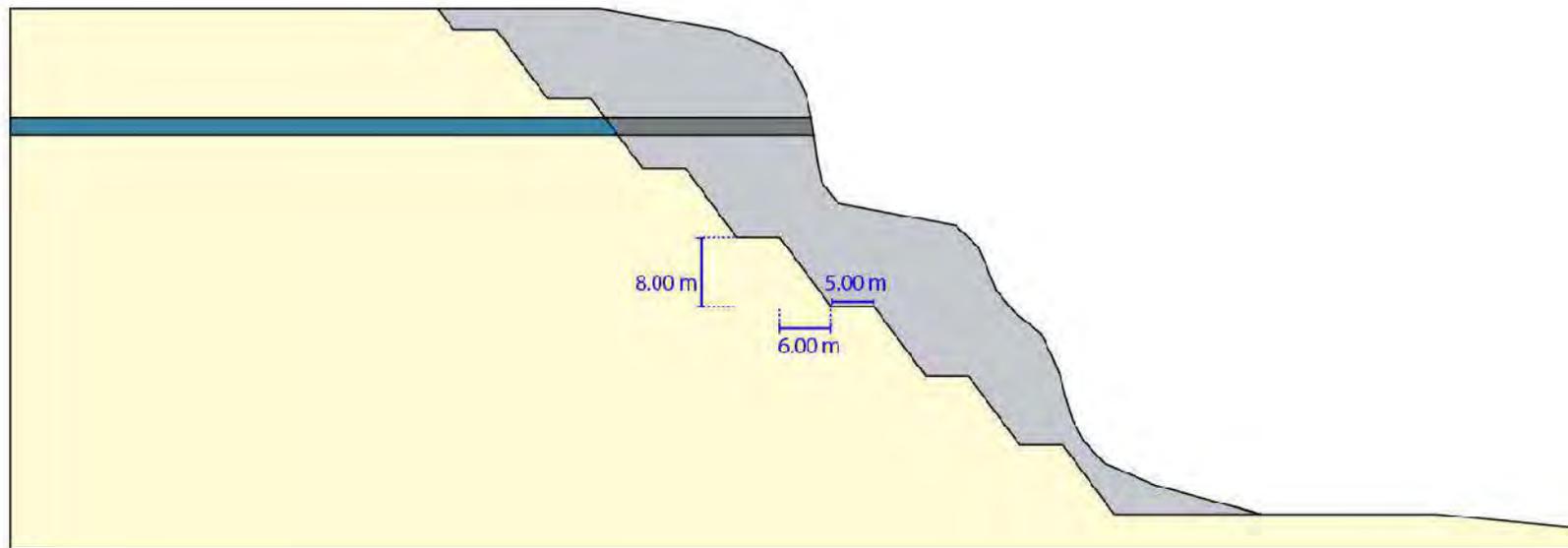
MIRAFLORES

Mi_1

H:V = 0.75:1

Condiciones pseudo – estáticas:

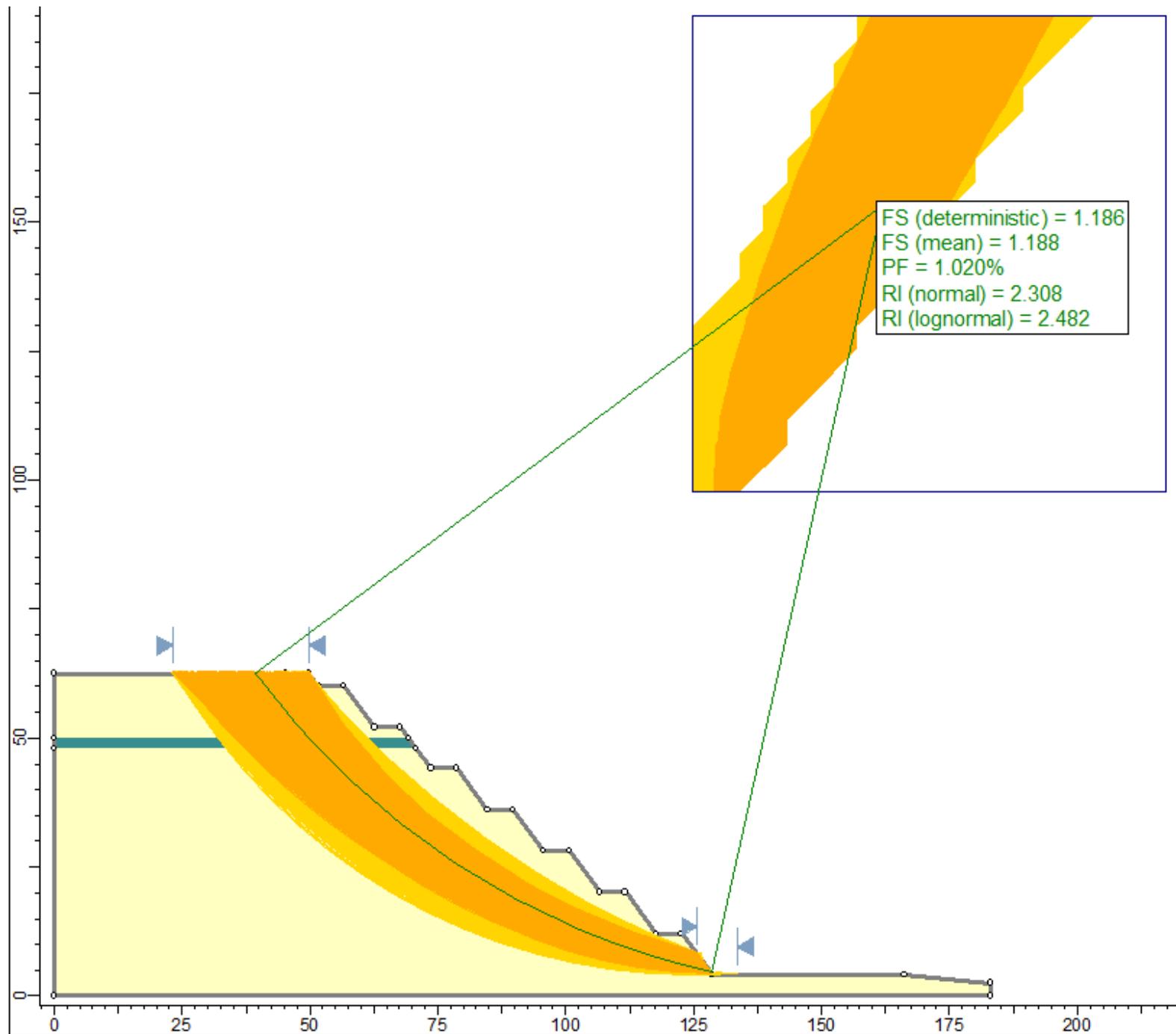
	Real	Banqueteado
F.S.	0.967	1.186
P.F.	69.743%	1.020%



LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular con sismo

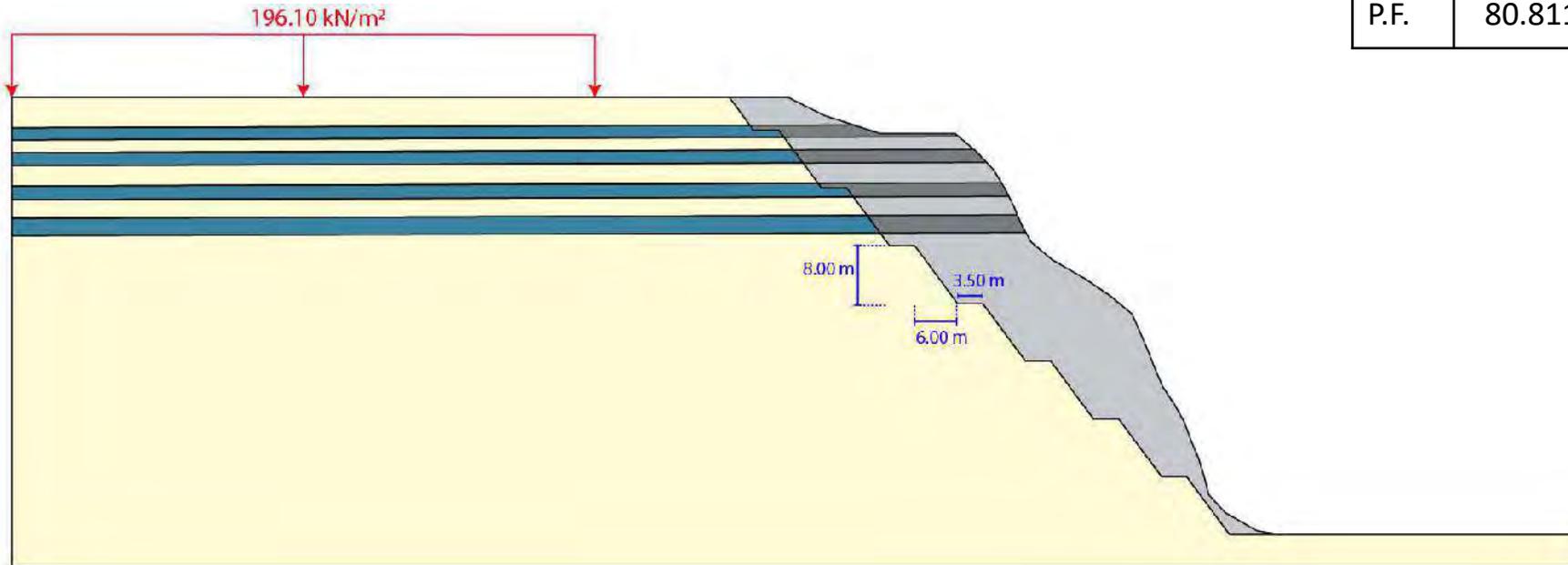


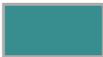
Mi_2

H:V = 0.75:1

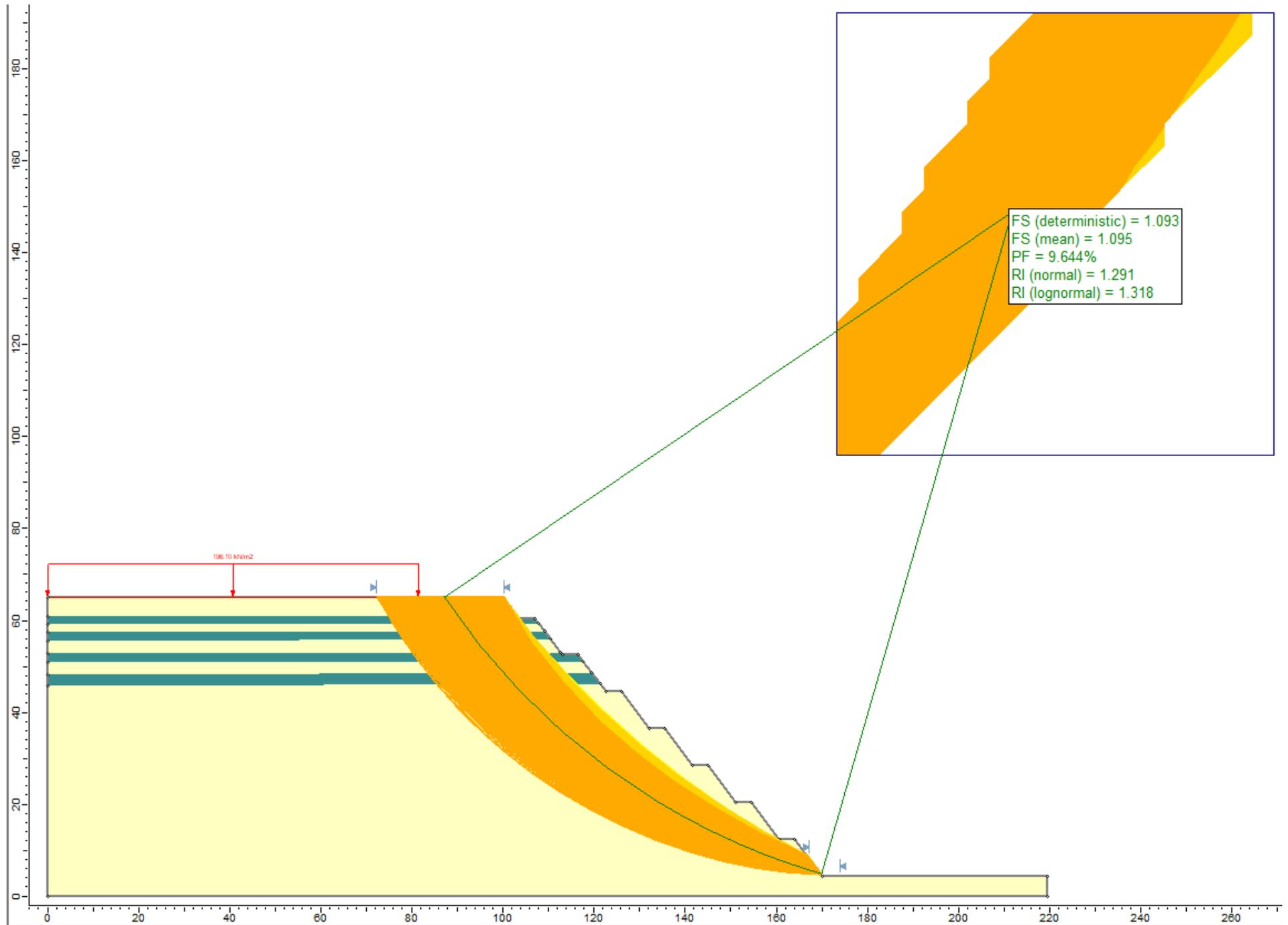
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.902	1.093
P.F.	80.811%	9.644%

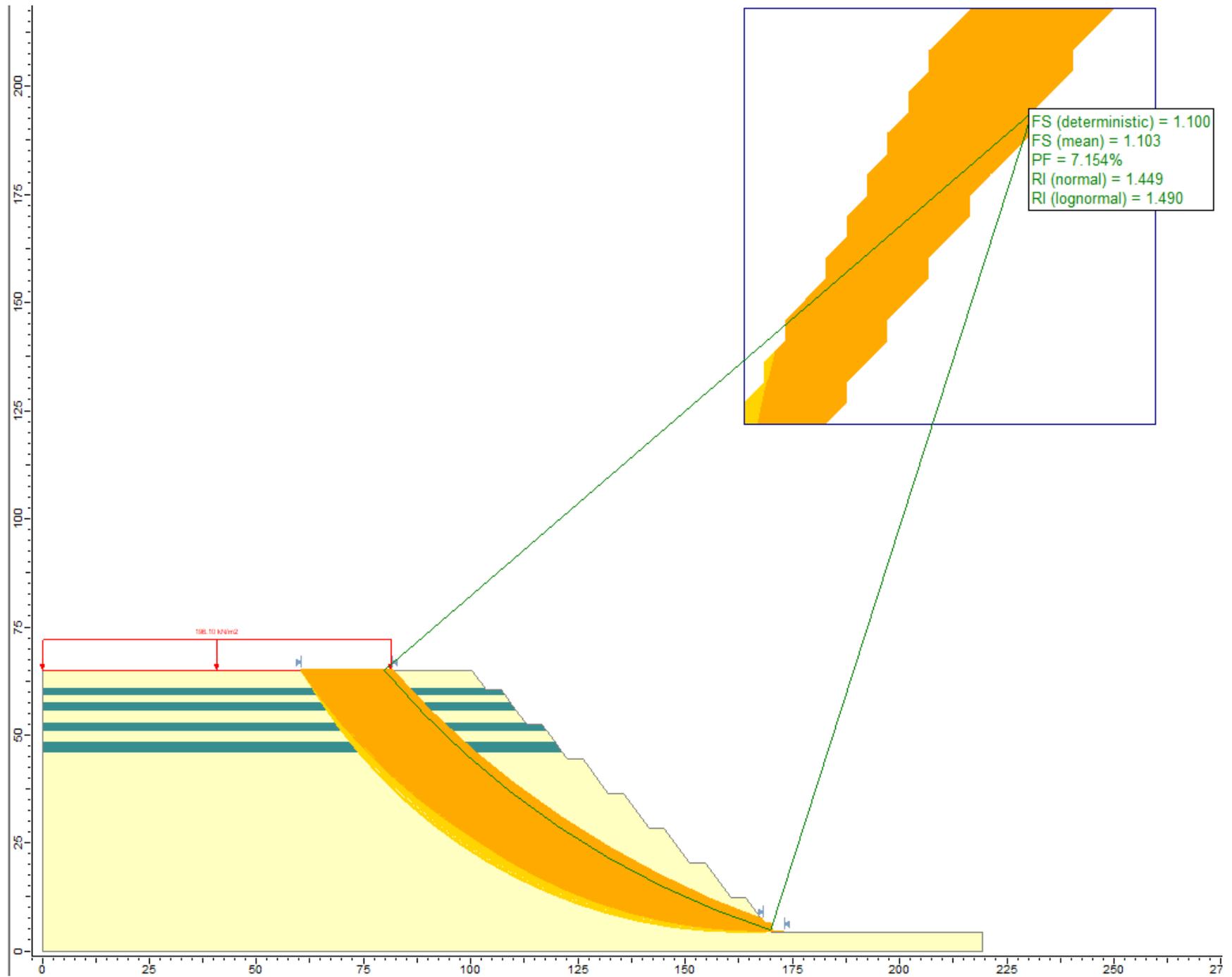


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular con sismo



Falla circular con sismo

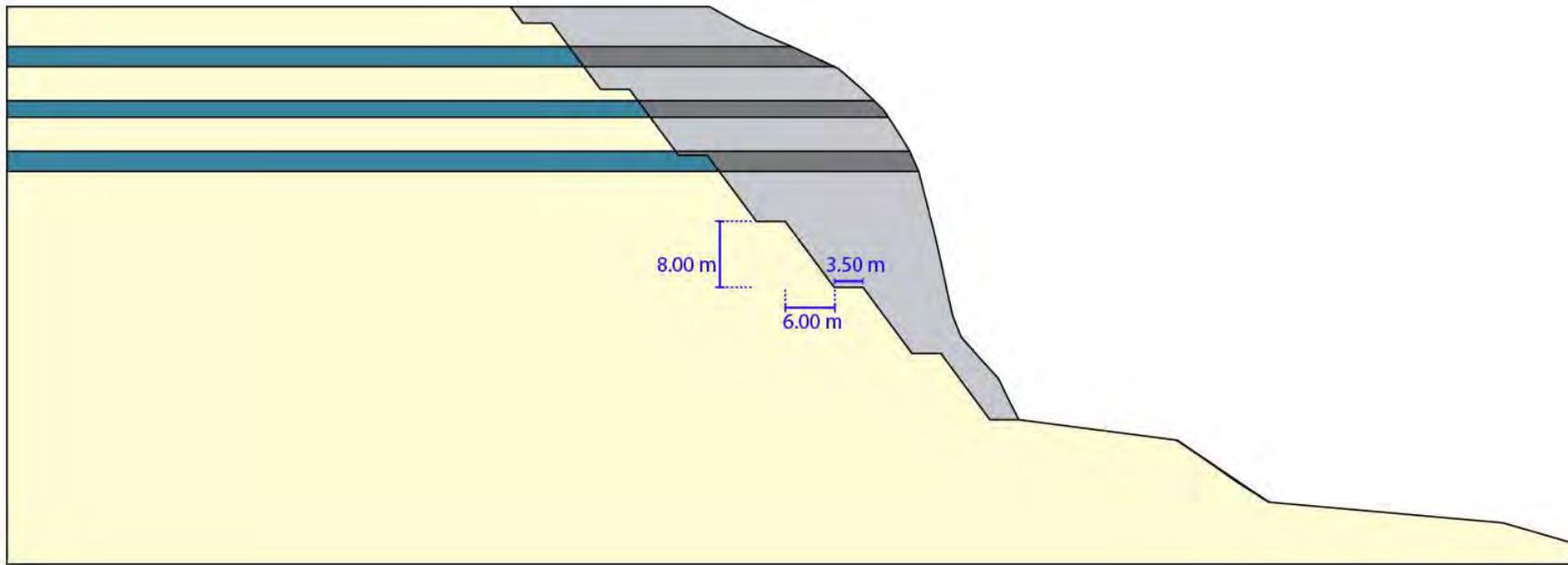


Mi_3

H:V = 0.75:1

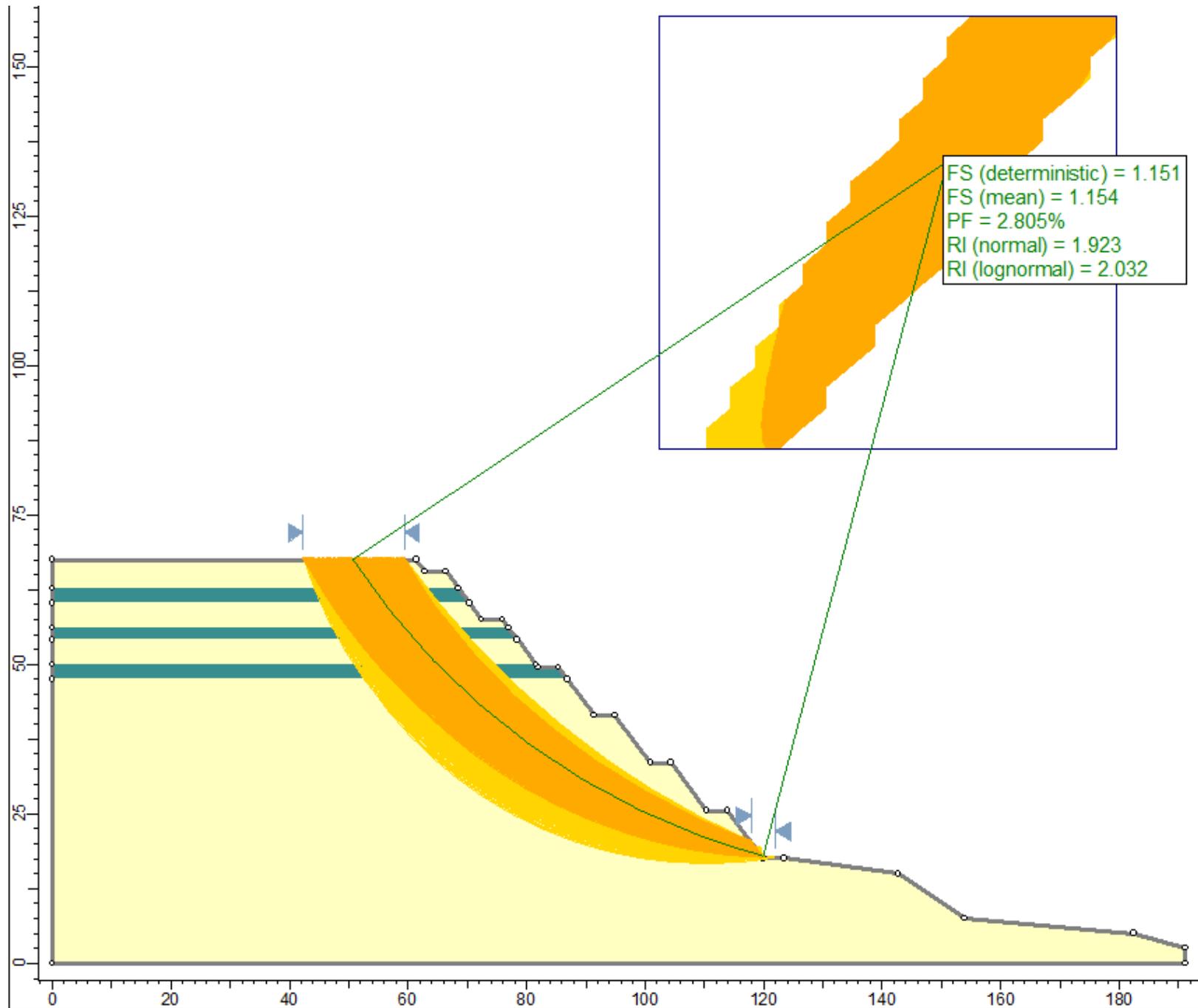
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.826	1.151
P.F.	97.583%	2.805%



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular con sismo

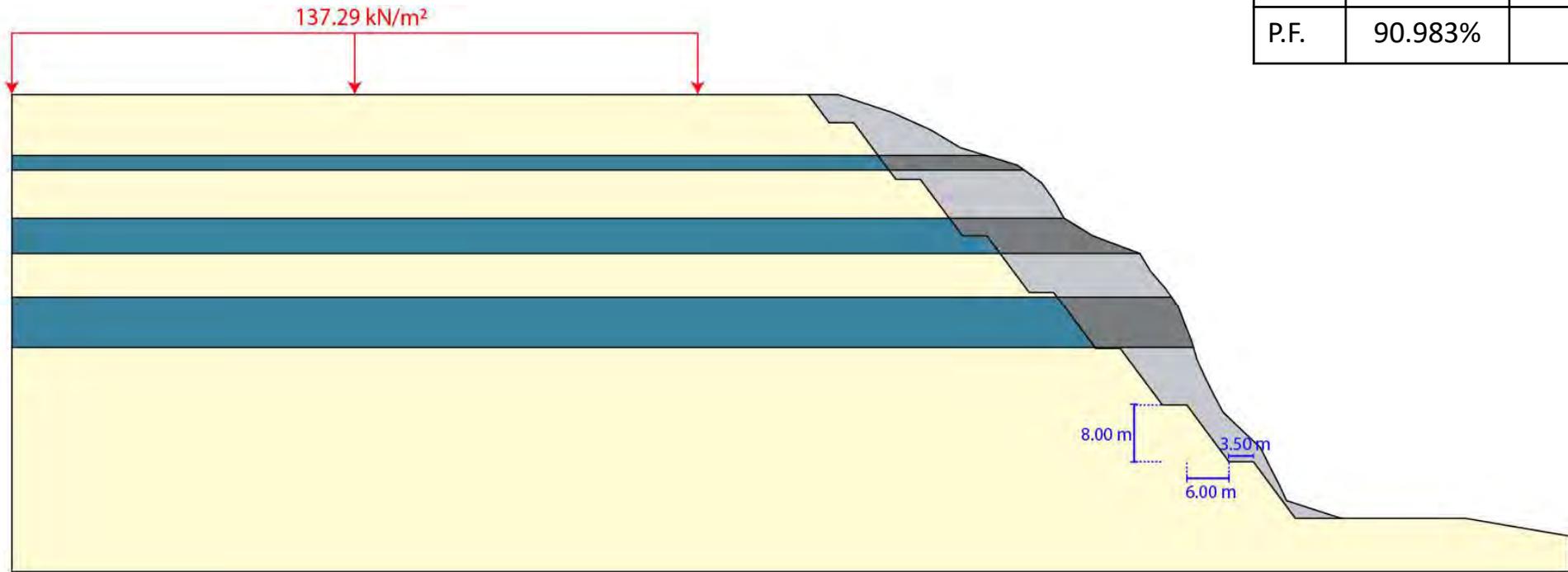


Mi_4

H:V = 0.75:1

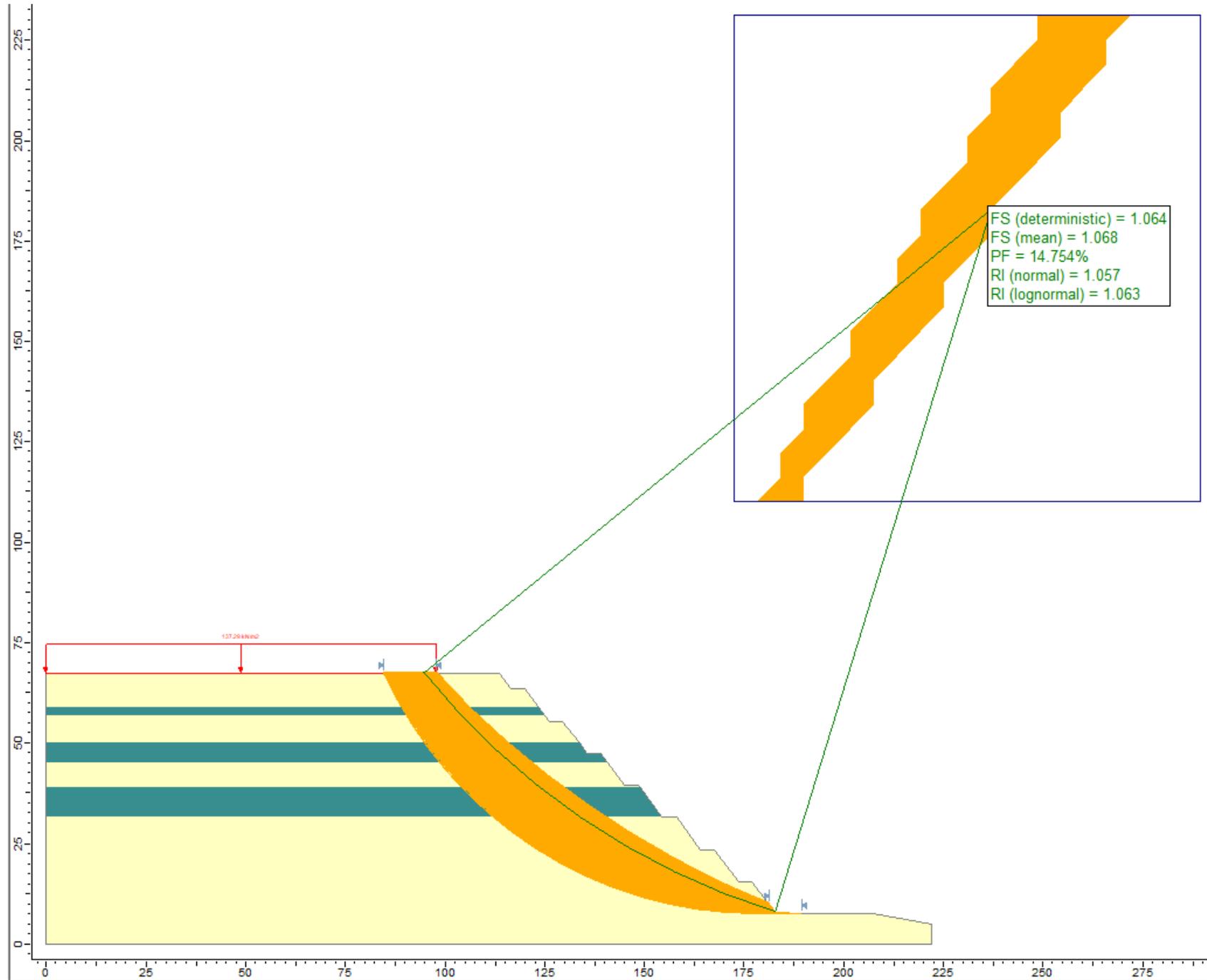
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.926	1.064
P.F.	90.983%	14.754%



LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular con sismo



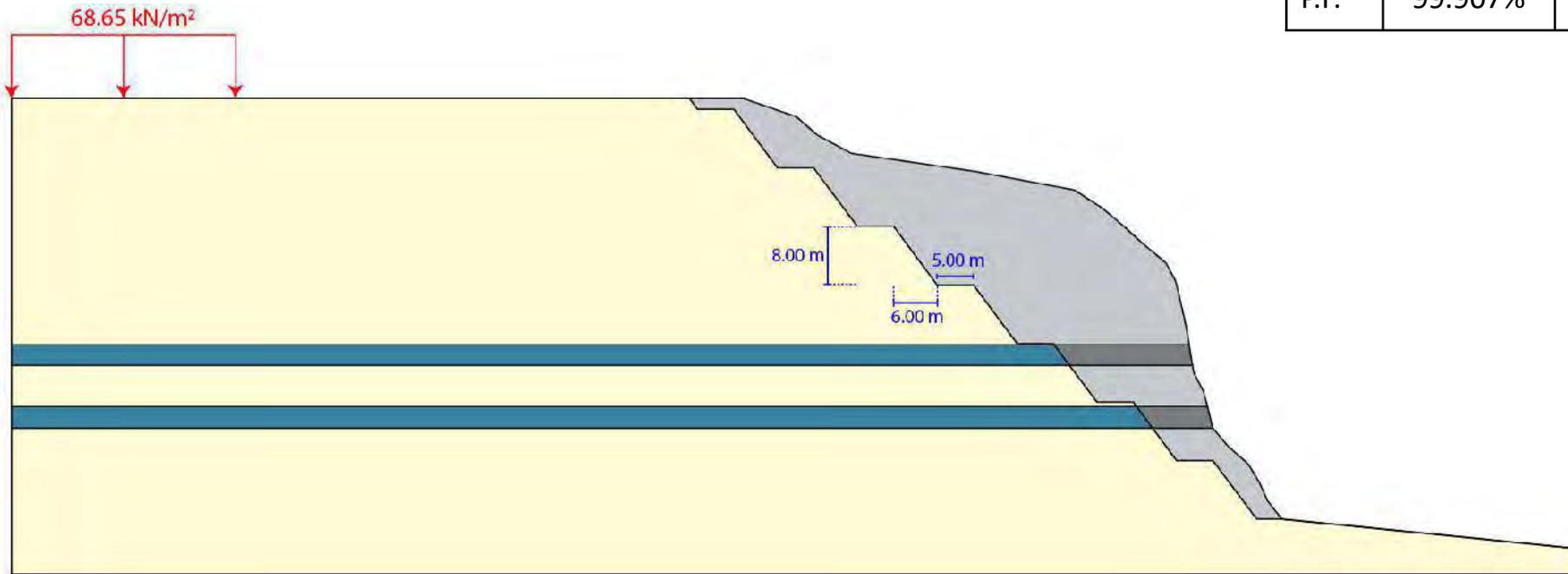
BARRANCO

B_1

H:V = 0.75:1

Condiciones pseudo – estáticas:

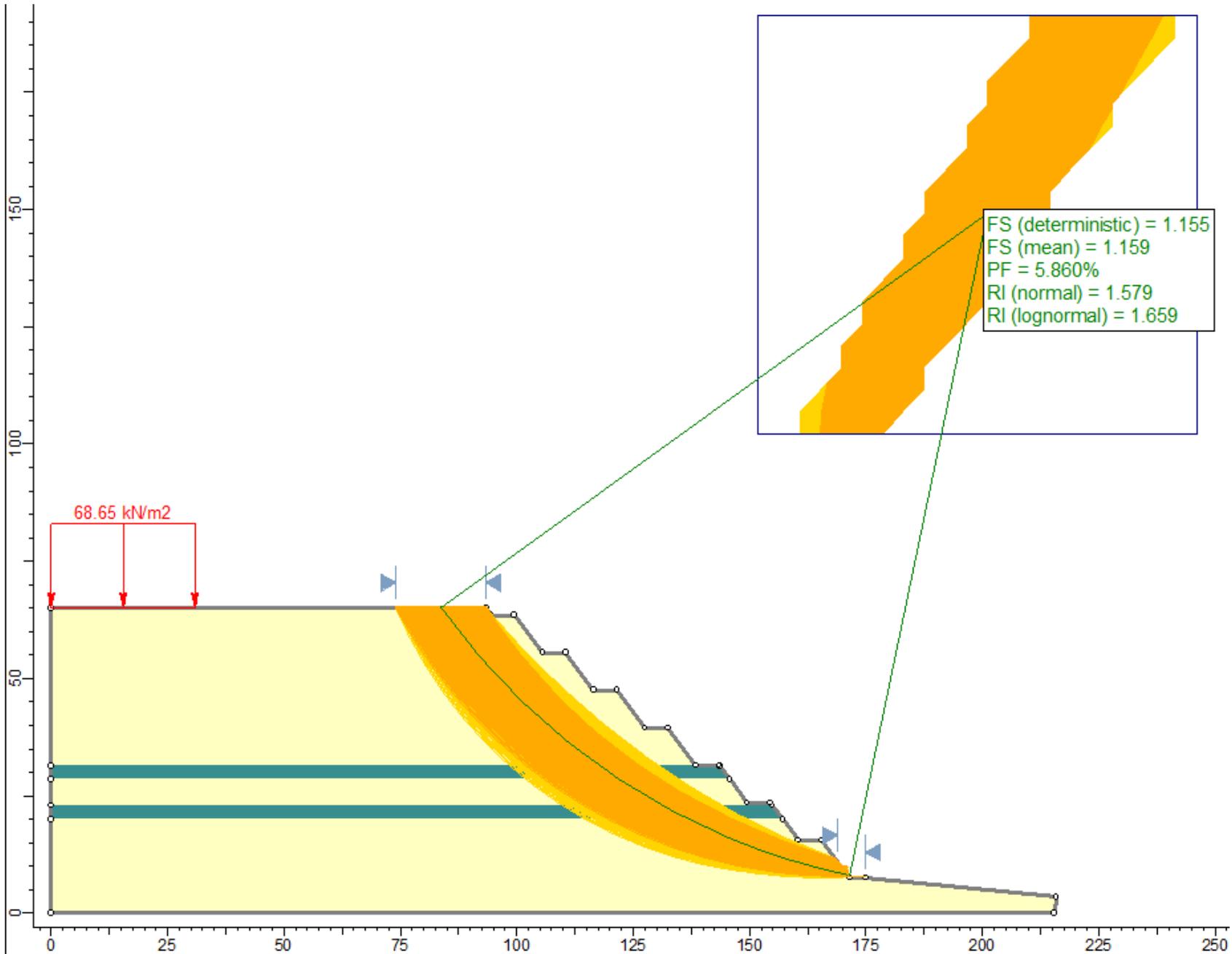
	Real	Banqueteado
F.S.	0.802	1.155
P.F.	99.907%	5.860%



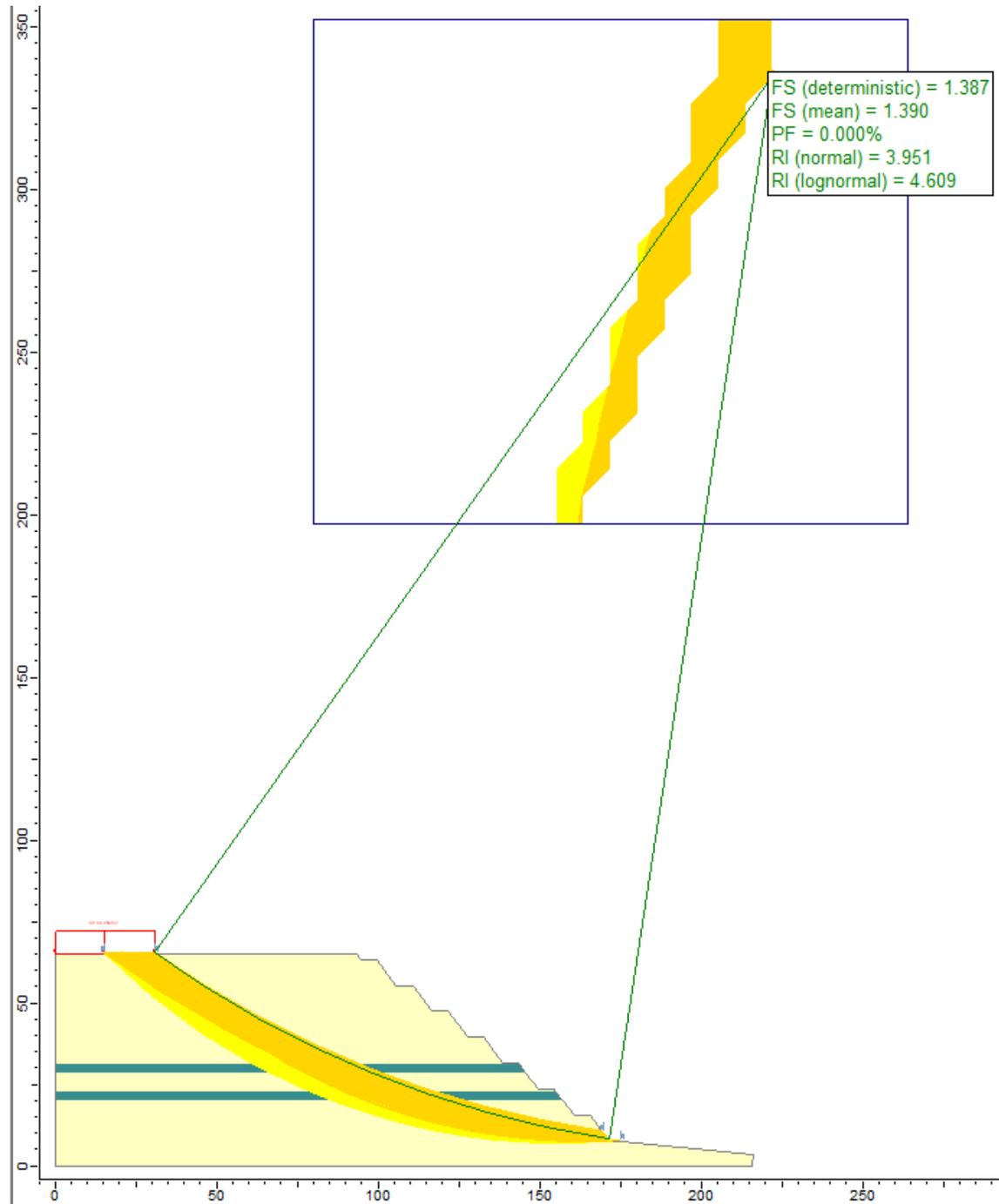
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

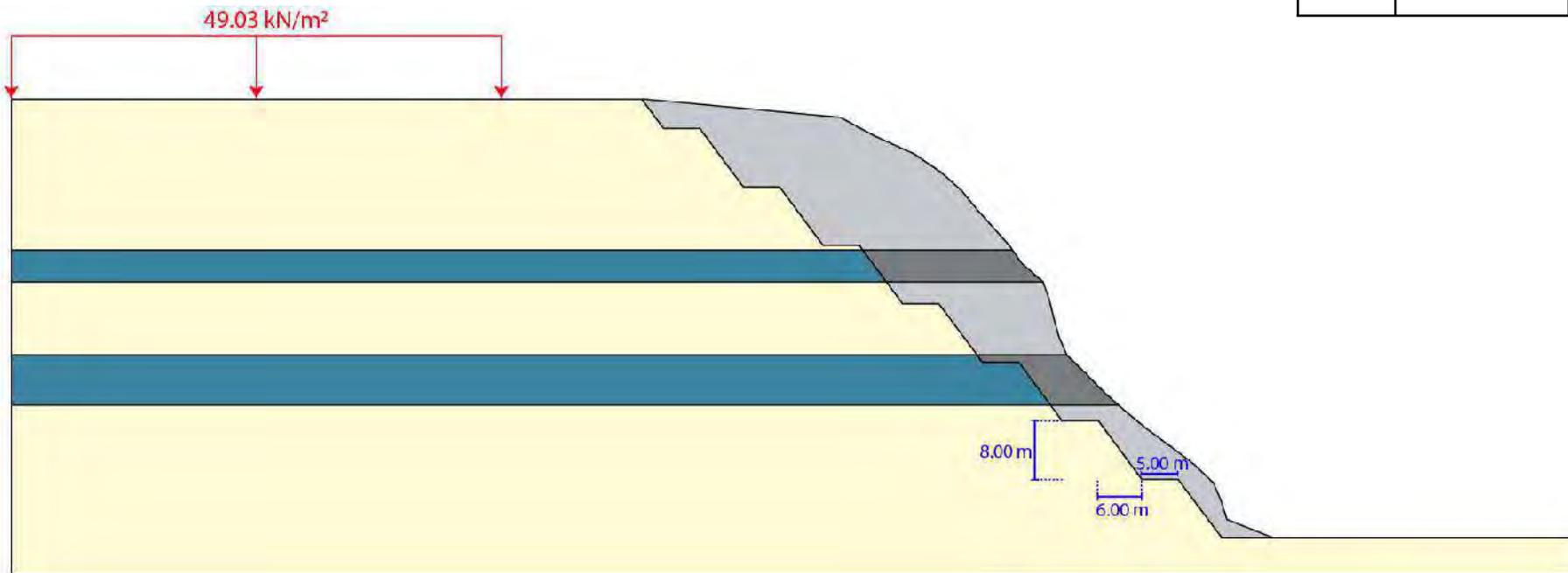


B_2

H:V = 0.75:1

Condiciones pseudo – estáticas:

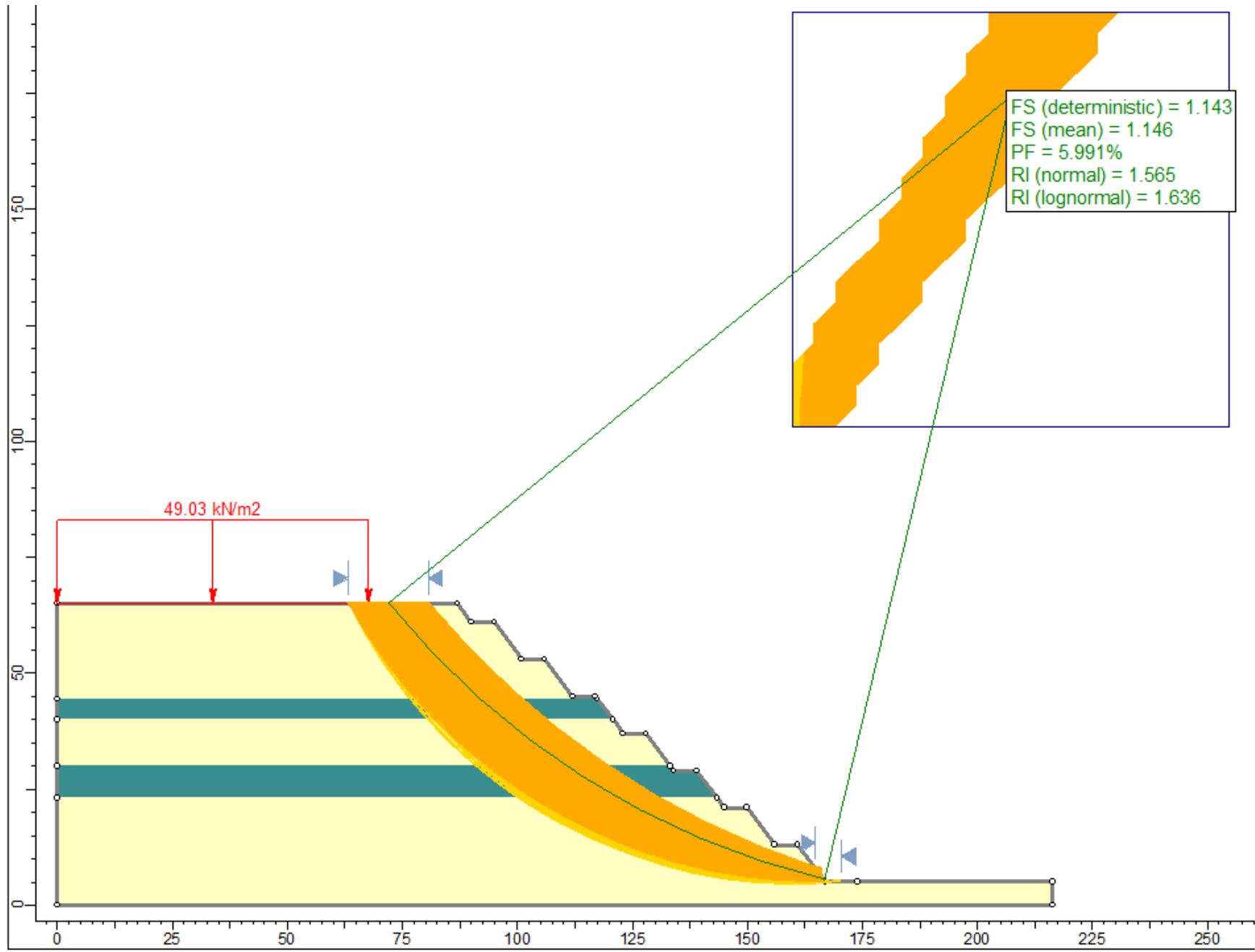
	Real	Banqueteado
F.S.	0.923	1.143
P.F.	80.709%	5.991%



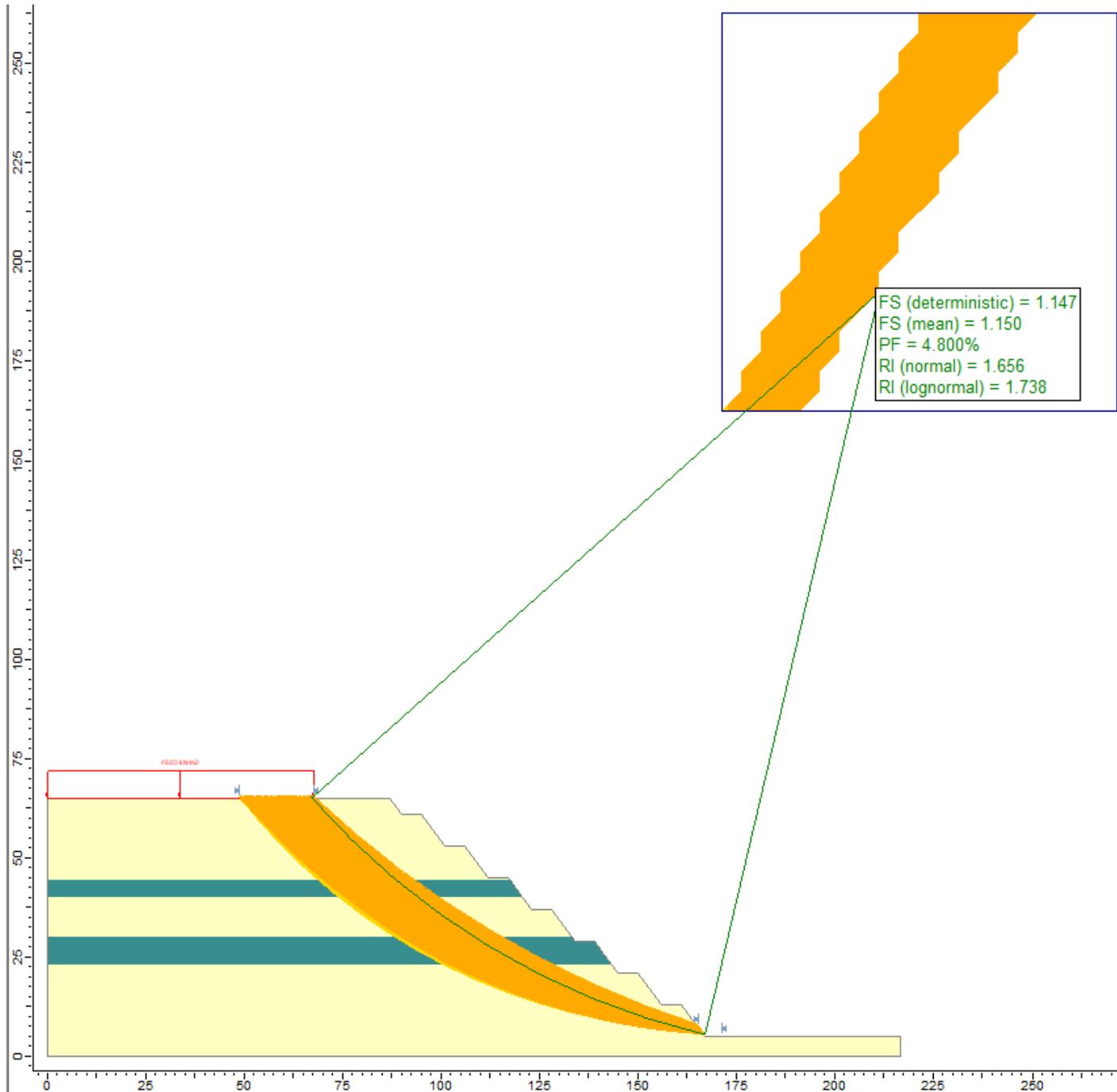
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

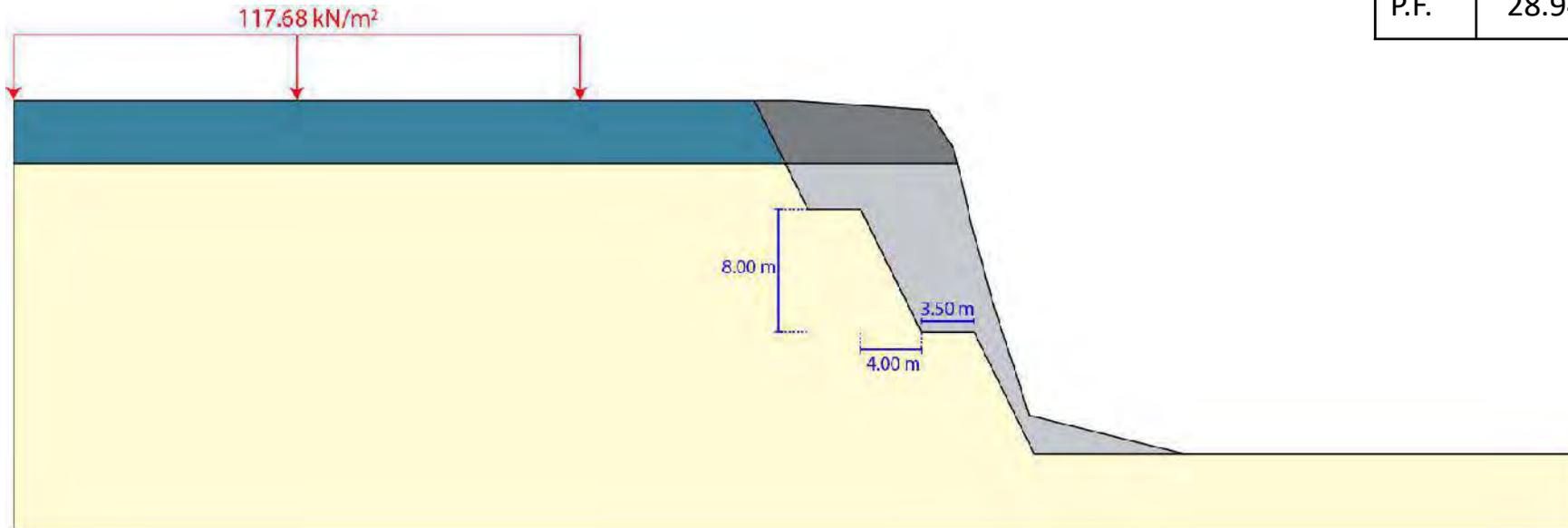


B_3

H:V = 0.50:1

Condiciones pseudo – estáticas:

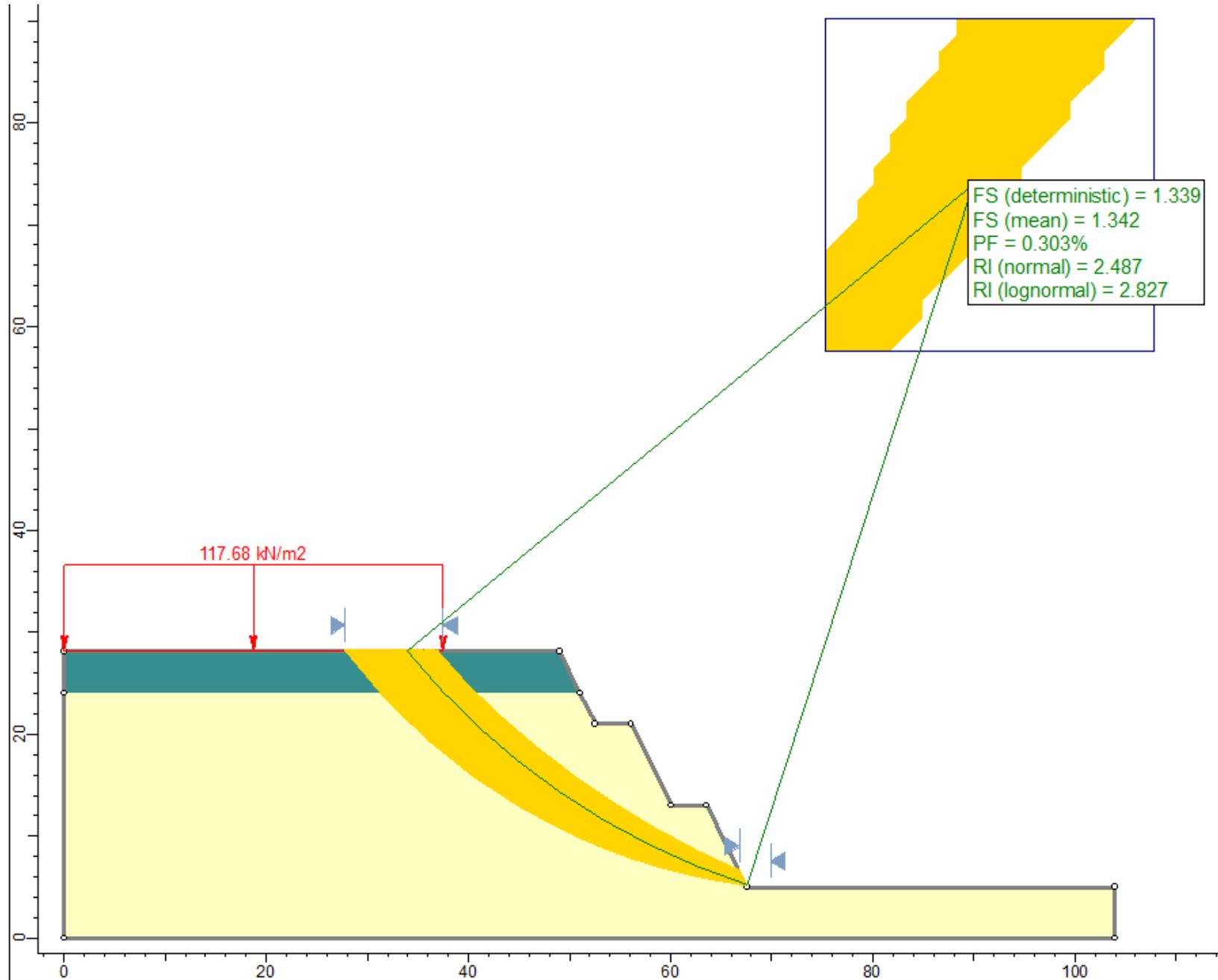
	Real	Banqueteado
F.S.	1.086	1.339
P.F.	28.948%	0.303%



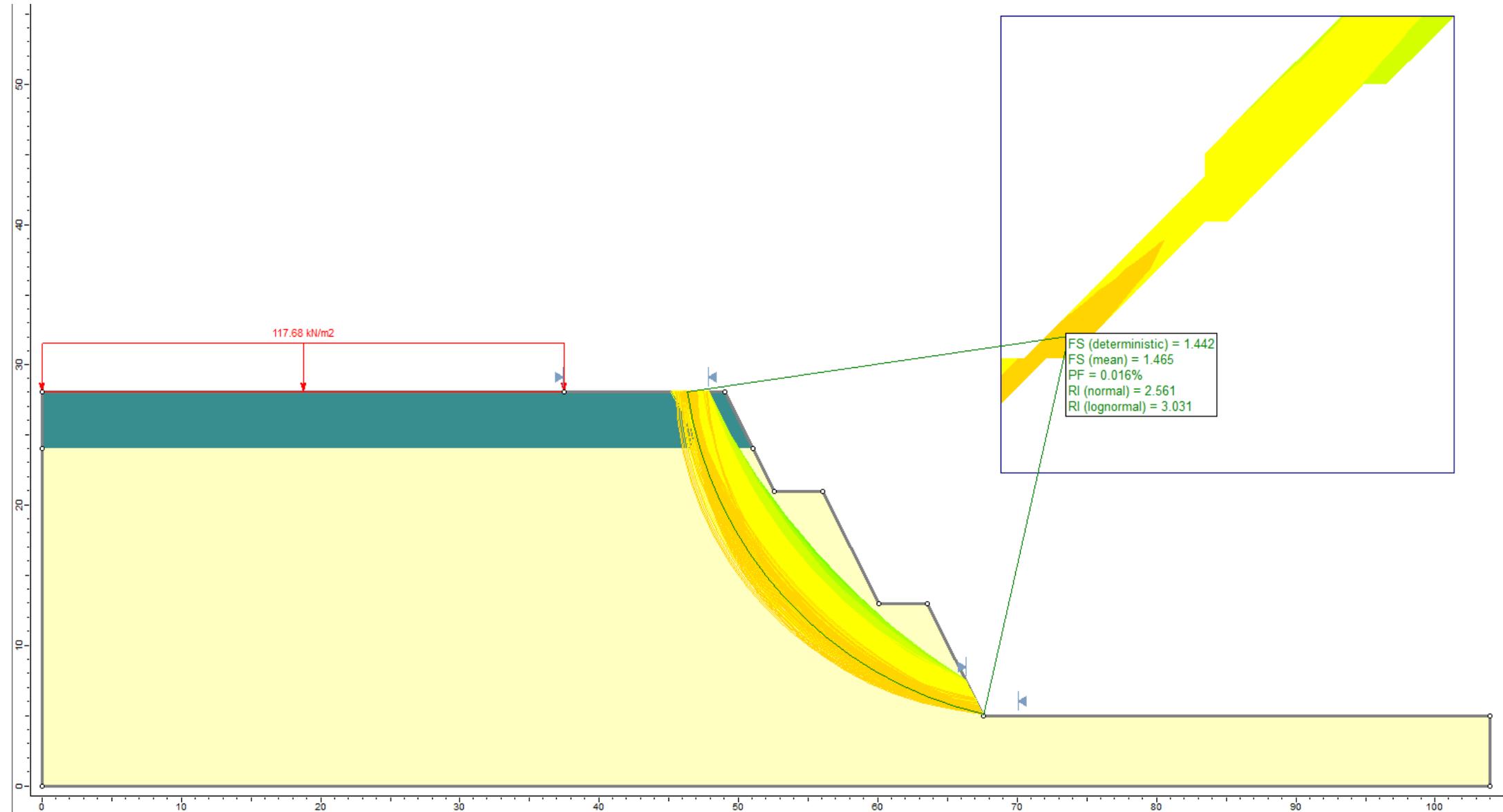
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

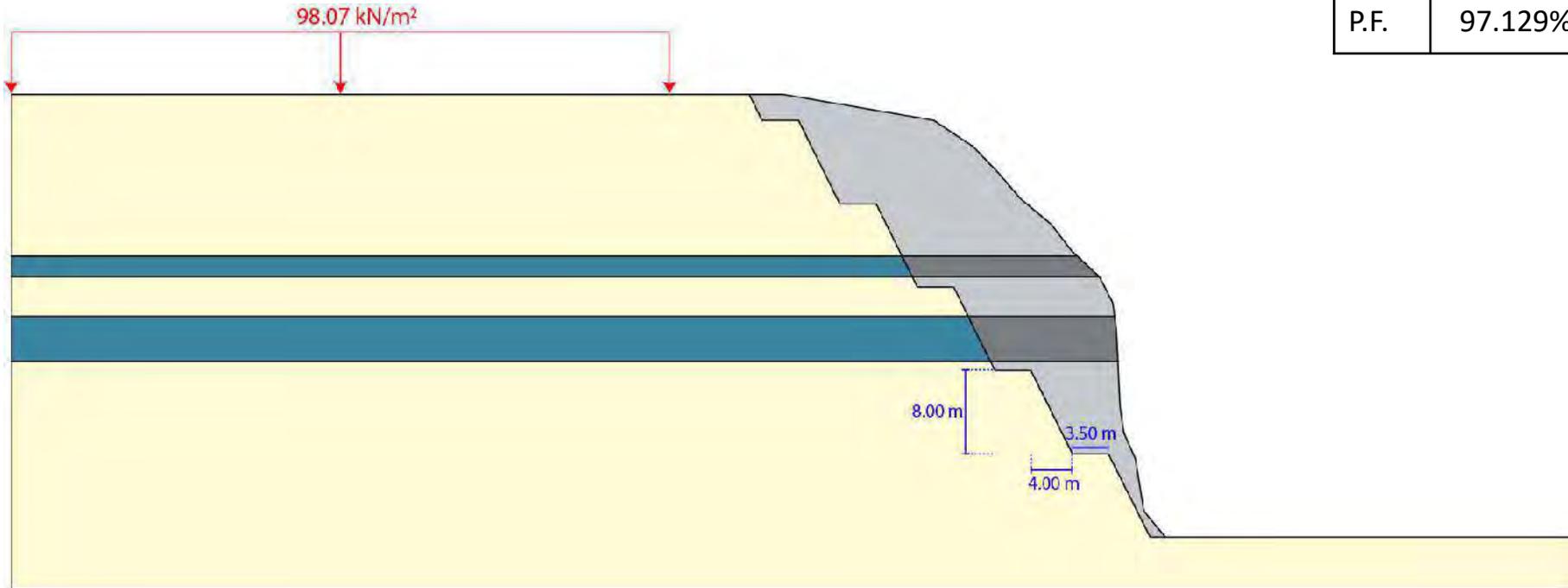


B_4

H:V = 0.50:1

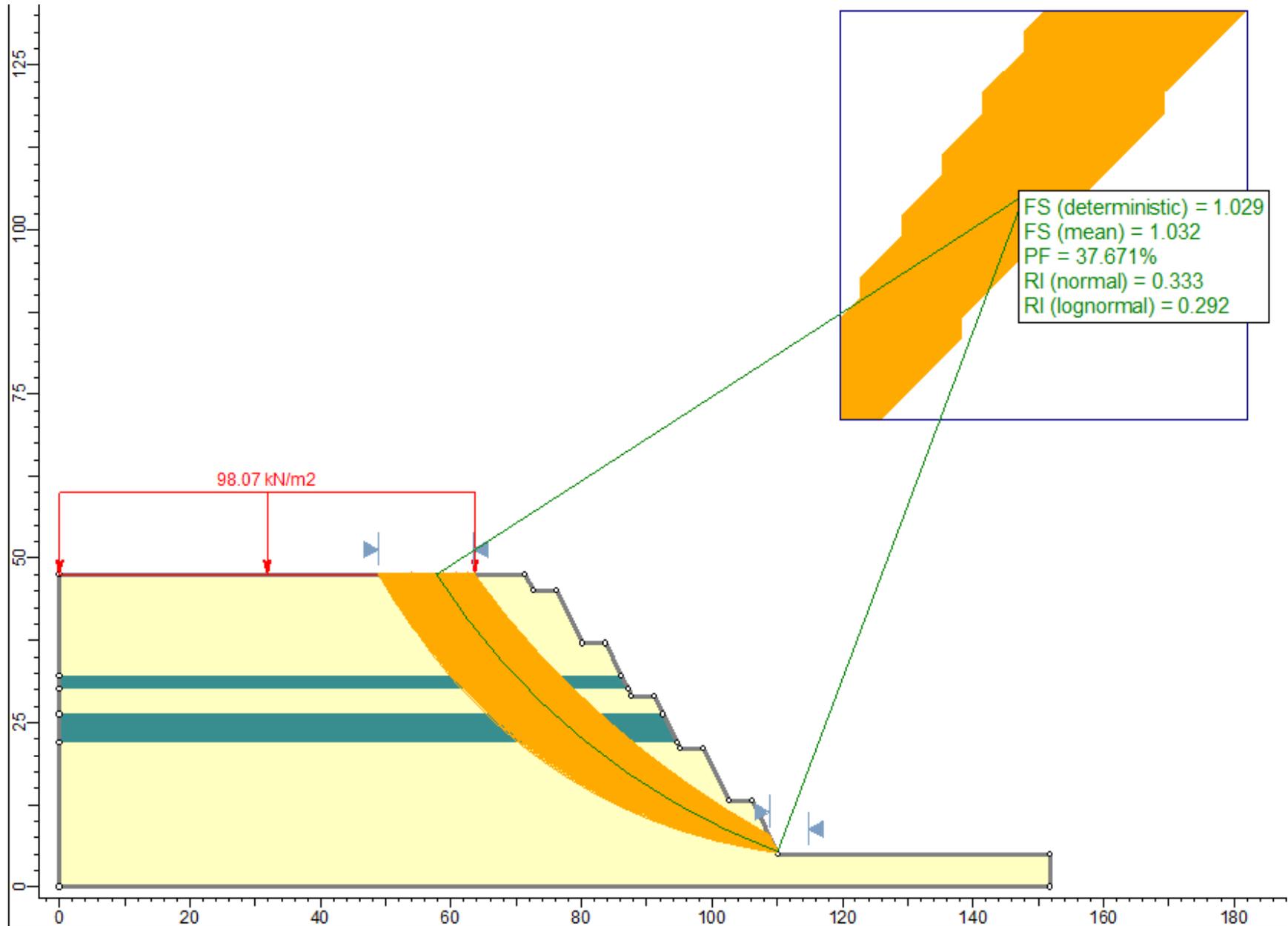
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.770	1.029
P.F.	97.129%	37.671%

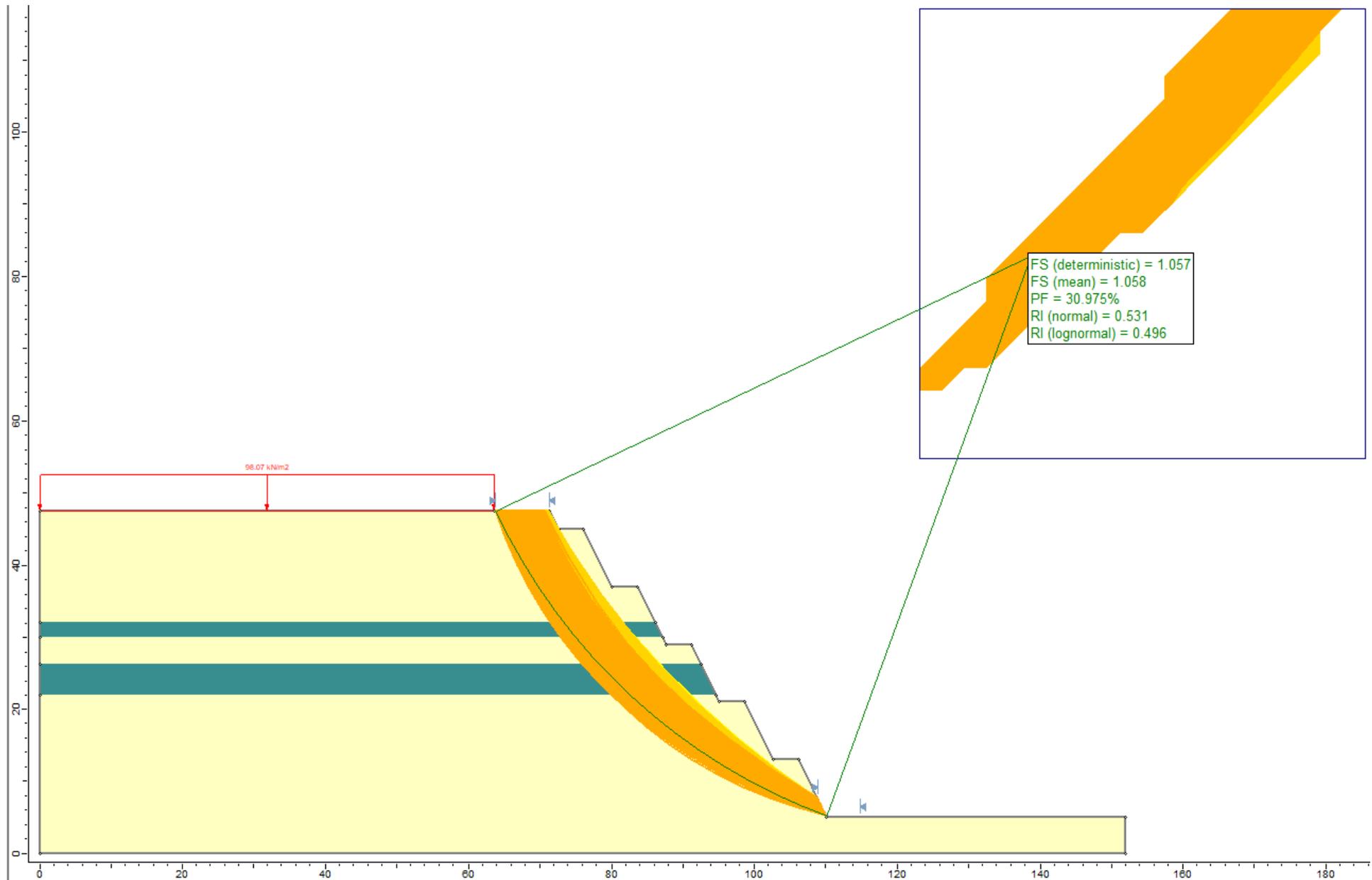


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

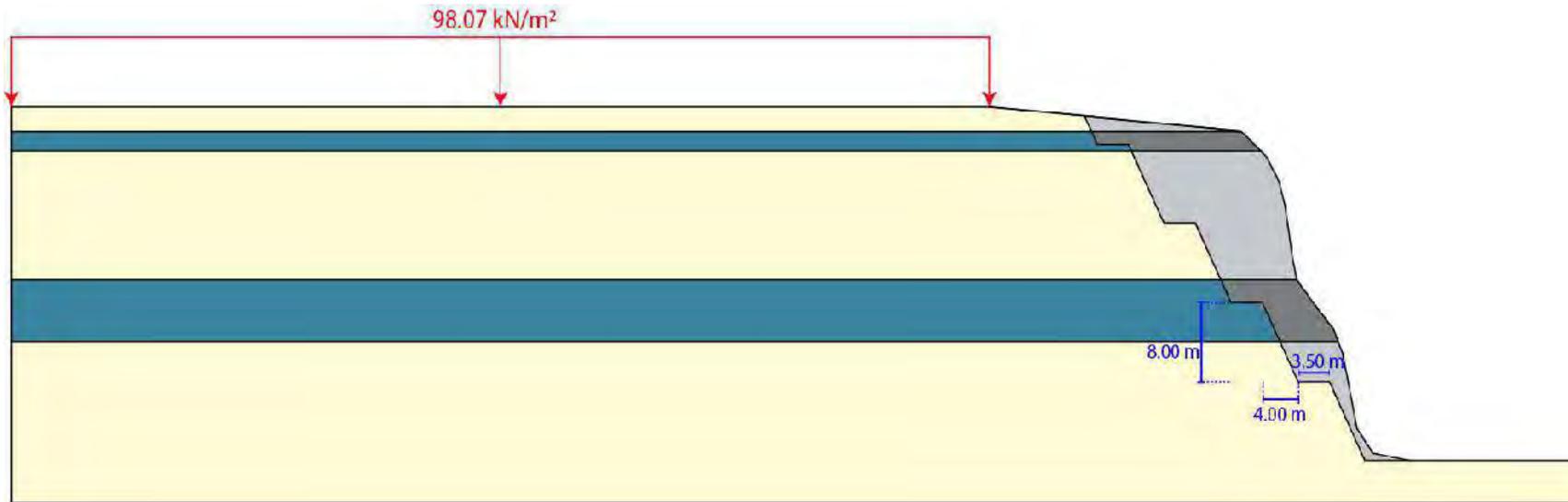


B_5

H:V = 0.50:1

Condiciones pseudo – estáticas:

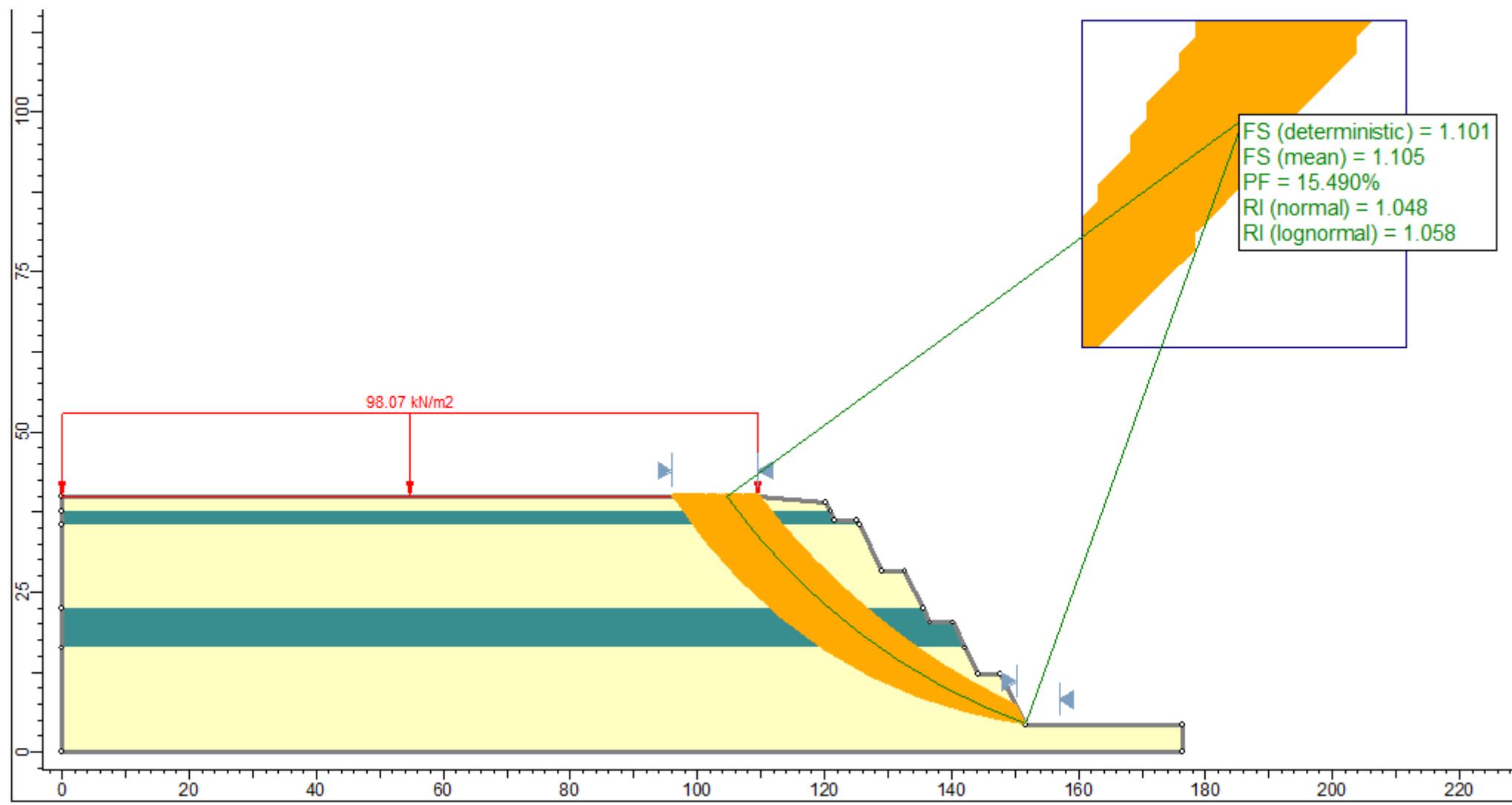
	Real	Banqueteado
F.S.	0.868	1.101
P.F.	77.684%	15.490%



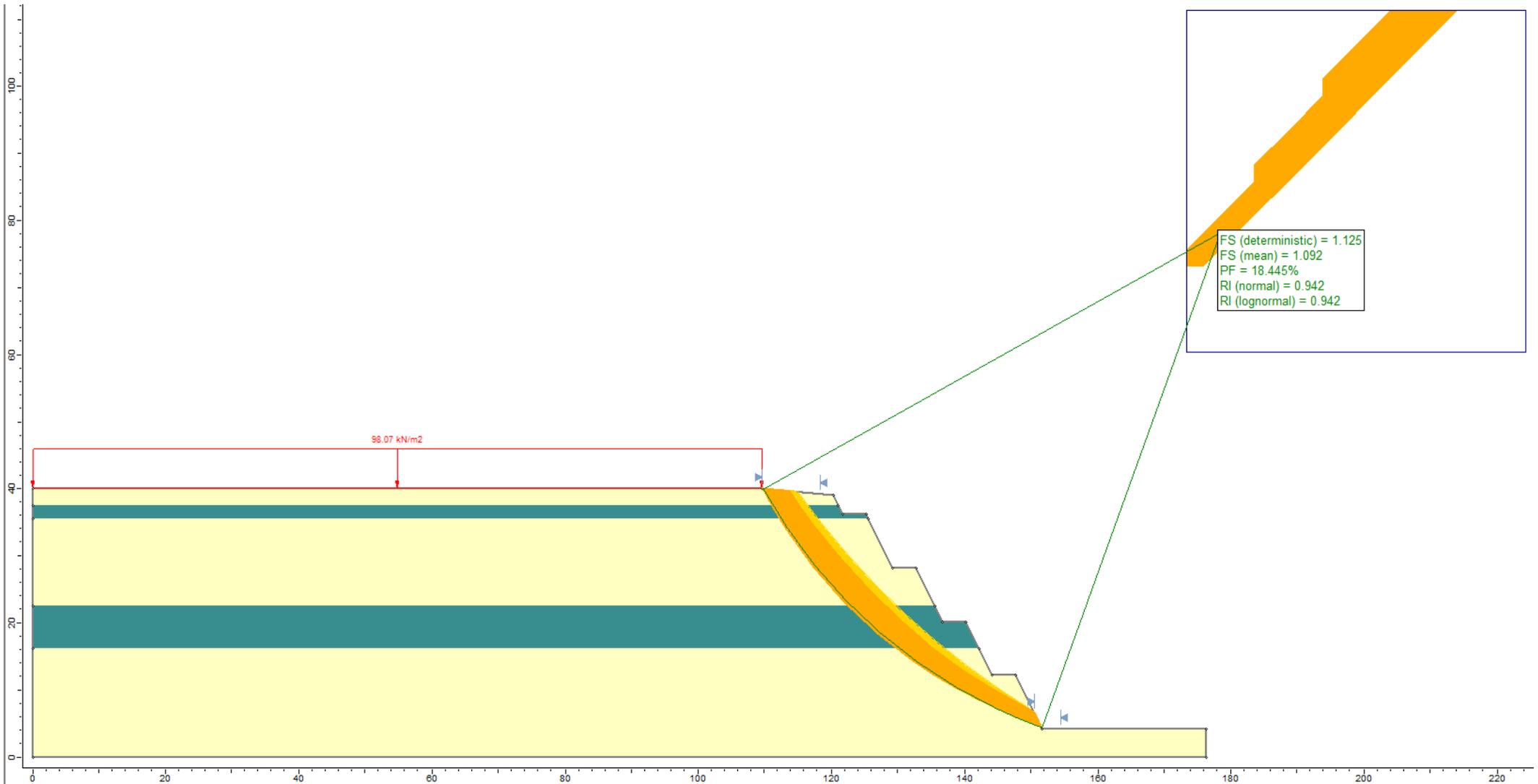
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático

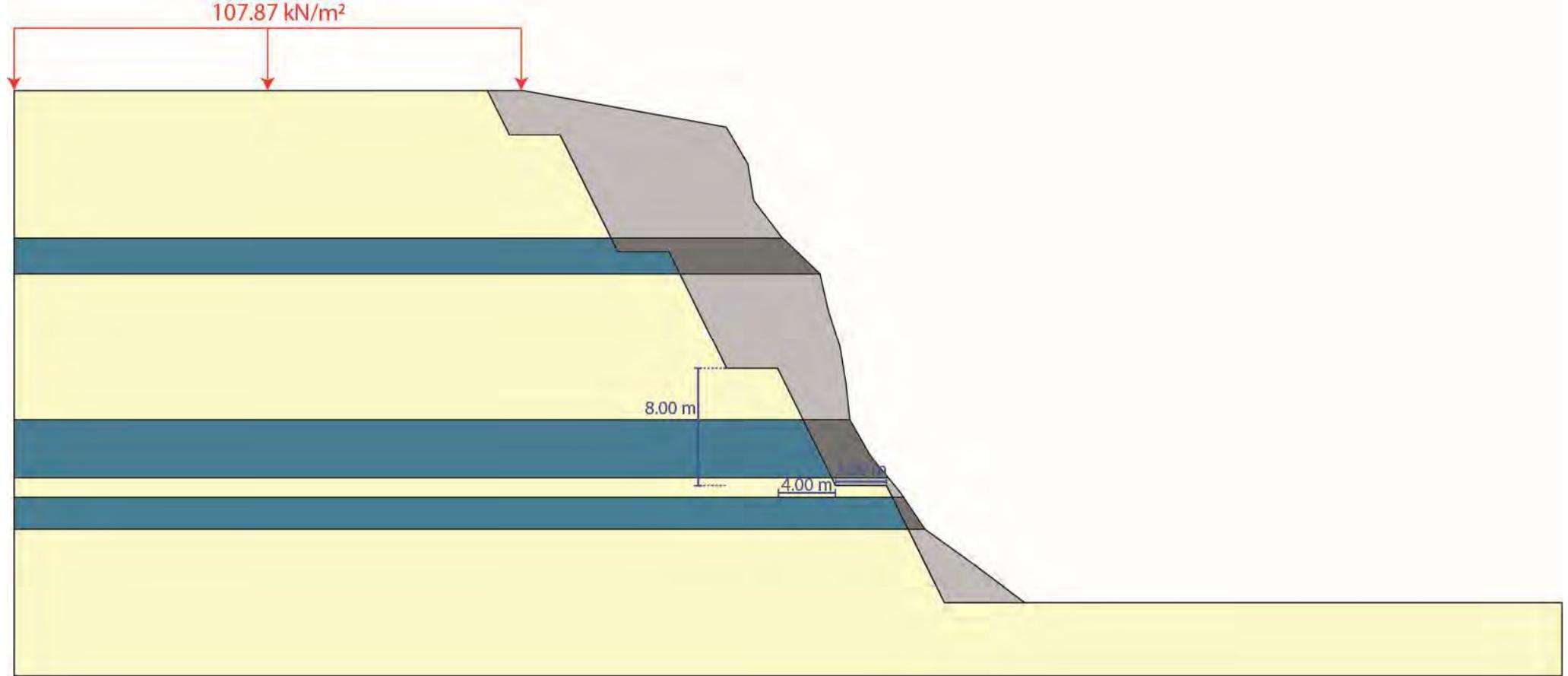


Falla circular - caso pseudo estático



B_6

H:V = 0.50:1



LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

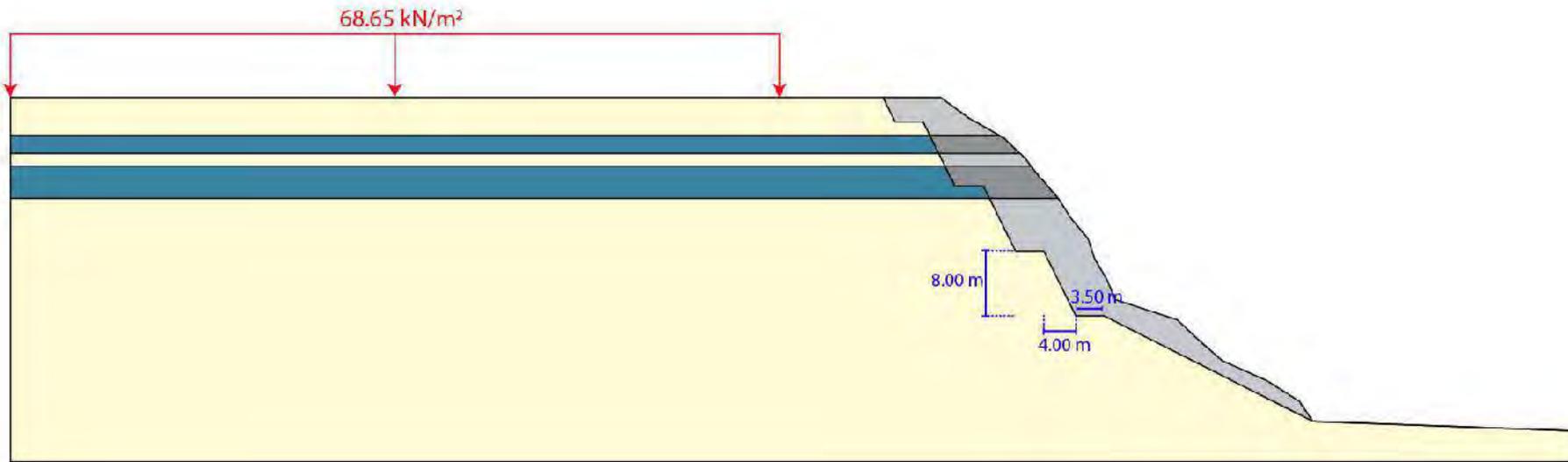
*No hay suficiente espacio para banquetear.

B_7

H:V = 0.50:1 y 2:1

Condiciones pseudo – estáticas:

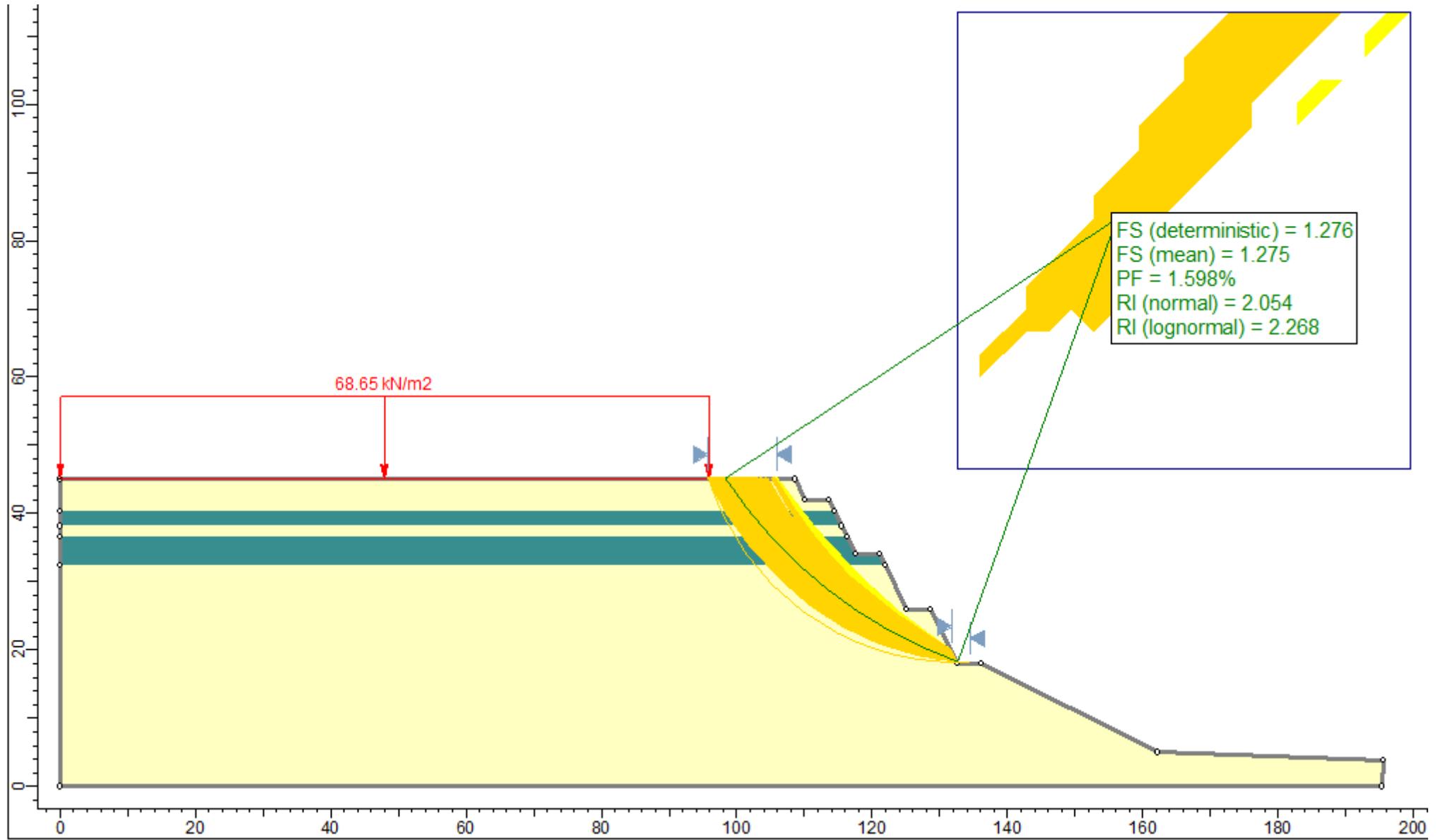
	Real	Banqueteado
F.S.	1.225	1.276
P.F.	10.694%	1.598%



LEYENDA

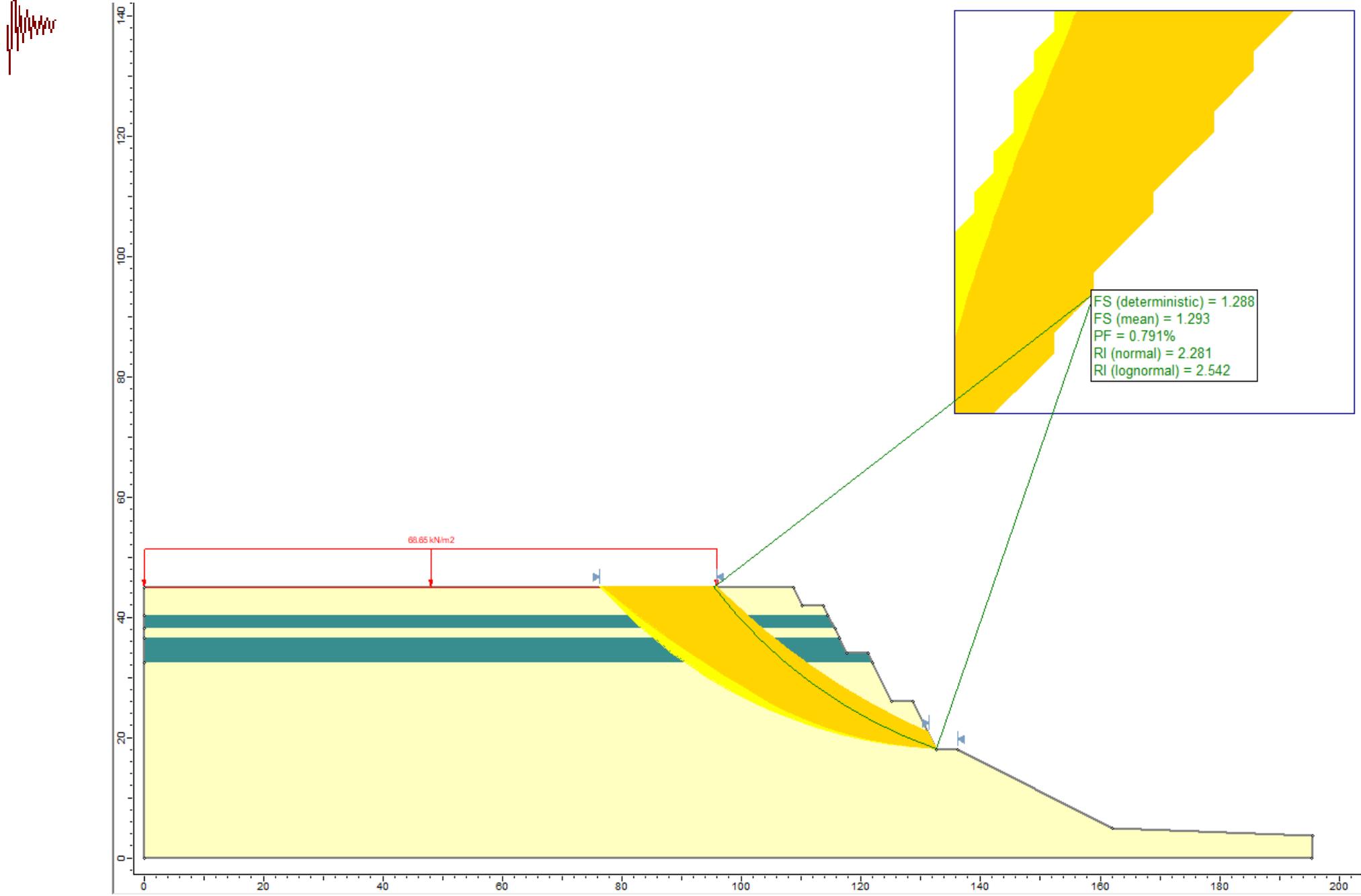
-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

▶ 0.22



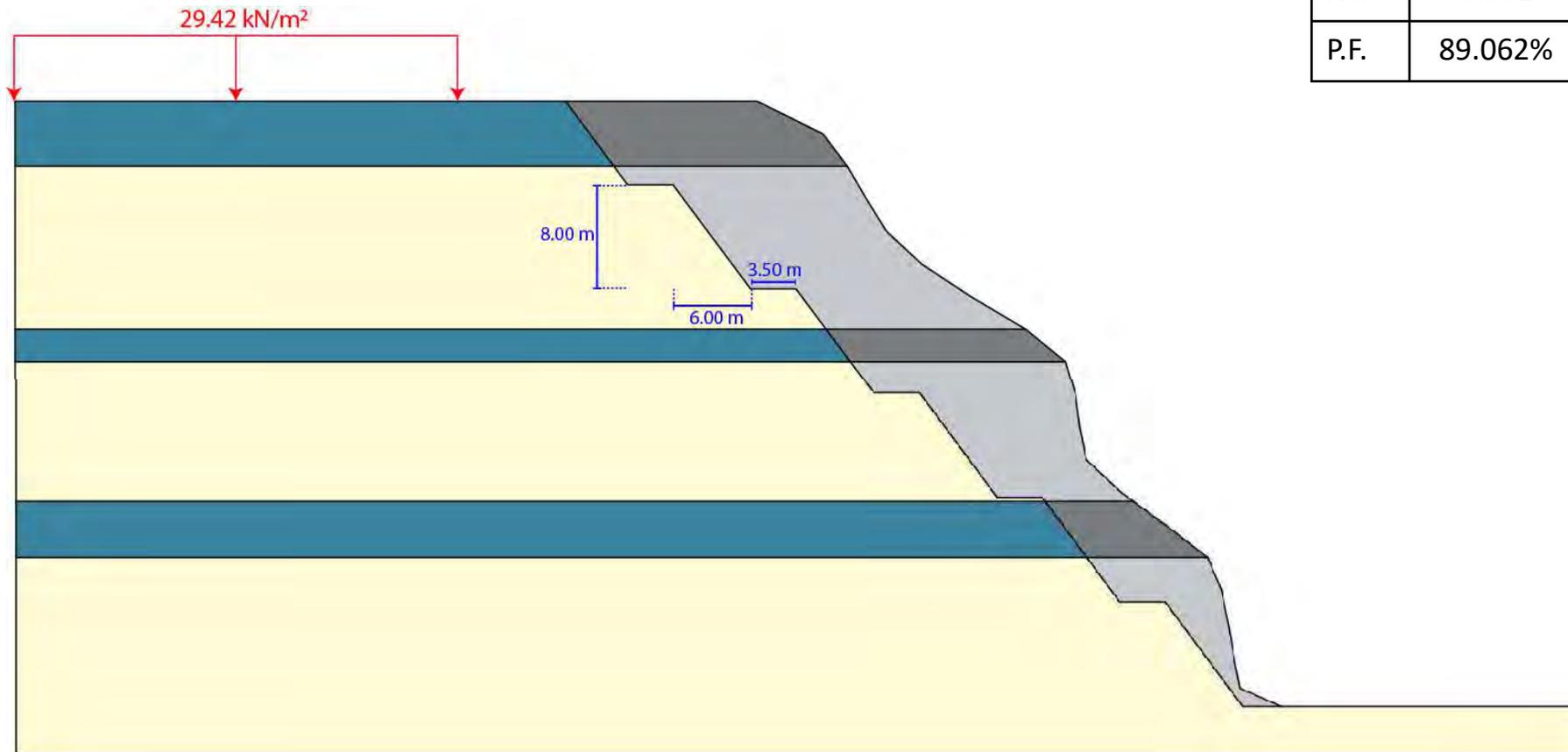
CHORRILLOS

C_1

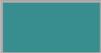
H:V = 0.75:1

Condiciones pseudo – estáticas:

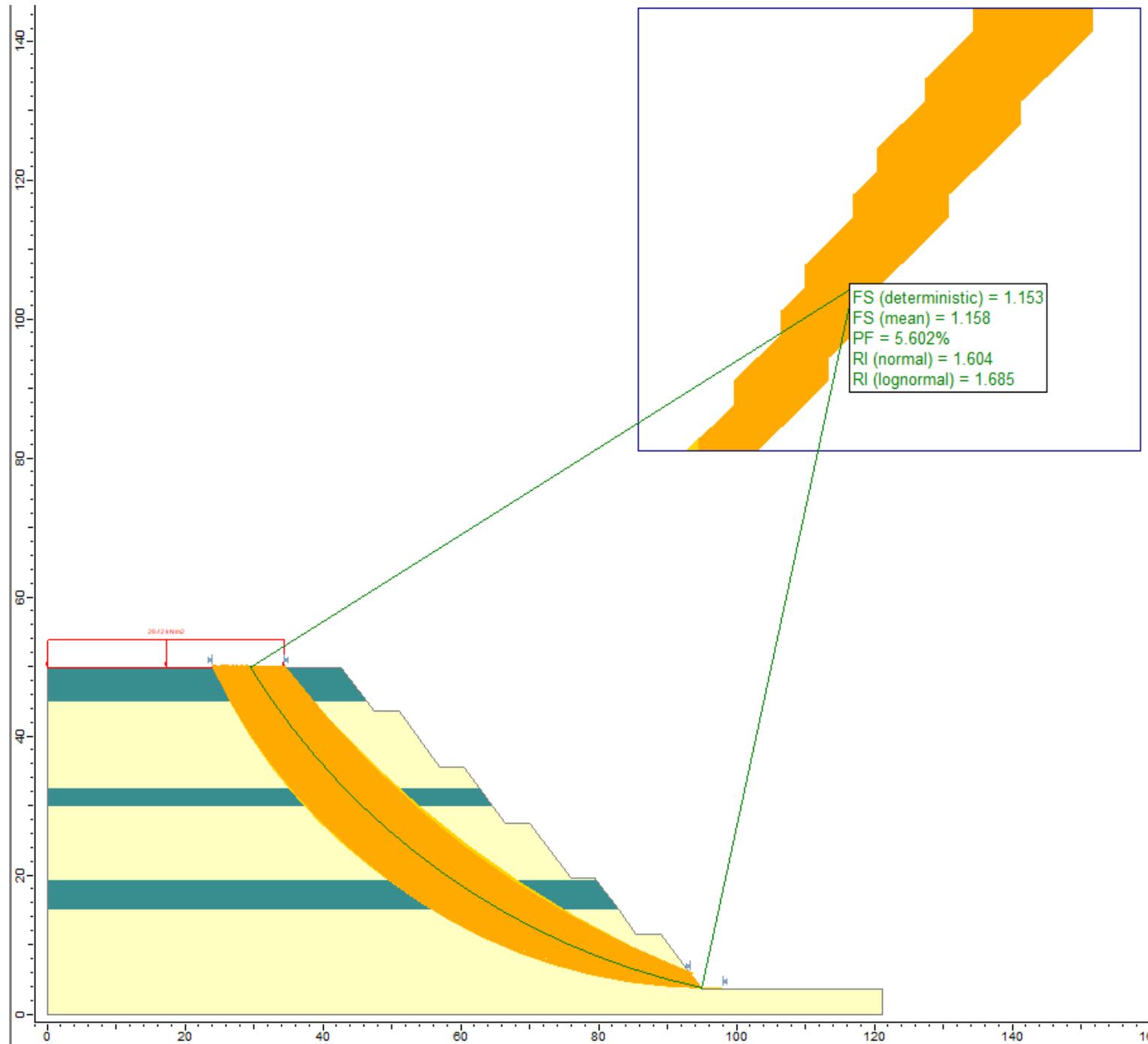
	Real	Banqueteado
F.S.	0.961	1.153
P.F.	89.062%	5.602%



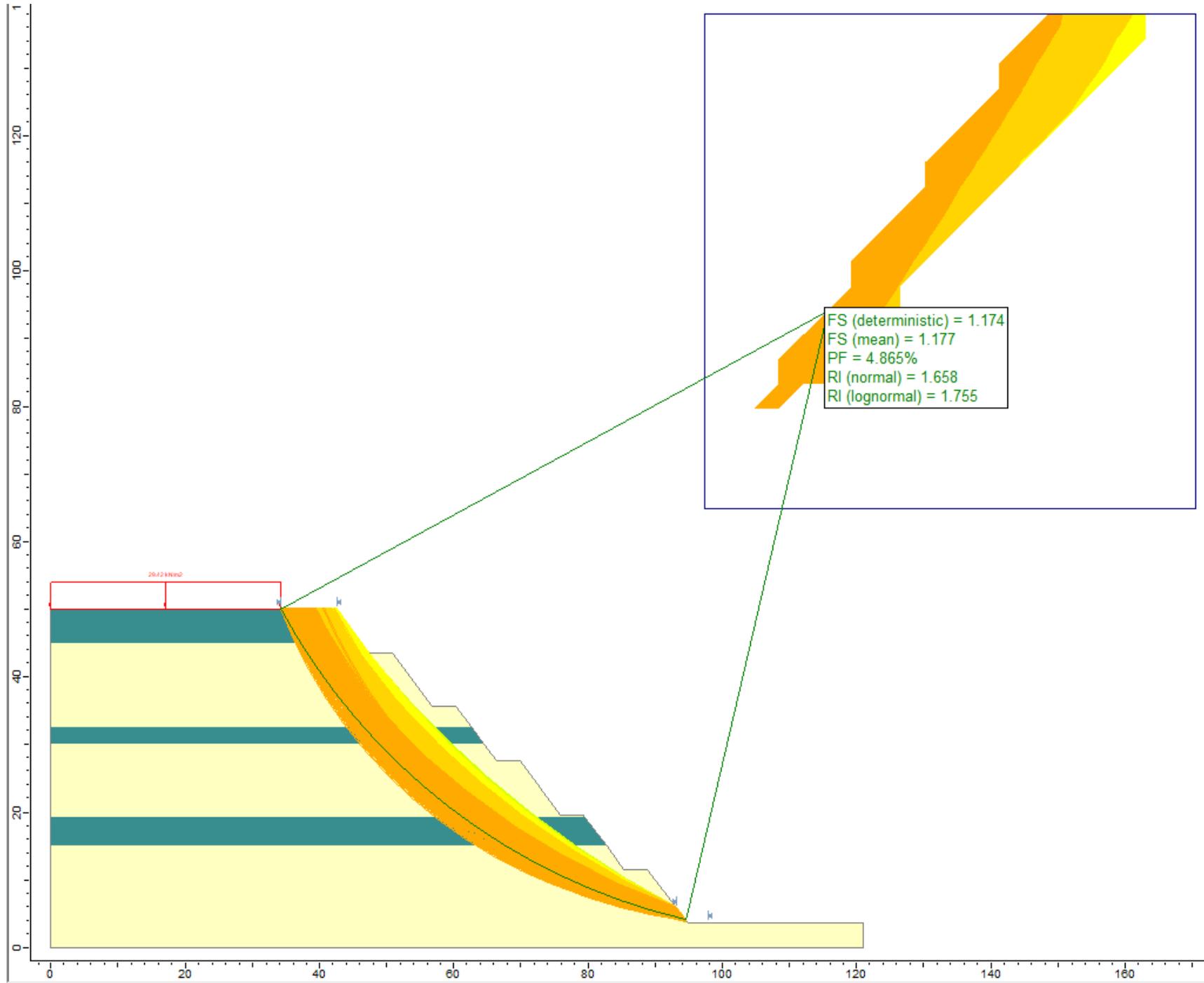
LEYENDA

-  MATERIAL GRUESO
-  MATERIAL FINO
-  FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

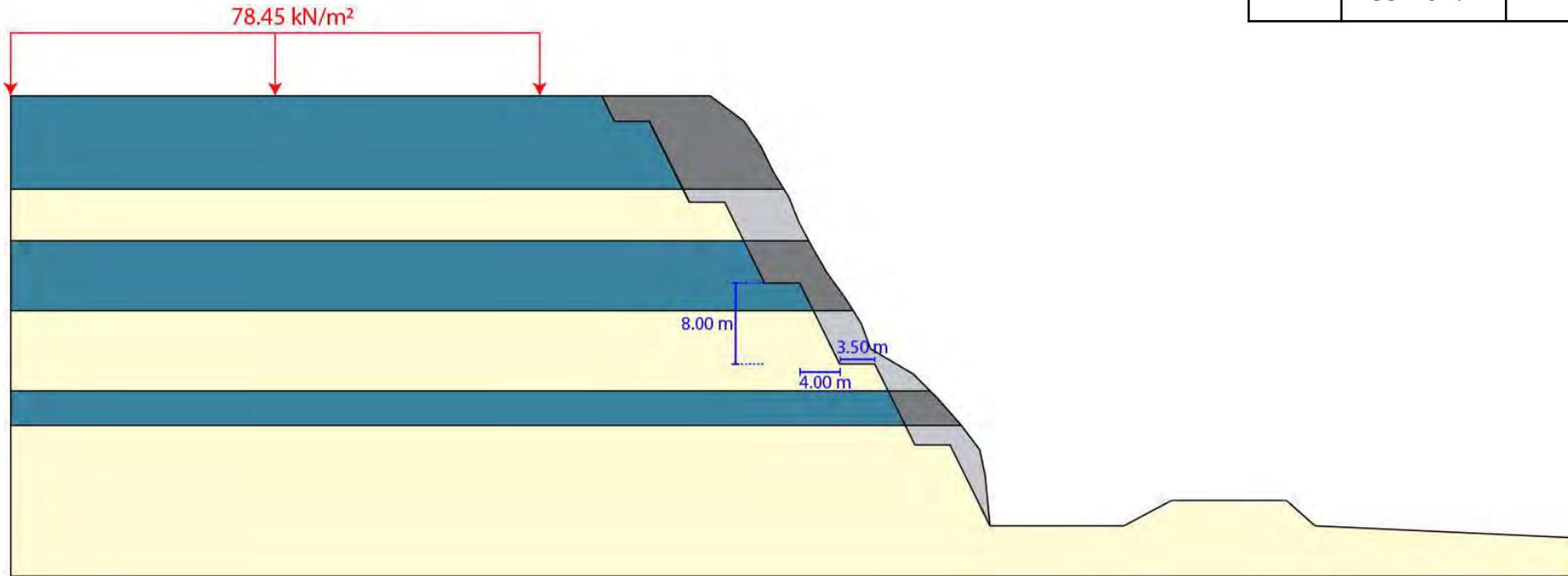


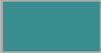
C_2

H:V = 0.50:1

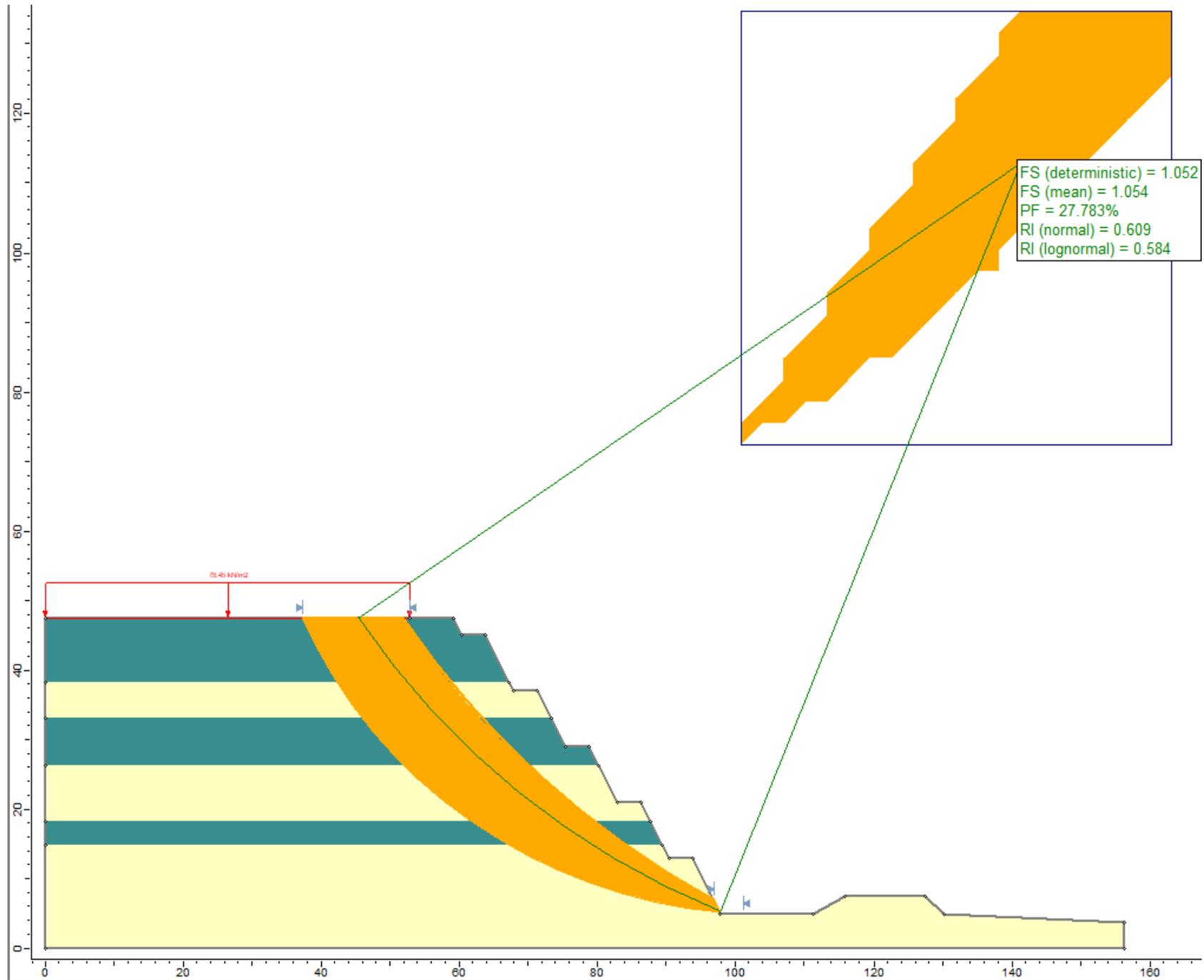
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	0.951	1.052
P.F.	85.167%	27.783%

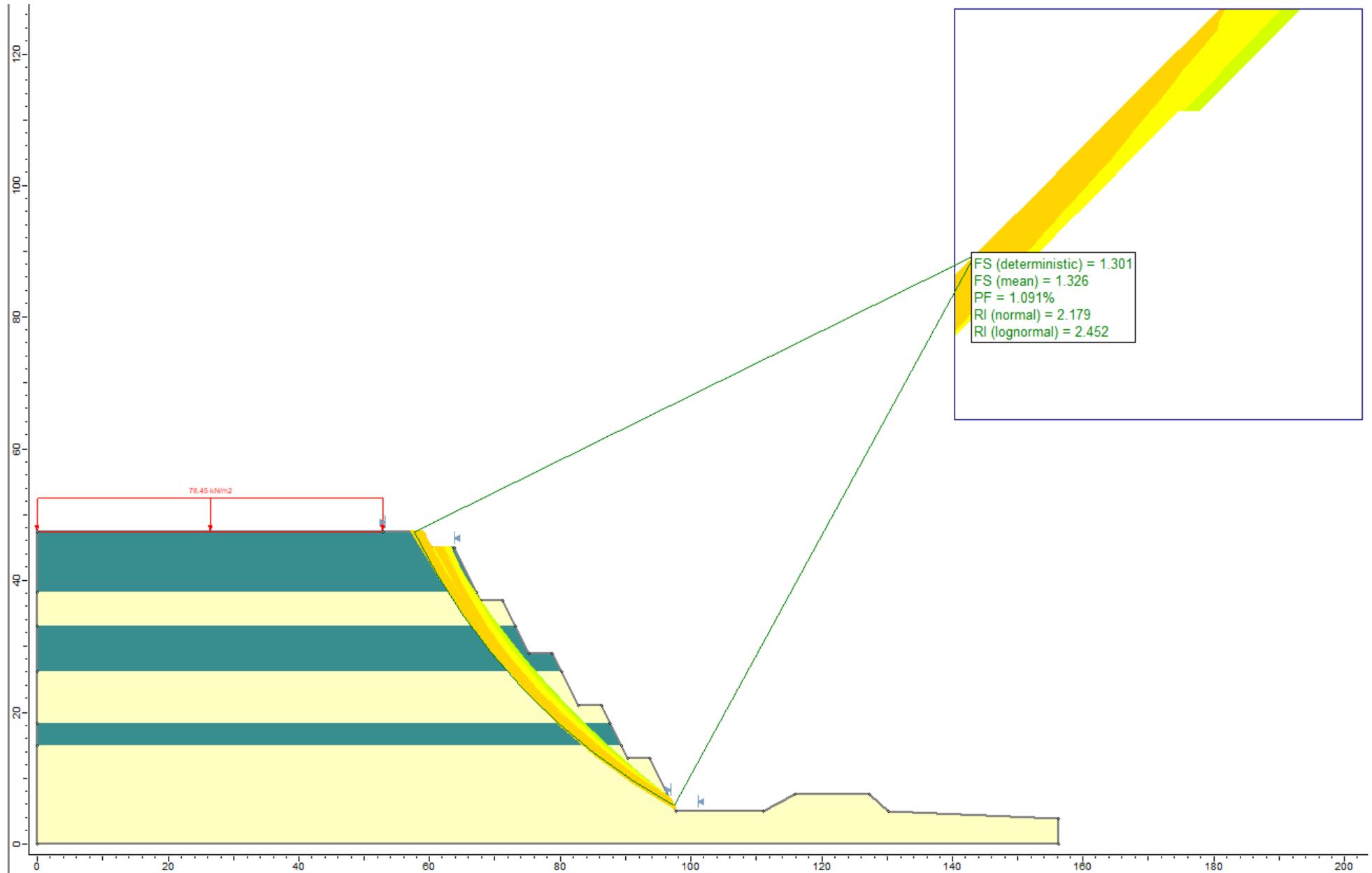


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático

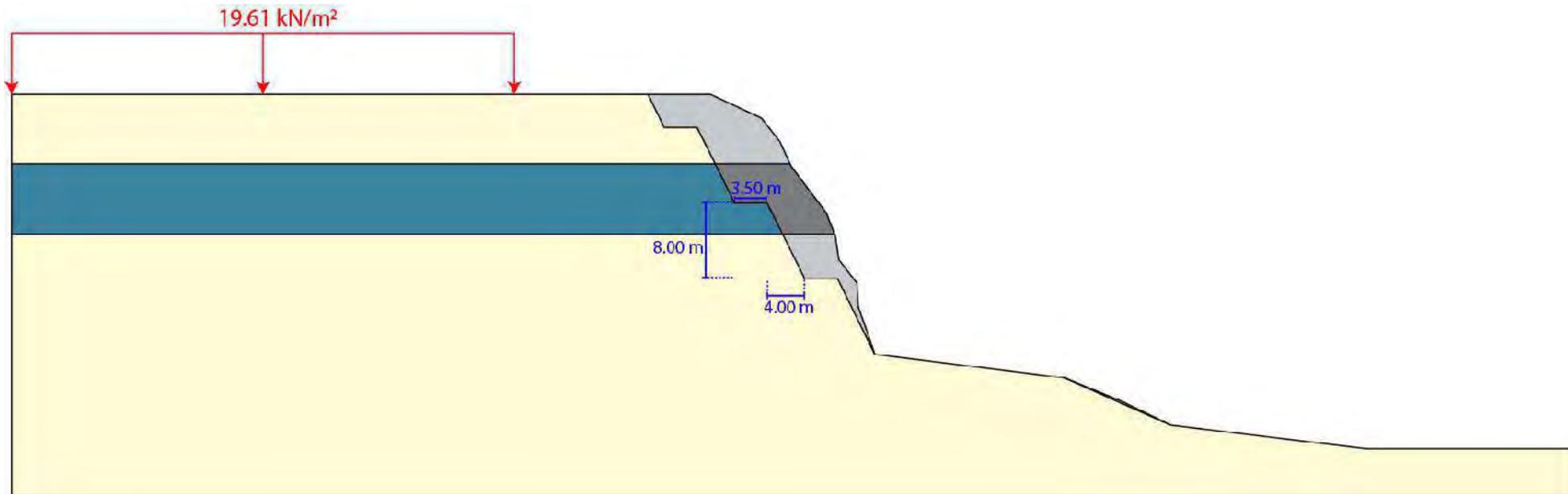


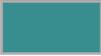
C_3

H:V = 0.50:1

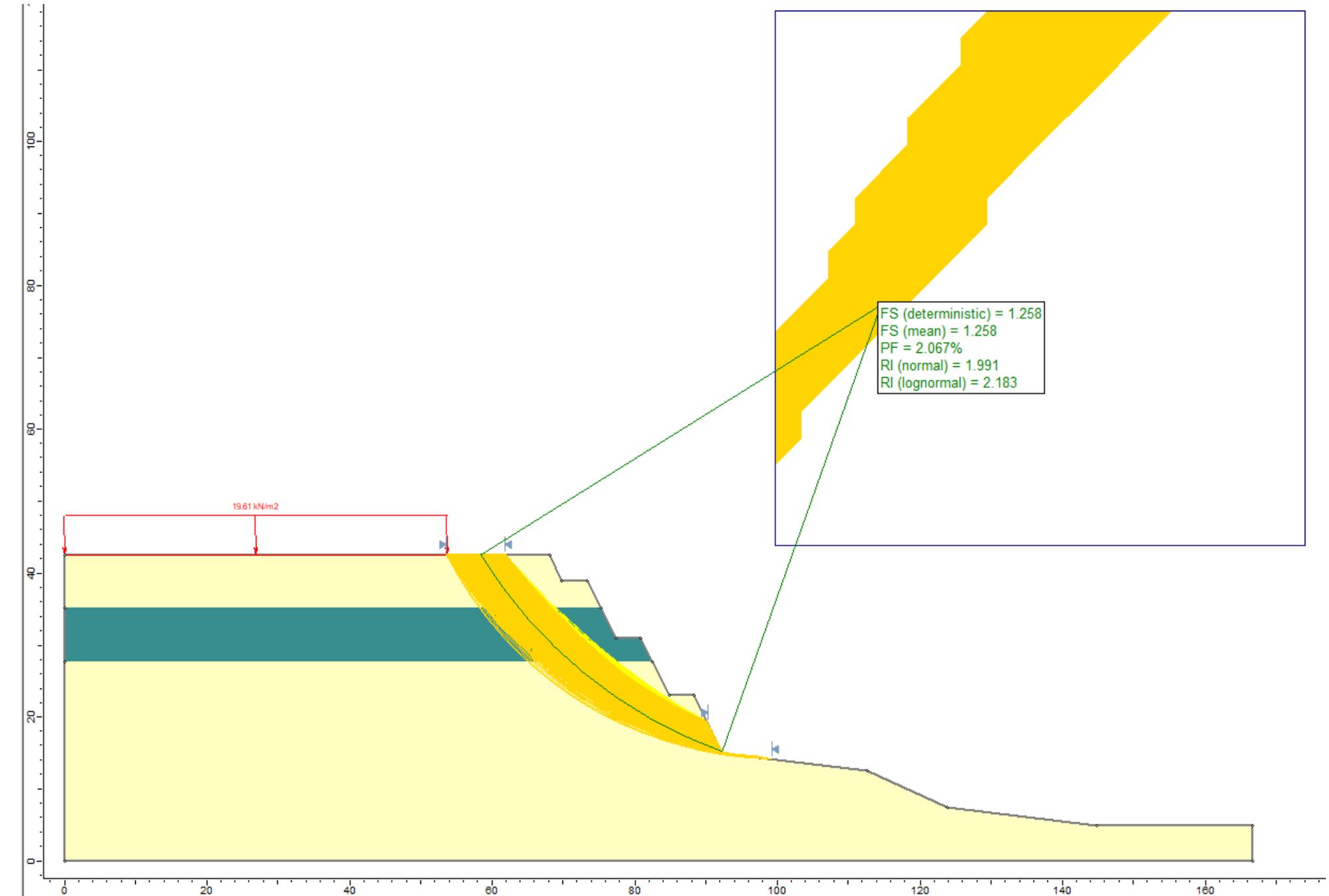
Condiciones pseudo – estáticas:

	Real	Banqueteado
F.S.	1.024	1.258
P.F.	16.038%	2.067%

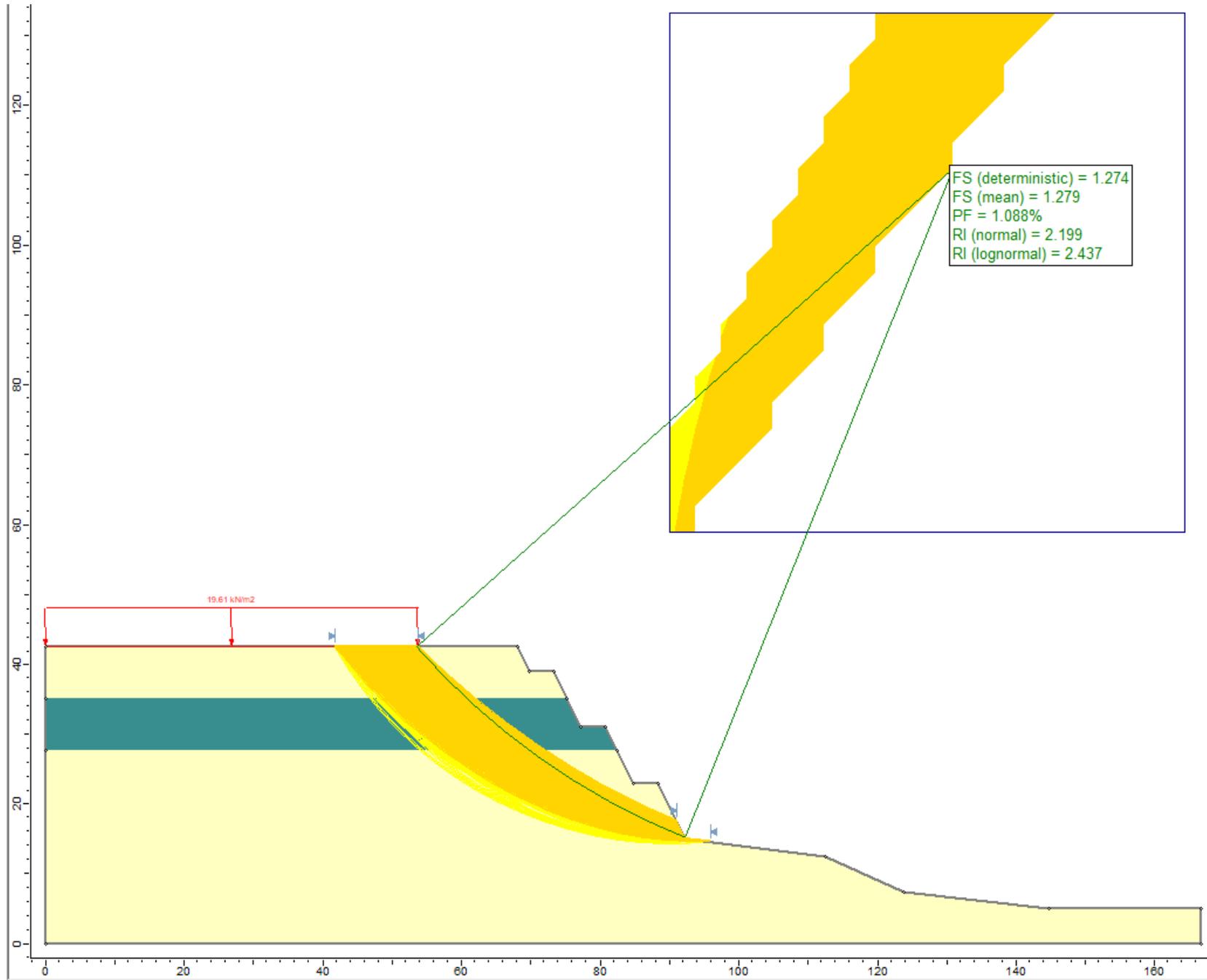


LEYENDA	
	MATERIAL GRUESO
	MATERIAL FINO
	FORMA NATURAL DEL TALUD

Falla circular - caso pseudo estático



Falla circular - caso pseudo estático



ANEXO G:

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y
PROBABILIDAD DE FALLA

Resultados análisis estático

					SILVA, LAMBE & MARR (2008)	
		F.S.	P.F.	P.F. anual (38.2%)	Categoría	P.F. anual
SAN MIGUEL						
SM_1	superficie de falla circular	1.09	0.3012	0.1151	2.60	0.2082
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	2.40	0.0000	0.0000		0.0002
	superficie de falla en bloque	1.29	0.0125	0.0048		0.0433
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	2.94	0.0000	0.0000		0.0002
SM_2	superficie de falla circular	1.40	0.0000	0.0000	2.20	0.0080
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	2.28	0.0000	0.0000		0.0001
	superficie de falla en bloque	1.61	0.0000	0.0000		0.0012
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	2.66	0.0000	0.0000		0.0001
SM_3	superficie de falla circular	1.12	0.2308	0.0882	2.30	0.1090
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.31	0.0003	0.0001		0.0220
	superficie de falla en bloque	1.09	0.1948	0.0744		0.1490
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.26	0.0006	0.0002		0.0280
MAGDALENA						
M_1	superficie de falla circular	1.02	0.7974	0.3047	2.45	0.3043
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.47	0.0000	0.0000		0.0083
	superficie de falla en bloque	1.04	0.3452	0.1319		0.2588
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.50	0.0000	0.0000		0.0041
M_2	superficie de falla circular	1.11	0.3997	0.1527	2.45	0.1546
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.26	0.0078	0.0030		0.0396
	superficie de falla en bloque	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-
M_3	superficie de falla circular	-	-	-	2.45	-
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.07	0.4309	0.1647		0.2201
	superficie de falla en bloque	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.18	0.0297	0.0114		0.0715
M_4	superficie de falla circular	1.38	0.0000	0.0000	2.60	0.0270
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	1.56	0.0000	0.0000		0.0045
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-
SAN ISIDRO						
SI_1	superficie de falla circular	1.87	0.0000	0.0000	2.00	0.000001
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-
SI_2	superficie de falla circular	1.75	0.0000	0.0000	2.00	0.000004
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	2.18	0.0000	0.0000		0.0000003
	superficie de falla en bloque	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-

					SILVA, LAMBE & MARR (2008)				
					F.S.	P.F.	P.F. anual (38.2%)	Categoría	P.F. anual
MIRAFLORES									
Mi_1	superficie de falla circular	1.34	0.0001	0.0000	2.50	0.0280			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-			
	superficie de falla en bloque	1.97	0.0000	0.0000		0.0003			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-			
Mi_2	superficie de falla circular	1.16	0.0289	0.0110	2.50	0.0995			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.55	0.0000	0.0000		0.0040			
	superficie de falla en bloque	2.09	0.0000	0.0000		0.0001			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	3.53	0.0000	0.0000		0.0001			
Mi_3	superficie de falla circular	1.06	0.2687	0.1027	2.50	0.2395			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-			
	superficie de falla en bloque	2.21	0.0000	0.0000		0.0001			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-			
Mi_4	superficie de falla circular	1.25	0.0011	0.0004	2.60	0.0514			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.44	0.0000	0.0000		0.0164			
	superficie de falla en bloque	1.72	0.0000	0.0000		0.0015			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.87	0.0000	0.0000		0.0004			
BARRANCO									
B_1	superficie de falla circular	1.04	0.4718	0.1803	2.60	0.3085			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	2.35	0.0000	0.0000		0.0002			
	superficie de falla en bloque	1.07	0.0024	0.0009		0.2483			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	2.73	0.0000	0.0000		0.0002			
B_2	superficie de falla circular	1.25	0.0060	0.0023	2.60	0.0526			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.60	0.0000	0.0000		0.0039			
	superficie de falla en bloque	1.31	0.0000	0.0000		0.0378			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.74	0.0000	0.0000		0.0013			
B_3	superficie de falla circular	1.45	0.0034	0.0013	2.30	0.0070			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.89	0.0000	0.0000		0.0002			
	superficie de falla en bloque	-	-	-		-			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-		-			
B_4	superficie de falla circular	1.01	0.7179	0.2743	2.30	0.2753			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.22	0.0076	0.0029		0.0335			
	superficie de falla en bloque	1.52	0.0000	0.0000		0.0026			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.80	0.0000	0.0000		0.0003			
B_5	superficie de falla circular	1.12	0.2479	0.0947	2.60	0.1742			
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.37	0.0000	0.0000		0.0280			
	superficie de falla en bloque	1.38	0.0000	0.0000		0.0262			
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.76	0.0000	0.0000		0.0010			

				SILVA, LAMBE & MARR (2008)				
				F.S.	P.F.	P.F. anual (38.2%)	Categoría	P.F. anual
BARRANCO								
B_6	superficie de falla circular	1.25	0.0112	0.0043	2.30	0.0296		
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.26	0.0044	0.0017		0.0288		
	superficie de falla en bloque	1.18	0.0025	0.0010		0.0590		
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.18	0.0050	0.0019		0.0517		
B_7	superficie de falla circular	1.65	0.0000	0.0000	2.60	0.0027		
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.85	0.0000	0.0000		0.0005		
	superficie de falla en bloque	2.82	0.0000	0.0000		0.0002		
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	3.31	0.0000	0.0000		0.0002		
CHORRILLOS								
C_1	superficie de falla circular	1.27	0.0073	0.0028	2.70	0.0556		
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.45	0.0000	0.0000		0.0170		
	superficie de falla en bloque	1.58	0.0000	0.0000		0.0049		
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.66	0.0000	0.0000		0.0029		
C_2	superficie de falla circular	1.23	0.0143	0.0055	2.70	0.0639		
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.28	0.0016	0.0006		0.0521		
	superficie de falla en bloque	1.49	0.0000	0.0000		0.0086		
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.49	0.0000	0.0000		0.0076		
C_3	superficie de falla circular	1.28	0.0264	0.0101	2.70	0.0515		
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.61	0.0000	0.0000		0.0042		
	superficie de falla en bloque	1.99	0.0000	0.0000		0.0003		
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	2.56	0.0000	0.0000		0.0002		

Resultados análisis pseudo estático

						SILVA, LAMBE & MARR (2008)	
		F.S.	P.F.	P.F. anual 1 (16.9%)	P.F. anual 2 (10%)	Categoría	P.F. anual
SAN MIGUEL							
SM_1	superficie de falla circular	0.90	0.5056	0.0855	0.0506	2.60	0.6200
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.47	0.0000	0.0000	0.0000		0.0103
	superficie de falla en bloque	0.99	0.8882	0.1502	0.0888		0.4028
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.64	0.0000	0.0000	0.0000		0.0030
SM_2	superficie de falla circular	1.01	0.4356	0.0736	0.0436	2.20	0.2320
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.37	0.0000	0.0000	0.0000		0.0110
	superficie de falla en bloque	1.19	0.0276	0.0047	0.0028		0.0380
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.60	0.0000	0.0000	0.0000		0.0013
SM_3	superficie de falla circular	0.83	0.9933	0.1679	0.0993	2.30	0.5600
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.92	0.8364	0.1414	0.0836		0.5185
	superficie de falla en bloque	0.81	1.0000	0.1690	0.1000		0.5600
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	0.90	0.9191	0.1554	0.0919		0.5600
MAGDALENA							
M_1	superficie de falla circular	0.76	1.0000	0.1690	0.0169	2.45	0.5900
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.98	0.6441	0.1089	0.0109		0.3738
	superficie de falla en bloque	0.77	1.0000	0.1690	0.0169		0.5900
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.03	0.4990	0.0843	0.0084		0.2857
M_2	superficie de falla circular	0.84	0.9998	0.1690	0.0169	2.45	0.5900
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.89	0.9140	0.1545	0.0155		0.5900
	superficie de falla en bloque	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
M_3	superficie de falla circular	-	-	-	-	2.45	-
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.80	1.0000	0.1690	0.0169		0.5900
	superficie de falla en bloque	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	0.87	0.9573	0.1618	0.0162		0.5900
M_4	superficie de falla circular	0.99	0.5557	0.0939	0.0094	2.60	0.4126
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	1.09	0.1174	0.0198	0.0020		0.2120
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
SAN ISIDRO							
SI_1	superficie de falla circular	1.27	0.0041	0.0007	0.0001	2.00	0.0064
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
SI_2	superficie de falla circular	1.21	0.0214	0.0036	0.0004	2.00	0.0097
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.36	0.0000	0.0000	0.0000		0.0022
	superficie de falla en bloque	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-

		F.S.	P.F.	P.F. anual 1 (17%)	P.F. anual 2 (10%)	Categoría	P.F. anual
MIRAFLORES							
Mi_1	superficie de falla circular	0.97	0.6974	0.1179	0.0118	2.50	0.4291
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	1.42	0.0000	0.0000	0.0000		0.0164
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
Mi_2	superficie de falla circular	0.90	0.8081	0.1366	0.0137	2.50	0.5949
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.05	0.2191	0.0370	0.0037		0.2637
	superficie de falla en bloque	1.64	0.0000	0.0000	0.0000		0.0026
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.95	0.0000	0.0000	0.0000		0.0003
Mi_3	superficie de falla circular	0.83	0.9758	0.1650	0.0165	2.50	0.6000
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque	1.58	0.0000	0.0000	0.0000		0.0034
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
Mi_4	superficie de falla circular	0.93	0.9098	0.1538	0.0154	2.60	0.5566
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.00	0.4614	0.0780	0.0078		0.3784
	superficie de falla en bloque	1.20	0.0029	0.0005	0.0000		0.0635
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.25	0.0000	0.0000	0.0000		0.0521
BARRANCO							
B_1	superficie de falla circular	0.80	0.9991	0.1689	0.0169	2.60	0.6200
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.42	0.0000	0.0000	0.0000		0.0194
	superficie de falla en bloque	0.84	0.7651	0.1293	0.0129		0.6200
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.52	0.0000	0.0000	0.0000		0.0052
B_2	superficie de falla circular	0.92	0.8071	0.1364	0.0136	2.60	0.5639
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.08	0.1411	0.0239	0.0024		0.2283
	superficie de falla en bloque	1.00	0.5269	0.0891	0.0089		0.3724
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.20	0.0018	0.0003	0.0000		0.0679
B_3	superficie de falla circular	1.09	0.2895	0.0489	0.0049	2.30	0.1504
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.38	0.0000	0.0000	0.0000		0.0136
	superficie de falla en bloque	-	-	-	-		-
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	-	-	-	-		-
B_4	superficie de falla circular	0.77	0.9713	0.1642	0.0164	2.30	0.5600
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.90	0.9949	0.1682	0.0168		0.5600
	superficie de falla en bloque	1.21	0.0524	0.0089	0.0009		0.0360
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.27	0.0021	0.0004	0.0000		0.0262
B_5	superficie de falla circular	0.87	0.7768	0.1313	0.0131	2.60	0.6200
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.04	0.4602	0.0778	0.0078		0.3067
	superficie de falla en bloque	1.13	0.0086	0.0015	0.0001		0.1599
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.32	0.0002	0.0000	0.0000		0.0362

		F.S.	P.F.	P.F. anual 1 (17%)	P.F. anual 2 (10%)	Categoría	P.F. anual
BARRANCO							
B_6	superficie de falla circular	-	-	-	-	2.30	-
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.94	0.8956	0.1514	0.0151		0.4492
	superficie de falla en bloque	1.07	0.6872	0.1162	0.0116		0.1689
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.01	0.6707	0.1134	0.0113		0.2707
B_7	superficie de falla circular	1.23	0.1069	0.0181	0.0018	2.60	0.0581
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.29	0.0047	0.0008	0.0001		0.0431
	superficie de falla en bloque	2.01	0.0000	0.0000	0.0000		0.0003
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	2.15	0.0000	0.0000	0.0000		0.0002
CHORRILLOS							
C_1	superficie de falla circular	0.96	0.8906	0.1506	0.0151	2.70	0.4979
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.01	0.5535	0.0936	0.0094		0.3859
	superficie de falla en bloque	1.17	0.0354	0.0060	0.0006		0.1100
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.17	0.0098	0.0017	0.0002		0.1114
C_2	superficie de falla circular	0.98	0.4511	0.0762	0.0076	2.70	0.4606
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	0.95	0.8517	0.1440	0.0144		0.5212
	superficie de falla en bloque	1.16	0.0893	0.0151	0.0015		0.1313
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.14	0.1047	0.0177	0.0018		0.1569
C_3	superficie de falla circular	1.02	0.1604	0.0271	0.0027	2.70	0.3610
	superficie de falla circular (inicio debajo de la carga)	1.16	0.1034	0.0175	0.0017		0.1285
	superficie de falla en bloque	1.56	0.0000	0.0000	0.0000		0.0052
	superficie de falla en bloque (inicio debajo de la carga)	1.75	0.0000	0.0000	0.0000		0.0013

Resultados del banqueteo en condiciones pseudo estáticas

Sección	F.S. crítico	P.F.	P.F. anual
SM_1	1.19	0.0614	0.0104
SM_2	1.26	0.0135	0.0023
SM_3	-	-	-
M_1	1.05	0.3119	0.0527
M_2	-	-	-
M_3	1.04	0.3382	0.0572
M_4	1.12	0.0795	0.0134
SI_1	-	-	-
SI_2	-	-	-
Mi_1	1.19	0.0102	0.0017
Mi_2	1.09	0.0964	0.0163
Mi_3	1.15	0.0281	0.0047
Mi_4	1.06	0.1475	0.0249
B_1	1.16	0.0586	0.0099
B_2	1.14	0.0599	0.0101
B_3	1.34	0.0030	0.0005
B_4	1.03	0.3767	0.0637
B_5	1.10	0.1549	0.0262
B_6	-	-	-
B_7	1.28	0.0160	0.0027
C_1	1.15	0.0560	0.0095
C_2	1.05	0.2778	0.0470
C_3	1.26	0.0207	0.0035

ANEXO H:

COSTO DEL RIESGO, MATRIZ DE RIESGO Y MATRIZ DEL NIVEL DE
PÉRDIDA DE VIDAS

Costos obtenidos

Sección	Borde de perfil (m)	Área (m²)	Largo (m)	Volumen (m³)	Área de perfilado (m²)	Costo movimiento de tierras (S/)	Costo de perfilado (S/)	Costo de rehabilitación (S/)	Ancho de pista (m)	Costo de pista (S/)	Costo de edificio (S/)	Costo de impacto (S/)	P.F. anual máxima	Costo del riesgo (S/)	P.F. anual máxima por método semi empírico (Silva, Lambe y Marr, 2008)	Costo del riesgo por método semi empírico (Silva, Lambe y Marr, 2008) (S/)
SM_1	77.42	327.67	55.00	18021.85	4258.10	841259.96	46328.13	887588.09	34.30	282975.00	0.00	1170563.09	0.1151	134738.83	0.6200	725749.11
SM_2	94.67	429.24	40.00	17169.60	3786.80	801476.93	41200.38	842677.31	34.30	205800.00	0.00	1048477.31	0.0736	77204.23	0.2320	243246.74
SM_3	91.36	482.33	45.00	21704.85	4111.20	1013182.40	44729.86	1057912.25	*	28.00	189000.00	68941162.50	0.1690	11865265.96	0.5600	39305321.86
M_1	86.95	541.21	88.00	47626.48	7651.60	2223204.09	83249.41	2306453.49	35.30	465960.00	8690737.28	11463150.77	0.3047	3492790.94	0.5900	6763258.95
M_2	73.82	338.75	80.00	27100.00	5905.60	1265028.00	64252.93	1329280.93	*	37.00	444000.00	25644712.50	0.1690	4633888.42	0.5900	16176616.12
M_3	74.97	389.32	40.00	15572.80	2998.80	726938.30	32626.94	759565.25	40.00	240000.00	6178342.50	7177907.75	0.1690	1213422.43	0.5900	4234965.57
M_4	107.76	508.65	120.00	61038.00	12931.20	2849253.84	140691.46	2989945.30	40.00	720000.00	0.00	3709945.30	0.0939	348515.46	0.4126	1530723.43
SI_1	-	-	150.00	-	-	-	-	0.00	45.00	1012500.00	0.00	1012500.00	0.0007	703.48	0.0064	6461.78
SI_2	-	-	140.00	-	-	-	-	0.00	32.00	672000.00	0.00	672000.00	0.0036	2432.20	0.0097	6538.56
Mi_1	125.00	1070.19	35.00	37456.65	4375.00	1748476.42	47600.00	1796076.42	21.00	110250.00	0.00	1906326.42	0.1179	224756.39	0.4291	818004.67
Mi_2	107.17	911.08	50.00	45554.00	5358.50	2126460.72	58300.48	2184761.20	42.00	315000.00	91309415.62	93809176.82	0.1366	12815334.71	0.5949	55807079.29
Mi_3	87.00	921.36	35.00	32247.60	3045.00	1505317.97	33129.60	1538447.57	10.00	52500.00	15778368.00	17369315.57	0.1650	2865306.06	0.6000	10421589.34
Mi_4	106.00	693.68	50.00	34684.00	5300.00	1619049.12	57664.00	1676713.12	39.00	292500.00	90666008.83	92635221.95	0.1538	14247889.78	0.5566	51557059.13
B_1	110.38	1066.06	40.00	42642.40	4415.20	1990547.23	48037.38	2038584.61	40.00	240000.00	0.00	2278584.61	0.1803	410762.90	0.6200	1412722.46
B_2	117.00	926.07	75.00	69455.25	8775.00	3242171.07	95472.00	3337643.07	25.00	281250.00	33148774.40	36767667.47	0.1364	5016515.90	0.5639	20732552.33
B_3	42.64	147.77	50.00	7388.50	2132.00	344895.18	23196.16	368091.34	27.00	202500.00	0.00	570591.34	0.0489	27922.73	0.1504	85810.09
B_4	66.52	461.17	95.00	43811.15	6319.40	2045104.48	68755.07	2113859.55	27.00	384750.00	307810048.00	310308657.55	0.2743	85121984.24	0.5600	173772848.23
B_5	57.97	287.57	55.00	15816.35	3188.35	738307.22	34689.25	772996.47	20.00	165000.00	84986016.00	85924012.47	0.1313	11283927.22	0.6200	53272887.73
B_6	63.25	396.31	35.00	13870.85	2213.75	647491.28	24085.60	671576.88	*	20.00	105000.00	131761219.88	0.1514	20065435.13	0.4492	59535978.31
B_7	73.26	285.82	21.00	6002.22	1538.46	280183.63	16738.44	296922.07	27.00	85050.00	0.00	381972.07	0.0181	6905.35	0.0581	22177.30
C_1	78.50	517.00	70.00	36190.00	5495.00	1689349.20	59785.60	1749134.80	24.00	252000.00	11351483.00	13352617.80	0.1506	2010356.18	0.4979	6647867.82
C_2	65.02	243.10	35.00	8508.50	2275.70	397176.78	24759.62	421936.40	25.00	131250.00	11561264.00	12114450.40	0.1440	1744171.61	0.5212	6313688.11
C_3	41.25	147.38	30.00	4421.40	1237.50	206390.95	13464.00	219854.95	15.00	67500.00	6899464.00	7186818.95	0.0271	194850.29	0.3610	2594211.66

*No se pudo banquetear por falta de espacio, pero se estimó el costo de rehabilitación para calcular el costo del impacto.

Matriz de riesgo y resultados por el método estadístico

			Impacto			
			Bajo Menor a S/ 7.2 M	Medio De S/ 7.2 M a S/ 69.9M	Alto De S/69.9 M a S/ 132.5M	Muy alto Mayor a S/ 132.5 M
			1	2	3	4
Probabilidad	Alto (De 20.34% a 38.20%)	3	3	6	9	12
	Medio (De 12.74% a 25.47%)	2	2	4	6	8
	Bajo (Menor a 12.74%)	1	1	2	3	4

Sección	Nivel de probabilidad	Nivel de impacto	Puntaje	Nivel de riesgo
B_4	3	4	12	Muy alto
M_1	3	2	6	Alto
B_6	2	4	8	Alto
Mi_2	2	3	6	Alto
Mi_4	2	3	6	Alto
B_5	2	3	6	Alto
SM_3	2	3	6	Alto
B_2	2	2	4	Medio
M_2	2	2	4	Medio
Mi_3	2	2	4	Medio
C_1	2	2	4	Medio
C_2	2	2	4	Medio
M_3	2	2	4	Medio
C_3	1	2	2	Bajo
B_1	2	1	2	Bajo
Mi_1	1	1	1	Bajo
SM_1	1	1	1	Bajo
M_4	1	1	1	Bajo
SM_2	1	1	1	Bajo
SI_1	1	1	1	Bajo
SI_2	1	1	1	Bajo
B_3	1	1	1	Bajo
B_7	1	1	1	Bajo

Matriz de riesgo y resultados por el método de Silva, Lambe y Marr (2008)

			Impacto			
			Bajo Menor a S/ 7.2 M	Medio De S/ 7.2 M a S/ 69.9M	Alto De S/69.9 M a S/ 132.5M	Muy alto Mayor a S/ 132.5 M
			1	2	3	4
Probabilidad	Alto (De 46.67 a 70%)	3	3	6	9	12
	Medio (De 23.33% a 46.67%)	2	2	4	6	8
	Bajo (Menor a 23.33%)	1	1	2	3	4

Sección	Nivel de probabilidad	Nivel de impacto	Puntaje	Nivel de riesgo
B_4	3	4	12	Muy alto
Mi_2	3	3	9	Alto
Mi_4	3	3	9	Alto
B_5	3	3	9	Alto
SM_3	3	3	9	Alto
B_6	2	4	8	Alto
B_2	3	2	6	Alto
M_2	3	2	6	Alto
Mi_3	3	2	6	Alto
C_1	3	2	6	Alto
C_2	3	2	6	Alto
M_1	3	2	6	Alto
M_3	3	2	6	Alto
C_3	2	2	4	Medio
B_1	3	1	3	Medio
SM_1	3	1	3	Medio
M_4	2	1	2	Bajo
Mi_1	2	1	2	Bajo
SM_2	1	1	1	Bajo
SI_1	1	1	1	Bajo
SI_2	1	1	1	Bajo
B_3	1	1	1	Bajo
B_7	1	1	1	Bajo

Matriz de nivel de pérdida de vidas y resultados

Nivel de pérdidas de vida por categoría	Bajo (1)	Mediano (3)	Alto (5)
Losas deportivas (8%)	No hay	Sí hay	-
Colegio (15%)	No hay	-	Sí hay
Viviendas (40%)	No hay	Hay casas y/o edificios cuya ubicación es segura.	Hay edificios que podrían ser afectados por el deslizamiento.
Vías (5%)	No hay	Sí hay	-
Espacios públicos (12%)	No hay	Hay arriba o abajo del talud.	Hay arriba y abajo del talud.
Centros de esparcimiento/recreación (20%)	No hay	Hay uno o pocos centros.	Hay varios centros.

Sección	Losas deportivas (8%)	Colegio (15%)	Viviendas (40%)	Vías (5%)	Espacios públicos (12%)	Centros de esparcimiento/recreación (20%)	Puntaje	Nivel de pérdida de vidas
SM_1	3	5	5	3	1	1	3.5	Alto
Mi_2	1	1	5	3	5	1	3.2	Medio
B_7	1	1	5	3	1	3	3.1	Medio
SM_2	1	1	5	3	3	1	2.9	Medio
SM_3	1	1	5	3	3	1	2.9	Medio
B_1	1	1	3	3	3	5	2.9	Medio
B_2	1	1	5	3	3	1	2.9	Medio
M_2	1	1	3	3	1	5	2.7	Medio
Mi_4	1	1	5	3	1	1	2.7	Medio
B_4	1	1	5	3	1	1	2.7	Medio
B_5	1	1	5	3	1	1	2.7	Medio
B_6	1	1	5	3	1	1	2.7	Medio
C_2	1	1	5	3	1	1	2.7	Medio
M_1	1	1	3	3	5	1	2.4	Medio
B_3	1	1	3	3	1	3	2.3	Medio
C_3	1	1	3	3	3	1	2.1	Bajo
M_3	1	1	3	3	1	1	1.9	Bajo
M_4	3	1	1	3	3	3	1.9	Bajo
SI_2	1	1	3	3	1	1	1.9	Bajo
C_1	1	1	3	3	1	1	1.9	Bajo
SI_1	1	1	1	3	3	3	1.7	Bajo
Mi_3	1	1	1	3	3	3	1.7	Bajo
Mi_1	1	1	1	3	3	1	1.3	Bajo

ANEXO I:

RESULTADOS DE LAS SECCIONES SM_1 Y SM_2 AL VARIAR
PARÁMETROS

Resultados al variar los parámetros empleados en las secciones SM_1 y SM_2 en condiciones pseudo estáticas

VALORES EMPLEADOS:

CASO II: REDUCCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN 25%

		Promedio	Desviación estándar
Material grueso	Cohesión (kN/m ²)	48.60	11.22
	Fricción (°)	38.73	1.78
	Peso específico (kN/m ³)	20.83	0.97
Material fino	Cohesión (kN/m ²)	62.98	8.21
	Fricción (°)	26.06	1.25
	Peso específico (kN/m ³)	16.27	0.33
Relleno no controlado	Cohesión (kN/m ²)	1.23	0.92
	Fricción (°)	27.75	1.13
	Peso específico (kN/m ³)	17.90	0.13

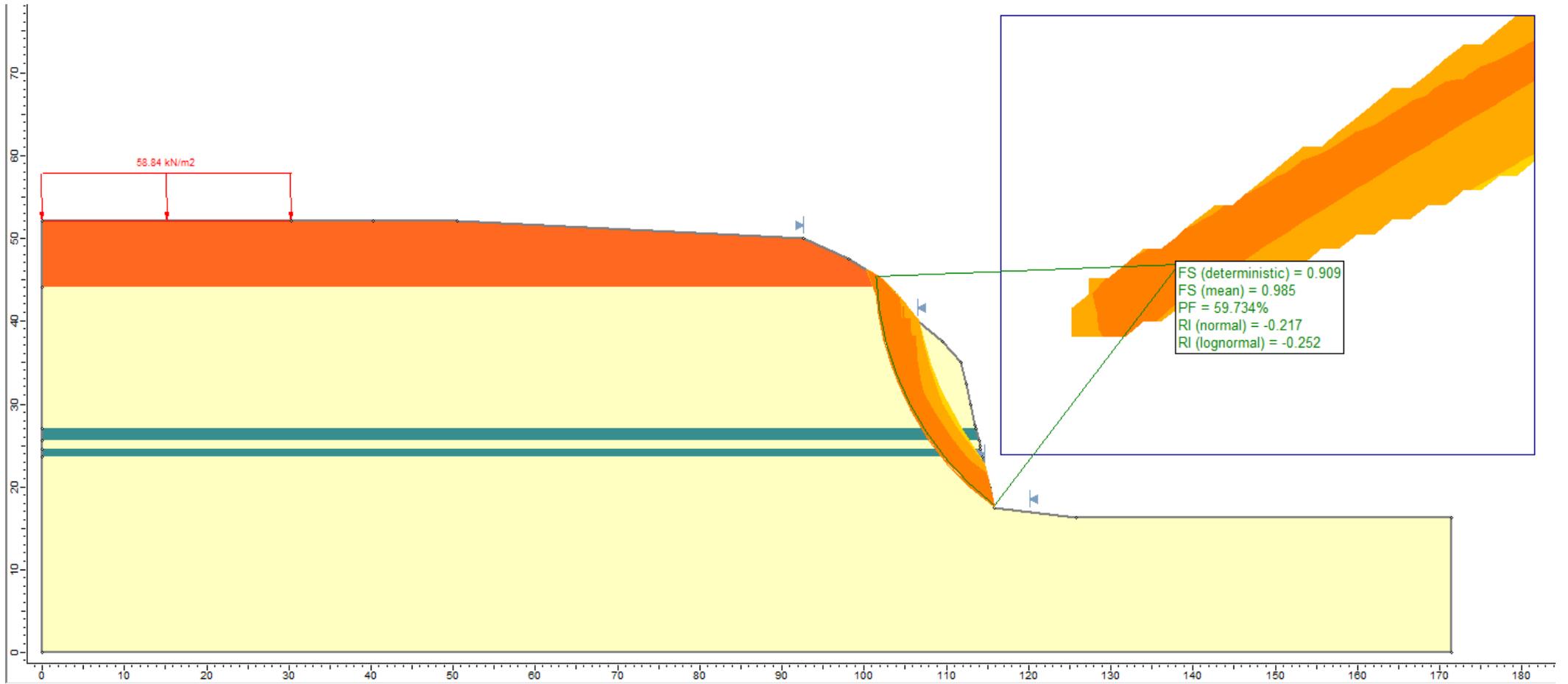
CASO III: REDUCCIÓN DE PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN 10%

		Promedio	Desviación estándar
Material grueso	Cohesión (kN/m ²)	43.74	13.46
	Fricción (°)	34.86	2.14
	Peso específico (kN/m ³)	18.75	1.17
Material fino	Cohesión (kN/m ²)	56.68	9.86
	Fricción (°)	23.45	1.50
	Peso específico (kN/m ³)	14.64	0.40
Relleno no controlado	Cohesión (kN/m ²)	1.10	1.10
	Fricción (°)	24.98	1.35
	Peso específico (kN/m ³)	16.11	0.15

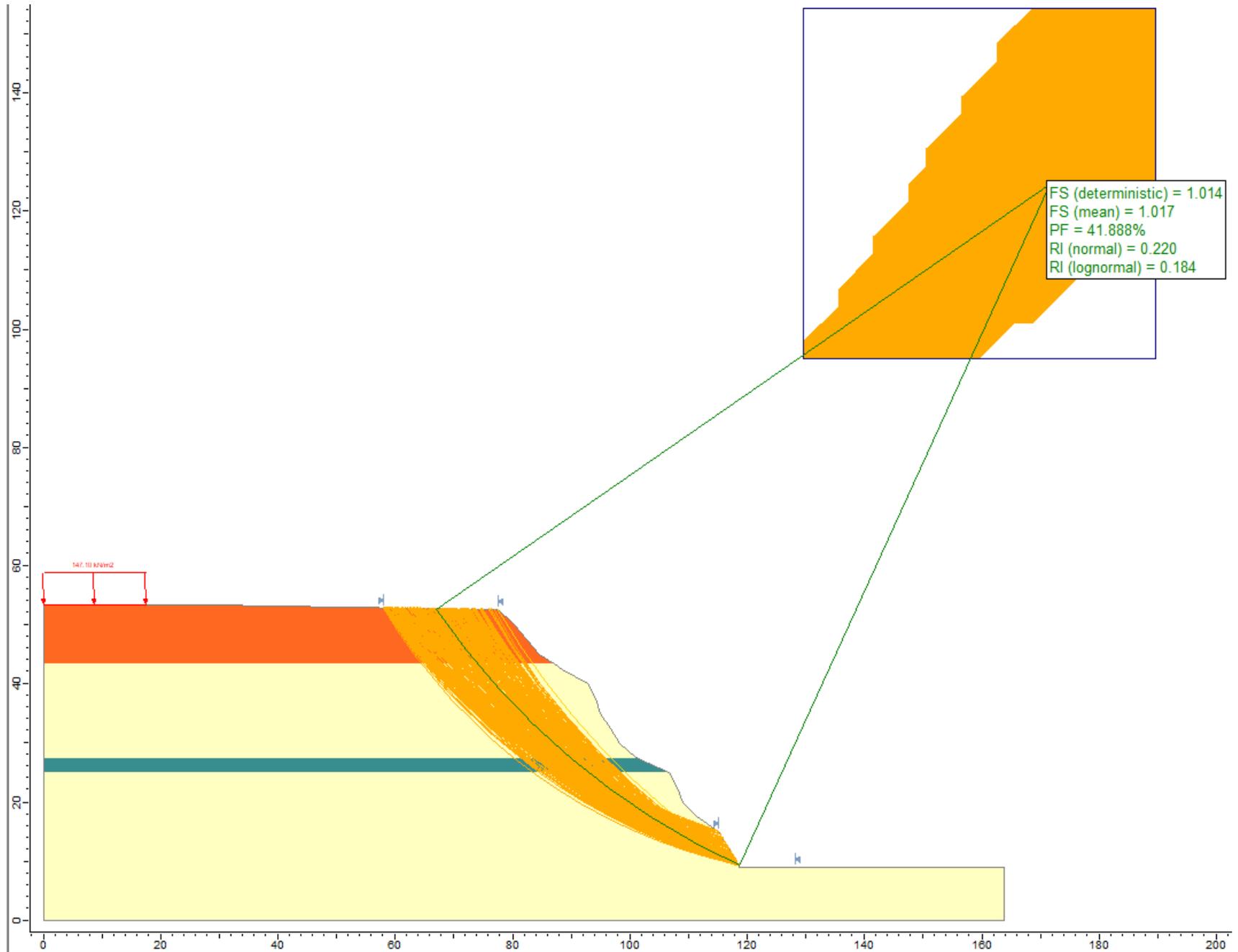
RESULTADOS:

	F.S.		P.F.	
		Caso III	Caso II	Caso III
SM_1	0.90	0.85	59.73%	72.98%
SM_2	1.01	0.93	41.89%	75.18%

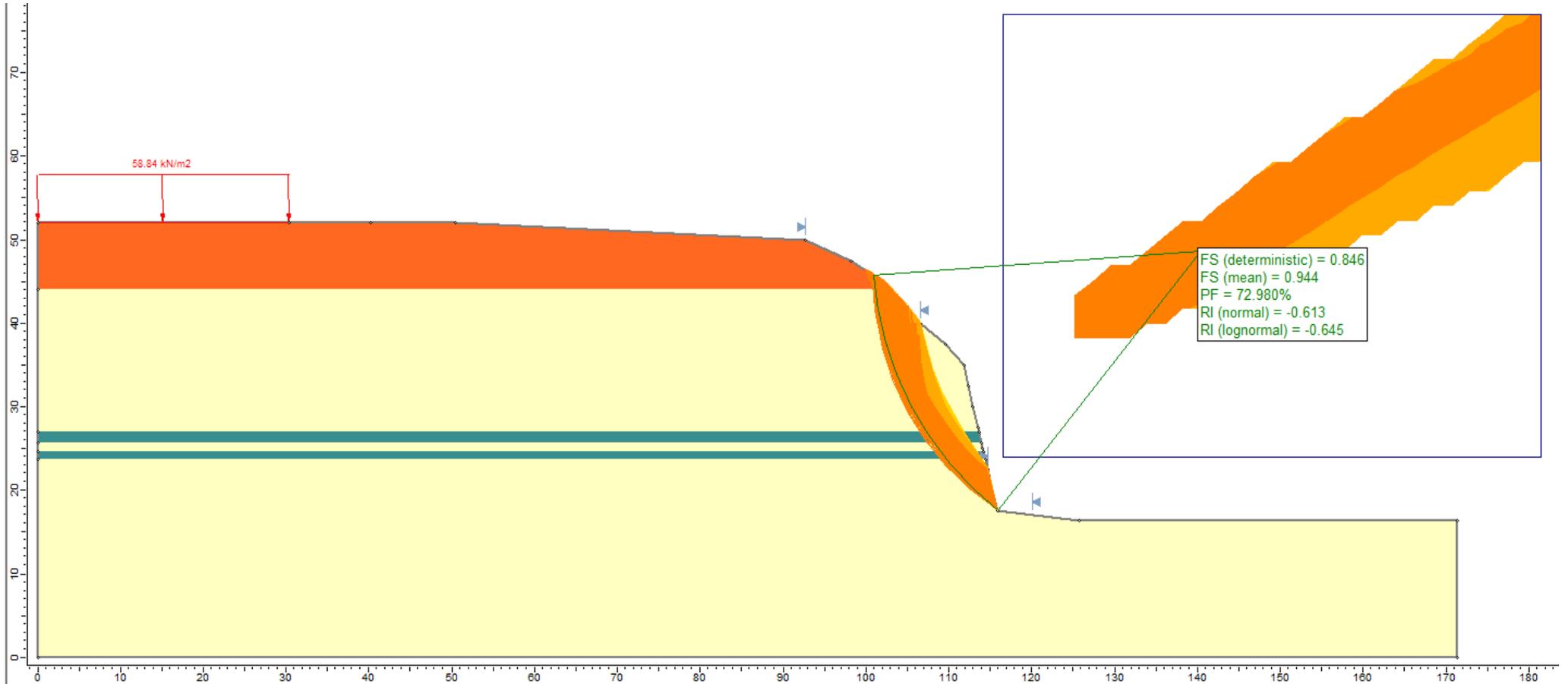
CASO II: SM_1



CASO II: SM_2



CASO III: SM_1



CASO III: SM_2

